

Memo

Aan

Astrid Labrujere (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving)

Datum

2 oktober 2025

Contactpersoon

Ferdinand Diermanse

Doorkiesnummer

+31(0)6 1039 8546

E-mail

Ferdinand.Diermanse@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 12

Onderwerp

effectiviteit pompen

1 Vooraf

1.1 Aanleiding

In het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP-ZSS) worden mogelijke strategie-verlengende maatregelen van de Voorkeurstrategie en alternatieve strategieën voor de zeer lange termijn uitgewerkt. In deze analyses komt herhaaldelijk de maatregel van pompen aan de orde. Het is daarom van belang een eenduidig beeld te krijgen van de effectiviteit van pompen op basis van de nu beschikbare informatie en expertise, zodat deze als referentie kan dienen voor de eindrapportage van het KP-ZSS.

Rijkswaterstaat-WVL heeft aan Deltares gevraagd om de relevante informatie over de inzet van pompen in (toekomstige) strategieën te beschrijven. Dit betreft de mate van effectiviteit van pompen om Nederland te beschermen tegen overstromingen bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging en de praktische uitdagingen bij de implementatie, het onderhoud en de aansturing van pompen.

1.2 Dit memo

Dit memo brengt een aantal relevante aspecten rondom de inzet van pompen bij elkaar. Het is tot stand gekomen door bestaande kennis en ervaringen op het gebied van pompen bij Rijkswaterstaat en Deltares te bundelen. Het memo heeft niet als doel om een compleet overzicht te geven; er is geen diepgravend literatuuronderzoek, haalbaarheidsonderzoek of detailanalyse uitgevoerd bij de totstandkoming van dit memo.

Dit memo is geschreven door Ferdinand Diermanse en Anton de Fockert (beiden Deltares), met inhoudelijke input van Arthur Kors, Astrid Labrujere, Wouter Rozier, Robert Vos (allen RWS-WVL), Peter Janssen en Marco Pelleboer (beiden RWS-GPO). Op 11 juni 2025 is een belangrijke basis gelegd voor dit memo in een overleg tussen genoemde personen (m.u.v. Robert Vos, Peter Janssen en Marco Pelleboer, die schriftelijke input hebben geleverd) aan de hand van 12 door RWS-WVL opgestelde vragen, onderverdeeld in vier thema's. Dit memo behandelt de vier thema's en bijbehorende vragen elk in een apart hoofdstuk (hoofdstuk 2 t/m 5). Hoofdstuk 6 vat de belangrijkste conclusies samen.

2 Noodzaak om te gaan pompen

[1] Wanneer worden pompen ingezet en wanneer spuien (waterveiligheid versus zoetwater)?

Voor een bestaand systeem geldt over het algemeen: spuien als het kan, pompen als het moet. Dit komt doordat spuien minder (energie) kost en er met spuien vele malen meer water kan worden afgevoerd dan met pompen bij een gelijke grootte van de civiele constructie. Pompen is minder waterstands-gebonden dan spuien; spuien is alleen mogelijk als de waterstand van het binnenwater hoger is dan de waterstand van het buitenwater. Door zeespiegelstijging nemen de spui mogelijkheden af, waardoor de noodzaak voor pompen toeneemt. Voor toekomstige investeringen in spuien en pompen is het advies om een MKBA (maatschappelijk kosten-baten analyse) uit te voeren, waarvan de uitkomst per systeem verschillend kan uitpakken. Voor het ARK/NZK (Amsterdam Rijnkanaal / Noordzeekanaal) systeem is bijvoorbeeld voorzien dat spuien al binnen enkele decennia niet meer rendabel zal zijn omdat het beschikbare bergingsoppervlak en de mogelijkheden voor peilstijging in dat systeem zeer beperkt zijn (Deltares, 2025). Voor het IJsselmeer zal spuien veel langer (tot ~2080) meerwaarde hebben¹. Daar hoeft een tijdelijke peilstijging tijdens een periode van hoogwater niet direct tot een overstroming te leiden, omdat daar hogere waterkeringen aanwezig zijn dan in het ARK/NZK systeem.

De keuze voor spuien versus pompen bij het doen van nieuwe investeringen is een optimalisatievraagstuk. Daarbij zijn de volgende elementen van belang:

- Kosten van de investering van pompen (inclusief beheer en onderhoud) versus eventuele alternatieven.
- Belangen om het streefpeil laag te houden (behoud van huidige functies).
- Schadelijke gevolgen bij het (tijdelijk) optreden van hoge/extreme meerpeilen tijdens een periode van hoogwater.
- Mogelijkheden om maatregelen te nemen om die schade te reduceren.
- De brede maatschappelijke kosten van dergelijke maatregelen.
- Mogelijkheden om tijdelijk water te bergen in het systeem, of in een naastgelegen systeem, tijdens een hoogwater.
- Invloed van lekdebieten (zoutindringing) bij spuisluizen en de mate waarin die kunnen toenemen bij ZSS.
- Het relatieve belang van waterveiligheid versus zoetwaterbeschikbaarheid.

In een dergelijke optimalisatieslag is doorgaans ook sprake van beleidsgerelateerde keuzes. De keuze tussen spuien en pompen is bijvoorbeeld mede bepalend voor waar de lasten komen te liggen voor de benodigde investeringen: bij de waterschappen of bij Rijkswaterstaat. In de Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer - ISWP- (Rommelzwaal et al, 2018) voor het merengebied is bijvoorbeeld gekozen voor de "solidariteitsgedachte" door een deel van de oplossing te zoeken in pompcapaciteit bij de Afsluitdijk en een deel in dijkversterking.

Het onderscheid tussen zoetwaterbeheer en waterveiligheid kenmerkt zich vooral in de benodigde afvoercapaciteit van pompen. Voor zoetwaterbeheer is het vaak voldoende om kleine afvoeren te verpompen, terwijl het bij waterveiligheid over grote afvoeren gaat.

¹ Gegeven het midden-scenario van KNMI2023 en bij gebruik van het 66-percentiel voor de zeespiegelstijging is spuien tot orde 2080 effectief en tot (of zelfs na) 2100 nuttig.

[2] Waarom is de inzet van pompen (orde 3.000-10.000 m³/s) effectief op het IJsselmeer en veel minder effectief in de Afgesloten-Open Rijn Maasmonding.

Deze vraag komt voort uit een vergelijking tussen de ISWP-studie (Remmelzwaal et al, 2018), waar pompen effectief bleek voor het IJsselmeer, en een recente studie in het kader van KP-ZSS (ter Horst et al., 2025) naar strategie-verlengende maatregelen, waar pompen in de afsluitbaar-open situatie in de Rijn-Maas Monding (RMM) niet/nauwelijks meerwaarde lijken te hebben. Merk op dat in een eerdere studie in het kader van KP-ZSS, uitgevoerd door het 'consortium Beschermen' (Van der Biezen et al., 2024), de grootschalige inzet van pompen wél als een 'competitieve' strategie is gepresenteerd. Dat betrof de inzet van pompen in een situatie van een Gesloten Zeefront in de RMM (dammen, eventueel aangevuld met sluizen) bij 2 en 5,4 meter zeespiegelstijging. In die situatie zijn pompen onontbeerlijk, vooral in de gepresenteerde variant A1, waar het streefpeil in de RMM in de orde van NAP+0m is aangenomen (tijdens perioden hoogwater mag/zal het streefpeil tijdelijk overschreden worden, vergelijkbaar met hoe dat nu het geval is in het IJsselmeer). De afvoer van de Maas, Waal en Lek moet in die variant naar zee gepompt worden omdat spuien in de regel niet meer mogelijk is, behalve als het peil tijdens een hoogwater meerdere meters stijgt doordat de gecombineerde rivierafvoer groter is dan de beschikbare pompcapaciteit. De benodigde pompcapaciteit voor deze variant is in Van der Biezen et al. (2024) vastgesteld op 5.000 m³/s bij 2 m ZSS en 15.500 m³/s bij 5,4 m ZSS. Dat is substantieel groter dan de pompcapaciteiten die voor het IJsselmeer zijn berekend in Remmelzwaal et al. (2018); maximaal orde 3.000 m³/s. In Van der Biezen et al. [2024] is overigens ook een variant (A2) met Gesloten Zeefront in de RMM uitgewerkt waarin het streefpeil meestijgt met de zeespiegel. Naar verwachting volstaat in die variant in de RMM een pompcapaciteit van orde 3.000 m³/s, dus vergelijkbaar met de (maximaal) benodigde capaciteit in het IJsselmeer. In die variant is de opgave voor dijkverhoging groter dan in variant A1.

De huidige vraagstelling is echter vooral gericht op de situatie die in lijn is met de Voorkeurstrategie, d.w.z. de situatie met een 'Afgesloten-Open Rijn Maasmonding' (met stormvloedkeringen). Voor die situatie zijn in de studie van Ter Horst et al. (2025) mogelijke strategie-verlengende maatregelen geanalyseerd. Daaruit kwam naar voren dat pompen in de RMM een zeer beperkte meerwaarde hebben met het oog op waterveiligheid. De volgende oorzaken liggen ten grondslag aan deze conclusie:

- In de studie van Ter Horst et al. (2025) is het effect van pompen beschouwd als *aanvullende* maatregel bovenop twee andere maatregelen, te weten (1) het verkleinen van de faalkans van de Europoortkering en (2) het realiseren van de mogelijkheid om Grevelingen en Volkerak-zoommeer (VZM) in te zetten als bergingsgebied op momenten dat de Europoortkering gesloten is. Deze twee maatregelen zorgen er voor dat (bijna) de maximaal haalbare reductie van maatgevende waterstanden gerealiseerd wordt. Het gevolg is er slechts beperkte mogelijkheden zijn om met aanvullende maatregelen een verdere reductie van maatgevende waterstanden te realiseren. Pompen kunnen daardoor weinig meerwaarde brengen in deze opzet.
- De verhouding instromend rivierwater ten opzichte van het bergend oppervlak is veel gunstiger voor het IJsselmeer dan voor het RMM.
- De gestelde eisen in de genoemde analyses zijn strenger in de studie voor het RMM (beperken van de waterstand met 10.000 jaar herhalingstijd) in vergelijking met de ISWP studie voor het IJsselmeer (niet laten toenemen van de meerpeilpiek met 10 jaar herhalingstijd in vergelijking met de huidige situatie). Bij een eventuele strengere eis voor het IJsselmeer neemt de benodigde pompcapaciteit toe, al is die capaciteit nog steeds niet in dezelfde orde van grootte als de pompcapaciteiten die voor het RMM zijn doorgerekend in Ter Horst et al. (2025) en Van der Biezen et al. (2024),
- Paragraaf B.3 van het rapport van Ter Horst et al. (2025) geeft aan dat de pompcapaciteit "getrapt" is ingezet in de simulaties en dus niet direct op volle

capaciteit na sluiten van de kering. Als dat laatste wel gedaan zou worden zou dat mogelijk ook de impact kunnen vergroten.

- Het sluiten van de Europoortkering gaat niet vaak gepaard met extreme afvoeren. Als gevolg daarvan loopt de waterstand bij een gesloten kering niet heel snel op, en hebben Grevelingen en VZM voldoende ruimte om (een groot deel van) het instromende rivierwater te bergen. De inzet van pompen levert in die situatie daardoor beperkte meerwaarde bovenop waterberging. De combinatie van een gesloten Europoortkering in combinatie met extreme rivierafvoeren zijn alleen bij hele grote herhalingstijden bepalend voor maatgevende waterstanden, buiten het normbereik.
- De duur van de sluiting van de Maeslantkering (MLK) is relatief kort in vergelijking met de duur van een hoogwater op de rivieren. Zodra de kering weer open gaat hebben de pompen geen bijdrage meer. Het totale volume water dat uitgepompt kan worden in de relatief korte tijd van een gesloten kering is daardoor beperkt. Op het IJsselmeer kunnen en zullen de pompen bij een extreem hoogwater mogelijk dagen/weeken actief zijn en daardoor een grotere bijdrage leveren aan het beperken van hoge meerpeilen. De voorspelbaarheid van hoogwaters op de Rijn biedt ook mogelijkheden om voor te pompen in het IJsselmeergebied; in de RMM heeft dat geen zin zo lang de Europoortkering open staat. In de ISWP-studie (Remmelzwaal et al, 2018) is overigens geconcludeerd dat voorpompen maar een beperkte impact heeft op de benodigde pompcapaciteit.

Tot slot (niet beschreven in genoemde studies): Omdat het IJsselmeer een grotere maalkom heeft dan de RMM, is de waterstandsvariatie minder gevoelig voor het in/uitschakelen van pompen (meer hierover bij punt [4]). Het Haringvliet is echter ook geen klein waterbassin, dus of dit problematisch zou kunnen zijn, zou onderzocht moeten worden. Daarbij kan worden onderzocht of er een koppeling gemaakt kan worden met het Grevelingen.

[3] is vijzelen een goed alternatief? (en zijn er nog andere *belangrijke* alternatieven?)

Vijzels worden veelal ingezet op binnenwateren. Deze hebben als voordeel dat ze visvriendelijk zijn. Echter, grote hoeveelheden water afvoeren naar zee met vijzels is uitdagend, vanwege de maximale pompcapaciteit van vijzels. De grootste operationele vijzels hebben 10 m³/s capaciteit, maar 1-2 m³/s is meer gangbaar. De capaciteit van vijzels vergroten geeft veel complicaties, omdat de bladen groot moeten worden (wat complicaties oplevert voor transport) en omdat de vijzel, door zijn grote formaat, gevoelig is voor doorbuiging. Vijzels zijn daarmee beperkt opschaalbaar en meer geschikt voor regionale (kleinere) systemen.

Een ander praktisch nadeel van vijzels is dat ze een vaste uitstroomwaterstand moeten hebben. Daardoor moet de overstortrand boven het hoogste waterniveau worden geplaatst. Dit zorgt voor energieverlies bij pompen tijdens laag water door getijdenwerking. In het binnenland is dit geen probleem door beperkte variatie in waterstanden en kan hier in het ontwerp rekening mee worden gehouden. Verder zit de uitstroomconstructie van de vijzel boven water, waardoor deze gevoelig is voor golfaanval, hetgeen een extra uitdaging vormt als vijzels aan de kust worden gebruikt.

3 Technische haalbaarheid

[4] Wat is de technische haalbaarheid en opschaalbaarheid van grote pompvolumes? (zijn er eisen aan de opvoerhoogte, en is er voldoende maalkom?)

De pompcapaciteit van een individuele pomp is hoger dan zijn best-efficiency-point (waar de pomp voor is ontworpen). Hiermee kan gedurende korte periodes een groter debiet worden verpompt. In de toekomst kan overwogen worden om pompturbines (bulbturbines) in te zetten in plaats van axiaalpompen². Pompturbines zijn eigenlijk extra grote axiaalpompen en hebben door de grotere waaierdiameter veel meer capaciteit dan bestaande axiaalpompen zoals gebruikt in het gemaal IJmuiden of in het pompstation in de Afsluitdijk. Het voordeel van pompturbines is dat deze een grotere capaciteit hebben en een beperkt ruimtebeslag. Dat maakt pompturbines interessant om grote hoeveelheden water weg te pompen. In het rapport van het consortium Beschermen (Van der Biezen et al., 2024) is dit uitgewerkt (zie ook het rekenvoorbeeld in bijlage A). Verder zitten deze pompturbines ver onder water, waardoor ze minder gevoelig zijn voor golfbelasting.

Indien het vereiste afvoerdebiet groter wordt dan de geïnstalleerde capaciteit, kan er voor worden gekozen om water tijdelijk te bergen. Als die ruimte niet beschikbaar is zullen pompen moeten worden vervangen en/of zullen extra pompen moeten worden toegevoegd. Een gemiddeld pompstation wordt ontworpen met een overcapaciteit van zo'n 10%. Dat laatste kan uiteraard alleen als de benodigde ruimte daarvoor beschikbaar is (zie hoofdstuk 5 van dit memo). Als de pompen toe zijn aan vervanging (\pm 25-30 jaar), zal voorafgaand een nieuwe analyse gemaakt worden van de benodigde pompcapaciteit op basis van de meest recente inzichten. Het is daarom belangrijk om bij de ruimtereservering verder vooruit te kijken dan de levensduur van een pomp, om te zorgen dat op termijn de mogelijkheid bestaat om uit te breiden indien nodig.

Technische aandachtspunten bij de inzet van grote pompcapaciteit:

- Morfologische effecten van dergelijk grote uitstroom moeten nader verkend worden.
- Dimensies van de maalkom zijn van invloed op hoe snel het pompen opgestart kan worden en tot hoe ver het water kan dalen als je zo veel pompt. Daar moeten nog wel wat extra simulaties voor uitgevoerd worden om daar meer inzicht in te krijgen.
- De pompen kunnen waarschijnlijk niet tegelijk opstarten, dat vraagt namelijk om een te groot piekvermogen. Maar een minuut wachten tussen opstarten is waarschijnlijk al voldoende, dus met het rekenvoorbeeld met 59 turbines van bijlage A (16.000 m³/s) kunnen de pompen na een uur op volle capaciteit draaien. Om deze debieten te kunnen verpompen is een grote elektriciteitsaansluiting nodig met een gedegen back-up, zodat het pompstation ten allen tijden kan opereren. Ervaringen uit de nucleaire industrie kunnen hier extra inzichten geven.
- Alle pompen moeten regelmatig draaien om te voorkomen dat ze vast komen te staan en niet snel opgestart kunnen worden. Dus er moet niet gewacht worden met de inzet van de pompen tot een extreem hoogwater optreedt. Dit kan worden gerealiseerd door de pompen tijdens regulier bedrijf af te wisselen. Dat laatste geldt echter alleen in de toestand van het 'Gesloten Zeefront, waar continu de afvoer van de Maas, Lek en Waal uitgepompt moet worden. In de situatie van een Afgesloten-Open Rijn Maasmonding zullen pompen niet frequent ingezet worden (als ze überhaupt al als maatregel ingevoerd worden). In dat geval zullen de pompen regelmatig ingezet moeten worden in test-modus.
- Er moet rekening gehouden worden met de oplevertijd. Die hangt mede af van de hoeveelheid pompen die nodig zijn. Maar doordat dit soort pompturbines al gemaakt zijn bij verschillende Europese bedrijven is er ervaring mee en kan de doorlooptijd

² De vloeistof in een axiaalpomp wordt in de richting van de pompas geduwd. Axiaalpompen worden ingezet om grote waterhoeveelheden af te voeren bij een beperkte druk. Bij het gemaal IJmuiden zijn bijvoorbeeld axiaalpompen geplaatst.

beperkt blijven. Hier zal in een haalbaarheidsonderzoek verder naar gekeken moeten worden.

[5] Is er extra kwetsbaarheid door uitval van pompcapaciteit? (en speelt drijfvuil hierbij een rol, bijvoorbeeld bij hoge rivierafvoeren?)

- Een pompstation wordt normaal gesproken gedimensioneerd met overcapaciteit om rekening te houden met uitval (10% extra pompen is vrij normaal). Er zijn onder meer de volgende aandachtspunten om de mate uitval en de gevolgen ervan zo veel mogelijk te reduceren.
- Drijfvuil kan het pompproces verstoren. Echter, doordat pompturbines onder water zitten, eindigt niet al het drijfvuil direct in de turbines. Daarnaast kunnen pompturbines met diameters van 7m best wat vuil verpompen. Het is wel aan te raden om roosters met vuilverwijdingssystemen bij de inlaat te plaatsen om groot drijfvuil af te vangen. In het ontwerpproces kan nog worden onderzocht of het mogelijk is om echt groot drijfvuil (denk aan boomstammen / caravans of iets dergelijks) naar de oevers kan worden geleid door de vormgeving van inlaatconstructie.
- Afhankelijkheid in het faalproces van de pompen (in extremis: "single point of failure") moet zo veel mogelijk vermeden worden. Het is aan te raden om te werken met pompstraten, waarbij falen van 1 pomp "nooit" doorwerkt op de andere pompen en energie en besturing redundant is uitgevoerd.
- Defensie moet op orde zijn (denk aan hackers, sabotage).
- Sedimentatie. Door de pompturbines tijdens normale afvoer regelmatig te gebruiken kan sedimentatie voor de pompturbine beperkt blijven en gestabiliseerd zijn voordat de piekafvoer plaats vindt.
- Wat zijn de gevolgen voor het achterland bij (tijdelijke) uitval? Wat zijn de faalmodi? Zit er nog marge in het achterliggende systeem (dijken, bergingsvolume, etc)?
- Omgekeerd zal de faalkans van de pompen meegenomen moeten worden in het ontwerp van het achterliggende systeem.
- Het is aan te bevelen om te kijken naar ervaringen in de nucleaire industrie (waar 'fail-safe' in het DNA zit). Bij pompstations voor de nucleaire industrie zijn bijvoorbeeld meerdere onafhankelijke noodvoorzieningen (extra pompen, extra stroomvoorziening/ batterijen, besturingssystemen, etc.) beschikbaar om de pompen ten allen tijden te kunnen opereren.
- Wat is de kans dat de pompen niet tijdig worden aangezet? Zoals eerder genoemd zullen pompen in de toestand van een 'gesloten zeezijde' ook actief zijn onder "dagelijkse omstandigheden" dat verkleint de kans op falen, doordat er ervaring met de operatie is. In de toestand van een afsluitbaar Afgesloten-Open Rijn Maasmonding is dat niet het geval en zullen de pompen regelmatig getest moeten worden. Dat aspect speelt bijvoorbeeld ook bij de Europoortkering, maar voor pompen is de uitdaging kleiner. Pompen kunnen daar getest worden zonder dat dat veel hinder veroorzaakt voor andere functies.
- Bij uitval van onderdelen: zijn die onderdelen snel te leveren? Als er veel pompen worden geplaatst is het van belang om een vaste hoeveelheid reserveonderdelen direct beschikbaar te hebben bij het pompstation, zodat vervanging op korte termijn gerealiseerd kan worden. Het is belangrijk om een duidelijke strategie te ontwikkelen voor vervanging van (kritieke) onderdelen. Een fabriekshal met reserve-onderdelen is vereist. Besparing kan leiden tot grote operationele risico's.

[6] Zijn er beperkingen door Beheer & Onderhoud en vervanging van pompen tot het jaar 2200 (en zijn er extra kosten en risico's)?

In de periode tot 2200 zullen de pompen regelmatig vervangen moeten worden (afhankelijk uiteraard van of ze ver voor 2200 geïnstalleerd worden). De levensduur van een pomp is ongeveer 25-30 jaar. De slijtage van een pomp is afhankelijk van het gebruik. In de praktijk wordt ook vaak vervanging geadviseerd na zo'n 80.000 draaiuren. Dat is een flinke

kostenpost, maar de kosten voor alternatieven (zoals hogere dijken) zijn ook hoog en deze moeten ook onderhouden worden. Als exact hetzelfde type pompturbine ingezet wordt, kan vervanging relatief snel geregeld worden. Het niet beschikbaar zijn tijdens vervanging zou daarom geen risico moeten zijn. En als er een hoogwater op komst is kan de vervanging altijd even uitgesteld worden. Het vervangen van pompen door grotere pompen is vaak niet mogelijk in een bestaande civiele constructie. Indien er op gegeven moment meer pompcapaciteit nodig is, moet middels een ontwerpproces opnieuw worden gekeken naar de plaatsing van nieuwe pompen en het mogelijk hergebruik van de oude civiele constructie. De vervanging daarvan zal meer tijd vergen.

[7] Wat is de Technical Readiness Level (TRL) van de gewenste pomptechnieken (wat is de beschikbaarheid/ opschaalbaarheid van grote pompen)?

De besproken systemen zoals pompturbines worden al toegepast in de getijdenenergie. Die hebben dus het hoogste TRL level (9).

[8] Wat is de levensduur van een pompinstallatie en moet een heel complex worden vervangen of gaat het om onderdelen?

De levensduur is ongeveer gelijk aan 25-30 jaar voor de pompen/turbines zelf (~80.000 draaiuren). Civiele werken, zoals de turbine-tunnel kunnen langer mee (60-100 jaar). ICT middelen moeten ongeveer elke 10 jaar vervangen worden. Verder zullen regelmatig mensen aangenomen en opgeleid worden. Immers, mensen met benodigde kennis gaan in de regel niet 25 jaar mee. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor kritieke infrastructuur.

4 Duurzaamheid

[9] Is de strategie pompen duurzaam te krijgen (energieverbruik)?

Het energieverbruik van de pompen is te overzien (zie het voorbeeld in bijlage A). Pompen kan tot grote hoogten van zeespiegelstijging nog tegen relatief beperkte kosten (ten opzichte van het BBP) worden ingezet. Die kosten zijn verdedigbaar, gezien het hogere doel, het beschermen van inwoners, kapitaal en economie van Nederland. Daarbij komt dat een alternatieve strategie zoals het bouwen van hogere dijken ook niet 100% duurzaam is. De pompen zullen regelmatig (elke 25-30 jaar) vervangen moeten worden, hetgeen ook een CO₂-afdruk met zich mee brengt. Maar wederom geldt dat ook voor dijken, die ook regelmatig versterkt moeten worden.

Conclusie: volledig duurzaam krijgen is, met de huidige stand der techniek, niet mogelijk, maar dat geldt voor alle alternatieven. De mate van duurzaamheid is één van de criteria die meegewogen moet worden bij toekomstige besluiten over strategieën.

[10] Is pompen schadelijk voor vismigratie en zoogdieren?

Dit is een belangrijk aandachtspunt. De mate van potentiële schade hangt in de eerste plaats af van het feit of de locatie van de pomp een belangrijke passage is in vismigratie-routes. Het visvriendelijk maken van pompen wordt niet als onoverkomelijk gezien. De pompindustrie en de wetenschap zouden hier echter nog wel meer op uitgedaagd kunnen worden.

De mate van visvriendelijkheid (of schadelijkheid) van pompen hangt af van onder meer het aantal bladen, de rotatiesnelheid, de bladhoek, eventuele spleten waar vissen tussen kunnen komen en drukverlagingen. Dit onderwerp is zeer actueel en speelt bijvoorbeeld bij veel poldergemalen. Het is mogelijk om bestaande pompen (meer) visvriendelijk te maken. Dit resulteert vaak in iets grotere pompen.

Er zijn reeds pompwaaiers (b.v. de Hydrostalwaaier) die meer visvriendelijk zijn. Of deze pompwaaiers ook geschikt zijn voor grote debieten (tientallen tot honderden m³/s) is echter nog niet conceptueel aangegeven, laat staan getest. Visvriendelijkheid kan worden getest volgens de regels zoals beschreven in de NEN norm NEN 8775:2020+C1:2022 nl. De mate van visvriendelijkheid wordt gekwantificeerd als het percentage vissen dat (on-)beschadigd de pomp passeert (afgeleid per soort en lengteklasse). Bij voorkeur is het percentage beschadigde vissen natuurlijk gelijk aan 0%, maar het kan zijn dat er een iets hoger percentage wordt toegelaten in de milieuvergunning.

5 Ruimtebeslag

[11] Is er voldoende ruimtebeslag voor pompen van de orde die KP ZSS en ISWP voorzien in de diverse varianten?

De beschikbaarheid van voldoende ruimte is voor de RMM een grotere uitdaging dan voor het IJsselmeer. De benodigde pompcapaciteit voor het IJsselmeer (maximaal orde 3.000 m³/s) is substantieel kleiner dan de benodigde pompcapaciteit in de meest "extreme" doorgerekende variant voor de RMM (orde 15.000 m³/s). Verder biedt de Afsluitdijk met een totale lengte van 32 km meer opties voor pomplocaties dan de gezamenlijke lengte van (toekomstige) dammen in de RMM.

Maar ook in de genoemde variant voor de RMM met orde 15.000 m³/s is er (theoretisch) voldoende ruimte. Dit is uitgewerkt door het consortium beschermen (van der Biezen et al., 2024), zie ook bijlage A van dit memo. De Haringvliet is voldoende breed om 16.000m³/s af te voeren met pompturbines. In de praktijk zijn er naar verwachting nog wel uitdagingen te verwachten op dit punt, bijvoorbeeld als gevolg van eisen vanuit andere functies zoals ecologie, scheepvaart en morfologie. Verder zijn er ook lokaal technische uitdagingen te verwachten, zoals voldoende diepgang bovenstrooms van de pompturbines. Ten slotte zal niet alleen ruimte nodig zijn voor de pompen zelf, maar ook voor energietoevoer en bekabeling en voor faciliteiten ten behoeve van beheer en onderhoud.

[12] Zal deze ruimte gereserveerd moeten worden?

Het tijdig reserveren van ruimte is van groot belang om strategieën met grootschalige pompcapaciteit als haalbaar alternatief in stand te houden. Het is echter de vraag of de ruimte in het rivierbed rondom bestaande en potentieel toekomstige dammen eenvoudig gereserveerd kan worden. En om te kunnen reserveren moet al uitgewerkt zijn wat de optimale locatie is van de pompen en welke pompcapaciteit (en ruimte) te zijner tijd nodig is. Dat stadium is nu nog niet bereikt. En als dat stadium wel bereikt wordt, accepteert de maatschappij het dan om de reservering voor een eventueel in de verre toekomst te installeren pompen ten koste te laten gaan van economische activiteiten in het heden? Een voordeel is wel dat veel kunstwerken / stormvloedkeringen al van Rijkswaterstaat zijn, en dat daarmee al veel ruimte gealloceerd is.

Daarnaast moet er ruimte worden gereserveerd op het stroomnet, aangezien een dergelijk groot pompstation ook een grote netaansluiting nodig heeft.

6 Conclusies

De inzet van pompen in de Rijn-Maas monding (RMM) in een mogelijk toekomstige strategie met een *Gesloten Zeefront* vraagt om een substantieel grotere pompcapaciteit dan in het IJsselmeer, als gevolg van een ongunstiger verhouding tussen rivierafvoer en bergingsoppervlak. Daaruit kan beredeneerd worden dat de inzet van pompcapaciteit in de RMM minder effectief is dan in het IJsselmeergebied. Echter, door het consortium Beschermen (Van der Biezen et al., 2024) is aangetoond dat de inzet van grootschalige pompcapaciteit in de Rijn-Maas monding (RMM) in een toestand van een *Gesloten Zeefront* een “competitieve” strategie is in een toekomst met meerdere meters zeespiegelstijging.

Voor de situatie met een *Afgesloten-Open Rijn Maasmonding* (huidig en mogelijke toekomstige strategie-verlengende varianten) is in een recent rapport (Ter Horst et al., 2025) aangetoond dat de meerwaarde van pompen in de RMM voor waterveiligheid zeer beperkt is. Die uitkomst is vooral ingegeven doordat het open-afsluitbare karakter van het gebied aangehouden wordt en de binnenwaterstand dus meestijgt met de zeespiegel. Pompen worden alleen (mogelijk) ingezet als de kering gesloten is. De geconstateerde beperkte meerwaarde van pompen in die situatie is verder ingegeven door het feit dat pompen in genoemde studie beschouwd zijn als *aanvullende* maatregel bovenop twee andere potentieel strategie-verlengende maatregelen. Deze andere twee maatregelen zorgen er voor dat (bijna) de maximaal haalbare reductie van maatgevende waterstanden gerealiseerd wordt. Het gevolg is dat er slechts beperkte mogelijkheden zijn om met aanvullende maatregelen een verdere reductie van maatgevende waterstanden te realiseren. Pompen kunnen daardoor weinig meerwaarde brengen in deze opzet. In een andere opzet, waarbij pompen als enige strategie-verlengende maatregel worden doorgerekend, zou de meerwaarde van pompen wellicht groter kunnen zijn.

Indien in de toekomst besloten worden tot een strategie met grootschalige inzet van pompen in de RMM, dan zijn er diverse praktische uitdagingen, zoals:

- het minimaliseren van het risico op uitval c.q. het garanderen van dat de pompcapaciteit beschikbaar is op het moment dat het nodig is.
- het visvriendelijk maken van pompen;
- het reserveren van voldoende ruimte;
- het aanvoeren van voldoende energie;

Deze uitdagingen zijn besproken in dit memo en geen daarvan lijkt onoverkomelijk.

7 Referenties

- Deltares, 2025: Ontwikkeling spuumogelijkheden IJmuiden. Deltares rapport, mei 2025.
- Remmelzwaal, A., A. Kors, I. Tánzos, H. Berger & J. Helmer, 2018. Technische en economische analyse van langetermijn-strategieën voor peilbeheer in het IJsselmeergebied: Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied fase 3. Rijkswaterstaat WVL.
- Ter Horst, W., Kuijper, B., Botterhuis, T., Stijnen, J., David Knops: Strategieverlengende maatregelen KP-ZSS voor de Rijn-Maasmonding.; Rapport HKV en RWS, januari 2025.
- Van der Biezen et al., 2024: Technisch-fysische uitwerking oplossingsrichting Beschermen. Rapport consortium Beschermen in opdracht van het kennisprogramma zeespiegelstijging, februari 2024

Bijlage A rekenvoorbeeld capaciteit pompen en pompturbines

Het rekenvoorbeeld op de volgende pagina is afkomstig uit Van der Biezen et al., [2024]. Het toont voor de vier strategieën die door het Consortium Beschermen zijn opgesteld een aantal kenmerken van pompen zoals:

- De totale benodigde pompcapaciteit
- Het benodigde aantal pompen (voor zowel axiaalpompen als pompturbines)
- Kosten voor verbruik elektriciteit
- Ruimtebeslag

Deze kentallen zijn afgeleid voor 2 m en 5,4 m zeespiegelstijging.

			Pomp		Umluiden axiaalpom	Hydropower bulb turbine
dichtheid (rho)	kg/m3	1000	Qpomp	m3/s	50	300
zwaartekrachtversnelling (g)	m/s2	9.81	overcapaciteit pomp		10%	10%
efficiëntie pomp	-	70%	u_bell	m/s	2	2
prijs elektriciteit	€/kWh	0.07	D_bell	m	5.64	13.82
			D_waaiër	m	2.82	6.91
			Compartment breedte	m	11.8	15.2
			Qpomp / breedte	m3/s / m	4.2	19.7

pomp + in/out
ref: KEV 2022



	gemiddelde afvoer
	max afvoer

narratieven →		A1 - max - 5,4m	A1 - 2m	A2/B1 - 5,4m	A2/B1 - 2m	B2 - 5,4m	B2 - 2m	A1/A2 - 2m	A1/A2 - 5,4m	B2 - 2m	B2 - 5,4m
Q	m3/s	16000	5000	3000	3000	2500	2500	2000	2000	420	420
h	m	5	2	5.4	2	5.4	2	2	5.4	2	5.4
P	kW	1121143	140143	227031	84086	189193	70071	56057	151354	11772	31784
	MW	1121	140	227	84	189	70	56	151	12	32
aantal windmolens	@10MW/stuk	112	14	23	8	19	7	6	15	1	3
energie / dag	MWh	26907	3363	5449	2018	4541	1682	1345	3633	283	763
Elek. kosten / dag		€ 1,883,520	€ 235,440	€ 381,413	€ 141,264	€ 317,844	€ 117,720	€ 94,176	€ 254,275	€ 19,777	€ 53,398
Elek. kosten / jaar		-	-	-	-	-	-	€ 34,374,240	€ 92,810,448	€ 7,218,590	€ 19,490,194

axiaal pomp											
aantal axiaalpompen	-	352	100	60	60	50	50	40	40	8.4	8.4
breedte inlaat	m	4170	1185	711	711	592	592	474	474	100	100
bulb turbine											
aantal hydropompen	-	59	18	11	11	9	9	7	7	2	2
breedte inlaat	m	892	279	167	167	139	139	111	111	23	23

Nieuwe Waterweg	m	575	* voor maxflow: veel pompen/turbines in standby → afwisseling tussen pompen nodig								
Haringvliet	m	2500	* in geval van gebruik turbines: combinatie met Delta 21 mogelijk								
Grevelingen	m	5700									
Oosterschelde	m	7800									
Westerschelde	m	4100									