

ROBAMCI

CASE KUNSTWERKEN - GEMAAL IJMUIDEN

Auteurs (alfabetische volgorde):

Mark de Bel, Giel Klanker, Wouter Jan Klerk, Jos Wessels, Wouter van der Wiel, Auke de Wit

M.m.v.

Thijs Jansen, Marcel Sminia

Datum:

27-06-2016

Inhoudsopgave

Inhoud

Inhoudsopgave.....	2
1 Inleiding.....	5
1.1 ROBAMCI (Risk and Opportunity Based Asset Management for Critical Infrastructures).....	5
1.2 Doelstelling spoor kunstwerken (case IJmuiden)	5
1.3 Uitgangspunten en scope	6
1.4 Aanpak	7
1.5 Leeswijzer.....	7
2 Methode	8
3 Systeemanalyse en modelinvoer	10
3.1 Karakterisering van het NZK/ARK systeem	10
3.1.1 De werking van het systeem	10
3.1.2 Schematisering van het NZK/ARK-systeem.....	11
3.1.3 Schade bij peiloverschrijding	12
3.1.1 Eisen aan het maximale peil	13
3.2 Mogelijke ingrepen in de tijd	13
3.2.1 Oplossingsrichtingen.....	13
3.2.2 Strategieën	14
3.3 Ontwikkeling van het systeem	15
3.3.1 Scenario's	15
3.3.2 Levensduur objecten.....	15
3.4 Prestatie, kosten en risico's	16
3.4.1 Kosten	16
3.4.2 Risico	17
4 Resultaten	18
4.1 Adaptatiepaden	18
4.2 Invloed op de afvoercapaciteit	21
4.3 Kosten	22
4.4 Gevoeligheidsanalyse risico	26
5 Conclusies & aanbevelingen	27

5.1	Conclusies	27
5.2	Aanbevelingen case IJmuiden.....	27
5.2.1	Nieuwe case t.b.v. ROBAMCI	27
	Referenties.....	29
	Bijlage 1: Jaarlijkse kosten	30

Lijst van Tabellen

Tabel 1: Relatie tussen oppervlakte hoofdwatersysteem, peilstijging of daling en verandering in benodigde capaciteit.....	11
Tabel 2: Peilniveaus voor het ARK/NZK met bijbehorende eisen, consequenties bij overschrijden en mogelijke beheersmaatregelen	12
Tabel 3: Peilniveaus voor het ARK/NZK met bijbehorende kosten voor optredende schade bij overschrijding.....	13
Tabel 4: Gehanteerde scenario's voor de peilstijging en gerelateerde benodigde extra afvoercapaciteit per jaar.....	15
Tabel 5: Kosten voor de verschillende ingrepen.....	17
Tabel 6 Overzicht van de gevonden resultaten. In rood is de duurste strategie per scenario aangegeven, in groen de goedkoopste.....	22
Tabel 7: Overzicht van de resultaten met een gereduceerd risico.....	26

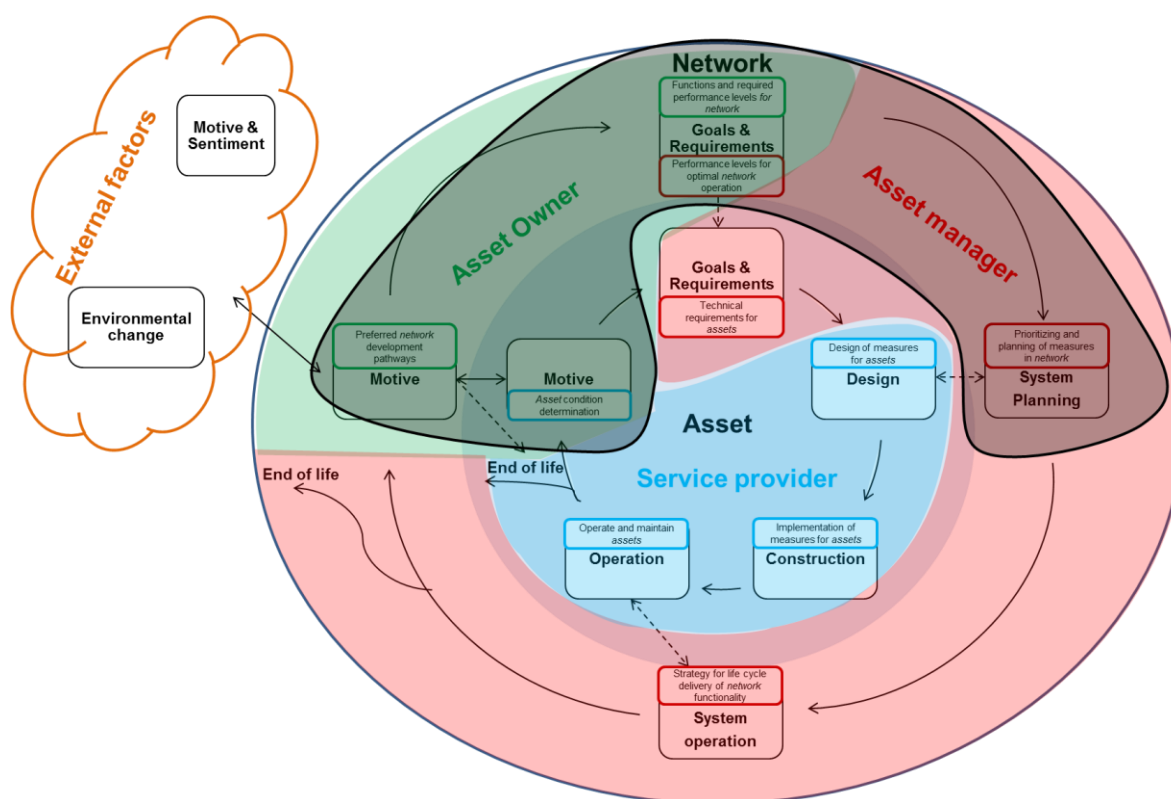
Lijst van Figuren

Figuur 1 Casus kunstwerken (zwarte vlek) in ROBAMCI framework of analysis (Klerk 2015)	5
Figuur 2: principe systeembenadering (http://www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl/upload/documents/tinymce/2-Stel-niet-uit-tot-morgen-Ida-de-Groot.pdf)	8
Figuur 3: Beeld van de benodigde informatie en mee te nemen aspecten	9
Figuur 4: Rekenopzet analyse op systeemniveau	10
Figuur 5: Afvoerpunten van het NZK/ARK-systeem (VONK, 2015)	11
Figuur 6: Oplossingsrichtingen gedefinieerd in VONK (2015)	14
Figuur 7: Voorbeeld adaptatiepad	15
Figuur 8: Legenda bij adaptatiepaden	18
Figuur 9: Adaptatiestrategieën bij scenario 1.....	19
Figuur 10: Adaptatiestrategieën bij scenario 2.....	19
Figuur 11: Adaptatiestrategieën bij scenario 3.....	20
Figuur 12: Afvoercapaciteit bij scenario 1 Figuur 13: Afvoercapaciteit bij scenario 2.....	21
Figuur 14: Afvoercapaciteit bij scenario 3	21
Figuur 15: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 1	23
Figuur 16: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 2	24
Figuur 17: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 3	25

1 Inleiding

1.1 ROBAMCI (Risk and Opportunity Based Asset Management for Critical Infrastructures)

Het onderzoeksprogramma ROBAMCI heeft als doel om kennis, methoden en tools te ontwikkelen en implementeren, waarmee significante efficiencywinst kan worden bereikt over de levenscyclus van 'publieke assets' en waarmee de transparantie van het beslisproces over aanleg, beheer en onderhoud en verbetering/vervanging wordt vergroot. Dit moet leiden tot een breed toepasbare methodiek, uitgerust met tools, die over de hele breedte van de GWW-sector in Nederland (en daarbuiten) toegepast wordt en de efficiency van investeringen verbeterd. Dit wordt bewerkstelligd door ervaringen, methoden en tools uit case studies terug te koppelen naar een centrale methode die ongeacht de toepassing op ieder soort asset wordt toegepast. Dit generieke en toepassing overkoepelende aspect, waar bijvoorbeeld waterkeringbeheerders leren van rioleringsbeheerders, is wat ROBAMCI uniek maakt. In de casus Kunstwerken wordt sterk gefocust op de netwerkdimensie van het in het centrale werkpakket ontwikkelde framework, zie hiervoor Figuur 1. Hierin wordt gefocust op het beschouwen van kunstwerken in een netwerkdimensie en het hieruit ontwikkelen van strategieën op met name tactisch niveau, op basis van strategische afwegingen en operationele gegevens over de technische levensduur.



Figuur 1 Casus kunstwerken (zwarte vlek) in ROBAMCI framework of analysis (Klerk 2015)

1.2 Doelstelling spoor kunstwerken (case IJmuiden)

Bij een vervangingsopgave van kunstwerken kan het kunstwerk op zichzelf worden beschouwd. Een dergelijke afbakening kan leiden tot suboptimale beslissingen. Door het toevoegen van een systeemperspectief, het kunstwerk als onderdeel van een systeem, kan blijken dat vergelijkbare

prestaties voor minder geld kunnen worden gerealiseerd. Als bijvoorbeeld een kunstwerk op technische eisen is afgekeurd maar de functie kan (deels) door andere kunstwerken worden overgenomen is het mogelijk het systeem met beperkte ingrepen (aan het betreffende kunstwerk en omliggende kunstwerken) voor langere tijd op orde te houden.

Het gemaal- en spuicomplex IJmuiden vervult een belangrijke rol in de afvoer van water vanuit 4 achterliggende waterschappen. Dit watersysteem kent naast het gemaal- en spuicomplex IJmuiden nog enkele andere kunstwerken die water kunnen afvoeren. Het is een complex systeem met verschillende “draaiknoppen”. Het gemaal- en spuicomplex IJmuiden is daarom een goede case om bovenstaande gedachten te toetsen.

Daartoe is getracht om in deze case studie adaptatiepaden op systeemniveau te schetsen, inclusief de maatschappelijke gevolgen van die adaptatiepaden. Daarmee is de eis aan het object (in dit geval “leveren van een bepaald debiet per seconde”) en zelfs de eis aan het systeem (in dit geval een overschrijdingsfrequentie van een bepaald peil in het achterland) losgelaten. Zo kunnen ingrepen aan verschillende objecten op verschillende momenten (strategieën) worden vergeleken. Het systeem moet daarbij zo kunnen worden beschreven dat de schade die optreedt onderdeel wordt van de kosten – baten analyse.

Op deze manier kan een integrale beschouwing ontstaan waar kosten voor renovatie en vervanging van verschillende objecten op verschillende momenten in de tijd kunnen worden afgewogen tegen de maatschappelijke belangen en waarin invloed van de onzekerheid over toekomstscenario's een rol speelt. Deze beschouwing moet leiden tot een toename van de oplossingsruimte of het handelingsperspectief van beslissers in het geval van einde technische of einde functionele levensduur. Daarvoor moet de methode informatie leveren om besluiten integraal en toch begrijpelijk te kunnen verantwoorden.

Het doel van deze studie is om de hierboven geschetste methode te testen en te ontdekken of de methode tot efficiëntere inzet van middelen kan leiden.

1.3 *Uitgangspunten en scope*

De keuze voor het gemaal IJmuiden is gestoeld op het feit dat voor dit object en het bijbehorende systeem al de nodige informatie beschikbaar is. Zowel analyses over het functioneren van het gemaal in het systeem als technische risicoanalyses en levensduurschattingen zijn beschikbaar. Zo is in het project VONK al een studie uitgevoerd naar de opties voor een lange termijn strategie voor het gemaal- en spuicomplex IJmuiden. In deze studie zijn adaptatiepaden voor het object, gegeven een eis voor het systeem, opgesteld. Daarbij is rekening gehouden met één toekomstscenario voor de neerslag. In het kader van het TO2-project Natte Kunstwerken van de Toekomst is in het systeemspoor een eerste globale verkenning uitgevoerd naar de huidige functionele eisen en de mogelijke oplossingen in het systeem.

Voor de mogelijke oplossingen wordt aan de hand van pompcapaciteit onder klimaatverandering en schades bij verschillende peilen een aantal adaptatiestrategieën voor het systeem als geheel gedefinieerd. Aan de hand van een aantal modelberekeningen levert dit een globaal beeld wat het integraal beschouwen van de verschillende assets in het systeem kan opleveren.

In de uitwerking van de case studie is gekozen voor een uitwerking om het model te kunnen toetsen. Hierbij zijn aannames gedaan die af kunnen wijken van eerdere studies en sterke vereenvoudigingen in de systeembeschrijving doorgevoerd. De uitkomsten van de case studie zijn daardoor niet zonder meer representatief en bruikbaar voor gemaal IJmuiden.

De case studie gaat uit van één functie, namelijk het voorkomen van een (te) hoog peil met als gevolg wateroverlast. Andere functies, zoals voorkomen van (te) laag peil, wat ook ongewenste gevolgen kan hebben voor bijvoorbeeld de scheepvaart is dus niet meegenomen in de analyse.

1.4 Aanpak

De studie is uitgevoerd in een samenwerkingsverband. Twee ingenieursbureaus, twee kennisinstellingen en één beheerder werkten samen in het team. Eén engineering software bedrijf is gedeeltelijk betrokken geweest.

Allereerst is door het team vastgesteld welke ontwikkeling kan worden gemaakt, die verder gaat dan de huidige praktijk en die zinvol lijkt om toekomstig beheer te optimaliseren. Bovenstaande inleiding is daarvan het resultaat.

Vervolgens is een schematische opzet gemaakt van de wijze waarop dit principe in een model zou kunnen worden vormgegeven. Dit is enkele keren besproken en aangepast. Parallel daaraan zijn gegevens verzameld die nodig waren om het model te kunnen vullen. Dit betreft informatie over einde levensduur van alle relevante objecten in het gebied, kosten informatie, informatie over de werking van het systeem en informatie over de schade die bij bepaalde mate van wateroverlast zou kunnen ontstaan.

Het uiteindelijke ontwerp van het model is in eerste instantie in EXCEL opgezet. Het team heeft een aantal strategieën besproken die vervolgens zijn doorgerekend. De antwoorden zijn besproken in het team. Daarna is het model omgezet naar een script in Python, zijn enkele aanpassingen gedaan in de strategieën en is het uiteindelijke rapport tot stand gekomen. Op basis van de uitkomsten zijn conclusies t.a.v. de haalbaarheid van de aanpak en de kansen die de aanpak levert getrokken en is een beeld gegeven van vervolgstappen om het model bruikbaar te maken voor realistische strategieën voor IJmuiden. Ook is een beeld geschetst van gewenste vervolg van de studie binnen het ROBAMCI project.

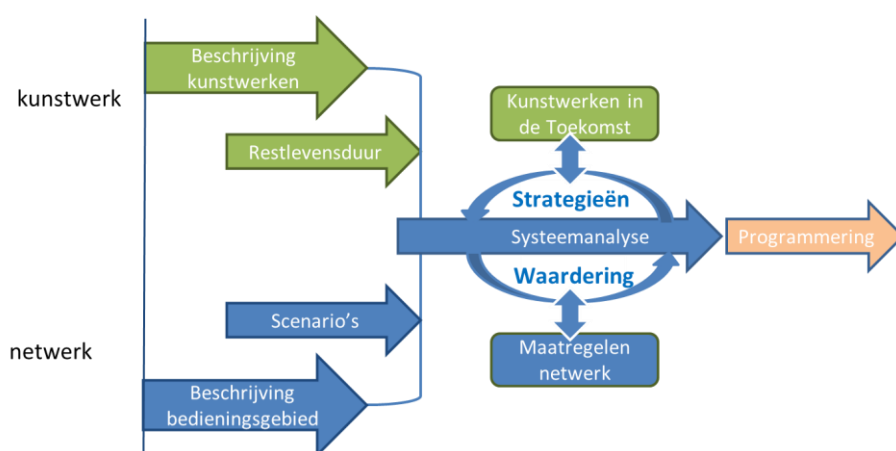
1.5 Leeswijzer

Deze rapportage vat de resultaten van de case studie naar gemaal IJmuiden samen. In hoofdstuk 2 is de gehanteerde methode met bijbehorende uitgangspunten en scope beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het onderwerp van de case studie(gemaal IJmuiden en het systeem Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal) en van het toepassen van de methode voor deze case. De resultaten van de case studie zijn samengevat in hoofdstuk 4. Afgesloten wordt met de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5).

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt de opzet van de methode uiteengezet. Hiervoor wordt eerst stapsgewijs de informatie besproken die nodig is en vervolgens de wijze waarop de informatie gekoppeld wordt.

Het principe van de “systeembenadering” is hieronder in Figuur 2 geschematiseerd. Het doel van de analyses is uiteindelijk om een programma met maatregelen voor het systeem op te stellen. Daarvoor is een beeld nodig van het systeem en de daarin aanwezige kunstwerken, een beeld van de perioden waarin deze kunstwerken het einde van hun (technische of functionele) levensduur bereiken en een beeld van de ontwikkeling van omgevingsfactoren in de toekomst (scenario’s), zoals de betekenis voor het systeem van de verwachte klimaatverandering. De gegevens kunnen geanalyseerd worden door middel van modellen, er kunnen strategieën worden ontwikkeld voor de maatregelen en de uitkomsten daarvan kunnen gewaardeerd worden. De keuze voor de “beste” strategie wordt de programmering genoemd.



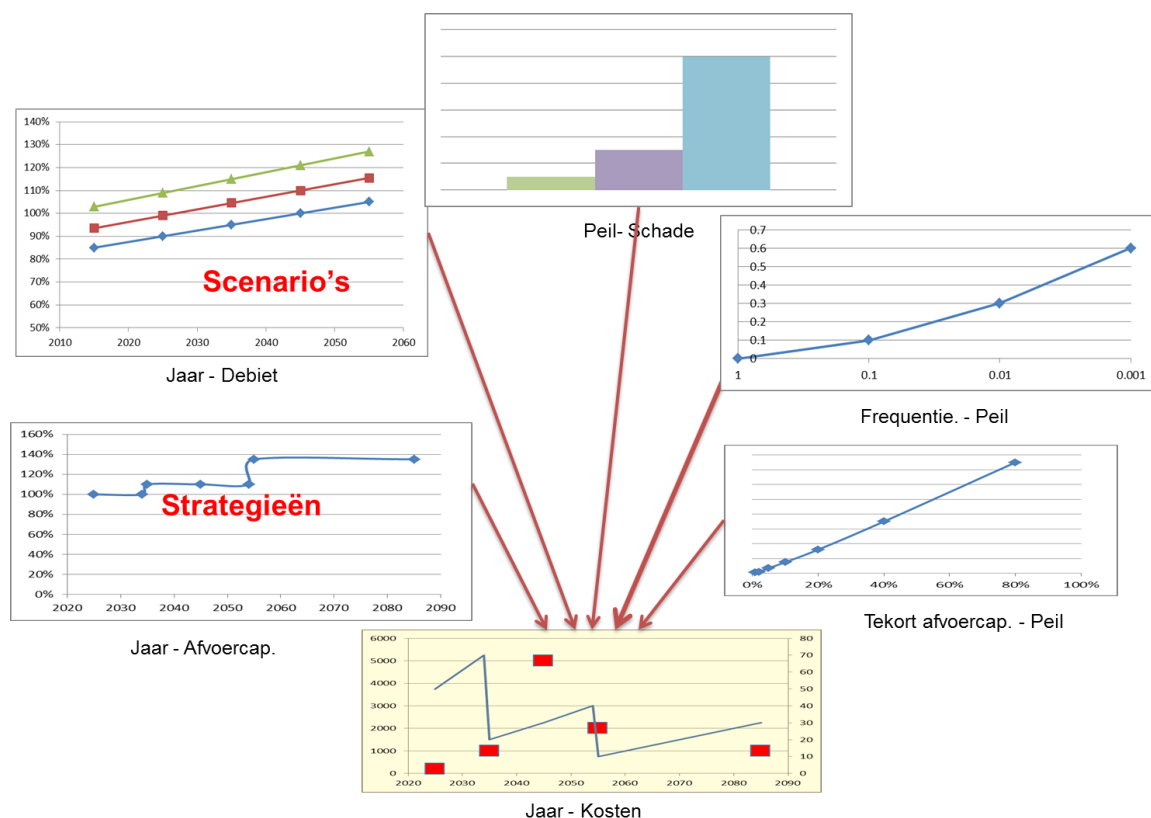
Figuur 2: principe systeembenadering (<http://www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl/upload/documents/tinyMCE/2-Stel-niet-uit-tot-morgen-Ida-de-Groot.pdf>)

In Figuur 3 is een beeld gegeven van de aspecten die moeten worden meegenomen in de analyse van het systeem. In Figuur 3 is dit omgezet in een opzet voor een berekening. Er zijn 4 hoofdonderdelen die ook stroken met onderdelen uit Figuur 2, deze worden hieronder besproken:

- Karakterisering van het systeem: uitgaande van een systeem voor de functie ‘afvoer van water’, waarbij het peil gehandhaafd moet worden, zijn er twee hoofdonderdelen van het systeem:
 - Hoe relateert de afvoercapaciteit van de kunstwerken aan het handhaafbare peil?
 - Wat is de schade wanneer een peil overschreden wordt?

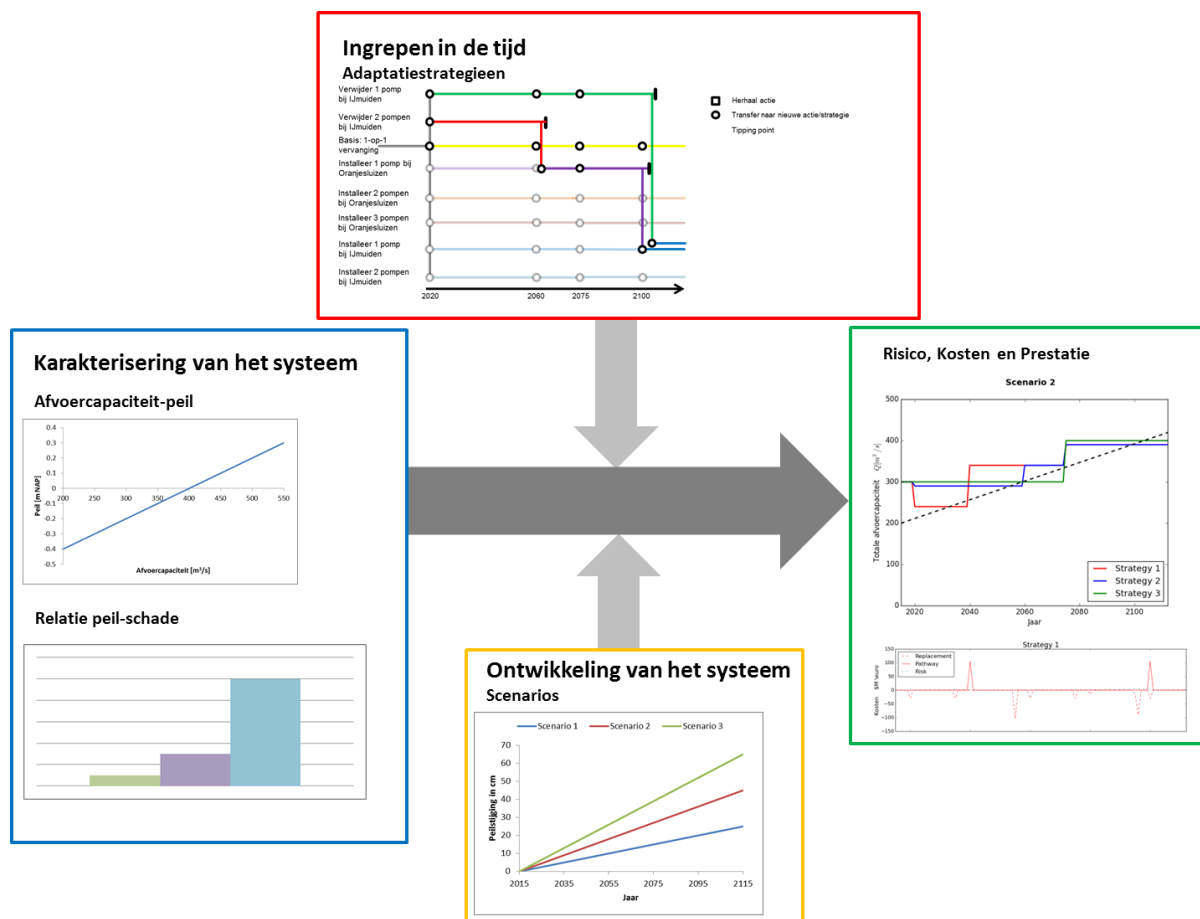
Aan de hand van deze twee vragen is het mogelijk om een prestatie in de vorm van een gerealiseerde afvoercapaciteit te relateren aan een peil en vervolgens aan een schade. De eerste vraag kan beantwoord worden met bijvoorbeeld een SOBEK-model, in deze studie is gekozen voor een sterk vereenvoudigde bergingsbenadering. Hier wordt in paragraaf 3.1 verder op ingegaan.

- Ontwikkeling van het systeem: dit onderdeel beschrijft de verwachte ontwikkeling van het systeem in de tijd. Hierin kunnen bijvoorbeeld economische groei (meer schade) en klimaatverandering (meer regen, lagere afvoercapaciteit door grotere opvoerhoogtes) meegenomen worden. In dit geval is gekozen voor een scenariobenadering voor de ontwikkeling van de pompcapaciteit in de tijd.
- Ingrepen in de tijd: gedurende de beschouwde tijdsperiode worden ingrepen gedaan. Naast 1-op-1 vervangingen om de functie te handhaven kunnen, afhankelijk van het scenario, ook extra ingrepen nodig zijn wanneer niet meer aan de gestelde eisen wordt voldaan. Deze ingrepen kunnen worden beschreven met behulp van adaptatiepaden.
- Risico, Kosten en Prestatie: resultaten zijn samen te vatten in 3 hoofdeenheden:
 - Risico: het risico wat ieder jaar gelopen wordt als product van schade en kans op peiloverschrijding.
 - Kosten: uitgaven voor vervangingen en uitbreidingen van de afvoercapaciteit
 - Prestatie: afvoercapaciteit of 'handhaafbaar' peil.



Figuur 3: Beeld van de benodigde informatie en mee te nemen aspecten

In het volgende hoofdstuk wordt de methode verder uitgewerkt voor het NZK/ARK-systeem waar het gemaal- en spuicomplex IJmuiden deel van uitmaakt.



Figuur 4: Rekenopzet analyse op systeemniveau

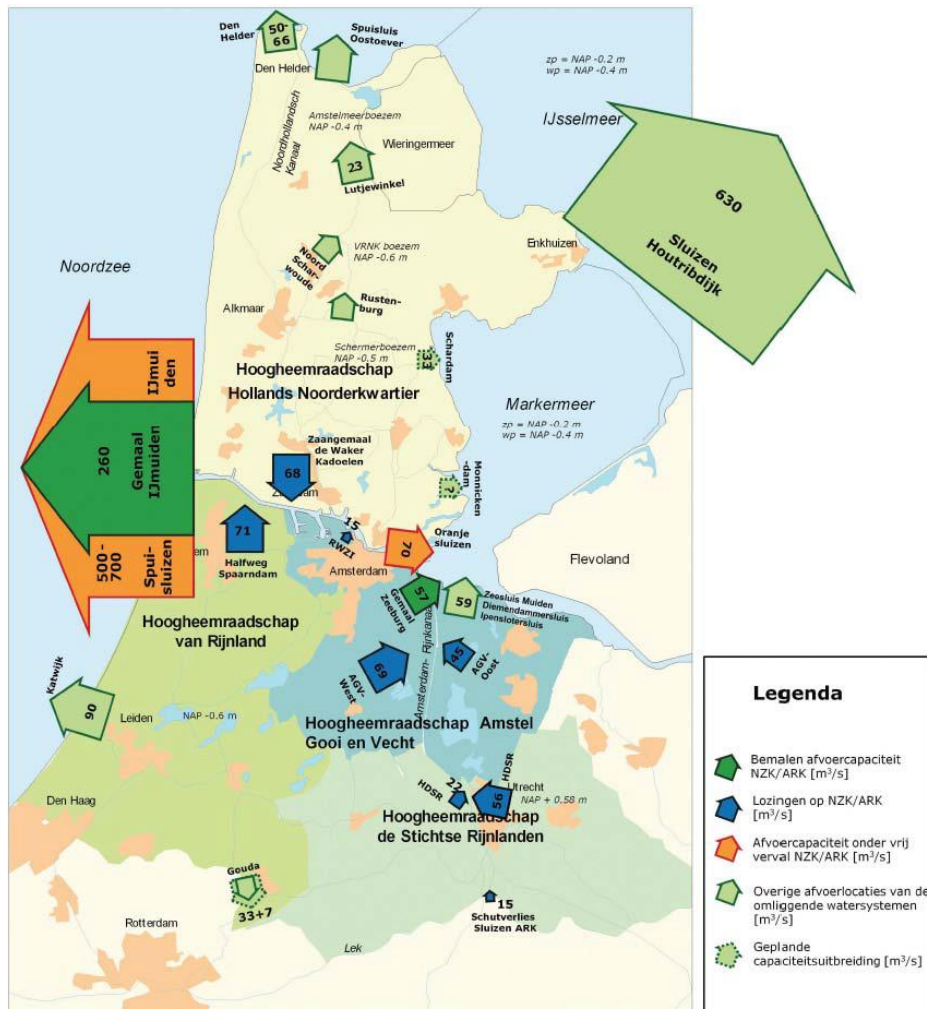
3 Systeemanalyse en modelinvoer

3.1 Karakterisering van het NZK/ARK systeem

Dit hoofdstuk is op hoofdlijnen afkomstig uit het memorandum van Klerk (2015), over draaiknoppen in het NZK/ARK systeem en is een selectie van voor deze studie belangrijke punten.

3.1.1 De werking van het systeem

Via het systeem Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal wordt water vanuit 4 omliggende waterschappen (Hollands Noorderkwartier, Rijnland, Stichtse Rijnlanden en Amstel, Gooi en Vecht) en daarmee het grootste gedeelte van West-Nederland afgevoerd. Figuur 5 geeft een overzicht van het systeem. Hieruit blijkt dat de afvoer van het systeem zeer sterk op het gemaal IJmuiden is gericht. Het gemaal IJmuiden bestaat uit een zestal pompen met een geschatte totale afvoercapaciteit van 260 m³/s. het oorspronkelijke gemaal is gebouwd in de jaren 70 met vier pompen met een capaciteit van 160 m³/s, begin 21^e eeuw is deze capaciteit uitgebreid door twee pompen toe te voegen. Naast het gemaal is de spuisluis IJmuiden gelegen. De spuisluis en het gemaal verzorgen gezamenlijk een groot deel van de afvoer van het systeem. Daarbij wordt geoptimaliseerd om zoveel mogelijk onder vrij verval water te kunnen spuien op de Noordzee.



Figuur 5: Afvoerpunten van het NZK/ARK-systeem (VONK, 2015)

De veelheid van pijlen toont de grote complexiteit van het systeem, vanwege deze complexiteit is het goed mogelijk dat het in de toekomst effectiever kan zijn om via een andere route water af te voeren.

3.1.2 Schematisering van het NZK/ARK-systeem

Voor sterk vereenvoudigde analyse is in deze case studie een grove kombergingsbenadering gehanteerd, toegelicht in Tabel 1. Hierin is te zien dat, aan de hand van het oppervlakte van het systeem, en uitgaande van een piekduur van 24 uur, een extra afvoercapaciteit van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ bij benadering gelijk staat aan ongeveer 0.1 meter daling van het waterpeil.

Tabel 1: Relatie tussen oppervlakte hoofdwatersysteem, peilstijging of daling en verandering in benodigde capaciteit

Oppervlakte hoofdwatersysteem	$39.000.000 \text{ m}^2$
Totaal volume 0,10 m waterstands daling	$3.900.000 \text{ m}^3$
Duur piek	24 uur
Benodigde maalcapaciteit	$45,14 \text{ m}^3/\text{s}$ (afgerond $50 \text{ m}^3/\text{s}$)

Deze benadering heeft als belangrijke consequentie dat het in principe geen verschil maakt waar een pomp wordt bijgeplaatst. In werkelijkheid zal dit wat complexer liggen en kan capaciteit van aanvoerroutes bijvoorbeeld een rol spelen. Voor deze studie wordt aangenomen dat capaciteiten zijn zoals aangegeven in de VONK-kaart en dat voor iedere plaats in het systeem geldt dan 50 m³/s extra afvoercapaciteit gelijk staat aan een peildaling van 0.1 meter. Dit staat tevens bij benadering gelijk aan 1 decimeringshoogte (d.w.z. het absolute verschil tussen een peil met een 10 x zo vaak of zo weinig voorkomend peil). Daarnaast worden alle relaties als lineair beschouwd, waar het werkelijke systeem zich vaak niet-lineair zal gedragen. Bovendien zal in werkelijkheid een groot deel van de afvoer gespuid worden onder vrij verval, in dit geval wordt dus enkel gekeken naar de pompen.

3.1.3 Schade bij peiloverschrijding

Om bij de verschillende strategieën voor beheer van het NZK/ARK-systeem een goede inschatting te kunnen maken van het effect van het niet uitvoeren van maatregelen is een inschatting gemaakt naar de verwachte schade bij het optreden van een aantal vastgestelde afwijkende peilniveaus. In het dagelijks beheer wordt gestreefd naar een daggemiddelde waterstand op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal van NAP -0,40 m, zoals is vastgesteld in het Peilbesluit Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Tabel 3 geeft een overzicht van verschillende afwijkende peilen, vastgelegde eisen, consequenties en beheersmaatregelen op basis van communicatie met Waternet en het 'Waterakkoord Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal'.

Tabel 2: Peilniveaus voor het ARK/NZK met bijbehorende eisen, consequenties bij overschrijden en mogelijke beheersmaatregelen

Peilniveau [m NAP]	Eisen	Mogelijke Consequenties	Beheersmaatregelen
-0,30	Alarmpeil, officieel 'wateroverlast'	geen	RWS kan waterschappen verzoeken spuivolume te minimaliseren
-0,20		Water stroomt riool Amsterdam in.	Amstelland West en Amsterdam moeten worden afgegrensd van ARK/NZK bij IJfront en ARK-front (west).
-0,10		Problemen afwatering 's-Gravelandsche vaart	geen
0,0		Kans op wateroverlast in regionaal systeem	RWS kan maalstop afkondigen.

De in tabel 3 genoemde consequenties zijn niet alle effecten/schades die optreden bij de genoemde waterstanden. Zonder de regionale beheerders te benaderen (dit is een afspraak geweest binnen het casestudie team en Rijkswaterstaat) is op basis van openbare publicaties getracht een gevoel te krijgen op de problematiek/schade die optreedt bij de verschillende peilniveaus. Een overzicht hiervan, inclusief bronvermelding, is opgenomen in Bijlage 1. Bij de optredende effecten is ook een indicatie gegeven van de verwachte kosten die gepaard gaan met de optredende effecten. Daarnaast zijn er in de tabel ook een groot aantal effecten benoemd die niet direct zijn om te rekenen in euro's.

Tabel 3: Peilniveaus voor het ARK/NZK met bijbehorende kosten voor optredende schade bij overschrijding

Peilniveau [m NAP]	optredende schade in euro's
-0,30	75.000,-
-0,20	300.000,-
-0,10	1.600.000,-
0,0	101.600.000,-

Duidelijk is dat dit onderzoek naar mogelijke schades een vingeroefening is om te kijken of de aanpak binnen de case natte kunstwerken van ROBAMCI zou kunnen werken. Voor een goede inschatting van schades is een grootschalig en compleet onderzoek nodig naar de samenhang en de effecten van de verschillende waterstanden op het systeem ARK/NZK. De geringe schade bij de overschrijding van de onderzochte waterstanden die uit deze (beperkte) studie komt, sluit aan bij de gesignaleerde consequenties en de huidige praktijk. In de berekeningen wordt voor waterniveau's tussen 0 en 0,3 m NAP een parabolisch toenemende schade aangenomen waarbij voor 0,3 m NAP een schade van € 1.000.000.000,- geldt (voor 0,1 m NAP geeft dat € 200.000.000,- en voor 0,2 m NAP €500.000.000,-). Daarboven is de schade afgetopt op datzelfde niveau. Opgemerkt dient te worden dat schadeschattingen voor waterniveaus boven maalstoppeil van de waterschappen complex is, aangezien dit tot veel lokale wateroverlast zal leiden, waarbij de schade sterk afhankelijk is van eventuele beheersmaatregelen van de verschillende waterschappen.

3.1.1 Eisen aan het maximale peil

Uit navraag bij omringende waterschappen en Rijkswaterstaat blijkt dat er geen duidelijke eis is gesteld aan het peil wat maximaal 1 keer per 100 jaar mag voorkomen in het systeem. In 2013 is door IV-Infra een probabilistisch prestatieraamwerk opgesteld voor het gemaal IJmuiden (van der Wiel et al. 2013), in deze studie wordt gesuggereerd dat een (toekomstig) peil van 0,20 m NAP wat 1/100 jaar wordt overschreden acceptabel wordt geacht. In het VONK-rapport over het systeem uit 2014, wordt het alarmpeil (dat dus niet vergelijkbaar is met het bovenstaande peil en veel vaker dan 1 keer per 100 jaar zal worden overschreden) van -0.3 m NAP gehanteerd. Volledige duidelijkheid over de huidige eis is in de studie niet gezocht, omdat het voor het doel minder relevant is. In de berekeningen is uitgegaan van een eis van 0 m NAP met een terugkeertijd van 100 jaar.

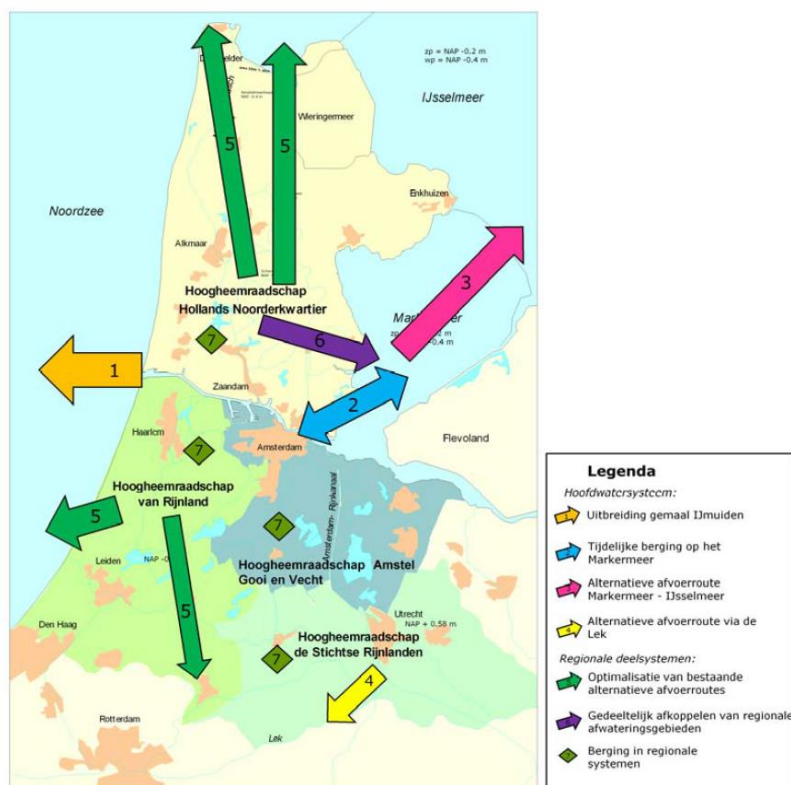
3.2 Mogelijke ingrepen in de tijd

3.2.1 Oplossingsrichtingen

In de VONK-studie uit 2014 zijn 7 oplossingsrichtingen vastgesteld voor het toekomstig uitbreiden van de pompcapaciteit om in het systeem ook op lange termijn aan de gestelde eisen te voldoen ook bij verhoogde neerslag in de toekomst (zie Figuur 6). In Klerk (2015) is dit gereduceerd tot een viertal oplossingen te weten:

- Uitbreiding gemaal IJmuiden
- Uitbreiding gemaal Zeeburg (let op: gemaal Zeeburg kan niet uitgebreid worden, het gaat hier om het vergroten van de afvoercapaciteit naar het Markermeer bij bijvoorbeeld de Oranjesluizen).
- Bouw van een gemaal bij de Beatrixsluis
- Uitbreiden van gemaal Gouda

In de studie wordt van deze vier oplossingen uitgegaan. Let wel: door de aanname dat afvoercapaciteit overal even effectief is, is uitbreiding van gemaal Gouda even effectief als gemaal IJmuiden. De werkelijkheid zal anders zijn omdat bijvoorbeeld bij Gouda de toevoercapaciteit van de kanalen veel kleiner is.

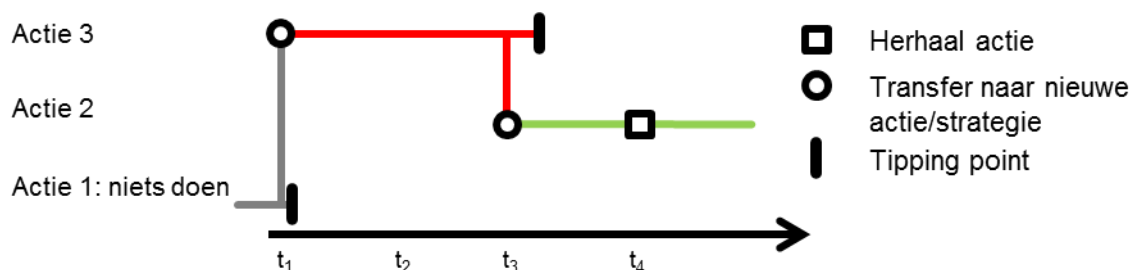


Figuur 6: Oplossingsrichtingen gedefinieerd in VONK (2015)

3.2.2 Strategieën

Volgens de aangenomen scenario's en capaciteiten is de huidige pompcapaciteit van het NZK/ARK systeem groter dan noodzakelijk voor een peileis van 0 m NAP met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 jaar. Omdat in 2020 een aantal pompen bij IJmuiden hun ETL bereikt, zou dat kunnen betekenen dat niet alle pompen worden vervangen, aangezien dit vanuit kosten-baten perspectief niet effectief zou zijn. Vraag is echter of dit ook op lange termijn een verstandige keuze is. Om dit te verkennen zijn een aantal adaptatiepaden gedefinieerd. Binnen deze strategieën wordt in het jaar 2020 steeds gekozen voor ofwel het vervangen van alle pompen, of het verwijderen/niet vervangen van 1 of 2 pompen bij deze vervanging. Acties in volgende jaren hangen vervolgens af van het geldende scenario en zijn zo gedefinieerd dat telkens op de gedefinieerde tipping points zulke systeemaanpassingen worden gedaan dat weer ongeveer aan de peileis wordt voldaan. Deze tipping points corresponderen met de ETL van grote constructies, dus tijdstippen waarop toch al grote ingrepen moeten worden gedaan. Totaal zijn er dus 9 strategieën doorgerekend, voor ieder scenario 3 strategieën. De adaptatiepaden geven enkel aanpassingen in het systeem weer, wanneer een object zijn ETL bereikt wordt deze automatisch vervangen. Figuur 7 toont een voorbeeld hiervan. Op

t_1 , t_2 , t_3 en t_4 bereiken objecten in dit systeem hun ETL. Ongeacht het pad, worden in principe de benodigde vervangingen op die tijdstippen uitgevoerd. Op t_1 wordt, in verband met het tipping point, daarnaast actie 3 uitgevoerd. Op t_2 wordt geen extra actie uitgevoerd, dus enkel de benodigde vervanging, op t_3 wordt Actie 2 uitgevoerd en op t_4 wordt Actie 2 herhaald. Belangrijk is dus dat vervangingen in principe niet in de adaptatiepaden worden weergegeven.



Figuur 7: Voorbeeld adaptatiepad

3.3 Ontwikkeling van het systeem

3.3.1 Scenario's

Het doel van deze case studie is om te kijken welke strategie voor beheer van het ARK/NZK-systeem onder verschillende scenario's het beste is volgens het vereenvoudigde model. Hierbij is na eerste analyses niet uitgegaan van de beschikbare scenario's voor de case maar van scenario's waarmee de methode het best getoetst kan worden. Dat wil zeggen: een keuze zodanig dat de scenario's onderscheidend zijn. De scenario's zijn dus gedefinieerd op bruikbaarheid voor de methode, niet op bruikbaarheid voor het ondersteunen van de daadwerkelijke beheerdersvraag.

De scenario's zijn gedefinieerd als toename van de vereiste afvoercapaciteit door extremere regenval en een afgenomen pompcapaciteit door zeespiegelstijging. Dit is gecombineerd in een verwachte toename van het peil per jaar. De scenario's zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 4: Gehanteerde scenario's voor de peilstijging en gerelateerde benodigde extra afvoercapaciteit per jaar

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
toename peil [in m/jaar]	0.0025	0.0045	0.0065
toename benodigde afvoercapaciteit [in m ³ /s/jaar]	1.25	2.25	3.25

De toename van de benodigde afvoercapaciteit per jaar wordt uitgedrukt in eenheid /jaar. Dit wil zeggen dat door de toename van de neerslag, de beschikbare pompcapaciteit (m³/s) elk jaar moet toenemen met deze waarde. In het gemiddelde scenario (2,25 m³/s/jaar) is er dus na 10 jaar een tekort van 22,5 m³/s.

3.3.2 Levensduur objecten

De technische levensduur van waterbouwkundige kunstwerken binnen het watersysteem van het Lekkanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal is geïnventariseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van resultaten uit de projecten "Risico-Inventarisatie Natte Kunstwerken" (RINK) en de

“VervangingsOpgave Natte Kunstwerken” (VONK). Einde technische levensduur (ETL) van het kunstwerk is gelijk gesteld aan einde levensduur van het onderdeel civiele bouw. Indien geen gegevens van RINK en VONK aanwezig zijn is de ETL bepaald op basis de ontwerplevensduur opgeteld bij het stichtings/restauratiejaar. De waterbouwkundige kunstwerken en ETL zijn hieronder weergegeven.

• Gemaal IJmuiden	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2055;$
• Spuisluis IJmuiden	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2015;$
• Inlaatsluis Schellingwoude	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2015;$
• Oostelijke kolk Beatrixsluis	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2015;$
• Westelijke kolk Beatrixsluis	$ETL_{(restauratiejaar + ontwerplevensduur)} = 2055;$
• Duwvaartsluis Prinses Irene	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2091;$
• Oude sluis Prinses Irene	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2037;$
• Gemaal Gouda	$ETL_{(restauratiejaar + ontwerplevensduur)} = 2095;$
• Gemaal Zeeburg	$ETL_{(stichtingsjaar + ontwerplevensduur)} = 2023;$
• Gemaal Katwijk	$ETL_{(restauratiejaar + ontwerplevensduur)} = 2091.$

Drie objecten blijken onder de genoemde onzekerheden en strikte toepassing van de constructieve normen niet aan sommige constructieve normen en richtlijnen te voldoen, of zijn recent gerenoveerd. De verwachting is dat met het toepassen van enig variabel onderhoud of van andere maatregelen de technische levensduur van de drie objecten verlengd kan worden tot de volgende waarden:

• Spuisluis IJmuiden	ETL = 2040;
• Inlaatsluis Schellingwoude	ETL = 2045;
• Oostelijke kolk Beatrixsluis	ETL = 2055;

Met nadruk wordt gesteld dat geen nader onderzoek is gedaan naar de haalbaarheid of kosten die met het genoemde variabel onderhoud of andere maatregelen gemoeid zouden kunnen zijn. In de berekeningen worden de volgende waarden gebruikt als ETL voor de civiele constructies:

• Gemaal IJmuiden	$ETL_{(DISK\ Pro\ \&\ RINK\ \Delta T)} = 2055;$
• Gemaal Gouda	$ETL_{(restauratiejaar + ontwerplevensduur)} = 2095;$
• Inlaatsluis Schellingwoude(Oranjesluizen)	ETL = 2045;

Voor de pompen geldt voor Gouda een ETL in 2055, voor IJmuiden voor 4 pompen een ETL van 2020, voor 2 pompen van 2035. Bij de Oranjesluizen zijn aan het begin nog geen pompen aanwezig.

3.4 Prestatie, kosten en risico's

3.4.1 Kosten

Voor het afwegen van de strategieën zijn de gehanteerde kosten van belang. Tabel 5 geeft de gehanteerde kosten per soort ingreep weer, kosten voor beheer en onderhoud worden in de berekeningen verdisconteerd ($r=3\%$) in de stichtingskosten en bedragen 2% van de stichtingskosten per jaar.

Tabel 5: Kosten voor de verschillende ingrepen

Actie	Stichtingskosten [M€]	Beheer- en onderhoud [M€/jaar]	B&O verrekend [M€/jaar]	Levensduur [jaar]	Totaal verdisconteerd [M€]
Pomp	3	0.06	0.4	40	12.1
Civiele constructie per pomp	17	0.34	0	100	17
Bijplaatsen pomp, incl. constructie	20	0.06 (pomp) 0.34 (civiel)	0.4 0	40 (pomp) 100 (civiel)	32.1

Voor het vervangen van een bestaande pomp wordt een prijs van 3 miljoen € gehanteerd. Voor het plaatsen van een nieuwe pomp, inclusief civiele constructie wordt een prijs van 20 miljoen € gehanteerd. Bij iedere investering komen nog beheerskosten. Deze worden bij iedere vervanging van een pomp verrekend voor zowel constructie als pomp, voor de levensduur van de pomp.

3.4.2 Risico

Voor de bepaling van het risico wordt de volgende (eenvoudige) formule gehanteerd:

$$R = \frac{1}{1000} * \text{Schade}_{1/1000\text{peil}} + \frac{1}{100} \text{Schade}_{1/100\text{peil}} + \frac{1}{10} \text{Schade}_{1/10\text{peil}}$$

Voor de bepaling van de peilen wordt de decimeringshoogte gehanteerd, deze is afgeleid uit de VONK-rapporten en geschat op 0.1 meter.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de in het voorgaande hoofdstuk beschreven strategieën vergeleken.

4.1 Adaptatiepaden

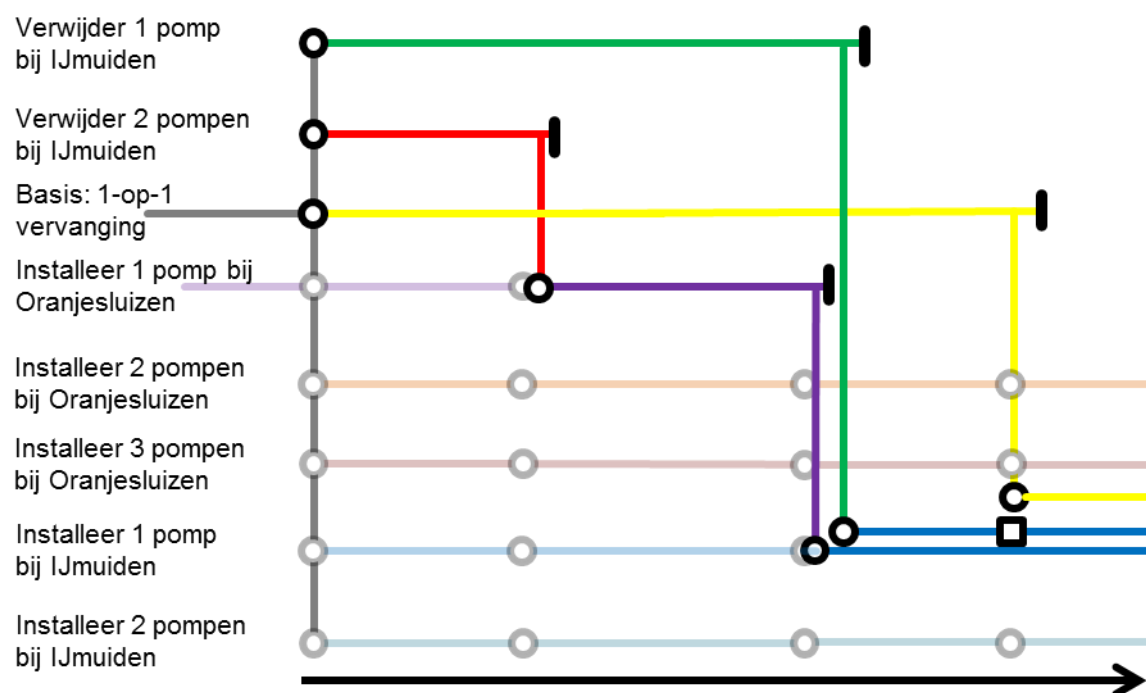
De strategieën worden weergegeven als adaptatiepaden [refHaasnoot]. Hoewel enigszins vrij gehanteerd is dit een inzichtelijke methode voor het weergeven van de verschillende strategieën, welke ingrepen daarvoor worden gedaan en in welke jaren een transfer mogelijk is naar een andere strategie. Deze jaren corresponderen met ETL van civiele constructies, dit is nodig wanneer een tipping point is bereikt, dat wil zeggen het punt waarop de huidige strategie niet meer voldoende is om aan de peileis te kunnen voldoen (in dit geval tevens het eerste moment waarop een grote ingreep moet worden gedaan in verband met het bereiken van de ETL van 1 van de constructies). In Figuur 9 t/m Figuur 11 zijn de adaptatiepaden voor de verschillende scenario's weergegeven. Bij het interpreteren van de figuren moet met de volgende punten rekening worden gehouden:

- Vervangingen zijn niet weergegeven in de adaptatiepaden, in alle gevallen wordt 1-op-1 vervangen tenzij anders aangegeven.
- Bij de resultaten in volgende hoofdstukken geldt telkens dat de strategie waarin 2 pompen verwijderd worden 'Strategie 1' wordt genoemd, waar 1 pomp wordt verwijderd 'Strategie 2' en waar geen pompen worden verwijderd 'Strategie 3'.
- De legenda is weergegeven in Figuur 8.

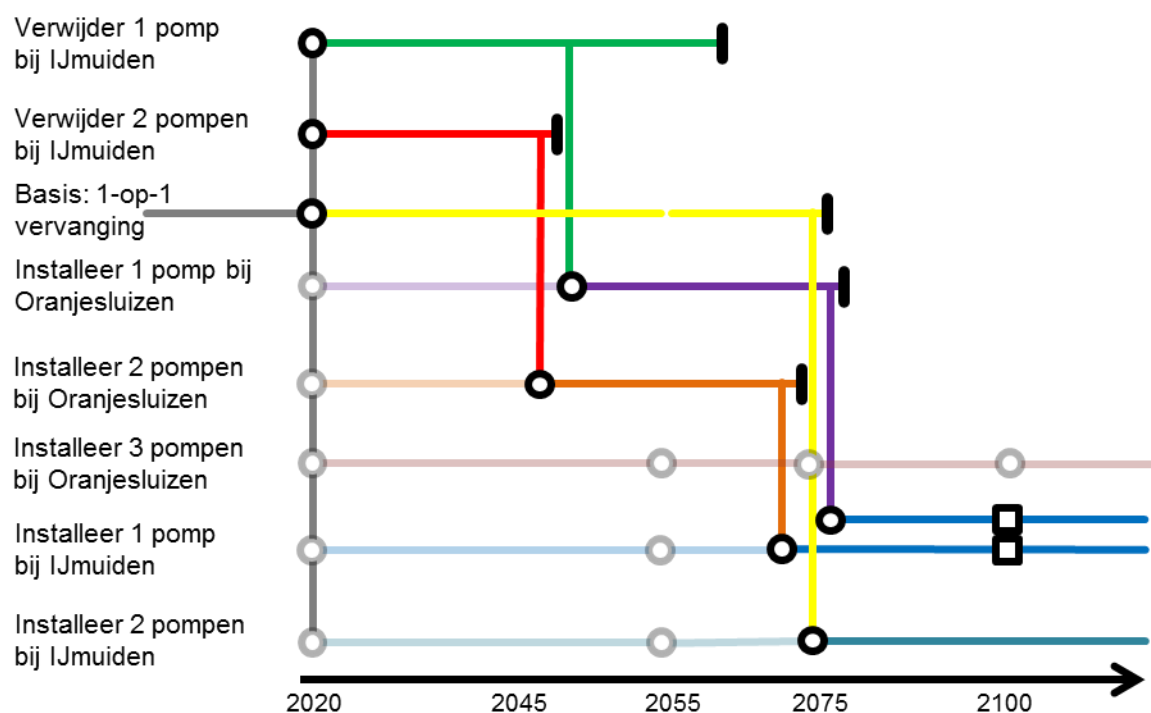
-  Herhaal actie
-  Transfer naar nieuwe actie/strategie
-  Tipping point

Figuur 8: Legenda bij adaptatiepaden

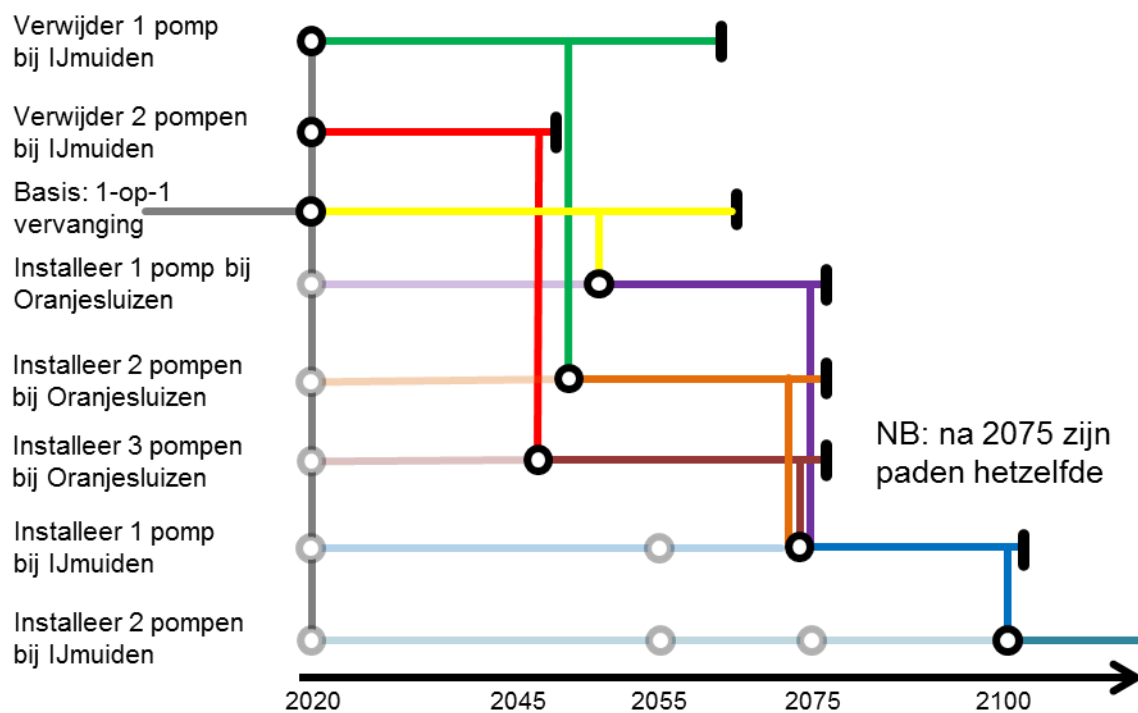
Alle adaptatiepaden die worden meegenomen zijn ingrepen bij ofwel gemaal IJmuiden, ofwel de Oranjesluizen, waar zich nu nog geen gemaal bevindt.



Figuur 9: Adaptatiestrategieën bij scenario 1.



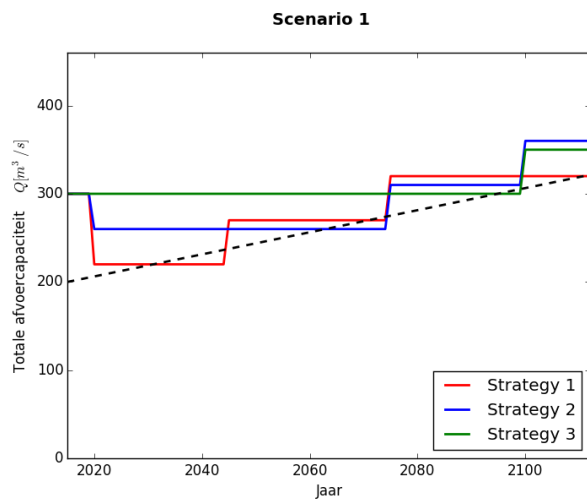
Figuur 10: Adaptatiestrategieën bij scenario 2



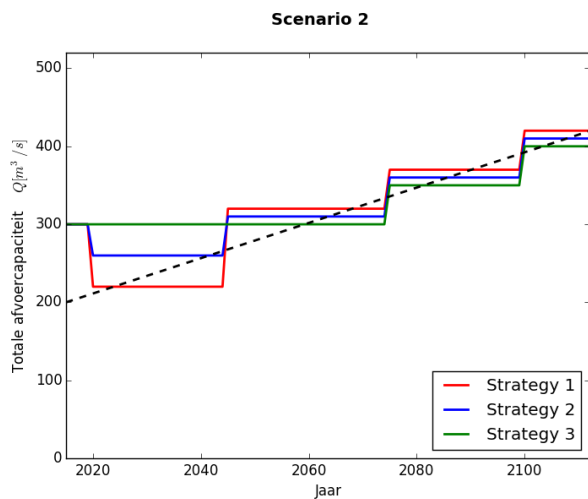
Figuur 11: Adaptatiestrategieën bij scenario 3

4.2 Invloed op de afvoercapaciteit

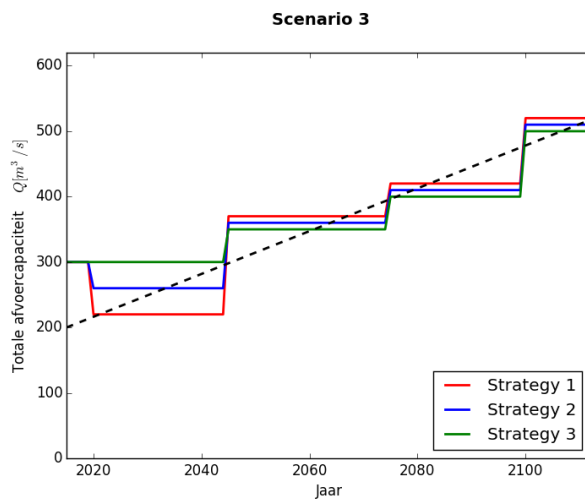
Een eerste belangrijke indicatie van de effecten van de verschillende strategieën is de afvoercapaciteit in de tijd. In Figuur 12 tot en met Figuur 14 is deze voor de 3 strategieën voor de verschillende scenario's uitgezet. De zwarte stippellijn geeft de benodigde afvoercapaciteit om aan de peileis te voldoen weer. In 2020 neemt de pompcapaciteit in 2 van de scenario's met 1 of 2 maal $40 \text{ m}^3/\text{s}$ af. In de jaren na 2020 wordt telkens aan de hand van de eis en de transfer punten capaciteit bijgeplaatst naargelang nodig is.



Figuur 12: Afvoercapaciteit bij scenario 1



Figuur 13: Afvoercapaciteit bij scenario 2



Figuur 14: Afvoercapaciteit bij scenario 3

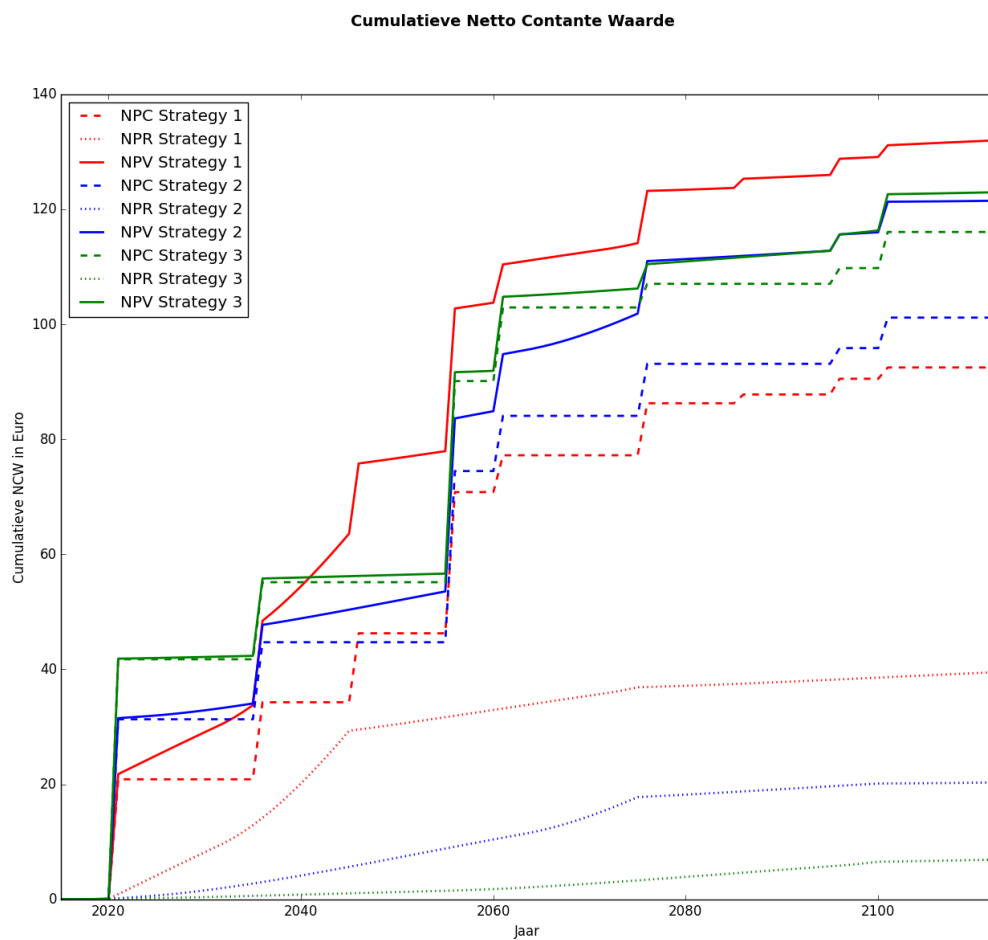
4.3 Kosten

Met het sturen op de transfer punten is interessant om te zien of tijdelijke peiloverschrijdingen een groot effect hebben op de totale kosten. Figuur 15 t/m Figuur 17 op de volgende pagina's geven de cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) weer voor de verschillende strategieën en scenario's. Hierin is de NCW berekend als som van de kosten en het jaarlijkse risico, verdisconteerd met een discontovoet van 3% per jaar. Bij scenario 1 is te zien dat strategie 1 eigenlijk al niet effectief is: qua kosten (dus zonder risico) is deze strategie het goedkoopst, wanneer het risico wordt meegenomen slaat dit echter om. Hetzelfde geldt in mindere mate voor strategie 2, waardoor strategie 3 overall het beste is. Hieruit blijkt echter hoe belangrijk het is om een goede inschatting van het risico te hebben. Bij Scenario 2 geldt een soortgelijke situatie waardoor strategie 1 veel duurder uitvalt, de kosten zijn echter bij alle strategieën ongeveer gelijk. Bij Scenario 3 is strategie 2 wederom iets duurder dan strategie 3. Tabel 6 geeft een overzicht van de totale Netto Contante Kosten (NCK), Risico's (NCR) en Waarde (NCW) over 100 jaar. Te zien is dat strategie 1 in alle gevallen het duurst is, met name door het hoge risico. Gemiddeld gezien is strategie 3 iets goedkoper dan strategie 2 maar deze ontlopen elkaar nauwelijks. De kosten van strategie 2 zijn wel lager, zeker op korte termijn.

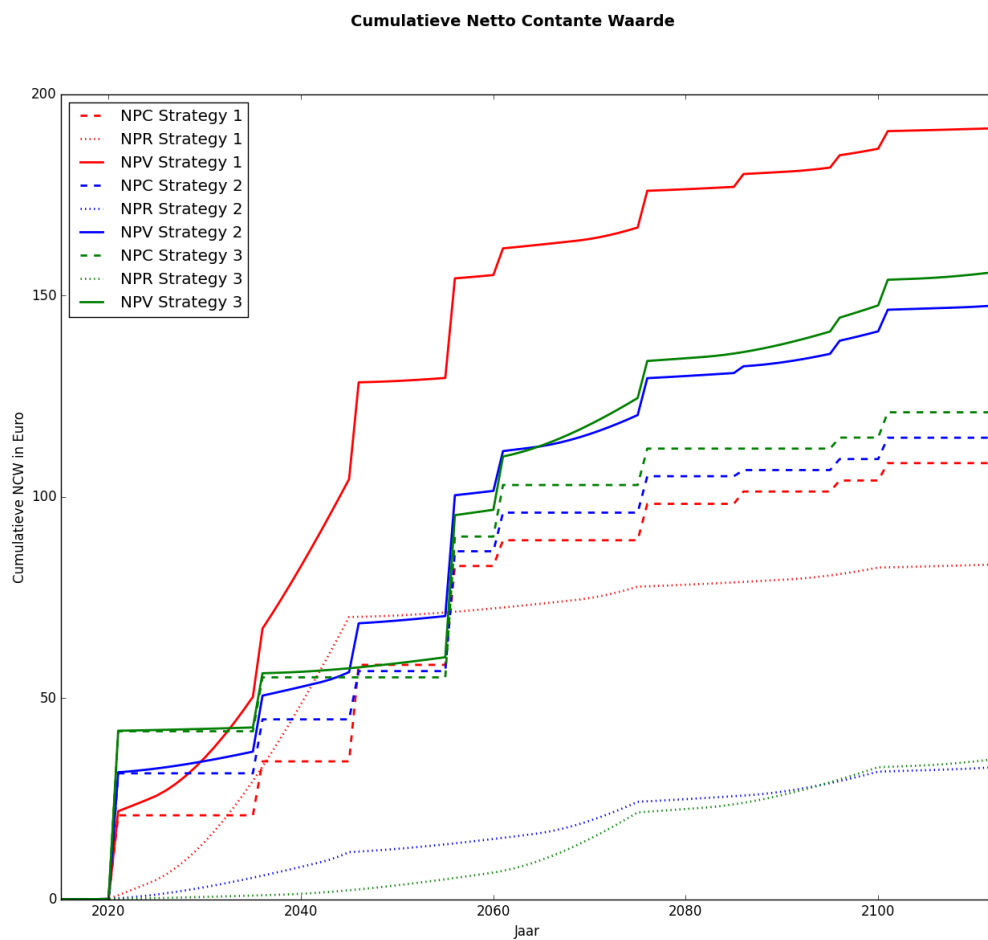
Tabel 6 Overzicht van de gevonden resultaten. In rood is de duurste strategie per scenario aangegeven, in groen de goedkoopste.

100 jaar	in M€	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Gemiddeld
Strategie 1	NCK	92	108	124	108
	NCR	40	83	141	88
	NCW	132	192	265	196
Strategie 2	NCK	101	115	131	115
	NCR	20	33	66	40
	NCW	122	148	197	155
Strategie 3	NCK	116	121	137	125
	NCR	7	36	50	31
	NCW	123	157	187	156

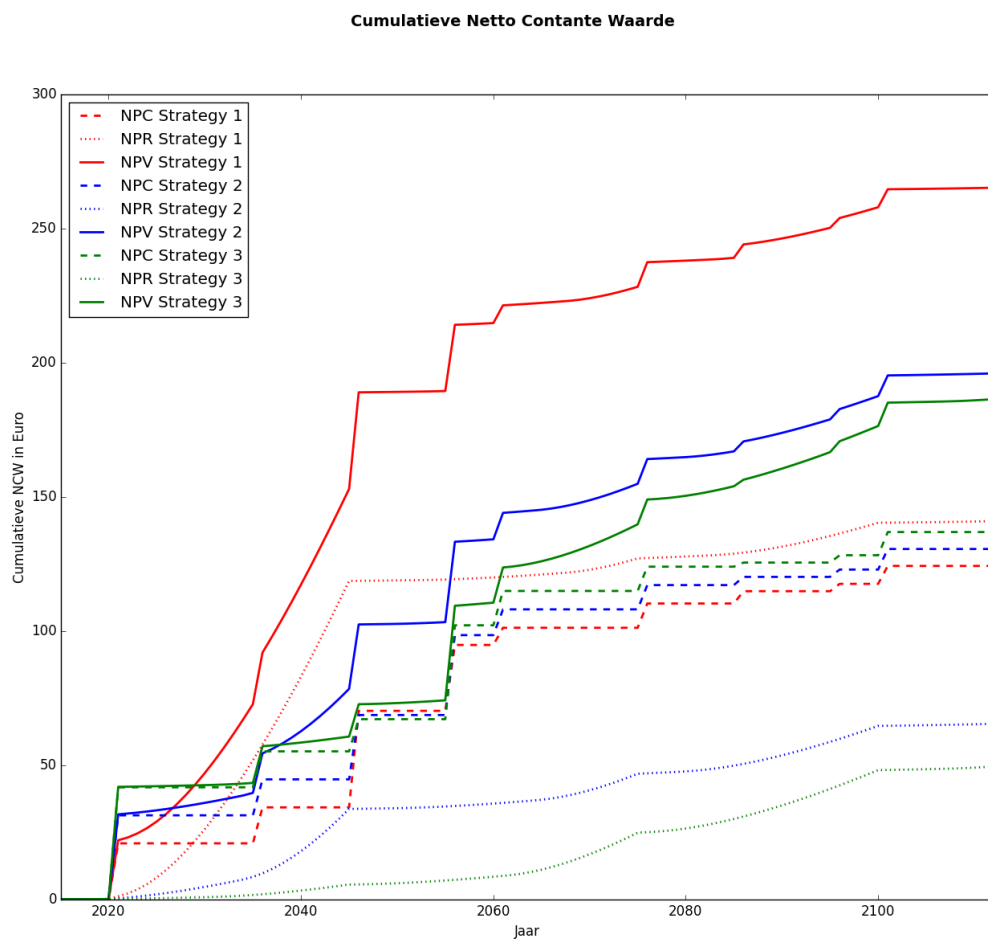
Bij complexe lange termijn investeringen is een gemiddelde echter een zeer beperkte waarderingsmethode voor een strategie, omdat hierin niet goed in kaart wordt gebracht hoe korte termijn keuzes doorwerken op bijvoorbeeld de flexibiliteit van het systeem. Daarvoor zijn reële optie analyses beter geschikt, omdat deze de flexibiliteit in de toekomst ook waarderen. Bijlage 1 geeft nog de jaarlijkse directe kosten voor de verschillende scenario's.



Figuur 15: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 1



Figuur 16: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 2



Figuur 17: Cumulatieve Netto Contante Waarde (NCW) bij scenario 3

4.4 Gevoeligheidsanalyse risico

Zoals te zien in de figuren zijn de resultaten sterk beïnvloedt door de risico's. Daarom is een gevoeligheidsanalyse gedaan waarbij alle schades gedeeld zijn door 5. Tabel 7 geeft hiervan de resultaten.

Tabel 7: Overzicht van de resultaten met een gereduceerd risico.

100 jaar	in M€	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Gemiddeld
Strategie 1	NCK	92	108	124	108
	NCR	8	17	28	18
	NCW	100	125	152	126
Strategie 2	NCK	101	115	131	115
	NCR	4	7	13	8
	NCW	105	121	144	123
Strategie 3	NCK	116	121	137	125
	NCR	1	7	10	6
	NCW	117	128	147	131

Te zien is dat strategie 3 nu het duurst is in vrijwel alle gevallen. Dit benadrukt het belang van een goede risicoanalyse als grondslag voor vervangingsopgaven.

5 Conclusies & aanbevelingen

5.1 Conclusies

- Het systeem is in deze case beperkt tot één functie en één ongewenste gebeurtenis (hoog waterpeil) en een zeer vereenvoudigd systeem. Met deze beperking blijkt in principe de benadering van de vervangingsopgave vanuit het functioneren van kunstwerken in een systeem mogelijk, evenals de stap naar een risicobenadering, waarbij de verwachtingswaarde van de schade als kostenpost wordt meegenomen.
- De sterke vereenvoudiging van het systeem en de gedane aannames hebben als consequentie dat de resultaten niet zonder meer toepasbaar zijn voor beslissingen over de case IJmuiden. De case is gebruikt om de methode te verkennen en de voordelen te beschouwen, niet om beslisinformatie te genereren voor IJmuiden. Bijvoorbeeld het dynamisch en niet-lineair gedrag in het systeem kan leiden tot andere resultaten. Daarnaast zijn aannames (bijv. kosten) gedaan voor bijvoorbeeld de kosten die voor een daadwerkelijke beslissing beter onderbouwd dienen te worden
- Met de gedane aannames blijkt dat de totale kosten zeer gevoelig zijn voor het gekozen streefpeil: relatief kleine overschrijdingen kunnen het risico snel laten oplopen. Daarom is een risicobenadering om een effectieve peileis te bepalen zeer belangrijk in dit soort systemen.
- De geïntegreerde aanpak is zinvol. De aanpak levert een grotere oplossingsruimte waarbij wordt gekeken vanuit de systeemfunctie. Door de geïntegreerde aanpak is het mogelijk (overheids)geld te besparen, door risico's te nemen die maatschappelijke acceptabel zijn, te investeren op momenten waarop dit goed kan en goede risicogebaseerde normen te gebruiken als grondslag voor investeringen.
-

5.2 Aanbevelingen case IJmuiden

- De case IJmuiden kan verder volgens de systematiek worden uitgewerkt om werkelijke beslisinformatie te genereren. Enkele aandachtspunten die hierbij verder invulling behoeven betreffen:
 - Nadere beschouwing van de schade
 - Verdieping van de kosten van beheer, onderhoud, vervanging en nieuwbouw op verschillende plaatsen en de levensduren (functioneel en technisch)
 - Systeem in detail modelleren (neerslag, pompdebieten op verschillende plaatsen, waterstanden, etc.)
 - Uitbreiding van functies en ongewenste gebeurtenissen (bijvoorbeeld laag peil)

5.2.1 Nieuwe case t.b.v. ROBAMCI

- Een nieuwe case kan de methode een stap verder brengen:

- Meerdere functies: bijvoorbeeld scheepvaart, waterveiligheid en peilbeheer.
 - Meerdere ongewenste gebeurtenissen: bijvoorbeeld te hoog water, te laag water, scheepvaartstremming.
 - Kosten en baten voor verschillende stakeholders / beheerders: bijvoorbeeld investeringskosten, beheerregime, schade, etc. opsplitsen naar beheerder, zodat belangen en onderhandelingsposities transparant(er) worden.
- Bij een volgende case is het aan te bevelen om zowel de schade als het model van het systeem gedetailleerder uit te werken dan in de IJmuiden case. Daarnaast is het aan te bevelen om andere afwegingsmethoden voor lange termijn investeringen te hanteren, bijvoorbeeld reële optie analyse.

Referenties

VONK, 2014. *Vervangingsopgave Natte Kunstwerken Meerwaarde van de Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken voor Adaptief Deltamanagement Case Gemaal- en Spuicomplex IJmuiden*, Rijkswaterstaat.

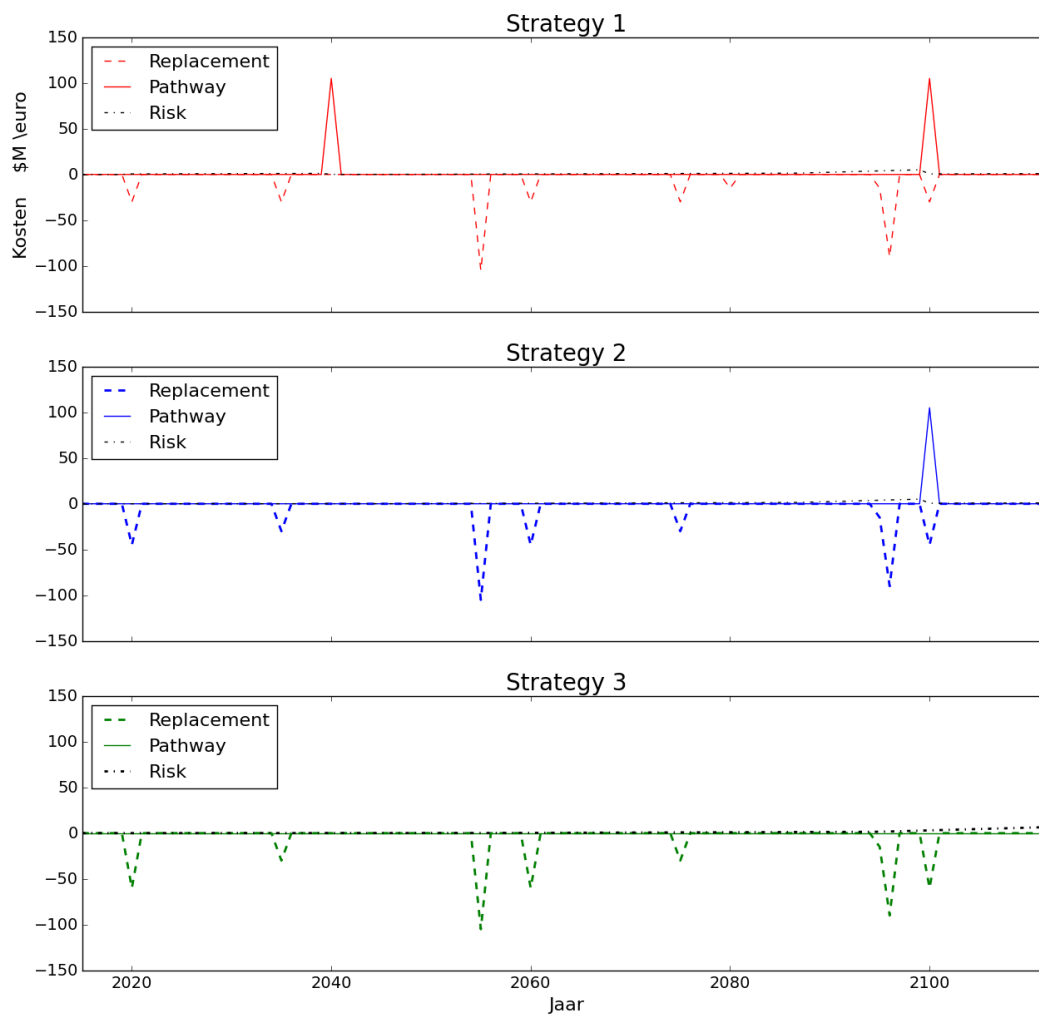
Klerk, W.J., 2015. *Draaiknoppen systeemanalyse gemaal/spuicomplex IJmuiden*, Deltares memo

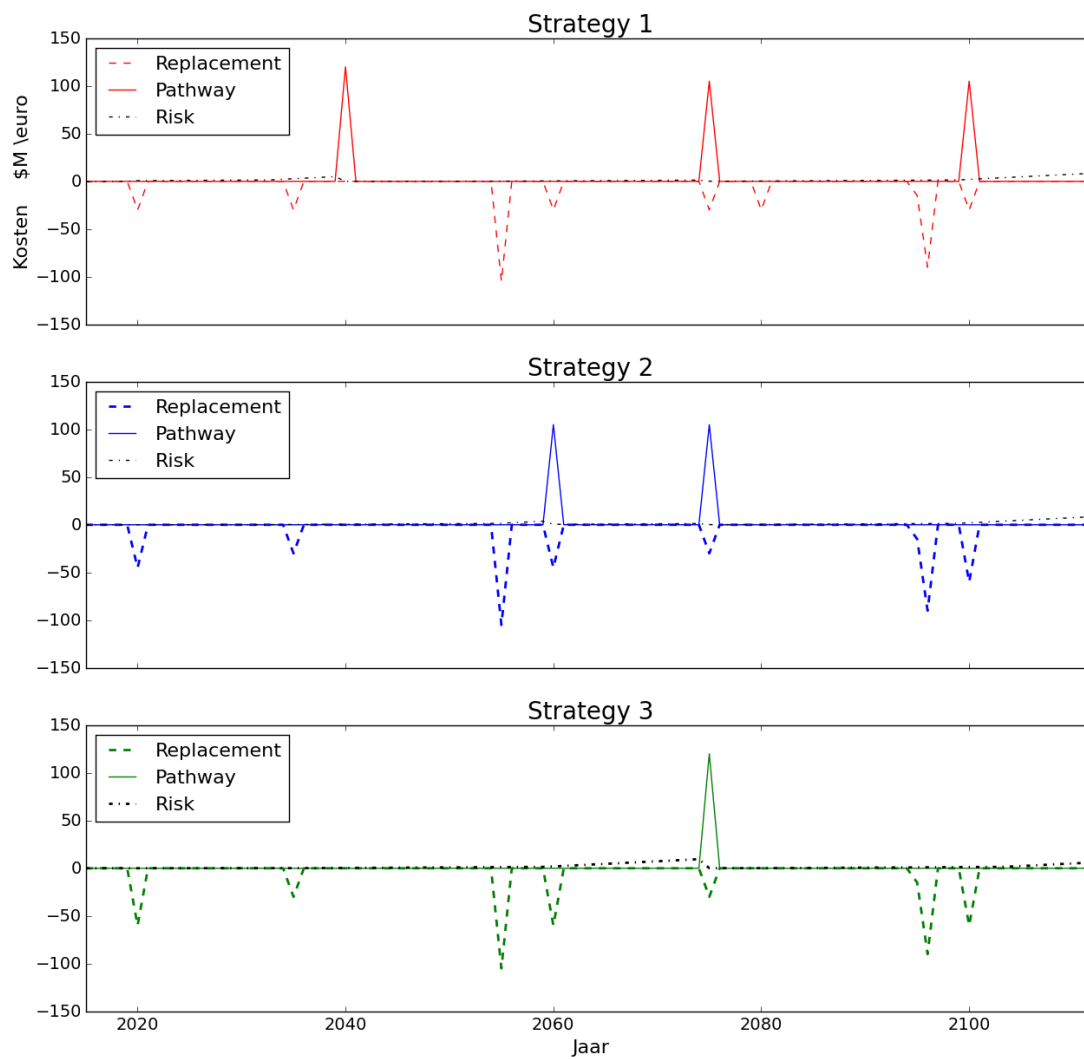
Van der Wiel, W.D., Persoon, I. & Stikma, G., 2013. *LCC-optimalisatie Gemaal IJmuiden - Korte en Lange Termijn*, IV-Infra.

Klerk, W.J., van Stokkum, J., Zomer, W., Bakkenist, S., 2015. *Generiek framework voor life-cycle management van kritieke infrastructuur ROBAMCI Werkpakket 2*. Deltares rapport no. 1220047-002-GEO-0005.

Bijlage 1: Jaarlijkse kosten

Scenario 1:





Scenario 3:

