

Deltares

Enabling Delta Life



Hoogheemraadschap van
Rijnland



InTech

Ingenieurs & Technisch Adviesbureau



BZ Innovatiemanagement

 **ARCADIS**

Design & Consultancy
for natural and
built assets

HKV
LIJN IN WATER

Casus Regionale waterkering Rijnland

ROBAMCI fase 3





Casus Regionale waterkering Rijnland

ROBAMCI fase 3

Frank den Heijer
Marit Zethof
Esther Both Pols
Guy Depuits
Jan Gert Rinsema
Willem de Vries

Titel

Casus Regionale waterkering Rijnland

Opdrachtgever
ROBAMCI

Project
11200692-003

Kenmerk
11200692-003-ZWS-0005

Pagina's
84

Trefwoorden

Assetmanagement, regionale waterkering, risico, systeemoptimalisatie, governance

Samenvatting

Aan de hand van een pilot in het samenwerkingsprogramma ROBAMCI voor risk-based assetmanagement, is in kaart gebracht welke voor- en nadelen verschillende strategieën hebben voor beheer en onderhoud van de verschillende functies rondom regionale keringen. De pilot richt zich op de kade van de Zuid- en Noordpolder langs de Oude Rijn.

De totale maatschappelijke kosten worden voor de 3 mogelijke strategieën vergeleken. De strategieën zijn vergeleken voor 2 systeemtoestanden: a) de componenten zijn op orde, en b) de componenten hebben nog een restlevensduur. Voor beide varianten is zowel een deterministische als een probabilistische berekening gemaakt.

Als minimalisatie van de kosten voor het waterschap het belangrijkste criterium is, dan is de huidige strategie het meest optimaal, in combinatie met het zo lang mogelijk uitnuttan van de bestaande situatie. In die strategie zorgen de betrokken overheden zorgen individueel voor de instandhouding van de functie onder hun verantwoordelijkheid.

Als we kiezen voor minimalisatie van de maatschappelijke kosten en risico's dan leidt dat tot strategie 2 (de gehele veiligheidsfunctie laten opvangen door de combinatie van damwand en dijk), ook in combinatie met het zo lang mogelijk uitnuttan van het systeem.

Uitnuttan lijkt dus wel een erg belangrijke optie. Alle uitstel door bijvoorbeeld een scherpere inschatting van de status quo, is direct zeer batig.

Daarnaast is ook gekeken naar de met verschillende strategieën samenhangende verantwoordelijkheden en juridische en bestuurlijke afhankelijkheden die daarmee ontstaan, en naar andere prestaties die niet eenvoudig in geld uit te drukken zijn. De strategieën zijn met een Multi criteria analyse, waarin ook de kosten en risico's zijn betrokken, tegen elkaar afgewogen. De strategie 2 (veiligheidsfunctie wordt geleverd door dijk en damwand) komt uit deze analyse als beste naar voren. Deze strategie biedt de beste kansen voor mee koppelen, inpassing, behoud van waarden en adaptiviteit.

Met deze conclusies kan worden gesteld dat voorliggende methode en uitwerking model kan staan voor de aanpak van het gehele areaal aan waterkeringen in Rijnland voor het ontwikkelen van het beleid ten aanzien van samenwerking met medebeheerders.

Referenties

ROBAMCI samenwerkingsovereenkomst fase 3

Titel

Casus Regionale waterkering Rijnland

Opdrachtgever
ROBAMCI

Project
11200692-003

Kenmerk
11200692-003-ZWS-0005

Pagina's
84

Versie	Datum	Auteur	Paraaf Review	Paraaf Goedkeuring	Paraaf
0.1	feb. 2019	Frank den Heijer (Deltares) Marit Zethof, Guy Depuits (HKV) Jan Gert Rinsema (BZIM) Esther Both-Pols (Arcadis) Willem de Vries (Intech)	Peter de Grave	Judith Kaspersma	
1.0	mei 2019	Frank den Heijer (Deltares) Marit Zethof, Guy Depuits (HKV) Jan Gert Rinsema (BZIM) Esther Both-Pols (Arcadis) Willem de Vries (Intech)	 Peter de Grave	 Gerard Blom	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel	1
1.3 Systeembeschrijving	1
1.4 Decompositie en huidige strategie	2
1.5 Leeswijzer	3
2 Aanpak op hoofdlijnen	5
2.1 Strategieën vergelijken met een multicriteria analyse	5
2.2 Vergelijken van beheerstrategieën op beheerkosten	6
2.3 Beschouwing en discussie van overige aspecten	6
3 Voorbereiding	7
3.1 Data analyse dijkhoogte	7
3.1.1 Inleiding	7
3.1.2 Toepassing IKM	7
3.2 Definiëren strategieën	13
3.2.1 Strategie 1: Gescheiden aanpak	13
3.2.2 Strategie 2: Mee koppelen	14
3.2.3 Strategie 3: Samenvoegen functies	16
3.3 Rekenmodel voor de totale kosten	16
3.3.1 Conceptueel model	16
3.3.2 Uitgangspunten en parameters	17
3.3.3 Berekening risicokosten	19
3.3.4 Berekening investeringskosten bij groot onderhoud / vervanging	26
3.3.5 Berekening dagelijks beheer- en onderhoudskosten	26
4 Berekeningsresultaten en analyse beheerkosten	27
4.1 Inleiding berekeningen model	27
4.2 Berekeningen deterministisch model voor 'Systeem op orde op T=0'	27
4.2.1 Strategie 1 (referentie)	27
4.2.2 Strategie 2	29
4.2.3 Strategie 3	30
4.3 Berekeningen deterministisch model voor 'Status Quo'	32
4.3.1 Strategie 1 (referentie)	32
4.3.2 Strategie 2	34
4.3.3 Strategie 3	35
4.4 Deterministische berekeningen voor 'Status Quo met restlevensduur damwand'	37
4.4.1 Strategie 1 (referentie)	37
4.4.2 Strategie 2	38
4.4.3 Strategie 3	39
4.5 Probabilistische berekeningen en gevoeligheidsanalyse 'systeem op orde op T=0'	41
4.5.1 Stapsgewijze analyse (referentie)	41
4.5.2 Conclusies bandbreedteanalyse strategie 1, 2 en 3	45
4.5.3 Gevoeligheidsanalyse zetting voor strategie 1 en 2	45
4.6 Probabilistische berekeningen en gevoeligheidsanalyse status quo (huidige situatie)	46
4.6.1 Stapsgewijze analyse (referentie)	46

4.6.2	Conclusies bandbreedteanalyse strategie 1, 2 en 3	49
5	Beschouwingen en discussie van overige aspecten	51
5.1	Samenvatting berekeningen	51
5.2	Multicriteria analyse	53
5.3	Bestuurlijk juridische aspecten	54
5.3.1	Inleiding	54
5.3.2	Huidige ervaringen	55
5.3.3	Multifunctioneel gebruik waterkeringen: bestuurlijk-juridische aspecten in vogelvlucht.	56
5.3.4	Kansen en knelpunten van deze strategieën vanuit bestuurlijk/juridisch perspectief	59
5.3.5	Strategie 3 – alles in 1 hand	60
5.3.6	Conclusies/Adviezen	60
6	Conclusies	61
6.1	Algemene conclusies	61
6.2	Conclusies ten aanzien van de resultaten	61
6.3	Conclusies ten aanzien van de gebruikte invoer	62
6.4	Conclusies ten aanzien van de interpretatie van de resultaten	62
6.5	Conclusies ten aanzien van de bruikbaarheid van de resultaten door de beheerder	63
7	Referenties	65
8	Bijlagen	67
8.1	Damwand	67
8.2	Berekeningsrekenresultaten in detail	73
	Appendix A: Gevoeligheidsanalyse “systeem op orde”	73
	Appendix B: Bandbreedteanalyse “systeem op orde”	78
8.3	Multicriteria analyse	81
8.4	Sleutelfactoren voor multifunctionele waterkeringen	82

Executive summary casus Rijnland

Inleiding

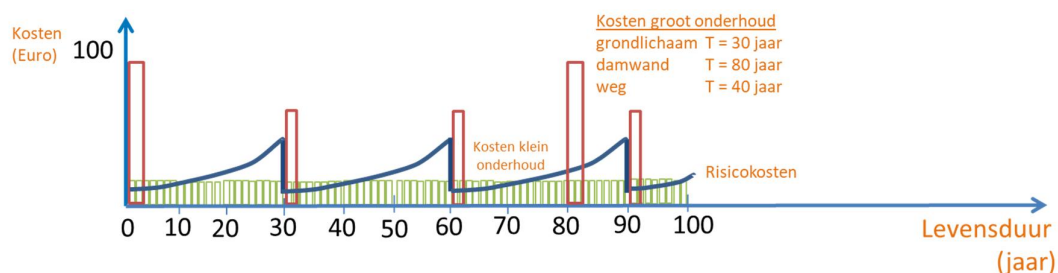
In het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland liggen veel regionale waterkeringen die naast waterkeren ook andere functies dienen, zoals wegtransport, vaarwegtransport, recreatie en natuur. Het systeem bestaat dan uit meerdere objecten (assets), zoals een dijklichaam, weg, vaarweg, beschoeiing/damwand, fietspad. De verschillende assets hebben tevens verschillende beheerders. Aan de hand van een pilot in het samenwerkingsprogramma ROBAMCI voor risk-based assetmanagement, is in kaart gebracht welke voor- en nadelen verschillende strategieën hebben voor beheer en onderhoud voor de gehele levensduur van assets voor de verschillende functies rondom regionale keringen.

De pilot richt zich op de kade van de Zuid- en Noordpolder langs de Oude Rijn (tussen de kruising met het Aarkanaal in het westen tot aan Zwammerdam in het oosten. In de huidige situatie dient het dijklichaam een waterkerende functie. Het vaarwegprofiel van de Oude Rijn wordt middels een beschoeiing of damwand in stand gehouden. Deze damwand is niet aangebracht om als waterkering te dienen. Op het dijklichaam ligt een asfaltweg. Het dijklichaam is in beheer bij het hoogheemraadschap, de vaarweg bij de provincie en de weg bij de gemeente

Een overstroming van de Oude Rijn bij toetspeil (een waterstand die met een kans van 1/1000 per jaar voorkomt) veroorzaakt waterdieptes tussen de 0,5 en 2,0 meter in de Zuid- en Noordpolder. Het gebied rond de Molentocht is lager gelegen, waardoor de waterdieptes toenemen tot circa 4 meter. Bij een overstroming is de economische schade orde 115 miljoen Euro en circa 1200 getroffen (inwoners in het gebied met natte voeten).

Aanpak

De totale maatschappelijke kosten worden voor de 3 mogelijke strategieën vergeleken. Het principe van deze maatschappelijke kosten is in onderstaande figuur geschetst: levensduurkosten voor aanleg en onderhoud voor alle componenten worden samen met de risicokosten van een overstroming opgeteld tot een virtueel bedrag. Dit bedrag representeert de levensduurkosten, en maakt het mogelijk om strategieën met verschillende investeringsritmes onderling te vergelijken. De in de tijd benodigde investeringen worden verdisconteerd tot virtuele kosten in het heden en opgeteld tot levensduurkosten die nodig zijn om de functie in stand te houden. Gelet op de levensduur van de damwand (ca 100 jaar) is een periode van 200 jaar gekozen voor het beschouwen van alle levensduurkosten.



De berekening van de levensduurkosten en risico's zijn als volgt samen te vatten. Uit de actuele kruinhoogte, en de verwachte zetting, wordt het verloop van de kruinhoogte in de tijd bepaald. Uit de kans op het optreden van waterstanden, en vereiste toeslagen daarop, wordt dit vertaald in een faalkans van de dijk op elk moment gedurende de levensduur, en in risico's. Op het moment gedurende de levensduur dat deze kans groter wordt dan het vereiste veiligheidsniveau, moet de dijk worden verbeterd. De ingrepen worden zodanig gedimensioneerd dat de dijk gemiddeld eens per 30 jaar wordt verbeterd. Uit de samenstelling van alle ingrepen gedurende de levensduur worden de geprognostiseerde levensduurkosten en -risico's bepaald.

Strategieën en levensduurkosten

In onderstaande figuur zijn de 3 strategieën geschetst voor het voldoen aan de waterkerende functie, met in blauw de componenten die voor de waterveiligheid zorgen. Strategie 1 representeert de referentie, de huidige aanpak.



De strategieën zijn vergeleken voor 2 systeemtoestanden bij aanvang: a) de componenten op orde, en b) de componenten hebben nog een restlevensduur. Voor beide varianten is zowel een deterministische als een probabilistische berekening gemaakt. In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat, waarbij voor de probabilistische berekeningen alleen de verwachtingswaarde (mediaan, 50% percentiel) is gepresenteerd. In geel zijn de maatschappelijk laagste kosten voor een variant aangegeven. De verdeling van de kosten over de betrokken stakeholders is in alle drie de strategieën verschillend. In de tabel zijn de investerings- en onderhoudskosten voor het waterschap tussen haakjes aangegeven. In groen is in elke rij de strategie gegeven met de laagste kosten voor het waterschap. Dat is in alle gevallen de referentie strategie: de huidige aanpak.

Systeemtoestand op T=0	berekeningsvariant	Strategie 1 (referentie)	Strategie 2	Strategie 3
a) Systeem op orde brengen	Deterministisch	41,3 (7,8)	40,6 (20,6)	39,7 (14,8)
	Probabilistisch (50%p)	40,8 (7,0)	40,4 (18,5)	37,0 (13,2)
b) Status quo – uitnutten toestand	Deterministisch	31,9 (1,1)	32,2 (14,0)	39,7 (14,8)
	Probabilistisch (50%p)	29,8 (0,8)	28,0 (11,2)	36,5 (13,0)

Als besloten wordt dat het systeem eerst op orde wordt gebracht, dus dat damwand en dijk direct op ontwerpniveau worden gebracht, dan is strategie 3, waarin de damwand de waterkerende functie geheel overneemt, 9% goedkoper dan de referentie.

Als besloten wordt het systeem in de huidige situatie nog zoveel mogelijk uit te nutten, dan komt de investering pas veel later in de tijd, en is strategie 2 interessant, waarin damwand en dijklichaam samen de waterkerende functie opnemen. Deze is 6% goedkoper dan de referentie, en 23% goedkoper dan strategie 3.

Strategie 1 (de referentie / huidige aanpak) is alleen optimaal als we onzekerheden zouden negeren en uitgaan van een deterministische berekening, en als we het systeem uitnutten.

De kosten wijken overigens minder dan 1% af van strategie 2, dus dit is niet onderscheidend te noemen.

Andere prestatie-effecten

Daarnaast is ook gekeken naar de met verschillende strategieën samenhangende verantwoordelijkheden en juridische en bestuurlijke afhankelijkheden die daarmee ontstaan. De strategieën zijn met een multicriteria analyse tegen elkaar afgewogen. Enerzijds op meetbare criteria, zoals de kosten en risico's en de veiligheidsprestatie. Anderzijds op een heel aantal niet-meetbare criteria en prestaties, zoals integraliteit / mee koppelkansen, beschikbaarheid gegevens, inpassing, landschaps-/ecologische en cultuur-historische waarden, flexibiliteit, en duurzaamheid. Hieruit blijkt dat strategie 2 het beste scoort.

Conclusies

- Als de kosten voor het waterschap het belangrijkste criterium is, dan is de huidige strategie het meest optimaal (de betrokken overheden zorgen individueel voor de instandhouding van de functie onder hun verantwoordelijkheid), in combinatie met het uitnutten van het gehele systeem.
- Als we kiezen voor minimalisatie van de maatschappelijke kosten en risico's leiden tot strategie 2 (de gehele veiligheidsfunctie laten opvangen door de combinatie van dijk en damwand), in combinatie met het uitnutten van het systeem.
- De maatschappelijk optimale varianten leiden tot een efficiëntie van 5-10%. Belangrijk hierin is de toestand van de damwand en de vervangingsstrategie daarvan. Als de levensduur van de damwand nog enkele decennia zou zijn, worden de systeemlevensduur kosten teruggebracht tot ca 25%. Deze optie past bij een keuze voor strategie 2 of 3.
- De strategieën hebben een verschillend risicoprofiel omdat de restveiligheid in de tijd voor een damwand en voor een dijk verschillen. De risico's van strategie 3 zijn ca 50% van de risico's bij strategie 1.
- Uitnutten lijkt wel een erg belangrijke optie. Alle uitstel door bijvoorbeeld een scherpere inschatting van de status quo, is direct zeer batig. Meer informatie over de status quo, in combinatie met bijvoorbeeld een beoordeling op maat levert in potentie besparing op.
- De probabilistische analyses laten een zeer grote spreiding zien in de resultaten van de kosten en risico's over de levensduur, ze kunnen ca 50% groter en kleiner zijn dan de mediane waarde. Voor een meerjaren begroting waarin een strategie op portfolioniveau wordt opgenomen zal deze spreiding weer voor een deel uitmiddelen richting de mediane waarde.
- De prestaties die niet eenvoudig in geld uit te drukken zijn leiden, via een multicriteria analyse waarin ook de kosten en risico's zijn betrokken, tot strategie 2 (veiligheidsfunctie wordt geleverd door dijk en damwand). Deze strategie biedt de beste kansen voor mee koppelen, inpassing, behoud van waarden en adaptiviteit.
- De kwaliteit van de analyse is hoog, alhoewel de kwaliteit van de gebruikte invoer kan worden verhoogd. De vergelijking tussen de strategieën wordt slechts beperkt door de invoer beïnvloed, zoals blijkt uit de gevoeligheidsanalyse met de zettingssnelheid.
- De gepresenteerde samenwerkingsladder biedt inzicht in hoe de strategieën scoren in termen van samenwerking. Strategie 1 zit heel laag op die ladder, strategie 3 hoog. Idealiter, als alle stappen in de ladder zijn benut, worden kennis, middelen en capaciteit gedeeld en wordt ook de samenwerking op geografische schaal vormgegeven. Juridisch zijn waterkering en andere functies gescheiden.

Met deze conclusies kan worden gesteld dat voorliggende methode en uitwerking model kan staan voor de aanpak van het gehele areaal aan waterkeringen in Rijnland voor het ontwikkelen van het beleid ten aanzien van samenwerking met medebeheerders.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Een regionale waterkering heeft veelal ook functies anders dan waterkeren - en in dat geval vaak meerdere beheerders. Investerings in beheer en onderhoud worden op dit moment los van elkaar bepaald en ingezet. Deze strategie of werkmethode geeft (maatschappelijke) kosten, waarvan niet transparant is welke optimalisatie mogelijkheden er zijn, zowel technisch als qua governance.

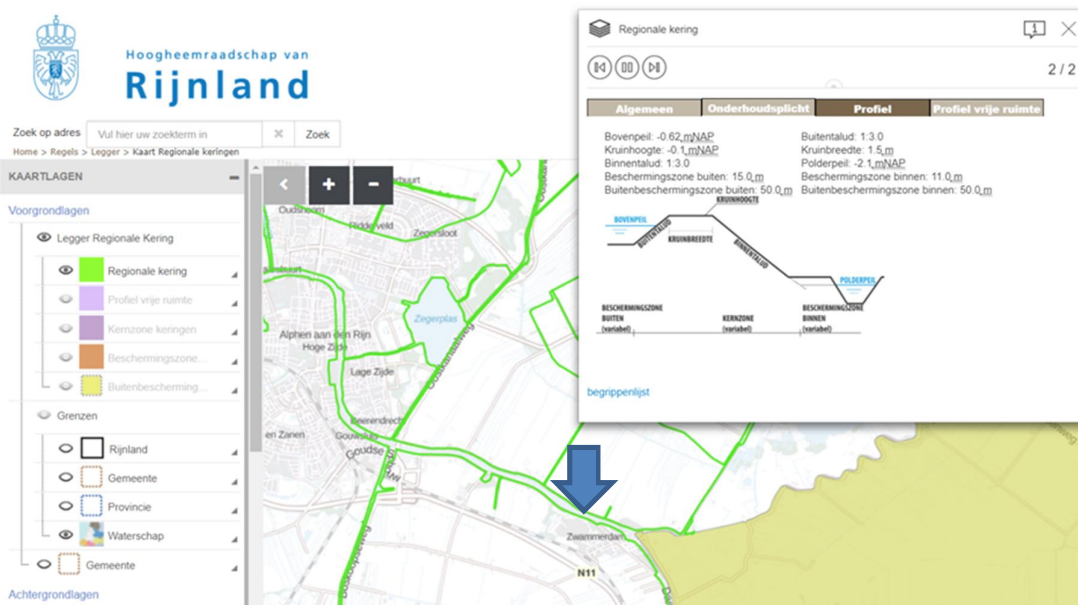
Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft samen met het programma ROBAMCI (Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures) het initiatief genomen om te onderzoeken wat de meerwaarde is van risico gestuurde en systeemgerichte onderhouds- en vervangingsstrategie ten opzichte van de huidige strategie. Dit is onderzocht aan de hand van een pilot bij de regionale waterkering Alphen aan den Rijn, in beheer bij Hoogheemraadschap Rijnland.

1.2 Doel

Het doel van deze studie is het in kaart brengen van optimalisatiemogelijkheden van beheer en onderhoud van de verschillende functies rondom regionale keringen. Het gaat om een kering waarbij naast de hoofdfunctie (veiligheid) niet alleen meerdere functies maar ook meerdere stakeholders een rol spelen. Binnen de studie wordt op verzoek en in overleg met Rijnland daarom ook gekeken naar de met verschillende strategieën samenhangende verantwoordelijkheden en juridische en bestuurlijke afhankelijkheden die daarmee ontstaan.

1.3 Systeembeschrijving

In het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland liggen veel waterkeringen die naast hoogwaterkeren meerdere functies dienen, zoals wegtransport, vaarwegtransport, recreatie en natuur. Het systeem bestaat dan uit meerdere objecten (assets), zoals een dijklichaam, weg, vaarweg, beschoeiing/damwand, fietspad. De verschillende assets hebben verschillende beheerders. Het dijklichaam is in beheer bij het hoogheemraadschap, de vaarweg bij de provincie en de weg bij de gemeente.



Figuur 1.1 Pilot locatie

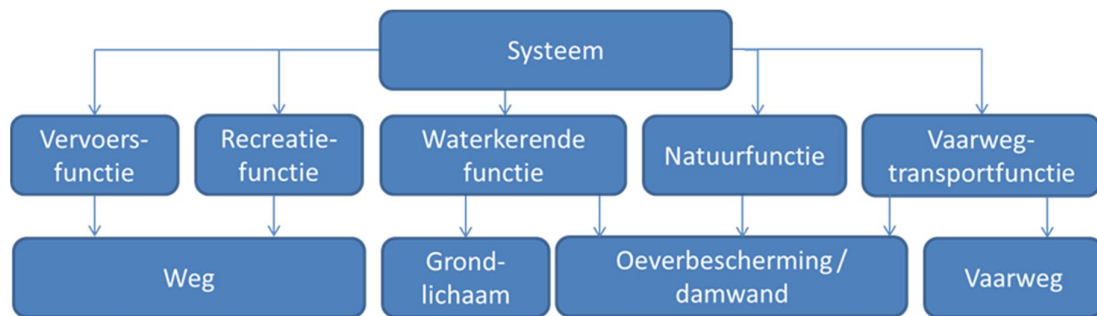
Deze pilot richt zich op de kade van de Zuid- en Noordpolder langs de Oude Rijn (tussen de kruising met het Aarkanaal in het westen tot aan Zwammerdam in het oosten, Figuur 1.1), de Kortsteekterweg. In de huidige situatie dient het dijklichaam een waterkerende functie. In de laatste toetsing is de regionale kering afgekeurd. Het vaarwegprofiel van de Oude Rijn wordt middels een beschoeiing of damwand in stand gehouden. Deze damwand is niet aangebracht om als waterkering te dienen. Op het dijklichaam ligt een asfaltweg. De Kortsteekterweg kent drie karakteristieken: delen zijn (krap) tweezijdig bebouwd waarbij de bebouwing op de waterkering staat, deels eenzijdig bebouwd of helemaal onbebouwd (Figuur 1.2).



Figuur 1.2 Drie karakteristieken van de Kortsteekterweg.

1.4 Decompositie en huidige strategie

De kering heeft primair een waterkerende functie. Het grondlichaam en de oeverbescherming/damwand zijn de subassets die ervoor kunnen zorgen dat de kering overstrooming/wateroverlast van het achterland voorkomt. Naast deze functie heeft de kering meerdere secundaire functies, zie Figuur 1.3. Afhankelijk van de functie verschilt welke organisatie de beheerder is. Zo heeft de subasset weg de vervoers- en de recreatiefunctie. De beheerder van de weg zijn voor de kering de gemeentes.



Figuur 1.3 Relatie tussen systeem, functies en objecten.

De instandhouding en de vervanging van deze objecten wordt nog weinig integraal beschouwd. Dat betekent dat de onderhoudsintervallen van de verschillende objecten niet worden afgestemd, maar per object wordt geprogrammeerd. Een integrale aanpak voor het groot onderhoud en vervanging levert enerzijds een financiële besparing van de kosten (mee koppelen), maar daarnaast zijn er ook baten voor de andere functies (zoals minder maatschappelijke hinder). Deze afweging kan ondersteund worden met een kosten-baten analyse.

1.5 Leeswijzer

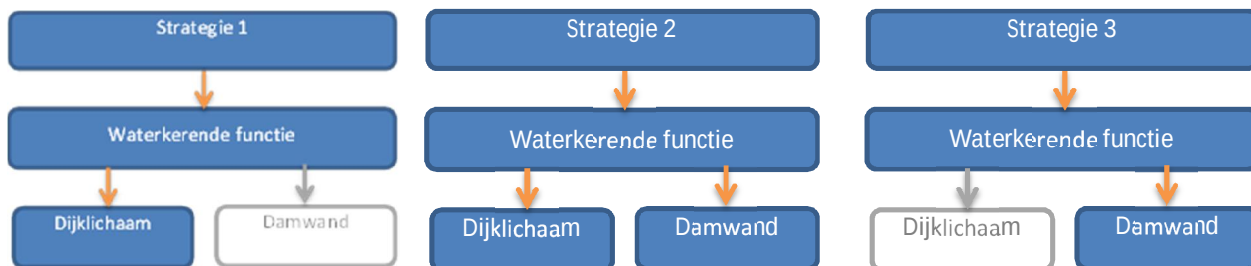
In hoofdstuk 2 wordt de aanpak op hoofdlijnen geschetst. In hoofdstuk 3 worden de voorbereidende werkzaamheden beschreven die nodig zijn voor het maken van de berekeningen met de ROBAMCI tools. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd en geanalyseerd. Hoofdstuk 5 beschrijft de bestuurlijk juridische aspecten en de multicriteria analyse. Hoofdstuk 6 geeft de conclusies. In de bijlagen is achtergrond info gegeven rondom uitgangspunten, overwegingen en resultaten.

2 Aanpak op hoofdlijnen

2.1 Strategieën vergelijken met een multicriteria analyse

Voor het beheer en onderhoud van de kering zijn naast de huidige strategie ook andere strategieën denkbaar. In dit project zijn drie strategieën uitgewerkt en op kosten, risico's en andere - zoals juridische - aspecten vergeleken om de dijk, oeverbescherming en weg maatschappelijk het best te beheren en onderhouden, zie ook Figuur 2.1:

- Strategie 1: het dijklichaam heeft een waterkerende functie. Er is geen afstemming in de zin van gezamenlijk programmeren van beheer of het groot onderhoud van het dijklichaam, damwand en weg tussen de verschillende beheerders.
 - ➔ Als elk individuele asset einde levensduur is, dan zal deze worden versterkt. Bij de toetsing op veiligheid en de versterking wordt de damwand niet als waterkerend element beschouwd.
- Strategie 2: zowel het dijklichaam als de damwand hebben een waterkerende functie. Er is wel afstemming in de tijd van het groot onderhoud van het dijklichaam, damwand en weg tussen de verschillende beheerders. Dit betekent dat het groot onderhoud van de individuele assets zowel eerder als later dan in strategie 1 kan worden geprogrammeerd.
 - ➔ Als het dijklichaam einde levensduur is, dan zal deze worden versterkt. Bij de toetsing op veiligheid en de versterking wordt de damwand wel als waterkerend element beschouwd.
- Strategie 3: de damwand heeft waterkerende functie en het dijklichaam wordt niet meer onderhouden om een waterkerende functie te dienen. Er is wel afstemming tussen het moment van aanleg (groot onderhoud) van de damwand en de weg, door dit te synchroniseren in de tijd. Bij groot onderhoud van de weg, dient deze op hoogte van het huisniveau te worden gebracht. De aanwezigheid van het dijklichaam zorgt er wel voor dat het risico op een overstroming door een aanvaring van de damwand beperkt blijft. Als de damwand einde levensduur is, dan wordt deze vervangen



Figuur 2.1 Schematische weergave van de drie strategieën voor het beleggen van de waterkerende functie (oranje pijlen)

De strategieën zijn onderling vergeleken met een multicriteria-analyse. Met de multicriteria-analyse zijn de maatschappelijke kosten en baten (dus niet alleen financiële, maar ook de maatschappelijke en bestuurlijk juridische) van de drie strategieën vergeleken. Op basis van de uitkomsten zijn de conclusies opgesteld voor het kiezen van de strategie van het beheren en onderhouden van de kering in de toekomst.

2.2 Vergelijken van beheerstrategieën op beheerkosten

Het totaal van de beheerkosten over de levensduur is een van de aspecten in de in paragraaf 2.1 bedoelde multicriteria analyse. De bepaling van de levensduurkosten van de drie onderhoudsstrategieën gebeurt middels twee stappen:

- *Stap 1: uitvoering van een deterministische KBA*
- Er wordt een rekenmodel opgezet waarmee de “total cost of ownership” (TCO) ofwel levensduurkosten voor de drie strategieën worden berekend. De parameters in deze berekeningen worden als deterministen beschreven.
-
- *Stap 2: uitvoering van een probabilistische KBA*
- Aan de hand van bandbreedteberekening worden boven- en ondergrenzen van de levensduurkosten berekend met de Probabilistic Toolkit (PTK). Hierbij worden verschillende parameters beschreven met een kansverdeling, zoals bijvoorbeeld de zettingssnelheid. Uit deze verdelingen worden 1000 (random) trekkingen gedaan voor de bandbreedteberekening. Voor elke parameter wordt een kansverdeling afgeleid met het Informatie Kwaliteits Model (IKM). Hiervoor moet eerst worden bepaald wat de meest gevoelige parameters zijn.

Uitgangspunt systeemtoestand op T=0:

Er worden twee systeemtoestanden beschouwd bij de aanvang van de te beschouwen beheerperiode, die beide inzicht geven in de verhouding tussen de strategieën:

- Situatie “systeem op orde”: Op T=0 jaar wordt gelijktijdig groot onderhoud aan de dijk, damwand en weg uitgevoerd. Dit betekent dat systeem op T=0 jaar op orde is.
- Situatie “status quo”, of “zoveel mogelijk uitnutten”: Op T=0 jaar wordt nog geen groot onderhoud aan de dijk en weg uitgevoerd, omdat deze nog niet einde levensduur zijn. Dit betekent dat op T=0 jaar de dijk en weg een restlevensduur hebben. Voor de damwand geldt dat deze wel op T= 0 jaar vervangend wordt.¹

2.3 Beschouwing en discussie van overige aspecten

In vogelvlucht wordt ingegaan op de juridische en bestuurlijke afhankelijkheden die ontstaan door multifunctioneel gebruik van de waterkering. De aandachtspunten bij de 3 genoemde strategieën worden daarbij aangestipt.

We doen dit door eerst stil te staan bij enkele voorbeelden van huidige werkwijzen ter illustratie. Vervolgens verbreden we dit naar inzichten uit eerdere studies naar de bestuurlijke juridische aspecten van multifunctioneel gebruik van waterkeringen. Tenslotte sluiten we af met een beknopte reflectie.

¹ Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de situatie dat ook de damwand een restlevensduur van 50 jaar heeft.

3 Voorbereiding

Ter voorbereiding op de uitwerking van de strategieën wordt een drietal activiteiten uitgevoerd:

- Een analyse van de zakkingsnelheid van de dijkhoogte op basis van de beschikbare data (paragraaf 3.1). N.B. In de case is verondersteld dat deze parameter één van de meest bepalende parameters is voor de LCC.
- Een verdere definitie van de strategieën (paragraaf 3.2)
- Opzet van het rekenmodel voor de totale kosten (paragraaf 3.3).

3.1 Data analyse dijkhoogte

3.1.1 Inleiding

BZIM heeft samen met Deltares een informatiekwaliteitsmodel ontwikkeld binnen het ROBAMCI-onderzoeksprogramma. In het model wordt de betrouwbaarheid van data en informatie expliciet gemaakt. Door de informatie expliciet te maken kan de betrouwbaarheid worden meegenomen in de overweging van de beslissing die ten aanzien van de kering gemaakt wordt, bijvoorbeeld ten aanzien van versterken door zowel beheerders als directie en bestuur.

Met behulp van een verouderingsmodel wordt de degradatie van de onderdelen van de dijk bepaald. Voor waterveiligheid wordt de degradatie in deze case alleen bepaald door de zetting van de ondergrond. Met het IKM wordt daarom de betrouwbaarheid van de zetting bepaald.

3.1.2 Toepassing IKM

De toepassing van het IKM geschiedt in verschillende stappen die hieronder nader zijn toegelicht.

Stap 1: Bepaal relevante variabele

De relevante variabele is bepaald door het verouderingsmodel. Voor waterveiligheid wordt de veroudering beschreven door de zetting.

Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

Het Hoogheemraadschap heeft zelf geen metingen uitgevoerd naar de hoogte van de kering. Voor het bepalen van de hoogte van de kering is gebruik gemaakt van het Algemene Hoogtebestand Nederland (AHN), namelijk AHN2 (uit 2008) en AHN3 (uit 2014). Het Hoogheemraadschap gebruikt een vuistregel voor de zettingen in haar beheersgebied.

Stap 3: Visualiseer en kwantificeer data

Het visualiseren en kwantificeren van de data is opgesplitst in 3 stappen, namelijk:

Stap 3A: het visualiseren van de ruwe data en het filteren van uitschieters

Stap 3B: het visualiseren van de resterende dataset

Stap 3C: het interpreteren van de data in stap 3C

Stap 3A: Plot ruwe data en filter op uitschieters

Er is door het waterschap reeds een verschilanalyse gemaakt tussen de data van AHN2 en AHN3 specifiek voor de kering. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Verschilanalyse AHN2-AHN3

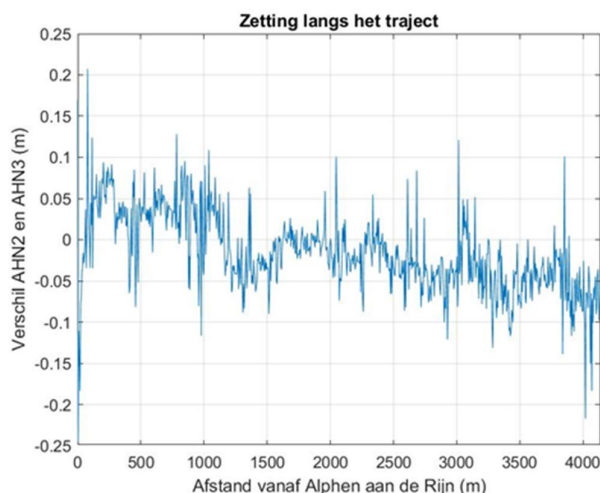
Op basis van bovenstaande figuur kan worden gesteld dat er ter hoogte van Alphen aan den Rijn (westelijk/links in de figuur) een verhoging heeft plaats gevonden, terwijl oostelijk sprake is van zettingen. Om beter inzicht te krijgen in de zettingen is deze data uitgezet in een grafiek (Figuur 3.2) waarin de zetting over de lengte van het traject is afgezet. De grafiek begint bij Alphen aan den Rijn (westelijk) waar de groeiende afstand richting het westen loopt.

Er zijn een aantal uitschieters te zien, zowel positief (verhoging) als negatief (zetting). De verhoging is veroorzaakt door werkzaamheden als het vernieuwen van het asfalt of overig verstorend ingrijpen. Het is opvallend dat dicht bij Alphen aan den Rijn (bij afstand 0) zowel een grote negatieve piek zit (-0.25) als een grote positieve piek (0.2). Hierover is navraag gedaan bij de gemeente. Uit hun data blijkt inderdaad dat de eerste 1,2 kilometer is versterkt. Omdat op basis van deze data geen mate van zetting kan worden bepaald, wordt dit traject uitgesloten van verdere analyse.

Strategie 3: de damwand heeft waterkerende functie en het dijklichaam wordt niet meer onderhouden om een waterkerende functie te dienen. Er is wel afstemming tussen het moment van aanleg (groot onderhoud) van de damwand en de weg, door dit te synchroniseren in de tijd. Bij groot onderhoud van de weg, dient deze op hoogte van het huishoofd te worden gebracht. De aanwezigheid van het dijklichaam zorgt er wel voor dat het risico op een overstrooming door een aanvaring van de damwand beperkt blijft. Als de damwand einde levensduur is, dan wordt deze vervangen..

Tabel 3.1 Karakteristieken van gefilterde zettingsdata (2008-2014)

	Totaal [m]
Gemiddelde	-0,042
Mediaan	-0,036
Std	0,031
5%	-0,004
95%	-0,091

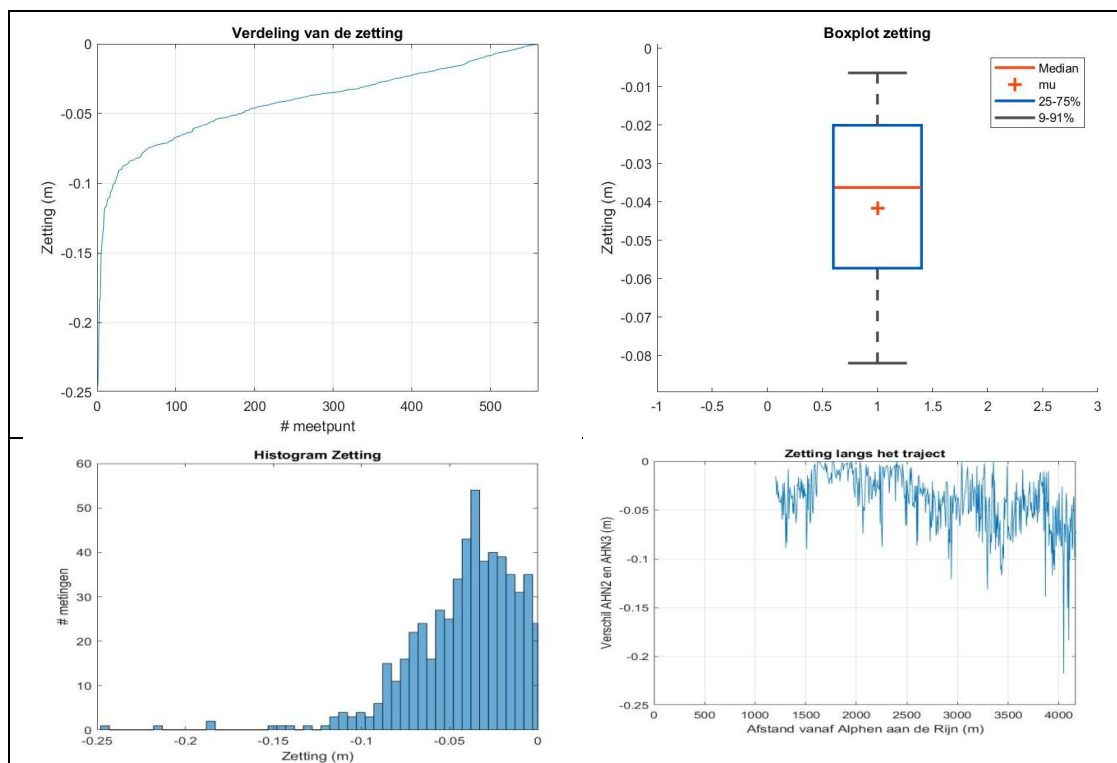


Figuur 3.2 Verschilanalyse AHN2-AHN3 uitgezet in grafiek

Stap 3B: Visualisatie data

De gefilterde data is weergegeven in Figuur 3.3 D) langsprofiel.

De verdere visualisatie is uitgevoerd zowel in de vorm van een (cumulatieve) verdelingsgrafiek van de zetting (De gefilterde data is weergegeven in Figuur 3.3 A - Verdeling van de zetting in zettingsgebied), als in een boxplot (Figuur 3.3 B - Boxplot van de zetting) en als histogram (Figuur 3.3 C - histogram van de zetting).



Figuur 3.3 A) Verdeling van de zetting in zettingsgebied; Figuur 3.3 B) Boxplot van de zetting, Figuur 3.3 C) histogram van de zetting en Figuur 3.3 D) langsprofiel

Stap 3C: Interpreteer data

De gemiddelde hoogteverandering van het traject is -0,016 en de mediaan van deze verandering ligt op -0,02 waarmee geconcludeerd kan worden dat er over het algemeen sprake is van zetting op het traject Alphen aan den Rijn – Zwammerdam. Vanwege het gestelde criterium dat er geen sprake kan zijn van stijging is er gekozen voor een lognormale verdeling voor de zetting. Dit type verdeling van de hoogteverandering komt tevens visueel overeen met de verdeling en histogram uit figuur 3.3.A en 3.3.C.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel worden zettingssnelheden per jaar gebruikt. Hierbij wordt aangenomen dat de zetting lineair heeft plaats gevonden.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel is in deze case alleen de zetting van belang. De zettingssnelheid van de gepresenteerde zettingsdata betreft 0,7 cm per jaar met een standaardafwijking van 3,1 cm op de zetting na 6 jaar. Om de standaarddeviatie van de zetting in jaar 0 te bepalen is het van belang is om te bepalen wat de standaardafwijking op de zetting moet zijn geweest om over een periode van 6 jaar tot een standaardafwijking 3,1 cm te komen.

Door middel van een Monte Carlo Analyse is het zettingsverloop over de betreffende 6 jaar gemodelleerd. Hieruit is gebleken dat wanneer men uit gaan van een lineair zettingsverloop, de standaard deviatie van de zetting een waarde van 0,52 cm moet hebben om in jaar 6 uit te komen op een standaarddeviatie van 3,1 cm op de dataset, welke gelijk is aan de gemeten dataset.

Meetonzekerheid

Vanuit de kwaliteitscontrole van de AHN-data wordt aangegeven dat er een systematische meetfout van 3 centimeter aanwezig kan zijn in de dataset van AHN2 (van der Zon, 2013). Deze meetonzekerheid is groot vergeleken met de gemiddeld gemeten zetting van 4,2 centimeter over 6 jaar. Voor de meetfout is met behulp van een uniforme verdeling gemodelleerd welke gelijk is voor het gehele traject. Er is geen reden om aan te nemen dat dit type meetfout dicht bij 0 zit dan bij 3, waardoor niet voor een normale verdeling is gekozen.

Aangenomen is dat de spreiding in het eindsignaal (de gemeten zetting over 6 jaar) uit 2 componenten bestaat. Namelijk: 1) de spreiding veroorzaakt door variaties in de zettingssnelheid en 2) de meetfout. De componenten zijn weergegeven in de volgende vergelijking uitgedrukt in varianties (σ^2):

$$\sigma_{\text{eindsignaal}}^2 = \sigma_{\text{zetting}}^2 + \sigma_{\text{meetfout}}^2$$

Zowel de spreiding op het eindsignaal (standaard deviatie van 3,1 cm), als de meetfout (-3 cm tot +3 cm) is bekend. De variantie in het eindsignaal is namelijk het kwadraat van de standaarddeviatie $3,1^2 = 9,61$. De variantie op de meetfout kan bepaald worden aan de hand van de eigenschap van de uniforme verdeling, namelijk: $\sigma^2 = 1/12(\text{bandbreedte})^2$ waardoor de variantie op de meetfout $\frac{1}{12}(6)^2 = 3$ bedraagt. De standaarddeviatie van de zetting in het eindsignaal bedraagt dus:

$$\sigma_{\text{zetting}} = \sqrt{9,61 - 3} = 1,9 \text{ cm}$$

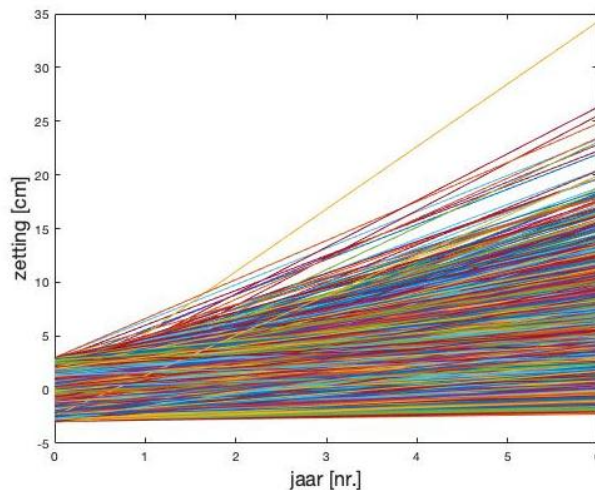
Over 6 jaar betekent dit, door lineair zettingsverloop, dat de standaarddeviatie een waarde van $1,9/6=0,31$ cm aan neemt. Echter bedraagt dit de standaarddeviatie van de onderliggende normale verdeling. Deze wordt omgerekend omdat uit is gegaan van een lognormale verdeling voor de zetting. Voor het omrekenen wordt de volgende formule gebruikt:

$$\sigma_{\text{lognormaal}} = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma_{\text{normaal}}^2}{\mu_{\text{normaal}}^2} + 1\right)}$$

$\sigma_{\text{lognormaal}}$ voor de zetting bedraagt dus:

$$\sigma_{\text{lognormaal}} = \sqrt{\ln\left(\frac{0.31^2}{0.7^2}\right) + 1} = 0,43 \text{ cm}$$

Deze waarde kan ter validatie tevens afgeleid worden met behulp van een Monte Carlo analyse waarbij de zetting over 6 jaar wordt gemodelleerd. Hiervoor is lineair zettingsverloop gemodelleerd, over een tijdsbestek van 6 jaar, waarvoor voor elke realisatie een mate van zetting is getrokken uit een lognormale verdeling. Daarnaast is over het zettingsverloop voor elke realisatie een random waarde tussen 3 en -3 toegevoegd om de meetfout te simuleren. Voor elke realisatie van zettingsverloop is voor het geheel een enkelvoudige bias toegevoegd voor de meetfout, omdat is aangenomen dat deze voor AHN2 (jaar 0) en AHN3 (jaar 6) niet cumulatief is. Deze gemodelleerde zetting over de betreffende 6 jaar is weergegeven in figuur 3.4, gebruik makend van 10000 Monte Carlo realisaties, waarbij elke lijn voor een zettingsverloop/realisatie staat.



Figuur 3.4 Monte Carlo simulatie zettingsverloop inclusief meetfout per zettingsverloop.

Om in jaar 6 op een vergelijkbaar eindsignaal, met een standaarddeviatie van 3,1 cm uit te komen (gelijk aan het gemeten eindsignaal in jaar 6), blijkt dat een waarde van 0,43 cm voor de sigma (σ) van de lognormale verdeling van de zetting moet worden gefit (in combinatie met de gemiddelde jaarlijkse zetting van 0,7 cm). Deze komt overeen met de analytisch bepaalde waarde.

Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data en opgestelde grafieken wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

1. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data

Er is een tijdreeks van zetting samengesteld uit 2 datasets – dit is het minimum, en dus enigszins mager te noemen.

2. Uitschieters

Er zijn geen grote uitschieters aanwezig in de dataset. Wel is de eerste 1,2 kilometer van de analyse uitgesloten omdat hier een verbetering van de weg heeft plaats gevonden, waardoor de resulterende verandering van de hoogte niet alleen natuurlijk is ontstaan.

3. Aantal datareeksen over vergelijkbare periode

Er is slechts 1 tijdreeks aanwezig. Hiermee kan de data niet gevalideerd worden.

4. Ruimtelijke verdeling van meetpunten

De ruimtelijke resolutie van de beschikbare data is 5 meter. Dit is inclusief de data waarbij de hoogte positief is (dus bij ophoging of iets dergelijks).

De gemiddelde resolutie van de waarden waarbij de zetting negatief is, is 5,79 meter.

5. Kwaliteit meetmethode

De systematische meetfout is 3 centimeter per AHN meting.

De score voor de datakwaliteit is 2 sterren volgens de IKM methodiek. De afwezigheid van datareeksen ter validatie gecombineerd met de relatief grote onzekerheid van de meetmethode veroorzaakt de lage score. Meer informatie over de toekenning van sterren is weergegeven in Tabel 3.2.

Oordeel	Criteria vanuit datakwaliteit in IKM	Vervolg
1 ster	1. Beperkte aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeksen voor validatie 4. Geen tot beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. onbetrouwbare meetmethode	Data niet bruikbaar
2 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeks voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Twijfelachtige meetmethode	Combinatie met expert meningen nodig
3 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Minimale datareeks aanwezig voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Meetmethode is voldoende voor beschreven parameter	Data geeft bruikbare beschrijving van het systeem
4 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Voldoende datareeksen voor validatie 4. Voldoende ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	Data geeft goede beschrijving van het systeem
5 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Uitschieters afwezig 3. Uitgebreide datareeksen voor validatie 4. Goede ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	Data geeft volledig inzicht in het systeem

Tabel 3.2 Toekenning score datakwaliteit (Rinsema, Pals, Zomer & Korving, 2018)

In het IKM is bepaald dat bij een score van 2 sterren tevens expertdata gebruikt moet worden voor het meten van de prestatie van de asset. Op basis van de verschillen moet bepaald worden wat de input wordt voor de zetting.

Stap 5: expert judgement

Als vuistregel in de hoogtetoets wordt een zetting van 1 cm/jaar gebruikt. Dit wordt gezien als maximale zetting (95% waarde). Deze vuistregel is afkomstig van het waterschap. Er is geen bandbreedte bekend op basis van expert judgement.

Stap 6: kwantificeer onzekerheid

De verandering van de hoogte is normaal verdeeld op basis van de dataset. Voor de zetting geldt echter wel een harde ondergrens van 0 meter, omdat er op natuurlijke wijze geen verhoging van de grond kan ontstaan, daarom is een lognormale verdeling voor de zetting aangenomen.

Er worden twee type onzekerheden geformuleerd en gebruikt in de vervolganalyse. De eerste is de onzekerheid van de dataset alleen (eindsignaal), het gemeten hoogteverschil over 6 jaar. De dataset heeft een gemiddelde verandering van 0,7 cm/jaar met een standaardafwijking van 0,5 cm/jaar.

Om ook de meetonzekerheid expliciet mee te nemen is het eindsignaal ontleend in de componenten meetonzekerheid en zetting. De gemiddelde waarde inclusief meetonzekerheid van de AHN-data is 0,7 cm/jaar met een sigma voor een lognormale verdeling van 0,43 cm/jaar.

3.2 Definiëren strategieën

3.2.1 Strategie 1: Gescheiden aanpak

In de huidige situatie zijn er verschillende functies toe te kennen aan het systeem. De regionale kering heeft de functie van waterkeren. De weg die op de regionale kering aanwezig is heeft de functie verkeer. Daarnaast is er een damwand aanwezig, die oevererosie voorkomt en daarmee de diepgang van de vaarweg en daarmee de bevaarbaarheid van de vaarweg garandeert.



In de laatste toetsing is de regionale kering afgekeurd. Tijdens de toetsing is in het opstellen van het veiligheidsoordeel de damwand niet meegenomen. De beheerder van de regionale kering is Rijnland. Dit betekent dat Rijnland de verantwoordelijkheid heeft voor het op hoogte en sterkte brengen van de kering voor de functie waterveiligheid.

De beheerder van de damwand (oeverbescherming) en de vaarweg is de Provincie Zuid-Holland. Dit betekent dat de Provincie de verantwoordelijkheid heeft voor de bevaarbaarheid van de Oude IJssel. De gemeentes zijn verantwoordelijk voor de verkeersveiligheid en daarmee het wegonderhoud van de weg op de kering. Het groot onderhoud van de regionale kering vindt voor deze kering gemiddeld eens per 15 jaar plaats en de versterking eens per 30 jaar. De vervanging van de weg is in principe een gevolg van het groot onderhoud en de verbetering van de regionale kering. Het groot onderhoud van de weg en de verbetering van de kering zijn niet expliciet op elkaar afgestemd, dat wil zeggen: het proces is er in de verschillende organisaties niet op ingericht om de interventie ritmes optimaal op elkaar af te stemmen.

Asset	Functie	Beheerder
Grondlichaam (waterkering)	Water keren	Rijnland
Damwand (oeverbescherming)	Vaarverkeer	Provincie
Weg	Verkeer	Gemeente

Op strategie 1 zijn de volgende uitgangspunten van toepassing waarmee in het deterministisch model is gerekend:

- Uitgangspunt is dat dijk, damwand en weg op $T = 0$ jaar worden vervangen.
- Op basis van de verwachte zetting voldoet de kering tot 30 jaar aan norm na versterking.
- De zettingssnelheid is gekoppeld aan de faalkans voor Hoogte, Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) en daarmee aan de overschrijdingskans van de waterstand.
- De versterkingskosten bedragen 1 miljoen € per km (bron: kostenkental; Hoogheemraadschap Rijnland).
- De investeringskosten zijn de som vast en variabele kosten. De variabele kosten zijn in deze studie niet als functie van de zetting gedefinieerd. In een nadere analyse wordt aanbevolen een zettingsafhankelijke kostenfunctie te hanteren.
- Het investeringsregime damwand bedraagt $T = 0$ jr., 100 jr., 200 jr.
- Investeringsregime dijk en weg bedraagt $T = 0$ jr, 30 jr., 60 jr., 90 jr., 120 jr., 150 jr. en 180 jr.
- De dijk en de damwand voldoen tot aan het eind van de levensduur aan de norm.
- De damwand wordt aangelegd met oversterkte.
- VAT-kosten² 10% per project, dus 10% op de individuele investeringskosten van damwand, kering en weg.
- De investeringskosten damwand is gelijk aan de ondergrens voor de kostenklasse 4,476 miljoen €/km (bron: kostenkental Provincie 10% per project, dus 10% in Zuid-Holland).

3.2.2 Strategie 2: Mee koppelen

Beheerders werken optimaal samen. De functie van de damwand bevat nu ook waterveiligheid maar de bevoegdheden voor de organisaties blijven ongewijzigd. De damwand wordt binnen deze strategie meegenomen bij het opstellen van het veiligheidsoordeel tijdens de toetsing van de regionale kering. De damwand krijgt daarbij aanvullend de functie van waterkeren. De huidige praktijk is dat op $t=0$ de damwand voldoende zwaar voor de functie van waterkeren en zakkingsvrij wordt geplaatst door de provincie. Het is daarom dan ook de verwachting dat het toets oordeel van de kering inclusief de damwand positief uitpakt.

² Kosten voor voorbereiding, administratie en toezicht (kosten voor engineering, het toezicht en projectmanagement).

Beheer en onderhoudscycli worden binnen deze strategie op elkaar afgestemd op basis van de levensduurkosten, zodat dit zo effectief mogelijk wordt gedaan. Tussen het waterschap en de provincie worden afspraken gemaakt over het beheer van de damwand. Dit betekent bijvoorbeeld dat de damwand door Rijnland wordt meegenomen tijdens de toetsing. Voor de uitvoering van de maatregelen die volgen uit deze toetsing worden door Rijnland en de provincie afspraken gemaakt voor de kostenverdeling.



Asset	Functie	Beheerder
Grondlichaam (waterkering)	Water keren	Rijnland
Damwand (oeverbescherming/waterkering)	Vaarverkeer/ water keren	Provincie
Weg	Verkeer	Gemeente

Op strategie 2 zijn de volgende uitgangspunten van toepassing waarmee in het deterministisch model is gerekend:

- Uitgangspunt is dat dijk, damwand en weg op $T = 0$ jaar worden vervangen.
- Op basis van de verwachte zetting voldoet de kering tot 30 jaar aan norm na versterking.
- De zetting snelheid is gekoppeld aan de faalkans Hoogte en STBU en daarmee aan de overschrijdingskans waterstand.
- De versterkingskosten bedragen 1 miljoen € per km.
- De investeringskosten is de som vast en variabele kosten. De variabele kosten zijn in deze studie niet als functie van de zetting gedefinieerd. In een nadere analyse wordt aanbevolen een zettingsafhankelijke kostenfunctie te hanteren.
- Het investeringsregime damwand bedraagt $T=0$ jr., 100 jr., 200 jr.
- Investeringsregime dijk en weg bedraagt $T=0$ jr., 30 jr., 60 jr., 90 jr., 120 jr., 150 jr. en 180 jr.
- De investeringen worden mee gekoppeld aan het dichtstbijzijnde geplande investeringsmoment van de andere assets. Dit kan zowel eerder als later in de tijd zijn.
- De dijk en de damwand voldoen tot aan het eind van de levensduur aan de norm.
- De damwand wordt aangelegd met oversterkte.
- VAT-kosten 8% per project; dus 8% op de individuele investeringskosten van damwand, kering en weg. Als binnen één uitvoeringsproject meerdere assets (bijv. dijk en weg) worden versterkt, zijn er schaalvoordelen t.a.v. de VAT-kosten. In deze studie is aangenomen dat de VAT-kosten dan 8% bedragen (i.p.v. 10%, zie ook toelichting in paragraaf 3.3.2); dat betekent dat de schaalvoordelen leiden tot een reductie van 20% op de VAT-kosten.

- De investeringskosten damwand is gelijk aan de ondergrens voor de kostenklasse 4,476 miljoen €/km (bron: kostenkental Provincie Zuid-Holland).

3.2.3 Strategie 3: Samenvoegen functies

Met deze strategie wordt op $t=0$ de damwand voldoende zwaar en hoog voor de functie van waterkeren en zakkingsvrij wordt geplaatst door de provincie. De damwand neemt de functie van het waterkeren van het grondlichaam binnen deze strategie geheel over. Daarom wordt het beheer van het grondlichaam overgedragen aan de gemeenten. Omdat de regionale kering in deze strategie geen waterkerende functie meer heeft wordt deze omschreven als grondwal. Aan de andere kant biedt de damwand ook de functie van oeverbescherming. De vaarweg blijft de functie vaarweg hebben en de weg de functie verkeer. De grondwal vraagt geen onderhoud vanuit de functie waterkeren. De gemeente gaat de frequenties van het beheer en onderhoud van de weg en de inrichting van de openbare ruimte gelijk trekken conform hun werkwijzen binnen de IBOR (integraal beheer openbare ruimte).

Asset	Functie	Beheerder
Grondlichaam (grondwal)		Gemeente
Damwand (oeverbescherming/ waterkering)	Water keren/ Vaarverkeer	Rijnland
Weg	Verkeer	Gemeente

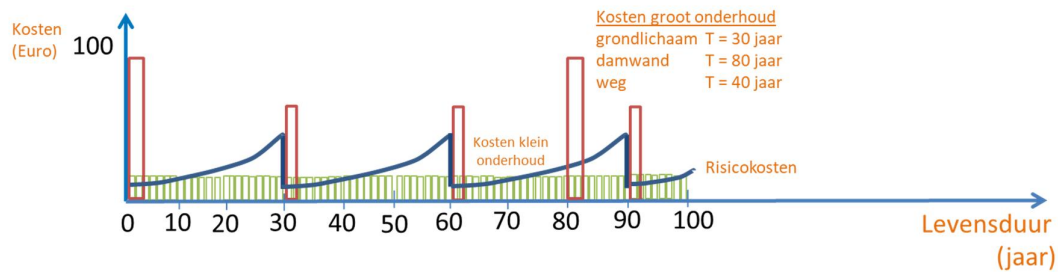
Op strategie 3 zijn de volgende uitgangspunten van toepassing waarmee in het deterministisch model is gerekend:

- Uitgangspunt is dat damwand op $T = 0$ jaar zettingsvrij wordt geplaatst.
- Faalkans van de damwand is een factor 10 kleiner dan de faalkans bij einde levensduur.
- De investeringskosten is de som vast en variabele kosten; geen functie van de zetting.
- Het investeringsregime damwand bedraagt $T=0$ jr., 90 jr., 180 jr.
- Investeringsregime dijk is n.v.t.
- Investeringsregime weg bedraagt $T=0$ jr., 30 jr., 60 jr., 90 jr., 120 jr., 150 jr. en 180 jr.
- De investeringen worden mee gekoppeld met de investeringen vanaf het dichtstbijzijnde moment.
- De faalkans van de damwand voldoet aan het eind van de levensduur norm.
- De sterkte van de damwand wordt aangelegd met oversterkte.
- De faalkans van de dijk, damwand en de weg $T=0$ jaar bedraagt 1/1.000 per jaar.
- VAT-kosten 8% per project; dus 8% op de individuele investeringskosten van damwand en weg. Als binnen één uitvoeringsproject meerdere assets (bijv. dijk en weg) worden versterkt, zijn er schaalvoordelen t.a.v. de VAT-kosten. In deze studie is aangenomen dat de VAT-kosten dan 8% bedragen (i.p.v. 10%, zie ook toelichting in paragraaf 3.3.2); dat betekent dat de schaalvoordelen leiden tot een reductie van 20% op de VAT-kosten.
- De investeringskosten damwand is gelijk aan de bovengrens voor de kostenklasse 5.129 miljoen €/km (bron: Provincie Zuid-Holland).

3.3 Rekenmodel voor de totale kosten

3.3.1 Conceptueel model

De Total Cost of Ownership bestaan uit alle kosten over de levensduur van een object of een systeem. In dit model nemen we in beschouwing de investeringskosten bij groot onderhoud, de beheer- en onderhoudskosten en de risicokosten (Figuur 3.6).



Figuur 3.5 Conceptueel overzicht verloop levensduurkosten (niet verdisconteerd).

Investeringskosten bij groot onderhoud (aanleg en vervangingen)

Contante waarde van de aanlegkosten en vervangingskosten bij groot onderhoud.

Beheer- en onderhoudskosten (dagelijks beheer)

Contante waarde van jaarlijkse kosten van inspectie, dagelijks beheer en klein onderhoud.

Risicokosten:

Contante waarde van het jaarlijks risico als functie van de tijd. Het economisch risico is de jaarlijks verwachte schade die wordt bepaald door het product van de overstromingskans en de overstromingsgevolgen.

Total Cost of Ownership:

De som van investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten en risicokosten over de gekozen planperiode (Contante Waarde, CW). In formulevorm:

$$\text{Total Cost of Ownership} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{IK_t + BK_t + RK_t}{(1+r)^t}$$

Waarin IK_t de investeringskosten zijn in jaar t , BK_t de beheer- en onderhoudskosten in jaar t en RK_t de risicokosten in jaar t . Al deze kosten worden contant gemaakt met behulp van een disconteringsvoet r . De som over alle jaren (van jaar 0 tot jaar T_p) is dan de Total Cost of Ownership. Jaar 0 komt in deze formule overeen met het gekozen referentiejaar, bijvoorbeeld 2018.

3.3.2 Uitgangspunten en parameters

In deze paragraaf staan de (meer rekenspecifieke) uitgangspunten voor de modellering van de drie onderhoudsstrategieën beschreven:

Algemeen

- Geen peilstijging door klimaatverandering: polder- en boezempeil blijft gelijk;
- Voor de dijk geldt dat in het jaar dat de faalkans groter is dan 1/100 per jaar wordt de versterking uitgevoerd. De veroudering van de dijk wordt beschreven door de zetting, waardoor de faalkans toeneemt in de tijd;
- Voor de damwand geldt dat in het jaar dat de faalkans groter is dan 1/1.000 per jaar wordt de versterking uitgevoerd. De veroudering door o.a. corrosie wordt beschreven door een lineaire toename van de faalkans in de tijd (zie bijlage 8.1);

- Het uitgangspunt voor de zettingssnelheid is 0,7 cm/jaar, o.b.v. statische analyse van de zettingsgegevens (AHN) met het IKM (zie paragraaf 3.1). Het zettingsproces van de ondergrond is in werkelijkheid geen lineair proces. Ongelijke zetting van de ondergrond wordt niet meegenomen. Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een zettingssnelheid van 1,7 cm/jaar; o.b.v. de uitkomsten van het IKM. De door Rijnland gehanteerde zettingssnelheid van 1 cm/jaar ligt tussen 0,7 en 1,7 cm/jaar;
- Geen effecten van ruimtelijke ontwikkeling op de dijk (zoals extra bebouwing);
- Geen toename vaar- of voertuigbewegingen (dus kans aanvaring blijft gelijk);
- De zichtperiode voor berekening van de TCO is 200 jaar (2x ontwerplevensduur van de damwand);
- Integreren van het versterkingsmomenten van twee of meer assets leidt tot een besparing op de projectkosten (VAT). Hoogheemraadschap Rijnland hanteert VAT-kosten à 10% van de investering van een enkele asset (bron: kental Hoogheemraadschap Rijnland). Als binnen één uitvoeringsproject meerdere assets (bijv. dijk en weg) worden versterkt, zijn er schaalvoordelen t.a.v. de VAT-kosten. In deze studie is aangenomen dat de VAT-kosten dan 8% bedragen; dat betekent dat de schaalvoordelen leiden tot een reductie van 20% op de VAT-kosten.
- Voor de berekening van de contante waarde van de risico's en kosten is uitgegaan van een discontovoet van 4% per jaar en economische groeivoet van 1,9% per jaar.

Dijklichaam

- De ontwerplevensduur van het dijklichaam is 30 jaar;
- Het dijklichaam heeft een waterkerende functie in de referentiestrategie (strategie 1) en strategie 2;
- In strategie 3 heeft het dijklichaam geen waterkerende functie.

Damwand

- De ontwerplevensduur van de damwand is 100 jaar. Aan het einde van de ontwerplevensduur is de damwand nog factor 10x sterker dan de norm van 1/100 per jaar; voor de toename van de faalkans in de tijd wordt een factor 10 aangenomen in 100 jaar. Dit is een uitgangspunt voor het benaderen van de 'overveiligheid' t.o.v. de NEN of de uitvoeringspraktijk; in dit kader praktisch omdat uitgebreide technische analyse nodig zou zijn voor een nadere onderbouwing (zie voor nadere toelichting van achtergronden van deze keuze Bijlage 8.1);
- De damwand heeft geen waterkerende functie in de referentiestrategie (strategie 1);
- De damwand heeft wel een waterkerende functie in strategie 2 en 3;
- In strategie 3 wordt de damwand zettingsvrij geplaatst;
- Het aanvaringsrisico blijft gelijk, doordat het aantal vaartuigbewegingen constant blijft.

Weg

- De ontwerplevensduur van de weg is 30 jaar;
- De weg heeft geen impact op de faalkans van de waterkerende functie;
- In strategie 3 wordt het dijklichaam niet meer onderhouden. Dat betekent dat bij het groot onderhoud aan de weg, niet alleen de asfaltbekleding moet worden vervangen maar ook dat het zandlichaam moet worden opgehoogd t.g.v. zetting.

3.3.3 Berekening risicokosten

Faalkansberekening systeem

Het systeem faalt als de waterkerende functie faalt, waarbij falen wordt gedefinieerd als einde technische levensduur (UGT).

De jaarlijkse faalkans van de kering is een combinatie van de drie faalmechanismes overloop/overslag (hoogte), Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU). Deze drie faalmechanismen worden gecombineerd op basis van de aanname dat deze drie faalmechanismen onafhankelijk van elkaar zijn. Dit betekent dat de gecombineerde faalkans ongeveer gelijk is aan de som van de faalkansen van de beschouwde faalmechanismen. Voor n onafhankelijke faalmechanismen ieder met faalkans $P_{f,i}$:

$$P_{f,gecombineerd} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{f,i}) \approx \sum_{i=1}^n P_{f,i}$$

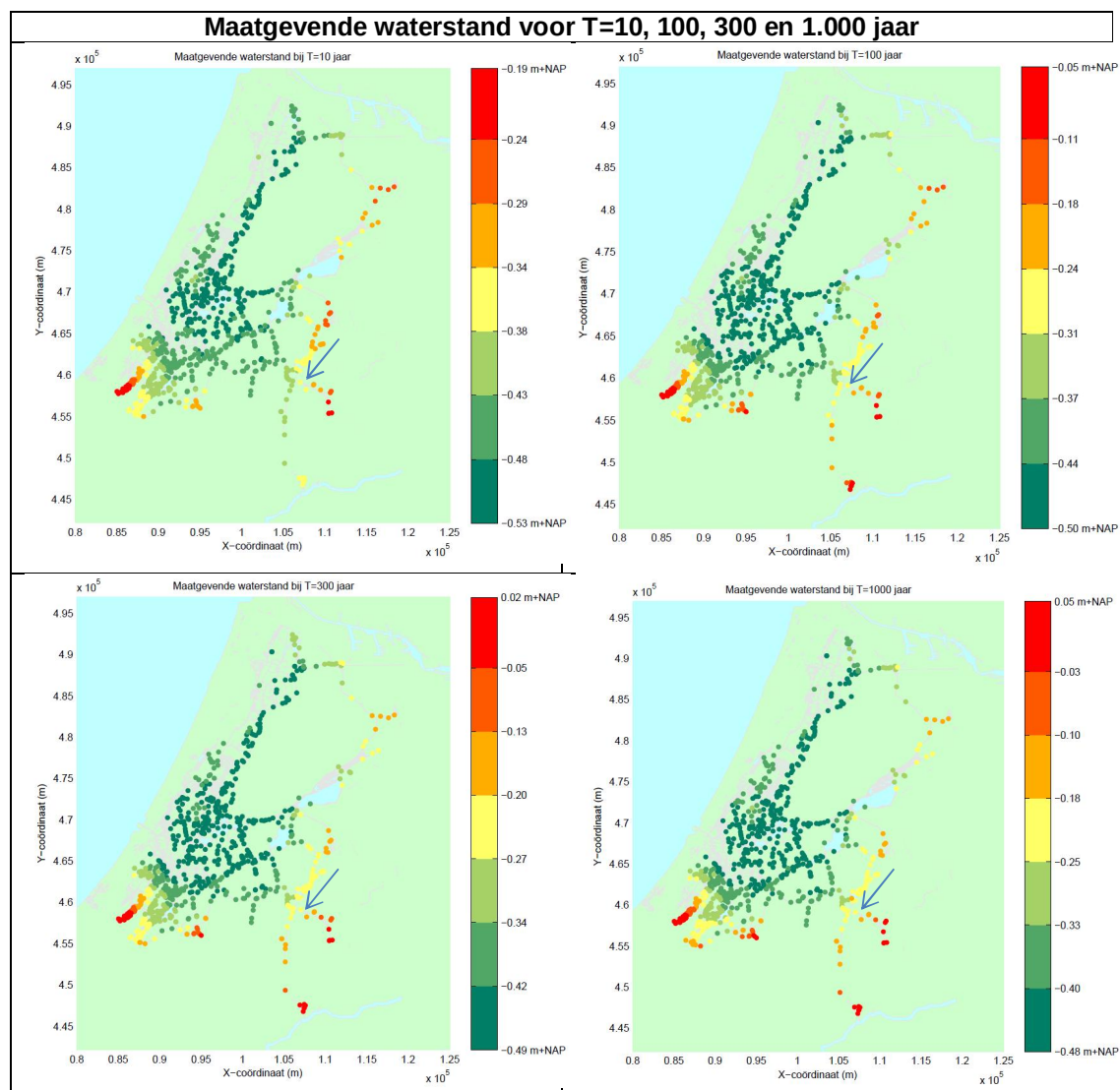
De faalkansen per faalmechanisme zijn afgeleid op basis van één dijkvak³. Dit vak is als voorbeeld beschouwd voor het hele traject.

Faalkans overloop en overslag (Hoogte)

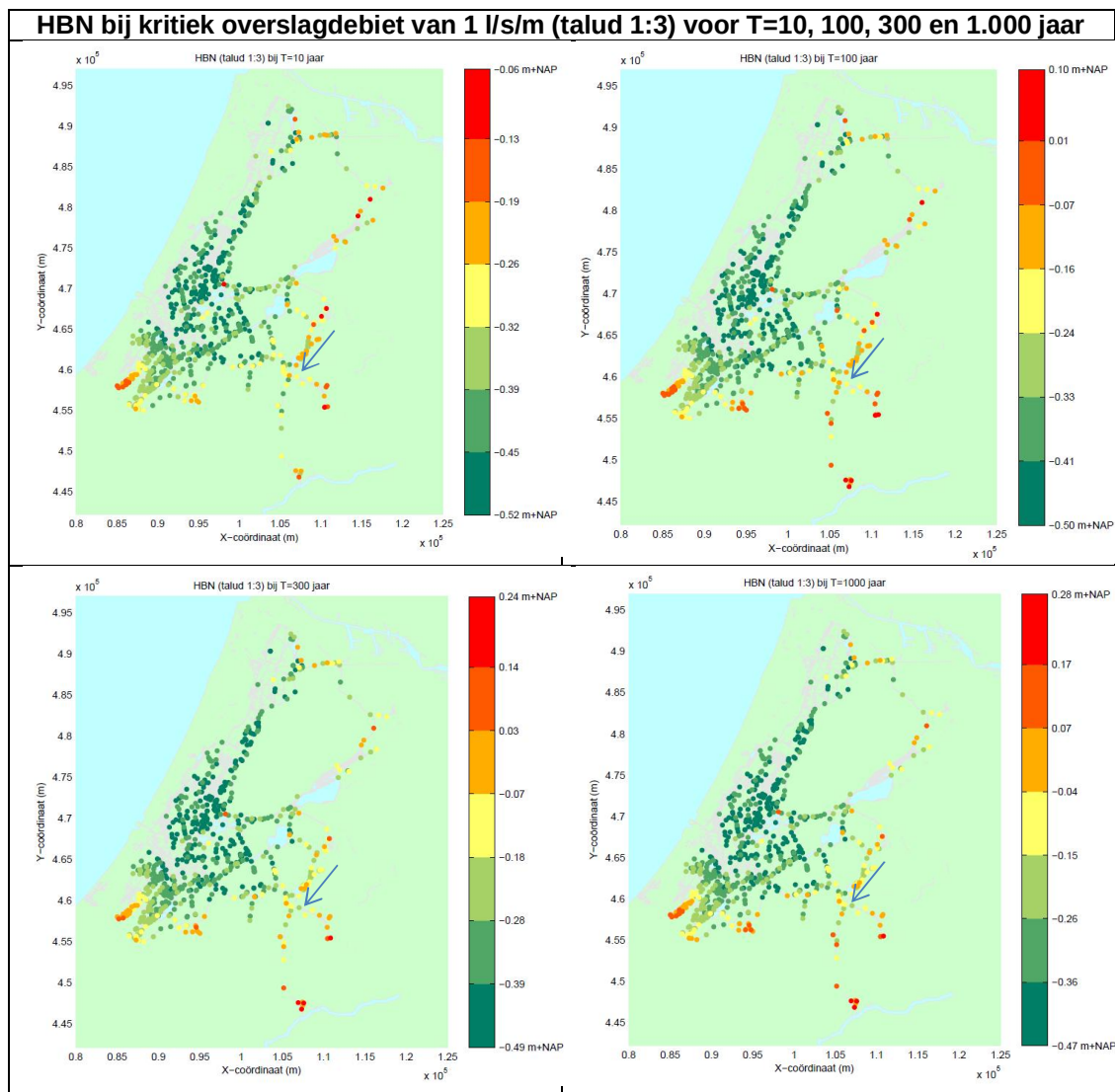
De faalkans van overloop en overslag is bepaald met behulp van de beoordelingsregel zoals beschreven in het toetsrapport [Grontmij, 2011]. Deze regel toetst de actuele aanwezige kruinhoogte aan een hydraulisch belasting niveau (HBN), waarbij de kruinhoogte groter moet zijn dan het benodigde HBN bij een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m. Het HBN bestaat uit een lokale waterstand (toetspeil) plus lokale toeslagen en een toeslag voor golfoverslag. De actueel aanwezige kruinhoogte in een willekeurig jaar is de huidige kruinhoogte verminderd met de verwachte zettingen en vermeerderd met geplande versterkingen op hoogte.

Met behulp van de hierboven beschreven beoordelingsregel kan een kritiek HBN worden afgeleid waarbij de kruinhoogte van de kering nog net voldoet. De overschrijdingskans van dit kritieke HBN is gebruikt als de faalkans op overloop en overslag. Deze overschrijdingskans is bepaald met PROMOTOR (zie [HKV,2009]). In Figuur 3.6 en Figuur 3.7 worden respectievelijk het maatgevende boezempeil en het HBN bij 1 l/s/m getoond. De Zuideinderdijk staat aangegeven met de blauwe pijl.

³ Dijkvakcode 4.12.017



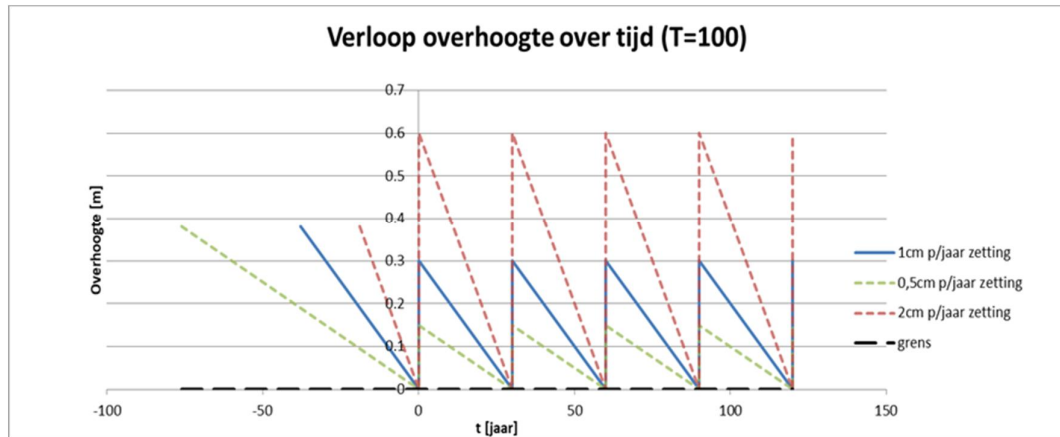
Figuur 3.6 Maatgevende waterstand voor T=10, 100, 300 en 1.000 jaar.



Figuur 3.7 HBN bij kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m (talud 1:3) voor T=10, 100, 300 en 1.000 jaar.

Strategie 1: dijklichaam bepaalt de overstromingskans overloop en overslag. Deze is gevoelig voor zetting, dus die verandert over de tijd. Als de jaarlijkse faalkans groter is dan 1/100, dan wordt de versterking uitgevoerd, zodanig dat 30 jaar na de versterking de faalkans = 1/100 per jaar (zie Figuur 3.8).

- Strategie 2: zie strategie 1;
- Strategie 3: damwand bepaalt de overstromingskans overloop en overslag. Deze is zettingsvrij aangelegd, waarbij de kans lineair verloopt over de levensduur van de damwand van 1/10.000 (net na onderhoud) tot 1/1.000 (net voor onderhoud).



Figuur 3.8 Verloop overhoogte over de tijd.

Faalkans stabiliteit binnenwaarts (STBI) en stabiliteit buitenwaarts (STBU)

Ondanks dat er D-Geo Stability schematisaties beschikbaar zijn [Grontmij, 2011], is er gekozen om op basis van een restbreedtebenadering de faalkans van stabiliteit binnenwaarts te bepalen. Dit is gedaan op basis van de volgende redenen:

- Met D-Geo Stability wordt een stabiliteitsfactor bepaald voor een maatgevend glijvlak. Voor primaire keringen binnen het WBI2017 is deze stabiliteitsfactor gekoppeld aan een faalkans met behulp van een semi-probabilistische regel. Voor regionale keringen bestaat een dergelijk regel niet. Daarnaast is deze regel voor primaire keringen niet zomaar toe te passen op regionale keringen. De semi-probabilistische regel is namelijk gekalibreerd op basis van een set probabilistische berekeningen voor primaire keringen. Het valt buiten de scope van dit project om een dergelijke semi-probabilistische regel af te leiden voor regionale keringen.
- De restbreedtemethode kijkt naar het glijvlak bij de kritische stabiliteitsfactor (0,9 [Grontmij, 2011]), en kijkt daarbij wat de restbreedte is. Deze methode geeft een reëel beeld van de faalkans, doordat kleine glijvlakken niet als falen worden beschouwd. Daarnaast is de restbreedte direct afhankelijk van het toetspeil, waardoor een relatie ontstaat tussen het toetspeil en de veiligheid. Bij de standaard beoordeling (op basis van stabiliteitsfactor) is deze relatie minder duidelijk aanwezig, waardoor er geen verschillen ontstaan bij verschillende terugkeertijden (toetspeilen). De ligging en bijbehorende stabiliteitsfactor van het maatgevend glijvlak blijken namelijk niet te worden beïnvloed door de buitenwaterstand, maar alleen door de ligging van de freatische lijn bij de binnenkruin, die afhangt van dagelijkse omstandigheden (infiltratie van regenwater).

Het bepalen van de faalkans aan de hand van een restbreedtebenadering gaat als volgt in zijn werk:

1. Voor verschillende terugkeertijden ($T=10$, $T=100$, $T=300$ en $T=1000$) zijn buitenwaterstanden bepaald met Promotor.
2. Voor elke buitenwaterstand (bij bovenstaande terugkeertijden) is bij verschillende zettingsbedragen de normcirkel bepaald: het glijvlak waarin juist wordt voldaan aan de veiligheidseis (0,9). Deze normcirkel verschilt nauwelijks voor de verschillende terugkeertijden binnen een zettingssituatie. Daarom is aangenomen dat deze normcirkel voor alle terugkeertijden gelijk is.
3. De restbreedte is bepaald door op het niveau van de buitenwaterstand de afstand te bepalen tussen buitenkant dijk en lijn 1:2, die loopt (voor kleidijken) vanaf het glijvlak op $1/2H$ (helft van de hoogte tussen insteek glijvlak en binnenteen) tot aan niveau kruin. Dit is in lijn met Technisch Rapport Actuele Sterkte bij Dijken. Indien geen glijvlak van 0,9 mogelijk is (omdat de kering heel veilig is), is de dijkbreedte op het niveau van de buitenwaterstand als restbreedte aangenomen.
4. Falen treedt op wanneer de restbreedte kleiner is dan 1,5m. Een faalfunctie Z is gedefinieerd: $Z = \text{Restbreedte} - 1,5$. Wanneer geldt dat $Z=0$, staat de kering op het punt van falen.
5. Het resultaat van bovenstaande stappen is een set met Z -waarden voor verschillende combinaties van buitenwaterstand (met bepaalde terugkeertijd) en zetting. De faalkans bij een bepaalde hoeveelheid zetting wordt vervolgens bepaald in twee stappen:
 - 1) Interpoleren tussen de zettingsbedragen waarvoor de restbreedte is berekend, om de Z -waarde bij de gegeven zetting te bepalen. Bijvoorbeeld: de restbreedte is berekend bij een zetting van 30cm en 45cm. Om de Z -waardes (van alle terugkeertijden) te berekenen bij 33cm zetting wordt geïnterpoleerd tussen de Z -waardes bij 30cm en 45cm. Het resultaat is een set van Z -waardes bij verschillende terugkeertijden (bij de gevraagde hoeveelheid zetting).
 - 2) Interpoleren tussen de β -waardes (betrouwbaarheidsindex) behorende bij de gebruikte terugkeertijden ($T=10$, $T=100$, $T=300$ en $T=1000$), om zo de β (en terugkeertijd) te vinden waarvoor geldt dat $Z=0$.

Voor STBU is een soortgelijke restbreedtebenadering gebruikt. Deze methode is gelijk aan de restbreedtebenadering die beschreven is in het toetsrapport [Grontmij, 2011]. In het toetsrapport werd al een restbreedtebenadering gebruikt vanwege de aanwezige beschoeiing. Deze restbreedtebenadering is ook hier gebruikt. Het enige verschil met de restbreedtebenadering bij STBI zit in stap 2) en 3). Bij STBU wordt de restbreedte namelijk niet bepaald aan de hand van een normcirkel, maar is gedefinieerd als de horizontale afstand op een niveau van de buitenwaterstand tussen de buitenkant van de dijk en de lijn 1:2, die loopt vanaf de onderkant van de beschoeiing tot aan niveau kruin.

STBI

- Strategie 1: dijklichaam bepaalt de faalkans STBI. Het dijklichaam is gevoelig voor zetting en daarmee verandert de faalkans voor STBI. Op basis van de restbreedtebenadering heeft zetting een negatieve invloed op STBI;

- Strategie 2: zie strategie 1;
- Strategie 3: de damwand is langsconstructie en dijklichaam heeft geen waterkerende functie. STBI is dus nu geen faalmechanisme.



STBU

- Strategie 1: het dijklichaam bepaalt de faalkans STBU. Deze is gevoelig voor zetting. Op basis van de restbreedtebenadering heeft zetting een negatieve invloed op STBU. De aanwezigheid van de damwand wordt niet meegenomen, want de damwand/beschoeiing wordt ook niet zo onderhouden vanuit de functie waterveiligheid.
- Strategie 2: de damwand is een langsconstructie. De damwand wordt zo aangelegd dat deze een waterkerende functie heeft. De damwand wordt zettingsvrij aangelegd en is daarmee niet gevoelig voor zetting. De beoordeling van STBU is hiermee niet van toepassing.
- Strategie 3: de damwand is een langsconstructie en het dijklichaam heeft geen waterkerende functie. De beoordeling van de constructie op het faalmechanisme STBU is niet van toepassing. Het dijklichaam is wel nodig om te zorgen voor het horizontale krachterevenwicht. Als het dijklichaam te veel zakt, dan wordt onvoldoende tegendruk aan de damwand geboden. De maatgevende situatie voor falen van de damwand is constructief falen van de damwand door einde technische levensduur of falen van de damwand door een aanvaring (zie hieronder). Voor constructief falen veronderstellen we dat bij de aanleg van de nieuwe damwand rekening wordt gehouden dat het achterliggende dijklichaam zakt.

Faalkans door aanvaring

De kans op een aanvaring wordt bepaald door het aantal schepen per jaar, de lengte van de vaarweg, de kans dat een schip tegen de damwand vaart en de kans dat een schip zware schade veroorzaakt aan de damwand. De kans op een aanvaring blijft gelijk over de tijd, omdat we veronderstellen dat het aantal vaarbewegingen gelijk blijft.

De frequentie van aanvaringen in algemene vorm:

$$\lambda_{\text{schip in talud balg}} = P_{\text{oever}} * L_{\text{constr}} * P_{\text{aanvaring}} * P_{\text{schade UGT}} * N_{\text{schip}} \quad [-/\text{jaar}]$$

Met:

P_{oever}	de kans op aanvaring oever per schip per kilometer [1/schip-km]
L_{constr}	vaarweglengte langs de oever ingenomen door de constructie [km]
$P_{\text{aanvaring}}$	de kans dat een schip dat in de oever vaart [-]
$P_{\text{schade UGT}}$	de kans dat zware schade optreedt bij aanvaren [-]
N_{schip}	het aantal schepen dat per jaar [-/jaar]

- Strategie 2/3: De gevolgen van een aanvaring nemen wel toe als het dijklichaam zakt, omdat de kans groter wordt dat vervorming van de damwand (beginnende schade) leidt tot technische falen en het achterliggende land overstroomd. Voor de Oude Rijn is er onvoldoende informatie over de vaarbewegingen en typen vaartuigen. We veronderstellen dat het merendeel bestaat uit recreatievaartuigen die een substantieel lichter zijn dan de beroepsvaart en niet zorgen voor vervorming van de damwand bij aanvaring. Er wordt verondersteld dat de faalkans $P=0$ per jaar is.

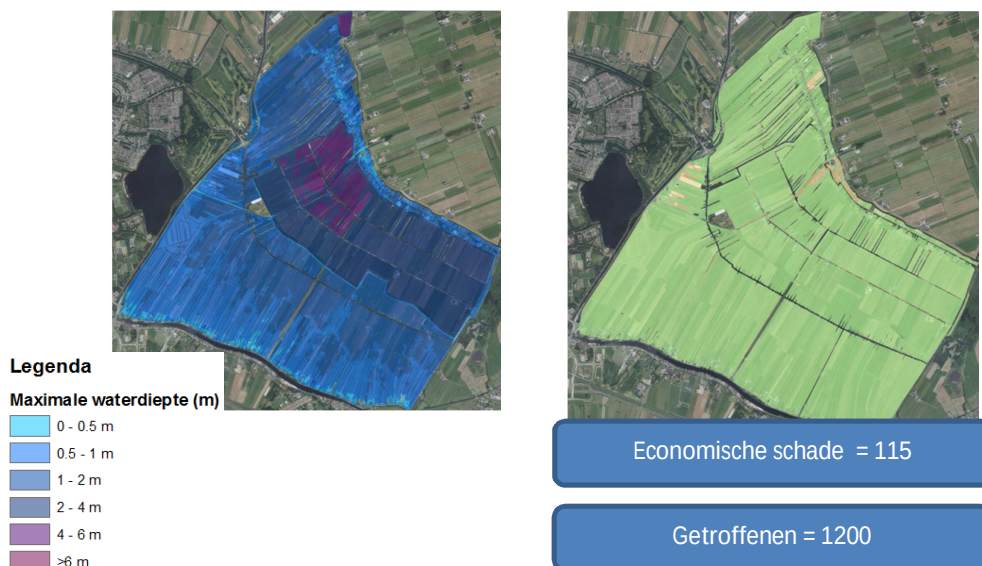
Overstromingsschade

Een overstroming van de Oude Rijn bij toetspeil (T100) treden waterdieptes op tussen de 0,5 en 2,0 meter in de Zuid- en Noordpolder. Het gebied rond de Molentocht is lager gelegen, waardoor de waterdieptes toenemen tot circa 4 meter. Bij een overstroming is de economische schade orde 115 miljoen Euro en circa 1200 getroffen (inwoners in het gebied met natte voeten), zie Figuur 3.9. In de berekening van de totale overstromingsschade wordt de maatschappelijk monetaire waarde van slachtoffers en getroffen niet meegenomen.

De risicokosten in een willekeurig jaar t worden berekend als het product van de faalkans van de waterkerende functie en de (verwachte) overstromingsschade in jaar t . De overstromingsschade in jaar t wordt bepaald met de aanname dat de overstromingsschade ieder jaar groeit met een percentage y . Deze groei vertegenwoordigt de te verwachten economische groei. In formulevorm:

$$RK_t = P_t \cdot S_t = P_t \cdot S_0 \cdot e^{y/100 \cdot t}$$

Waarbij P_t en S_t de overstromingskans en (verwachte) overstromingsschade zijn in jaar t . S_0 is de (verwachte) overstromingsschade in jaar 0 (115 miljoen Euro en 1200 getroffen). Het gevonden bedrag RK_t wordt vervolgens nog verdisconteerd aan de hand van de formule in paragraaf 3.3.1.



Figuur 3.9 Overzicht waterdiepte (links) en schade en getroffen (rechts).

3.3.4 Berekening investeringskosten bij groot onderhoud / vervanging

In de onderstaande tabel 3 zijn de (geschatte) kosten voor groot onderhoud per strategie weergegeven, waarmee de verkennende berekeningen zijn uitgevoerd.

Tabel 3.3 Investeringskosten groot onderhoud.

Onderdeel	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3
Dijklichaam (bron HH Rijnland)	1 miljoen €/km *	1 miljoen €/km *	-
Damwand (bron Provincie Zuid-Holland)	4,476 miljoen €/km voor niet-zettingsvrije damwand is uitgegaan van ondergrens kostenkental	4,476 miljoen €/km voor niet-zettingsvrije damwand is uitgegaan van ondergrens kostenkental	5,192 miljoen €/km. voor zettingsvrije damwand is uitgegaan van bovengrens kostenkental
Weg (bron gemeente Alphen aan den Rijn)	0,5 miljoen €/km o.b.v. 100 €/m2 verharding voor breedte van 5 m	0,5 miljoen €/km o.b.v. 100 €/m2 verharding voor breedte van 5 m	1,0 miljoen €/km o.b.v. 100 €/m2 verharding plus 100 €/m2 grondverzet voor ophogen voor breedte van 5 m.

* De investeringskosten voor de dijkversterking zijn onafhankelijk van de hoogte van de veronderstelde zetting. Deze aanname was voor de scope van deze studie passend, omdat de investeringskosten voor het grootste deel uit de vaste kosten bestaan. In werkelijkheid zijn de vaste kosten onafhankelijk van de zetting, maar de variabele kosten zijn wel afhankelijk. Voor een gedetailleerdere kostenraming bevelen we aan een zettingsafhankelijke kostenfunctie op te stellen.

3.3.5 Berekening dagelijks beheer- en onderhoudskosten

In de onderstaande Tabel 3.4 zijn de (geschatte) jaarlijkse kosten voor het dagelijkse beheer- en onderhoud per strategie weergegeven, waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd.

Tabel 3.4 Investeringskosten dagelijks onderhoud.

Onderdeel	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3
Dijklichaam (bron HH Rijnland)	1.000 €/km	750 €/km	-
Damwand (bron Provincie Zuid-Holland)	5.350 €/km	5.350 €/km	5.350 €/km
Weg (bron gemeente Alphen aan den Rijn)	1.800 €/km uitgaande van breedte 5 m	1.800 €/km uitgaande van breedte 5 m	1.800 €/km uitgaande van breedte 5 m

4 Berekeningsresultaten en analyse beheerkosten

4.1 Inleiding berekeningen model

In dit hoofdstuk worden deterministische berekeningen van twee verschillende systeemtoestanden op $T=0$ (bij aanvang van de beheerperiode) beschouwd. De eerste set gebruikt de “systeem op orde” configuratie: bij aanvang ($T=0$) wordt groot onderhoud aan de dijk, weg en damwand/beschoeiing uitgevoerd, omdat deze einde levensduur hebben bereikt. De berekening van de Total Cost of Ownership van “systeem op orde” wordt beschreven in paragraaf 4.2.

De tweede set gebruikt de “status quo” configuratie: groot onderhoud aan de dijk en weg worden alleen uitgevoerd indien dit noodzakelijk is vanwege een te grote overstromingskans, of omdat er vervanging nodig is vanwege einde technisch/functionele levensduur. In de tweede set wordt de damwand op $T=0$ jaar vervangen. De berekening van de Total Cost of Ownership van “systeem op orde” wordt beschreven in paragraaf 4.3.

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de situatie dat de damwand nog een restlevensduur van 50 jaar heeft i.p.v. dat deze op $T=0$ jaar wordt vervangen. De berekening van de Total Cost of Ownership van deze gevoeligheidsberekening staat beschreven in paragraaf 4.4.

Met de Probabilistisch Toolkit is voor beide systeemtoestanden op $T=0$ een bandbreedteanalyse op de Total cost of ownership (TCO) uitgevoerd. Het doel van deze analyse is om inzicht te krijgen in de verdeling van de TCO met de verwachtingswaarde (50^e percentiel) en ondergrens (10^e percentiel) en bovengrens (90^e percentiel). Deze bandbreedteanalyse is uitgevoerd voor de systeemtoestand “systeem op orde op $T=0$ ” (paragraaf 4.5) en “status quo” waarbij de damwand op $T=0$ jaar wordt vervangen (paragraaf 4.6).

4.2 Berekeningen deterministisch model voor ‘Systeem op orde op $T=0$ ’

4.2.1 Strategie 1 (referentie)

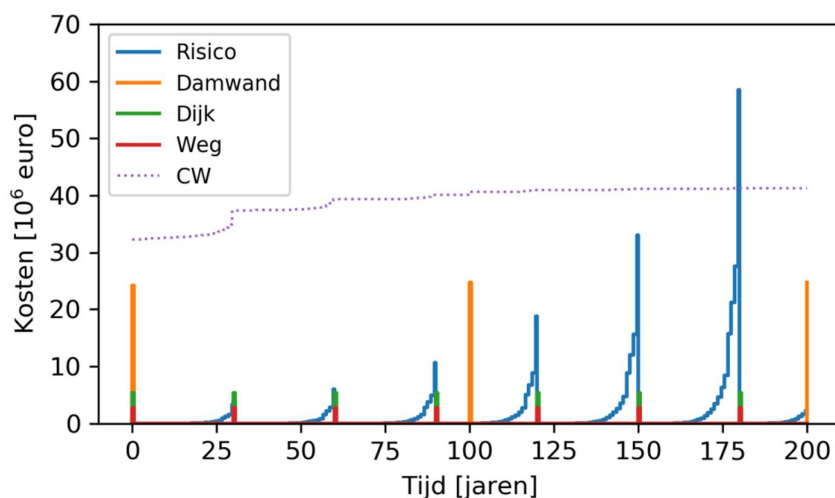
Voor de referentiestrategie zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten berekend met het deterministische model dat staat beschreven in paragraaf 3.2. In de onderstaande tabel 5 staan de verdisconteerde kosten over een periode van 200 jaar vermeld.

In de investeringskosten zitten de kosten voor het groot onderhoud / vervanging van de weg, het dijklichaam en de beschoeiing/damwand. De investeringen in dijk en beschoeiing/damwand worden in de referentiestrategie niet gezamenlijk geprogrammeerd in de tijd, en hoeven dus niet op hetzelfde moment uitgevoerd te worden. Investeringskosten kunnen desalniettemin alsnog ‘toevallig’ gezamenlijk worden uitgevoerd. Investeringskosten in de weg worden wel zoveel mogelijk gezamenlijk geprogrammeerd.

Tabel 4.1 Verdisconteerde kosten strategie 1.

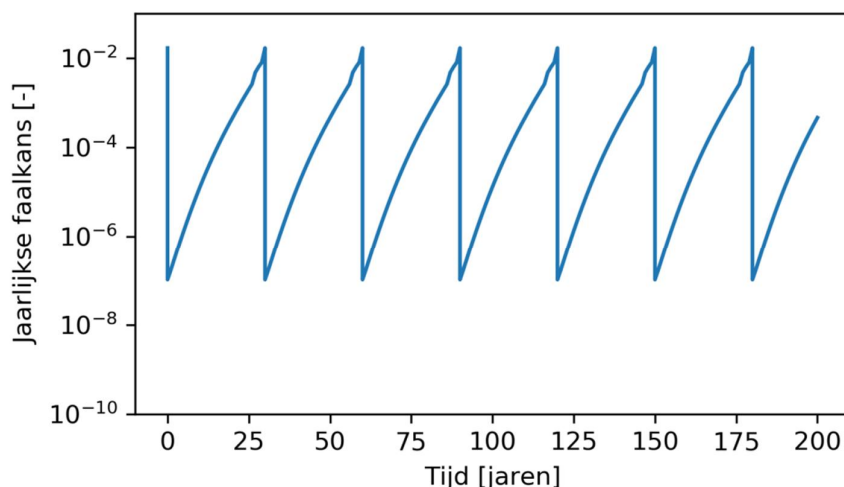
Type kosten	
CW Risicokosten	4,0 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	7,7 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	24,6 miljoen €
CW Investeringskosten weg	3,9 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW Totaal (200 jaar)	41,3 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.1 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel.



Figuur 4.1 Strategie 1 –CW (cumulatief), risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).

De risicokosten zijn de verwachte jaarlijkse risicokosten, en worden berekend door de jaarlijkse faalkans van de kering te vermenigvuldigen met de verwachte overstromingsschade. Het verloop van de faalkans voor de referentiestrategie 1 is in Figuur 4.2 te zien. Versterkingen worden uitgevoerd zodra in een jaar een faalkans groter dan of gelijk aan 1/100 wordt gevonden. Deze versterkingen worden direct in hetzelfde jaar uitgevoerd, wat terug te zien is in Figuur 4.2 door een verticale lijn in het faalkansverloop.



Figuur 4.2 Faalkansverloop over de tijd voor strategie 1.

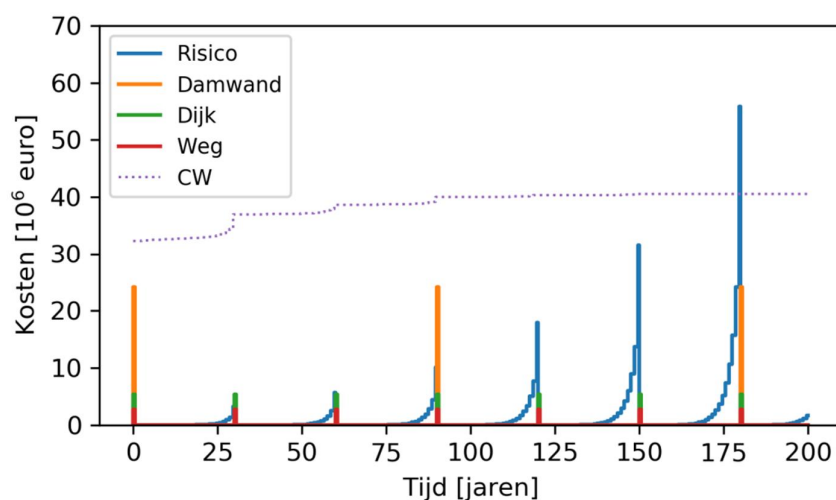
4.2.2 Strategie 2

In de onderstaande tabel 6 worden de levensduurkosten van strategie 2 gepresenteerd. In deze strategie zijn de risicokosten lager dan in strategie 1, omdat de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit verwaarloosbaar wordt door de waterkerende functie van de damwand. De investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten zijn vergelijkbaar.

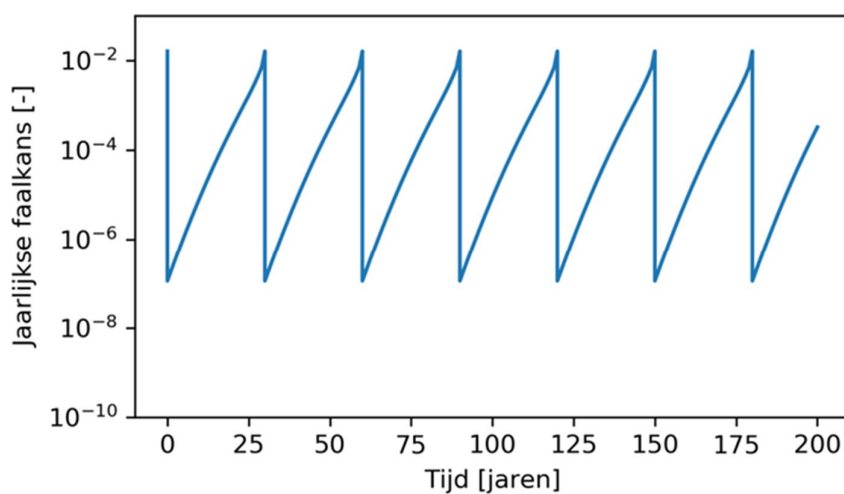
Tabel 4.2 Verdisconteerde kosten strategie 2.

Type kestin	
CW Risicokosten	3,2 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	7,7 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	24,8 miljoen €
CW Investeringskosten weg	3,9 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	40,6 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.4 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteerd, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.4 te zien.



Figuur 4.3 Strategie 2 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).:



Figuur 4.4 Faalkansverloop over de tijd voor strategie 2.

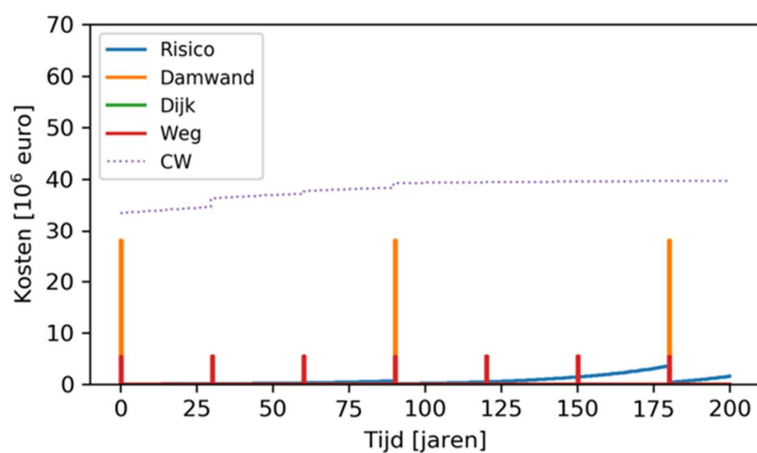
4.2.3 Strategie 3

In de onderstaande Tabel 4.3 worden de levensduurkosten van strategie 3 gepresenteerd. In deze strategie zijn de risicokosten lager dan in strategie 1 en 2, vanwege de geringe faalkans van de damwand (zie de uitgangspunten voor deze strategie). De investeringskosten van de damwand zijn hoger, omdat de damwand zettingsvrij moet worden geplaatst.

Tabel 4.3 Verdisconteerde kosten strategie 3.

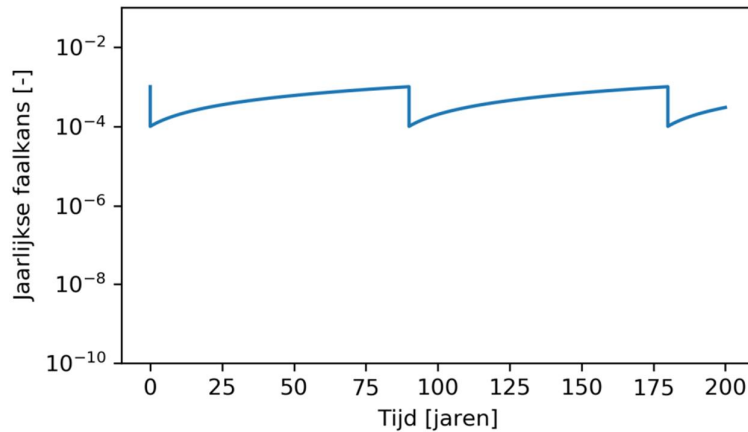
Type kosten	
CW Risicokosten	2,2 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	0 €
CW Investeringskosten damwand	28,8 miljoen €
CW Investeringskosten weg	7,8 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0 €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	39,7 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.5 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel.



Figuur 4.5 Strategie 3 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).

Voor de damwand geldt dat is aangenomen dat aan het einde van de ontwerplevensduur de damwand nog factor 10x sterker is dan de norm van 1/100 per jaar (d.w.z. 1/1.000 per jaar bij einde ontwerplevensduur). Voor de toename van de faalkans in de tijd wordt een factor 10 aangenomen in 100 jaar, waardoor het uitgangspunt geldt dat de damwand op T=0 jaar een faalkans van 1/10.000 per jaar heeft. Het verloop van de faalkans voor strategie 3 is in Figuur 4.6 te zien.



Figuur 4.6 faalkansverloop over de tijd voor strategie 3.

4.3 Berekeningen deterministisch model voor 'Status Quo'

Ten opzichte van de 'systeem op orde' configuratie zijn er de volgende wijzigingen die betrekking hebben op de aanvangssituatie ($t=0$):

- De restlevensduur van de weg 15 jaar;
- De restlevensduur van de beschoeiing/damwand is 0 jaar;
- het eerste dijkversterkingsmoment vindt pas plaats zodra de jaarlijkse faalkans van het representatieve dijkvak groter is dan $1/100$;
- In strategie 1 wordt de weg niet gezamenlijk geprogrammeerd met de dijk en beschoeiing/damwand.

4.3.1 Strategie 1 (referentie)

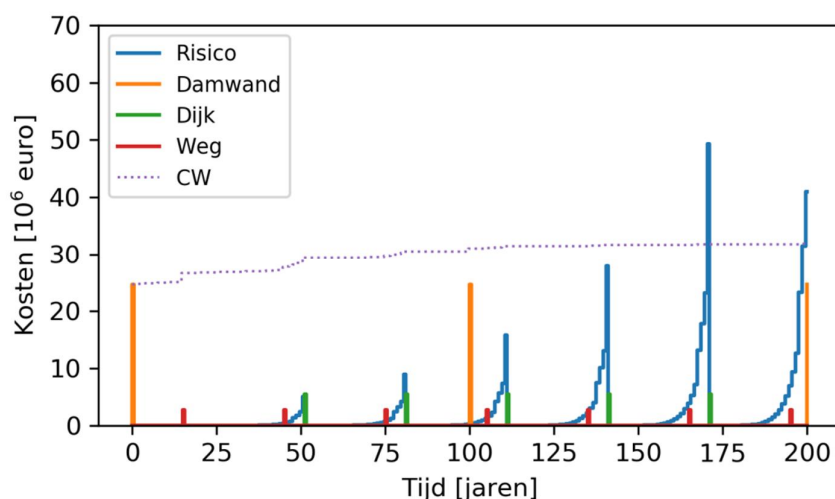
Voor de referentiestrategie zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten berekend met het deterministische model dat staat beschreven in hoofdstuk 3. In de onderstaande tabel 8 staan de verdisconteerde kosten over een periode van 200 jaar vermeld.

In de investeringskosten zitten de kosten voor de groot onderhoud / vervanging van de weg, het dijklichaam en de beschoeiing/damwand. De investeringen in dijk, beschoeiing/damwand en weg worden in de referentiestrategie niet gezamenlijk geprogrammeerd in de tijd, en hoeven dus niet op hetzelfde moment uitgevoerd te worden. Investeringskosten kunnen desalniettemin alsnog 'toevallig' gezamenlijk worden uitgevoerd.

Tabel 4.4 Verdisconteerde kosten strategie 1.

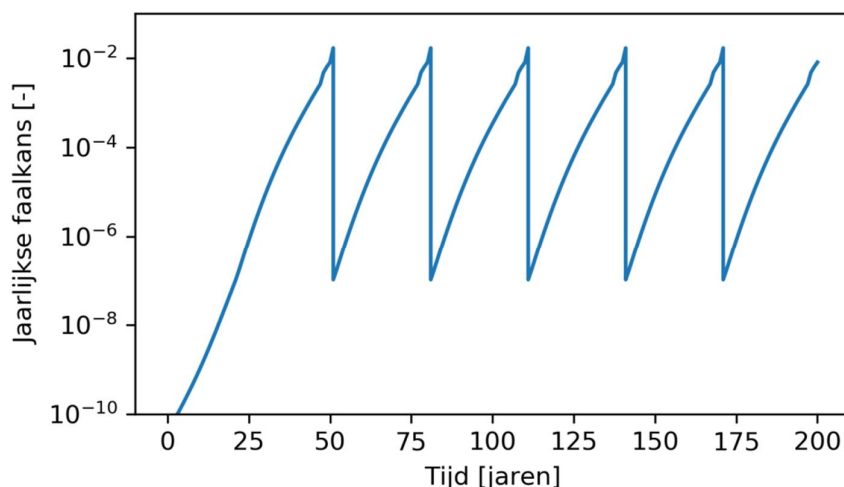
Type kosten	
CW Risicokosten	2,6 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	1,0 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	25,1 miljoen €
CW Investeringskosten weg	2,2 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	31,9 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.7 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteerd, de Contante Waarde (CW) wel.



Figuur 4.7 Strategie 1 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).

De risicokosten zijn de verwachte jaarlijkse risicokosten, en worden berekend door de jaarlijkse faalkans van de kering te vermenigvuldigen met de verwachte overstromingsschade. Het verloop van de faalkansen per mechanisme voor de referentiestrategie is in Figuur 4.8 te zien. Versterkingen worden uitgevoerd zodra in een jaar een faalkans groter dan of gelijk aan 1/100 wordt berekend. Deze versterkingen worden direct in hetzelfde jaar uitgevoerd, wat terug te zien is in Figuur 4.8 door een verticale lijn in het faalkansverloop.



Figuur 4.8 faalkansverloop over de tijd voor strategie 1.

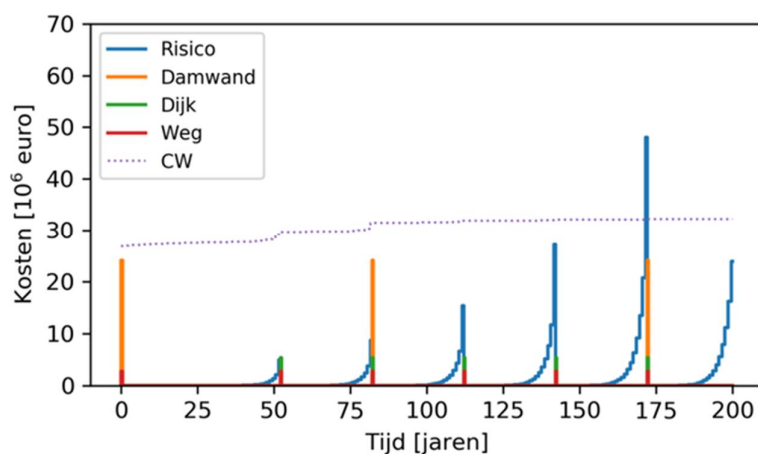
4.3.2 Strategie 2

In de onderstaande Tabel 4.5 worden de levensduurkosten van strategie 2 gepresenteerd. In deze strategie zijn de risicokosten lager dan in strategie 1, omdat de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit verwaarloosbaar wordt door de waterkerende functie van de damwand. De investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten zijn vergelijkbaar. De investeringskosten voor de weg zijn hoger dan in strategie 1, omdat het eerste investeringsmoment in de weg eerder in de tijd wordt geprogrammeerd dan in strategie 1 zodat deze tegelijkertijd met de damwand kan worden gedaan.

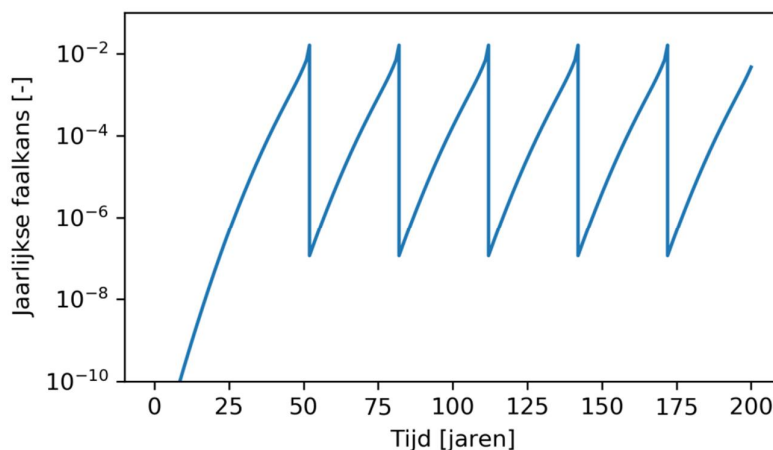
Tabel 4.5 Verdisconteerde kosten strategie 2.

Type kosten	
CW Risicokosten	2,0 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	1,0 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	25,1 miljoen €
CW Investeringskosten weg	3,2 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	32,2 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande FiguurTabel 4.9 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.10 te zien.



Figuur 4.9 Strategie 2 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).



Figuur 4.10 faalkansverloop over de tijd voor strategie 2.

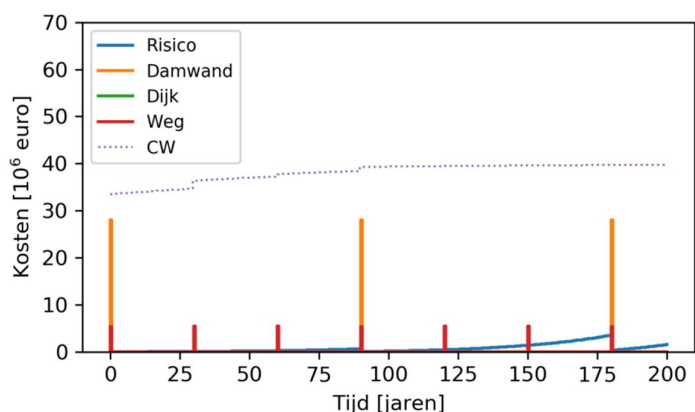
4.3.3 Strategie 3

In de onderstaande Tabel 4.6 worden de levensduurkosten van strategie 3 gepresenteerd. De risicokosten in strategie 3 zijn hoger dan in strategie 2, omdat de initiële faalkans van de dijk veel kleiner is dan de faalkans van de damwand. (zie ook het verloop van de faalkans bij strategie 2). De risicokosten van strategie 1 zijn hoger dan in strategie 3 en dus ook strategie 2, omdat in strategie 2 de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit verwaarloosbaar wordt door de waterkerende functie van de damwand. De investeringskosten van de damwand zijn hoger, omdat de damwand zettingsvrij moet worden geplaatst.

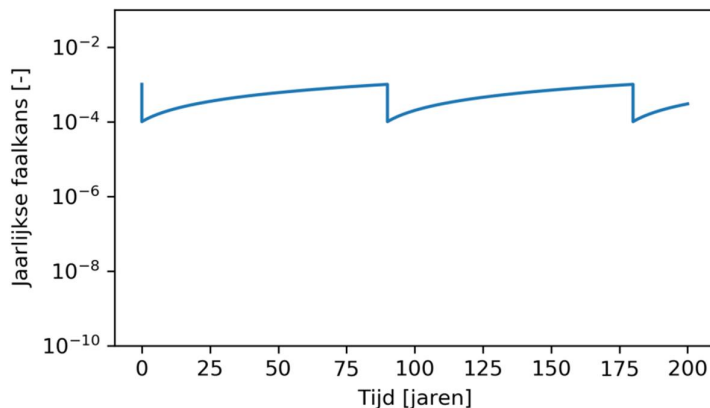
Tabel 4.6 Verdisconteerde kosten strategie 3

Type kosten	
CW Risicokosten	2,2 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	0 €
CW Investeringskosten damwand	28,8 miljoen €
CW Investeringskosten weg	7,8 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0 €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	39,7 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.11 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.4 te zien.



Figuur 4.11 Strategie 3 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).



Figuur 4.12 : faalkansverloop over de tijd voor strategie 3.

4.4 Deterministische berekeningen voor 'Status Quo met restlevensduur damwand'

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de situatie dat de damwand nog een restlevensduur van 50 jaar heeft i.p.v. dat deze op T=0 jaar wordt vervangen (paragraaf 4.3). Hierdoor neemt de contante waarde van de investeringskosten van de damwand af t.o.v. status quo met vervanging van de damwand op T=0 jaar. Dit wordt veroorzaakt doordat de in de contante waarde berekening vroege investeringen een grotere waarde hebben dan investeringen verder in de toekomst.

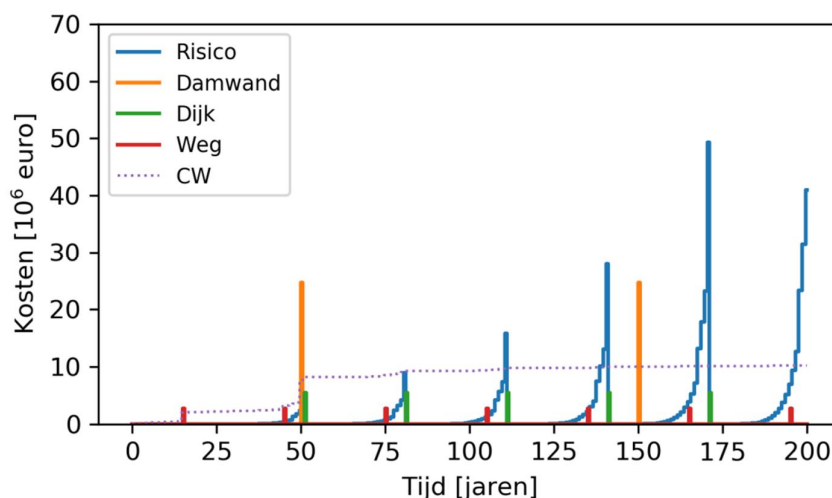
4.4.1 Strategie 1 (referentie)

De contante waarde van de investeringskosten van de damwand zijn orde 22 miljoen € lager dan in strategie 1 in de 'status quo' configuratie zonder enige restlevensduur van de damwand/beschoeiing (Tabel 4.7). Dit komt omdat de eerste investering in de damwand/beschoeiing pas rond T = 50 jaar wordt uitgevoerd, wat door de verdiscontering leidt tot een veel lagere contante waarde van de investeringskosten damwand.

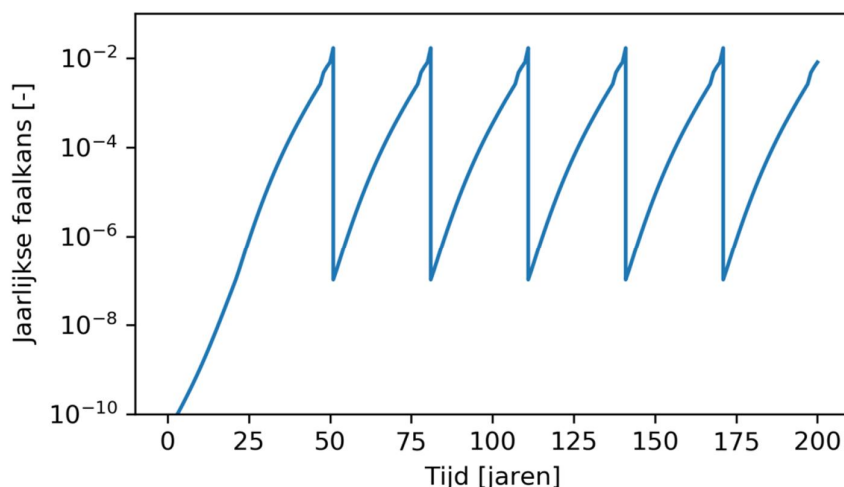
Tabel 4.7 Verdisconteerde kosten strategie 1.

Type kosten	
CW Risicokosten	2,6 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	1,0 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	3,4 miljoen €
CW Investeringskosten weg	2,2 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	10,2 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.13 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.14 te zien.



Figuur 4.13 Strategie 1 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).



Figuur 4.14 : faalkansverloop over de tijd voor strategie 1.

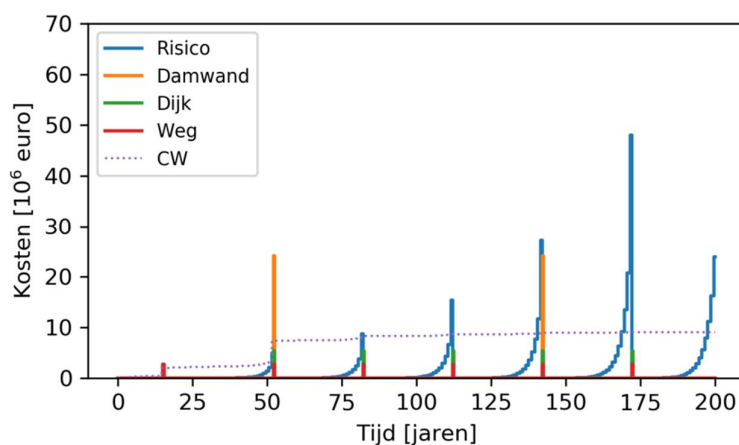
4.4.2 Strategie 2

Strategie 2 toont hier hetzelfde beeld als strategie 1: de contante waarde van de investeringskosten van de damwand zijn een stuk lager (orde 22 miljoen €, Tabel 4.8) dan in strategie 2 in de 'status quo' configuratie zonder enige restlevensduur van de damwand/beschoeiing.

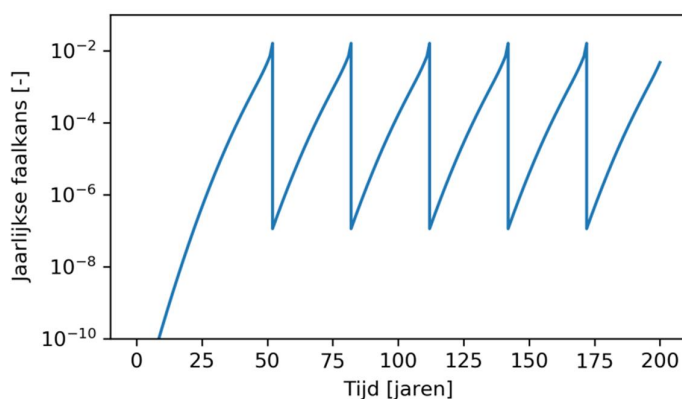
Tabel 4.8: Verdisconteerde kosten strategie 2.

Type kosten	
CW Risicokosten	2,0 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	1,0 miljoen €
CW Investeringskosten damwand	3,1 miljoen €
CW Investeringskosten weg	2,0 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	9,0 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.15 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.16 te zien.



Figuur 4.15 : Strategie 2 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).



Figuur 4.16 : faalkansverloop over de tijd voor strategie 2.

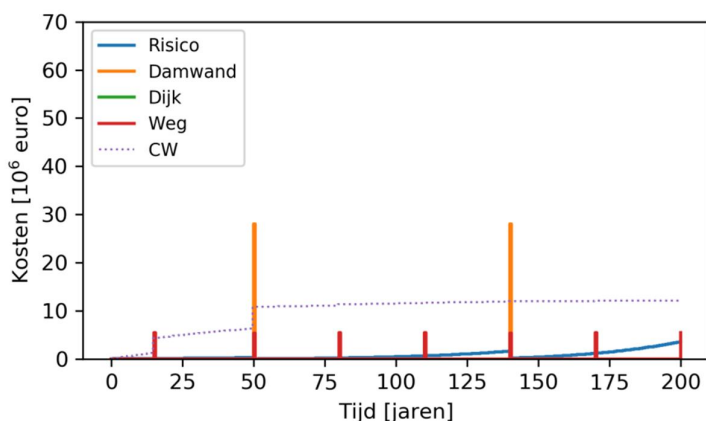
4.4.3 Strategie 3

Voor strategie 3 worden, net als strategie 1 en 2, veel lagere investeringskosten van de damwand berekend (Tabel 4.9). De risicokosten zijn echter iets hoger dan in strategie 3 in de 'status quo' configuratie zonder enige restlevensduur van de damwand/beschoeiing. Dit wordt veroorzaakt doordat de faalkans van de damwand rond T=0 jaar hoger is in de configuratie met restlevensduur voor de damwand. Dit leidt er weer toe dat de (verdisconteerde) risicokosten hoger uitvallen.

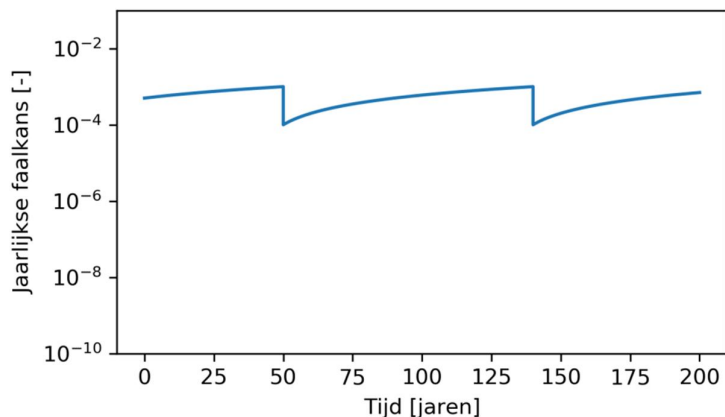
Tabel 4.9 Verdisconteerde kosten strategie 3.

Type kosten	
CW Risicokosten	3,2 miljoen €
CW Investeringskosten dijk	0 €
CW Investeringskosten damwand	3,9 miljoen €
CW Investeringskosten weg	4,1 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0 €
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,7 miljoen €
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,2 miljoen €
CW risicokosten+ CW investeringskosten + CW BO-kosten (200 jaar)	12,2 miljoen €

Het verloop van deze kosten over de jaren is in onderstaande Figuur 4.17 te zien. In deze figuur zijn de risicokosten, investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten niet verdisconteert, de Contante Waarde (CW) wel. Het verloop van de faalkans voor strategie 2 is in Figuur 4.16 te zien.



Figuur 4.17 : Strategie 3 –CW, risicokosten, investeringskosten en B&O-kosten (alleen CW is verdisconteerd).



Figuur 4.18 : faalkansverloop over de tijd voor strategie 3.

4.5 Probabilistische berekeningen en gevoeligheidsanalyse 'systeem op orde op T=0'

4.5.1 Stapsgewijze analyse (referentie)

Om te bepalen voor welke parameters de TCO het meest gevoelig is, is een stapsgewijze analyse opgezet. In Run 1 is alleen de "zetting" als stochast (lognormale verdeling met gemiddelde van 0,7 cm/jaar en standaarddeviatie van 0,5 cm/jaar) gemodelleerd en zijn de andere parameters deterministisch aangenomen. In Run 2 zijn zowel de "zetting" als de "levensduur van de dijkversterking" als stochast gemodelleerd, in Run 3 zijn naast de twee eerder genoemde parameters ook de "investeringskosten van de dijk" en de "B&O-kosten van de dijk" als stochast gemodelleerd. In de Runs 4 (levensduur) en 5 (investering en B&O) zijn op deze manier de damwand meegenomen, en in de runs 6 (levensduur) en 7 (investering en B&O) de weg. Zie voor het totale opzet Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Stapsgewijze opzet van de analyse voor de referentiestrategie.

Run	Zetting	Levensduur dijk	Investeringskosten dijk	B&O dijk	Levensduur damwand	Investeringskosten damwand	B&O damwand	Levensduur weg	Investeringskosten weg	B&O kosten weg
	Log-normaal $\mu = 0,7 \text{ cm/jr}$ $\sigma = 0,5 \text{ cm/jr}$	Log-normaal $\sigma = 10\%$	Log-normaal v.c. 50%	Log-normaal v.c. 10%	Log-normaal $\sigma = 20\%$	Log-normaal v.c. 50%	Log-normaal v.c. 10%	Log-normaal v.c. 20%	Log-normaal v.c. 50%	Log-normaal v.c. 10%
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

De levensduur van de dijk is als stochast opgenomen om te modelleren dat er bijvoorbeeld sprake is van (kleine) variaties in de zetting over de levensduur, of dat er voortschrijdend inzicht is in de faalkansinschatting. De levensduur van de damwand is ook als stochast opgenomen, maar representeert in dit geval de onzekerheid in het verouderingsproces (corrosie).

De resultaten van de stappen in Tabel 4.10 staan in Bijlage 8.2 A, en zijn samengevat in Tabel 15. Hier is te zien dat in het algemeen het geleidelijk toevoegen van stochasten leidt tot een steeds grotere spreiding van de NCW: de 10^e percentiel waarde wordt steeds kleiner en de 90^e percentiel waarde wordt steeds groter. Verder valt op dat de investeringskosten van de damwand relatief hoog zijn in vergelijking met de dijk en weg. De B&O kosten zijn daarentegen weer relatief laag. Deze resultaten volgen logischerwijs uit de gekozen stochastische verdelingen. Daarnaast zijn de investeringskosten van damwand en weg al in run 2 onzeker, omdat de onzekere levensduur van de dijk leidt tot verschillende scenario's waarbij investeringen in de weg meer of minder met de dijk of damwand worden mee gekoppeld. Indien de weg (vaker) met de damwand wordt mee gekoppeld, wordt er een lagere VAT toeslag gebruikt voor de investeringskosten van de damwand. Dit mee koppelen wordt bewust nagestreefd in strategie 2 en 3, maar kan ook 'toevallig' optreden in strategie 1.

Enkele opmerkingen bij Tabel 4.11:

- 1 In Run 4 wordt de levensduur van de damwand als extra onzekerheid t.o.v. Run 3 meegenomen. Dit beïnvloedt het investeringsmoment van de damwand en daarmee de CW van de investeringskosten van de damwand. Omdat wordt uitgegaan van systeem op orde, staat het 1^e investeringsmoment van de damwand op T=0 jaar vast.

Het verschuiven in de tijd van het 2^e investeringsmoment van de damwand heeft geen significante invloed op de CW van de investeringskosten. Daarom zijn de verschillen tussen Run 3 en 4 klein.

- 2 In Run 6 wordt de levensduur van de weg als extra onzekerheid t.o.v. Run 5 meegenomen. Naar analogie van de bovenstaande opmerking over de damwand, beïnvloedt dit de 2^e en daaropvolgende investeringsmomenten van de weg.

Het is volgens verwachting dat in Tabel 4.11 de waardes voor de kosten van de verschillende percentielen niet optellen tot de NCW waarde van hetzelfde percentiel. Dit heeft te maken met het feit dat parameters nu stochasten zijn, waardoor de 90^e percentiel waarde van A opgeteld bij de 90^e percentiel waarde van B niet leidt tot de 90^e percentiel waarde van A en B (zie voetnoot .4)

-
- 4 Een versimpelde maar intuïtieve analogie: de kans op één keer zes gooien met een dobbelsteen is groter dan de kans op twee keer opeenvolgend zes gooien.

Tabel 4.11 Overzicht resultaten stap 1-7 van Tabel 15 voor strategie 1 (referentiestrategie): systeem op orde.

Run	CW Risico-; Investerings- en B&O-kosten			CW Risicokosten			CW Investeringskosten										CW B&O-kosten									
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*
1	39,0	41,8	48,4	1,7	4,5	11,1	-	7,7	-	-	24,6	-	-	3,9	-	36,2	-	0,13	-	-	0,68	-	-	0,23	-	1,04
2	38,9	42,0	48,9	1,8	4,6	11,4	7,3	7,8	8,4	24,6	24,6	24,6	3,7	3,9	4,2	36,3	-	0,13	-	-	0,68	-	-	0,23	-	1,04
3	36,7	41,9	51,3	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	24,6	24,6	24,6	3,7	3,9	4,2	35,4	0,11	0,13	0,14	-	0,68	-	-	0,23	-	1,04
4	36,8	42,0	51,5	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	24,3	24,7	25,4	3,7	3,9	4,2	35,5	0,11	0,13	0,14	-	0,68	-	-	0,23	-	1,04
5	28,5	41,0	61,9	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	12,5	22,8	40,2	3,7	3,9	4,2	33,6	0,11	0,13	0,14	0,60	0,68	0,77	-	0,23	-	1,04
6	28,5	41,0	61,8	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	12,5	22,8	40,2	3,6	3,9	4,2	33,6	0,11	0,13	0,14	0,60	0,68	0,77	-	0,23	-	1,04
7	28,8	40,8	62,0	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	12,5	22,8	40,2	1,8	3,5	6,2	33,2	0,11	0,13	0,14	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	1,04

Tabel 4.12 stap 7 van Tabel 4.11 voor strategieën 1, 2 en 3 uitgaande van een gemiddelde zetting van 0,7 cm/jaar: systeem op orde.

STRATEGIE	CW Risico-; Investerings- en B&O-kosten			CW Risicokosten			CW Investeringskosten										CW B&O-kosten									
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*
S1a	28,8	40,8	62,0	1,8	4,6	11,4	3,8	6,9	12,7	12,5	22,8	40,2	1,8	3,5	6,2	33,2	0,11	0,13	0,14	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	1,04
S2a	27,2	40,4	61,6	2,5	4,1	10,3	3,8	6,9	12,7	11,7	22,3	42,8	1,9	3,4	6,2	32,6	0,08	0,09	0,11	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	1,00
S3a	23,9	37,0	60,2	2,0	2,2	2,3	-	0	-	13,9	25,6	48,7	3,9	7,2	13,0	32,8	-	0	-	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	0,91

Tabel 4.13 : stap 7 van Tabel 4.11 voor strategieën 1 en 2 uitgaande van een aangepaste stochastische kansverdeling van de zetting van 1,7 cm/jaar: systeem op orde.

STRATEGIE	NCW			Risicokosten			Investeringskosten										B&O-kosten									
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	Totaal p50*
S1b	25,3	36,8	57,0	0,78	1,5	2,6	3,8	6,9	12,7	12,5	22,8	40,2	1,8	3,5	6,2	33,2	0,11	0,13	0,14	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	1,04
S2b	23,9	36,6	57,5	0,69	1,4	2,4	3,8	6,9	12,7	11,7	22,3	42,8	1,9	3,4	6,2	32,6	0,08	0,09	0,11	0,60	0,68	0,77	0,20	0,23	0,26	1,00

*Het 50e percentiel van de subtotalen (investeringskosten en B&O kosten) zijn benaderd door de 50e percentiel waardes van de individuele posten op te tellen. Dit zou correct zijn indien de 50e percentiel overeenkomt met de verwachting van een onderliggende symmetrische verdeling. Er is hier echter sprake van (asymmetrische) lognormale verdelingen, waardoor de opgetelde waardes slechts indicatief zijn.

4.5.2 Conclusies bandbreedteanalyse strategie 1, 2 en 3

Voor de bandbreedteanalyse zijn de parameters van run 7 van Tabel 4.12 gebruikt om strategie 1, 2 en 3 te analyseren. De resultaten van deze analyse staan in Bijlage 8.2 B en staan samengevat in Tabel 18.

Strategie 1 vs. strategie 2:

Door strategie 1 en 2 te vergelijken, zien we het effect van mee koppelen van investeringen in strategie 2 t.o.v. strategie 1. Als we strategie 1 en 2 vergelijken, valt op dat de investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten vergelijkbaar zijn en alleen de risicokosten significant verschillen: deze zijn lager voor strategie 2 dan strategie 1. Dit is toe te schrijven aan de onderliggende aanname van strategie 2 waarin het faalmechanisme STBU te verwaarlozen is omdat de damwand als waterkerend is opgenomen. Hierdoor vermindert de totale faalkans, waardoor ook de risicokosten afnemen.

Strategie 2 vs. strategie 3:

Als we strategie 2 en 3 vergelijken, valt op dat strategie 3 de NCW lager is dan in strategie 2 (en ook t.o.v. strategie 1). De risicokosten zijn veel lager en de investeringskosten in de damwand en weg zijn hoger en geen investeringskosten in het dijklichaam.

Deze verschillen zijn gerelateerd aan de keuze om in strategie 3 de damwand de volledige waterkerende functie toe te schrijven:

- De overstromingskans in strategie 3 is, door de geringe faalkans van de damwand, veel lager dan de overstromingskans in strategie 1 en 2;
- Omdat de damwand in strategie 3 zettingsvrij wordt aangelegd, zijn de investeringskosten voor de damwand in deze strategie hoger dan in strategie 1 en 2;
- De dijk wordt in strategie 3 niet versterkt en onderhouden vanuit waterveiligheid en daarom zijn geen investeringskosten en beheer- en onderhoudskosten aan het dijklichaam;
- De kosten voor de weg zijn hoger in strategie 3, vanwege het ophogen van de weg.
- Omdat er minder vaak geïnvesteerd wordt in waterveiligheid (geen investeringen in de dijk en lange levensduur damwand) zijn er minder momenten waarop de investeringen in de weg gekoppeld kunnen worden aan waterveiligheidsinvesteringen. Hierdoor zijn de weginvesteringen hoger dan in strategie 1 en 2;
- De verlaging in risicokosten is groter dan de verhoging in investeringskosten, waardoor de NCW waarde lager uitvalt.

4.5.3 Gevoeligheidsanalyse zetting voor strategie 1 en 2

Om de gevoeligheid van de zetting te onderzoeken, zijn voor strategie 1 en 2 aanvullende berekeningen uitgevoerd met een andere kansverdeling voor de zetting. In deze berekeningen is zetting met een gemiddelde op 1,7 cm/jaar vastgesteld (paragraaf 3.1). Een hoger verwachte zetting per jaar betekent dat er meer overhoogte (cm) op de dijk moet worden aangebracht (uitgaande van een gemiddelde ontwerp levensduur van 30 jaar). Door de gemaakte keuzes in het opstellen van de kosten-batenanalyse (de investeringskosten zijn onafhankelijk van de overhoogte), resulteert een hogere zetting in een lagere overstromingskans (zie voetnoot 5) aan het begin van de levensduurperiode. Hierdoor zijn ook de uiteindelijke risicokosten lager. Dit is contra-intuïtief.

5 De overstromingskans is gerelateerd aan de overschrijdingskans van de waterstand.

Omdat in deze studie is uitgegaan van een kostenfunctie van 1 miljoen €/km, wordt de kosten/baten verhouding dus gunstiger bij een hogere zetting. Indien een zettingsafhankelijke kostenfunctie zou worden gehanteerd, met investeringskosten die hoger zijn naarmate de zetting toeneemt, dan zouden de resultaten vermoedelijk meer overeenstemmen met de intuïtie.

4.6 Probabilistische berekeningen en gevoeligheidsanalyse status quo (huidige situatie)

4.6.1 Stapsgewijze analyse (referentie)

Met de Probabilistisch Toolkit is een bandbreedteanalyse op de Total cost of ownership (TCO) uitgevoerd voor de systeemtoestand "status quo" die voor de deterministische berekeningen beschreven is in paragraaf 4.3. Deze bandbreedteanalyse is verder identiek qua opzet aan de analyse die beschreven is in paragraaf 4.5 voor de systeemtoestand 'systeem op orde'. De samengevatte resultaten van de stapsgewijze analyse (Tabel 4.13) zijn te zien in Tabel 4.14, terwijl de vergelijking van stap 7 (Tabel 4.14) voor de strategieën 1,2 en 3 te zien is in Tabel 4.15.

De stapsgewijze analyse die in paragraaf 4.5.1 is beschreven is ook hier van toepassing. Daarnaast zijn de investeringskosten van dijk, damwand en weg al in run 1 onzeker, omdat het eerste investeringsmoment van de dijk nu wordt bepaald door de zetting. Hierdoor ontstaat er ook een kans op toevallige gezamenlijke investeringen, waardoor de investeringskosten van damwand en weg ook onzeker worden. Deze onzekerheid is door de afronding op miljoenen euro's echter nihil, en betekent (door de verdiscontering) dat deze toevalligheden niet in het begin van de beschouwde tijdsperiode voorkomen.

Aangezien de weginvesteringen in de status quo niet gezamenlijk worden geprogrammeerd, wordt de spreiding rondom de investeringskosten van de weginvesteringen pas groter in stap 6, waar de onzekerheid rondom de levensduur van de weg wordt toegevoegd.

Tabel 4.14 Overzicht resultaten stap 1-7 van Tabel 4.13 voor strategie 1 (referentiestrategie): status quo.

Run	CW Risico-; Investerings- en B&O-kosten			CW Risicokosten			CW Investeringskosten										CW B&O-kosten									
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	dijk			damwand			Weg			Totaal	dijk			damwand			weg			Totaal
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	50%*	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p50*
1	29,2	31,3	33,0	0,9	2,0	2,4	0,0	0,8	2,7	25,1	25,1	25,1	2,2	2,2	2,2	28,1		0,1			0,7			0,2		1,0
2	29,2	31,4	33,1	0,9	2,0	2,5	0,0	0,8	2,8	25,1	25,1	25,1	2,2	2,2	2,2	28,1		0,1			0,7			0,2		1,0
3	29,2	31,2	33,2	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	25,1	25,1	25,1	2,2	2,2	2,2	28,0	0,1	0,1	0,1		0,7			0,2		1,0
4	29,4	31,3	33,5	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	24,8	25,1	25,9	2,2	2,2	2,2	28,0	0,1	0,1	0,1		0,7			0,2		1,0
5	18,6	29,8	48,9	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	12,6	23,6	42,8	2,2	2,2	2,2	26,5	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8		0,2		1,0
6	18,8	30,0	49,3	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	12,6	23,6	42,8	1,4	2,3	3,6	26,6	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8		0,2		1,0
7	18,9	29,8	49,0	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	12,6	23,6	42,8	0,9	2,1	4,4	26,4	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3	1,0

Tabel 4.15 stap 7 van Tabel 4.13 voor strategieën 1, 2 en 3 uitgaande van een gemiddelde zetting van 0,7 cm/jaar: status quo

STRATEGIE	CW Risico-; Investerings- en B&O-kosten			CW Risicokosten			CW Investeringskosten										CW B&O-kosten									
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	dijk			damwand			Weg			Totaal	dijk			damwand			weg			Totaal
	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p50*	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p10	p50	p90	p50*
S1	18,9	29,8	49,0	0,9	2,0	2,5	0,0	0,7	2,8	12,6	23,6	42,8	0,9	2,1	4,4	26,4	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3	1,0
S2	17,4	28,0	46,2	0,7	1,7	2,3	0,0	0,6	2,7	10,3	20,9	38,9	1,1	3,0	6,0	24,5	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3	1,0
S3	24,0	36,5	59,1	2,0	2,2	2,3				14,2	25,3	47,0	3,7	7,0	13,3	32,3				0,6	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3	0,9

Tabel 19 stap 7 van Tabel 17 voor strategieën 1, 2 en 3 uitgaande van een gemiddelde zetting van 0,7 cm/jaar: status quo.

* Het 50^e percentiel van de subtotalen (investeringskosten en B&O kosten) zijn benaderd door de 50^e percentiel waardes van de individuele posten op te tellen. Dit zou correct zijn indien de 50^e percentiel overeenkomt met de verwachting van een onderliggende symmetrische verdeling. Er is hier echter sprake van (asymmetrische) lognormale verdelingen, waardoor de opgetelde waardes slechts indicatief zijn.

4.6.2 Conclusies bandbreedteanalyse strategie 1, 2 en 3

Strategie 1 vs. strategie 2:

Dezelfde conclusies die zijn getrokken in paragraaf 4.5.2 zijn hier ook van toepassing.

Strategie 2 vs. strategie 3:

De beschrijvingen in paragraaf 4.5.2 zijn hier ook van toepassing, maar de conclusies zijn anders. We zien hier namelijk dat de totale contante waarde groter is voor strategie 3 dan voor strategie 2. Dit komt door de specifieke eigenschappen van de status quo configuratie:

- De faalkansen van de dijk zijn initieel veel kleiner in strategie 1 en 2 dan de faalkansen van de damwand. Hierdoor zijn de risicokosten ook hoger in strategie 3 (zie ook de figuren in paragraaf 4.3).
- De hierboven genoemde reden leidt er ook toe dat de eerste dijkversterking (en dus investering) pas veel later wordt gedaan.

Deze twee redenen leiden er toe dat de contante waarde van de risicokosten en investeringskosten van strategie 2 relatief gunstiger uitvallen, waardoor in het totaalplaatje strategie 2 ook goedkoper wordt.

5 Beschouwingen en discussie van overige aspecten

5.1 Samenvatting berekeningen

In de onderstaande tabellen 20, 21 en 22 wordt een samenvatting van de levensduurkosten van strategie 1, 2 en 3 gegeven, zoals berekend met het deterministische model. Dit betekent dat hier geen rekening is gehouden met onzekerheden. De investeringskosten en B&O-kosten zijn uitgesplitst naar kosten dragende organisatie (waterschap, provincie of gemeente). Voor een verdere beschouwing voor de vergelijking tussen de strategieën verwijzen we naar paragraaf 4.5.2 en 4.6.2.

In Tabel 5.1 staan de resultaten voor de systeemtoestand "systeem op orde" (par. 4.2)

In Tabel 5.2 staan de resultaten voor de systeemtoestand "status quo" (par. 4.3)

In Tabel 5.3 staan de resultaten voor de systeemtoestand "status quo, damw. later" (par. 4.4)

Tabel 5.1 Verdisconteerde kosten strategie 1, 2 en 3 ('systeem op orde')

Type kosten	Strategie 1 in miljoen €			Strategie 2 in miljoen €			Strategie 3 in miljoen €		
CW Risicokosten	4,0			3,2			2,2		
	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem
CW totale investeringskosten en B&O-kosten	7,8	25,3	4,1	20,6	12,8	4,1	14,8	14,8	8,0
• <i>Investeringskosten dijk</i>	7,7			7,7			0		
• <i>Investeringskosten damwand</i>		24,6		24,8 *			28,8		
• <i>Investeringskosten weg</i>			3,9			3,9			7,8 **
• <i>Beheer en onderhoudskosten dijk</i>	0,1			0,1			0		
• <i>Beheer en onderhoudskosten damwand</i>		0,7		0,7			0,7		
• <i>Beheer en onderhoudskosten weg</i>			0,2			0,2			0,2
CW risicokosten, CW investeringskosten CW BO-kosten (200 jaar)	41,3			40,6			39,7		

*Onder de aanname dat de kosten voor het versterken en onderhouden van de damwand 50%/50% over waterschap en provincie wordt verdeeld.

** De extra kosten voor het ophogen van de weg (grondverzet) zijn 100% van de kosten voor de wegverharding. Dit is een conservatieve aanname. Naar verwachting zullen deze extra kosten rond de 50% van de kosten van de wegverharding liggen; ongeveer 5,9 miljoen €. Indien de investeringskosten voor strategie 3 lager uitvallen, geldt voor de situatie "systeem op orde" dat strategie 3 nog goedkoper wordt t.o.v. strategie 1 en 2.

Tabel 5.2 Verdisconteerde kosten strategie 1, 2 en 3 ('status quo', geen restlevensduur damwand/beschoeiing)

Type kosten	Strategie 1 in miljoen €			Strategie 2 in miljoen €			Strategie 3 in miljoen €		
CW Risicokosten	2,6			2,0			2,2		
	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem
CW totale investeringskosten en B&O-kosten	1,1	25,8	2,4	14	12,9	3,4	14,8	14,8	8,0
• Investeringskosten dijk	1,0			1,0			0		
• Investeringskosten damwand		25,1		25,1 *			28,8		
• Investeringskosten weg			2,2			3,2			7,8 **
• Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1			0,1			0		
• Beheer en onderhoudskosten damwand		0,7		0,7			0,7		
• Beheer en onderhoudskosten weg			0,2			0,2			0,2
CW risicokosten, CW investeringskosten CW BO-kosten (200 jaar)	31,9			32,2			39,7		

Tabel 5.3 Verdisconteerde kosten strategie 1, 2 en 3 ('status quo', 50 jaar restlevensduur damwand/beschoeiing).

Type kosten	Strategie 1 in miljoen €			Strategie 2 in miljoen €			Strategie 3 in miljoen €		
CW Risicokosten	2,6			2,0			3,2		
	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem	WS	Prov	Gem
CW totale investeringskosten en B&O-kosten	1,1	4,1	2,4	3,0	1,9	2,2	2,3	2,3	4,3
• Investeringskosten dijk	1,0			1,0			0		
• Investeringskosten damwand		3,4		3,1 *			3,9		
• Investeringskosten weg			2,2			2,0			4,1 **
• Beheer en onderhoudskosten dijk	0,1			0,1			0		
• Beheer en onderhoudskosten damwand		0,7		0,7			0,7		
• Beheer en onderhoudskosten weg			0,2			0,2			0,2
CW risicokosten, CW investeringskosten CW BO-kosten (200 jaar)	10,2			9,0			12,2		

In Tabel 5.4 zijn zowel de deterministische als de probabilistische berekeningen samengevat. In deze tabel kunnen strategieën onderling vergeleken worden (dus de getallen op de horizontaal). De verschillende systeemtoestanden en rekenwijzen zijn te zien als verschillende uitgangspunten voor de beschouwing, en geven daarom geheel verschillende waarden weer, die niet onderling kunnen worden vergeleken.

In deze tabel is in geel aangegeven welke strategie maatschappelijk het meest optimale is. In groen is in elke rij de strategie gegeven met de laagste kosten voor het waterschap. Dat is in alle gevallen de referentie strategie: de huidige aanpak.

Tabel 5.4 Samenvatting verdisconteerde maatschappelijke kosten alle varianten strategie 1, 2 en 3. Voor de probabilistische rekenvarianten is de 50% percentiel waarde genomen (mediaan). De strategieën met de kleinste maatschappelijke kosten per variant zijn geel gearceerd, de strategie met de laagste kosten voor het waterschap groen

Systeemtoestand op T=0	berekeningsvariant	Strategie 1 (referentie)	Strategie 2	Strategie 3
c) Systeem op orde brengen	Deterministisch	41,3 (7,8)	40,6 (20,6)	39,7 (14,8)
	Probabilistisch (50%p)	40,8 (7,0)	40,4 (18,5)	37,0 (13,2)
d) Status quo – uitnutten toestand	Deterministisch	31,9 (1,1)	32,2 (14,0)	39,7 (14,8)
	Deterministisch, met 50 jaar restlevensduur damwand/beschoeiing	10,2 (1,1)	9,0 (3,0)	12,2 (2,3)
	Probabilistisch (50%p)	29,8 (0,8)	28,0 (11,2)	36,5 (13,0)

Er wordt opgemerkt dat de systeemtoestand “status quo – uitnutten” een belangrijke optie is. Alle uitstel door bijvoorbeeld een scherpere inschatting van de status quo, is direct zeer batig. Meer informatie over de status quo, in combinatie met bijvoorbeeld een beoordeling op maat levert in potentie besparing op.

5.2 Multicriteria analyse

De strategieën zijn met de multicriteria-analyse tegen elkaar afgewogen op basis van de criteria voor de kosten, risico's en prestaties. Deze criteria zijn deels meetbaar en deels niet meetbaar. Hierdoor vindt de afweging deels kwantitatief en deels kwalitatief plaats. Meetbare die in de multicriteria-analyse zijn meegenomen zijn onder andere levensduurkosten, % VAT kosten per project, de technische levensduur van de waterkerende constructie. Niet-meetbare criteria die in de multicriteria-analyse zijn meegenomen zijn onder andere mee koppelkansen, de mate waarin het beheer integraal plaatsvindt en de maatschappelijke impact van de verbeteringsprojecten. Deze criteria worden afgewogen op basis van het effect. Tijdens de afweging wordt een oordeel (score) gegeven op basis van de volgende verdeling:

1. Slechte prestatie.
2. Gemiddelde prestatie.
3. Goede prestatie.

In de volgende tabel is de samenvatting opgenomen van de rangschikking per strategie voor de kosten, risico's en prestaties en voor het totaal.

Beoordelingscriterium		Strategie 1: Ieder voor zich	Strategie 2: Synchroniseren en anticiperen	Strategie 3: Alles in 1 hand
Kosten	Toelichting			
Meetbaar	- Levensduurkosten 200 jaar.	1	3	2
	- % VAT kosten per project.			
Niet meetbaar	- Meekoppelkansen.			
	- Integraal beheer.			
Risico's	Toelichting			
Meetbaar	- Technische levensduur waterkerende constructie.	1	2	3
	- Faalkans is afhankelijk van zetting.			
	- Risicokosten.			
Niet meetbaar	- Beschikbaarheid beoordelen en beheren benodigde kennis HR.			
Prestaties	Toelichting			
Meetbaar	- Omvang dagelijks beheer in €.	2	3	1
Niet meetbaar	- Maatschappelijke impact verbeteringsprojecten.			
	- Landschappelijke en cultuurhistorische waarde kering.			
	- Multifunctionaliteit.			
	- Flexibiliteit.			
	- Duurzaamheid (footprint).			
	- Ecologie.			
	Totaal	1	3	2

Strategie 2 komt in de multicriteria-analyse naar voren als meest maatschappelijk kosteneffectief. In bijlage 8.2 is de volledige multicriteria-analyse opgenomen met de detailuitwerking per criterium en de kwalitatieve en kwantitatieve beoordeling.

5.3 Bestuurlijk juridische aspecten

5.3.1 Inleiding

Zoals ook in het projectplan van ROBAMCI staat aangegeven is een opgave voor het Hoogheemraadschap van Rijnland hoe te komen tot *optimalisatie van beheer en onderhoud van assets rondom regionale keringen, waarbij naast de hoofdfunctie (veiligheid) niet alleen meerdere functies maar ook meerdere stakeholders een rol spelen*.

Ten aanzien van het bovenstaande kunnen we – grofweg - drie strategieën onderscheiden:

- **Strategie 1 – Ieder voor zich / gescheiden aanpak** - Er wordt niet of nauwelijks afgestemd tussen de beheerders van de assets in, op rond de waterkering. Iedere beheerder volgt zijn eigen methoden ten aanzien van levensduur en wijze van beheer, onderhoud en vervanging van de eigen assets;
- **Strategie 2- Synchroniseren en anticiperen / mee koppelen** – damwand, weg en andere functies in en op het dijklichaam staan primair ten dienste van waterveiligheid. Beheerders stemmen het ritme van beheer, onderhoud en vervanging op elkaar af.

- **Strategie 3 – alles in 1 hand / samenvoegen functies** – de dijk als grondlichaam heeft geen waterveiligheidsfunctie meer, andere functies zoals wegen, wonen, recreatie kunnen worden toegepast. Een damwand – of andere technische oplossing - neemt de functie van de waterkering over (in onderlinge afstemming te beheren door Waterschap en Provincie)

In deze paragraaf zullen we in vogelvlucht ingaan op de juridische en bestuurlijke afhankelijkheden die ontstaan door multifunctioneel gebruik van de waterkering. De aandachtspunten bij de 3 genoemde strategieën worden daarbij aangestipt.

We doen dit door eerst stil te staan bij enkele voorbeelden van huidige werkwijzen ter illustratie. Vervolgens verbreden we dit naar inzichten uit eerdere studies naar de bestuurlijke juridische aspecten van multifunctioneel gebruik van waterkeringen. Tenslotte sluiten we af met een beknopte reflectie.

5.3.2 Huidige ervaringen

Het waterschap heeft een tweetal overeenkomsten aan Deltares gestuurd als input voor dit hoofdstuk. Hieronder een korte beschrijving van deze twee overeenkomsten.

Uitvoering vaarwegbeheer in Zuid-Holland in beheergebied van Hoogheemraadschap van Rijnland

Deze overeenkomst uit 2016 gaat in op het vaarwegbeheer van enkele vaarwegen en sluizen die door de provincie in medebewind zijn opgedragen aan het waterschap, evenals de zorg (inclusief kosten) voor het watersysteembeheer van de in de overeenkomst aangegeven vaarwegen. In de overeenkomst wordt beschreven hoe kosten hiervoor onderling jaarlijks verrekend kunnen worden. Dit door de kosten te baseren op normkosten, uitgaande van gemiddelde frequenties en eenheidsprijzen van instandhoudingsmaatregelen, en hun werkwijze van planmatig beheer en onderhoud daarop afstemmen. Echter over het realiseren van functionele verbeteringen door een van de partijen in het kader van het vaarweg- en watersysteembeheer worden aparte afspraken gemaakt.

Deze overeenkomst is een nadere specificatie van strategie 1 'ieder voor zich'. Zo lijkt het erop dat onderhoud en baggerwerkzaamheden bijvoorbeeld niet op elkaar worden afgestemd in de tijd. Het gaat alleen om een kostenverevening.

Overeenkomst tussen de Gemeente Haarlemmermeer en Waterschap Groot-Haarlemmermeer (opgegaan in Hoogheemraadschap van Rijnland in 2005)

In deze overeenkomst uit 1992 gaat het om een voorbeeld van strategie 2 – synchroniseren en anticiperen -. De overeenkomst is gericht op het omgaan met weg- en dijkbeheer voor de Ringdijk van de Haarlemmermeerpolder. In 1993 ging – vanwege een wetswijziging - het beheer van de weg automatisch over van het waterschap naar de gemeente. Echter de gemeente maakte hier bezwaar tegen vanwege het feit dat dan met aanpassen van de waterveiligheidsnormen ook de wegen zouden moeten worden opgehoogd. Hiertoe zijn weg en grondlichaam juridisch gescheiden en heeft het waterschap tuimelkades aangelegd (op de meeste plekken) en deze als kruinhoogte gehanteerd. Daarnaast is o.a. afgesproken dat groot onderhoud en vervanging zoveel mogelijk op elkaar worden afgestemd. Hiertoe is ook een kostenverdeling afgesproken evenals (primair) opdrachtgeverschap.

Helaas hebben wij geen inzicht in de ervaringen met bovenstaande overeenkomsten. We hebben dus geen inzicht in de effectiviteit van de genoemde overeenkomsten. Zij dienen dan ook alleen ter illustratie.

5.3.3 Multifunctioneel gebruik waterkeringen: bestuurlijk-juridische aspecten in vogelvlucht.

De waterkering is een bijzonder onderdeel van onze fysieke leefomgeving. Zijn belangrijkste functie, het tegenhouden van water, wordt veelal onbewust beleefd, tenzij het echt hoog water is of omdat iemand een specifieke rol heeft voor de waterkering. De waterkering wordt veel sterker beleefd als 'facilitator' van allerlei functies. De weg en het fietspad zijn alledaagse voorbeelden. Als lange linten in het landschap hebben waterkeringen een enorme waarde in de beweging van mensen, goederen, energie, water, planten en dieren.

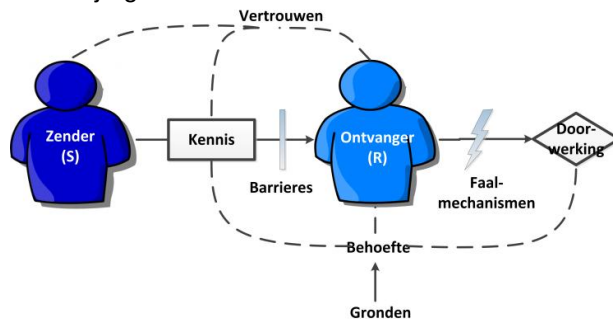
Binnen het Nederlandse waterveiligheidsdomein zijn de institutionele taken en verantwoordelijkheden gefragmenteerd neergelegd in de bestuursorganen. Daarnaast heeft elke overheidsorgaan verschillende waardesystemen en speerpunten. Dit bemoeilijkt soms de samenwerking tussen de organisaties. Vroegtijdige samenwerking is wel degelijk nodig, om te na te gaan of afstemming mogelijk is tussen de verschillende assets die worden beheerd door de diverse beheerders. Hiervoor zijn er drie strategieën geïdentificeerd (Tromp et al, 2014): 1) Niets doen, 2) Anticiperen op ontwikkelingen, en 3) synchroniseren geïdentificeerd. Ten aanzien van deze drie strategieën - die gelijkenis vertonen met de in de inleiding van dit hoofdstuk gepresenteerde strategieën zijn de volgende aandachtspunten te onderscheiden:

1. Organisatie

Het mogelijk maken van een ontwikkeling gaat in eerste instantie namelijk niet om of het toelaatbaar is vanuit regelgevend perspectief (vergunning/ontheffing), maar of partijen bereid zijn deel te nemen in de ontwikkeling om eigen doelen te bereiken. De initiële aandacht in het vormgeven van een organisatie dient gericht te zijn op het verkrijgen van draagvlak voor een actieve deelname en ruimte voor deelnemers om eigen doelen in te kunnen brengen. Dit is een opgave op zowel bestuurlijk als ambtelijk niveau. De bereidheid om mee te investeren of te onderhouden en beheren in asset dient vroegtijdig te worden geborgd in iedere betrokken organisatie.

Kennisdoorwerking in relatie tot multifunctioneel gebruik van waterkeringen

Binnen huidige promotieonderzoek wordt onderzoek gedaan naar de wijze waarop overheidspartijen onderling kennis delen met als doel om een optimaler ontwerp van een waterkering te maken. Een fijnmazig zenderontvanger raamwerk (Tromp & Bots, 2016, 2018) maakt inzichtelijk waar en wanneer kennisoverdracht en kennisdoorwerking al dan niet succesvol verloopt. Zoals Figuur 5.1 laat zien, wordt in een kennisoverdrachtsmoment de kennis K overgedragen door een zender S naar ontvanger R. Als de overdracht slaagt, dan is K beschikbaar voor R, en kan R het gebruiken. Kennisoverdracht is effectiever wanneer de ontvanger de kennisbron als betrouwbaar acht (Vertrouwen / *trust*). De kennisbehoefte kan onder meer voortkomen uit wettelijke bepalingen (MIRT-procedures, MER, etc.). Kennisoverdracht en -doorwerking kunnen belemmerd worden door drie typen barrières: (1) cognitieve barrières (verschil in perceptie, jargon, en/of verminderde communicatievaardigheden), (2) institutionele/culturele barrières ('andere manier van werken' en/of verschillende organisatiekernwaarden), en (3) resource-gerelateerde barrières (beschikbaarheid van tijd, geld, gekwalificeerde menskracht). Na de overdracht kunnen ook faalmechanismen optreden, bijvoorbeeld als de ontvanger een persoon ontmoet, die de overgedragen kennis afwijst, of kennis wordt anders gebruikt dan oorspronkelijk bedoeld. In de bijlage 8.4 staan meer succes- en faalfactoren vermeld.



Figuur 5.1 Zenderontvanger raamwerk om kennisoverdracht te verbeteren (Tromp, 2018)

2. Financiën

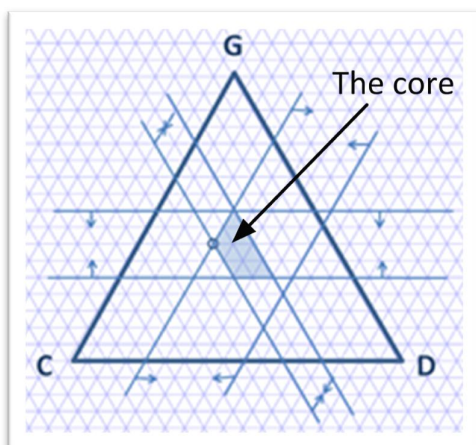
Door koppelingen is het mogelijk dat werkzaamheden goedkoper worden en verwachte investeringen en kosten van beheer en onderhoud lager uitvallen. Zeker in de publieke omgeving geeft deze invulling aan de doelmatigheidsdoelstelling. Bij strategie van anticiperen gaan de kosten deels voor de (maatschappelijke) baten uit. Dit vergroot de complexiteit van de ontwikkeling en beheer en onderhoud aangezien het draagvlak voor de investering een specifiekere onderbouwing vraagt, gebaseerd op onzekere fysieke ontwikkelingen en/of gedrag/toezeggingen van andere partijen. Ook speelt de vraag wie welke investering of kosten van beheer- en onderhoud voor zijn of haar rekening neemt en of er bijvoorbeeld afspraken nodig zijn dat op een later moment in de tijd compensatie of terugbetaling plaatsvindt. De beschikbaarheid van een gezamenlijk fonds of rekening (met handelingskader en mandaat) kan een vereenvoudiging met zich mee brengen. In beide gevallen dient financiering als aandachtsgebied niet onderschat te worden. Belangrijke aandachtspunten zijn:

- De afhankelijkheid van mogelijke subsidieregelingen. De voorwaarden van deze regelingen kunnen beperkingen opleggen (zowel in tijd als in het proces)
- De samenhang met financiering door eventuele deelnemende private partijen. Hier spelen andere risico afwegingen, bijvoorbeeld wanneer sprake is van vreemd vermogen (geleend geld).

Het denken vanuit exploitatiebeginselen en benutten van methoden voor het opzetten van exploitaties kan nuttig of noodzakelijk zijn. Daarnaast moet rekening worden gehouden met specifieke regelgeving.

Samenwerken loont!

Als onderdeel van het onderzoeksproject BE SAFE wordt de workshopmethodiek 'Meerwaarde van Multifunctionaliteit' ontwikkeld. De functie van deze methode is het in beeld brengen van de meerwaarde van het combineren van verschillende gebruiksfuncties in watergerelateerde projecten. Naast de waterfunctie (bijvoorbeeld waterveiligheid of waterbeschikbaarheid) in deze projecten, zijn er vaak raakvlakken met andere functies, zoals natuur, ruimtelijke kwaliteit of infrastructuur. Het combineren van gebruiksfuncties kan een 'win-win' opleveren, maar vraagt om (soms ingewikkelde) samenwerking. Niet zelden is bovendien sprake van zogenaamde sociale dilemma's waarbij samenwerking in het algemeen belang is maar niet in het individueel/organisatie belang van partijen. Door het op gestructureerde wijze in beeld brengen van bestaande afhankelijkheden en de meerwaarde van multifunctionaliteit kunnen stakeholders een gedegen afweging maken met betrekking tot samenwerking, of niet. Ook wordt inzichtelijk onder welke omstandigheden samenwerking meer oplevert dan een individuele route. Bijvoorbeeld door aanvullende kennisontwikkeling, een aangepast ontwerp of organisatie van het betreffende project. De methodiek is gebaseerd op wetenschappelijke inzichten uit de speltheorie ('game theory', figuur 5.2). Met speltheorie kunnen strategische situaties tussen stakeholders inzichtelijk en op logische wijze worden gemodelleerd.



Figuur 5.2 Diagram van een spel met drie spelers (C, D and G) met in het midden de kern (bron: Cunningham, 2015)

3. Juridisch

Regelgeving speelt een voorname rol in ontwikkelingen en het bijbehorende beheer en onderhoud. Ontwikkelingen krijgen te maken met diverse sets aan regels. Vergunningen, ontheffingen, bestemmingen, etc. dienen te worden voorbereid, georganiseerd en verkregen. Daarnaast is er vaak ook een privaatrechtelijk speelveld. Overeenkomsten tussen partijen over financiële bijdragen, over uitvoering van werken, over verwerving en terug levering van gronden, opstallen, etc. zijn mogelijk aan de orde. Het verkennen en gestructureerd organiseren van het juridische speelveld dient vroegtijdig plaats te vinden, zowel in het omgevings- en bestuursrecht als in het privaot en aanbestedingsrecht.

Tegelijkertijd bieden hedendaagse contractvormen als DBFM of alliantie mogelijkheden om op passende wijze verantwoordelijkheidsverdelingen te organiseren, waarbij risico's komen te liggen bij diegene die deze het beste kan beheersen. Ook de nieuwe omgevingswet zal een werkwijze stimuleren waarbij partijen elkaar snel opzoeken (Elverding), samenwerking gefaciliteerd wordt (doorwerking bestuursovereenkomsten) en een integrale afweging mogelijk gemaakt wordt (programmatische aanpak).

Willen of kunnen?

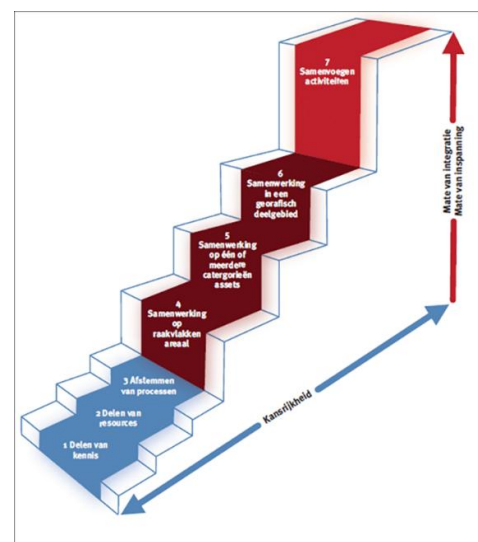
In een recent afstudeeronderzoek (Dekker, 2018) zijn er in totaal 20 sleutelfactoren op het gebied van governance geïdentificeerd en gevalideerd door dijk deskundigen, die van invloed zijn op de invoering van multifunctionele waterkeringen (zie hiervoor Bijlage 8.4). Uit het onderzoek volgt dat de implementatie en toepassing van waterkeringen met een meervoudig ruimtegebruik met name een kwestie is van willen, in plaats van kunnen.

De implementatie van multifunctionele keringen lijkt met name te haperen bij de interne processen, waarbij vertrouwen, communicatie, betrokkenheid en het delen van kennis/kennis van belang is. Het is ook een kwestie van het vergemakkelijken van het proces (flexibiliteit en ervaring) ten aanzien van multifunctioneel gebruik. Daarom is de belangrijkste conclusie van deze studie dat de focus meer moet liggen op de (interne) processen van dijkversterking. De regionale partijen spelen een belangrijke rol in dit proces, maar belanghebbenden op alle betrokken lagen moeten dit proces vergemakkelijken, om multifunctionele keringen mogelijk te maken.

- 5.3.4 Kansen en knelpunten van deze strategieën vanuit bestuurlijk/juridisch perspectief
Elke strategie kent zijn eigen kansen en knelpunten. Per asset zou de afweging gemaakt moeten worden om voor een bepaalde strategie te kiezen, waardoor een op maat gemaakte aanpak gekozen kan worden. Uiteraard gebruik makend van inzichten uit theorie en best practices (van binnen en buiten de eigen organisatie).

Strategie 1 – Ieder voor zich

Voor de kansen en knelpunten van deze strategie verwijzen we naar de samenwerkingsladder (zie Figuur 5.3). Ondanks dat het ieder voor zich is laat deze strategie wel ruimte om kennis te delen en zo van elkaar te leren, veel verder gaan we ook niet in deze strategie. De reden om niet samen te werken is vaak vanwege verwachte lagere transactiekosten en daadkrachtiger handelen op organisatie niveau. Hierbij gaan we er echter aan voorbij dat maatschappelijk gezien de kosten wel eens hoger kunnen uitvallen. Daarnaast kan deze strategie er voor zorgen dat er maatschappelijke weerstand komt door de in de openbare ruimte ervaren werkzaamheden/overlast die schade toebrengen aan het imago van de betrokken organisatie/bestuurder. Denk aan voorbeelden waarbij de weg in een straat eerst open gaat voor riolering en vervolgens vanwege het aanleggen van een nieuwe kabel.



Figuur 5.3 Samenwerkingsladder (bronnen: Leertouwer & van Dijk en AT Osborne)

Strategie B: Synchroniseren en anticiperen

Synchroniseren betekent dat die activiteiten / ontwikkelingen worden gebundeld die synchroon in de tijd lopen. Daarbij kan sprake zijn van een 'gedwongen' synchronisatie waarbij ontwikkelingen worden versneld of vertraagd om deze op elkaar te laten aansluiten. In de praktijk betekent dit dat investeringen naar voren worden gehaald of enigszins vertraagd om daarmee meer voordeel te halen uit gemeenschappelijke ontwikkelingen. De agenda's worden in dit geval op elkaar afgestemd. De flexibiliteit wordt gevonden in de tijd en in de bereidheid tot investeren of de beschikbaarheid van een flexibel budget.

Anticiperen is een mogelijkheid voor flexibiliteit waarbij juist de ruimte in beeld is. Sommige ontwikkelingen kunnen niet worden gesynchroniseerd omdat urgentie ontbreekt en waarmee de mogelijkheid voor een geïntegreerde investering ontbreekt. Voorkomen kan echter worden dat hierdoor belemmeringen ontstaan voor toekomstige ontwikkelingen. Een ontwikkeling of activiteit in of naast de kering kan dusdanig worden uitgevoerd dat een ingreep aan de waterkering op termijn van één of meer decennia dan geen belemmeringen ondervindt of juist sneller en eenvoudiger kan worden uitgevoerd. Eén van de grootste hobbels die men tegen komt is de beschikbaarheid van financiële middelen. Waar deze in een omgeving verkeren met starre regels, vanuit een perceptie van doelmatigheid, is een intensivering van inspanningen nodig om (financiële) ruimte te creëren. Anticiperen kan in eenvoudige maatregelen worden gevonden, bijvoorbeeld in technische mogelijkheden.

5.3.5 Strategie 3 – alles in 1 hand

Bij deze strategie gaan we ervanuit dat alle stappen van de samenwerkingsladder zijn benut. Door de samenwerking worden kennis, middelen en capaciteit gedeeld en wordt ook de samenwerking op geografische schaal vormgegeven. Juridisch zijn waterkering en andere functies gescheiden, waardoor de samenwerking tussen organisaties ook budgettair eenvoudiger is te organiseren. De gelabelde budgetten blijven zoals ze waren. Er hoeft geen ontschotting van budgetten tussen afdelingen en organisaties plaats te vinden (bijvoorbeeld van investering/realisatie naar onderhoud en beheer).

Een aandachtspunt bij deze strategie kan zijn dat de complexiteit van de opgaven (multifunctionaliteit) toeneemt en dat de (ruimtelijke)druk op de waterkering toeneemt. Om hiermee om te gaan is het belangrijk dat er een duidelijk (toets)visie ligt voor de ruimtelijke ontwikkelingen op en rond de waterkering zodat vragen ten aanzien van ruimtelijke ontwikkelingen ook een eenduidig en consistent antwoord krijgen.

5.3.6 Conclusies/Adviezen

Uit het voorgaande zijn een aantal voorlopige conclusies te destilleren:

- Maatwerk: de drie strategieën zijn grofstoffelijk beschreven. Afwegen van de strategieën voor verschillende situaties blijft een aandachtspunt. Belangrijk bij een dergelijke afweging is ook om hierbij de maatschappelijke baten zoveel mogelijk in beeld te brengen zonder de organisatie kosten (materiaal en immaterieel) onevenredig te laten toenemen.
- No-Regret: de eerste drie stappen van de samenwerkingsladder zijn altijd zinvol om te nemen in het kader van assetmanagement ten aanzien van de waterkering, deze vragen om een beperkte tijdsinspanning.

6 Conclusies

6.1 Algemene conclusies

- Als een strategie wordt gekozen waarin de damwand een rol speelt voor de veiligheid, dan is dat maatschappelijk efficiënter dan als we de vaarwegfunctie en de veiligheidsfunctie apart bezien. Wel zal de realiteit lokaal altijd vragen om een combinatie van de verschillende strategieën.
- Uitnutten lijkt wel een erg belangrijke optie. Alle uitstel door bijvoorbeeld een scherpere inschatting van de status quo of de veroudering, is direct zeer batig.
- De ROBAMCI case leert het goede gesprek te voeren. In de casus is, door het in ROBAMCI ontwikkelde rekenmodel te gebruiken, meer inzicht verkregen welke keuzes voor langere termijn moeten worden gemaakt en/of welke discussies moeten worden gevoerd om beslissingen te nemen voor het toekomstig managen van de assets. ROBAMCI helpt ons de juiste vragen te stellen, om keuzes voor langere termijn te onderbouwen.
- Het systeem- en risicogericht managen (Robamci) van assets met verschillende functies zorgt voor lagere levensduurkosten. Door het combineren van functies en/of het uitstellen en/of het afstemmen van het moment van vervanging en onderhoud worden kosten bespaard en risico's beperkt.
- Uit de Multi Criteria Analyse (MCA) blijkt dat het kostenaspect niet doorslaggevend is voor de keuze voor een strategie. Door het toevoegen van maatschappelijke criteria worden de strategieën evenwichtiger tegen elkaar worden afgewogen en een keuze kan er beter worden onderbouwd.
- De gepresenteerde samenwerkingsladder biedt inzicht in hoe de strategieën scoren in termen van samenwerking. Strategie 1 zit heel laag op die ladder, strategie 3 hoog. Idealiter, als alle stappen in de ladder zijn benut, worden kennis, middelen en capaciteit gedeeld en wordt ook de samenwerking op geografische schaal vormgegeven. Juridisch zijn waterkering en andere functies gescheiden.

6.2 Conclusies ten aanzien van de resultaten

- Als de kosten voor het waterschap het belangrijkste criterium is, dan is de huidige strategie het meest optimaal (de betrokken overheden zorgen individueel voor de instandhouding van de functie onder hun verantwoordelijkheid), in combinatie met het uitnutten van het gehele systeem.
- Maatschappelijke kosten en risico's leiden tot strategie 3 (de gehele veiligheidsfunctie laten opvangen door de damwand), in combinatie met het uitnutten van de levensduur van de damwand.
- De prestaties die niet eenvoudig in geld uit te drukken zijn leiden via een multicriteria analyse waarin ook de kosten en risico's zijn betrokken, tot strategie 2 (veiligheidsfunctie wordt geleverd door dijk en damwand). Deze strategie biedt de beste kansen voor mee koppelen, inpassing, behoud van waarden en adaptiviteit.
- De maatschappelijk optimale strategie leidt tot een efficiëntie van 5-10%. De risico's van strategie 3 zijn ca 50% van de risico's bij strategie 1.
- De probabilistische analyses laten een zeer grote spreiding zien in de resultaten van de kosten en risico's over de levensduur, ze kunnen ca 50% groter en kleiner zijn dan de mediane waarde.

6.3 Conclusies ten aanzien van de gebruikte invoer

- Het in ROBAMCI ontwikkelde informatiekwaliteitsmodel (IKM) geeft een oordeel over de betrouwbaarheid van de beschikbare data. Door de het IKM in de onderhavige casus toe te passen blijkt dat er met 2 sets hoogtemetingen voldoende data beschikbaar was om een methode voor de analyse van de zetting op te zetten, maar het is de vraag of 2 sets voldoende is om de gevonden resultaten te kunnen beoordelen. De inzet van deskundige van het hoogheemraadschap (expert-judgement) was nu noodzakelijk is om de rekenkundige uitkomst te beoordelen.
- De vergelijking van kosten over de (oneindige) levensduur van de functie, wordt beperkt tot een periode van tweemaal de levensduur van de damwand, 200 jaar. Met deze aanpak is er geen versturende invloed meer van gebeurtenissen of keuzes na die periode, op de vergelijking in het heden. De periode van 200 jaar is niet reëel voor wat betreft de bestuurlijke en ruimtelijke arena. De periode heeft alleen betrekking op de vergelijking tussen strategieën, en betreft geen voorspelling van de toekomst.
- Het keuzemoment voor een investering kan nauwkeuriger worden bepaald indien er inzicht is in de werkelijke restlevensduur van de assets. Een inschatting van de werkelijke restlevensduur kan alleen worden gemaakt indien er beschikking is over betrouwbare informatie/data van de assets.
- De door de provincie aangeleverde waarden voor de kosten van de damwand zijn erg hoog, zeker in vergelijking tot de andere posten. Voor het verkrijgen van een betrouwbare schatting van de levensduur kosten moeten deze getallen goed worden onderbouwd of aangescherpt. Dit zelfde geldt ook voor de aanname voor het prijsverschil tussen de niet-zettingsvrije damwand (strategie 1 en 2) en de zettingsvrije damwand (strategie 3). De kosten daarvan zitten erg dicht bij elkaar.

6.4 Conclusies ten aanzien van de interpretatie van de resultaten

- Het inwinnen en verwerken van betrouwbare data naar informatie is voor asset management onmisbaar. De gehanteerde aanpak binnen de ROBAMCI tools is geschikt om nieuwe/extra en kwalitatief betere variabelen en kentallen te gebruiken en te verwerken om nog betrouwbaarder uitkomsten te genereren.
- De beschikbaarheid van financiële middelen (hoeveel en wanneer) is van groot belang om een op maat gemaakte aanpak te kiezen. Deze parameter is niet beschouwd in deze studie, maar de methode leent zich om budgetbeschikbaarheid in de levensduuranalyses te betrekken
- De kwaliteit van de analyse is hoog, alhoewel de kwaliteit van de gebruikte invoer kan worden verhoogd. De vergelijking tussen de strategieën wordt slechts beperkt door de invoer beïnvloed, zoals blijkt uit de gevoeligheidsanalyse met de zettingssnelheid.
- Met deze conclusies kan worden gesteld dat voorliggende methode en uitwerking model kan staan voor de aanpak van het gehele areaal aan waterkeringen in Rijnland voor het ontwikkelen van het beleid ten aanzien van samenwerking met medebeheerders.
- Consensus tussen alle beheerders over uitgangspunten en gegevens wordt het best gevonden als provincie en gemeente deze methode ook doorleven, vanuit hun ervaring met de door hen in stand te houden functies. Samen met de medebeheerders kunnen dan per concreet geval realistische strategieën worden vastgesteld, met reële termijnen voor levensduur en kosten van assets, en scores voor de niet-meetbare aspecten.

6.5 Conclusies ten aanzien van de bruikbaarheid van de resultaten door de beheerder

Onderstaand biedt de beheerder van de regionale waterkering inzicht in de overwegingen voor het opzetten van de case, de interpretatie van de resultaten en de acties naar aanleiding van de case

De beheerder, Rijnland:

De conclusies ROBAMCI case

De overkoepelende les uit de ROBAMCI case is dat veel dingen vanuit verschillende blikvelden bekeken kunnen en moeten worden. Hieronder een beeld waarom we de case hebben opgetuigd en wat we er als beheerorganisatie Rijnland aan hebben gehad. Hieronder drie lessen uit deze case en de vervolgacties.

Integrale blik & inhoudelijk gesprek

De case heeft het inzicht bevestigd dat disciplines overlap kennen en dat het dus goed is om bij invloedrijke keuzes integraal te denken. In **onze** case over de kade langs de Oude Rijn is zeker aangetoond dat de discipline waar vanuit een vervangingsopgave wordt bekeken zeer bepalend kan zijn voor uitkomst van de businesscase.

We hebben gemerkt dat de ROBAMCI case op dit moment nog niet de basis kan zijn voor een (uitvoerings-) programma. De case helpt het hoogheemraadschap wel het goede gesprek te voeren op weg naar een programma dat steeds meer integraal – en op basis van de functies van de netwerken wordt opgesteld.

Les in afbakening

De ROBAMCI case heeft aangetoond dat het belangrijk is om de scope van het vraagstuk duidelijk te definiëren. Je kunt een vraagstuk altijd groter maken ('wat als we deze vraag op een groter deel van het areaal loslaten? Is er dan nog meer te optimaliseren?'), maar dat vraagt uiteraard veel meer informatie en dus tijd om tot een keuze te komen. Het is dus altijd belangrijk de scope van de vraag in de gaten te houden. Enerzijds een integrale en ruime blik, om tot een goede afweging te komen. Anderzijds behapbaar en concreet, om tot een keuze en tot daadwerkelijk resultaat te komen. We weten nu meer wat we niet weten, en ook dat is winst.

Waarom nu nog niet

- We moeten zelf nog aan de slag! Het ROBAMCI rekenmodel maakt keuzes expliciet. Noodzakelijke input hiervoor is dat binnen de beheerorganisaties geen discussie (meer) bestaat over de uitgangspunten (€, maatschappelijke waarden, horizon, etc.).
- De strategieën zijn (nog) niet realistisch De onzekerheid over uitgangspunten als prijzen en technische levensduur maken de uitkomsten voorsnag onvoldoende betrouwbaar voor uitvoeringsbeslissingen.
- Het is het begin van het gesprek! Er heeft onvoldoende afstemming plaats gevonden met de andere beheerders om te weten of de belangen (functies) van de andere beheerders voldoende geborgd zijn.

Wat gaan we doen met de resultaten van de case?

- Contact opnemen met de andere beheerders om te ontdekken hoe de case en de conclusies daar beleefd worden. Wellicht kunnen de uitvoeringsprogramma's (voor een deel) op elkaar afgestemd worden.
- Inzetten van het ROBAMCI rekenmodel bij kleiner (programmerings-) vraagstukken. Twee redenen: bekender geraken met deze benadering (oefenen) én voor behapbare vraagstukken al profiteren van de resultaten van de case!
- De case maakt duidelijk dat goede kentallen en beheergegevens belangrijk zijn om integrale afwegingen te maken. De case kan bijdragen aan de informatievraaganalyse. Welke informatie moeten we beter gaan bijhouden om in de toekomst in te kunnen zetten bij integrale vraagstukken?

7 Referenties

Den Heijer, 2018 ROBAMCI Werkplan fase 3, verbreding, verdieping en verbinding, versie 17 mei 2018.

Rinsema, J., Pals, N., Zomer, W., & Korving, H. (2018). *Informatie Kwaliteit Model; Rapportage Fase 3 Robamci*. Delft: ROBAMCI.

van der Zon, N. (2013). *Kwaliteitsdocument AHN2*. Amersfoort: Het Waterschapshuis.

8 Bijlagen

8.1 Damwand

Inleiding

Binnen het programma ROBAMCI (2015-2019) wordt op basis van cases geëtaleerd dat het voordelen biedt om bij asset management van infrastructuur meer risk-based en meer vanuit het systeem te kijken. In elke case wordt de Total Cost Of Ownership (TCO) van één type asset uitgewerkt in het publieke domein. Beoogde impact is om in Nederland een beweging op gang te brengen richting een meer kwantitatieve en risk-based approach.

Een van deze ROBAMCI-cases betreft een regionale kade waarin aan de boezemzijde een te vervangen damwand aanwezig is. Functie van de kade is de vereiste veiligheid tegen overstromen te waarborgen, terwijl de damwand de boezem bevaarbaar dient te houden. Doel is om de TCO voor twee oplossingsrichtingen met een nieuwe stalen damwand te vergelijken:

- 1 nieuwe stalen damwand houdt alleen een functie in bevaarbaar houden boezem;
- 2 nieuwe stalen damwand waarborgt ook de veiligheid tegen overstromen.

Beide oplossingsrichtingen vergen een andere strategie voor het beheersen van de veiligheid. Eerlijk vergelijken is pas mogelijk als de restrisiko's met betrekking tot de belastingen en sterkten (zoals kruindaling kade of corrosie damwand) bij de verschillende beheerstrategieën met elkaar kunnen worden vergeleken. Voor het inschatten van restrisiko's is het van belang om een inschatting te hebben van de 'overveiligheid' die er in ontwerp en uitvoering wordt gestopt. Deze 'overveiligheid' is het surplus aan veiligheid boven het vereiste of normniveau voor een specifiek bouwwerk. Omdat we niet alles van het fysisch gedrag en van de statistiek van belastingen weten, wordt deze onzekerheid altijd vertaald in een surplus. Het gehele areaal bezit een bepaalde gemiddelde overveiligheid om die onzekerheid in het ontwerp voor een specifiek bouwwerk af te dekken. Daarnaast kan er bij een specifiek bouwwerk een grotere marge aanwezig zijn als niet uitgenut is ontworpen, uitgevoerd en beheerd.

Dit memo gaat eerst in algemene zin in op de overveiligheid die er in ontwerp en uitvoering van een stalen damwand kan zitten. Vervolgens wordt op basis van ervaring tot een inschatting van de mate van overveiligheid voor oplossingsrichting 2 in de ROBAMCI-case gekomen.

Overveiligheid in damwandontwerp

Bouwwerken; Eurocode-eisen

Afhankelijk van de functie gelden er in Nederland minimale betrouwbaarheidseisen waaraan het ontwerp van een nieuwe damwand moet voldoen. Met de eisen in de Eurocode wordt over de gehele levensduur een minimale betrouwbaarheid op een uiterste grenstoestand (EQU, STR, GEO, UPL en HYD, zie tabel hieronder) gewaarborgd.

Regionale waterkeringen; IPO-eisen

De IPO-eisen aan een nieuwe of te versterken regionale waterkering (dus ook de damwand, die daar onderdeel van kan uitmaken met als referentieperiode 1 jaar) hebben daarentegen minimale eisen aan de voor overstromingsrisico relevante grenstoestanden voor ogen.

<i>EQU</i>	<i>Verlies van evenwicht van de constructie of de ondergrond, opgevat als een stijf geheel, waarin de sterkte van de constructieve materialen en de ondergrond geen noemenswaardige bijdrage levert aan de weerstand</i>
<i>STR</i>	<i>Intern bezwijken of uitzonderlijke vervorming van de constructie of van onderdelen ervan, met inbegrip van bijvoorbeeld funderingen op staal, palen of kelderwanden, waarbij de sterkte van de constructiematerialen een beduidende bijdrage levert aan de weerstand</i>
<i>GEO</i>	<i>Bezwijken of uitzonderlijke vervorming van de ondergrond, waarbij de sterkte van de grond of het gesteente een beduidende bijdrage levert aan de weerstand</i>
<i>UPL</i>	<i>Verlies van evenwicht van de constructie of de ondergrond ten gevolge van opdrijven door waterdruk (opwaartse druk) of andere verticale belastingen</i>
<i>HYD</i>	<i>Hydraulische grondbreuk, interne erosie en erosie door geconcentreerde grondwaterstroming ('piping') in de ondergrond ten gevolge van hydraulische gradiënten</i>

In Bijlage 1 wordt toegelicht hoe Eurocode en IPO-eisen zijn te vergelijken.

Invloed ontwerp-aanpak

De Eurocode geeft primair een semi-probabilistische beoordelingsaanpak waarmee een ontwerper kan aantonen dat de nieuwe damwand minimaal aan de passende betrouwbaarheidseis voldoet. Hierin wordt met karakteristieke waarden van en veiligheidsfactoren op belastingen en sterkten rekening gehouden met onzekerheden. Om dan voor een nieuw individueel bouwwerk gemiddeld genomen de vereiste betrouwbaarheid te bereiken, zal er gemiddeld genomen een significante marge (afhankelijk van de beschouwde grenstoestand) tussen de werkelijke sterkte en de werkelijke belasting aanwezig zijn.

Bij damwanden bieden qua beoordeling de Eurocode-aanpak en de aanpak bij regionale keringen (bij een toets op maat) echter meer ruimte⁶. Zo past ook een meer geavanceerde (probabilistische) aanpak om aan te tonen dat aan de betrouwbaarheidseis wordt voldaan. De ervaring leert dat daarmee de daadwerkelijke faalkans van het beschouwde bouwwerk (zoals een damwand) aanzienlijk dichter kan worden benaderd, waarmee meestal een significant hogere betrouwbaarheid kan worden aangetoond. Maar het is echter niet zo dat een dergelijke aanpak op maat altijd gunstig uitpakt, in individuele gevallen zal het juist negatief uitpakken! Ook de onzekerheden die bij de huidige semi-probabilistische methoden impliciet zijn verdisconteerd in de partiële factoren, moeten in een probabilistische aanpak volledig worden meegenomen, zoals model- en schematiseringsonzekerheden.

In het kader van voorliggende vergelijking is het belangrijk te weten, dat er binnen de Eurocode voor stalen damwanden met de verwachtingswaarde van de corrosie wordt gewerkt. Voor de onzekerheid daarvan is in de semi-probabilistische aanpak dus geen compensatie in de vorm van een partiele factor beschikbaar. Daardoor zal er, als er volledig probabilistisch wordt gerekend, naar verwachting een relatief groter percentage van de gevallen ongunstig uitpakken ten opzichte van de semi probabilistische aanpak.

⁶ *Bij een damwandontwerp volgens de Eurocode kan dan worden gedacht aan het gebruik van (probabilistische) rekenmodellen (gebaseerd op EEM), aanhouden plain strain grondsterkten, gebruik maken van pieksterkten bij gelijk rekniveau en/of lognormale verdelingen van sterkten, toelaten van meervoudige plastische scharnieren, combineren van proevenverzamelingen, toepassen door proeven ondersteund ontwerpen of Observational methods.*

Hoe uitgenut er wordt ontworpen, dus de mate waarin de normveiligheid wordt benaderd (en de overveiligheid wordt beperkt), hang dus af van de aanpak en aangehouden uitgangspunten. In Bijlage 2 wordt dit geïllustreerd op basis van een voorbeeldcase waarin een bestaande damwand met een verschillende aanpak is beoordeeld.

Vertaalbaarheid naar ROBAMCI-case

Bij het vergelijken van de beheerstrategieën voor een regionale waterkering lijkt het concept van het meenemen van een bepaalde mate van overveiligheid (i.e. factor tussen de ontwerp-faalkans en de daadwerkelijke faalkans) billijk. In dat licht illustreert de voorbeeldcase in Bijlage 2, waarin een bestaande specifieke damwand is beschouwd, dat de mate waarin de normveiligheid wordt benaderd (en de overveiligheid dus wordt beperkt) afhangt van de aanpak en aangehouden uitgangspunten.

Bij een specifiek geval speelt dus ook mee welke rekentools de ontwerper destijds heeft kunnen inzetten, in hoeverre het type damwandplanken voor het geoptimaliseerde ontwerp beschikbaar waren en welke (aanvullende) faalcriteria er moesten worden gehanteerd. Wat betreft het laatstgenoemde aspect dient te worden opgemerkt, dat in de ontwerpaanpak voor een stalen damwand als onderdeel van een waterkering tot op heden wordt vereist dat robuustheid op robuustheid wordt gestapeld (o.a. vervormingseisen en elastisch capaciteit).

In de huidige ontwerppraktijk bij damwanden zijn geavanceerde ontwerptools gemeengoed en is er, mede door de introductie van Design & Construct contracten, een incentive om in hogere mate uitgenut te ontwerpen of zelfs grenzen te verleggen. Voor nieuwe (in de nabije toekomst te ontwerpen) damwanden is dan ook de verwachting, dat de mate van overveiligheid in het ontwerp gemiddeld genomen beperkt zal zijn.

In Bijlage 2 is er tussen een robuuste en uitgekiende probabilistisch beoordeling van een specifieke damwand een erg groot verschil in faalkans van een factor in de orde 10^4 gevonden, terwijl het verschil in faalkans van een factor 5,6 tussen een semi-probabilistische en probabilistische aanpak voor diezelfde specifieke situatie beperkt is. Deze marges bij een bestaande individuele damwand kunnen in de ROBAMCI-case echter niet zomaar als systematische mate van overveiligheid op het ontwerp van nieuwe damwanden (in een waterkering) worden losgelaten. De mate van overveiligheid van een constructie hangt af van de overveiligheid ten opzichte van het maatgevende faalmechanisme, dat aan het begin van de levensduur een andere kan zijn als aan het einde van de levensduur. Daarbij komt dat het effect van de naar verwachting meest dominante parameter, de onzekerheid van de dikte afname door corrosie waarvoor niet is gecompenseerd middels een partiele veiligheidsfactor, in de marges in Bijlage 2 nog niet was meegenomen. De huidige verwachting is daardoor dat het verschil in faalkans van de factor 5,6 te optimistisch is ten opzichte van de toekomstige praktijk, waarin op enig moment rekening gaat worden gehouden met de onzekerheid in de corrosie.

Alleen in het strikte geval, dat de faalkans van de damwandconstructie over de gehele levensduur wordt bepaald door het stukje van de uiterste grenstoestand STR (zie tabel faal-mechanismen) dat afhangt van corrosie, zal de overveiligheid van de constructie tijdens de levensduur als gevolg van de dikteafname (door verminderde werking conservering) afnemen. Indien er wordt verondersteld dat dit in de ROBAMCI-case het geval is, dan nog ontbreekt op dit moment de kennis om realistische maten van overveiligheid aan het begin en einde van de levensduur te onderbouwen.

Om een indruk van de impact te verkrijgen wordt er in de ROBAMCI-case aangenomen dat het verschil in faalkans afneemt van een arbitraire factor 100 aan het begin tot aan een arbitraire factor 10 aan het einde van de levensduur. Ondanks dat de waarde voor de praktijk van deze ROBAMCI-case daarmee onbekend is.

BIJLAGE 1: Equivalente kans op overstromen

Met [NEN-EN1997-1] en [NEN8707] kunnen regionale waterkeringen voor alle IPO-klassen worden beoordeeld. Als je voor een constructie als regionale waterkering een equivalente kans op overstromen wil krijgen (die is te vergelijken met een grondrijk als regionale kering), dan dient deze constructie op doorsnedeniveau een maximaal toelaatbare faalkans gelijk aan $0,2 \times 0,8 \times 0,2$ van de IPO-normfrequentie te hebben.

waarbij:

0,2 = maximaal toelaatbare overstromingskans gelijk is aan 0,2 maal de overschrijdingskansnorm (*Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen - Module C, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer: pag. 12*)

0,8 = voor de bijdrage van macro-instabiliteit aan de faalkans van een regionale kering is een percentage van 80% aangehouden (*Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen - Module: Introductie met Bijlagen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer: pag. 25-27*).

0,2 = inschatting lengte-effect op een wijze zoals gebruikelijk bij primaire keringen:

$$N = 1 + a \cdot L / b \quad \text{met} \quad a=0,033 \text{ en } b=50 \text{ m}$$

waarin: a = mechanisme-gevoelige lengte (-)

L = trajectlengte (m)

B = lengte van equivalente, onafhankelijke strekkingen (m)

Bij een traject met een lengte van bijvoorbeeld 6 km volgt $N \approx 5$.

De faalkanseis voor macro-instabiliteit op doorsnedeniveau is dan $0,2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,16 / 5 = 0,032$ maal de getalswaarde van de overschrijdingskansnorm. Dat resulteert in de in onderstaande tabel gegeven eisen aan de maximaal toelaatbare faalkans en de corresponderende minimale betrouwbaarheid.

Tabel 1 aansluiting IPO op NEN

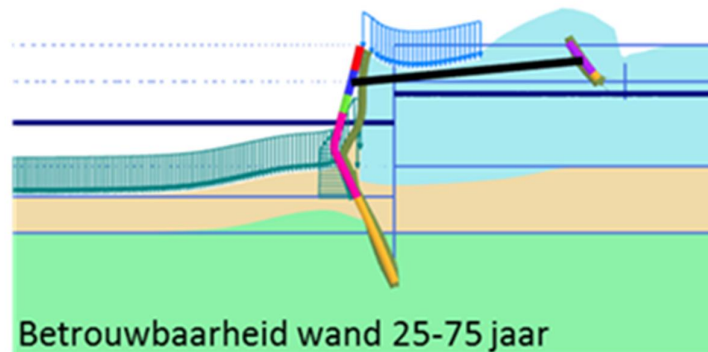
	Norm freq [per jaar]	Maximaal toelaatbare faalkans constructie [per jaar]	Minimaal vereiste Beta_T [per jaar]
IPO-I	1,00E-01	3,20E-03	2,73
IPO-II	3,33E-02	1,07E-03	3,07
IPO-III	1,00E-02	3,20E-04	3,41
IPO-IV	3,33E-03	1,07E-04	3,70
IPO-V	1,00E-03	3,20E-05	4,00

Binnen het Bouwbesluit [NEN-EN1997-1] en [NEN8707] kunnen damwandberekeningen voor situaties met een minimaal vereiste $\beta = 1,8/ 2,5/ 2,8/ 3,1/ 3,3/ 3,6/ 3,8/ 4,3$ over een gekozen referentieperiode worden uitgevoerd⁷. Dat betekent dat er meer dan 0,1 verschil zit tussen de IPO-eis en wat er beschikbaar is voor IPO-III (het verschil tussen 3,41 en 3,6) en voor IPO-IV (verschil tussen 4,0 en 4,3). Daarvoor zou je eenvoudig kunnen interpoleren tussen de parameters/partiële factoren behorend bij een hogere en lagere β .

Echter voor regionale keringen bestaat er geen enkele goede aansluiting tussen eisen die nu op snedeniveau worden gesteld en het overstromingsrisico. Zo wordt in het geheel voorbij gegaan aan zaken zoals lengte-effecten. Feitelijk dienen de IPO-klassen niet anders te worden gezien als een labeling/verschaling ten opzichte van de praktijk in de jaren daarvoor, en kan dus niet 1:1 worden vertaald naar een overstromingsrisico.

BIJLAGE 2: Inschatting overveiligheid in bestaande damwand

Voor een specifieke situatie is (met probabilistische analyses) onderzoek gedaan naar het verschil in faalkans van een bestaande damwand voor een referentieperiode van 25-75 jaar tussen een beoordeling enerzijds volgens (in de voormalige praktijk gangbare) robuuste criteria aan het (materiaal)gedrag, en anderzijds een zeer geavanceerde aanpak waarin de criteria veel meer zijn afgestemd op het daadwerkelijke (materiaal)gedrag. Echter nog met weglating van de meest dominante factor voor een bestaande damwand: de onzekerheid in corrosiesnelheid.

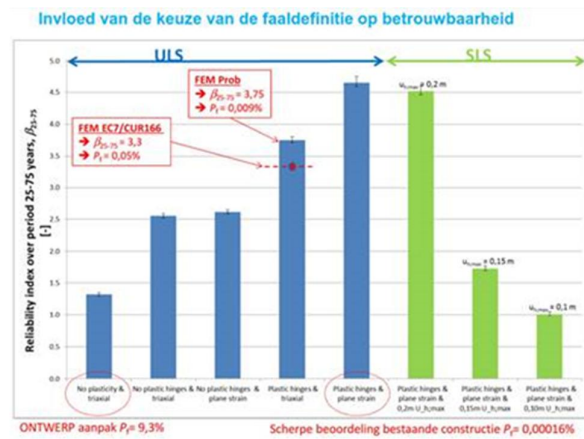


Uit dit onderzoek⁸ komt voor deze specifieke case een verschil in faalkans P_f (zie Figuur 8.1) van een factor $6 \cdot 10^4$ verschil in faalkans naar voren als in de beoordeling van een bestaande damwand de grondsterkte anders wordt bepaald en bij de afleiding van passende faalcriteria wel/geen gebruik wordt gemaakt van het werkelijke (materiaal)gedrag van staal.

De Eurocode biedt de mogelijkheden om de uitgangspunten in beide aanpakken gelijk te houden, waarmee (bij gelijke grondsterkte en gelijke beoordelingscriteria) het verschil in faalkans behorende bij damwand in de beoordeling tot een factor 5,6 wordt beperkt.

⁷ **LET OP!** De genoemde waarden voor de betrouwbaarheidsindex voor een bepaalde referentieperiode mogen niet worden vertaald naar een betrouwbaarheidsindex op jaarbasis.

⁸ In de geavanceerde aanpak (waarin met OPENTURNS en directional sampling het EEM- pakket PLAXIS is aangestuurd om de faalkans te benaderen) zijn de grondeigenschappen, de bodemligging, de maaiveldbelastingen en het waterpeil als stochasten meegenomen.



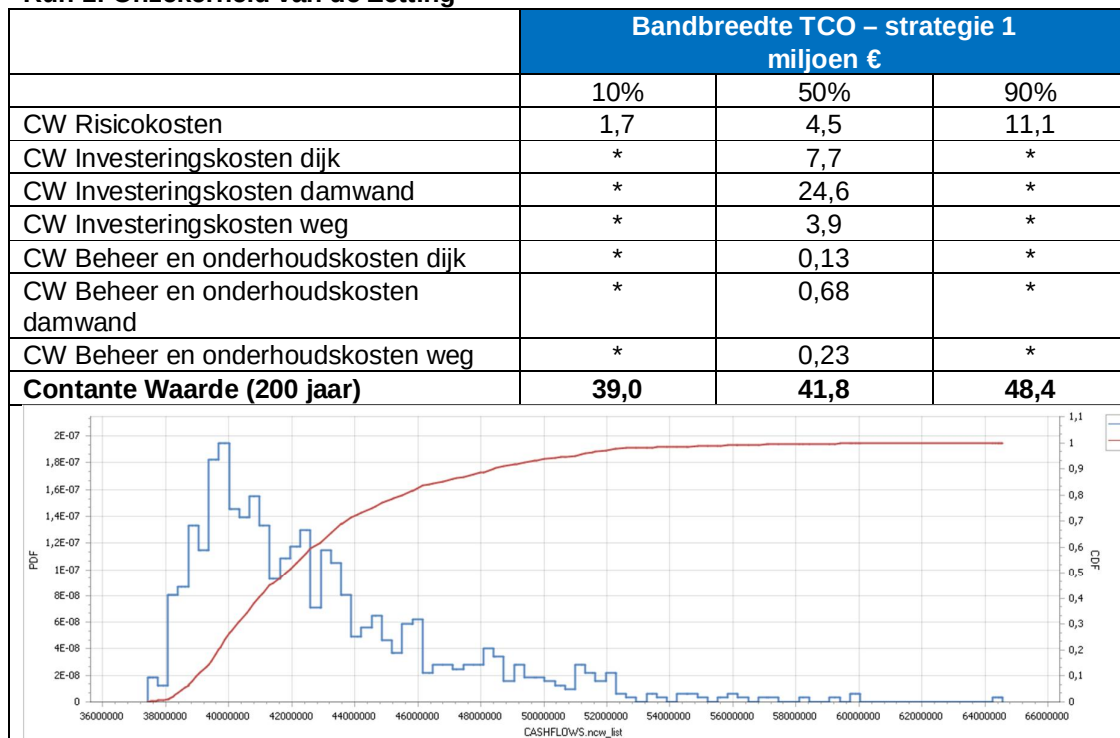
Figuur 8.1: faalkansverloop over de tijd voor strategie 3.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de degradatie van de damwanddoorsnede door corrosie als gevolg van corrosie niet in de analyses is meegenomen. Door de sterk niet-lineaire verdeling van het effect van corrosie op de betrouwbaarheid zal dit het verschil in faalkans tussen een robuuste en volledig uitgenutte beoordeling significant kunnen beïnvloeden.

8.2 Berekeningsrekenresultaten in detail

Appendix A: Gevoeligheidsanalyse “systeem op orde”

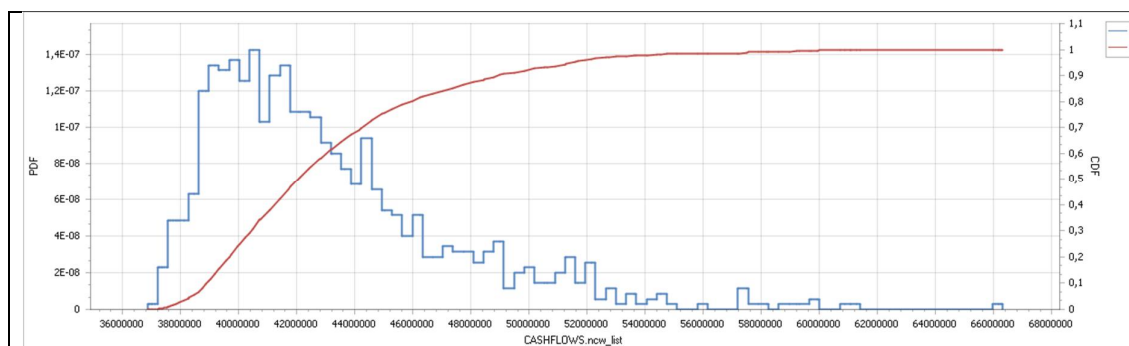
Run 1: Onzekerheid van de Zetting



* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

Run 2: onzekerheid van de levensduur van de dijk toegevoegd t.o.v. Run 1

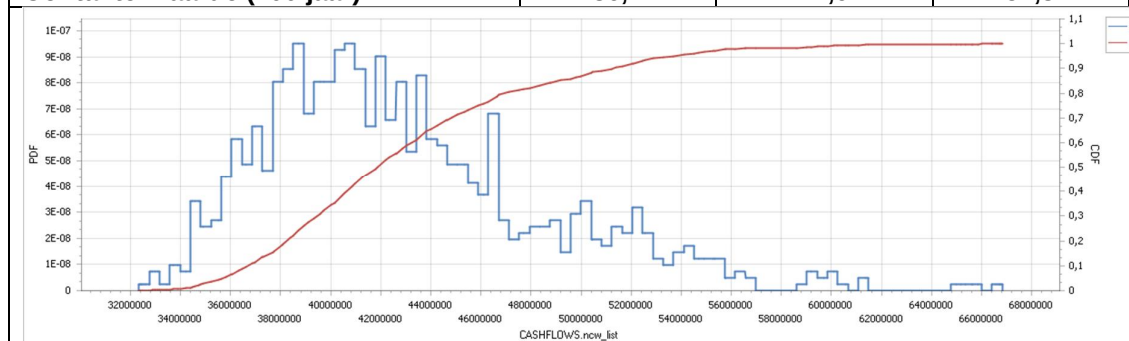
	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	1,8	4,6	11,4
CW Investeringskosten dijk	7,3	7,8	8,4
CW Investeringskosten damwand	24,6	24,6	24,6
CW Investeringskosten weg	3,7	3,9	4,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	*	0,13	*
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	*	0,68	*
CW Beheer en onderhoudskosten weg	*	0,23	*
Contante Waarde (200 jaar)	38,9	42,0	48,9



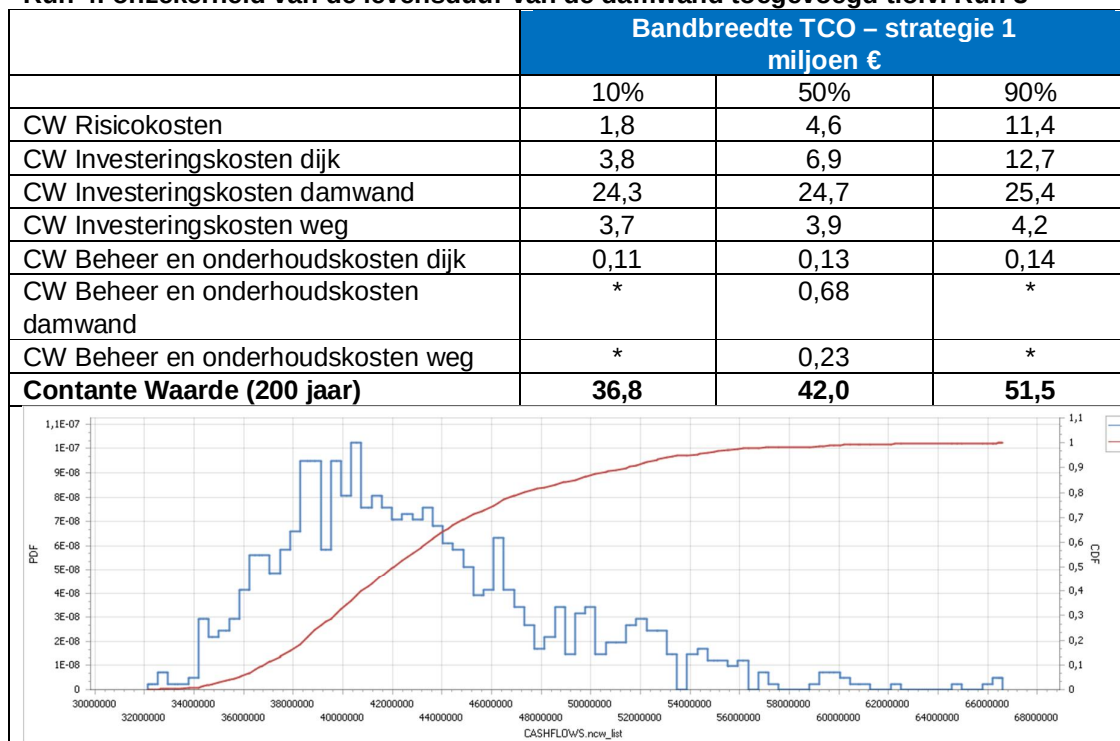
* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

Run 3: onzekerheid van de investeringskosten en B&O-kosten van de dijk toegevoegd t.o.v. Run 2

	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	1,8	4,6	11,4
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	24,6	24,6	24,6
CW Investeringskosten weg	3,7	3,9	4,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,11	0,13	0,14
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	*	0,68	*
CW Beheer en onderhoudskosten weg	*	0,23	*
Contante Waarde (200 jaar)	36,7	41,9	51,3



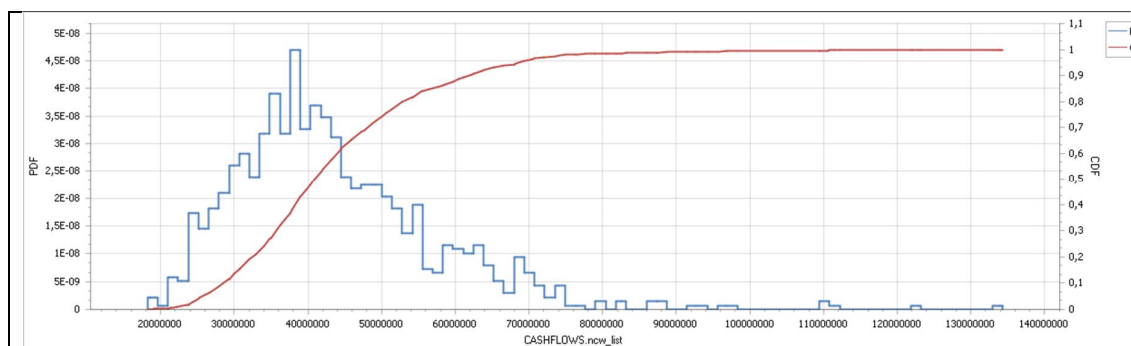
* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

Run 4: onzekerheid van de levensduur van de damwand toegevoegd t.o.v. Run 3

* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

Run 5: Run 3: onzekerheid van de investeringskosten en B&O-kosten van de damwand toegevoegd t.o.v. Run 4

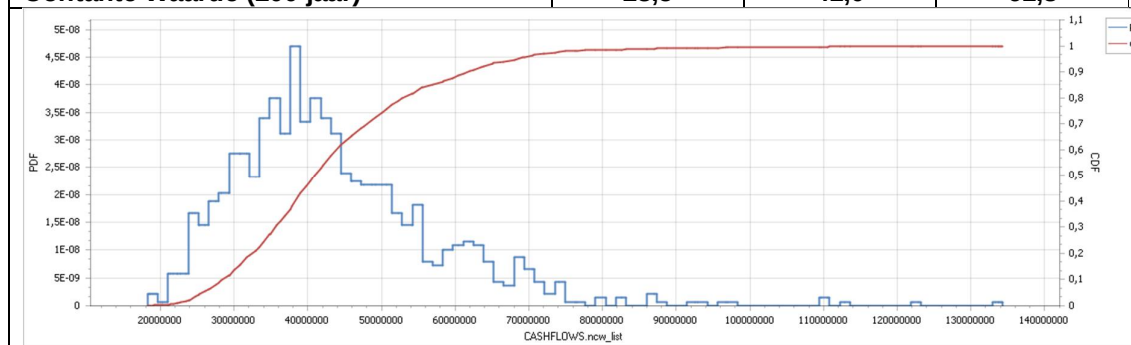
	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	1,8	4,6	11,4
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	12,5	22,8	40,2
CW Investeringskosten weg	3,7	3,9	4,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,11	0,13	0,14
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,60	0,68	0,77
CW Beheer en onderhoudskosten weg	*	0,23	*
Contante Waarde (200 jaar)	28,5	41,0	61,9



* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

Run 6: onzekerheid van de levensduur van de weg toegevoegd t.o.v. Run 5

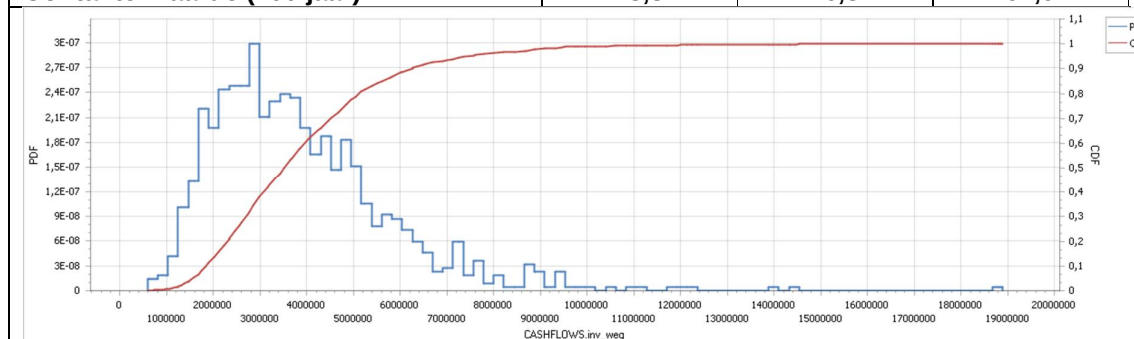
	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	1,8	4,6	11,4
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	12,5	22,8	40,2
CW Investeringskosten weg	3,6	3,9	4,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,11	0,13	0,14
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,60	0,68	0,77
CW Beheer en onderhoudskosten weg	*	0,23	*
Contante Waarde (200 jaar)	28,5	41,0	61,8



* Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

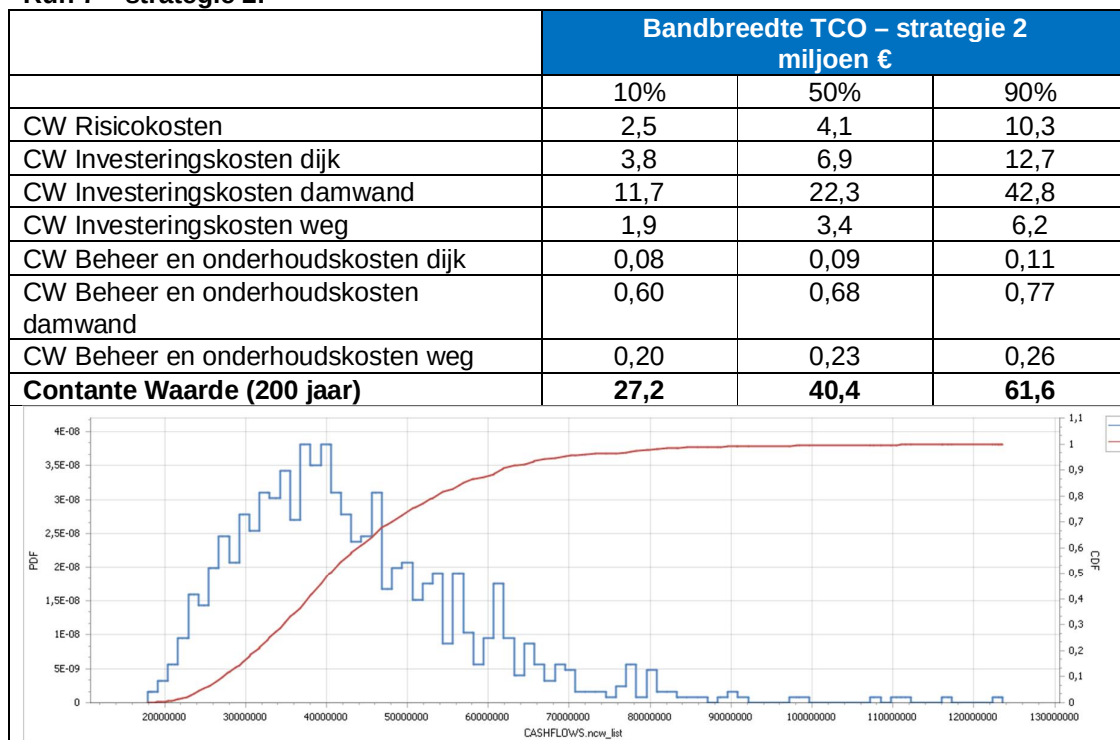
Run 7 – strategie 1:

	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	1,8	4,6	11,4
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	12,5	22,8	40,2
CW Investeringskosten weg	1,8	3,5	6,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,11	0,13	0,14
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,60	0,68	0,77
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,20	0,23	0,26
Contante Waarde (200 jaar)	28,8	40,8	62,0

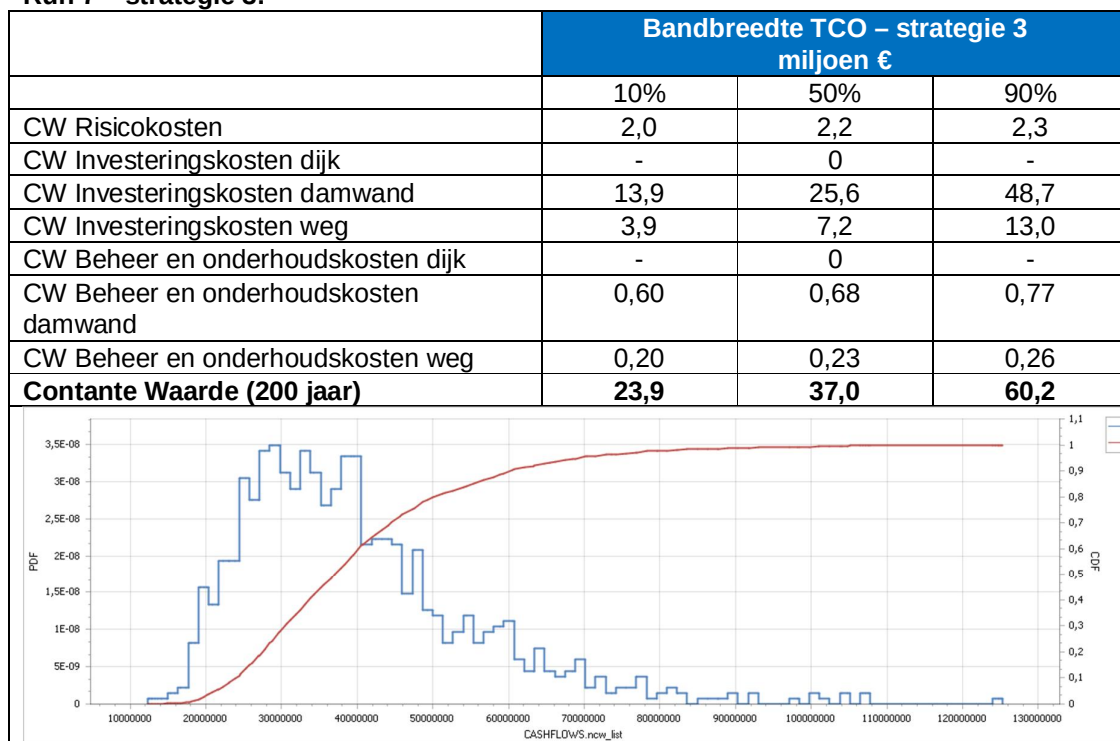


Appendix B: Bandbreedteanalyse “systeem op orde”

Run 7 – strategie 2:



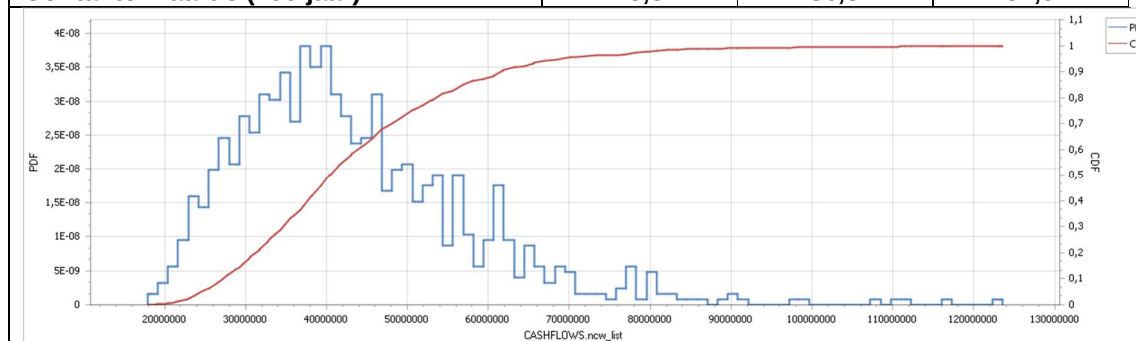
Run 7 – strategie 3:



- * Stochast is determinist en daarom is alleen de gemiddelde waarde (50%) hier gepresenteerd.

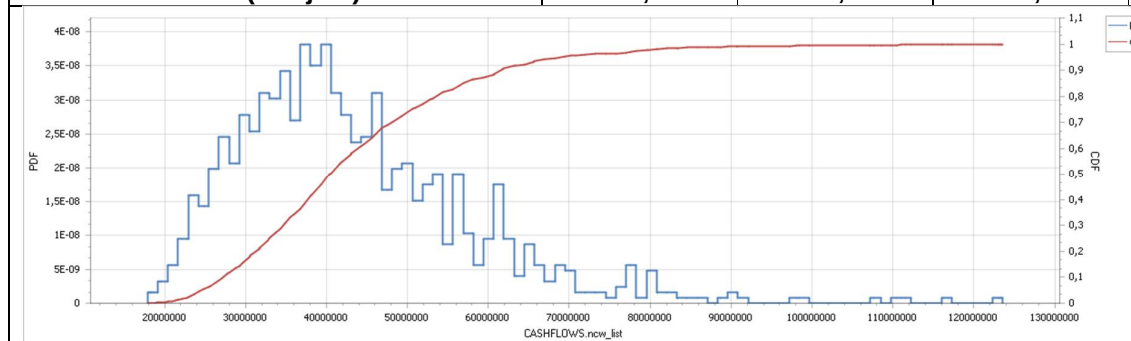
Run 7 – strategie 1, zetting $\mu=1,7$ & $\sigma=0,6$:

	Bandbreedte TCO – strategie 1 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	0,78	1,5	2,6
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	12,5	22,8	40,2
CW Investeringskosten weg	1,8	3,5	6,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,11	0,13	0,14
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,60	0,68	0,77
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,20	0,23	0,26
Contante Waarde (200 jaar)	25,3	36,8	57,0



Run 7 – strategie 2, zetting $\mu=1,7$ & $\sigma=0,6$:

	Bandbreedte TCO – strategie 2 miljoen €		
	10%	50%	90%
CW Risicokosten	0,69	1,4	2,4
CW Investeringskosten dijk	3,8	6,9	12,7
CW Investeringskosten damwand	11,7	22,3	42,8
CW Investeringskosten weg	1,9	3,4	6,2
CW Beheer en onderhoudskosten dijk	0,08	0,09	0,11
CW Beheer en onderhoudskosten damwand	0,60	0,68	0,77
CW Beheer en onderhoudskosten weg	0,20	0,23	0,26
Contante Waarde (200 jaar)	23,9	36,6	57,5



8.3 Multicriteria analyse

Beoordelingscriterium		Strategie 1: Ieder voor zich	Oordeel (1 - 3)	Strategie 2: Synchroniseren en anticiperen	Oordeel (1 - 3)	Strategie 3: Alles in 1 hand	Oordeel (1 - 3)
Kosten	Toelichting						
Meetbaar	- Levensduurkosten 200 jaar in € (risicokosten, investeringskosten, kosten beheer en onderhoud)	€ 41,3 mio	1	€ 40,6 mio	2	€ 39,7 mio	3
	- Rijnland, dijk	€ 7,7 mio	2	€ 7,7 mio	2	€ 0 mio	3
	- Provincie, damwand	€ 24,6 mio	2	€ 24,6 mio	2	€ 28,8 mio	1
	- Gemeente, weg	€ 3,9 mio	2	€ 3,9 mio	2	€ 7,8 mio	1
	- % VAT kosten per project	10%	1	8%	2	8%	2
Niet meetbaar	- Meekoppelkansen	Blijven onbenut.	1	Worden goed benut.	3	Worden benut.	2
	- Integraal beheer	In geringe mate.	1	In grote mate.	3	In grote mate.	2
	Subtotaal		10		16		14
Risico's	Toelichting						
Meetbaar	- Technische levensduur waterkerende constructie.	Dijk: 30 jaar	1	Dijk: > 30 jaar	2	Damwand: 90	3
	- Faalkans is afhankelijk van zetting.	Dijk: Hoogte, STBI	1	Dijk: Hoogte en STBI	2	n.v.t.	3
	- Risicokosten	€ 4,0 mio	1	€ 3,2 mio	2	€ 2,2 mio	3
Niet meetbaar	- Beschikbaarheid voor risicogestuurd beoordelen en beheren benodigde kennis binnen Rijnland.	Dijk: Aanwezig	2	Dijk: Aanwezig Damwand: Niet	2	Damwand: Niet voldoende	2
	Subtotaal		5		8		11
Prestaties	Toelichting						
Meetbaar	- Omvang dagelijks beheer in €	€ 1,0 mio	2	€ 1,0 mio	2	€ 0,9 mio	1
	- Rijnland, dijk	€ 0,1 mio	2	€ 0,1 mio	2	€ 0 mio	1
	- Provincie, damwand	€ 0,7 mio	2	€ 0,7 mio	2	€ 0,7 mio	2
	- Gemeente, weg	€ 0,2 mio	2	€ 0,2 mio	2	€ 0,2 mio	2
Niet meetbaar	- Maatschappelijke impact verbeteringsprojecten.	Aanwezig.	2	Minimaal.	3	Beperkt.	1
	- Landschappelijke en cultuurhistorische waarde kering	Blijft onveranderd.	3	Beperkt.	2	Veranderd.	1
	- Multifunctionaliteit	Groot.	3	Gering.	2	Gering.	2
	- Flexibiliteit	Beperkt.	2	Zeer groot.	3	Gering.	1
	- Duurzaamheid (footprint)	In beperkte mate.	2	Zeer duurzaam.	3	In beperkte	2
	- Ecologie	Blijft onveranderd.	2	Blijft onveranderd.	2	Blijft	2
	Subtotaal		22		23		15
	Totaal		37		47		40

8.4 Sleutelfactoren voor multifunctionele waterkeringen

Kennis delen en laten doorwerken

Ellen Tromp (ellen.tromp@deltares.nl, 06-10 188 347)

(ontleend aan artikel L+ W genaamd: *Samen werken aan dijkversterkingsprojecten: Succes- en faalfactoren*, (in print)).

In de afgelopen decennia is er flink geïnvesteerd om Nederland te beschermen tegen overstromingen. Sinds begin 2017 zijn de normen aangepast met het oog op de toekomst. Veel primaire waterkeringen voldoen niet langer aan de wettelijke veiligheidsnormen en worden binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma aangepakt. De komende jaren zal ruim 1000 km primaire waterkeringen versterkt gaan worden. Ruimtelijke inpassing en meekoppelkansen, klimaat(adaptatie), en circulaire economie zijn aspecten van duurzaamheid die steeds belangrijker worden (HWBP, 2017). De projecten worden daarmee steeds integraler opgepakt, waarbij nadrukkelijk wordt gekeken naar de mogelijkheden om initiatieven van derden in te passen, mee te koppelen of in de toekomst mogelijk te houden.

Het samen werken aan integrale dijkversterkingsprojecten vereist meer inzicht in de gesprekspartners. Bij het van de grond trekken van een project en ontwerpen wordt niet altijd de beschikbare kennis gebruikt. De redenen hiervoor zijn divers: variërend van niet weten dat deze kennis er is, onvoldoende vertrouwen hebben in de kwaliteit van de kennis, tot onvoldoende inzicht in de gevolgen door het gebruik van de kennis (bijvoorbeeld in tijd en budget). Betrokkenen kunnen ook door een vooringenomen standpunt niet open staan voor andere invalshoeken. Binnen één organisatie bestaan soms ogenschijnlijk tegenstrijdige doelen en belangen. De beheerder van de dijk wil graag dat de dijk goed toegankelijk is, de beleidsafdeling wil graag dat de dijk straks te beoordelen is, en anderen willen graag dat de dijk voorzien is van de laatste technologische snuffjes, en duurzaam wordt aangelegd. Belangrijke vraag is op welke manier de beschikbare kennis van bewoners, bedrijven en belangengroeperingen wél effectief meegenomen kan worden.

Praktijkervaringen: succes- en faalfactoren

Voor het onderzoek is geput uit ondermeer de dijkversterkingsprojecten Kinderdijk – Schoonhovenseveer (KIS) en Gorinchem – Waardenburg (GoWa). Beide projecten liggen in het beheersgebied van Waterschap Rivierenland, maar verschillen op een aantal aspecten, waaronder de aanpak. Dit laatste is mede ingegeven door een verschil in uitvoeringsprogramma (HWBP-2 versus HWBP) en door maatschappelijke veranderingen (momenteel meer focus op publieksparticipatie). Aan de hand van het raamwerk hebben we een aantal succes- en faalfactoren geïdentificeerd:

1. *Pas je boodschap aan de ontvanger:* Bij het voorbereiden van een presentatie is het van belang om je boodschap aan te laten sluiten bij de behoefte en taal van de ontvanger. Je verhaal zal anders zijn voor vakcollega's dan voor bestuurders, of voor bewoners. Bestuurders weten dat een maatgevend hoogwaterafvoer van 18.000 m³/s en een kans van 1:100.000 criteria zijn voor het ontwerpen. Bewoners hebben moeite om deze begrippen te relateren aan de werkelijkheid. Een mogelijke aanvliegroute is dan juist

benadrukken dat er een nieuwe wettelijke normering bestaat, en dat we willen voorkomen dat er ooit nog een overstroming kan optreden.

Wees eveneens alert dat de kennisbehoefte van betrokkenen niet statisch is; een organisatie als Deltares is bijvoorbeeld continu op zoek naar meer kennis, en de beantwoording van één vraag roept andere vragen op, à la Eric Carle's 'Rupsje Nooitgenoeg'. Mensen kunnen eveneens een andere betekenis geven aan een begrip als 'kunstwerk' (schilderij versus brug). Vraag daarom regelmatig of mensen het 'leerstuk' in hun eigen woorden kunnen vertellen.

2. *Publieksparticipatie vraagt om maatwerk*: Al jaren wordt Nederland gezien als een participatiesamenleving. Voor waterveiligheid betekent dit dat belanghebbenden, waaronder bedrijven en burgers, eerder worden betrokken bij dijkversterkingsprojecten. Bij GoWa kwam uit de inventarisatie rondom ruimtelijke kwaliteit een aantal gebieden naar voren waar men als collectief iets van vond, ofwel dat iets behouden moest blijven ofwel dat iets 'lelijk' was. Hierdoor heeft het projectteam ervoor gekozen om aan de bewoners te vragen om voor deze gebieden met ideeën en wensen te komen om hun leef- en woonomgeving te verbeteren. Deze aanpak was nieuw voor zowel de bewoners als het waterschap. Een nieuwe aanpak vraagt om:
 - Herhaaldelijk aangeven dat een nieuwe aanpak is gekozen; betrokkenen blijven veelal vanuit hun eerdere ervaringen handelen en reageren;
 - Meegeven van extra kennis aan bewoners. Bij GoWa heeft het waterschap het volgende georganiseerd:
 - o Excursie naar uitvoeringsproject(en);
 - o Ontmoeting met mensen van techniek;
 - o Kijk op de dijk vanuit een landschapsarchitectperspectief;
 - o Speedcursus dijkversterken.
 - Een trechteringsproces van dijken ontwerpen en het betrekken van bewoners;
 - Continuïteit van projectteamleden, qua ervaringen en opgebouwd vertrouwen, waarbij de omgeving niet alleen maar iets is van de omgevingsmanager, maar juist vraagt om samen werken als een team.
 - Samen toewerken naar een gedragen besluitvorming, rekening houdende met alle belangen.
3. *Continu verwachtingsmanagement*: niet alle ideeën en wensen kunnen uiteindelijk gerealiseerd worden, omdat deze goed moeten aansluiten op het beleid van medeoverheden en belangengroeperingen. Denk hierbij aan een open en transparant proces voor het bouwen aan vertrouwen. Vertrouwen uit zich in vertrouwen in de kennis of organisatie waar iemand voor staat of interpersoonlijk vertrouwen.

20 sleutelfactoren voor het realiseren van multifunctionele waterkeringen

Gebaseerd op Msc thesis Gerben Dekker, 2018, getiteld: *Multi dikes, Multi problems: mainstreaming multifunctional flood defences in the current Dutch flood risk strategy, 2 april 2018, WUR, Wageningen*.

In de afstudeerscriptie noemt Dekker (2018) 20 sleutelfactoren voor het realiseren van multifunctionele waterkeringen. Deze factoren heeft hij verdeeld in vier categorieën, welke zijn gebaseerd op het ontvankelijkheidsraamwerk Jeffrey & Seaton, 2004; De Graaf, 2009; Van de Ven et al., 2009). Hierbij draait het om (1) bewustzijn, (2) associatie, (3) kennisverwerving, en (4) toepassing (zie tabel 1)

In de volgende tabel staan de 20 sleutelfactoren benoemd.

	Categorie	Sleutelfactor
1	AWARENESS 	Betrouwbare technische en wetenschappelijke kennis omtrent MFK
2		Beschikbare kennis over huidige en toekomstige dijkversterkingen
3		Beschikbare kennis over bestaande en toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen
4		Kennis van de motieven van de verschillende betrokken stakeholders (perspectieven, ervaringen en emoties)
5		Bestuurlijke en juridische kennis omtrent MFK
6	ASSOCIATION 	Enthousiasme en doorzettingskracht van individuen bij MFK projecten
7		Draagvlak en ondersteuning van bestuurders bij MFK projecten
8		Ondersteunende organisatorische en institutionele cultuur
9		Beschikbaarheid van nationaal overkoepelende visie met respect tot dijken en meervoudig ruimtegebruik
10		Transparante communicatie met en vroegtijdige betrokkenheid van stakeholders (burgers, bedrijven, etc.)
11	ACQUISITION 	Vertrouwen tussen deelnemende partijen gedurende het proces
12		Ervaring in het verbinden van waterveiligheid en ruimtelijke ordening
13		Beschikbaarheid van netwerken en organisatorische arrangementen voor stakeholder betrokkenheid
14		Open, transparante communicatie, vroegtijdig in het proces, tussen regionale en nationale water autoriteiten, gemeenten en provincies
15		Flexibele interpretatie van tijd/ deadline om ruimtelijke projecten te koppelen aan waterveiligheidsprojecten
16	APPLICATION 	Verschillende financiële motieven en subsidieregelingen
17		Flexibele interpretatie van het wettelijke kader
18		Verantwoordingskaders voor belanghebbenden die betrokken zijn bij het realiseren van multifunctionele waterkeringen (gedeelde verantwoordelijkheid & risico's, nieuwe contractvormen).
19		Beoordelingsinstrumenten en rekenregels voor waterkeringen die bestaan uit en bijdragen aan ruimtelijke kwaliteit en meervoudig ruimtegebruik
20		Richtlijnen voor beheer en onderhoud, gericht op meervoudig ruimtegebruik van waterkeringen

Conclusies

Toegegeven, dit lijken open deuren te zijn. Toch blijkt dat in de praktijk aandacht nodig is om de kennis goed door te laten werken. Het raamwerk helpt als kader om bijeenkomsten, waar kennis wordt overgedragen of opgehaald, voor te bereiden. Door vooraf goed na te denken over de behoefte van de ontvangers, de genoemde barrières en faalmechanismen kan de boodschap worden aangepast aan hen.

Het wordt steeds belangrijker om ook als waterschap na te denken over de sociale impact van dijkversterkingen, en daar voor bepaalde (stroom)gebieden een ruimtelijke visie op te ontwikkelen. Met de stap naar de trajectaanpak biedt het tevens mogelijkheden om het moment waarop de dijkversterking van start gaat zorgvuldig af te stemmen met wensen vanuit de omgeving: medeoverheden, natuurorganisaties en andere belanghebbenden.

Onze beschouwing van beide projecten heeft ook laten zien dat het waterschap een lerende organisatie moet zijn. Gezien de opgave van de waterschappen is het belangrijk om open te blijven staan voor de geleerde lessen en deze te incorporeren in de nog op stapel staande HWBP-projecten, en om na te denken of de lessen ook ingezet kunnen worden voor andere taken. Kennisdeling is namelijk iets van alle tijden en van alle facetten van het werk.