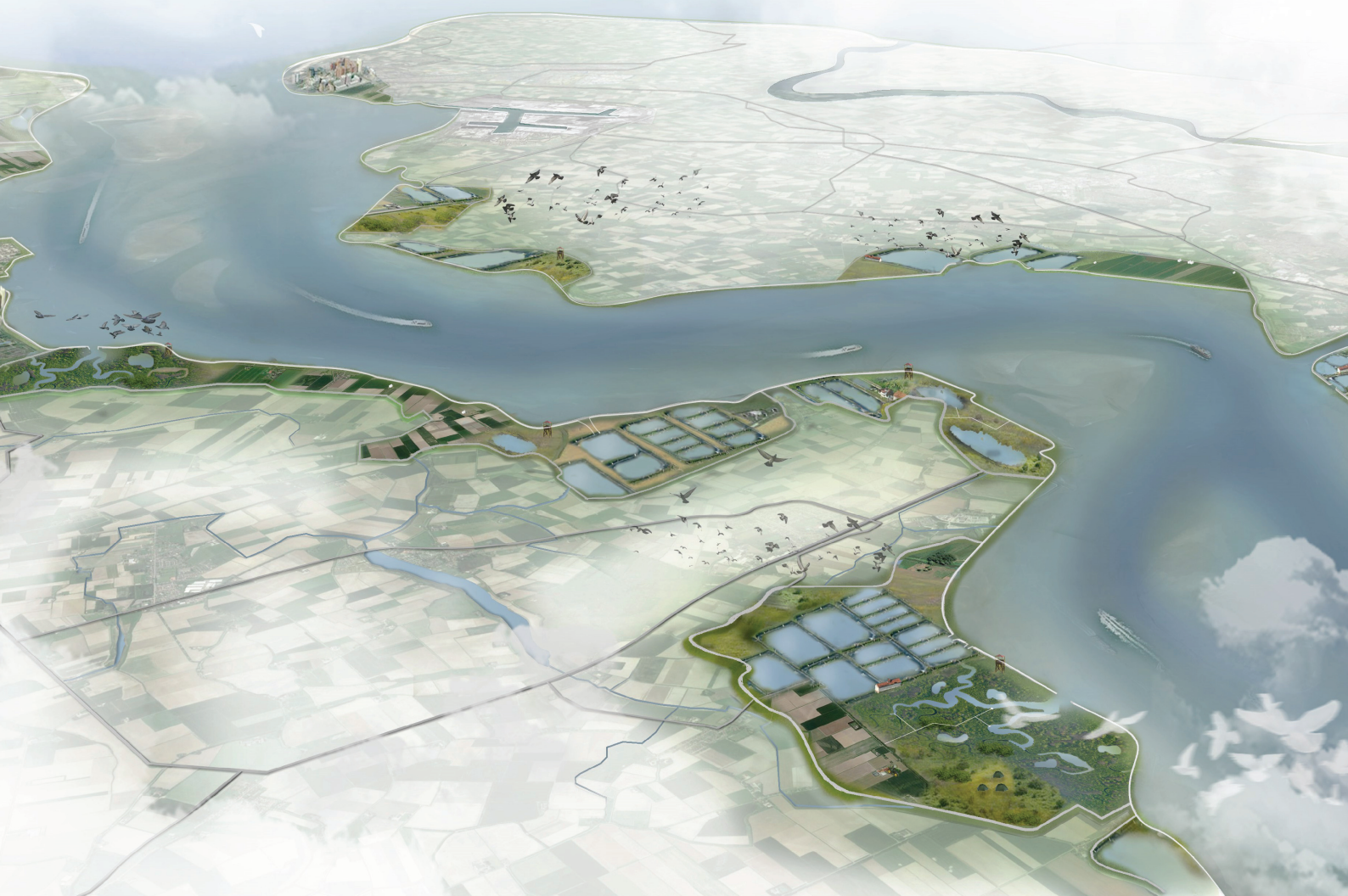




Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta.

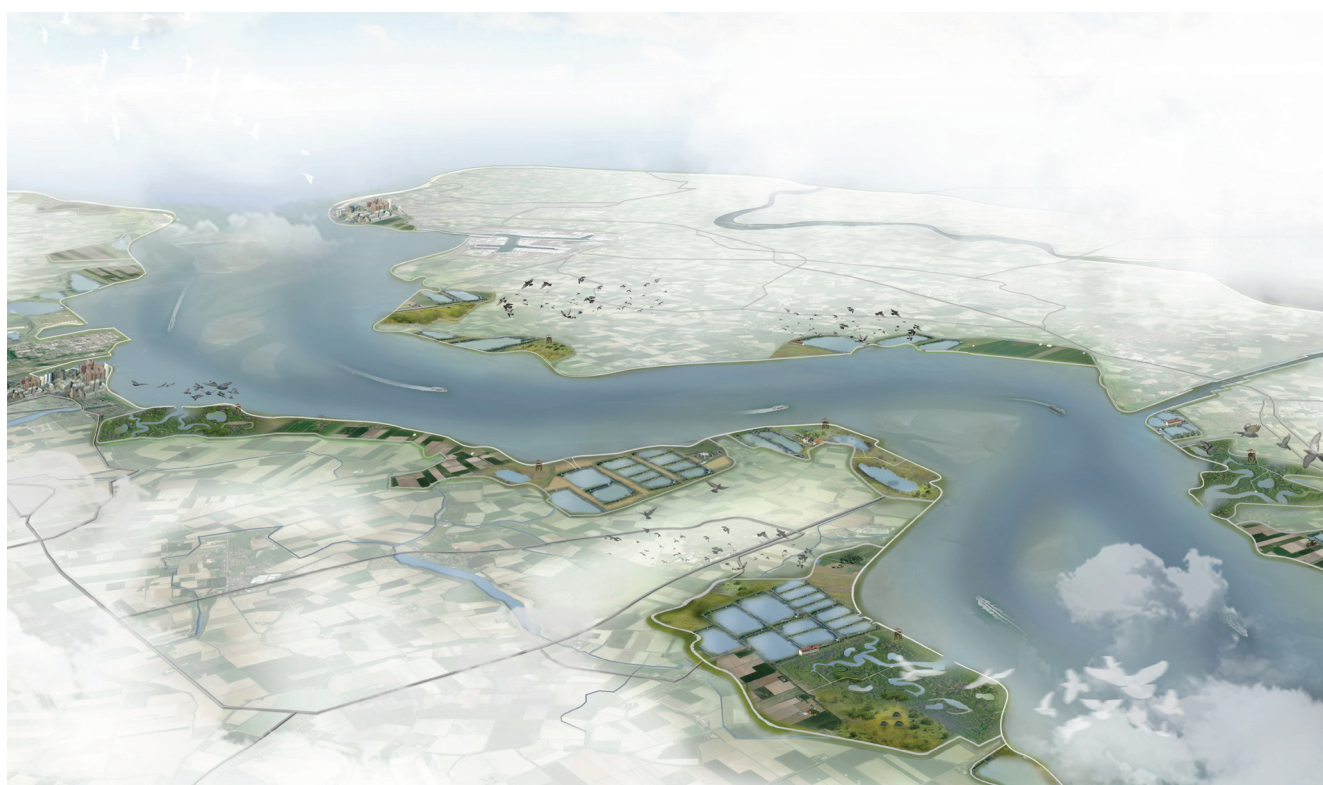
Jim van Belzen, Gerlof Rienstra & Tjeerd Bouma

NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee



Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta.

Jim van Belzen, Gerlof Rienstra, & Tjeerd Bouma



In samenwerking met: Bas Roels, Wereld Natuur Fonds



Graag als volgt citeren:

van Belzen, J.; Rienstra, G.U. & Bouma, T.J., (2021). Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta. NIOZ Report 2021-01. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research: 99 pp. <https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.kb>.

Natuurwetenschappelijke studie uitgevoerd door:

Jim van Belzen (NIOZ)
Tjeerd J Bouma (NIOZ & UU)

Economische Effectenrapportage door:
Gerlof Rienstra (RBB)



**Koninklijk Nederlands
Instituut voor Onderzoek
der Zee**

Koninklijk Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)
Departement voor Estuarine en Delta Systemen (EDS)
Korringaweg 7
4401 NT Yerseke
Postbus 140
4400 AC Yerseke
www.nioz.nl



Utrecht University

Universiteit Utrecht (UU)
Faculty of Geosciences
Vening Meinesz Building A
Princetonlaan 8A
3584 CB Utrecht
www.uu.nl



Rienstra Beleidsonderzoek en Beleidsadvies BV

Rienstra Beleidsonderzoek en Beleidsadvies BV (RBB)
Veursestraatweg 30
2265 CD LEIDSCHENDAM
tel. 06 51 207 198
email: gerlof.rienstra@outlook.com
blog: gerlofrienstra.wordpress.com

Bezoekadres:
Bedrijfsverzamelgebouw De Compagnie
Geestbrugkade 32
2281 CX RIJSWIJK
www.bvgdecompagnie.nl

Hoe houden we Zeeland veilig bij zeespiegelstijging?

Nu starten met dubbele dijken om de tussengelegen diepe (wissel)polders tijdig op te hogen.

Een beknopte uitleg van de essentie van het rapport *“Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta”*. Om het zo helder mogelijk te maken, gaat deze uitleg alleen over de Westerschelde. De Oosterschelde en het Haringvliet komen in het rapport wel aan bod.

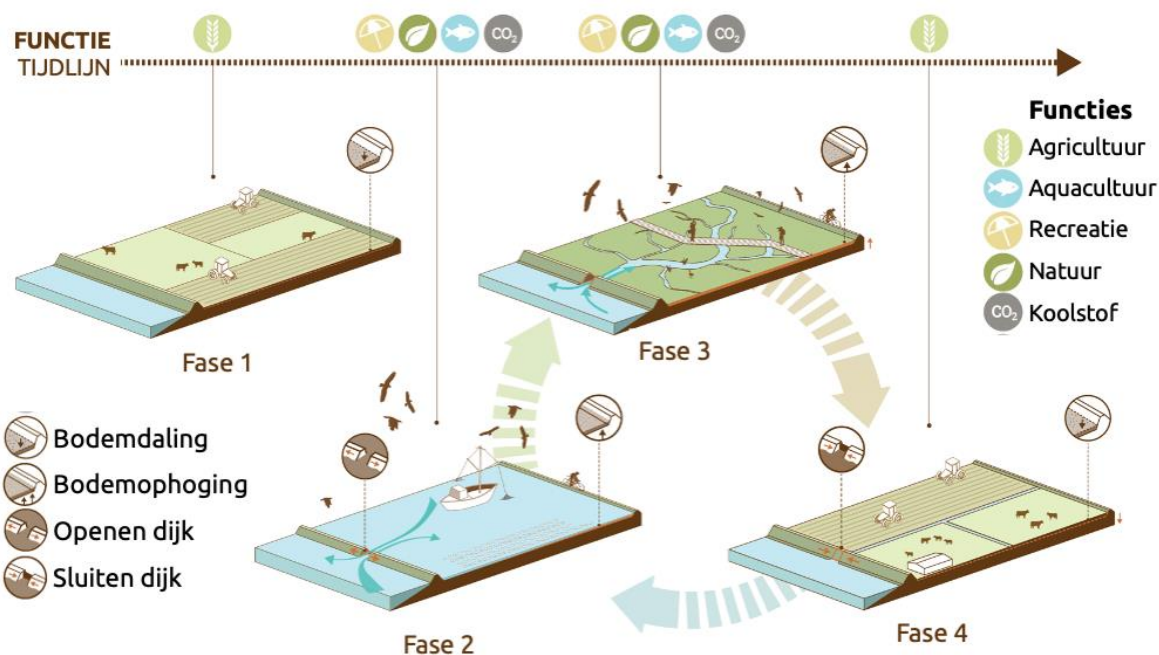
Hoe tegenstrijdig het ook klinkt, het verdrongen land van Saefthinghe is inmiddels zo ongeveer het hoogste punt van Zeeland. Doordat dit schorrengebied buitendijks ligt, voert de Westerschelde met elk tij zand en modder aan en is land door de natuur al opgehoogd tot de huidige drie meter boven NAP. Gemiddeld liggen polders in Zeeland 3 meter lager dan Saefthinghe omdat ze zijn omringd door hoge dijken die de toevoer tot zand en modder afsluiten. Hierdoor dalen en verzilten de polders. Om de zeedijken bestand te houden tegen de aankomende zeespiegelstijging en weersextremen zijn forse investeringen nodig. Voor een klimaatbestendige toekomst is het niet alleen van belang om de dijken te verhogen, maar ook om de bodemdaling tegen te gaan. Dubbele dijken met wisselpolders zijn hiervoor een oplossing en maken Zeeland duurzaam veiliger, besparen geld en bieden ook nog nieuwe kansen voor economie, landbouw en natuur.

Lessen uit het verleden: minder schade bij hoog opgeslibde gebieden

Recent onderzoek naar dijkdoorbraken langs de Waddenzee en tijdens de Watersnoodramp van 1953 laat zien dat dijken minder hoog hoeven te zijn als ze achter een hoog opgeslibde schorrengebied liggen, en dat zo'n hoog opgeslibde schorrengebied ervoor zorgde dat tijdens een dijkdoorbraak er veel minder water de polders instroomde. Dat geeft de mensen die in zo'n polder wonen dus meer tijd om een veilig heenkomen te zoeken, en veroorzaakt ook minder schade aan huizen en infrastructuur. Schorren voor de dijk kunnen daarom een goede oplossing (Nature-based Solution, NbS) zijn bij zeespiegelstijging. Dijken hoeven minder te worden verhoogd en zijn daardoor goedkoper. Verder groeit het schor door het opslibben van nature mee met de zeespiegel. Maar doordat we al sinds 1200 land hebben ingepolderd, is er geen buitendijkse ruimte meer waar schorrengebied kan ontstaan voor de dijken. Daarnaast liggen de polders ook meters lager door inklinking. Om de waterkerende werking van schorren te benutten moeten we daarom achter de dijk gaan kijken, naar het Zeeuwse landschap vol met oude zeedijken, die nu geen primaire waterkerende functie meer hebben. Want zo'n hoog opgeslibd gebied biedt ook heel veel veiligheid als het als wisselpolder tussen twee dijken ligt.

Hoe werkt een dubbele dijk met wisselpolder en wat zijn de voordelen?

Een dubbele dijk met wisselpolder betekent dat in plaats van een enkele zeedijk, twee achter elkaar liggende dijken worden gebruikt, waarbij de tussenliggende polder *tijdelijk* met de Westerschelde wordt verbonden. Hierdoor kan de wisselpolder - net zo als Saefthinghe - door natuurlijke processen ophogen. Al na zo'n 50 jaar ligt de wisselpolder enkele meters hoger dan daarvoor. Door deze extra hoogte biedt de wisselpolder dus veiligheid aan het land erachter. Bovendien verminderd de hoogte ook de gevolgen van zoute kwel en is het land door de verse zeeklei zeer vruchtbaar en weer geschikt voor landbouw. In de periode daarvoor, waarin de wisselpolder nog aan het ophogen is door het Westerscheldeslib, kan dit tussendijkse gebied gebruikt worden voor aquacultuur, zilte teelt, natuur en recreatie. De wisselpolder als waterveilig landschap biedt daarmee veel voordelen ten opzichte van de huidige situatie.



Meer diverse landschappen langs onze bedijkte randen

Om laaggelegen wisselpolders door het Westerschelde water te kunnen laten opslibben, moet de huidige landbouwgrond in die gebieden een aantal decennia een andere functie krijgen. De wisselpolders kunnen dienst doen voor rendabele aquacultuur en zilte teelt. Afhankelijk van hoe ver de bodem is opgeslibd kunnen schelpdieren zoals oesters en mosselen, of aas, zee kraal en lamsoor worden gekweekt. Ook kan een deel van de wisselpolders worden ingericht voor natuurontwikkeling, waar vogels en schorren een toeristische attractie zullen zijn. Daarmee helpen dubbele dijken met wisselpolders dus ook mee aan het tegengaan van biodiversiteitsverlies, en het behalen van natuurwaarden waar we als Nederland een grote opgave hebben. Wanneer verdere opslibbing niet meer mogelijk is kan de polder weer voor landbouw in gebruik genomen worden. Deze hoger gelegen grond heeft nu verse vruchtbare zeeklei en is minder kwetsbaar voor verzilting die door zeespiegelstijging steeds prangender wordt. Omdat het tijd kost om dubbele dijken en wisselpolders langs de kust aan te leggen, zal de ontwikkeling ervan niet allemaal tegelijk kunnen starten, waardoor een sterk afwisselend landschap van aquacultuur, natuur en landbouw naast elkaar zullen voorkomen, en zo voor toeristen en bewoners een aantrekkelijk landschap creëren.

Dubbele dijken met wisselpolders versus ontpolderen: een wereld van verschil

De voorgestelde oplossing van dubbele dijken met wisselpolders past goed bij hoe de vorming van Zeeland ooit begonnen is; het bedijken van door natuurlijke processen opgeslibd land. We willen voor onze toekomstige waterveiligheid nu opnieuw gebruik gaan maken van diezelfde natuurlijke processen. Dit wordt ook wel Bouwen met de Natuur of op Natuur Gebaseerde Oplossing genoemd (experts gebruiken het Engelse Building with Nature of Nature-based solution). Deze nieuwe manier van werken is bedacht door ingenieurs uit de waterbouw, die zo kans zagen om betere oplossingen tegen een scherpere prijs aan te bieden. Waar voormalige ontpolderingsprojecten vaak natuurherstel en -compensatie als doel hadden, gaat het bij dubbele dijken met wisselpolders primair om waterveiligheid. Een Waterveiligheidsoplossing, die duurzaam is en als extra voordeel meer welvaart naar de regio brengt. De ontwikkeling van

natuur en biodiversiteit die ontstaat is als het ware “bijvangst”, doordat we gebruik maken van natuurlijke processen. Met de aanleg van Dubbele dijken met wisselpolders willen we de natuurlijke processen weer gaan benutten, die het landschap ooit gevormd hebben. Daardoor verkrijgen we een veilige kust waar we duurzaam in welvaart kunnen leven, wonen, werken en recreëren.

Wat zijn precies de economische effecten van dubbele dijken met wisselpolders?

Naast de veiligheidsfunctie zijn dubbele dijken met wisselpolders ook een motor voor economische ontwikkeling van Zeeland. De inrichting van dubbele dijken en wisselpolders vraagt eerst hogere investeringen, maar ze leveren door directe én indirecte opbrengsten en effecten op termijn, economisch meer op dan doorgaan met de huidige oplossingen van dijkverhoging. De investeringen in de aanleg van dubbele dijkpolders, het onderhoud en de nieuwe gebruiksfuncties zoals aquacultuur, landbouw, mogelijkheden voor horeca en recreatie als gevolg van de ontsane natuur, betekenen toegevoegde waarde, werkgelegenheid, inkomens en extra omzet voor de regio. De wisselpolders dragen dus bij aan de productie van nieuwe goederen en diensten in de belangrijkste economische sectoren, zoals de landbouw, de industrie, de bouwnijverheid, de horeca en de recreatiesector. Door de sterke onderlinge toeleveringsrelaties profiteert de hele regio mee. Daardoor leidt een miljoen investering in dubbele dijken met wisselpolders direct en indirect tot een extra stijging van de productiewaarde van gemiddeld 700.000 euro. Die stijging komt niet alleen ten goede aan Zeeland; een deel zal door onderlinge leveringen ook in andere regio's terecht komen. De uitdaging voor het bedrijfsleven in de Zeeuwse regio's zal dus zijn om zoveel mogelijk deel te nemen aan de aanleg en de exploitatie van de dubbele dijken om gebruik te maken van deze economische impuls.

Door dag- en verblijfstoerisme rond de nieuwe polders tussen de dubbele dijken, groeien naar verwachting de bestedingen in horeca en recreatie. Ook dit kan een belangrijke economische impuls betekenen voor de regio, aangezien de bevolking in de omliggende (veelal stedelijke) gebieden nog sterk zal toenemen en daarmee de behoefte aan natuurrecreatie, natuurtoerisme en leefbaarheid verder zal groeien. De nieuwe inrichting en gebruiksfuncties van de gebieden met dubbele dijken en wisselpolders zullen verder leiden tot een hoger rendement op pacht- en koopprijzen van grond en opstallen in de regio .

Waarom de dijkenaanpak veranderen? Zijn we nu dan niet veilig?

De waterveiligheid is in Nederland wettelijk bepaald, dus welk type dijk we ook kiezen de veiligheid blijft op de korte termijn gewaarborgd. Maar op de lange termijn zal de huidige aanpak van dijkophogingen geleidelijk steeds meer problemen geven in de uitvoering. Voor elke meter zeespiegelstijging moeten de huidige zeedijken tot ongeveer een factor anderhalf meestijgen om rekening te houden met golfoverslag. Daarnaast blijft het land achter de dijk dalen waardoor extra kosten gemaakt moeten worden om de stabiliteit van de dijken te waarborgen en de kans op verzakkingen te beperken. Dubbele dijken moeten weliswaar ook opgehoogd worden om zeespiegelstijging voor te blijven, maar niet meer dan de zeespiegel stijgt. Vanwege de natuurlijk opgehoogde wisselpolder achter de zeedijk is namelijk geen extra hoogte meer nodig om golfoverslag te voorkomen. En mocht er ooit een dijkdoorbraak ontstaan bij een dubbele dijk met een opgeslibde wisselpolder, dan is de gevolgschade door de bodemophoging veel beperkter dan bij een conventionele zeedijk. En dit verschil in schade wordt in de toekomst steeds groter door de stijgende zeespiegel in combinatie met een voortschrijdende bodemdaling. Ontwikkeling van dubbele dijken met wisselpolders vormt

daarmee het meest robuuste waterkerende landschap, waarmee ook de volgende generatie in Zeeland veilig kan blijven wonen.

Wanneer moeten we starten met de aanleg van wisselpolders?

Hoewel de zeespiegel momenteel nog maar langzaam stijgt, moeten we toch nu al over de waterkeringen van de toekomst nadenken. Het opslibben van een wisselpolder kost veel tijd, zelfs langs de Westerschelde waar veel slib in het water zit. Om een wisselpolder op de maximale hoogte te krijgen duurt al snel 50 jaar. We moeten daarom niet wachten met de aanleg van wisselpolders, want dan is de zeespiegel misschien al zo hoog, dat opslibben de zeespiegel bijna niet meer in kan inhalen. De aanleg van dubbele dijken met wisselpolders is dus een *no-regret oplossing* waar je nooit te vroeg, maar wel te laat mee kan beginnen. Daarom is het zaak dat we nu starten met de aanleg van de eerste proeflocaties om snel te leren hoe we dubbele dijken als een volwaardig alternatief voor de huidige dijken kunnen inzetten.

Tot slot

Onze toekomstvisie voor Zeeland is, om daar waar het kan, hooggelegen wisselpolders tussen dubbele dijken te creëren voor een duurzame veiligheid en welvaart. Want hoe eerder we nu aan de randen van Zeeland de polders minder diep maken als een breed en robuust waterkerend landschap, hoe langer we Zeeland kunnen behouden voor toekomstige generaties. Door snel te starten met dubbele dijken en wisselpolders, bouwen we aan veiligheid. Die wisselpolders worden dan namelijk net zo hoog als het buitendijkse gelegen ‘Verdronken land van Saeftinghe; een schorregebied wat, na de duinen, inmiddels zo ongeveer het hoogste punt van Zeeland is.

--- --- ---

Over de auteurs

Jim van Belzen is een geboren en getogen Zeeuw, en vader van 3 Zeeuwse jongens. Hij werkt als onderzoeker bij het NIOZ, en heeft de meeste berekeningen aan opslib-snelheden en de kosten-batenanalyse in het onderliggende rapport uitgevoerd.

Gerlof Rienstra, Fries van geboorte, is na een lange carrière als rijksambtenaar en consultant actief als directeur/eigenaar van een economisch beleidsonderzoeks- en adviesbureau, gericht op regionale, stedelijke en ruimtelijk-economische onderwerpen. In dit onderzoeksproject heeft hij zich beziggehouden met de economische effecten van de voorgenomen investeringen en bestedingen, zowel waterbouwkundig, landschappelijk als toeristisch-recreatief.

Tjeerd Bouma is vader van 2 Zeeuwse meiden, en werkt al 23 jaar als onderzoeker bij het NIOZ in Zeeland. Daarnaast is hij voor 1 dag per week aangesteld als hoogleraar aan de Universiteit Utrecht, is hij lector Building with Nature bij de HZ-Vlissingen en honorair hoogleraar bij de Rijks Universiteit Groningen. In zijn onderzoek zoekt hij naar hoe we natuurlijke processen kunnen benutten om tot win-win situaties te komen, en is initiator van het hier beschreven onderzoek.

Korte samenvatting

Klimaatopwarming en zeespiegelverandering dwingen ons om de aanpak met betrekking tot waterveiligheid tegen het licht te houden en zelfs te heroverwegen. De huidige Nederlandse aanpak waarbij dijken steeds hoger en breder worden zorgt op termijn voor problemen. Door voortgaande bodemdaling nemen op termijn de kosten toe om waterkeringen stabiel te houden en verzilting tegen te gaan. In dit rapport onderzoeken we de kansen voor implementatie van dubbele dijken met een wisselpolder als alternatief voor de huidige aanpak. Bij een dubbele dijk wordt een dijk landwaarts van de zeewaartse dijk aangelegd, of een bestaande slaperdijk opgewaardeerd. Tevens wordt een doorlaat in de zeewaartse dijk gemaakt zodat de tussenliggende wisselpolder door getijden overstroomd en op kan slibben. Doordat de bodemhoogte toeneemt worden de dijken stabiel en hoeven minder opgehoogd te worden, wat kosten kan besparen. De wisselpolder kan baten leveren wanneer deze voor aquacultuur en zilte teelt of voor natuurontwikkeling, waar recreatie en toerisme van kunnen profiteren, gebruikt wordt. Wanneer de bodem op hoogte is kan de doorlaat afgesloten worden om de wisselpolder weer voor landbouw in gebruik te nemen. In deze studie werken we het concept van dubbele dijken met wisselpolder in meer detail uit. We voeren een kosten-batenanalyse en economische effectrapportage van een estuarium brede implementatie in de Zuidwestelijke Delta uit, langs de oevers van de Westerschelde, Oosterschelde en het Haringvliet. Daarbij maken we gebruik van een model welke de bodemhoogte in de wisselpolders berekend en de daaraan gekoppelde baten m.b.t. aquacultuur, zilte teelt en natuur. We vergelijken de dubbele dijken met zowel de conventionele dijkophoging ('business as usual') als ook een alternatief met overslagbestendige dijken. Uit deze analyse blijkt dat dubbele dijken met wisselpolders op alle fronten goed scoort ten opzichte van de conventionele aanpak. Ondanks de hoogste implementatiekosten is het investeringsrendement hoog en voegt het nieuwe economische en natuurlijke functies toe aan het landschap, waardoor een no-regret investering ontstaat. Tijdige implementatie is echter essentieel voor het succes ervan, omdat door zeespiegelstijging de bodemophoging achter kan blijven. Wanneer de bodem in de wisselpolders tussen de dubbele dijken relatief laag blijft, heeft dat niet direct gevolgen voor de waterkerende werking. Wel zal de mogelijkheid om de polder weer in gebruik te nemen voor landbouw uitblijven en zal de stabilisatie minder zijn. Daar staat tegenover dat de wisselpolders langer voor aquacultuur geschikt blijven, welke een sterk alternatief voor landbouw zijn. Concluderend zijn dubbele dijken met wisselpolders een betaalbaar alternatief en zorgen ze voor een veilig en robuust waterkerend landschap met meerwaarde voor de regionale economie en natuur.

Dankwoord

Allereerst willen we Bas Roels van WWF bedanken voor de financiële ondersteuning waardoor we het onderzoek naar dubbele dijken met wisselpolders verder konden uitwerken van de initiële pilotstudie tot het rapport zoals dit nu voor u ligt. De pilotstudie die aan de basis stond van dit rapport werd onder leiding van Tjeerd Bouma uitgewerkt door gastonderzoeker Cristina Galvan-Arbeiza van IHCantabria uit Santander. Deze pilotstudie legde een goede basis van waaruit de ontwikkeling van het concept van de dubbele dijken met wisselpolder verder uitgewerkt kon worden. Daarbij willen we Anne Loes Nillesen en Mona zum Felde van Defacto en Gijs van Zonneveld van Ark bedanken welke samen met Bas bij veel van de voortgangsbesprekingen als begeleidingsgroep aanwezig waren en waardevolle feedback en input hebben gegeven om de ideeën uit te werken tot een volwaardig concept. Ook de verschillende mooie visualisaties gemaakt door Rapa Surajaras van Defacto hielpen hierbij.

Naast de begeleidingsgroep hebben gedurende het project verschillende mensen vanuit hun expertise bijgedragen aan de ontwikkeling van de ideeën en aandachtspunten bij het uitwerken van dubbele dijken met wisselpolder welke we hier willen bedanken. We noemen Tom Ysebaert (NIOZ en WMR) en Dick de Jong (voorheen werkzaam bij Rijkswaterstaat nu met pensioen) die ons op verschillende momenten attendeerden op interessante overwegingen die bij het gebruik van wisselpolders spelen, zoals de omschakeling naar andere type voedselproductie. Verder danken we de input van verschillende mensen bij waterschappen die kritisch naar de voorgestelde concepten hebben gekeken. Daarbij gaat het om André Marinisse van Waterschap Scheldestromen en Kees de Jong en Marco Veendorp van Waterschap Noorderzijlvest. Ook projectmanager Nienke Vermaak van Provincie Groningen welke de portefeuille van de eerste dubbele dijk in Groningen moet hier genoemd worden. Een goed gesprek met deze laatste drie en hun ervaringen en rapportage waren waardevolle input om onze berekeningen aan te scherpen. Verder zijn er ook verkennende gesprekken geweest om eventuele aanvullende baten te onderzoeken. Zo bedanken we Paul Vertegaal en Frans Vlieg van Natuurmonumenten en Twiga van der Werf voor hun inhoudelijke bijdrage aan de discussie rond mogelijkheden voor koolstofcertificering. Verder waarderen we de tijd die Jacob van Berkel (HZ) heeft vrijgemaakt voor enkele verkennende gesprekken over de mogelijkheden voor het toepassen van dubbele dijken voor het opwekken van getijdenenergie. Als laatste willen we hier de vele experts van waterschappen en kennisinstellingen bedanken die deel hebben genomen aan de online workshop “brede waterkerende landschappen in sediment arme gebieden” gehouden op 15 september 2020 jl., waar we in toekomstige publicaties nader op in zullen gaan. De kritische maar constructieve discussie tijdens deze workshop rond het dubbele dijken concept heeft de laatste puntjes op de i gezet waardoor we dit rapport met vertrouwen konden afronden.

Ook willen we de grote groep studenten bedanken die tijdens het dubbele dijken project belangrijke deelvragen verder hebben onderzocht en uitgewerkt en waarvan de bevindingen deels in dit rapport terecht zijn gekomen of in de communicatie rond Nature-based kustverdediging zijn gebruikt. Meer specifiek en in willekeurige volgorde: Dirk Schot voor het bouwen van de stroomgoot ‘kraken’ en Kim van den Hoven die hier vervolgens in korte tijd een flinke reeks experimenten mee wist te doen om de rol van schorren bij dijkdoorbraken beter te begrijpen. Anouk Timmerman, Sanidhya Bagda en Matteo Mikos welke hebben gewerkt aan verschillende aspecten van de modellering van opslibbing in wisselpolders. Het verkennende modelleerwerk van Andrea Natali naar de rol van wisselpolders in het tegengaan van de gevolgen van verzilting en Kasper de Vaan naar de extra komberging door wisselpolders en de invloed op het dempen van een stormvloed. De historische analyse door Hedda Bonatz

van de inpolderingen in Zeeland en de bodemdaling die daarna volgde. En als laatste maar zeker niet als minste het werk door Tim Dubbeldam. Hij heeft belangrijke stappen gezet in het ontwikkelen van de beslisboom voor het selecteren van potentiële wisselpolders en de daaraan gekoppelde kosten-batenanalyse. Al deze studenten werden in meer of mindere mate ondersteund in de praktische uitvoering als ook op intellectueel vlak door onderzoeksassistent Jan van Poppel. Zonder hun inzet was dit rapport niet mogelijk geweest. Als laatste bedanken we de support vanuit het departement ‘Estuariene en Delta systemen’ voor het geven van feedback op de samenvatting en Valerie de Witte voor de vele keren dat stukken tekst moesten worden gecontroleerd op spel en typfouten.

Tweede herziene versie

In de de versie van het rapport welke op maandag 25 januari 2021 werd gepubliceerd bleken enkele fouten geslopen te zijn. Daarom deze tweede herziende versie van het rapport welke op dinsdag 9 februari 2021 gepubliceerd is. Achter in dit rapport, na de appendices, is een erratum opgenomen waarin de veranderingen die ten opzichte van de eerste versie zijn gemaakt zijn opgenomen met toelichting.

Inhoud

1. INLEIDING	13
1.1 ACHTERGROND	13
1.2 DOELSTELLING EN AANPAK	16
1.3 LEESWIJZER	17
2. DUBBELE DIJKEN ALS HYBRIDE OPLOSSING.....	21
2.1. DE URGENTIE VOOR ECOSYSTEEM-GEBASEERDE INNOVATIES	21
2.2. DUBBELE DIJKEN MET WISSELPOLDER: VAN CONCEPT NAAR IMPLEMENTATIE.....	27
3. DE WESTERSCHELDE ALS SEDIMENTRIJKE CASUS	35
3.1. GLOBALE AANPAK	36
3.2. DE SCENARIO'S.....	38
3.3. DE LANDSCHAPPELIJKE INRICHTING.....	41
3.4. BODEM EN AREAALONTWIKKELING	41
3.5. KOSTEN EN BATEN	43
3.6. TEMPO VAN IMPLEMENTATIE	47
4. DUBBELE DIJKEN IN SEDIMENT ARME SYSTEMEN: OOSTERSCHELDE & HARINGVLIET	49
4.1 GLOBALE AANPAK	49
4.2 OOSTERSCHELDE	52
4.3 HARINGVLIET	53
5. ECONOMISCHE EFFECTEN	57
5.1. OOSTER- EN WESTERSCHELDE (ZEELAND)	58
5.2. HARINGVLIET & HOLLANDSCH DIEP (ZUID-HOLLAND EN NOORD-BRABANT).....	67
6. DISCUSSIE & AANBEVELINGEN	77
6.1. RESUME.....	77
6.2. DISCUSSIE	80
6.3. AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGSTAPPEN	85
6.4. CONCLUSIES	86

REFERENTIES.....	87
LITERATUUR	87
BRONNEN	90
APPENDIX 1: AANPAK KOSTEN-BATEN-ANALYSE	91
A.1.1 MODELOVERZICHT.....	91
A.1.2 MODEL DETAILS	94
APPENDIX 2: REKENVOORBEELD MONETAIRE WAARDERING ECOSYSTEEDIENSTEN EN OPBRENGSTEN WISSELPOLDER.....	103
ERRATUM.....	107

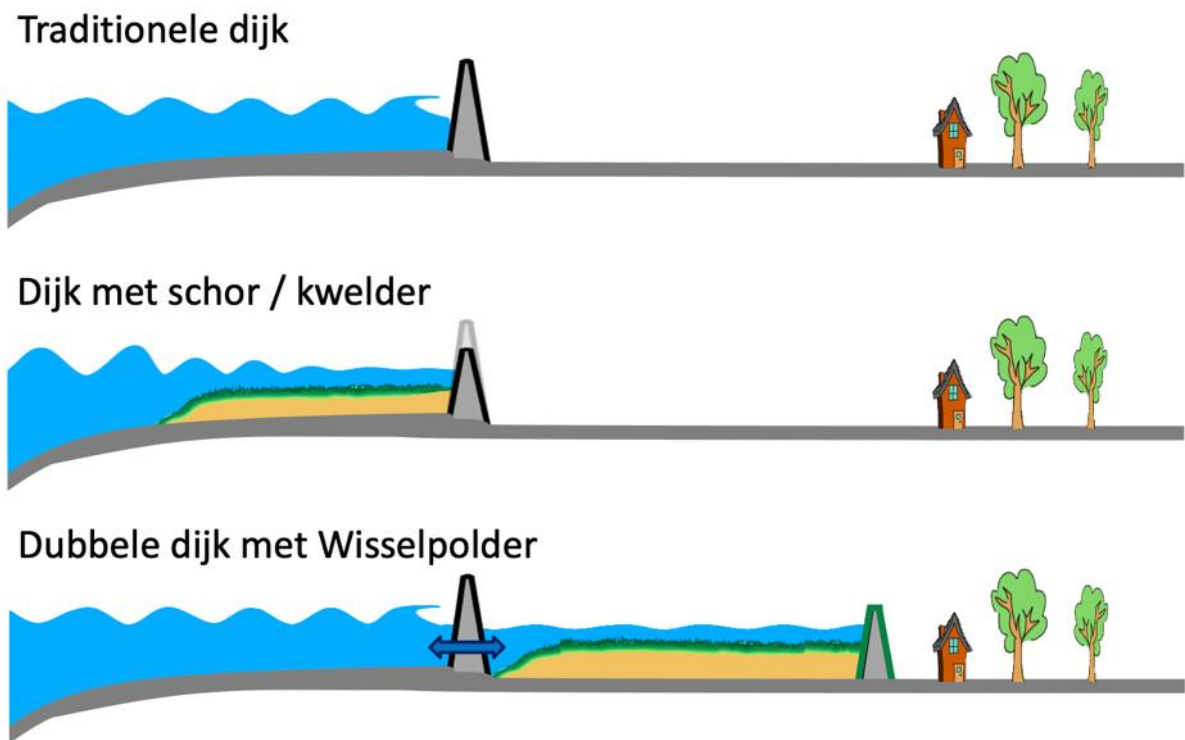
1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Laaggelegen kustgebieden over de hele wereld kennen een toenemend overstromingsrisico als gevolg van veranderingen in de zeespiegel, stormen en bodemdaling (Knutson et al., 2010; Lin et al., 2012; Resio & Westerink, 2008; Schuerch et al., 2018; Syvitski et al., 2009). Vaak zijn deze laaggelegen gebieden gevormd door menselijke activiteiten waarbij intergetijdengebieden zijn om gezet in land voor landbouw, industrie en stedelijke ontwikkeling (Nicholls et al., 2007; Syvitski et al., 2009). Het aanleggen van dijken ontkoppelde het land van de zee (de Ruig, 1998). Hierdoor konden economische activiteiten ontplooiën en floreren omdat het land niet langer werd blootgesteld aan de grillen van de zee. Deze praktijk zorgt echter op de lange termijn voor problemen. Doordat het land werd afgesneden van de invloed van de zee vonden er geen bodemopbouwende processen meer plaats en hierdoor klinkt het land in (Syvitski et al., 2009). Dit proces wordt verder versterkt door bodemdrainage en eventueel de winning van grondwater en gas (Temmerman et al., 2013; Syvitski et al., 2009). Door de nu optredende versnelling in zeespiegelstijging is deze situatie naar de toekomst eindig geworden.

Aan de zeezijde van de dijken neemt de druk steeds verder toe als gevolg van de stijging van de zeespiegel en veranderingen in het weerpatroon als gevolg van de opwarming van de aarde, waardoor versteviging van de waterkeringen, zoals dijken en dammen, in de loop van de tijd nodig is (Charlier et al., 2005; Jonkman et al., 2013). Aan de landzijde van de dijken vermindert door bodemdaling de stabiliteit van de waterkering (bijvoorbeeld door piping) en neemt de gevolgschade sterk toe bij het onverhoopt falen van de waterkering (Jonkman et al., 2013). Beheer van zoet water voor b.v. landbouw wordt steeds moeilijker naarmate de druk van zout grondwater (kwel) toeneemt (de Louw et al., 2010; Essink, 2008). Bovendien vermindert het omvangrijke verlies van intergetijdennatuur de intrinsieke natuurwaarde en biodiversiteit van het kustlandschap als gevolg van landaanwinning in het verleden en zeespiegelstijging (Kirwan & Megonigal, 2013). De vraag is dan ook of het mogelijk is om deze trends in samenhang te keren, door laaggelegen gebieden om te vormen tot robuuste duurzame kusten door weer te gaan meebewegen met de zeespiegel.

In diverse recente studies is gesuggereerd dat waterkeringen op basis van ecosysteem-gebaseerde oplossingen (Nature-Based Solutions, NbS) een interessante mogelijkheid zou kunnen bieden om robuustere veiligheidssystemen te ontwikkelen. De ecosysteem-gebaseerde aanpak kan een oplossing bieden voor de problemen waar de conventionele dijken mee kampen, zonder aan het niveau van waterveiligheid in te boeten (Vuik et al., 2016, 2019a,b; Temmerman et al., 2013). Experimenten en modellen ondersteunen het idee dat begroeide voorlanden (schorren/kwelders) effectief golven en stormvloeden kunnen dempen (Möller et al., 2014; Vuik et al., 2016). Daardoor hoeven dijken minder hoog te worden gemaakt als ze achter een schor liggen, omdat overslag van golven beperkt is (Fig. 1.1). Daarnaast is uit recent historisch onderzoek gebleken dat de kans op doorbraken in dijken met schorren als voorland voor de dijk kleiner zijn (Zhu et al., 2020). Bovendien kunnen doden voorkomen worden bij een onverwachte doorbraak, door dat de bres in de dijk kleiner blijft als er een schor voor ligt, waardoor het water minder hoog stijgt in de achtergelegen polder (Zhu et al., 2020). Als schorren worden herstelt, dan zorgt dat er ook voor dat bodemopbouwende processen weer terugkeren (Oosterlee et al., 2018, 2020; Temmerman et al., 2013) waarbij bodemdaling van het land en daaraan gerelateerde problemen met stabiliteit van oever en waterkering en verzilting worden verminderd of zelfs teruggedraaid (Temmerman et al., 2013).

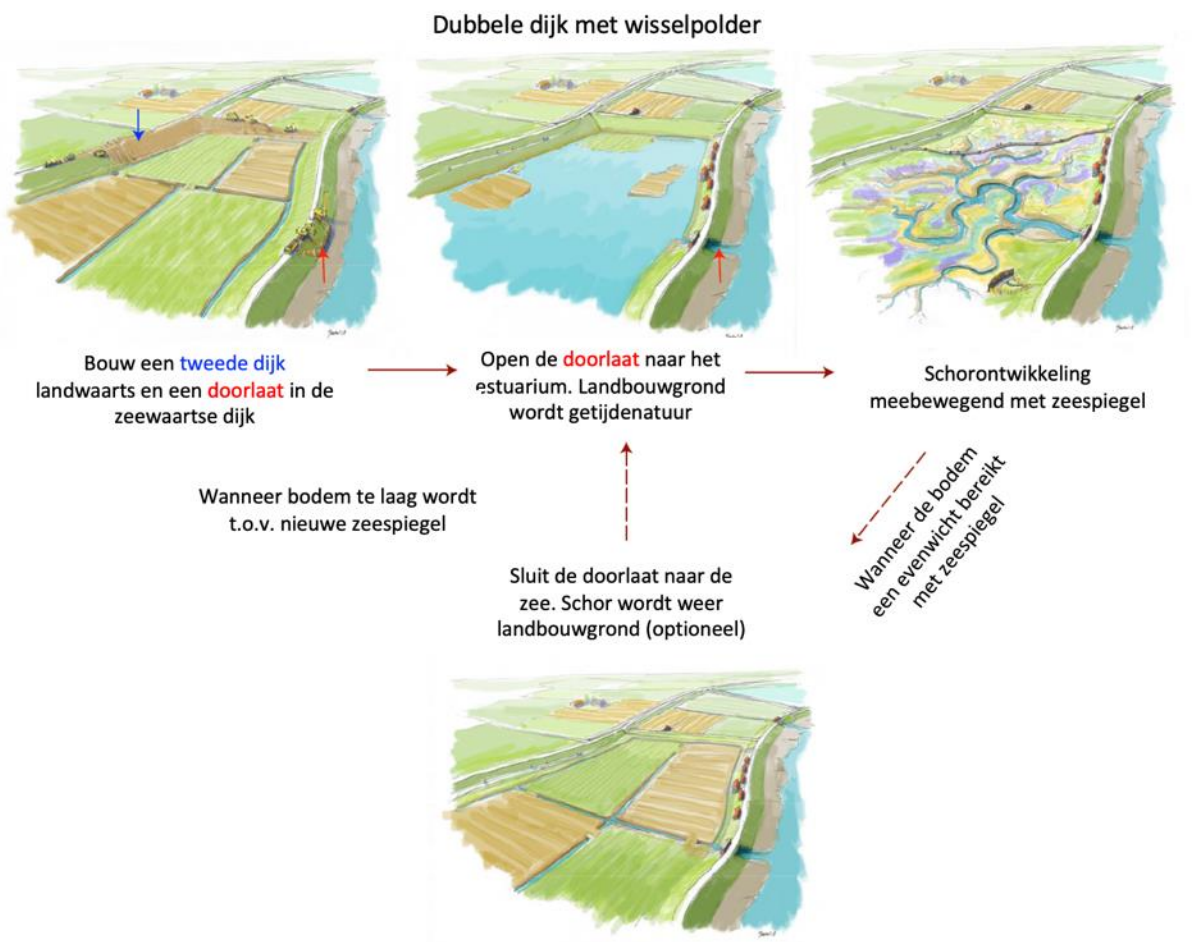


Figuur 1.1. Conceptuele vergelijking tussen traditionele en ecosysteem-gebaseerde oplossingen voor waterveiligheid. Bij de traditionele dijk is de hoogte van de dijk die nodig is voor een goede waterkerende werking afhankelijk van de maximale waterstand met daarbovenop een hoogte om overslag van golven tegen te gaan. Wanneer er een begroeid voorland (een schor of kwelder) voor de dijk ligt, dan zijn de golven die de dijk bereiken minder hoog en kan de dijkhoogte logischerwijs ook lager zijn dan in het geval van de traditionele dijk. Bijkomend voordeel is dat bij een onverhoopte dijkdoorbraak er minder water de polder in stroomt wat meer tijd voor evacuatie geeft (Zhu et al., 2020). Wanneer de ontwikkeling van een schor voor de dijk niet mogelijk is (b.v. gebrek aan ruimte, ongunstige hydrodynamische condities of andere redenen) kan middels een dubbele dijk met wisselpolder de veiligheidsvoordelen van een breed voorland behaald worden (Zhu et al. 2020), met economische baten op de kop toe.

Zogenaamde 'hybride' waterkeringen, waarbij 'groen' op ecosystemen gebaseerde elementen gecombineerd worden met 'grijze' of 'harde' engineering oplossingen, kan dus belangrijke voordelen bieden. Bijvoorbeeld, kostenreductie, omdat schorren ervoor zorgen dat de hard geëngineerde dijk niet zo zwaar en hoog hoeft te worden uitgevoerd door minder grote golf belasting (Vuik et al., 2019a,b). En dit voordeel blijft, doordat schorren zich natuurlijk kunnen aanpassen aan de zeespiegel (Borsje et al., 2011). Maar om stabiele voorlanden te laten ontstaan en te houden vóór een dijk zijn wel voldoende ruimte en geschikte hydrodynamische condities nodig (Bouma et al., 2014). In gebieden waar de afgelopen eeuwen zeewaarts is uitgebouwd, is de ruimte richting het water zeer beperkt geworden. Dit maakt in dergelijke gebieden de aanleg van wisselpolders tussen een dubbel dijks systeem tot een geschiktere oplossing (Fig.1.1 en Fig.1.2).

Door dubbele dijken ontstaat een breed waterkerend landschap met potentieel een aantal economische voordelen voor de samenleving, door het versterken van recreatie, aquacultuur

en landbouw, bovenop een verbetering van het functioneren van het ecosysteem en daarmee behoud van de biodiversiteit. Om ervoor te zorgen dat ecosysteem gebaseerde oplossingen als dubbele dijken daadwerkelijk (kosteneffectief) bijdragen aan de veiligheid van laaggelegen gebieden, moeten ze op voldoende grote schaal worden geïmplementeerd (Broekx et al., 2011; Temmerman et al., 2013). Dat vraagt een ingrijpende transformatie van het kustlandschap en hoge initiële investeringen (Broekx et al., 2011). Maar juist omdat de baten van dergelijke oplossingen het grootste zijn als er tijdig aan wordt begonnen, en omschakeling veel tijd vergt, is het belangrijk om een inzichtelijke inschatting van de voor- en nadelen van het implementeren van de dubbele dijken met wisselpolder (Fig.1.2) te hebben, om daarmee een open dialoog met beleidsmakers en samenleving mogelijk te maken.



Figuur 1.2. De dubbele dijk met wisselpolder als ecosysteem gebaseerde oplossing (modified from Zhu et al. 2020). Het concept van de dubbele dijk voorziet in de mogelijkheid om mee te bewegen met zeespiegelstijging, tegelijk door een cyclisch beheer de landbouwfunctie te behouden en daarbij ruimte voor natuur en natuurlijke processen te realiseren (aangepast naar Zhu et al., 2020). Landinwaarts van de dijk die aan de zee ligt wordt een tweede dijk aangelegd of een bestaande (zee)dijk wordt weer in gebruik genomen. Daarna wordt er een bres of doorlaat gemaakt in de zeewaartse dijk. Door het openen van de doorlaat wordt de polder tussen de twee dijken getijdenatuur. Na verloop van tijd zal de bodem tussen de dijken ophogen door afzetting van sediment en vestigt zilte vegetatie waardoor een schor (of kwelder) ontstaat. Wanneer de bodem in evenwicht is met de zeespiegel (rond gemiddeld hoog water) kan de doorlaat eventueel gesloten worden om de opgehoogde polder terug in gebruik te nemen als landbouwgrond. Na verloop klinkt deze grond echter weer in waarna de polder weer geopend kan worden om de bodem op te hogen (illustrator: Jeroen Helmer/ARK Nature).

1.2 Doelstelling en aanpak

Doel van deze studie is inzicht te ontwikkelen of een businessmodel te maken is voor het concept van dubbel dijken met een wisselpolder (Fig. 1.2) in de Zuidwestelijke Delta. We kijken daarbij specifiek naar de Westerschelde, Oosterschelde en het Haringvliet. Binnen deze studie gebruiken we bestaande kennis over de technische veiligheidsaspecten als uitgangspunt, en kijken we naar i) de bedrijfseconomische kosten en baten en ii) de regionale economische effecten van de aanleg en uitbating van dubbele dijken met wisselpolders. We hopen dat daarmee het rapport een open dialoog tussen stakeholders en de maatschappij faciliteert.

Binnen dit project vergelijken we de kosten en baten van een grootschalige implementatie van wisselpolders tussen dubbele dijken als een NbS met de huidige conventionele civieltechnische benadering en een alternatieve technische oplossing met overslagbestendige dijken (Fig. 2.3).

In de kosten-batenanalyse (KBA) worden onder andere de volgende aspecten expliciet meegenomen:

- Kosten aanleg en onderhoud (of upgrade) van dijken
- Aankoopkosten van benodigde gebieden en ontroerend goed
- Inkomstenderving t.g.v. opgeven huidige landgebruik
- Opwaarderen van oude bestaande, nu nog slapende (zee)dijken
- Baten t.g.v. nieuw landgebruik

Bij het berekenen van de kosten voor implementatie houden we verder waar mogelijk rekening met de landschappelijke en historische context en mogelijkheden om daarmee kosten te minimaliseren door:

- Het zoveel mogelijk gebruiken van bestaande polders, met waar nodig:
 - Opwaarderen van oude bestaande, nu nog slapende (zee)dijken
 - Dijklengten te minimaliseren (verkorten)

Verder wordt de lange-termijn biogeomorfologische ontwikkeling gemodelleerd van de wisselpolders tussen de dubbele dijken. De effecten van veranderingen in de bodem- en dijkhoogte op de kosten voor dijk aanpassingen en onderhoud en baten welke verkregen worden uit het nieuwe landgebruik, worden vervolgens in de kosten-baten-analyse meegenomen.

We beginnen met de analyse van de Westerschelde, omdat deze slib-rijk is, wat een snelle opslibbing van wisselpolders mogelijk maakt. Voor de sediment arme Oosterschelde en Haringvliet wordt een vergelijkbare kosten-batenanalyse uitgevoerd als voor de slib-rijke Westerschelde. Echter omdat in deze gebieden bodemophoging door natuurlijke opslibbing langzaam zal verlopen is uitgegaan van een constante bodemhoogte in de wisselpolder bij het bepalen van de kosten en baten.

Vervolgens is een economische effectenonderzoek uitgevoerd op basis van de eerder opgestelde kosten-batenanalyse voor dubbele dijken langs de oevers van de Wester -en Oosterschelde en het Haringvliet. Wij maken in onze aanpak van het economisch effectenonderzoek een onderscheid tussen de tijdelijke economische effecten van de benodigde investeringen in bouw en infrastructuur (1) en de structurele economische effecten van het gebruik en exploitatie van die investeringsprojecten in de vorm van landbouw/aquacultuur en

toerisme (2). We maken daarbij gebruik van een zogenoemde input-outputanalyse (Rienstra, RIOT/2017). Daarbij kiezen wij voor een aanpak met twee verschillende invalshoeken:

1. Bepaling van de economische effecten als gevolg van investeringen in dubbele dijken en de exploitatie van de daardoor ontstane wisselpolders (aquacultuur en zilte teelten).

Hierbij gebruiken wij de kosten en de opbrengsten uit de KBA (omvang investeringen, onderhoudsbestedingen, nieuwe gebruiksfuncties) als input voor het bepalen van de directe en indirecte economische effecten voor de betreffende regionale economie (Zeeland, Groot-Rijnmond en West-Brabant).

2. Bepaling van de economische effecten als gevolg van extra toeristisch-recreatieve bestedingen met als referentie de natuurgebieden die in het zoekgebied voor dubbele dijken vallen.

Hierbij focussen we op een voor de Zuidwestelijke Delta in toenemende mate belangrijke economische sector, namelijk natuurtoerisme en natuurrecreatie. Met behulp van eerder uitgevoerd regionaal bezoekersonderzoek en nationale bevolkingsprognoses berekenen we de omvang en het bestedingsvolume van deze economische sector in 2050, en de indirecte effecten hiervan voor de betreffende regionale economie. Deze prognose en berekeningen staan los van de KBA.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport is een eerste verkenning naar het gebruik van dubbele dijken als natuurlijke waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta. Om een dergelijke grote en complexe vraag te verkennen, zijn de gebruikte methoden bewust simpel gehouden, om daarmee de analyse maximaal transparant te maken. We denken dat door het maken van deze simplificaties de essentie van de voorgestelde oplossing op de meest heldere manier wordt weergegeven. We willen zeker niet pretenderen dat met dit rapport alle vragen over dit onderwerp worden beantwoord. Zo is het dijkconcept van dubbele dijken met een wisselpolder gebaseerd op standaard rekenregels voor waterbouwkundige ontwerpen en de laatste inzichten op het gebied van Nature-Based Solutions (Building with Nature) voor waterveiligheid. Maar het dubbele dijkconcept is bijvoorbeeld nog niet getoetst aan de nieuwe richtlijnen van de Waterwet. We zien dit rapport vooral als een startpunt van een langer lopend traject.

Belangrijke gemaakte keuzes

Dit zijn de belangrijkste keuzes zoals we die gemaakt hebben in de uitgevoerde analyses.

- Om de potentiële gebieden voor dubbele polders te identificeren is gebruik gemaakt van een beslisboom waarbij dijk lengte optimalisaties op basis van twee simpele minimum en maximum afmetingen van de landwaartse dijken zijn toegepast. Ook voor het meenemen van kosten- en batenposten zijn aannames gedaan waarmee de orde grootte van de kosten en baten redelijk kunnen worden geschat. Maar in een later stadium hebben deze mogelijk verdere invulling nodig wanneer implementatie op plangebied wordt uitgewerkt. Het gaat te ver om nu al dergelijke details op te nemen in een studie zoals deze. We hebben daarom een conservatieve houding aangenomen ten aanzien van de gemaakte aannames in de kosten en baten.

- Het ontwerp van het dubbele dijk concept is niet doorgerekend op faalkansen, maar is gebaseerd op enkele conservatieve waterbouwkundige rekenregels voor de hoogte en dimensionering van de dijken voornamelijk met betrekking tot het faalmechanisme golfoverslag. De dijken hebben daarop dus oversterkte en/of –hoogte. Een voorwaarde om deze robuustheid te kunnen benutten is dat de dijken bij maatgevende omstandigheden niet door andere mechanismen falen zoals erosie van de buitenbekleding, macroinstabiliteit, opbarsten of door piping. Deze mechanismen worden vooral onderdrukt door de dijken meer breedte te geven. Omdat de dubbele dijk zelf als een brede dijk gezien kan worden, verwachten we dat deze andere faalmechanismen daarom worden onderdrukt. Het expliciete karakter van het brede waterkerende landschap met dubbele dijk, mits er voldoende opslibbing plaatsvindt, zal veelal in het voordeel werken voor het tegengaan van andere faalmechanismen dan golfoverslag. Nadere studie aan dubbele dijken, gericht op aspecten van de stabiliteit en faalkansen door verschillende mechanismen is dus essentieel in een vervolgfase, om de gemaakte aannames te toetsen.
- Implementatie van dubbele dijken wil zeggen dat een langer traject in onderhoud genomen moet worden dan nu het geval is. Toch schatten we de onderhoudskosten die daarvoor nodig zijn laag in omdat het merendeels groene dijken betreft. De aannames dat de dijk types van de dubbele dijk toekunnen met minder dure bekleding die ook minder onderhoud vergt is gebaseerd op de natuurlijke ontwikkeling van de bodem van de wisselpolder en de begroeiing ervan. Het kan zijn dat dit in sommige trajecten niet toereikend is en aanvullende maatregelen genomen moeten worden om b.v. vestiging van begroeiing te stimuleren of dat er bekleding nodig is die minder makkelijk erodeert. Dergelijke extra kosten zijn niet meegenomen in de ramingen, maar vergelijkbare overwegingen zijn ook niet meegenomen in de ramingen van de twee alternatieven waardoor ze vergelijkbaar zijn.
- Voor het doorrekenen van de kosten voor de huidige aanpak met dijkverhogingen zijn alleen kosten voor ophoging meegenomen. Hiervan weten we dat de daadwerkelijke kosten onderschat worden wanneer er extra maatregelen genomen moeten worden om de kans op andere faalkansen te verkleinen. Zeker in het geval van extremere zeespiegelstijging scenario's kunnen de kosten dan sterker oplopen dan nu geraamd. Met name bij de conventionele dijkverhoging zullen daardoor de kosten sneller oplopen.
- We hebben in het economische effectenonderzoek met behulp van regionale input-outputanalyses niet alleen de directe kosten en baten berekend, maar hebben ook gekeken wat de daaraan ten grondslag liggende investeringen, bestedingen en opbrengsten voor doorwerking kunnen hebben op de rest van de regionale economie. Met andere woorden, ook de indirecte effecten als gevolg van toeleveranties en afnemers zijn in beeld gebracht.

Opbouw rapport

In dit rapport vergelijken we de kosten en baten en economische effecten van drie alternatieve scenario's: (1) de huidige aanpak van dijkverhogingen ('business as usual'); (2) het overgaan op overslagbestendige dijken; en (3) het implementeren van dubbele dijken met wisselpolder als robuust waterkerend landschap. In **hoofdstuk 2** lichten we het concept van de dubbele dijk met wisselpolder nader toe en geven we een uitleg over de veiligheidstechnische aspecten en de ontwikkeling van functies en baten in de tijd. In **hoofdstuk 3** bekijken we hoe de kosten en baten uitpakken wanneer de dubbele dijken grootschalig worden geïmplementeerd in een sediment rijk estuarium als de Westerschelde. We kijken eerst naar de Westerschelde omdat bodemophoging hier door het aanwezige sediment voldoende snel kan plaatsvinden. Vervolgens voeren we in **hoofdstuk 4** ook een kosten-batenanalyse uit voor de Oosterschelde en het Haringvliet (en deels Hollandsch Diep). Dit zijn sediment arme gebieden waardoor we verwachten dat de bodembouw niet of minder goed op gang komt. In **hoofdstuk 5** analyseren

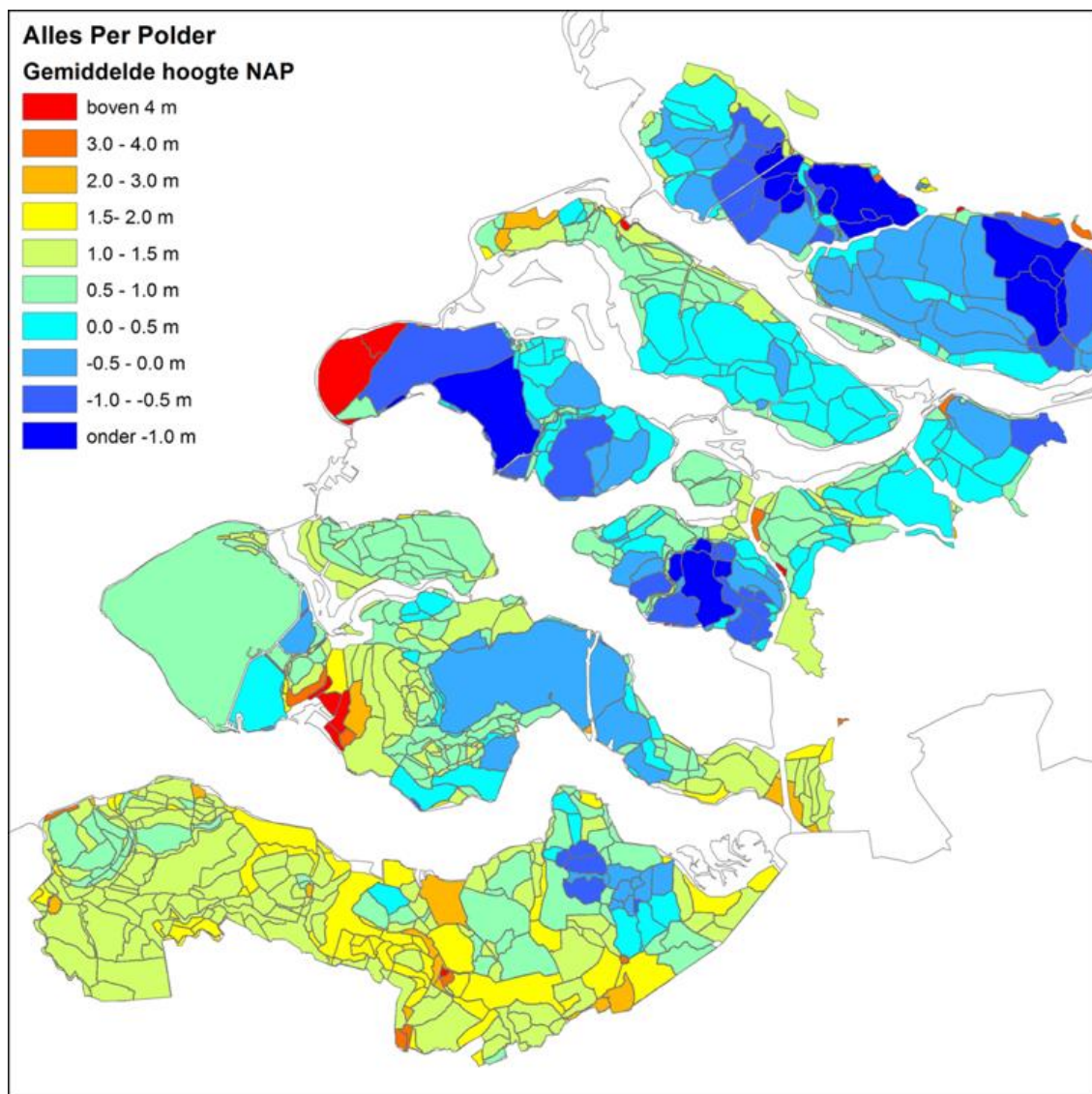
we hoe de economische effecten als gevolg van de investeringen en het veranderde landgebruik voor de verschillende gebieden uitpakken. Tot slot bespreken we in **hoofdstuk 6** onze bevindingen en geven we aanbevelingen voor vervolgstappen en -onderzoek

2. Dubbele dijken als hybride oplossing

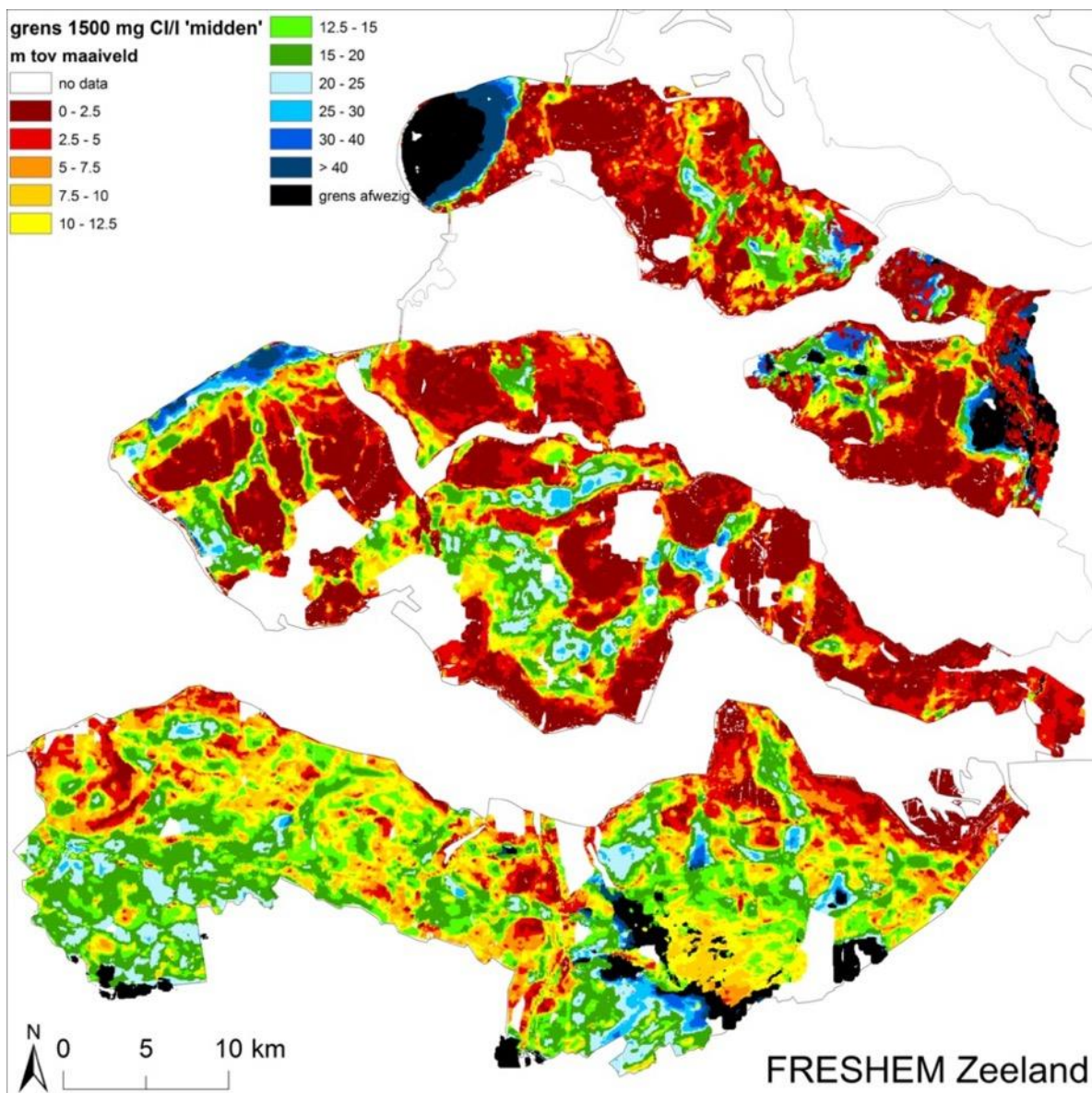
2.1. De urgentie voor ecosysteem-gebaseerde innovaties

Waterveiligheid in Nederland

De Nederlanden kennen een lange geschiedenis in de strijd tegen het water. De eerste dijken en inpolderingen dateren al van de middeleeuwen (Wolff, 1992). De geleidelijke indijking zorgde ervoor dat er vruchtbare landbouwgrond ontstond en nederzettingen. Ondanks de indijkingen werden op gezette tijden door stormvloed en de polders weer door de zee teruggenomen (de Haas et al., 2018; de Kraker, 2006; van Baars & van Kempen, 2009). Toch was het op peil houden van de dijken niet altijd een prioriteit. Daardoor kon het bijvoorbeeld in 1953 goed mis gaan. Tijdens deze stormvloed werd voornamelijk de Zuidwestelijke Delta getroffen door vele dijkdoorbraken en waren ruim 1100 slachtoffers te betreuren (de Kraker, 2006; van Baars & van Kempen, 2009). Sindsdien is de waterveiligheid in Nederland daarom bij wet vastgelegd en is momenteel goed op orde (Bruil, 2008).



Figuur 2.1. Gemiddelde hoogte van polders in de Zuidwestelijke Delta (Data: AHN3).



Figuur 2.2. Diepte van de 1500 mg Cl/L grens als indicatie voor de verzilting in Zeeland (Bron: Provincie Zeeland).

Sinds 2017 is een risico gebaseerde aanpak voor waterveiligheid in de Nederlandse wet opgenomen, het Nederlandse waterveiligheidsprogramma (NCR knowledge base; van Loon-Steensma & Huiskens, 2017b). Deze nieuwe aanpak houdt meer expliciet rekening met de kans op een overstrooming en de consequenties van die overstrooming. Het risico is dus gedefinieerd als de kans maal de consequentie. Om de kans op overstrooming in te schatten worden factoren als de hoogte en sterkte van de dijk meegenomen als ook de kans op het voorkomen van bepaalde waterstanden. De consequenties worden ingeschat op basis van het verwachte aantal slachtoffers als ook de economische schade die een overstrooming tot gevolg gaat hebben. Het effect van een overstrooming op deze facetten is sterk afhankelijk van hoe en hoe snel het water het gebied in stroomt. Deze aspecten bepalen wat het basisniveau voor waterveiligheid is en welke dijkhoogte er nodig is om dit te bereiken. Het doel van de huidige wetgeving is om het

Lokale Individuele Risico (LIR) niet onder de 1 op 100,000 jaar te laten komen (NCR knowledge base).

Bodemdaling door indijking en watermanagement

Door de huidige inrichting van het land met waterkeringen en het daarbij behorende watermanagement daalt de bodem in de Nederlandse kust gestaag. Door de eeuwenlange inpolderingen, aanleg van waterkeringen en andere technische ingrepen is een sterk cultureel en onnatuurlijk landschap ontstaan. De aanleg van dijken heeft de invloed van zee en rivieren afgesloten waardoor natuurlijke bodemopbouwende processen door periodieke invang van sediment niet meer in het landschap aanwezig zijn (Oosterlee et al., 2020; Temmerman et al., 2016). Daarnaast zorgen intensieve bodembewerking door landbouw en de drainage van het land dat de bodem daalt door inklinking (van Oosterlee et al., 2020). Zo daalt de bodem in de Zuidwestelijke Delta met gemiddeld 2 - 2,5 mm/jaar (van Belzen, ongepubliceerd data). De gemiddelde polderhoogte is daardoor op veel plaatsen al tot onder gemiddeld zeeniveau of zelfs lager gedaald (Fig.2.1). Waar dit niet al het geval is kan dit op termijn voor problemen zorgen. Aanhoudende bodemdaling ondermijnt uiteindelijk de stabiliteit van dijken (bv. door piping). Ook het beheer van zoetwater voor zoetwatergebonden agricultuur wordt problematischer door o.a. kwel (Fig.2.2; Siemon et al., 2019; Wolff, 1992). Verder is de gevolgschade wanneer een dijk onverhoopt toch mocht falen veel groter naarmate de polder dieper ligt (Zhu et al., 2020). Logischerwijs is verdere bodemdaling op de lange termijn niet houdbaar omdat dijken steeds robuuster gemaakt moeten worden, en dus duurder in onderhoud worden, om de risico's aanvaardbaar te houden (Jonkman et al., 2013; Haasnoot et al. 2018). Ook het management van zoetwater wordt steeds lastiger en duurder als gevolg van de bodemdaling (Haasnoot et al., 2018).

Zeespiegelstijging

Aan de zeezijde van de dijk neemt tegelijkertijd de gemiddelde zeespiegel toe. De baseline voor Nederland is momenteel 1,95 mm/jaar (Baart et al., 2018), wat neerkomt op een verwachte zeespiegelstijging van ten minste 0,2 m in 2100 (extrapolatie ten opzichte van 1995). Deze waarnemingen lopen wat achter op het globale gemiddelde waar over de lange termijn genomen de zeespiegelstijging met 3,16 mm/jaar verloopt (IPCC). Het gevolg van deze zeespiegelstijging is dat dijken moeten worden opgehoogd om aan de eisen te blijven voldoen. De stijging van de zeespiegel zorgt ervoor dat de kans op maatgevende condities (dat zijn de condities die normaal eens in de paar duizend jaar voorkomen) vaker voor gaan komen. Wetgeving voorziet dan dat er maatregelen genomen moeten worden om de waterkeringen op veilige hoogte te brengen (NCR knowledge base). Wanneer de golfcondities aan de zeezijde gelijk blijven dan zal de benodigde extra dijkhoogte gelijk zijn aan de toegenomen zeespiegel. Echter, wanneer de waterdiepte voor de dijk ook toeneemt door de zeespiegelstijging kan extra hoogte nodig zijn om golfoverslag tegen te gaan (Jonkman et al., 2013). Daarom wordt vaak aangehouden dat de dijkhoogte met een factor 1,5 met zeespiegelstijging mee omhoog gaat (Jonkman et al., 2013).

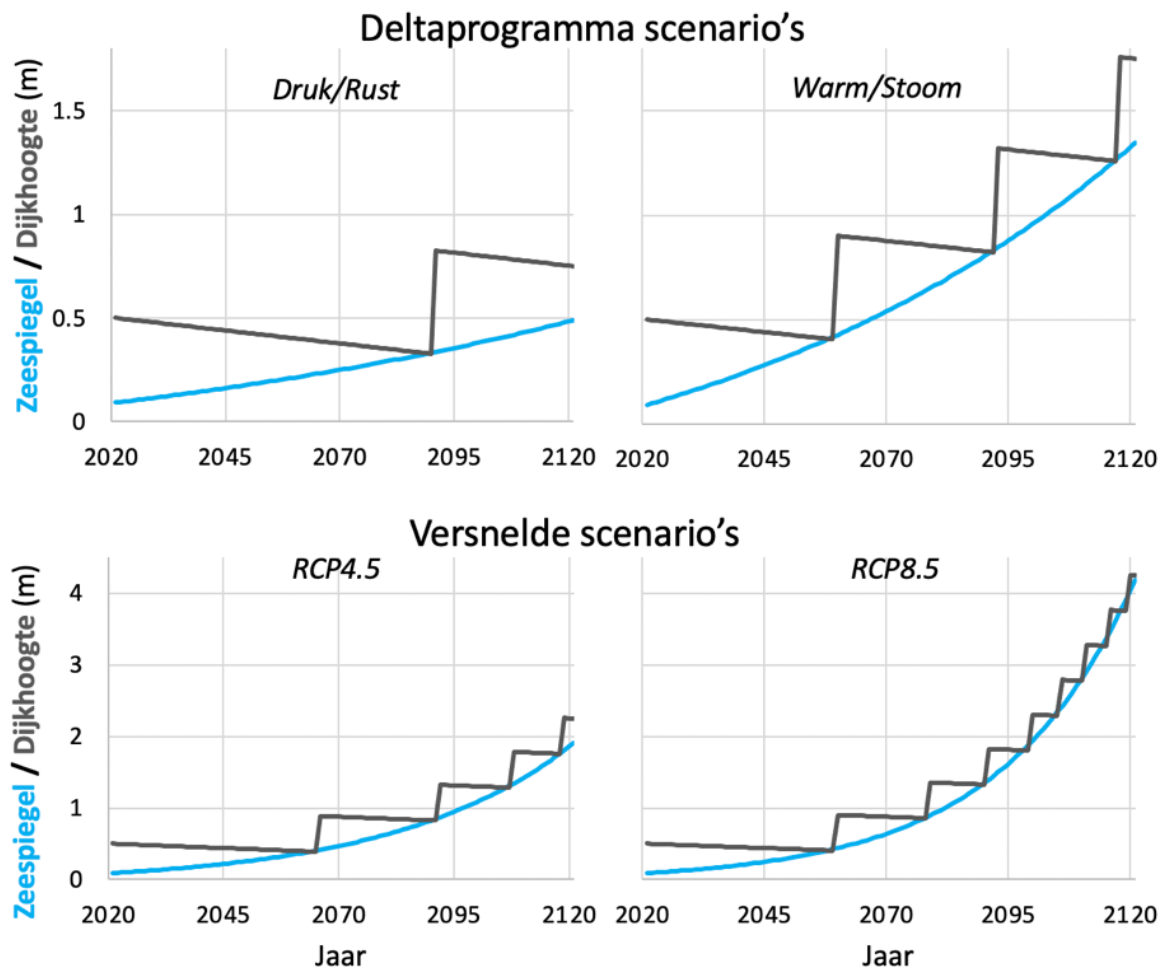
Wereldwijd lijkt momenteel een versnelling van de zeespiegelstijging gaande. De globale zeespiegelstijging is namelijk inmiddels toegenomen tot 4,8 mm/jaar over de laatste 10 jaar (Nerem et al., 2018; Voosen, 2020). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het versnelde afsmelten van landijs (Voosen, 2020). Hoewel in de metingen van Nederlandse meetstations deze versnelling nog niet is terug te vinden, zal ook Nederland uiteindelijk de gevolgen van de versnelde zeespiegelstijging gaan ondervinden (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Zeespiegelstijging scenario's zoals gebruikt in het Deltaprogramma en versnelde varianten. Absolute stijging van de zeespiegel ten opzichte van 1995 (Haasnoot et al., 2018). Bodemdaling is hier niet in meegenomen.

	Deltaprogramma scenario's		Versnelde scenario's	
<i>Jaar</i>	<i>Druk/Rust</i>	<i>Warm/Stoom</i>	<i>RCP4.5</i>	<i>RCP8.5</i>
2050	0,15 m	0,4 m	0,24 m	0,29 m
2100	0,35 m	1 m	1,08 m	1,95 m

Voor het inschatten van toekomstige ingrepen aan de waterkeringen worden momenteel door het deltaprogramma vastgestelde scenario's gebruikt die zijn gebaseerd op het 5^{de} assessment van het IPCC en de lokale adaptatie van het KNMI (IPCC, KNMI, Haasnoot et al., 2020). Het deltaprogramma stelt een adaptieve strategie voor waarbij aanpassingen aan de zeeweringen worden voorzien wanneer deze nodig zijn. In het deltaprogramma wordt voorgesteld om de kering 0,5 m hoger te bouwen om te anticiperen op de aankomende zeespiegelstijging. Naarmate de zeespiegelstijging sneller verloopt zullen daarom vaker ingegrepen nodig zijn om de dijken en keringen op het gewenste veiligheidsniveau te houden (Fig.2.3). Mocht de zeespiegelstijging meer versnellen dan de scenario's in het deltaprogramma nu voorzien (Tabel 2.1) dan zullen dus veel meer aanpassingen en ingrepen en met een kortere tussenperiode nodig zijn (Fig.2.3).

De absolute zeespiegelstijging samen met de bodemdaling zorgen dus momenteel voor een relatieve zeespiegelstijging van 4 – 4,5 mm/jaar. Dit komt neer op een relatieve zeespiegelstijging van ongeveer 0,5 m in 2100. Met de onzekerheden en verwachting van een mogelijke versnelde zeespiegelstijging in ons achterhoofd is het van belang om na te denken over alternatieve manieren voor aanpassingen en onderhoud aan onze dijken en waterkeringen, alleen al om de daarbij behorende kosten binnen de perken te houden. Het verhogen van dijken lost niet het probleem van bodemdaling op, wat op termijn waarschijnlijk niet alleen verhoging maar ook versteviging van de dijken vraagt waar extra kosten voor moeten worden gemaakt.



Figuur 2.3. Zeespiegelstijging scenario's en benodigde aanpassingen aan de dijkhoogte. We kijken naar een periode van 100 jaar van 2021 t/m 2121. De blauwe lijn geeft de verandering die verwacht wordt voor verschillende scenario's. De grijze lijn laat de aanpassing in dijkhoogte zien die nodig is om zeespiegelstijging het hoofd te bieden. De basis scenario's waarmee is gerekend zijn afkomstig uit het deltaprogramma. Daarnaast zijn twee scenario's weergegeven voor versnelde zeespiegelstijging. Pas rond 2050 wordt duidelijker in welk van deze scenario's we daadwerkelijk zitten. De dijkhoogte neemt door de tijd heen af als gevolg van de bodemdaling. Deze vier scenario's gebruiken we in dit hoofdstuk voor het vergelijken van verschillende kustbeschermingsopties.

Ecosysteem-gebaseerde kustverdediging – Building with Nature

Veelal worden nieuwe ecosysteem-gebaseerde oplossingen (Building with Nature) naar voren geschoven als een kostenbesparend alternatief (Borsje et al., 2010; Bouma et al., 2014; Temmerman et al., 2013). Recente bevindingen ondersteunen de meerwaarde van ecosysteem-gebaseerde waterkeringen. Met name begroeide voorlanden als onderdeel van een primaire kering in de vorm van schorren en kwelders kunnen een belangrijke bijdrage aan de betrouwbaarheid van de waterkering leveren (Vuik et al., 2019; Willemsen et al., 2020; Zhu et al., 2020). Vegetatie houdt zand en slib vast waardoor de waterdiepte voor de dijk afneemt en minder golfenergie de dijk bereikt (Willemsen et al., 2020). Daarnaast remt de vegetatie golven verder af door de wrijving die de structuur van de planten met het water veroorzaakt (Möller et al., 2015) al is dit proces vooral van belang voor het opbouwen van de schorbodem (en

daarmee afname van de waterdiepte) en minder van belang tijdens maatgevende condities (Möller et al., 2015, Vuik et al., 2019). Schorren zorgen er daardoor voor dat dijken minder hoog hoeven te zijn omdat de golfoploop, en daarmee de kans op overslag, significant minder is wanneer er een schor voor de dijk ligt (Fig.1.1). Daarnaast kunnen schorren door natuurlijke processen zand en slib blijven invangen -mits deze ruimschoots in de waterkolom aanwezig is- en daardoor meebewegen met een veranderende zeespiegel. De waterdiepte voor de dijk blijft daardoor gelijk en de golfenergie die de dijk bereikt blijft ook gelijk (Borsje et al., 2010; Willemsen et al., 2020). Onderhoud en aanpassingen als gevolg van zeespiegelstijging van deze dijken zijn daardoor goedkoper, er is immers minder ophoging van de dijk vanwege golfoploop (factor 1 tot 1,2 afhankelijk van de situatie). Tevens wordt er op hetzelfde moment een verbetering van de natuurwaarden van het landschap verkregen.

Om de kustbeschermingswaarde van de natuur te benutten, moeten schorren en kwelders als begroeide voorlanden idealiter aan de zeekant van de dijk worden behouden of ontwikkeld. Echter, deze voorlanden zijn niet altijd stabiel en kunnen zich naar de dijk toe terugtrekken als gevolg van stroming en blootstelling aan golven, zelfs wanneer ze verticaal aangroeien (Bouma et al., 2014; van de Koppel et al., 2005). Zeespiegelstijging in combinatie met verminderde sedimentaanvoer kan de laterale erosie verder versterken. Bovendien zijn de fysieke omstandigheden voor de dijk vaak niet gunstig om schorren te laten ontwikkelen. Echter, recente bevindingen verruimen de reikwijdte van ecosysteem-gebaseerde waterkeringen. Begroeide voorlanden voor een dijk dempen namelijk niet alleen golven, maar beperken ook de instroom van zeewater flink in het geval de dijk toch mocht falen tijdens een stormvloed (Zhu et al., 2020). Hierdoor blijft de schade aan het achterliggende land aanzienlijk beperkt. Het doorstroomgat (bres) blijft in omvang beperkt, waardoor herstel makkelijker en goedkoper is uit te voeren. Daarnaast zal ook het verwachte aantal slachtoffers flink afnemen omdat er meer tijd is voor evacuatie (Zhu et al., 2020).

Dubbele dijken als Nature Based Solution

Zelfs in situaties waarin schorren voor de dijk niet stabiel kunnen blijven bestaan of worden aangelegd, kunnen we de kustveiligheid vergroten door tussen twee dijken schorren te laten ontstaan (Fig.1.2). Dit vereist dat er een tweede, meer landwaartse dijk aanwezig is (bv. een bestaande slaperdijk) en dat de meer zeewaartse primaire dijk wordt geopend om getijdenwerking in het gebied tussen de dijken toe te laten. Dat kan met een bres waardoor getijdewater ongecontroleerd in en uit kan stromen of met een afsluitbaar doorlaatmiddel (bv. getijdenduiker). Verticale bodemopbouw door sedimentafzetting tussen de eerste en tweede dijken wordt dan mogelijk gemaakt en vervolgens zal hier een schor kunnen ontstaan. Op deze wijze ontstaat een waterkerend landschap waarbij het hele gebied van eerste tot en met tweede dijk als primaire waterkering gaat fungeren. Dit dubbele dijken concept lijkt op de inlagen waarbij landinwaarts een dijk werd aangelegd met de klei tussen de twee dijken om bij dijkval van de eerste dijk beschermd te blijven. Belangrijk verschil is dat bij dubbele dijken tussen de dijken bodemophoging plaatsvindt wat voor een stabiel en robuust waterkerend landschap zorgt.

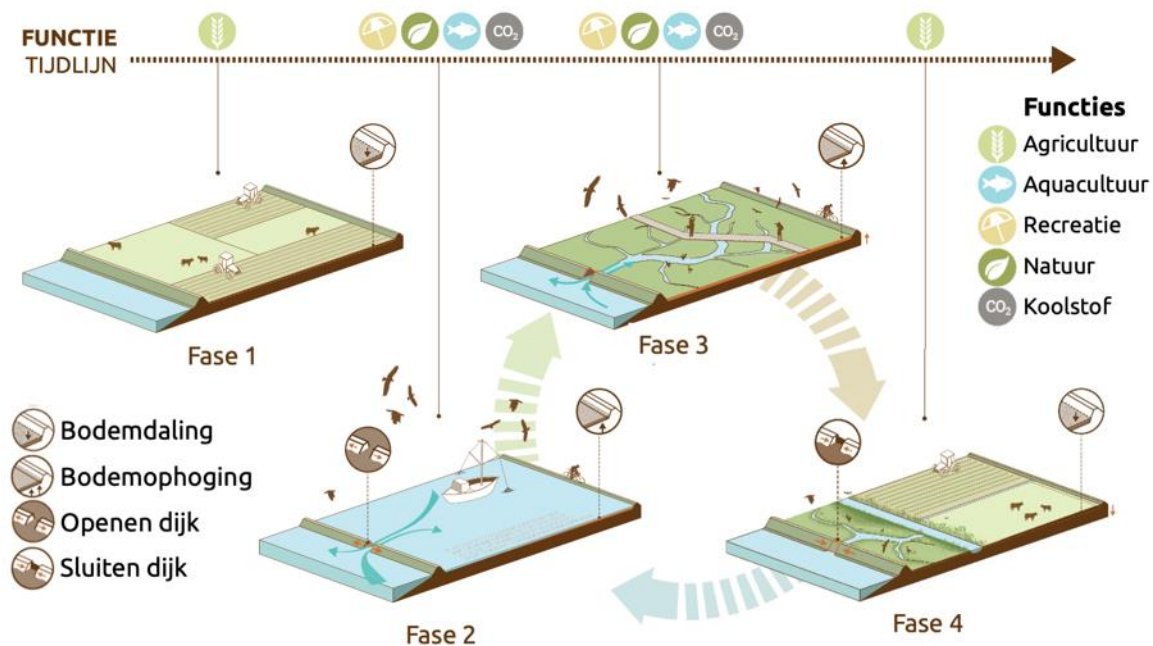
2.2. Dubbele dijken met wisselpolder: Van concept naar implementatie

Een van de belangrijkste redenen waarom een waterkerend landschap met een dubbele dijken systeem langs de kust (Fig.1.2, Fig.2.4) zo'n robuuste oplossing biedt tegen toekomstige zeespiegelstijging, is dat het de problematiek gerelateerd aan de lage ligging van polders, en de doorgaande bodemdaling (zowel absolute als relatief t.o.v. de zeespiegel) deels oplost. Het is evident dat dubbele dijken niet overal aangelegd kunnen worden. In stedelijke en industriële gebieden zal door gebrek aan ruimte een technologische aanpak voor het verhogen en versterken van waterkeringen nodig blijven. Dubbele dijken zijn dus alleen wenselijk, daar waar er voldoende ruimte is, direct naast de huidige primaire waterkeringen. Bodemophoging kan in dergelijke polders plaatsvinden door het herstel van de natuurlijke bodem ophogende processen. Hierdoor ontstaat een breed waterkerend landschap waarvan de kans op een dijkdoorbraak, de zgn. faalkansen, hetzelfde zal zijn als voor een conventionele zeedijk, want de faalkans is wettelijk vastgelegd. Echter, de schade zal veel lager zijn in het geval dat de waterkering toch faalt, doordat door de bodemophoging tussen de dubbele dijken minder water de polder in zal stromen; een gunstig effect dat steeds groter wordt naarmate de zeespiegel verder stijgt (Zhu et al., 2020). Daarbij kan het gebied tussen de dijken, de zgn. wisselpolder, voor economisch interessante nieuwe gebruiksfuncties worden benut. Denk aan nieuwe vormen van voedselproductie op basis van aquacultuur maar ook natuurontwikkeling en daaraan gekoppelde natuurrecreatie (Fig.2.4).

Verschuiving van ontwerp- en veiligheidseisen over de tijd vanaf implementatie

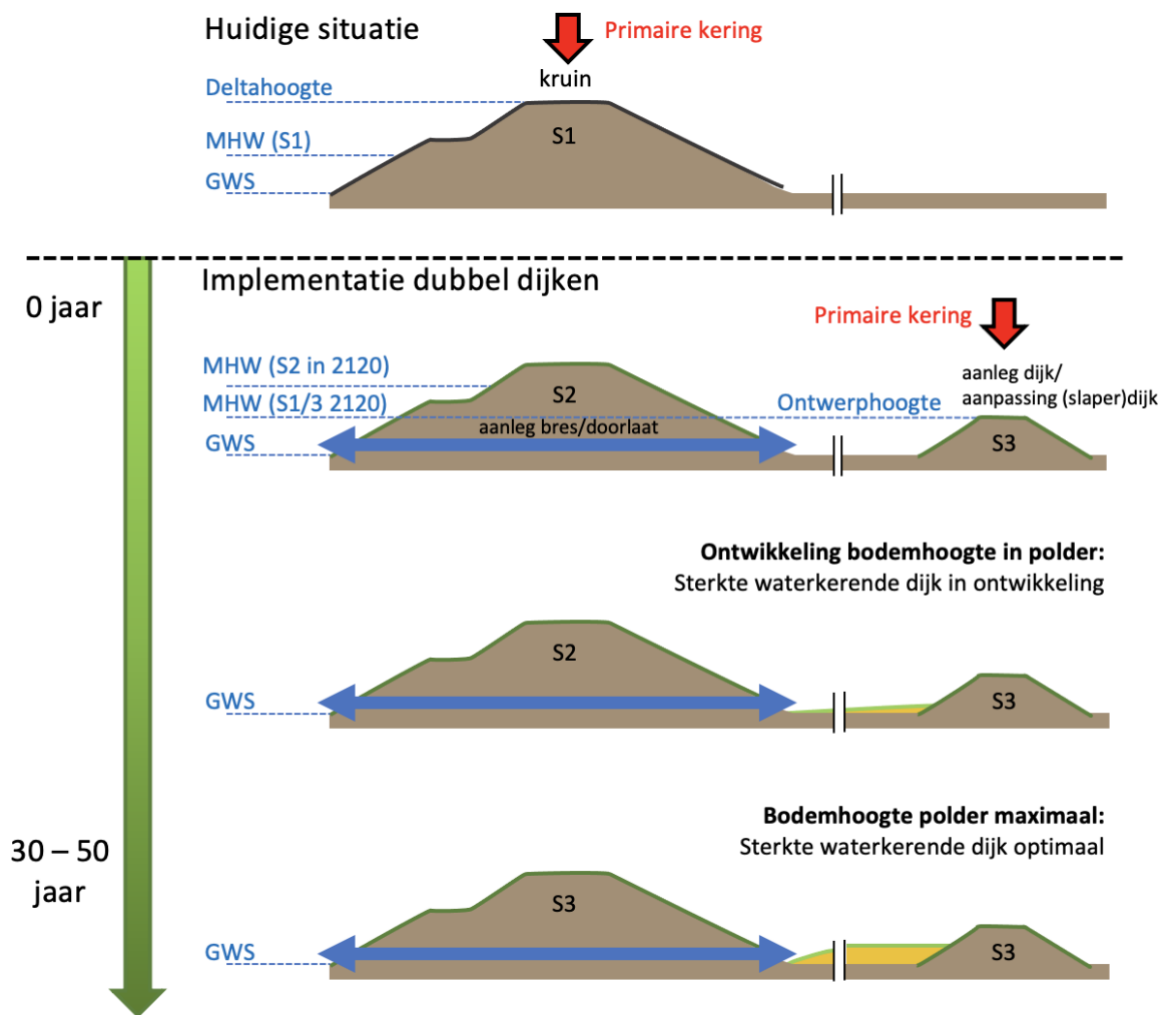
Bij het implementeren van de dubbele dijken willen we zoveel mogelijk gebruik maken van de huidige cultuurhistorische landschappelijke inrichting van bestaande polders. Daarmee bedoelen we dat we de benodigde landwaartse dijk zoveel mogelijk willen aanleggen door het opwaarderen van slaperdijken; dijken die vroeger een waterkerende functie hadden, maar nu zonder zo'n waterkerende functie in het landschap zijn achtergebleven. Op deze manier wordt zoveel mogelijk recht gedaan aan het cultuurhistorische karakter van het landschap, en worden ook kosten bespaard omdat niet alle dijken volledig nieuw gebouwd hoeven te worden. Nieuwe dijken worden alleen aangelegd wanneer een slaperdijk te ver weg ligt van de huidige zeedijk, en het poldergebied tussen de dubbele dijken anders te breed zou worden. Het poldergebied tussen de twee dijken duiden we in de rest van dit rapport aan als wisselpolder, omdat het gebruik en de functie over de tijd wisselen (Fig.2.4).

Om de dubbele dijk te maken zal achter (landwaarts van) de huidige primaire dijk dus een reeds aanwezige slaperdijk weer in gebruik moeten worden genomen of een nieuwe dijk aangelegd moeten worden. Dit kan door de beschutte ligging een groene dijk zijn (Fig.2.5), en deze zal vanaf het moment van aanleg de waterkerende functie overnemen. Door de ontwikkeling van een hooggelegen voorland tussen de twee dijken, zal de groene dijk in de tijd steeds robuuster worden. Al vanaf het moment van aanleg (/in gebruik name) van de landwaarts gelegen groene dijk, kunnen de stringente eisen die gelden voor de zeewaarts gelegen dijk worden versoepeld. Immers, zodra de polder tussen de 2 dijken door een bres of doorlaatmiddel met het estuarium is verbonden, is overslag van de zeewaartse dijk van minder belang, omdat er aan de andere kant van de dijk ook al hoog water staat.

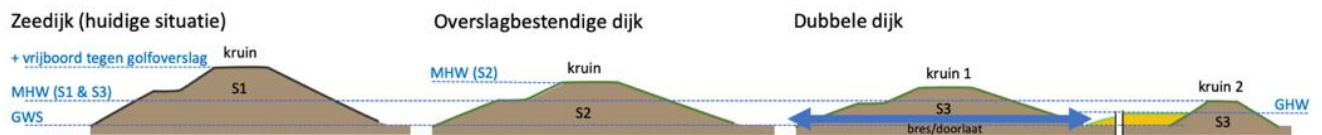


Figuur 2.4. Dubbele dijken en de ontwikkeling van de bodem, functies en baten in de tijd. Bij het huidige gebruik van de polder voor agricultuur (fase 1), daalt de bodem gestaag terwijl de zeespiegel stijgt. De zeewaartse dijk verzorgt de veiligheid, terwijl de landwaarts gelegen dijk een slaperdijk is; een historisch overblijfsel zonder waterkerende functie. Door de landwaarts gelegen slaperdijk (indien nodig) op te hogen en te versterken, en daarna de zeewaartse dijk van een doorlaat te voorzien, ontstaat er een wisselpolder waar bodemophoging plaatsvindt (fase 2). De landwaartse dijk is nu de waterkerende dijk; de zeewaartse dijk fungeert als golfbreker; samen verzorgen ze onze veiligheid (voor gedetailleerde uitleg zie sectie 2.2.1). Deze wisselpolder kan deels eerst worden gebruikt voor aquacultuur (fase 2), en naarmate de bodem verder ophoogt voor zilte teelt (fase 3) en deels een natuurfunctie krijgen wat weer recreatie en toerisme kan stimuleren. Als de bodem maximaal is opgeslibd en bijna nooit meer overstroomd, kan de zeewaartse dijk gesloten worden om de wisselpolder weer te gebruiken voor agricultuur en deels natuur (fase 4).

De zeewaartse dijk van de dubbele dijk is de huidige zeedijk en is momenteel (voor de aanleg van de wisselpolder) dus de primaire kering (Fig.2.5, zie ook toelichting bij de figuur). Hiervoor gelden strenge eisen. Zo is de **huidige hoogte van de kruin van deze dijk bepaald door** de aan het dijktraject heersende maatgevende waterstand: dat is de ontwerphoogte plus de hoogte die nodig is om golfoploop te weerstaan. De **ontwerphoogte** wordt bepaald door de maximale faalkans die wettelijk is vastgesteld voor het betreffende dijktraject (b.v. 1:3,000, of 1:10,000). Daar bovenop komt een extra hoogte (het zgn. **vrijboord**) om overslag door golfoploop te voorkomen (er is nl. een zeer beperkt golfoverslag debiet toelaatbaar). De ontwerphoogte is afhankelijk van de plaats waar de dijk langs het estuarium ligt en is in de Westerschelde vaak tussen de 5.5 en 6 m NAP. Het vrijboord ter voorkoming van golfoverslag is vervolgens nog eens 3 tot 4 m, afhankelijk van de maatgevende golfhoogte, de steilheid van het buitentalud en de eigenschappen van een eventueel aanwezig (on)begroeid voorland. Samen komt de kruin van de zeedijk dus al snel op 9.5 tot 10 m NAP.



Figuur 2.5. De ontwikkeling van de dijkfuncties van de dubbele dijk en daarbij behorende aspecten van de waterveiligheidseisen in de tijd. Vanaf het moment dat de landwaartse groene dijk (DD_L) wordt aangelegd, is dit de primaire waterkering (rode pijl) en heeft als hoogte dus MHW_{S1} (zie uitleg Fig.2.6). De zeewaartse dijk (DD_z) fungeert op dat moment in essentie als golfbreker, doordat er water tussen de beide dijken staat. Golfoverslag heeft bovendien ook niet zo'n groot effect: omdat het water aan het binnentalud van de dijk maar een klein stuk naar beneden kan stromen, wordt de kans op dijkerosie sterk gereduceerd (Fig.2.7). Omdat de initiële hoogte van de zeewaartse dijk (DD_z) gelijk is aan die van de oorspronkelijke conventionele dijk ($MHW_{S1} + VBG_{S1}$), is de hoogte van DD_z al hoger dan die van de overslag bestendige dijk die het wordt (MHW_{S2}) (zie ook uitleg in Fig.2.6 en 2.7). De landwaartse groene dijk (DD_L) moet dus vanaf het begin af aan sterk genoeg zijn om water te keren, ook al is de wisselpolder tussen de dijken op dat moment nog niet opgeslibd. Wanneer de bodem van de polder op hoogte is (laatste situatie na 30-50 jaar) is de landwaartse groene dijk (DD_L) op maximale sterkte door de aanwezigheid van het voorland. Op dat moment kunnen de eisen voor de zeewaartse dijk (DD_z) nog verder losgelaten worden (zie ook uitleg in Fig.2.6). Dit is ook het moment waarop gekozen kan worden om de wisselpolder weer in gebruik te nemen voor zoetwater gebonden landbouw. De gebruikte afkortingen staan voor: GWS: Gemiddelde Waterstand; GHW: Gemiddeld Hoog Water; MHW: Maatgevend Hoog Water.



Figuur 2.6. Vergelijking tussen ontwerpeisen voor de kruinhoogte van verschillende dijktypen, waarbij we uitsluitend focussen op het faalmechanisme overstroming (waterkerende functie). De dijkhoogte eisen van de **conventionele zeedijk** (CD; gebruikt in scenario S1) zijn stringenter dan voor de **overslagbestendige dijk** (OD; gebruikt in scenario S2) en de **dubbele dijk** (DD; gebruikt in scenario S3) bestaande uit een **zeewaartse dijk** (DD_z) en een landwaartse groene dijk (DD_L). De eisen voor de **kruinhoogte van een conventionele zeedijk** komt tot stand als de optelsom van de maatgevende waterstand (MHW_{S1}) met daarbovenop een vrijboord die overslag door golfoploop voorkomt (VBG_{S1}). Een maatgevende waterstand is de maximale waterhoogte die een dijk moet kunnen weerstaan, en waarvan we weten dat die maar heel af en toe voorkomt. Dat kan bijvoorbeeld eens in de paar duizend jaar zijn. Hoe vaak zo'n waterstand mag voorkomen is o.a. afhankelijk van het landgebruik achter het dijktraject: hoe dicht bevolkt en economisch belangrijker een gebied is, hoe hoger de maatgevende waterstand, en hoe minder vaak zo'n waterhoogte voorkomt. De maatgevende waterstand voor de **kruinhoogte van een overslagbestendige dijk** (MHW_{S2}) is 100 maal strenger dan die van een conventionele zeedijk, maar is als dijk in totaal toch lager dan de kruinhoogte van een conventionele zeedijk (MHW_{S1} + VBG_{S1}). Een 100x strengere maatgevende waterstand wil zeggen dat die waterstand 100x minder frequent mag voorkomen, en dus iets hoger is dan bij een conventionele zeedijk. Dit is zo gekozen omdat dit dijk type geen extra hoogte heeft ter voorkoming van golfoverslag (VBG_{S2} = 0). Wel kunnen er op specifieke dijktrajecten eventueel aanvullende voorwaarden gesteld worden aan het volume water dat over de dijk mag komen. Hierdoor wordt de hoogte van de dijk kruin dan toch hoger dan MHW_{S2}, maar blijft lager dan de hoogte van een conventionele dijk (MHW_{S1} + VBG_{S1}). Bij de aanleg van een **dubbele dijk**, staat de polder tussen de twee dijken in verbinding met het estuarium. Hierdoor functioneert de zeewaartse dijk (DD_z) op dat moment in essentie als een golfbreker. De landwaartse dijk (DD_L) heeft op dat moment de waterkerende functie. De **kruinhoogte van de landwaartse groene dijk in een dubbele dijk systeem (DD_L)** is gelijk aan de maatgevende waterstand van een conventionele dijk zonder golfoploop voorziening: MHW_{S3} = MHW_{S1}. Dit is zo omdat de landwaartse dijk (DD_L) een verwaarloosbare golfbelasting ondergaat, door de golf brekende werking van de zeewaartse dijk (DD_z), en het ondiepe voorland in de wisselpolder. Over de tijd moet alleen de kruin van de landwaartse dijk op hoogte gehouden worden om de waterkerende functie te blijven vervullen. De **kruinhoogte van de zeewaartse dijk in een dubbele dijk systeem (DD_z)** is initieel idealiter gelijk aan die van een overslagbestendige dijk (MHW_{S2}). Zolang de polder tussen de twee dijken in verbinding staat met het estuarium, fungeert de zeewaartse dijk namelijk alleen als een golfbreker. Op het moment dat de polder tussen de twee dijken weer is afgesloten van het estuarium, fungeert de zeewaartse dijk als een overslagbestendige dijk, maar zonder dat deze een primaire waterkerende functie heeft; dat blijft namelijk de landwaartse dijk (DD_L). Omdat de buitenste dijk (DD_z) oorspronkelijk de primaire waterkering was met als hoogte MHW_{S1} + VBG_{S1}, zal deze dijk voor een langere periode hoger zijn als MHW_{S2}. Als door zeespiegelstijging in de verre toekomst dit niet meer het geval zou zijn, dan is dat ook geen groot probleem, omdat het niet de waterkerende dijk is. Het betekent alleen dat de wisselpolder vaker zoutwater zal zien dan de 1 x in de 3000 of 1 x in de 10,000 jaar, cf de maximale faalkans die we gebruiken om de dijkhoogte van de waterkerende dijk (hier DD_L) te bepalen. De gebruikte afkortingen staan voor: GWS: Gemiddelde Waterstand; GHW: Gemiddeld Hoog Water; MHW: Maatgevend Hoog Water; VBG: Vrijboord Golfoploop.

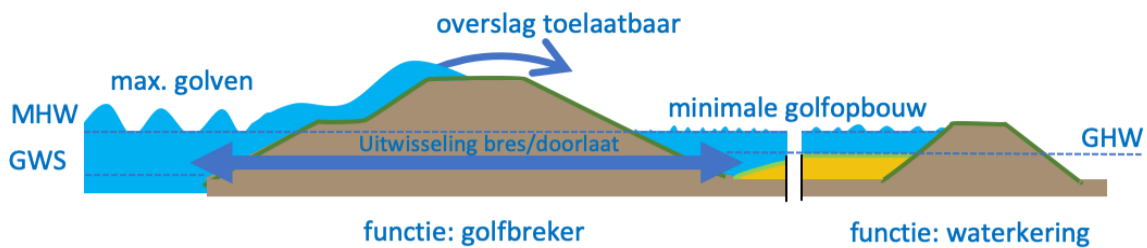
De eisen aan de kruinhoogte van verschillende dijk types, gaande van een **conventionele zeedijk** (CD; gebruikt in scenario S1) naar een **overslagbestendige dijk** (OD; gebruikt in scenario S2) en een **dubbele dijk** (DD; gebruikt in scenario S3) bestaande uit een **zeewaartse dijk** (DD_z) en een **landwaartse groene dijk** (DD_L), worden in detail uitgelegd in de legenda van figuur 2.6. Figuur 2.5 toont hoe dubbele dijken als veiligheidsconcept in de tijd evolueert en in figuur 2.7 is de werking van de dubbele dijk tijdens maatgevende condities geïllustreerd. De essentie is dat de hoogte van een waterkerende landwaartse groene dijk in een dubbele dijk systeem (DD_L) lager kan zijn dan die van een waterkerende conventionele zeedijk, en dat de hoogte van een zeewaartse dijk in een dubbele dijk systeem (DD_z) lager kan zijn dan die van een waterkerende overslagbestendige dijk, mits het systeem kan opslibben met zeespiegelstijging, en de afstand tussen beide dijken goed gekozen wordt.

Om tot een optimaal dubbele dijken systeem te komen, is het nodig om minimale (± 200 m) en maximale (± 2000 m) afstanden tussen de zeewaarts en landwaarts gelegen dijk aan te houden. Deze praktische ontwerpcriteria zijn ingegeven door afwegingen met betrekking tot de veiligheid, de kosten en het gegeven dat er een grens is aan hoe breed een wisselpolder kan zijn om deze snel te laten opslibben. De **minimale afstand** komt voort vanuit de praktische overweging dat wanneer de twee dijken te dicht op elkaar komen te liggen, het gebied niet of slechts beperkt de functies van een breed opgeslibd gebied en de daarbij behorende baten (Fig.2.4) kan gaan benutten. Ook zal bij nodige extra aanpassingen van de dijken bv. ten gevolge van versnelde zeespiegelstijging de ruimte te beperkt zijn en de grootte van de wisselpolder verder inperken. De **maximale afstand** is ingegeven door een aantal praktische overwegingen. Allereerst zorgt een te brede polder dat er in de polder tussen de dijken weer golfopbouw kan plaatsvinden, ook al blijven die golven relatief klein door limitatie als gevolg van de waterdiepte. Dus een nauwe polder zorgt ervoor dat de groene dijk geen golfoploop hoeft te kunnen weerstaan, wat de kosten voor aanleg en onderhoud drukt. Berekeningen aan golfopbouw geven aan dat wanneer de strijklengte (fetch) kort genoeg blijft, de golfopbouw gelimiteerd is en een standaard vrijboord van 0,5 m afdoende is. De tweede limitatie aan de breedte van een wisselpolder is de efficiëntie van de opslibbing. Naarmate de polder breder wordt, is er meer slib nodig om de wisselpolder te vullen wat bij een te brede polder complicaties met zich mee kan brengen. Door een ruime marge te nemen voor de minimale en maximale afstand tussen de twee dijken, kan de landschappelijke inrichting beter bewaard blijven en kostenefficiënter uitgewerkt worden.

Baten uit nieuwe gebruiksfuncties en ecosysteem diensten

In tegenstelling tot de conventionele verhoging en verstevigingen van dijken (ook in het geval van de overslagbestendige dijk) wordt in de situatie van de dubbele dijken het polderlandschap initieel getransformeerd tot intergetijdengebied waardoor nieuwe afwisselende economische activiteiten en natuurontwikkeling mogelijk worden (Fig. 2.4). De dubbele dijk is het enige dijktype waar bodemophoging -waar het allemaal om te doen is- weer tot stand gebracht wordt. Maar de gecreëerde intergetijdengebieden kunnen daarnaast ook worden gebruikt voor andere vormen van voedselproductie, n.l. aquacultuur en zilte teelt. We verwijzen hier naar ‘natte’ aquacultuur voor het gebied ($> 30\%$ overstromingsduur) waar b.v. schelpdieren en wormen kunnen worden gekweekt en ‘droge’ aquacultuur voor de hogere, minder overstroomde gebieden ($<30\%$ overstromingsduur), die kan worden gebruikt voor de productie van zoute gewassen, zoals zeekraal (*Salicornia sp.*) en aster (*Aster tripolium*, verkocht onder de naam ‘lamsoor’). Deze worden veelal aangeduid als zilte teelt. Veelal zijn de oppervlakte gemiddelde opbrengsten voor deze producten hoger dan die van de huidige agricultuur (zie hfst.3). Door

middel van het verpachten van de wisselpolders voor deze voedselproductie activiteiten kunnen grondbezitters gemaakte investeringen dus terugverdienen.

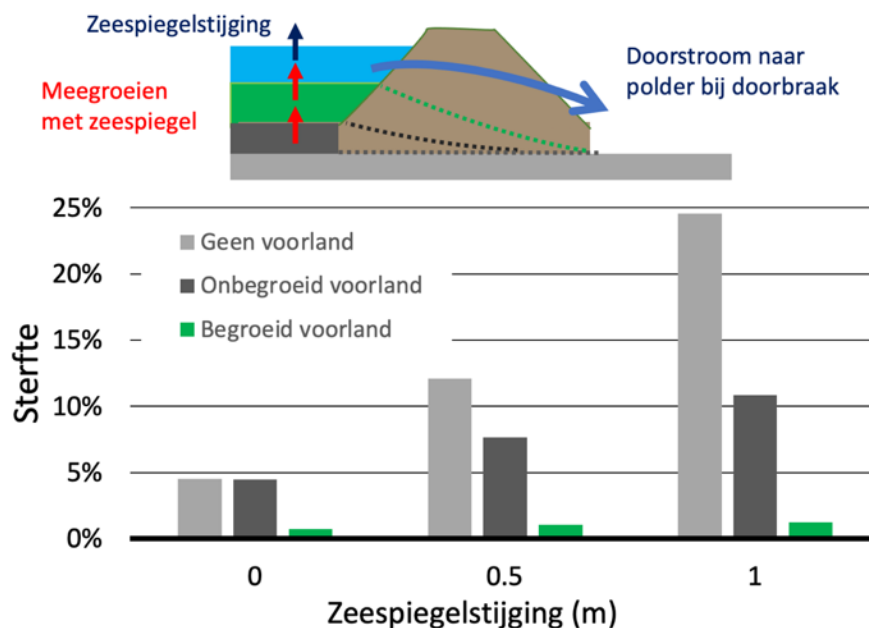


Figuur 2.7. Uitleg van de waterveiligheidsfunctie van beide dijken zoals aanwezig in dubbele dijken met wisselpolder. We tonen de situatie tijdens maatgevende condities waarbij de polder tussen de twee dijken in verbinding staat met het estuarium, en de opgeslibde wisselpolder hoog genoeg is om weer in gebruik genomen te worden als landbouwgebied. De polder tussen de twee dijken staat initieel in verbinding met het estuarium, middels een bres of doorlaatmiddel. Hierdoor hoeft de zeewaartse dijk geen waterkerende functie te vervullen; de landwaartse dijk vervuld de waterkerende functie. In de tussenliggende wisselpolder zal golfopbouw beperkt zijn waardoor die landwaartse dijk geen extra hoogte nodig heeft om golfoverslag te voorkomen. Maar de hoogte van de landwaartse dijk moet wel op pijl gehouden worden om te compenseren voor zeespiegelstijging. Dit is niet het geval voor de zeewaartse dijk, aangezien die alleen als golfbreker functioneert. Op dat moment gaat de zeewaartse dijk als overslagbestendige dijk functioneren. De overslag frequentie mag relatief hoog zijn, omdat de binnenste (landwaartse) dijk de waterkerende functie behoud. Met relatief hoog bedoelen we bijvoorbeeld eens in de 100 à 200 jaar, wat nog steeds niet vaak is, maar wel veel frequenter dan de wettelijk vastgestelde faalkans van het dijkenstelsel als geheel – tussen de 1:3,000, of 1:10,000. De golven zijn niet op schaal, maar slechts ter illustratie van de verschillen in golfblootstelling en potentie voor golfoploop. De gebruikte afkorting staan voor: GWS: Gemiddelde Waterstand; GHW: Gemiddeld Hoog Water; MHW: Maatgevend Hoog Water.

Bovendien verrijken deze gebieden de intrinsieke natuurlijke waarde van het landschap. De ontwikkeling van areaal intergetijdennatuur in de wisselpolder kan een belangrijke bijdrage leveren aan het herstel van deze gebieden die zich momenteel, o.a. door zeespiegelstijging, in een negatieve trend bevinden (Balke et al., 2016; Schuerch et al., 2018). Slikken en schorren in de wisselpolders zijn een goede optie als rust- en fourageergebieden voor veel trek- en kustbroedvogels (Benoit & Askins, 2002; Ma et al., 2010). De recreatie- en toerismesector kan hiervan profiteren, zeker als ook de toegankelijkheid en beleefbaarheid voor recreatie wordt verbeterd (Boerema et al., 2018). In hoofdstuk 5 voeren we een uitgebreide eigen analyse uit op basis van de natuurrecreatie in de Zuidwestelijke delta om de effecten van de aanleg van dubbele dijken op recreatie in te schatten.

Naast de nieuwe voedselproductie en recreatieve functies worden er door de aanleg van dubbele dijken regulerende ecosysteemdiensten aan het landschap toegevoegd. Zo is de vastlegging van koolstof een functie die momenteel niet direct veel geld opbrengt maar wel belangrijk is met het oog op klimaatmitigatie. Intergetijdengebieden, zowel onbegroeide slikken (of wadden) en begroeide schorren (of kwelders) leggen in vergelijking tot landbouwgrond meer koolstof vast dan dat ze uitstoten (Boerema et al., 2018; van Belzen et al., 2020). Gemiddeld genomen leggen schorren zelfs een vergelijkbare hoeveelheid koolstof vast per hectare als een gemiddeld Nederlands bos (Hoefslot et al., 2020; Tennis & Didden,

2018). Schorren spelen een vergelijkbare belangrijke rol in de verwijdering van stikstof door denitrificatie en vastlegging in de bodem waardoor de waterkwaliteit van het estuarium verbetert. Ook het vastleggen van sediment uit de waterkolom heeft positieve effecten op de primaire productie in het estuarium. Daar komt bovenop dat het opslibben van de polder met zeeklei er verder voor zorgt dat de bodemkwaliteit van de wisselpolder verbetert en (weer) geschikt wordt voor hoogwaardige zoetwater gebonden landbouw. In het kader van dit rapport voeren we geen uitvoerige analyse van de effecten op de kwaliteit van water en bodem uit, maar zie Boerem et al. (2018) welke een redelijke indicatie voor de potentie van deze ecosysteemdiensten geeft. Het doorrekenen van aanvullende baten als gevolg van vastlegging van koolstof en verwijdering van stikstof, fosfor en sediment uit de waterkolom kan in vervolgonderzoek verder uitgewerkt worden.

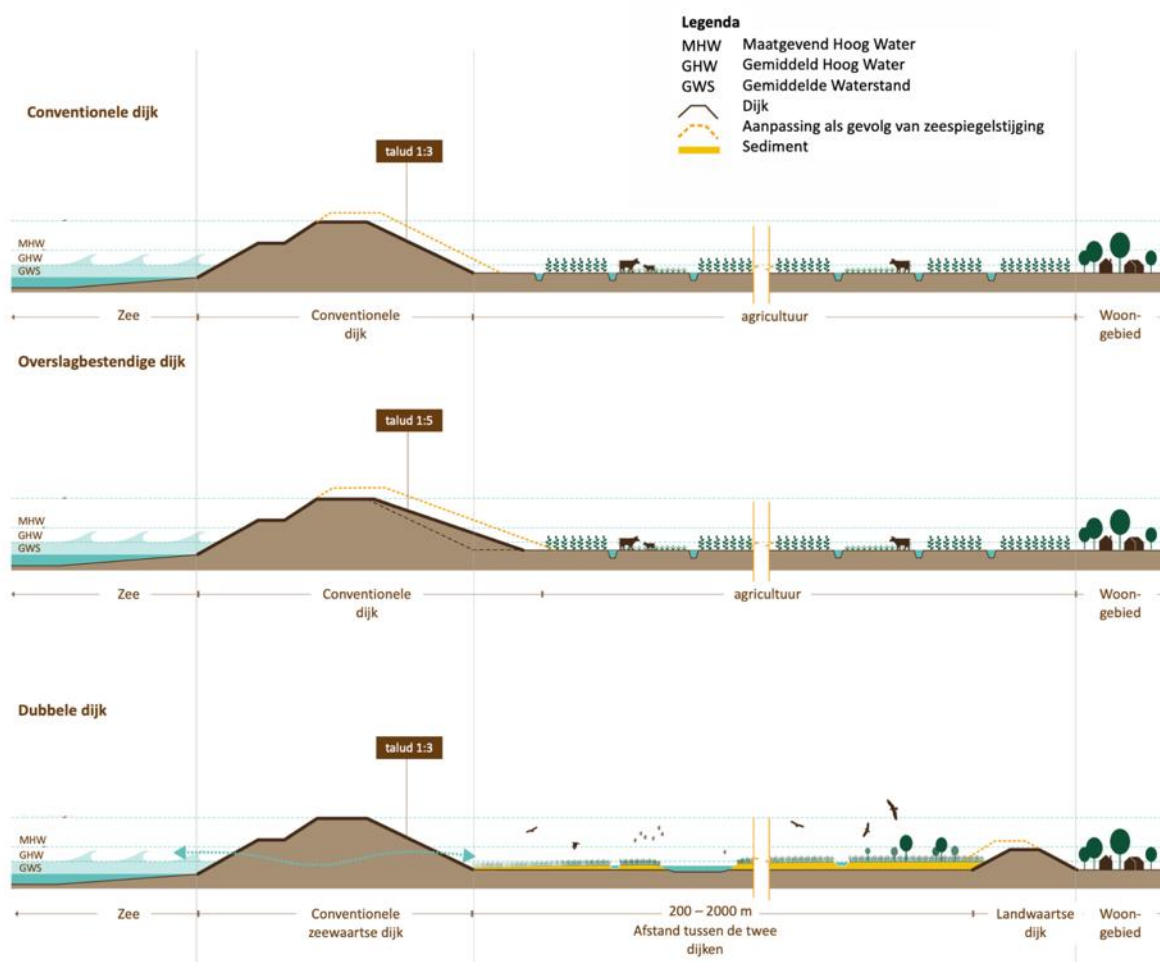


Figuur 2.7. De berekende sterfte als gevolg van een dijkdoorbraak in relatie tot de aanwezigheid van een (begroeid) voorland. De aan- of afwezigheid van een (begroeid) voorland bepaalt de grote van de doorstroomopening van het dijkgat en daarmee de het debiet dat de polder in stroomt. In het geval van een begroeid voorland kan het voorland het beste meebewegen met een toenemende zeespiegel en blijft de sterfte beperkt. Hier is de situatie berekend voor een doorstroomopening van 200 m breed (aangepast naar Zhu et al., 2020).

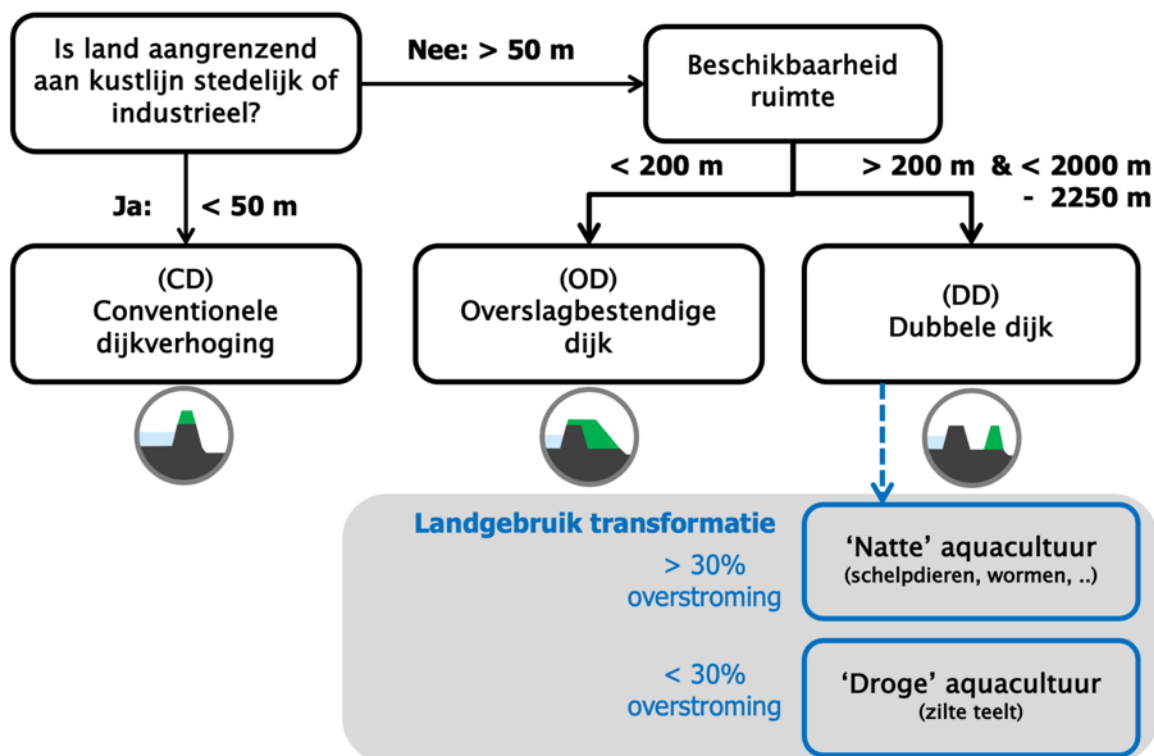
Een belangrijk aspect van de dubbele dijk met wisselpolder is het met de zeespiegelstijging meebewegend voorland omdat dat naast een beperking van het faalmechanisme de gevolgschade bij een dijkdoorbraak aanzienlijk beperkt (Zhu et al, 2020; Fig.2.7). In de studie van Zhu en collega's (2020) wordt de fatality rate (sterfte) als proxy voor de mate waarin de gevolgschade verwacht kan worden inzichtelijk gemaakt. Sterker nog, ze laten in deze studie zien dat juist wanneer de zeespiegel sterker stijgt de regulerende functie van begroeide voorlanden steeds belangrijker wordt en grotendeels op hetzelfde niveau blijft (Fig.2.7). Dit in tegenstelling tot de situatie waarin er helemaal geen voorland is. De kans op gevolgschade neemt dan juist sterk toe bij hogere zeespiegelstijging. In het geval van een opslibbend maar nog onbegroeid voorland neemt de gevolgschade ook toe met zeespiegelstijging, maar minder sterk. Dit suggereert dat de dubbele dijk in elke fase van ontwikkeling door de bodemophoging in meer of mindere mate een waterkerende en -regulerende functie vervult.

3. De Westerschelde als sedimentrijke casus

In dit hoofdstuk starten we met de nadere uitwerking van de grootschalige implementatie van dubbele dijken in de Westerschelde als een specifieke casus voor een sedimentrijk estuarium. Allereerst bepalen we waar dubbele dijken kunnen worden toegepast en waar alternatieve dijktypen nodig zijn langs de dijktrajecten van de Westerschelde. Vervolgens wordt de kosten-batenanalyse gepresenteerd van deze implementatie met dubbele dijken en vergelijken we deze met de kosten-batenanalyse van de conventionele aanpak ('business as usual') en een scenario waar overslagbestendige dijken als civiel technische oplossing worden gekozen. Als laatste bekijken we de tijdsschalen waarop de bodemophoging in de wisselpolders en de daaraan gekoppelde functies tot stand komen. Door de kansen voor dubbele dijken eerst in een specifiek en kansrijk estuarium door te rekenen kunnen we beter begrijpen waar de kosten, baten en effecten op economie vandaan komen. In het hierop volgende hoofdstuk gaan we dieper in op de Oosterschelde en Haringvliet waar minder sediment beschikbaar is.



Figuur 3.1. De verschillende dijktypen die in de kosten-batenanalyse en economische effectrapportage met elkaar worden vergeleken. Zie Fig. 2.6 voor uitgebreide uitleg van de verschillende dijktypen. Aanpassingen die nodig zijn om de dijktypen aan te passen als gevolg van zeespiegelstijging zijn aangegeven met stippellijnen.



Figuur 3.2. Beslisboom voor implementatie van de drie inrichtingsscenario's. Voor DD wordt de volledige beslisboom doorlopen. Voor OD komt altijd bij >50 een overslagbestendige dijk, de dubbele dijk vervalt. In scenario CD komt altijd een dijkverhoging en vervallen opties voor overslagbestendige dijk en de dubbele dijk.

3.1. Globale aanpak

Allereerst bepalen we waar langs de Westerschelde welke dijktypen (Fig.3.1) kunnen worden geïmplementeerd. Daarvoor passen we een beslisboom (Fig. 3.2) toe op basis van de ontwerpcriteria van de dubbele dijken en de andere meegenomen waterkeringen. Om de voor- en nadelen van een dubbele dijk met wisselpolder goed te begrijpen vergelijken we het totale kostenplaatje wanneer we dubbele dijken implementeren in een mix met andere dijktypes. Zoals reeds eerder aangegeven vergelijken we steeds drie dijktypes (Fig.2.6 en Fig.3.1):

- De conventionele dijk met dijkverhogingen (CD, 'business as usual')
- De overslagbestendige dijk (OD)
- De dubbel dijk met wisselpolder (DD)

Wanneer we de landschappelijke inrichting voor het dubbel dijken scenario bepalen kunnen alle dijktypen in een het landschap voorkomen. Dubbele dijken met wisselpolders, daar waar een polder is met voldoende ruimte; overslagbestendige dijken wanneer er te weinig ruimte is; en conventionele dijkverhogingen daar waar geen andere mogelijkheden zijn zoals langs stedelijk en industrieel gebied. Er ontstaat dus een mix van nature-based en harde engineering waterkeringen. Maar wanneer er gekozen kan worden voor een implementatie van het scenario dijkverhogingen ('business as usual') dan is slechts één type waterkering aanwezig in het scenario. Er wordt wel onderscheid gemaakt in kosten voor een ophoging in stedelijk gebied ten opzichte van landelijk gebied omdat een dijkverhoging langs bv. een polder goedkoper

uitgevoerd kan worden dan wanneer dit in de buurt van bebouwing gedaan wordt (Appendix 1).

Hieronder geven we een meer globale uitleg over deze drie dijktypen voor kustverdediging met hun specifieke ruimte- en ontwerpvereisten en hoe dit invloed heeft op de kosten en baten. In appendix 1 is een uitvoerige beschrijving te vinden van de rekenmethode gebruikt om de kosten en baten te berekenen.

Het eerste dijkttype is de conventionele dijk (Fig.3.1, of inrichtingsscenario CD) dat is de huidige situatie ('business as usual') waarbij dijken worden opgehoogd volgens de huidige normen, aangepast aan zeespiegelstijging die nodig is om de waterkeringen te laten voldoen aan de eisen. Hierbij wordt alleen gekeken naar de kosten van aanpassingen voor versterking en verhoging en onderhoud van de dijk die als primaire zeewering dient. We gaan ervan uit dat deze dijken aangepast kunnen worden binnen de huidige ruimtelijke setting en het landgebruik niet significant veranderen. Verder maken we onderscheid in kosten voor dijkverhoging in stedelijk en landelijk gebied, waarbij de kosten voor aanpassingen aan de zeeweringen in stedelijk gebied duurder zijn dan een zeedijk aan een polder (Tabel A.1).

Het tweede dijkttype (of inrichtingsscenario OD) dat we beschouwen is 'overslagbestendige dijken' (Fig.3.1). Dit type dijken is voorgesteld als een civieltechnisch alternatief voor het al maar hoger maken van dijken. Ze kunnen worden geïmplementeerd in plaats van de conventionele dijken, maar alleen waar voldoende ruimte is, omdat ze normaal gesproken breder zijn dan een conventionele dijk. Het binnentalud is 1:5, waar deze normaal 1:3 is. Dit dijkttype kan daarom alleen worden aangelegd als er voldoende ruimte (> 50 m) is tussen de zeewering en aangrenzende stads- of industriegebieden (en andere niet landelijke gebruiksfuncties). Bij de aanleg van deze dijken is achter de dijk wat extra ruimte nodig, waarmee in de kostenraming rekening wordt gehouden. Het voordeel van overslagbestendige dijken is dat ze minder hoog zijn en minder onderhoud vergen dan conventionele zeeweringen, waardoor ze goedkoper aan te leggen en te onderhouden zijn (Appendix 1). Omdat (enige) overslag van de dijk geaccepteerd wordt, is geen extra hoogte boven de ontwerphoogte nodig. Daarentegen moet de ontwerphoogte van de dijk in dit geval voldoen aan een 100 keer strengere faalkans (dus bv. $1/300.000$ of $1/1.000.000$). Bovendien zal, doordat golven af en toe over de dijk kunnen slaan, het gebied achter de waterkering het overgeslagen volume zeewater kunnen verwerken. Hoewel de volumes relatief klein zijn, heeft dit effecten op de polder (Silva & van Velzen, 2008; van Loon-Steensma & Schelfhout, 2017a,b), maar omdat de kans op dergelijke gebeurtenissen klein is, wordt deze in dit scenario acceptabel geacht. Wel kan er door de golfoverslag schade ontstaan. Zo zal als gevolg van verzilting tijdelijk verminderde opbrengst van landbouwgewassen ontstaan. Deze schade is echter lastig in te schatten en daarom niet meegenomen in de kosten.

Voor het inrichtingsscenario van de dubbele dijken (DD) zijn we uitgegaan van een mix van waterkerende dijken (Fig.3.1). Hier wordt naast een tweede dijk een tussenliggende polder die grenst aan het estuarium betrokken en opnieuw verbonden met de getijden, waardoor getijdennatuur zich kan ontwikkelen tussen de twee dijken. In de kosten-batenanalyse gaan we er dus vanuit dat al het land en de dijken die nodig zijn om de dubbele dijken aan te leggen worden verworven. In onze aanpak gebruiken we wel zoveel mogelijk de structuur van de huidige dijken en polders om deze ecosysteem-gebaseerde kustverdediging te verbinden met de historische context van het landschap. Dit bespaart kosten omdat er weinig volledig nieuwe dijken hoeven te worden aangelegd. De polders die wij beschouwen hebben vanaf de zeewaartse dijk landinwaarts en maximaal breedte rond de 2000 meter (Fig.3.2) om golfvorming binnen het gebied en limitatie van sedimentatie te voorkomen. Deze aanpak maakt

het mogelijk dat alleen de tweede dijk op de ontwerphoogte (+0,5 m vrijboord) hoeft te zijn, aangezien er geen hoogte nodig is om rekening te houden met golfoploop. Als de polder kleiner is dan 200 meter, beschouwen we ook de secundaire aangrenzende polder als onderdeel van de dubbele dijk om zo een voldoende breed waterkerend landschap te creëren. Dan wordt er dus een dijk verwijderd om de polders met elkaar te verbinden. Kosten voor het verwijderen van die dijk worden in de raming meegenomen. Bovendien dient de eerste dijk niet langer als primaire zeewering (Fig.2.5), waardoor onderhoud en aanpassing aanzienlijk kunnen worden verminderd tot het niveau van een overslagbestendige dijk en vervolgens een groene dijk als golfbreker (Fig.2.5), waardoor de bijbehorende kosten aanzienlijk worden verminderd (Appendix 1). Bij het implementeren op grote schaal zorgen we er verder voor dat dorpen niet worden omsloten door dubbele dijken, waardoor dergelijke dorpen juist kwetsbaarder worden en snel vollopen bij overslag of een dijkdoorbraak.

Een biogeomorfologisch model (Appendix 1) is gebruikt om de gevolgen van bodemdaling en bodemopbouw als gevolg van het herstel van bodemophogende processen op de kosten en baten mee te nemen. Veranderingen in landhoogtes en gerelateerde functionele veranderingen werden gemodelleerd over een tijdshorizon van 100 jaar, met een implementatieperiode van 40 jaar in het geval van de aanleg van dubbele dijken. Afhankelijk van de bodemhoogte en de daarmee samenhangende overstromingsduur wordt vervolgens bepaald welk type voedselproductie er kan plaatsvinden en hoeveel areaal er van elke type aanwezig is. Bij het bepalen van de mogelijkheden van voedselproductie wordt rekening gehouden met de saliniteit van het water (Appendix 1). Schelpdieren zoals oesters en mossels hebben een voorkeur voor zoute condities, terwijl zilte teelt en zeeduizendpoten minder gevoelig zijn voor de saliniteit en over een bredere range van zout naar brakwater gekweekt kunnen worden (De Mesel et al., 2013). Daarnaast zijn kosten in rekening gebracht voor het verlies aan landbouwgrond en de onroerende goederen op de aangewonnen grond. Om de effecten van het verlies aan landbouwproductie in te schatten geven we voor de Westerschelde de productiewaarde wanneer geen verlies optreedt door verzilting en tot 50% productieverlies als gevolg van verzilting (Appendix 1). We kunnen er vanuit gaan dat onder autonome ontwikkelingen er verlies aan productiewaarde optreedt en verwachten dat dit verlies binnen deze berekende range valt. Deze range is daarom tussen [] gerapporteerd.

3.2. De scenario's

Voor de kosten-batenanalyse en het bepalen van de economische effecten (hfst.5), maken we gebruik van de verschillende scenario's met betrekking tot de inrichting van de waterveiligheid, wisselpoldergebruik en zeespiegelstijging scenario's. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de verschillende scenario's en de gebruikte afkortingen. In alle gevallen rekenen we alle zeespiegelstijgingvarianten (ZS) door voor de verschillende kustlijn inrichtingen (OV, OD of DD). Daarnaast berekenen we implementatiesnelheden voor alle dubbele dijken scenario's (DDaqua, DDnatuur en DD5050) waarbij we uitgaan van een eerste 5 jaar voorbereiding en vervolgens de daadwerkelijk implementatie in de daaropvolgende 35 jaar (IMP40).

Type kustlijn inrichting

Zoals eerder aangegeven wordt het 'business as usual' scenario (CV) vergeleken met twee alternatieven: de overslagbestendige dijk (OD) en de dubbele dijk (DD). Deze twee varianten gaan ervan uit dat ze overal worden geïmplementeerd wanneer dit mogelijk is. Wanneer er stedelijk of industrieel gebied is en te weinig ruimte, dan wordt teruggevallen op de methode die het minste ruimtebeslag heeft (zie de beslisboom in Fig. 3.2). In het geval van de dubbele

dijken kan het land tussen de dijken gebruikt worden voor alternatieve manieren voor voedselproductie. Er vindt dus transformatie van landgebruik plaats van agri- naar aquacultuur. Hier kan een keuze gemaakt worden in het percentage dat gebruik wordt voor voedselproductie en wat natuur wordt. Bijvoorbeeld 25/75, 50/50, en 75/25 (DDaquacultuur, DD5050 en - DDlandschap).

Tabel 3.1. De onderzochte scenario's

Scenario #	Scenario typen & varianten		
	<i>Type kustlijn inrichting</i>	<i>Voedsel</i>	<i>Natuur & recreatie</i>
CD	Dijkverhoging	100% (agricultuur)	-
OD	Overslagbestendige dijk	100% (agricultuur)	-
DDaqua	Dubbele dijk	75% (aquacultuur)	25%
DD5050	Dubbele dijk	50% (aquacultuur)	50%
DDnatuur	Dubbele dijk	25%	75%
	<i>Zeespiegelstijging</i>	<i>Toename in 2100</i>	
ZS0.5	Meest waarschijnlijk (IPCC5)	+0,5 m	
ZS1	Versnelde zeespiegelstijging	+1 m	
ZS1.5	Extreem scenario (lage kans)	+1,5 m	
	<i>Implementatie</i>		
IMP40	Snelle implementatie	Direct binnen 40 jaar	

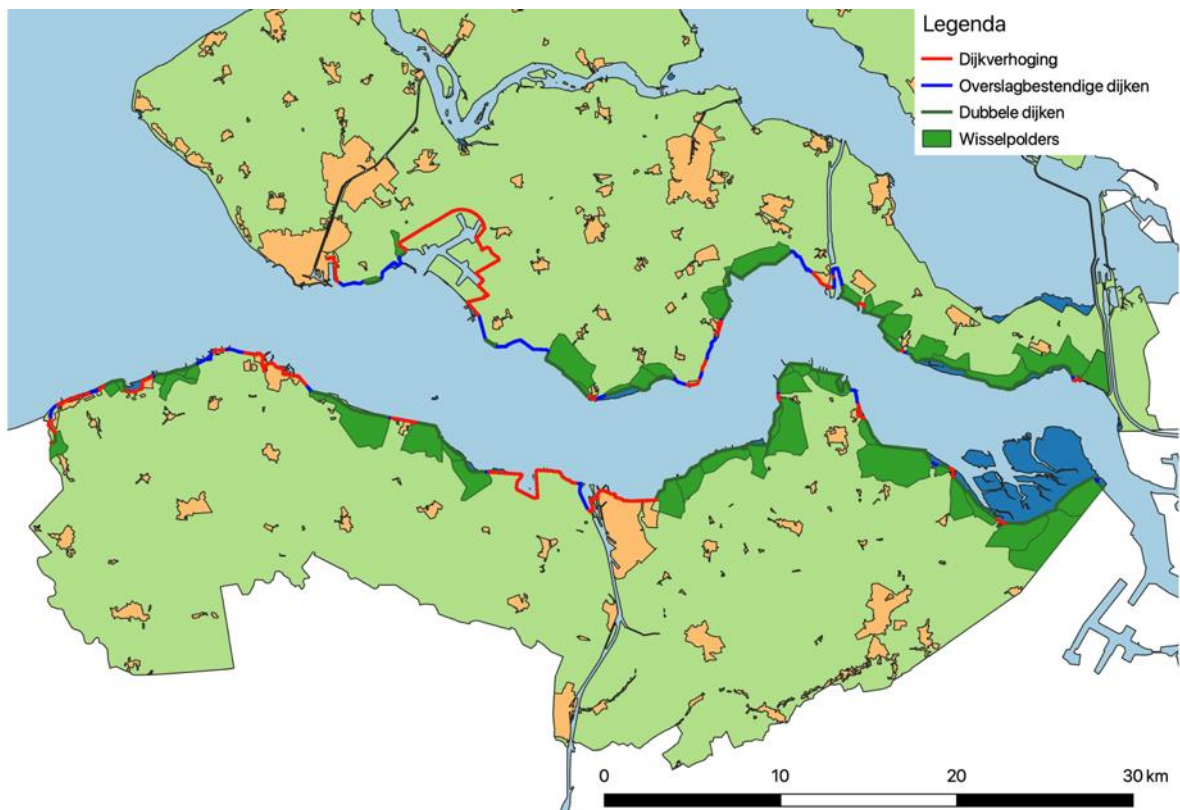
Zeespiegelstijging

De kosten en baten van de verschillende inrichtingen (CD, OD & DD) worden doorgerekend met verschillende varianten in de verwachte zeespiegelstijging. We gaan uit van het meest waarschijnlijke scenario (ZS0.5) van 0,5 m in 2100 en zetten dit naast berekeningen voor ZS1 en ZS1.5, twee versnelde scenario's van resp. 1 m en 1,5 meter in 2100. Deze laatste twee zijn scenario's met een lage kans, maar zijn realistisch als meer extreem scenario voor het jaar 2100. Het laatste scenario is zeer wel mogelijk, maar door huidige onzekerheden in de zeespiegelmodellen is de exacte timing van de contributie door het afsmelten van de Antarctische ijskap onduidelijk.

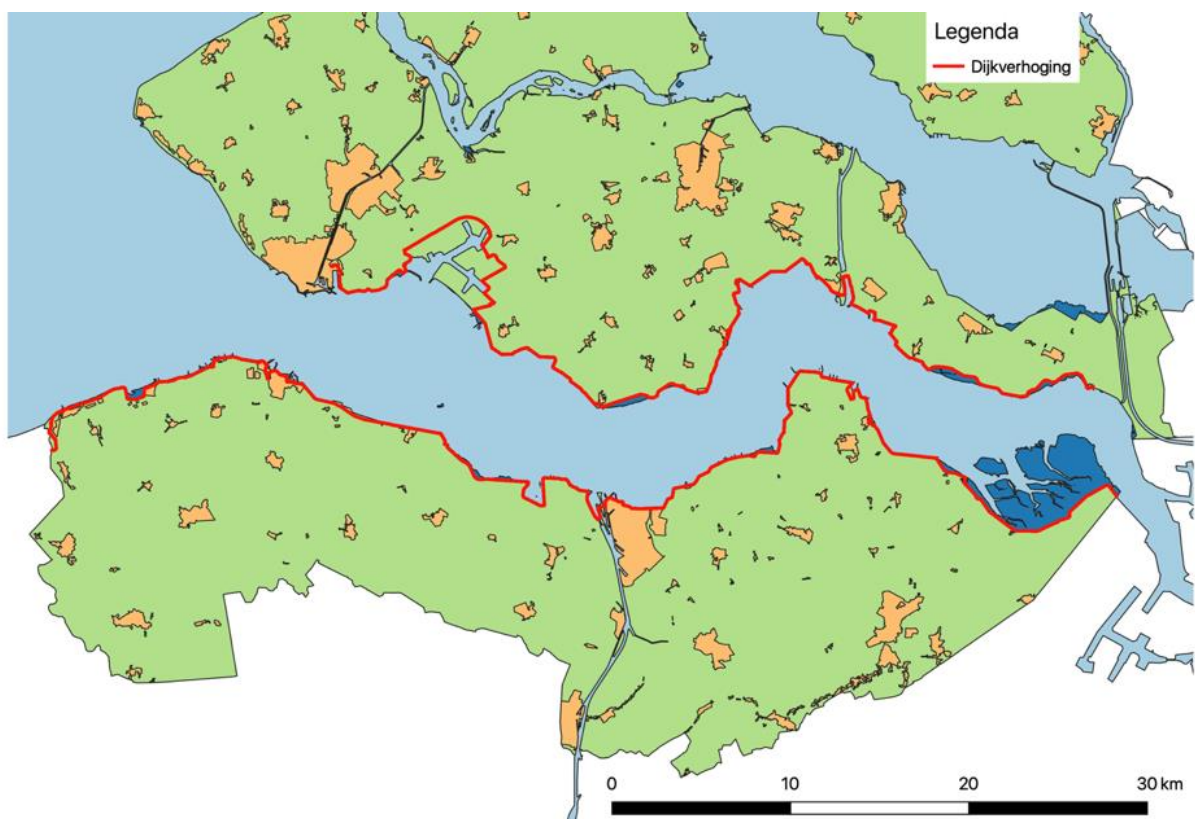
Zelfs een zeespiegelstijging van 3 m in 2100 is mogelijk wanneer het effect van de afsmeltende ijskap sneller inzet dan de meeste modellen nu inschatten. De inschatting is dat pas rond 2050 duidelijk wordt in welk van de alternatieve zeespiegelstijging scenario's we zitten. Met huidige ontwikkeling in emissies komt de 1m zeespiegelstijging in 2100 in beeld als een realistisch scenario en daarom gebruiken we dit als standaard scenario en geven overall de resultaten voor dit scenario tenzij anders vermeld.

Implementatiestrategie

De implementatie van de nieuwe kustverdediging met dubbele dijken kan met verschillende snelheden worden uitgevoerd afhankelijk van het draagvlak en de urgentie. In de huidige scenario's gaan we ervan uit dat we direct starten met implementatie (met 2021 als startjaar) en dat deze binnen 40 jaar zijn afgerond (IMP40). Dit is het enige implementatiescenario dat we op dit moment bekijken. We gaan er dus in onze benadering vanuit dat er een breed gedragen voordeel gezien wordt in directe implementatie van een brede kustverdediging.



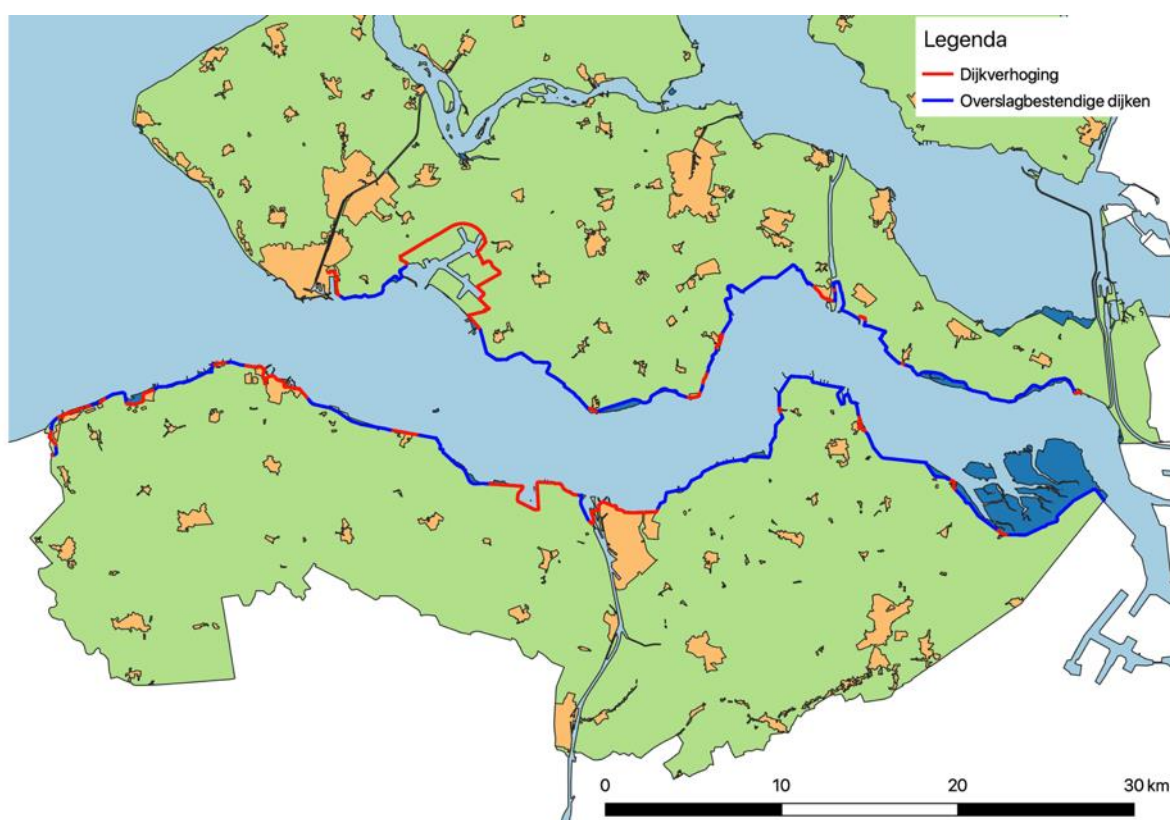
Figuur 3.3. Grootchalige implementatie van Dubbele Dijken (DD) scenario langs oevers Westerschelde.



Figuur 3.4. Conventioneel scenario van dijkverhoging (CV) langs oevers Westerschelde.

3.3. De landschappelijke inrichting

Op basis van de beslisboom (Fig. 3.2) kan nu bepaald worden waar langs de Westerschelde welk dijktype geïmplementeerd kan worden. Wanneer we scenario DD met de dubbele dijken en wisselpolders bepalen voor de Westerschelde ontstaat er een beeld van wisselpolders afgewisseld met de andere twee dijktypen (Fig.3.3). In totaal wordt ruim 8000 hectare polder omgevormd tot wisselpolder en komt er 177 kilometer als landwaartse dijk bij waarvan 37 kilometer nieuw aangelegd wordt (Tabel 3.3). Dit is een forse operatie in vergelijking met de 100 kilometer van de reeds aanwezige primaire zeedijk (scenario CV, Fig.3.4) en die ook gehandhaafd blijft wanneer de zeedijk deels wordt aangepast tot overslagbestendige dijk (scenario OD, Fig.3.5).

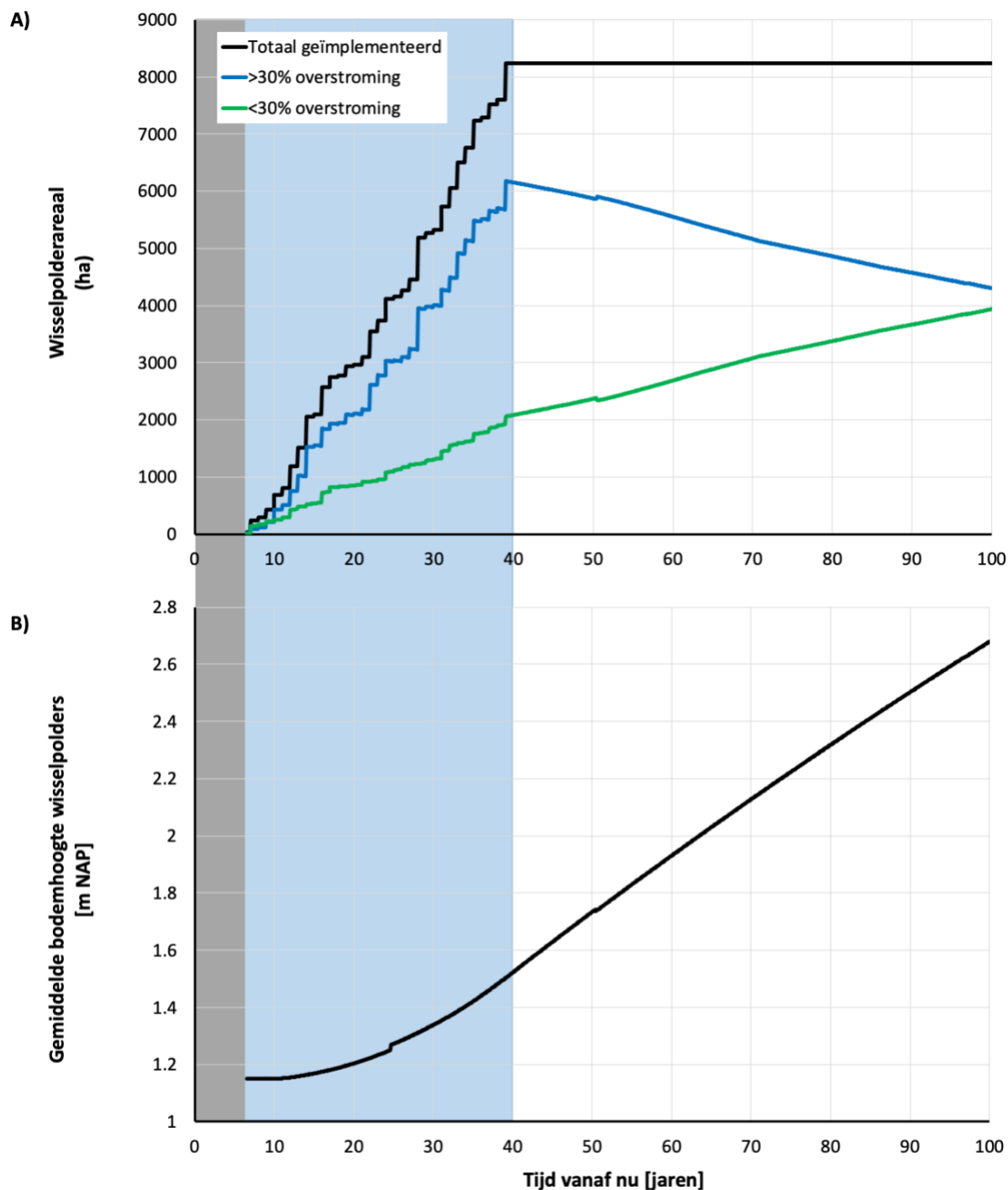


Figuur 3.5. Alternatief scenario van met overslagbestendige dijken (OD) langs oevers Westerschelde.

3.4. Bodem en areaalontwikkeling

De resultaten op basis van het geomorfologische model laten zien dat de dubbele dijkgebieden gaan ophogen vanaf het moment dat ze onderdeel worden van de uitvoering (Fig. 3.6.a). Dit staat in schril contrast met beide technische opties (CV en OD), die ter vergelijking samen worden getoond (stippellijn, Fig.3.6.a & b), waarbij de bodemhoogte steeds verder afneemt en het landgebruik agrarisch blijft. De gevolgen van de veranderingen in areaal 'natte' en 'droge' aquacultuur (Fig.3.6.b) voor de productie worden meegenomen in de kosten-batenanalyse. De gevolgen van de bodemdaling op agrarische productie niet. Wel wordt de bodemdaling meegenomen in de extra kosten die dit vraagt voor ophoging van de dijken. Eventuele extra

kosten van bodemdaling om de dijken extra stabiliteit te geven zijn niet meegenomen in de kosten-batenanalyse.



Figuur 3.6. Ontwikkeling van het areaal (A) en bodemhoogte (B) over de tijd voor de polders in het potentiële dubbele dijken met wisselpolders langs de Westerschelde. Ontwikkelingen bij een verwachte zeespiegelstijging van 1 m in 2100. Dubbele dijken worden over een periode van 40 jaar geïmplementeerd (blauwe zone) met een voorbereiding van 5 jaar (grijze zone)

Tabel 3.3. Lengtes dijktrajecten en oppervlakte polders.

Dijk type	Lengte dijktraject (km)
Conventionele dijk (CV)	43,8
Overslagbestendige dijk (OD)	14,5
Dubbele dijk (DD)	
-totaal zeewaartse dijk	100,3
-totaal landwaardse dijk	176,7
--bestaande	139,7
--nieuw aan te leggen	37
-wisselpolder	8240 ha

3.5. Kosten en baten

Investerings- en onderhoudskosten

Uit de kosten-batenanalyse wordt duidelijk dat investeren in op ecosystemen-gebaseerde kustverdedigingen met de aanleg van dubbele dijken (DD) de duurste van de drie opties is (Tabel 3.4). Dit komt vooral omdat we er vanuit gaan in de berekeningen dat al het land verworven moet worden. Daarnaast moeten de landwaardse dijken worden aangepast. Samen komt dit neer op een totale investering van € 8,5 mld. (€85 mln. jaargemiddelde). voor uitvoering tegen € 3 mld. en € 1,8 mld. (resp. €80 mln. en €18 mln jaargemiddelde) voor respectievelijk ophogen van conventionele dijken (CV) en aanpassingen tot overslagbestendige (OD) dijken (Tabel 3.4). De onderhoudskosten laten echter al een ander beeld zien. Onderhoud (inclusief beheer) van de ecosysteem-gebaseerde aanpak kost in totaal € 15,7 mld. versus € 50 mld. voor de conventionele aanpak. De goedkoopste optie is de overslagbestendige dijk, die in totaal € 13,9 mld. kost om te onderhouden en beheren. Dat betekent dat de onderhoudskosten voor de huidige praktijk op jaarbasis 16,6% van de investering bedragen. Voor de overslagbestendige en ecosysteem-gerichte benaderingen is dit slechts 1,4 en 1,9%. Zeespiegelstijging heeft met name invloed op investeringskosten (en daarmee de totaal kosten) omdat deze de benodigde dijkhoogte bepaald (Tabel 3.5). Alleen al op basis van de implementatie- en onderhoudskosten is het voortzetten van de ‘business as usual’ -aanpak (€ 52,9 mld) niet kosteneffectief en is een verschuiving naar overslagbestendige dijken (€ 15,7 mld) te overwegen. Deze kosten blijven gelijk ongeacht het zeespiegelscenario.

Tabel 3.4. Kosten en baten voor grootschalige implementatie langs de Westerschelde bij 1m zeespiegelstijging in 2100.

Jaargemiddelden in mln.€ over 100 jaar	Kosten				Baten	Balans
	Investerings	Onderhoud & beheer	Agricultuur	Uitkopen	Recreatie	Voedsel (landbouw & aquacultuur)
Standaard dijk	30	499				-529
Overslagbestendige dijk	18	139		1		-158
Dubbele dijk	85	157	[7-14]	11		
75%voedsel/25%landschap					0.5	23.8
50%voedsel/50%landschap					0.9	15.9
25%voedsel/75%landschap					1.4	7.9
						[-243 -236]
						[-250 -243]
						[-258 -251]

Tegenover de kosten van een ecosysteemgerichte benadering met dubbele dijken en wisselpolders (€ 26,6 mld.) staan ook baten, dit in tegenstelling tot de andere twee scenario's. Bovendien kan de verworven grond voor de implementatie van op ecosystemen gebaseerde kustverdedigingen voor meervoudig gebruik worden ingezet. Ook is het waarschijnlijk niet nodig om alle grond te verwerven, omdat de huidige grondbezitters er mogelijk voor kunnen kiezen om de grond zelf te exploiteren met de nieuw verkregen functies. Daarom moeten we rekening houden met deze voordelen om een eerlijke vergelijking te maken tussen de inrichtingsscenario's. Hier gaan we in de volgende secties verder op in.

Voedselproductie en recreatie

Specifiek voor de dubbele dijken (DD) is het mogelijk om in de nieuwe situatie de wisselpolders voor alternatieve manieren van voedselproductie te gebruiken. Dus omschakelen van landbouw naar aquacultuur. Deze omschakeling zal naar verwachting resulteren in een hogere opbrengst per hectare (Appendix 1, Tabel A.3) en kan daarmee de kosten compenseren met maximaal € 10,3 mld., waardoor het saldo voor de transformatie naar ecosysteemgebaseerd landgebruik naar € 16,2 mld bijna gelijk is aan de overslagbestendige dijken. Maar dit geldt alleen als 100% van de polders intensief wordt gebruikt voor intensieve voedselproductie. Het is echter belangrijk om in deze nieuwe gebieden ook rekening te houden met opgave tot herstel van de biodiversiteit en de daarvoor benodigde natuurlijke processen die naast natuur ook nodig zijn om bodemophoging te realiseren die nodig is voor de hoogwaterveiligheid. Mogelijk zijn er ook hybride extensieve aquacultuur praktijken mogelijk waarin alle drie de functies gecombineerd kunnen worden. Hetzelfde geldt voor recreatie,

beleving en toegankelijkheid, ook die aspecten moeten vanuit de maatschappelijk behoefte en opgave die er is een plek krijgen, in een deel van het areaal of in een mix met de andere functies.

Om een beter beeld te krijgen van de opbrengsten van een landschappelijke mix waarin ofwel voedselproductie ofwel landschappelijke kwaliteit centraal staat, kijken we nader naar drie varianten voor de uitvoering van dubbele dijken: 1) focus op voedselproductie (DDaqua) met een 75/25% mix van aquacultuur en landschapsontwikkeling; 2) gelijke mix van voedselproductie en landschapsontwikkeling (DD50/50); en 3) focus op het ontwikkelen van de intrinsieke natuurlijke waarde van het landschap met 25% van het gebied gewijd aan voedselproductie (DDlandschap). De baten van het produceren van alleen voedsel zijn ongeveer een factor 10 groter dan de inkomsten uit recreatie. Toch kan recreatie nog steeds een aanzienlijke economische waarde hebben (max, € 1,9 mld. per jaar wanneer landschap 100% voor recreatie wordt ingezet) doordat kapitaalkrachtige bezoekers worden aangetrokken door deze natuurgebieden. Zo kunnen de baten voor een mix van voedselproductie en recreatie (Tabel 3.4) in de drie varianten oplopen van € 9,3 tot € 24,3 mln per jaar, waardoor de kosten voor dubbele dijken worden verlaagd van € 236 mln. tot € 258 mln. per jaar.

Tabel 3.5. Investerings- en totale kosten als gevolg van zeespiegelsteiging met 0,5, 1 of 1,5 m in 2100

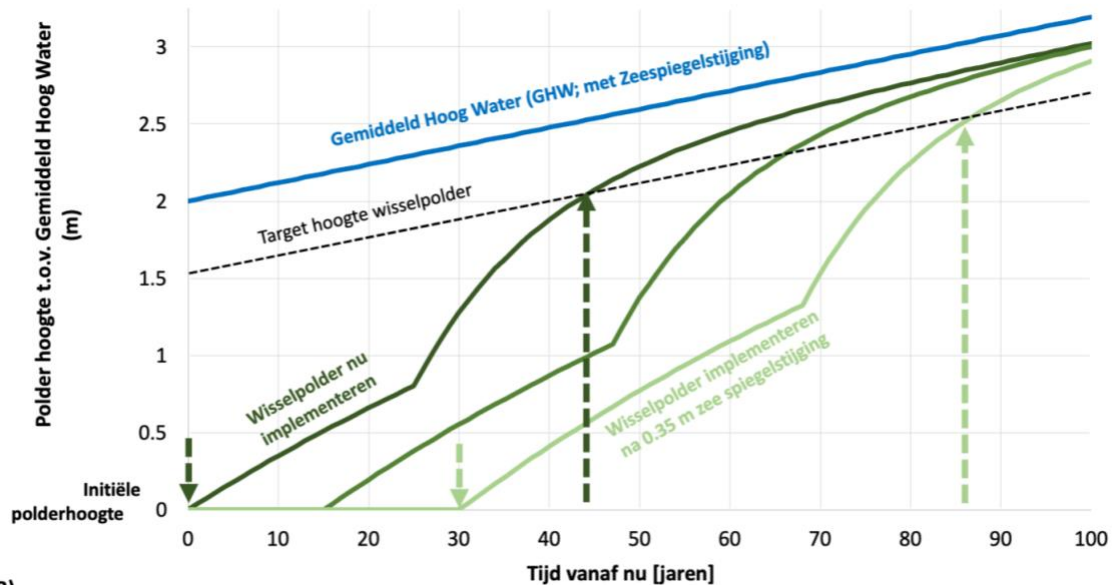
2100

Jaargemiddelden in mln.€ over 100 jaar	Kosten					Totale kosten		
	Investering Onderhoud & beheer Agricultuur Uitkopen					ZS0,5	ZS1	ZS1,5
Standaard dijk	15,1	30	45,1	499		-514,1	-529	-544,1
Overslagbestendige dijk	9	18	27	139	1	-148	-158	-166
Dubbele dijk	75,5	85	93,3	157	[7 14] 11	[-257,5 -250,5]	[-267 260]	[-268,3 +275,3]

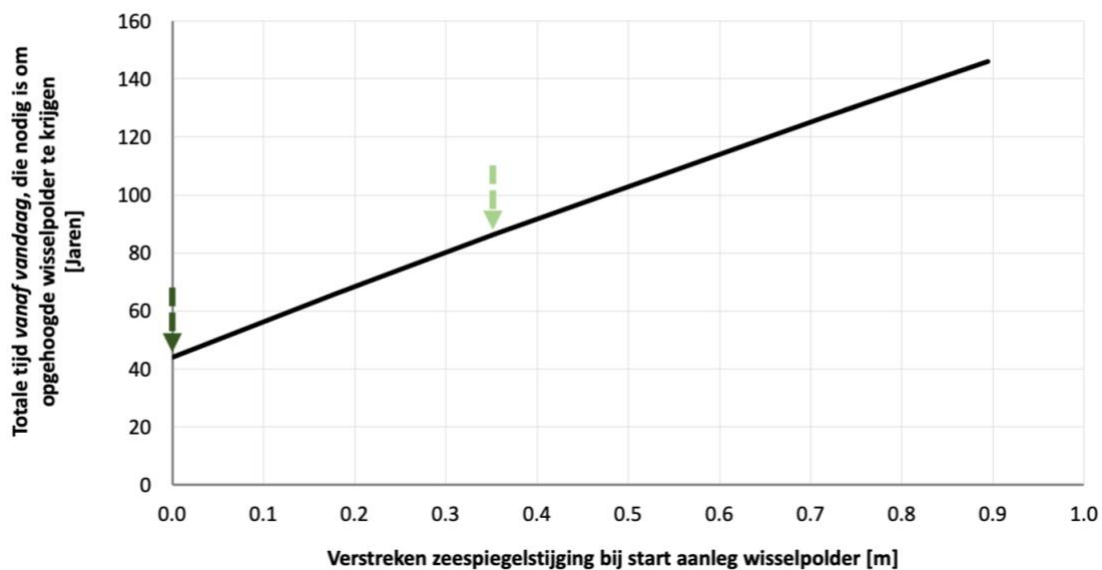
Belangrijk om hier op te merken is dat er een aanzienlijke recreatieve potentiële waarde is die een duidelijke economische impact kan hebben (zie ook hfst.5). Betrokkenheid van lokale ondernemers (bv. catering, rondleidingen, overnachtingen in de omgeving) is van groot belang om dit potentieel te kunnen benutten. Over het algemeen, alvast vooruitlopend op de resultaten van de economische effecten, laten effecten die zijn geschat met behulp van een input-output-analyse voor de regio (zie hfst.5) zien dat alle inrichtingsscenario's resulteren in positieve economische effecten. Dubbele dijken zorgen voor betere werkgelegenheid op de lange termijn

in verschillende sectoren, aangezien deze 6 – 27% zijn in vergelijking met overslagbestendige dijken. Vanuit economisch oogpunt zijn de dubbele dijken dan ook het meest aantrekkelijk om te realiseren (maar zie hfst.5 voor details).

A)



B)



Figuur 3.7. Ontwikkeling van de bodemhoogte in de wisselpolder kost tijd. (A) wanneer direct wordt gestart dan kost het in een typische 30 – 50 jaar (in dit rekenvoorbeeld 44 jaar) om de gewenste hoogte te bereiken. Wordt de wisselpolder pas na 15 of 30 jaar geopend, dan heeft er meer relatieve zeespiegelstijging (incl. bodemdaling) plaatsgevonden waardoor het langer duurt om de gewenste bodemhoogte (target) te bereiken (respectievelijke 66 en 87 jaar). (B) Hoe langer zeespiegelstijging is voortgeschreden hoe langer er nodig is om de gewenste bodemhoogte te bereiken. De toename in benodigde extra tijd is 0,38 jaar per jaar uitstel wat overeenkomt met een extra 32 jaar tot target per 1 m relatieve zeespiegelstijging.

3.6. Tempo van implementatie

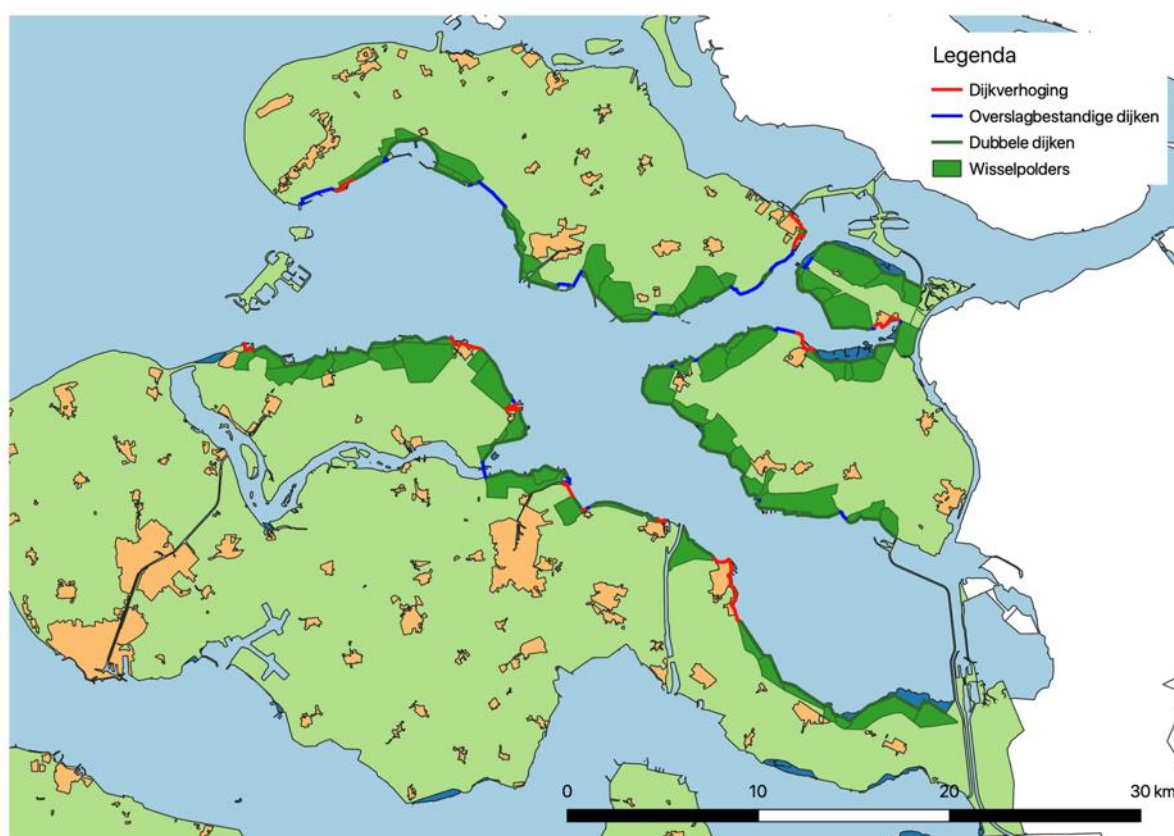
De kosten-batenanalyse die we tot nu toe hebben gepresenteerd, geven een vrij gunstig beeld die de verschillende voordelen van dubbele dijken duidelijk laat zien. Maar een belangrijk aspect dat we nog niet hebben aangepakt, zijn de tijdschalen van implementatie. Zoals eerder aangegeven, laat geomorfologische modellering zien dat bodemophoping in alle polders plaatsvindt. Er is voldoende sediment aanwezig in het estuarium, maar de polders hebben voldoende tijd nodig om de maximale hoogte (d.w.z. GHW of een target daar iets onder, Fig.3.7) te bereiken om de volle functionaliteit van de landwaartse dijk binnen de dubbele dijk te benutten. Er zit echter een addertje onder het gras. Als de implementatie van de ecosysteem-gebaseerde benadering te lang wordt uitgesteld, dat wil zeggen starten we zeg na 30 jaar in 2050 -het geschatte jaar waarin naar verwachting duidelijk is in welk scenario van zeespiegelstijging we ons bevinden (Haasnoot et al, 2018, 2020) -, dan kost de bodemophoging meer tijd (Fig.3.7) zeker wanneer meer extreme scenario's voor zeespiegelstijging moeten worden opgevangen vangen. De wisselpolder zal er in dit voorbeeld dan een extra 3,8 jaar per 10 jaar uitstel langer over doen om de targethoogte te bereiken (dus 13,8 jaar langer). In sommige gevallen zal dan niet voldoende ophogen plaatsvinden om de maximale waterregulerende functie van de landwaartse groene dijk te kunnen benutten. Dat betekent dat de waterveiligheidsfunctie van de zeewaartse dijk langer behouden moet blijven voordat de landwaartse dijk de functie volledig kan overnemen (Fig.2.5). Dus bij het vertragen van grootschalige implementatie van dubbele dijken als waterkeringen wordt de balans tussen kosten en baten minder gunstig.

4. Dubbele dijken in sediment arme systemen: Oosterschelde & Haringvliet

In voorgaande hoofdstuk zijn de kosten en baten voor de aanleg van dubbele dijken met wisselpolders langs de Westerschelde bekeken en de relatie met de snelheid waarmee de bodemophoging kan plaatsvinden in dit sedimentrijke estuarium. In dit hoofdstuk focussen we op de kosten-batenanalyse voor de implementatie van dubbele dijken in de sediment arme wateren van de Oosterschelde en Haringvliet (en Hollandsch Diep). In het hier op volgende hoofdstuk zullen de economische effecten in meer detail worden besproken.

4.1 Globale aanpak

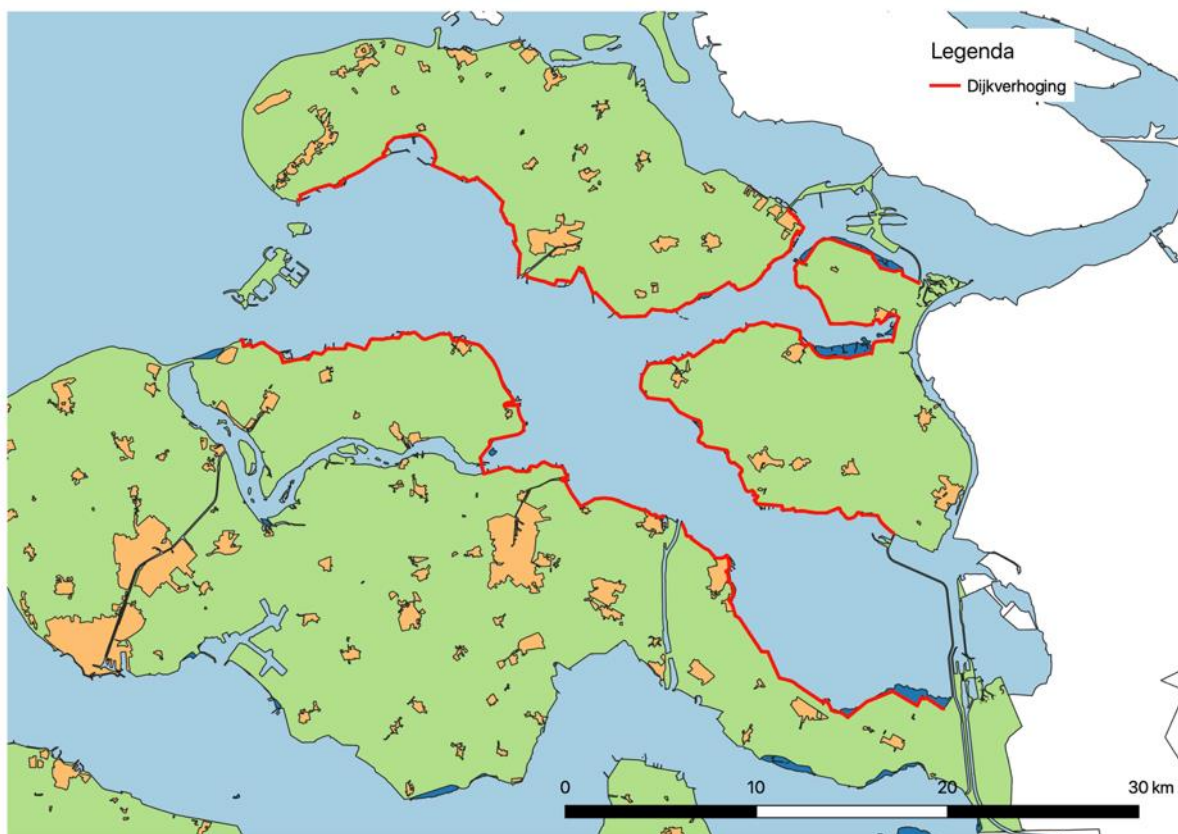
Allereerst bepalen we waar langs de Oosterschelde, Haringvliet en Hollandsch Diep welke dijktypen geïmplementeerd kunnen worden. We volgen grotendeels dezelfde methode als voor de Westerschelde (hfst.3). We passen wederom de beslisboom (Fig. 3.2) toe met de drie dijktypen (CV, OD, & DD). De verschillende dijktypen worden gekozen op wat mogelijk is binnen de lokale landschappelijke context. Veranderingen in zeespiegel en hoogte van de waterkeringen en gerelateerde functionele veranderingen werden gemodelleerd over een tijdshorizon van 100 jaar.



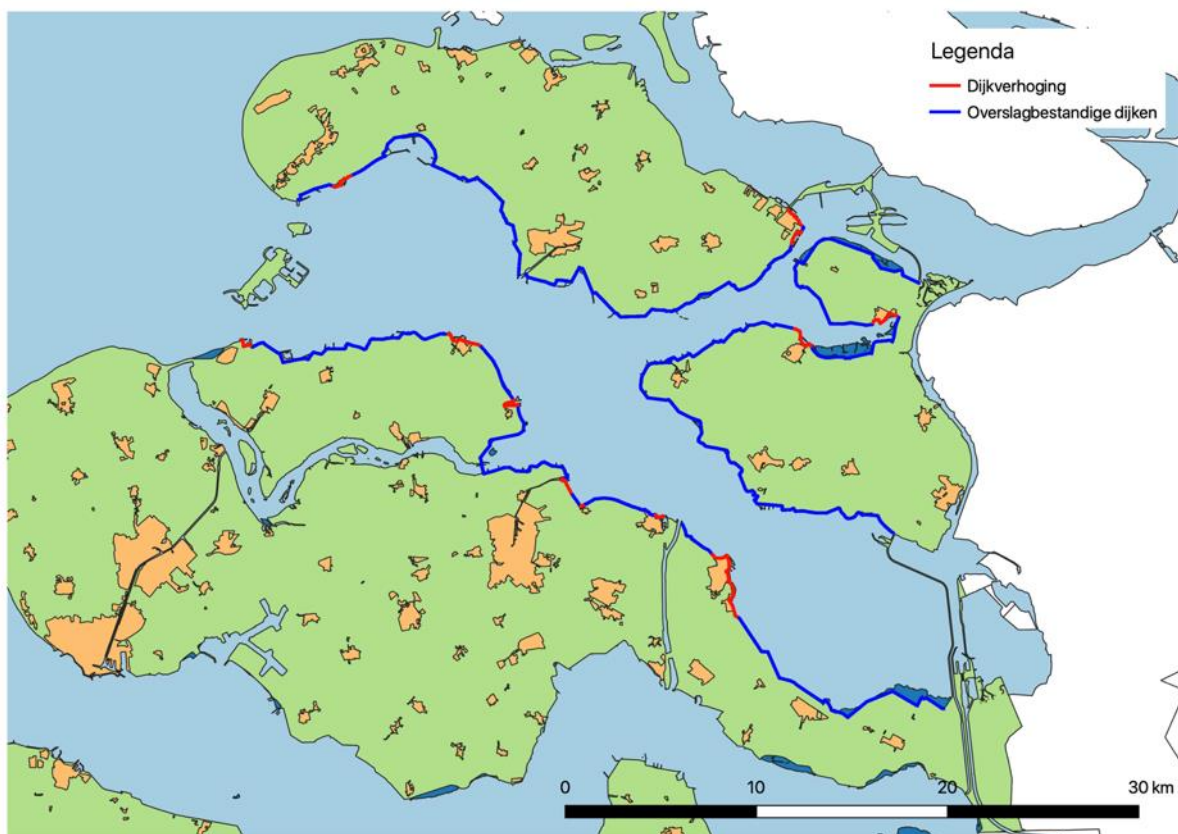
Figuur 4.1. Grootschalige implementatie van Dubbele Dijken (DD) scenario langs oevers Oosterschelde.

We werken hier met een meer beperkte set aan scenario's dan in het geval van de Westerschelde om inzicht te krijgen in de range waarbinnen de kosten en baten redelijkerwijs zullen vallen. Specifiek voor de Oosterschelde speelt de vraag rond het wel of niet aanhouden van de stormvloedkering (SVK). Door zeespiegelstijging zal op termijn de kering meer frequent sluiten omdat het waterpeil waarbij de kering sluit (+3 m NAP) vaker zal voorkomen. Het is daarom mogelijk dat op termijn het sluitbeheer wordt aangepast of dat de SVK technisch zal worden opgewaardeerd om beter op de zeespiegelstijging te kunnen anticiperen. Een andere optie is het verwijderen van de SVK waardoor mogelijk ook het probleem van de sedimentbeschikbaarheid wordt verbeterd. Op dit moment is nog onduidelijk welke maatregelen er genomen gaan worden mbt de SVK. Maar wanneer de SVK wordt verwijderd dan heeft dit gevolgen voor de hoogte die de dijken langs de Oosterschelde moeten hebben. De maatgevende hoogwaterstanden zullen dan namelijk hoger zijn dan met SVK waardoor hogere dijken nodig zijn (Appendix 1). Wanneer de SVK gehandhaafd blijft gaan we er vanuit dat de maximale waterstand beperkt blijft door het keren van de SVK en zijn dus minder hoge dijken nodig. Daarom is het effect van de aan- en afwezigheid van de SVK op de kosten meegenomen als twee uitersten om een redelijk idee te krijgen van de minimale en maximale kosten en baten die verwacht kunnen worden. Voor het Haringvliet kijken we niet naar een situatie zonder kering.

Door de lage sedimentbeschikbaarheid die er voor zorgt dat opslibbing in de Oosterschelde en het Haringvliet langzaam zal verlopen, verwachten we weinig veranderingen van de gebruiksfuncties van de wisselpolders binnen de tijdshorizon van 100 jaar. Daarom hebben we deze niet meegenomen in de modellering. Om de vergelijkingen tussen scenarios overzichtelijk te houden schatten we hier verder de baten alleen voor de situatie wanneer 0% of 100% van de wisselpolders wordt ingezet voor voedselproductie (en dus respectievelijk 100% en 0% landschappelijke ontwikkeling). Dit geeft inzicht in de baten die potentieel gehaald kunnen worden uit de exploitatie van de wisselpolders voor voedselproductie en recreatie. Ook nu is weer rekening gehouden met de mogelijkheden voor aquacultuur en zilte teelt die afhankelijk is van de heersende saliniteit in de Oosterschelde en het Haringvliet (op basis van De Mesel et al., 2013, zie Appendix 1).



Figuur 4.2. Conventioneel scenario van dijkverhoging (CD) langs oevers Oosterschelde.



Figuur 4.3. Alternatief scenario van met overslagbestendige dijken (OD) langs oevers Oosterschelde.

4.2 Oosterschelde

Implementatie van dubbele dijken langs de Oosterschelde resulteert in een gebied van 9100 ha (Fig. 4.1). Ter vergelijking van de implementatie van de dubbele dijken met wisselpolders zijn ook de huidige situatie met dijkverhogingen (CD) (Fig. 4.2) en het alternatief waar overslagbestendige dijken (OD) worden geïmplementeerd daar waar voldoende ruimte is (Fig. 4.3) uitgevoerd.

Net als voor de Westerschelde (hfst.3) zien we dat de dubbele dijken op initiële kosten hoog scoren, maar vervolgens goedkoper zijn in onderhoud ten opzichte van de gebruikelijke gang van zaken (CD) (Tabel 4.1). De jaargemiddelde balans voor dubbele dijken komt neer op -156,9 mln.€ en respectievelijk -517 mln.€ en -61,4 mln.€ voor de standaard dijkverhogingen of de overslagbestendige dijken wanneer wordt uitgegaan van het handhaven van de SVK en geen voedselproductie. Daar komt bij dat wanneer de wisselpolders (voor een deel) in gebruik genomen worden voor voedselproductie, d.m.v. aquacultuur en zilte teelt, de balans positief zal uitvallen. Het blijkt daarmee dat het gemakkelijker is om langs de Oosterschelde de gemaakte kosten terug te verdienen in vergelijking tot de Westerschelde. Dit komt doordat de opbrengsten die per oppervlakte kunnen worden terugverdient hoger zijn voor schelpdieren (mossels en oesters) dan zilte teelten. Juist in de Oosterschelde zijn de condities hiervoor beter omdat gemiddeld genomen de initiële hoogte van de polders lager is en dus langer geschikt blijven voor 'natte aquacultuur'. Daar komt bij dat er geen zoet-zout-gradiënt (meer) is in de Oosterschelde waardoor de saliniteit geen grote limiterend invloed heeft op de mogelijkheden voor zout-minnende soorten (De Mesel et al., 2013).

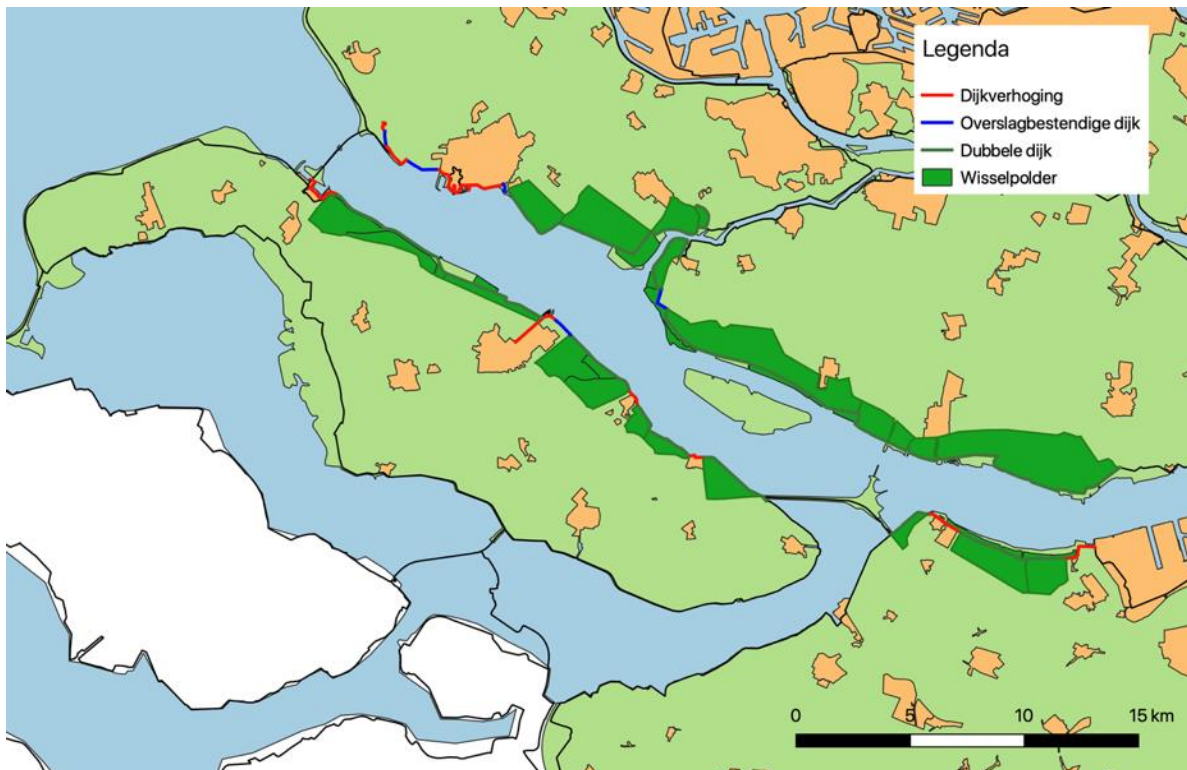
Zoals aangegeven speelt in het geval van de Oosterschelde een extra beslissing die op termijn te nemen is over het wel of niet handhaven van de SVK. Wanneer de SVK wordt verwijderd nemen in alle inrichting scenario's de investeringskosten toe waardoor ook de totale kosten voor waterveiligheid toenemen. Dit komt vooral omdat met het oog op zeespiegelstijging alle dijken langs de Oosterschelde moeten worden verhoogd wat niet het geval is wanneer de SVK gehandhaafd blijft. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat kosten die nodig zijn om de SVK operationeel en functioneel te houden niet zijn meegenomen in deze berekeningen. Verder valt het op dat er voor het alternatief van overslagbestendige dijk een verdubbeling van de kosten wordt geraamd. Daar staat tegenover dat de investeringskosten voor de dubbele dijken juist veel minder snel stijgen wanneer de SVK wordt verwijderd. De financiële consequenties van een besluit op termijn over het wel of niet handhaven van de SVK zal dus sterk afhankelijk zijn van de gekozen inrichting. Een inrichting van de Oosterschelde kustlijn met dubbele dijken is vanuit dat perspectief dus tevens een interessante optie.

Tabel 4.1. Kosten en baten voor de drie verschillende waterveiligheid inrichtingsscenario's langs oevers Oosterschelde met en zonder stormvloedkering (SVK).

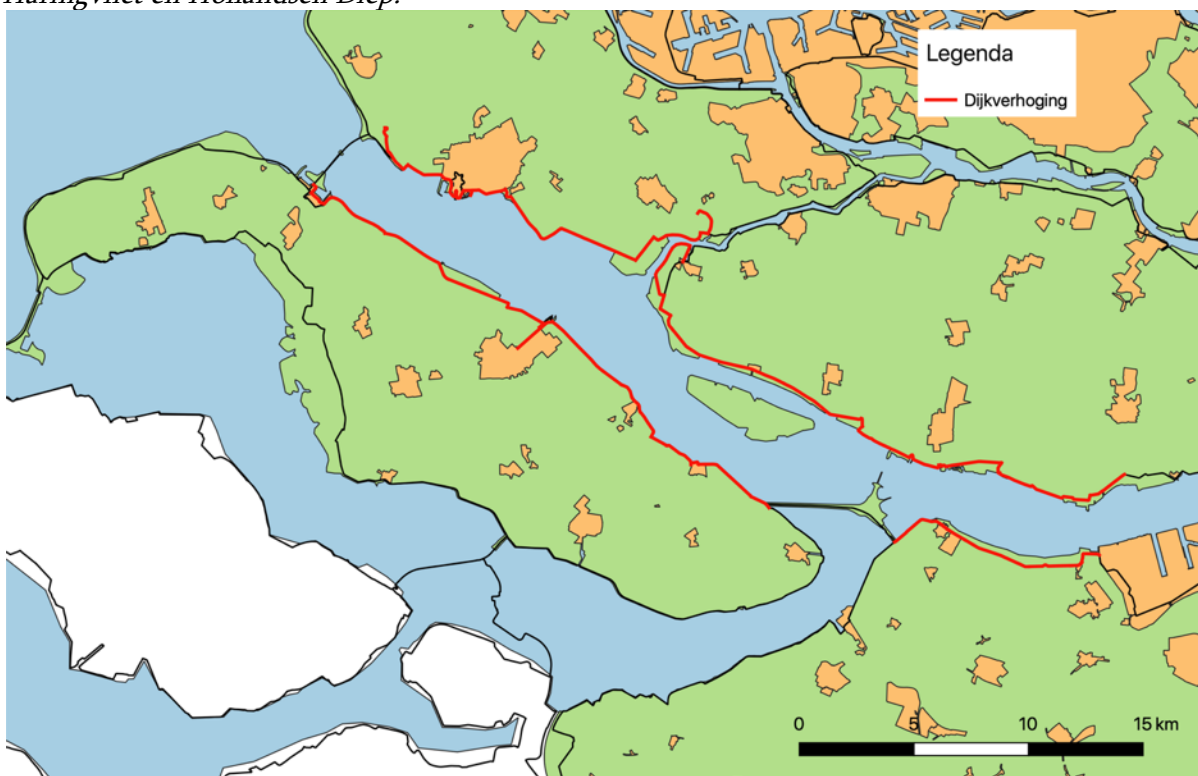
Jaargemiddelden in mln.€ over 100 jaar		Kosten				Baten	Balans
		Investering	Onderhoud & beheer	Agricultuur	Uitkopen	Recreatie	Voedsel (landbouw & aquacultuur)
Zeeland							
Standaard dijkverhoging (CD)	met SVK	16,5	500,5				-517
	zonder SVK	58,6	500,5				-559,1
Overslagbestendige dijk (OD)	met SVK	9,5	51,9				-61,4
	zonder SVK	72,7	51,9				-124,6
Dubbele dijk (DD)	met SVK	75,3	73,6	4,2	14,8		
	zonder SVK	82	73,6	8,4	14,8		
0%voedsel/100%landschap	met SVK					11,0	-156,9
	zonder SVK					11,0	-167,8
100%voedsel/0%landschap	met SVK					185,5	17,6
	zonder SVK					185,5	6,7

4.3 Haringvliet

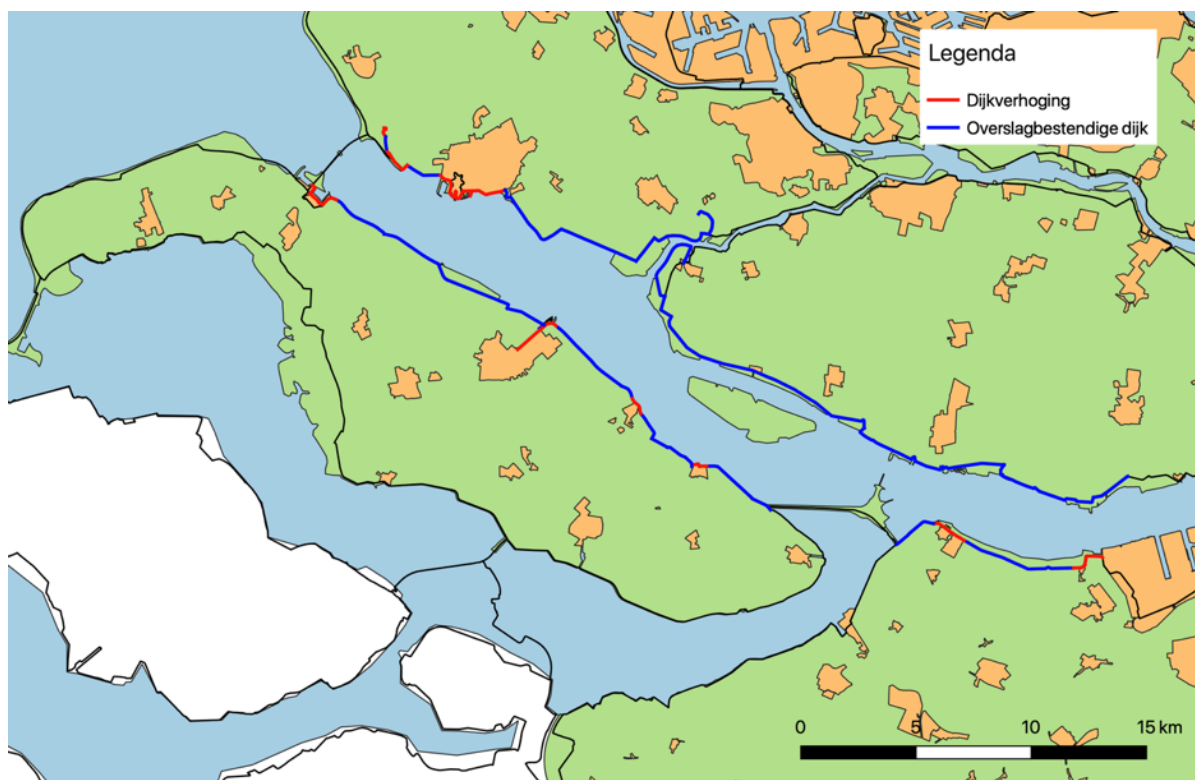
Implementatie van dubbele dijken langs de Haringvliet en Hollandsch Diep resulteert in een gebied van totaal 6826 ha (Fig. 4.4). Het gaat om 6001 ha in Zuid-Holland en om 825 ha in Noord-Brabant aan het Hollandsch Diep nabij Willemstad. Ter vergelijking van de implementatie van een brede kust beschermend landschap met dubbele dijken zijn ook de huidige situatie met dijkverhogingen (CD) (Fig. 4.5) en het alternatief waar overslagbestendige dijken (OD) worden geïmplementeerd daar waar voldoende ruimte is weergegeven (Fig. 4.6).



Figuur 4.4. Grootschalige implementatie van Dubbele Dijken (DD) scenario langs oevers Haringvliet en Hollandsch Diep.



Figuur 4.5. Conventioneel scenario van dijkverhoging (CD) langs oevers Haringvliet en Hollandsch Diep.



Figuur 4.6. Alternatief scenario van met overslagbestendige dijken (OD) langs oevers Haringvliet en Hollandsch Diep.

Ook voor dit deelgebied zien we weer dat de dubbele dijken qua kosten hoog scoren op de initiële kosten, maar vervolgens stukken goedkoper zijn in onderhoud ten opzichte van de gebruikelijke gang van zaken (CD) (Tabel 4.2). De jaargemiddelde balans voor dubbele dijken komt neer op -96,3 mln.€ (voor Noord-Brabant en Zuid-Holland samen) en respectievelijk -398,8 mln.€ en -80,2 mln.€ voor de standaard dijkverhogingen of de overslagbestendige dijken wanneer ervan wordt uitgegaan dat wisselpolders niet worden gebruikt voor voedselproductie. Daar komt bij dat wanneer de wisselpolders (voor een deel) in gebruik genomen worden voor voedselproductie, voornamelijk d.m.v. zilte teelt, de balans zelfs positief zal uitvallen. In het Haringvliet zijn de condities minder geschikt voor het kweken van schelpdieren door de lage saliniteit en de initiële ligging van de polders. De meeste kansen liggen er dus voor zilte teelt om de kosten, gemaakt voor aanleg van de dubbele dijken, (enigszins) terug te kunnen verdienen. Een inrichting van de Haringvliet en Hollandsche Diep met dubbele dijken kan dus een aantrekkelijke optie zijn als alternatief voor de gebruikelijke dijkverhogingen of het alternatieve concept van overslagbestendige dijken.

Tabel 4.2. Kosten en baten voor de drie verschillende waterveiligheid inrichtingsscenario's langs oevers Haringvliet en Hollandsch Diep uitgesplitst in Noord-Brabant en Zuid-Holland.

Jaargemiddelden in mln.€ over 100 jaar	Kosten				Baten	Balans
	Investering	Onderhoud & beheer	Agricultuur	Uitkopen	Recreatie Voedsel (landbouw & aquacultuur)	
Noord-Brabant						
Standaard dijkverhoging (CD)	1,9	43,8				-45,7
Overslagbestendige dijk (OD)	1,7	14,6		1		-16,3
Dubbele dijk (DD)	2,49	16,32	0,2	0,7		
0%voedsel/100%landschap					0,7	-19,0
100%voedsel/0%landschap					30,3	10,6
Zuid-Holland						
Standaard dijkverhoging (CD)	13,1	340				-353,1
Overslagbestendige dijk (OD)	10,3	53,6		1		-63,9
Dubbele dijk (DD)	12,13	63,8	1,63	5,0		
0%voedsel/100%landschap					5,3	-77,3
100%voedsel/0%landschap					220,6	138

5. Economische effecten

We verleggen de scope van de analyse in dit hoofdstuk van de onderbouwing van de investeringen en de kosten-batenanalyse in de hoofdstukken 3 en 4 naar de economische effecten na de uitvoering van de investeringen, onderhoud en de introductie van nieuwe gebruiksfuncties. Er is dus sprake van een verschil tussen de aanpak en uitkomsten van de kosten-batenanalyse (hoofdstuk 4) en de economische effectenrapportage in dit hoofdstuk. De kosten-batenanalyse levert in dit geval de financieel-economische onderbouwing voor een investeringsbeslissing, rekening houdend met geraamde investeringskosten, de kosten van onderhoud en de opbrengsten van nieuwe gebruiksfuncties, gekapitaliseerd over 100 jaar. De economische effectenrapportage biedt inzicht in de macro-economische, in dit geval de regionale economische, effecten van die investeringen, bestedingen en opbrengsten *na* de investeringsbeslissing en gedurende de termijnen van uitvoering van die investering (40 jaar) en de termijnen van onderhoud en opbrengsten (60 jaar). Daarbij gaat het om zowel de directe effecten van investeringen en bestedingen voor de regionale economie als de indirecte effecten, het gevolg van toeleveranties en afnemers van goederen en diensten. Een deel van deze impulsen zal binnen de onderscheiden regio's blijven, maar een deel van de productiewaarde, de output, zal ook naar buiten gaan: uitvoer naar overig Nederland en het buitenland. Of als input van buiten moeten worden aangekocht (invoer van grondstoffen en halffabricaten vanuit overig Nederland en het buitenland).

Dat wil niet zeggen dat kosten-batenanalyse en economische effectenrapportage geen relatie met elkaar hebben. Uit de kosten-batenanalyse zijn de investerings- en onderhoudskosten alsmede de initiële (directe) opbrengsten als input gebruikt voor de berekening van de regionale economische effecten. Maar daarbij is wel rekening gehouden met de genoemde 40 (investerings) en 60 (onderhoud en opbrengsten) jaren termijn en zijn alle bedragen over die termijnen in gemiddelde jaarbedragen uitgedrukt. Dit is noodzakelijk omdat de regionale input-outputtabellen die gebruikt worden om de directe en indirecte economische effecten te berekenen jaartabellen zijn. Het gaat daarbij om jaarlijkse productie (omzet), onderlinge leveringen (verbruik van goederen en diensten in het productieproces), investeringen, bestedingen (consumptie), in- en uitvoer, alsmede toegevoegde waarde (afzet), inkomens en werkgelegenheid. De laatste drie genoemde indicatoren vormen de output, de eerdergenoemde de input van de economische effectrapportage.

Met dit hoofdstuk voegen we een nieuwe dimensie toe aan het hiervoor beschreven natuurwetenschappelijke onderzoek naar verschillende aspecten van de introductie van Dubbele Dijken in de Zuidwestelijke delta (hfst. 2-4). De mogelijkheden hiervoor langs de oevers van de Wester- en Oosterschelde, Haringvliet en Hollandsch Diep in respectievelijk de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Brabant zijn in kaart gebracht.

In onze aanpak van het economisch effectenonderzoek maken wij een onderscheid tussen de tijdelijke economische effecten van de benodigde investeringen in bouw en infrastructuur en de structurele economische effecten van het gebruik en exploitatie van die investeringsprojecten in de vorm van landbouw/aquacultuur en toerisme. We maken daarbij gebruik van een zogenoemde regionale input-outputanalyse (Rienstra, RIOT/2017).

Daarbij kiezen wij voor een aanpak met twee verschillende invalshoeken:

1. Bepaling van de economische effecten als gevolg van investeringen in dubbele dijken, het onderhoud en beheer en de exploitatie van de daardoor ontstane tussengebieden (aquacultuur en zilte teelten). Hierbij worden de getallen uit de kosten-batenanalyses (Tabel 3.4+Tabel 4.1 voor de Wester- en Oosterschelde en Tabel 4.2 voor Haringvliet en Hollandsch Diep) als vertrekpunt gebruikt.
2. Bepaling van de economische effecten als gevolg van extra toeristisch-recreatieve bestedingen waarbij als referentie natuurgebieden die in het zoekgebied voor dubbele dijken vallen worden gebruikt.

In Appendix 2 wordt bovendien aandacht besteed aan een mogelijke derde invalshoek, namelijk de financieel-economische of monetaire waardering van ecosysteemdiensten, voor en na de aanleg van dubbele dijken, gebaseerd op huidig en verwacht toekomstig grondgebruik.

De rapportage in dit hoofdstuk bevat de resultaten en bevindingen in onze analyses met deze twee invalshoeken. De rapportage is verdeeld naar twee deelgebieden binnen de Zuidwestelijke delta: (1) de Ooster- en Westerschelde in de provincie Zeeland, en (2) de Haringvliet en Hollandsch Diep in respectievelijk Zuid-Holland en Noord-Brabant. We maken dit onderscheid omdat de economische structuur en de natuurrecreatie in beide gebieden zo van elkaar verschillen dat zij om een aparte benadering vragen. Deels zijn de economische effecten die in dit hoofdstuk worden behandeld ook als onderdeel van de Westerschelde casus (hfst. 3) besproken. In dit hoofdstuk gaan we hier nader op in en geven daarbij ook de referentiebeelden (dus voordat dubbele dijken worden geïmplementeerd).

5.1. Ooster- en Westerschelde (Zeeland)

Economische effecten met regionale input-outputanalyse

Constructie van regionale input-outputmodellen en scenario's

Met behulp van een in de tijd overeenkomende nationale input-outputtabel (CBS, Nationale Rekeningen) zijn voor de provincie Zeeland en vervolgens voor de deelregio's Zeeuws-Vlaanderen en Overig Zeeland regionale input-outputmodellen voor het statistiekjaar 2017 geconstrueerd, waarmee de economische effecten van verandering in productie/omzet in de landbouw en visserij, van investeringen in bouw en infrastructuur en van toeristisch-recreatieve bestedingen (consumptie) kunnen worden doorgerekend op de output/productie, het bruto regionaal product en de toegevoegde waarde van 20 economische sectoren, het inkomen (lonen en salarissen) en de werkgelegenheid in die regio's.

Uit de geconstrueerde Zeeuwse modellen blijkt dat de landbouw zelf en de industrie, waaronder de voedings- en genotsmiddelenindustrie, de belangrijkste effecten ondervinden van productieveranderingen in de landbouw en visserij. De horeca (logies en catering), de cultuur, sport en recreatiesector en de uitzendbranche en materiaalverhuur zijn het meest gevoelig voor de ontwikkeling van de toeristisch-recreatieve bestedingen. Maar ook hier bestaat achterwaarts een belangrijke toeleverende relatie vanuit de industrie.

Investerings en onderhoud

In de scenario's worden twee verschillende investeringspakketten gepresenteerd. In de concept kosten-batenanalyse van het NIOZ is toegewerkt naar een eindtotaal van die kosten van die investeringspakketten en het onderhoud over 100 jaar. We hebben daarbij rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 1 meter en het al dan niet aanwezig zijn van een stormvloedkering in de Oosterschelde. Dit leidt tot twee investeringsbedragen: 10,748 mld. euro (met stormvloedkering in de Oosterschelde) en 11,421 mld. euro (zonder stormvloedkering in de Oosterschelde). In onze berekeningen is uitgegaan van een 40-jarige implementatietermijn voor de investeringen en van een bedrag voor jaarlijks onderhoud in de 60 jaar daarna. Alle investerings- en onderhoudskosten worden teruggerekend tot jaarlijkse bedragen om ze in het regionale input-outputmodel met jaarcijfers door te kunnen rekenen.

De jaarlijkse investeringsbedragen variëren op basis van die twee investeringsbedragen tussen € 269 en 286 mln. Deze uitersten zijn als minimum en maximum per uitvoeringsperiode doorgerekend. Ook het jaarlijkse onderhoudsbedrag, € 7 mln. per jaar na uitvoering, is op die manier bekeken. De investeringen en het onderhoud geven een impuls aan de gww-sector, een onderdeel van de bouwnijverheid. De productie van de bouwnijverheid wordt toegerekend aan de locatie waar de bouwwerkzaamheden worden uitgevoerd. Dat wil niet zeggen dat alleen Zeeuwse bedrijven bij deze aanleg en onderhoud betrokken zijn. Wel kan worden geanalyseerd wat de investeringen voor de bouwnijverheid en andere bedrijfssectoren potentieel voor de economie van de provincie Zeeland zouden kunnen betekenen. Het gaat dan om de effecten op de productiewaarde (omzet), de toegevoegde waarde (afzet), de inkomens van werknemers (lonen en salarissen) en de werkgelegenheid (werkzame personen in fte).

De productiemultiplier (= extra omzet gedeeld door investering) blijkt 1,69 te bedragen, d.w.z. een investering van 1 mln. euro levert een extra omzet in de regio op van € 690.000. De overige bouwnijverheid in de provincie profiteert hiervan het meeste (81%), gevolgd door de (bouwmaterialen)industrie met 12%. De jaarlijkse werkgelegenheid stijgt in vergelijking met het referentiejaar (2017) tijdens de uitvoeringsperiode met minimaal 0.9% en met maximaal 2.4%. Het jaarlijkse onderhoud zorgt voor een bescheiden werkgelegenheidsgroei van 0.04%. De bijbehorende absolute getallen in werkgelegenheid zijn opgenomen in tabel 5.1: 2.183 – 2.321 fte (als gevolg van investeringen), en 57 fte (i.v.m. jaarlijks onderhoud).

Tabel 5.1. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario dubbele dijken (DD) voor Ooster- en Westerschelde, prijzen 2017.

1e orde-effecten	minimaal (met SVK en SLR 1,0m)		maximaal (zonder SVK en SLR 1,0m)	
in mln.euro	Investeringsen	Effect (per jaar)	Investeringsen	Effect (per jaar)
<u>40 jaar</u>				
Omzet	269	454	286	483
Toegevoegde waarde		146		155
Inkomens		82		87
Werkgelegenheid in fte		2183		2321
<u>Jaarlijks onderhoud</u>				
Omet	7	12	7	12
Toegevoegde waarde		4		4
Inkomens		2		2
Werkgelegenheid in fte		57		57

Tabel 5.2. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario dijkverhoging (CD) voor Ooster- en Westerschelde.

1e orde-effecten	minimaal (met SVK en SLR 1,0m)		maximaal (zonder SVK en SLR 1,0m)	
in mln.euro	Investeringsen	Effect (per jaar)	Investeringsen	Effect (per jaar)
<u>100 jaar</u>				
Omzet	47	70	89	150
Toegevoegde waarde		26		48
Inkomens		14		27
Werkgelegenheid in fte		381		722
<u>Jaarlijks onderhoud</u>				
Omet	999	1687	999	1687
Toegevoegde waarde		543		543
Inkomens		303		303
Werkgelegenheid in fte		8106		8106

Het is mogelijk deze economische effecten ook voor alternatieve scenario's zoals Dijkverhoging (CD) en Overslagbestendige dijk (OD) te berekenen. De resultaten hiervan zijn in tabelvorm weergegeven (Tabel 5.2 & 5.3). Daarbij maken we niet zoals bij de dubbele dijkenpolders onderscheid tussen een periode van aanleg en van onderhoud: voor beide alternatieve scenario's is de rekentermijn 100 jaar. Investerings- en onderhoud volgen elkaar direct jaarlijks.

De gemiddelde economische effecten van de investeringen in dijkverhoging zijn kleiner dan bij de scenario's DD, maar groter bij het onderhoud.

Dezelfde vergelijking kunnen we maken bij de berekening van de effecten voor de overslagbestendige dijk. Het investeringsbedrag is ook hier lager dan bij de dubbele dijkenpolders. Bij het onderhoud zijn de economische effecten kleiner dan bij de scenario's van de dijkverhoging, maar wel groter dan bij de dubbele dijkenpolders.

Bij de overslagbestendige dijken en dijkverhoging zijn geen additionele gebruiksfuncties voorzien met economische effecten, in tegenstelling tot dubbele dijkenpolders.

Tabel 5.3. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario overslagbestendige dijken (OD) voor Ooster- en Westerschelde, prijzen 2017.

1e orde-effecten	minimaal (met SVK en SLR 1,0m)		maximaal (zonder SVK en SLR 1,0m)	
in mln.euro	Investerings	Effect (per jaar)	Investerings	Effect (per jaar)
<u>100 jaar</u>				
Omzet	27	46	91	150
Toegevoegde waarde		15		48
Inkomens		8		27
Werkgelegenheid in fte		219		722
<u>Jaarlijks onderhoud</u>				
Omet	191	322	191	322
Toegevoegde waarde		104		104
Inkomens		58		58
Werkgelegenheid in fte		1550		1550

Opbrengsten nieuwe gebruiksfuncties Westerschelde

Hetzelfde type berekening, maar dan met jaarlijkse opbrengsten per sector, kan voor de varianten met de verschillende ruimtelijke inrichting (percentages aquacultuur en natuur) worden uitgevoerd. In de nu volgende berekening gaat het alleen om de potentiële opbrengsten van de dubbele dijkenpolders langs de Westerschelde. Er zijn drie sectoren onderscheiden die

opbrengsten genereren als gevolg van de aanleg van dubbele dijkenpolders: recreatie, landbouw, en aquacultuur. Landbouw en aquacultuur behoren in de regionale input-outputtabel tot dezelfde sector: Landbouw, bosbouw en visserij.

Tabel 5.4. Input jaarlijkse opbrengsten gebruiksfuncties dubbele dijkenpolders (DD) Westerschelde.

Opbrengsten	Productie tegen basisprijzen		Opbrengstverlies landbouw		Netto opbrengst landbouw	
mln. Euro	Totaal	Totaal Generaal	non salinizatie	salinizati e	non salinizatie	salinizati e
DDvoedsel		242				
Recreatie	5					
Landbouw (incl. aquacultuur)	238		14	7	224	231
DD5050		168				
Recreatie	9					
Landbouw (incl. aquacultuur)	159		14	7	145	152
DDlandschap		93				
Recreatie	14					
Landbouw (incl. aquacultuur)	79		14	7	65	72

Dit zijn jaarlijkse opbrengsten van de nieuwe gebruiksfuncties in de dubbele dijkenpolders, gemiddeld over 60 jaar. Het scenario met de nadruk op zilte teelten en aquacultuur (DDvoedsel) levert de hoogste productiewaarden (omzet) op, gevolgd door een 50/50 gebruik met nieuwe landbouw en natuurrecreatie (DD5050), en ten slotte het inrichtingsscenario met de nadruk op natuurrecreatie (DDlandschap). De netto opbrengsten, waarbij de productiewaarde voor de landbouw is gecorrigeerd voor opbrengstverliezen als gevolg van de functiewijziging (met en zonder extra verzilting), vormen de input voor de berekening van de directe en indirecte economische effecten van de nieuwe gebruiksfuncties in de dubbele dijkenpolders in tabel 5.5.

De productiemultipliers zijn ook bij de opbrengsten gemiddeld groot, namelijk 1.51. De werkgelegenheidstoename varieert van 0.6% (bij DDlandschap) tot 1.3% (bij DDvoedsel). Niet alleen de omvang van de initiële sectoropbrengsten zelf maar ook de sectormix, en dus de gekozen gebiedsinrichting, zijn verantwoordelijk voor deze verschillen in regionale economische effecten.

Tabel 5.5. Economische effecten opbrengsten nieuwe gebruiksfuncties dubbele dijkenpolders (DD) Westerschelde

1e orde-effecten	Opbrengsten	Opbrengstverlies	
in mln. euro	Effect (per jaar)	Effect (per jaar)	
		non salinizatie	salinizatie
<u>DDvoedsel</u>			
Omzet	336	-21	-10
Toegevoegde waarde	167	-10	-5
Inkomens	36	-2	-1
Werkgelegenheid in fte	1835	-104	-50
<u>DD5050</u>			
Omzet	253	-21	-10
Toegevoegde waarde	115	-10	-5
Inkomens	26	-2	-1
Werkgelegenheid in fte	1310	-104	-50
<u>DDlandschap</u>			
Omzet	140	-21	-10
Toegevoegde waarde	64	-10	-5
Inkomens	17	-2	-1
Werkgelegenheid in fte	793	-104	-50

Opbrengstverlies bij bestaande gebruiksfuncties Westerschelde

Er is niet alleen sprake van nieuwe opbrengsten bij het inrichten van dubbele dijkenpolders langs de Westerschelde. Bestaande landbouwfuncties, met traditionele gewassen in de akkerbouw, zijn niet meer mogelijk. Dit verlies is afhankelijk van de verzilting geschat op een jaarlijks bedrag van € 7 tot 14 mln. Rekenen we dit verlies door in de gevolgen voor de rest van de economie, dan loopt dit op tot € 10 mln. resp. € 21 mln., vooral in de landbouw en de verwerkende industrie van voedings- en genotmiddelen. De werkgelegenheid daalt ook vooral in die twee sectoren. Maar het netto effect is zoals blijkt uit het verschil tussen de kolommen met opbrengsten en verliezen in tabel 5.5 ruim positief.

Toeristisch-recreatieve bestedingen in Zeeuwse natuurgebieden

Vervolgens zijn de toeristisch-recreatieve bestedingen in 13 geselecteerde natuurgebieden (Fig.5.1.) aan de kusten van Wester-en Oosterschelde berekend en geanalyseerd met behulp van het bezoekersonderzoek in de Zeeuwse natuurgebieden van NBTC-NIPO (2018) en de toeristisch-recreatieve overzichten van het Kenniscentrum Kusttoerisme voor 2017 en 2018. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen:

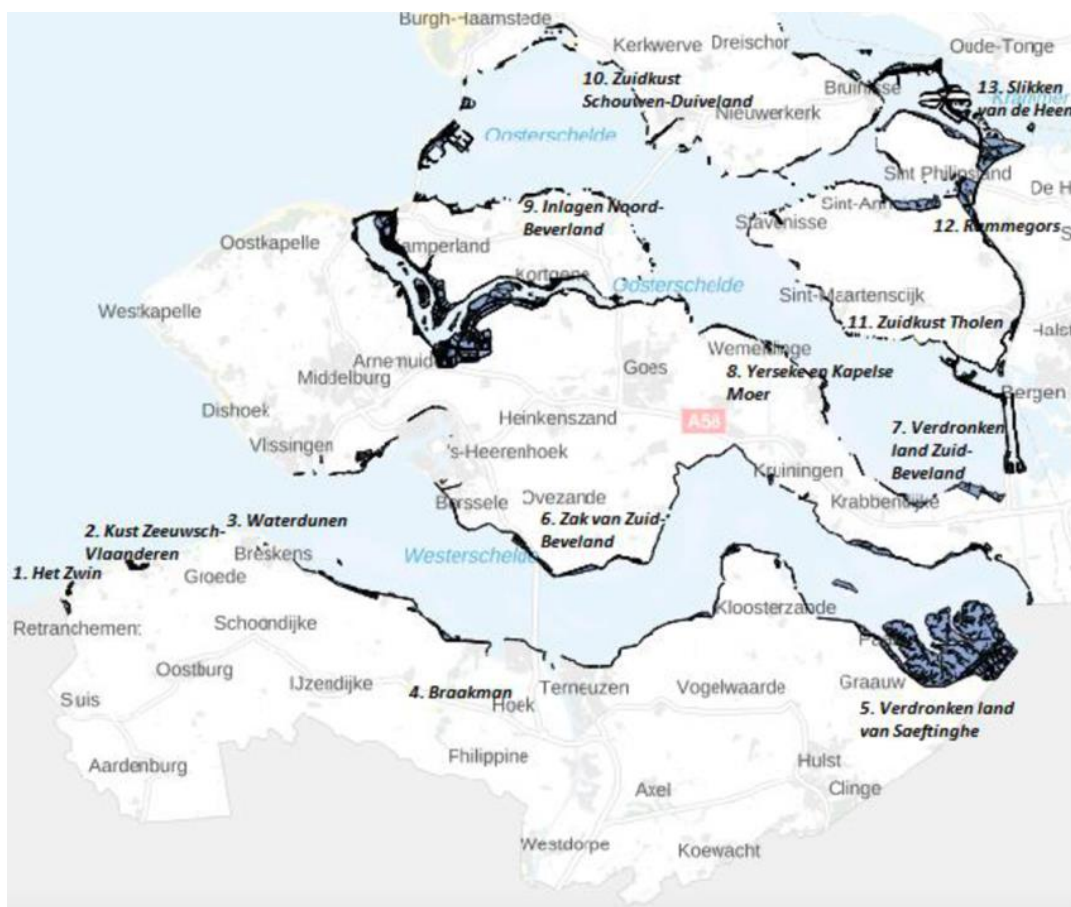
- dag- en verblijfsrecreanten,
- verblijfsrecreanten uit Nederland en uit het buitenland

- bestedingen in het natuurgebied zelf en voor (aan het bezoek van een natuurgebied toe te rekenen) logies in de nacht voor of na het bezoek aan het natuurgebied (alleen verblijfsrecreanten),
- bestedingen aan horeca (consumptie) en overige toeristisch-recreatieve bestedingen, zoals entreegelden en materiaalhuur (bijv. fietsen, boten).

Daarmee hebben we een referentiesituatie kunnen creëren naar:

- type natuurgebied met aantal unieke bezoekers, bezoekfrequentie, bezoek- en bezoekersdichtheid per ha,
- motief,
- ondernomen activiteiten,
- vervoermiddel, en
- herkomst (verblijfsrecreanten uit NL of buitenland, onderscheid dagrecreanten naar eigen gemeente en NL-provincie).

Voor 10 natuurgebieden (5 in Zeeuwsch-Vlaanderen, 5 in Overig Zeeland) hebben we alle bovenstaande informatie beschikbaar, voor 3 andere (allen in Overig Zeeland) alleen het aantal unieke bezoekers en de bezoekersdichtheid per ha. Het natuurgebied 'Inlagen Noord-Beveland' (gebied 9. aan de Oosterschelde, Fig. 5.1) is in het bijzonder interessant als referentie. Het gaat hierbij namelijk om een reeds bestaand natuurgebied tussen dubbele dijken.



Figuur 5.1. Geselecteerde natuurgebieden (13) langs Ooster- en Westerschelde.

De volgende toeristisch-recreatieve regioprofielen zijn op basis van de analyse van de natuurgebieden in de kuststroken te construeren (jaarcijfers september 2016-september 2017 en oktober 2017-oktober 2018) voor Zeeuwsch-Vlaanderen en voor Overig Zeeland (op basis van prijzen 2017):

	Zeeuwsch-Vlaanderen	Overig Zeeland
Bezoekers NL (totaal aantal)	777000	943000
-verblijfrecreatie	368050	334640
-dagrecreatie	408950	436360
bezoekfrequentie	3,09	3,26
Totaal aantal bezoeken	2,4 mln.	€3,2 mln.
-uit eigen gemeente	50%	49%
-uit Zeeland	65%	66%
Totaal oppervlakte geselecteerde natuurgebieden	5068 ha	16377 ha
Unieke bezoekers	153 per ha	58 per ha
Bezoekers	473 per ha	208 per ha
Besteding per persoon tijdens bezoek in natuurgebied	€13,49 [€4,50 - €21,10]	€9,67 [€3,50 - €15,50]
Totaal bestedingen (aankooprijzen)	€32,4 mln., wv. €13,8 mln. In horeca (43%)	€29,7 mln., wv. €7,9 mln. In horeca (26%)
Verblijfsrecreatie uit buitenland (vooral Belgen en Duitsers) als unieke bezoekers	352200	320250
Bestedingen verblijfsrecreanten incl. bezoek natuurgebieden (2017/2018)	€43,7 mln.	€39,7 mln.
Berekende output natuurtoerisme m.b.v. regionale input-outputanalyse	€28 mln.	€27 mln.
Berekende toegevoegde waarde natuurtoerisme	€21 mln.	€20 mln.
Berekend inkomen uit natuurtoerisme	€12 mln.	€12 mln.
Berekende werkgelegenheid als gevolg van natuurtoerisme	473 fte	414 fte
Prognose aantal bezoeken (2050)	2,48 mln.	3,41 mln.
Prognose groei bestedingen dagrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 1 mln.	+ € 3 mln.
Prognose groei bestedingen verblijfsrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 1,6 mln.	+ € 4,4 mln.
Prognose groei werkgelegenheid in natuurtoerisme (2050)	+ 20 fte	+ 50 fte

Met behulp van de laatste PBL/CBS demografische prognose van de NL-provincies is de potentiële doelgroep voor natuurtoerisme in 2020-2030-2040-2050 in de twee Zeeuwse regio's bepaald, met als uitgangspunt de herkomstgegevens uit het bezoekersonderzoek van NBTC-NIPO. Daarna is de impact daarvan op de eerdergenoemde economische indicatoren output, toegevoegde waarde, inkomen en werkgelegenheid berekend.

Zoals al eerder aangegeven komt een aanzienlijk deel van de Nederlandse bezoekers van natuurgebieden uit de provincie Zeeland zelf, namelijk 65% (Zeeuws-Vlaanderen) en 66% (Overig Zeeland). Ook is in de natuurgebieden met in de nabijheid een grotere woonkern (Tholen, Schouwen-Duiveland, Sluis en Terneuzen) relatief veel bezoek afkomstig uit de directe omgeving, namelijk de eigen gemeente. De verwachting is dat de bevolking nog licht toeneemt tot 2040, maar daarna stabiliseert of zelfs iets krimpt. Natuurgebieden met relatief veel instroom van dag- en verblijfsrecreanten uit de provincies Zuid-Holland en Noord-Brabant hebben daar het minste last van, omdat de bevolking daar nog sterk toeneemt. Daarnaast blijft het zaak om voldoende verblijfsrecreanten uit het naburige buitenland (België en Duitsland) te blijven aantrekken, ook als vaste gast. Zij zorgen immers voor de meeste toeristisch-recreatieve bestedingen, ca. €60,- per dag (prijzen 2018).

Op grond van de demografische prognose en de huidige herkomstverdeling zou het aantal bezoeken van Nederlandse recreanten aan natuurgebieden in Zeeuws-Vlaanderen kunnen toenemen tot 2,48 mln. (2017: 2,40 mln.). Dit leidt tot een lichte toename van output, toegevoegde waarde en inkomen van afgerond €1 mln. euro (prijzen 2017) en werkgelegenheid (ca. 20 fte). De bestedingen van verblijfsrecreanten, incl. dagrecreatie in natuurgebied, zouden dan kunnen stijgen tot €45,3 mln. (2017/2018: €43,7 mln.)

In Overig Zeeland zien we een hogere groei als gevolg van de verwachte demografische ontwikkeling tot 2050. Het aantal bezoeken aan natuurgebieden in dit gebied groeit van 3,28 mln. (2017) naar 3,41 mln. in 2050. De output stijgt met €3 mln., de toegevoegde waarde en inkomen afgerond met €2 mln. (prijzen 2017) en de werkgelegenheid met ca. 50 fte. De bestedingen van verblijfsrecreanten, incl. dagrecreatie in natuurgebied, zouden dan kunnen stijgen tot €44,1 mln. (2017/2018: €39,7 mln.).

5.2. Haringvliet & Hollandsch diep (Zuid-Holland en Noord-Brabant)

Economische effecten met regionale input-outputanalyse

Constructie van regionale input-outputmodellen en scenario's

Met behulp van dezelfde nationale input-outputtabel (CBS, Nationale Rekeningen) zijn voor de deelregio's Groot-Rijnmond (onderdeel van provincie Zuid-Holland) en West-Brabant (onderdeel van provincie Noord-Brabant) regionale input-outputmodellen geconstrueerd, waarmee de economische effecten van verandering in productie/omzet in de landbouw en visserij, van investeringen in bouw en infrastructuur en van toeristisch-recreatieve bestedingen (consumptie) kunnen worden doorgerekend op de output/productie en de toegevoegde waarde van 20 economische sectoren en het bruto regionaal product, het inkomen (lonen en salarissen) en de werkgelegenheid in die regio's.

Er is gerekend met de scenario's die de inrichting van brede kustzones en nature-based kustverdediging door de aanleg van Dubbele Dijkenpolders langs het Haringvliet en Hollandsch Diep mogelijk maken (Fig. 4.4). Gecombineerd leidt dit tot een aantal mogelijke varianten. In deze doorrekening van de economische effecten houden we een zeespiegelstijging (SLR) aan van +1m in 2100. Bovendien wordt er met één implementatiesnelheid voor alle dubbele dijken scenario's gewerkt. Deze scenario's kennen een implementatieperiode van 40 jaar en een technische levensduur van 100 jaar. Daarbij wordt na 40 jaar rekening gehouden met een geleidelijke krimp van nat oppervlak en een geleidelijke groei van overwegend droog oppervlak door aanslibbing, met een aanlooperperiode van 5 jaar.

Het gaat daarbij om de volgende varianten met variatie in de oppervlakte van de ruimtelijke inrichting:

- DDvoedsel: 100% voedsel (aquacultuur)
- DDlandschap: 0% voedsel (natuur)

De regionale input-output tabellen en het daarvan afgeleide rekenmodel zijn bedoeld om inzicht te bieden in de bredere regionale economische effecten van investeringen in gebiedsinrichting en opbrengsten van potentiële gebruiksfuncties.

Het betreft net als bij de Wester- en Oosterschelde om de volgende aspecten:

1. Investerings in de aanleg van de dubbele dijkenpolders en het jaarlijkse onderhoud daarvan.
2. Opbrengsten van nieuwe gebruiksfuncties, in de vorm van recreatie, landbouw, en aquacultuur.

Deze dubbele dijken scenario's uit de combinatie met 40 jaar implementatie, 60 jaar onderhoud en opbrengsten, en 1 meter zeespiegelstijging zijn voor het Haringvliet en het Hollandsch Diep eveneens doorgerekend op hun regionale economische effecten.

In de opgestelde kosten-batenanalyse (hfst.4, tabel 4.2) voor dit gebied is toegewerkt naar een eindtotaal van die kosten van die investeringspakketten en het onderhoud over 100 jaar. In

totaal gaat het om investeringen in dubbele dijkenpolders van 1,213 mld. euro rond het Haringvliet (Zuid-Holland) en 249 mln. euro aan de zuidelijke oevers van het Hollandsch Diep (Noord-Brabant). In onze berekeningen is uitgegaan van een 40-jarige implementatietermijn voor de investeringen in dubbele dijkenpolders en van een bedrag voor jaarlijks onderhoud daarna (60 jaar). Alle investerings- en onderhoudskosten worden teruggerekend tot jaarlijkse bedragen om ze in het input-outputmodel met jaarcijfers door te kunnen rekenen.

Resultaten regionale input-outputanalyse

Investerings en onderhoud

De investeringen en het onderhoud geven een impuls aan de grond- weg- en waterbouw (gww) sector, een onderdeel van de bouwnijverheid. De productie van de bouwnijverheid wordt toegerekend aan de locatie waar de bouwwerkzaamheden worden uitgevoerd. Dat wil niet zeggen dat alleen bedrijven uit de regio's Groot-Rijnmond en West-Noord-Brabant bij de aanleg en onderhoud betrokken zijn. Wel kan worden geanalyseerd wat de investeringen voor de bouwnijverheid en andere bedrijfssectoren potentieel voor de economie van deze regio's zouden kunnen betekenen. Het gaat dan om de effecten op de productiewaarde (omzet), de toegevoegde waarde (afzet), de inkomens van werknemers (lonen en salarissen) en de werkgelegenheid (werkzame personen in fte). De resultaten van deze effecten van dubbele dijkenpolders (DD) voor beide regio's zijn weergegeven in Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario dubbele dijken (DD), prijzen 2017.

	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)		Noord-Brabant (West- Noord-Brabant)	
1e orde-effecten	SLR 1,0 m		SLR 1,0 m	
in mln. euro	Investerings	Effect (per jaar)	Investerings	Effect (per jaar)
<u>40 jaar</u>				
Omzet	30	53	6	10
Toegevoegde waarde		17		3
Inkomens		10		2
Werkgelegenheid in fte		212		45
<u>jaarlijks onderhoud</u>				
Omzet	106	187	27	47
Toegevoegde waarde		59		15
Inkomens		35		9
Werkgelegenheid in fte		747		205

Uit de resultaten blijkt dat de productiemultiplier (= extra omzet gedeeld door de investering) in Groot-Rijnmond 1.77 bedraagt, d.w.z. dat een investering van 1 mln. euro een extra omzet in deze regio op van 770.000 euro levert. In West-Noord-Brabant gaat het om een multiplier van 1.67. De jaarlijkse werkgelegenheid stijgt in vergelijking met het referentiejaar (2017) tijdens de uitvoeringsperiode met 0.04% (Groot-Rijnmond) en met 0.02% (West-Noord-Brabant). Het jaarlijkse onderhoud zorgt voor een werkgelegenheidsgroei van 0.12% (Groot-Rijnmond), respectievelijk 0.08% (West-Noord-Brabant). In absolute termen gaat om een toename van de werkgelegenheid in Groot-Rijnmond van 212 fte (als gevolg van investeringen, gemiddeld over 40 jaar) en 747 fte (als gevolg van jaarlijks onderhoud, gemiddeld over 60 jaar). Voor West-Noord-Brabant gaat het om respectievelijk 45 en 205 fte.

Vergelijkbaar zijn ook deze economische effecten voor de alternatieve scenario's zoals de dijkverhoging (CD) en overslagbestendige dijk (OD) berekend. De resultaten hiervan zijn eveneens in tabelvorm weergegeven, respectievelijk Tabel 5.7 en 5.8.

Tabel 5.7. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario dijkverhoging (CD), prijzen 2017.

	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)		Noord-Brabant (West-Noord-Brabant)	
1e orde-effecten	SLR 1,0 m		SLR 1,0 m	
in mln. euro	Investeringen	Effect (per jaar)	Investeringen	Effect (per jaar)
<u>100 jaar</u>				
Omzet	13	23	2	3
Toegevoegde waarde		7		1
Inkomens		4		1
Werkgelegenheid in fte		92		15
<u>jaarlijks onderhoud</u>				
Omzet	340	599	44	76
Toegevoegde waarde		191		24
Inkomens		111		14
Werkgelegenheid in fte		2,397		334

De gemiddelde economische effecten van de investeringen in dijkverhoging zijn kleiner dan bij de scenario's DD, maar groter bij het onderhoud. Daartegenover staan bij de scenario's DD opbrengsten uit de exploitatie van vrijkomend water en grond door nieuwe gebruiksfuncties, zoals (natuur)recreatie en landbouw, incl. aquacultuur.

Dezelfde vergelijking kunnen we maken bij de berekening van de effecten voor de overslagbestendige dijk. Het investeringsbedrag is ook hier lager dan bij de dubbele dijkpolders. Bij het onderhoud zijn de economische effecten kleiner dan bij de scenario's van de dijkverhoging en bij de dubbele dijkpolders. Ook bij de overslagbestendige dijken zijn geen additionele gebruiksfuncties voorzien.

Tabel 5.8. Economische effecten investeringen en onderhoud in scenario overslagbestendige dijk (OD), prijzen 2017.

	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)		Noord-Brabant (West-Noord-Brabant)	
1e orde-effecten	SLR 1,0 m		SLR 1,0 m	
in mln. euro	Investeringen	Effect (per jaar)	Investeringen	Effect (per jaar)
<u>100 jaar</u>				
Omzet	10	18	2	3
Toegevoegde waarde		6		1
Inkomens		3		1
Werkgelegenheid in fte		71		15
<u>jaarlijks onderhoud</u>				
Omzet	54	95	15	26
Toegevoegde waarde		30		8
Inkomens		18		5
Werkgelegenheid in fte		381		114

Opbrengsten nieuwe gebruiksfuncties

Hetzelfde type berekening, maar dan met jaarlijkse opbrengsten per sector, kan voor de varianten met de verschillende ruimtelijke inrichting (percentages 100% en 0% voedsel) worden uitgevoerd (Tabel 5.9 & 5.10). Hierin zijn drie sectoren onderscheiden die opbrengsten genereren als gevolg van de aanleg van dubbele dijkenpolders: recreatie, landbouw en aquacultuur. Landbouw en aquacultuur behoren in de regionale input-outputtabel tot dezelfde sector: Landbouw, bosbouw en visserij.

Tabel 5.9. Input jaarlijkse opbrengsten gebruiksfuncties dubbele dijkenpolders Haringvliet en Hollandsch Diep.

Opbrengsten	Productie tegen basisprijzen		Opbrengstverlies landbouw		Netto opbrengst	
	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)	Noord-Brabant (West-Noord-Brabant)	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)	Noord-Brabant (West-Noord-Brabant)	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)	Noord-Brabant (West-Noord-Brabant)
mln. euro						
DDvoedsel	368	51	1.63	0.22	366	51
DDlandschap	9	ntb	1.63	0.22	7	ntb

Tabel 5.10. Economische effecten opbrengsten nieuwe gebruiksfuncties en opbrengstenverlies landbouw in dubbele dijken scenario (DD) voor Haringvliet en Hollandsch Diep.

1e orde-effecten	Opbrengsten		Opbrengstverlies	
in mln. euro	Effect (per jaar)		Effect (per jaar)	
	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)	Noord- Brabant (West-Noord- Brabant)	Zuid-Holland (Groot-Rijnmond)	Noord-Brabant (West-Noord- Brabant)
<u>DDvoedsel</u>				
Omzet	617	81	-3	0
Toegevoegde waarde	382	34	-1	0
Inkomens	282	13	0	0
Werkgelegenheid in fte	2,572	366	-11	-2
<u>DDlandschap</u>				
Omzet	14	ntb	-3	0
Toegevoegde waarde	7		-1	0
Inkomens	3		0	0
Werkgelegenheid in fte	103		-11	-2

De productiemultipliers zijn ook bij de opbrengsten van DDvoedsel gemiddeld groot, namelijk 1.68 (Groot-Rijnmond) en 1.59 (West-Brabant). Bij DDlandschap loopt dit terug tot 1.56 (Groot-Rijnmond) en 1.00 (West-Brabant). De werkgelegenheidstoename varieert in Groot-Rijnmond van 0.02% (bij DDlandschap) tot 0.43% (bij DDvoedsel), in West-Brabant van 0.01% (bij DDvoedsel) tot 0.13% (bij DDlandschap). Niet alleen de omvang van de initiële sectoropbrengsten zelf maar ook de sectormix, en dus de gekozen gebiedsinrichting, zijn verantwoordelijk voor deze verschillen in regionale economische effecten.

Opbrengstverlies bij bestaande functies

Er is niet alleen sprake van nieuwe opbrengsten bij het inrichten van dubbele dijkenpolders langs Haringvliet en Hollandsch Diep. Bestaande landbouwfuncties, met traditionele gewassen in de akkerbouw, zijn niet meer mogelijk. Dit verlies is geschat op een jaarlijks bedrag van 0,22 (West-Noord-Brabant) tot 1,63 mln. euro (Groot-Rijnmond). Rekenen we dit verlies door in de gevolgen voor de rest van de economie, dan loopt dit op tot iets meer dan 0 resp. 3 mln. euro, alleen in de landbouw. De werkgelegenheid in de landbouw daalt hierdoor eveneens beperkt.

Analyse van toeristisch-recreatieve bestedingen in Zuid-Hollandse en West-Brabantse natuurgebieden langs Haringvliet en Hollandsch Diep

Vervolgens zijn de toeristisch-recreatieve bestedingen in 5 geselecteerde natuurgebieden (Fig. 5.4) aan de oevers van Haringvliet en Hollandsch Diep berekend en geanalyseerd met behulp van het bezoekersonderzoek in de Zuid-Hollandse natuurgebieden van NBTC-NIPO (2018) en het bezoekersonderzoek van VU/IVM in de zomer van 2018.



Figuur 5.4. Geselecteerde natuurgebieden (5) in het gebied van de Haringvliet en Hollandsch Diep.

Daarbij is onderscheid gemaakt tussen:

- dag- en verblijfsrecreanten,
- verblijfsrecreanten uit Nederland en uit het buitenland
- bestedingen in het natuurgebied zelf en voor (aan het bezoek van een natuurgebied toe te rekenen) logies in de nacht voor of na het bezoek aan het natuurgebied (alleen verblijfsrecreanten),
- bestedingen aan horeca (consumptie) en overige toeristisch-recreatieve bestedingen, zoals entreegelden en materiaalhuur (bijv. fietsen, boten).

Daarmee hebben we een referentiesituatie kunnen creëren naar:

- type natuurgebied met aantal unieke bezoekers, bezoekfrequentie, bezoek- en bezoekersdichtheid per ha,
- motief,
- ondernomen activiteiten,

- vervoermiddel, en
- herkomst (verblijfsrecreanten uit NL of buitenland, onderscheid dagrecreanten naar eigen gemeente en NL-provincie).

Voor de 4 natuurgebieden in Zuid-Holland) hebben we bovenstaande informatie (alleen bezoekers uit NL) beschikbaar, voor de andere, oevers Hollandsch Diep in West-Brabant, alleen het aantal dag- en verblijfsrecreanten en hun toeristisch-recreatieve bestedingen (reis- en verblijfkosten en overige dagbestedingen).

De volgende toeristisch-recreatieve regioprofielen zijn daarmee voor de natuurgebieden in de oevergebieden te construeren (jaarcijfers september 2016-september 2017):

	Groot-Rijnmond (oevers Haringvliet)
Totaal aantal unieke bezoekers NL	365909
-verblijfrecreatie	87371
-dagrecreatie	278538
bezoekfrequentie	2,02
Totaal aantal bezoekers	739.705, wv 71% uit Zuid-Holland
Totaal oppervlakte geselecteerde natuurgebieden	3319 ha
Unieke bezoekers	110 per ha
Bezoekers	223 per ha
Besteedingen per persoon in natuurgebied zelf	€10,18 [€2,50 - €11,80]
Totaal bestedingen (aankooprijzen)	€7,5 mln., wv., €2,9 mln. In horeca (26%)
Berekende output natuurtoerisme m.b.v. regionale input-outputanalyse	€8 mln.
Berekende toegevoegde waarde natuurtoerisme	€5 mln.
Berekend inkomen uit natuurtoerisme	€2 mln.
Berekende werkgelegenheid als gevolg van natuurtoerisme	79 fte
Prognose aantal bezoeken (2050)	0,84 mln.
Prognose groei bestedingen dagrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 9 mln.
Prognose groei bestedingen NL verblijfsrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 1 mln.
Prognose groei werkgelegenheid in natuurtoerisme (2050)	+ 90 fte

En voor de oevers van het Hollandsch Diep bij Willemstad met behulp van het bezoekersonderzoek van VU/IVM (2018):

	West-Brabant (Oevers Hollandsch Diep bij Willemstad)
Totaal aantal respondenten	44
-verblijfrecreatie	11
-dagrecreatie	33
bezoekfrequentie	5,93
Totaal aantal bezoekers	366.000
Bestedingen per persoon per dag/nacht (verblijfsrecreanten)	€16,97 (+reiskosten €9,02 + verblijfkosten €7,09)
Totaal bestedingen (aankooprijzen)	€4,7 mln.
Berekende output natuurtoerisme m.b.v. regionale input-outputanalyse	€5 mln.
Berekende toegevoegde waarde natuurtoerisme	€3 mln.
Berekend inkomen uit natuurtoerisme	€1 mln.
Berekende werkgelegenheid als gevolg van natuurtoerisme	54 fte
Prognose aantal bezoeken (2050)	2,33 mln.
Prognose groei bestedingen dagrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 5 mln.
Prognose groei bestedingen NL verblijfsrecreanten (2050), prijsniveau 2017	+ € 1,1 mln.
Prognose groei werkgelegenheid in natuurtoerisme (2050)	+ 58 fte

5.2.3. Bepaling van de potentiële doelgroep voor natuurtoerisme 2017-2050

Met behulp van de laatste PBL/CBS demografische prognose van de NL-provincies is de potentiële doelgroep voor natuurtoerisme in 2020-2030-2040-2050 in de twee deelgebieden bepaald, met als uitgangspunt de herkomstgegevens uit de bezoekersonderzoeken van NBTC-NIPO (2017) en VU/IVM (2018). Daarna is de impact daarvan op de eerdergenoemde economische indicatoren output, toegevoegde waarde, inkomen en werkgelegenheid berekend.

Deelgebied Haringvliet

In dit deelgebied zien we vooral een toename van recreanten vanuit de provincies Zuid-Holland en Noord-Brabant als gevolg van de verwachte demografische ontwikkeling tot 2050. Het aantal bezoeken aan natuurgebieden in dit gebied groeit van 0,75 mln. (2017) naar 0,84 mln.

in 2050. De output stijgt naar € 9 mln., de toegevoegde waarde naar € 5 mln., het inkomen naar € 3 mln. (prijzen 2017) en de werkgelegenheid met ca. 90 fte. De bestedingen van NL-verblijfsrecreanten, incl. dagrecreatie in natuurgebied, zouden dan kunnen stijgen tot € 8,6 mln. (2017: € 7,6 mln.).

Deelgebied Hollandsch Diep

In dit deelgebied zien we vooral een toename van recreanten uit West-Brabant zelf en uit aangrenzende gebieden in de provincies Zuid-Holland (Zuidoost-Zuid-Holland en Groot-Rijnmond) en Noord-Brabant (Midden-Noord-Brabant) als gevolg van de verwachte demografische ontwikkeling tot 2050. Het aantal bezoeken aan natuurgebieden in dit gebied groeit van 2,17 mln. (2018) naar 2,33 mln. in 2050. De output stijgt met € 5 mln., de toegevoegde waarde met € 3 mln., het inkomen met € 2 mln. (prijzen 2017) en de werkgelegenheid met ca. 58 fte. De bestedingen van NL-verblijfsrecreanten, incl. dagrecreatie in natuurgebied, zouden dan kunnen stijgen tot € 8,5 mln. (2018: € 7,4 mln.).

6. Discussie & aanbevelingen

6.1. Resume

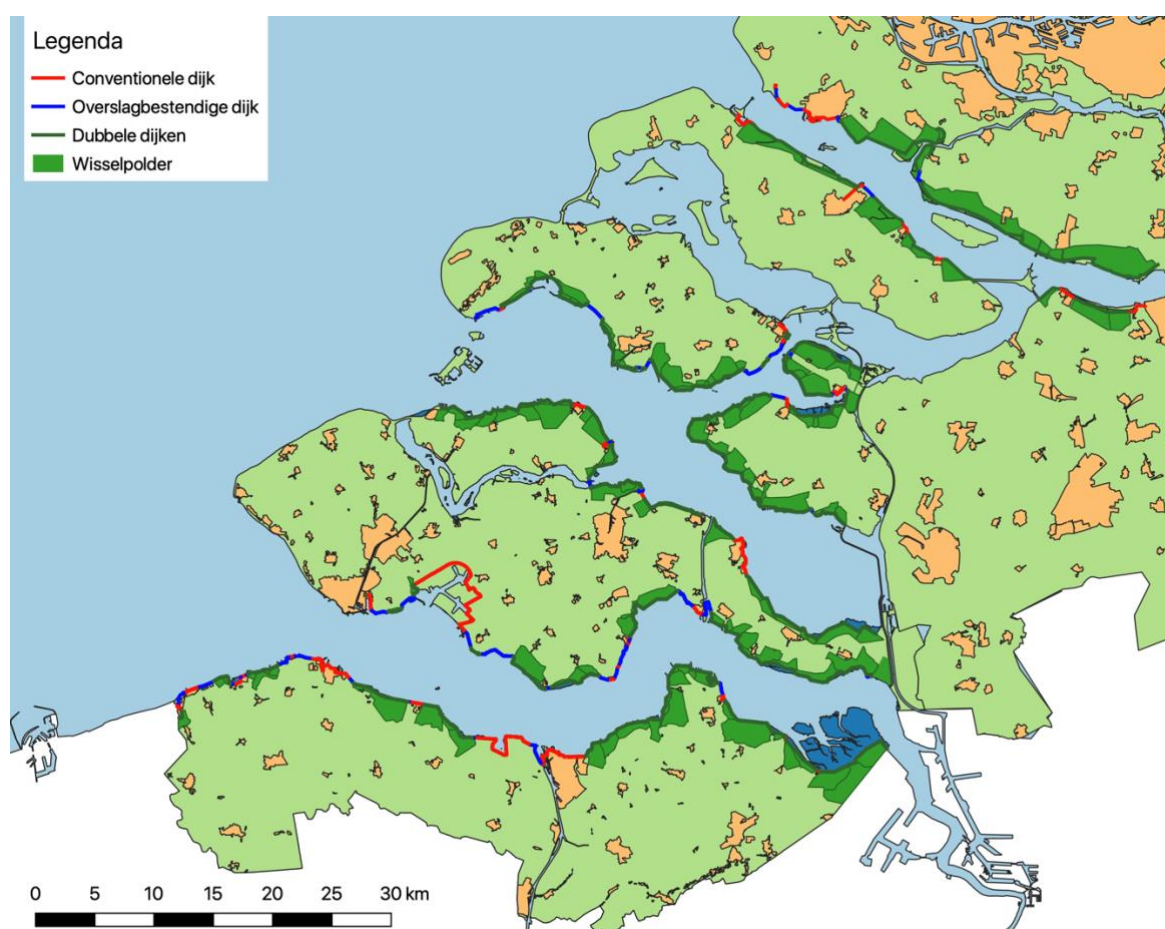
Met het oog op toekomstige ontwikkelingen van zeespiegelstijging en bodemdaling, is het goed om ons af te vragen of de huidige wijze met dijkophoging en versteviging de beste methode is om waterveiligheid en leefbaarheid voor de lange-termijn te handhaven. Doorgaan op de huidige weg wil namelijk zeggen dat dijken steeds breder en hoger moeten worden met als gevolg dat dijken steeds duurder worden, terwijl het achterliggende land verder verzilt. Nature-based Solutions (NbS), zoals de dubbele dijk met wisselpolder, zijn als mogelijke duurzame oplossingen naar voren geschoven (Zhu et al. 2020). De kosten en baten voor grootschalige implementatie van dergelijke NbS zijn tot dusver nog niet voor de Zuidwestelijke delta in kaart gebracht. In dit rapport hebben we drie scenario's voor het inrichten van de waterveiligheid ter vergelijking nader uitgewerkt om zowel de kosten en baten, en de economische impact van dubbele dijken met wisselpolders te vergelijken, nl.:

1. Doorgaan op huidige voet ('business as usual'):
Het blijven verhogen van de bestaande waterkering met verbredingen en verstevigingen waar dit nodig is om stabiliteit van de kering te waarborgen.
2. Ontwikkeling naar overslagbestendige kering:
Daar waar dit kan -plaatsen met voldoende ruimte en weinig bebouwing- wordt overgeschakeld op dijken die robuust zijn tegen een zekere mate van overslag.
3. Ontwikkeling van dubbele dijken als natuurlijk waterkerend landschap:
Daar waar dit kan -voldoende grote polder- wordt een tweede dijk landwaarts van de huidige dijk geplaatst of wordt een oude (slaper)dijk weer terug in gebruik genomen en opgewaardeerd.

Onze resultaten (zie overzicht van kostenbatenanalyse, Tabel 6.1) laten zien dat met alternatieve waterveiligheidsstrategieën, de overslagbestendige en dubbele dijken met wisselpolders, de kosten flink gereduceerd kunnen worden ten opzichte van business as usual. De dubbele dijken komen ondanks de hoge investeringskosten als meest kosteneffectieve optie uit de bus. De dubbele dijken leveren namelijk het grootste rendement op de investering. Dit komt vanwege de relatief lage onderhoudskosten, maar voor een belangrijk deel ook door de nieuwverworven functies voor alternatieve voedselproductie en economische activiteiten zoals recreatie en de aanverwante positieve indirecte economische effecten (zie overzicht van economische effecten op de omzet, Tabel 6.2). Daarnaast zal de implementatie van de dubbele dijken met wisselpolders naar verwachting ook een positief effect hebben op de toeristisch-recreatieve bestedingen in de hele Zuidwesterlijke delta (Tabel 6.3).

Tabel 6.1. Overzicht van de dubbele dijken met wisselpolders in de Zuidwestelijke delta.

	Westerschelde			Oosterschelde			Haringvliet		
Zeewaartse dijk	100 km			219 km			70 km		
Landwaartse dijk	177 km			208 km			87 km		
Wisselpolder	8240 ha			9460 ha			6830 ha		
Totale kosten (jaargemiddeld in mln.)	Totale kosten	Totale baten	Balans	Totale kosten	Totale baten	Balans	Totale kosten	Totale baten	Balans
Conventionele dijk (CV)	529	0	-529	[517 559]	0	[-559 -517]	401	0	-401
Overslagbestendige dijken (OD)	158	0	-158	[61 125]	0	[-125 61]	80	0	-80
Dubbele dijken (DD)	[260 267]	[9.3 24.3]	[-220 -167]	[168 179]	[11 186]	[-168 18]	102	[6 250]	[-96 148]



Figuur 6.1. Mogelijk scenario voor implementatie van dubbele dijken met wisselpolder van dubbele dijken in de Zuidwestelijke delta.

Tabel 6.2. Samenvattend overzicht economische effecten in de Zuidwestelijke delta, omzet in mln. euro (basisprijzen, prijsniveau 2017)

<i>Input/output</i>	Westerschelde en Oosterschelde	Haringvliet
<i>Investerings dubbele dijken (DD)</i>	[454 483]	63
<i>Onderhoud dubbele dijken (DD)</i>	12	234
<i>Opbrengsten nieuwe gebruiksfuncties dubbele dijken (DD)</i>	[140 366] ¹⁾	[16 698]
<i>Conventionele dijk (CV)</i>		
- <i>Investerings</i>	[70 150]	26
- <i>Onderhoud</i>	1.687	675
<i>Overslagbestendige dijken (OD)</i>		
- <i>Investerings</i>	[46 150]	21
- <i>Onderhoud</i>	322	121

¹⁾ Alleen Westerschelde

Tabel 6.3. Samenvatting prognose extra toeristisch-recreatieve bestedingen in de Zuidwestelijke delta als gevolg van aanleg dubbele dijken met wisselpolder (basisprijzen, prijsniveau 2017).

	2017	2050
<i>bezoekers (mln. per jaar)</i>	8,6	9,1 (+5,8%)
<i>bestedingen (mln.€ per jaar)</i>	98,4	106,5 (+8,2%)
<i>extra fte's</i>		218

Om de Zuidwestelijke delta (Fig.6.1), en mogelijke ook andere laaggelegen kustgebieden zoals de Waddenzeekust, te beschermen tegen zeespiegelstijging, is het verstandig om van de aanleg van een enkele dijk als waterkering het adaptatie pad naar brede natuurlijke waterkerende landschappen serieus te overwegen. Deze hybride landschappen die op ecosystemen gebaseerde benaderingen combineren met engineering, moeten worden geoptimaliseerd aan de specifieke lokale situatie, d.w.z. hybride waterkerende landschappen waar mogelijk en engineering waar het niet anders kan (Bouma et al., 2014; Stronkhorts & Lagendijk, 2012; Temmerman et al., 2013). Het gaat voor dit rapport te ver om alle lokale omstandigheden in detail mee te nemen; dit vergt verdere uitwerking. We hebben daarom ook een voorzichtige houding aangenomen ten aanzien van de gemaakte aannames in de kosten en baten. Maar zelfs als we van bescheiden inkomsten uitgaan, komen wij tot de conclusie dat de directe baten in het algemeen groter zijn dan de kosten ongeacht welk scenario voor zeespiegelstijging realiteit wordt.

Omdat de positieve bijdrage van de natuurlijke waterkerende landschappen maar beperkt afhankelijk is van de snelheid van zeespiegelstijging, hoeven we met implementatie van dubbele dijken met wisselpolders als oplossing niet te wachten tot er meer wetenschappelijke duidelijkheid is over de exacte toekomstscenario's. Het is in onze ogen zelfs onverstandig om grootschalige implementatie uit te stellen totdat er meer duidelijkheid is over het

zeespiegelscenario waar we in verkeren (Haasnoot et al., 2018, 2020). Want te lang wachten kan onze keuze voor een betaalbare en duurzame NbS oplossing voor kustverdediging ondergraven, omdat bodemophoging tijd nodig heeft.

6.2. Discussie

Kosten en houdbaarheid huidige aanpak en alternatieven

De houdbaarheid van de huidige aanpak ('business as usual') van het almaar ophogen van dijken lijkt in de tijd beperkt, wanneer de meer extreme zeespiegelscenario's werkelijkheid worden. Hoewel er tegenwoordig geen technische belemmeringen zijn om dijken en andere waterkeringen op te hogen zonder verlies aan stabiliteit, zit er een hoog prijskaartje aan het opwaarderen en onderhoud van dergelijke waterkeringen. In de uitgevoerde kosten-batenanalyse zijn de kosten voor 'business as usual' erg conservatief ingeschat. Zeker wanneer zeespiegelstijging sterker toeneemt dan het deltasceario nu nog inschat, want dan zijn extra maatregelen nodig voor het verbeteren van de stabiliteit van de waterkering. Deze extra kosten zijn niet in de kosten-batenanalyse meegenomen en geven daarom een onderschatting van de te maken kosten bij meer extreme scenario's voor zeespiegelstijging.

Wanneer we alleen naar de kosten kijken komt de overslagbestendige dijk als meest goedkope optie uit de vergelijking. Deze is goedkoop in aanleg en onderhoud, voornamelijk omdat een relatief kleine aanpassing van de huidige dijken nodig is (Silva & van Velzen, 2008). Immers is de benodigde kruinhoogte lager dan de huidige, waardoor de dijken nu nog extra hoogte hebben die benut kan worden om zeespiegelstijging het hoofd te bieden. De overslagbestendige dijk is daarmee een meer reële optie dan conventionele dijkverhogingen volgens 'business as usual'. Maar dit type dijken biedt naast waterveiligheid geen verder baten waarmee de kosten kunnen worden terugverdient. Daarnaast lost de overslagbestendige dijk, net als de conventionele dijken, het probleem van bodemdaling niet op. Bodemdaling zal op termijn voor een verdere destabilisering van de waterkeringen en uitdagingen van de zoetwaterhuishouding zorgen (Haasnoot et al., 2018). Hierdoor zullen dus extra kosten gemaakt gaan worden die op dit moment, net als bij de conventionele dijkverhogingen, niet in de kosten zijn meegenomen. Daarnaast is de schade die ontstaat wanneer zout water over de dijk komt ook niet meegenomen als onderdeel van de kosten. Voor beide scenario's wordt daarom een onderschatting van de werkelijke maatschappelijke kosten verwacht, zeker in het geval van versnelde zeespiegelstijging.

In de kosten-batenanalyse en doorrekening van de economische effecten zijn we ervanuit gegaan dat alle grond en onroerende goederen door de overheid moeten worden verworven. Dit maakt dat de initiële investeringen voor dubbele dijken met wisselpolders als hoogste van de drie scenario's wordt ingeschat. Dit is wederom een zeer conservatieve aanname wat de ingeschatte kosten hoger maakt dan waarschijnlijk in werkelijkheid nodig zullen zijn. Landeigenaren kunnen vrijwillig participeren in een grootschalige transformatie van het landgebruik. Het is dus geen uitgemaakte zaak dat de overheid al het land daadwerkelijk op grote schaal moet opkopen. Er kunnen mogelijk ook scenario's worden uitgewerkt waarbij het voor een landeigenaar met gronden die binnen de gemarkeerde gebieden vallen, aantrekkelijk is om zelf wisselpolders te exploiteren (zie volgende sectie). Daardoor kan waarschijnlijk nog een kostenreductie gemaakt worden van maximaal 3% op de initiële investeringskosten door grondverwerving. Wel zal bekeken moeten worden hoe dit goed binnen de wettelijk kaders ingepast kan worden en waar eventueel aanpassingen nodig zijn om rechten van alle betrokken partijen, inclusief de grondbezitters, goed te borgen. Deze optie is kansrijk, aangezien er in de

huidige situatie ook een deel van de waterkeringen in particulier bezit is, waarbij er afspraken met waterschappen zijn om de waterveiligheid en aanverwante zaken te garanderen.

Baten voor economie, natuur en landbouw

Nemen we de baten in de balans mee dan komen dubbele dijken met wisselpolders netto als meest betaalbaar scenario uit de vergelijking. Belangrijke bijkomende voordelen van dubbel dijken zijn dus de baten die door invulling van de wisselpolders een toegevoegde waarde vertegenwoordigen voor zowel economie en natuur. Omdat de wisselpolders tussen de twee dijken voor verschillende doeleinden kunnen worden geëxploiteerd is er een grote flexibiliteit om de inrichting per wisselpolder af te stemmen wat perspectief voor de grondeigenaren biedt. Daarbij denken we primair aan mogelijkheden voor aquacultuur en zilte teelt. Maar ook vanuit recreatie en toerisme zijn redelijke baten te verwachten al liggen die een factor tien lager dan baten uit aquacultuur. De recreatieve waarde van het landschap verbetert door de ontwikkeling van een divers landschap. Een groot deel van de regio kan daarvan meeprofiteren. Onze studie laat tevens zien dat er nog voldoende ruimte is voor ontwikkeling van zowel dag- als verblijfsrecreatie omdat regionale demografische ontwikkelingen en die van aangrenzende gebieden positief is. Een belangrijke voorwaarde is wel dat ondernemers de kans moeten krijgen om de nieuwe mogelijkheden te benutten.

De ramingen voor extra werkgelegenheid door de nieuwe gebruiksfuncties van de wisselpolders variëren van 793 tot 1835 fte, afhankelijk of respectievelijk voor een meer landschappelijke ontwikkeling met natuur dan wel voedselproductie doormiddel van aquacultuur en zilte teelt wordt gekozen. Daar staat tegenover dat er zo'n 50 tot 104 fte's verloren gaan in de traditionele akkerbouw. Maar de verloren fte's komen in vergelijkbare voedselverwerkende sectoren terug, waardoor er perspectief op werkgelegenheid blijft voor deze mensen. De werkgelegenheid (fte's) voor onderhoud en beheer van de dijken gaat wel flink naar beneden. Deels kunnen die opgevangen worden door de extra werkgelegenheid door de nieuwe gebruiksfuncties en de extra werkgelegenheid die wordt gecreëerd als gevolg van de aanleg van de dubbele dijken met wisselpolders. Maar op termijn, na afronding van de implementatie zal uiteindelijk minder werkgelegenheid over blijven. Dit is ingecalculeerd omdat de dubbele dijken naar verwachting minder onderhoud en beheer vergen en daarom komt deze kostenbesparing hier in de fte's tot uitdrukking.

Verder zal ook de water- en bodemkwaliteit door invangen van slib en nutriënten verbeteren. Binnen het kader van dit rapport voerde we geen uitvoerige analyse van de aanvullende effecten die wisselpolders hebben op de kwaliteit van water en bodem uit. Maar in potentie kunnen wisselpolders koolstof vastleggen en stikstof, fosfor en sediment uit de waterkolom verwijderen, zogenaamde regulerende ecosysteemdiensten (Temmerman et al., 2013). Deze effecten kunnen als aanvullende baten worden uitgedrukt. Boerema et al. (2018) geeft een indicatie voor de potentie voor het doorrekenen van deze aanvullende baten. Zij schatten dat na de aanleg van de Hedwige Prosperpolder de baten op gemiddeld €35.000 per ha per jaar uitkomen. Hierbij is een variatie tussen €20.000 en €80.000 per ha per jaar te verwachten die afhankelijk is van het successiestadium. Uit deze analyse blijkt verder dat de hoogste baten te behalen zijn wanneer de meeste opslibbing plaatsvindt. Ter vergelijking, de opbrengsten per hectare landbouwgrond liggen tussen de €3.500 en €6.000 voor traditionele akkerbouw gewassen (zie ook Appendix 2). Het is dus interessant om naast de baten die in deze rapportage meegenomen zijn aanvullend te kijken naar de waardering van en de baten uit de ecosysteemdiensten (Appendix 2) in een vervolgstudie.

De wisselpolders bieden ruimte voor de ontwikkeling van estuariene natuur en kunnen daarmee een belangrijke rol spelen bij het herstel van biodiversiteit. Deze waardevolle gebieden bevinden zich wereldwijd in een neerwaartse trend o.a. door zeespiegelstijging en veelal door menselijke ingrepen in de kustgebieden (Kirwan & Megonigal, 2013; Temmerman et al., 2013). In feite betekent de ontwikkeling van dubbele dijken dat het slikken- en schorrenareaal als integraal onderdeel van een natuurlijke waterkerende zone kunnen worden ontwikkeld wanneer (een deel van) de wisselpolders daarvoor worden ingezet. Dus herstel- en instandhoudingsdoelstellingen voor de Zuidwestelijke delta in het kader van Nature 2000 kunnen mede bepalen hoe de afweging tussen exploitatie en natuurontwikkeling in de wisselpolders wordt vormgegeven.

Een uitvoerige doorrekening van effecten van wisselpolders op de ontwikkeling van ecologische effecten en herstel- en instandhoudingsdoelstellingen lag niet binnen de scope van deze studie. Maar het is evident dat met wisselpolders positieve effecten op de biodiversiteit en de populaties en habitattypes kunnen worden behaald. Ontwikkeling van voldoende slikken- en schorrenareaal is van groot belang voor vogels die van deze habitats afhankelijk zijn (Benoit & Askins, 2002). Daarnaast fungeren deze gebieden als paaigronden voor verschillende vissen en schaaldieren welke voor de visserij commercieel interessant zijn. Het versterken van de biodiversiteit door aanleg van dubbele dijken met wisselpolder is dus essentieel voor het in stand houden van ecosystemen en het verbeteren van de leefomgeving.

Naast directe baten voor aquacultuur, recreatie en natuur zijn er op termijn ook duidelijk baten voor zoetwater gebonden landbouw te verwachten. Ten eerste wanneer de polder hoog genoeg is opgeslibd met vruchtbare zeeklei kan de wisselpolder zelf weer gaan functioneren voor hoogproductief agrarische gebied. Door de bres of doorlaat weer af te sluiten ontstaat binnen een paar jaar na sluiting weer een polder die minder/weinig last heeft van de kweldruk en waar de bodem is verbeterd (Wolff, 1992). Maar ook de aanliggende polders ondervinden mogelijk positieve effecten van het ophogen van de wisselpolder omdat het de kweldruk vermindert. En wanneer de bodem na een aantal decennia weer gedaald is en uitgeput kan de polder weer aangesloten worden met het estuarium, waardoor een circulaire en meer duurzame vorm van landgebruik ontstaat.

Aanvullend kunnen eventueel enkele van de wisselpolders zelfs (deels) dienen als klei wingebied, waarmee polders die niet voldoende (snel) kunnen opslibben opgehoogd kunnen worden. Dit is een vergelijkbaar idee als de kleirijperij in de Eems-Dollard (Elschot & Baptist, 2016). Wel moet opgemerkt worden, dat de Westerschelde niet de hypertroebele situatie kent zoals in de Eems-Dollard. Herverdeling van sediment uit de Westerschelde naar b.v. de Oosterschelde kan daarmee mogelijkheden op opslibben in de Westerschelde limiteren. Dus alvorens naar zulke oplossingen voor het ophogen van de polders langs de Oosterschelde wordt overgegaan is het belangrijk om een meer gedetailleerde analyse te doen van de sedimentbudgetten in de beide bekkens.

Tijdig implementeren levert de grootste voordelen

Belangrijk is dat met het dubbele dijk concept een voorschot genomen wordt op de lange termijn ontwikkelingen, zonder dat eerst duidelijk hoeft te zijn in welk zeespiegelstijging scenario we zitten (Haasnoot et al., 2018, 2020). Waarschijnlijk weten we omstreeks 2050 beter hoe de zeespiegel zich in de daaropvolgende decennia gaat ontwikkelen. Tot die tijd is de huidige ‘business as usual’ strategie zeker nog voldoende om de waterveiligheid te garanderen. Echter, om dubbele dijken als volwaardig alternatief van de huidige dijken te kunnen gebruiken is er tijd nodig om de wisselpolders voldoende op te laten slibben. Zelfs in het geval van de

Westerschelde, waar er voldoende sediment in het estuarium aanwezig is om wisselpolders met de huidige zeespiegel snel te laten opslibben, kan te lang uitstellen van implementatie van wisselpolders ervoor zorgen dat de wisselpolders onder de dan geldende zeespiegelstijging niet de gewenste maximale hoogte (d.w.z. gemiddeld hoog water) binnen een redelijke tijd bereiken. Dit komt doordat de polders over 30 à 40 jaar, al verder onder gedaald zijn en dus extra moet opslibben. Te lang uitstellen van de implementatie van wisselpolders kan er daarom toe leiden dat er mogelijk meer kosten gemaakt moeten worden om het systeem op het gewenste veiligheidsniveau te brengen waarmee de voordelen voor een deel kunnen worden verspeeld.

Noodzaak tot uitwerken van toetsing dubbele dijken aan richtlijnen Waterwet

Een belangrijk aspect dat verder zal moeten worden uitgewerkt in toekomstige studies is hoe de dubbele dijken in meer detail ontworpen dienen te worden om aan de richtlijnen van de Waterwet te voldoen. We weten uit voorgaand onderzoek dat een begroeid voorland (schor/kwelder) voor de dijk een stabiliserende werking heeft (Zhu et al. 2020). De dijk achter het voorland hoeft minder hoog en breed te zijn om dezelfde sterkte en effecten te hebben op waterveiligheid in vergelijking tot een zeedijk zonder een voorland. Ook in het geval er onverhoopt toch een dijkdoorbraak plaatsvindt zorgt het voorland ervoor dat de bresontwikkeling beperkt blijft en daarmee ook de instroom van water de polder in. Hierdoor is er meer tijd om de polder te evacueren. Deze voordelen zullen net zo blijven werken wanneer een voorland in een wisselpolder ontwikkeld, waarbij de landwaarts gelegen dijk de waterkerende dijk is (data cf. Zhu et al. 2020). Echter, er is nog betrekkelijk weinig kennis met betrekking tot deze specifieke configuratie van dubbele dijken op faalmechanismen, zoals macrostabiliteit, afschuiving en piping. Het zou daarom goed zijn om die facetten verder te onderzoeken, om zo duidelijkheid te krijgen over alle (veiligheids)aspecten. Mogelijk komen uit dat onderzoek nadere specificaties waar dubbele dijken zonder problemen kunnen worden toegepast en waar eventueel aanvullende harde maatregelen nodig zijn. Maar ook hoe in sommige gevallen de natuurlijk ontwikkeling (vestiging schorrenvegetatie e.d.) kan worden gefaciliteerd door sturen van de sedimentatiesnelheden.

Draagvlak, mindset en verankering in wet- en regelgeving

Om dubbele dijken succesvol te implementeren is waarschijnlijk meer nodig dan een overtuigende kosten en baten afweging en gunstig geraamde economische effecten. Het is ons' inziens een belangrijke stap om de Zuidwestelijke delta veilig, welvarender en klimaatbestendig te maken. Maar de ontwikkelingen in de regio hebben laten zien dat ontpolderingsprojecten voor natuurcompensatie maatschappelijk zeer gevoelig kunnen liggen. Het is dus essentieel om goed uit te leggen dat we hier niet met natuurontwikkeling bezig zijn, maar met waterbouw voor waterveiligheid. Het gaat specifiek om, wat bekend onder de naam "Bouwen met de Natuur", als een civieltechnisch concept ontwikkeld is (van Slobbe et al., 2013). Daar komen wel belangrijke voordelen voor natuurontwikkeling uit voort, maar als neveneffect van een waterveiligheidsdoel voorop. Het zal tijd en aandacht kosten om de transitie te maken van een enkele smalle dijk naar een breed natuurlijk waterkerend dijkenlandschap. Daarvoor is draagkracht in de samenleving en participatie van stakeholders belangrijk. En dit begint bij een open discussie over de houdbaarheid van de huidige strategie op de lange termijn, en de alternatieven die we hebben.

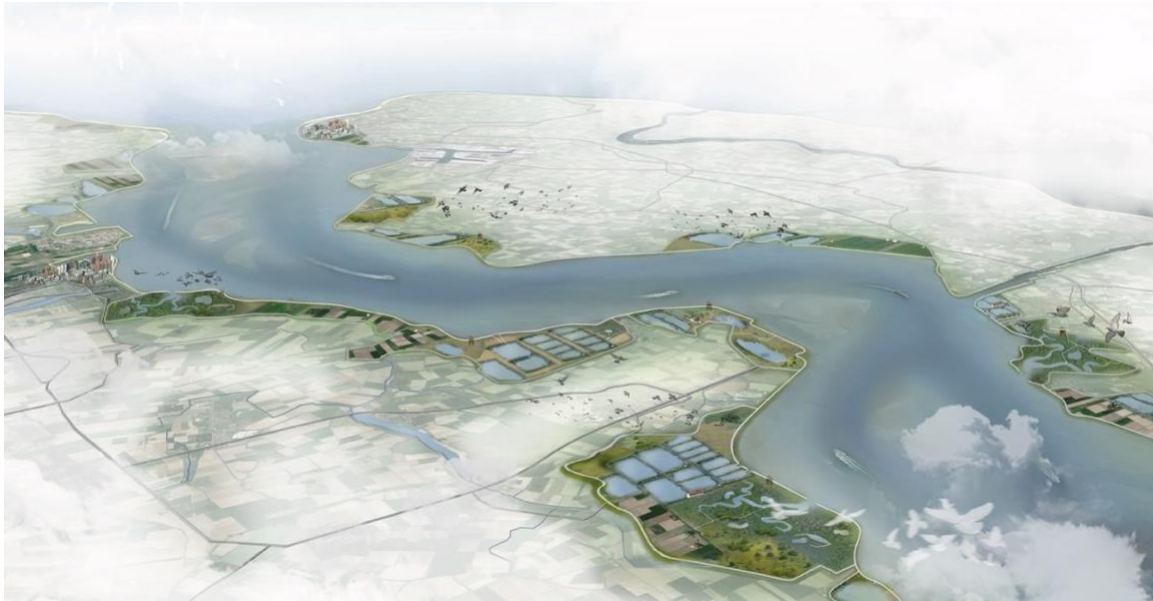
Belangrijk daarbij is ook om duidelijk de meerwaarde voor de ontwikkeling van aanvullende functies van dubbele dijken te onderstrepen. In de huidige situatie is het zeer beperkt toegestaan

dat dijken en andere zeeweringen meerdere functies vervullen. De waterkerende functie is de primaire en aanvullende (natuurlijke) functies worden vaak niet of in beperkte mate overwogen. Om de meerwaarde van dubbele dijken goed te kunnen benutten, is het belangrijk dat het natuurlijke waterkerende landschap voor meerdere functies gebruikt kan worden, door dit in wet- en regelgeving te faciliteren. Zo zal het dynamische karakter van de wisselpolder goed moeten worden geregeld zodat het b.v. mogelijk is om de polder een tijd als Natura 2000 gebied te laten fungeren, maar dat later - wanneer de bodem hoog genoeg is opgeslibd - datzelfde gebied zonder problemen weer terug als landbouwgrond in productie genomen kan worden. Over de tijd zal een dynamische patroon ontstaan waarbij verschillende landgebruiksfuncties (akkerbouw, aquacultuur, zilte teelten en natuur), elkaar afwisselen, in een decennialange cyclus (afhankelijk van de relatieve ophogingsnelheid). Om een dergelijke benadering mogelijk te maken moeten duidelijke afspraken, en waar nodig wettelijke kaders gemaakt worden, zodat voor ondernemers en grondeigenaren duidelijk is binnen welke mogelijkheden geopereerd kan worden en investeerders en ondernemers niet wegblijven. Tegelijkertijd zal geregeld moeten worden dat het netto areaal natuur uiteindelijk toe is genomen om aan de herstel en Nature 2000 doelstellingen te voldoen.

6.3. Aanbevelingen voor vervolgstappen

Het mag duidelijk zijn dat er veel aanknopingspunten zijn om dubbele dijken met wisselpolders als een serieuze duurzame optie voor de huidige inrichting voor waterveiligheid te kiezen. De kosten-baten analyse en de economische effecten zijn gunstig, zeker in het licht dat we conservatief zijn geweest in onze benadering en schattingen. Toch blijven er enkele belangrijke punten waarop verdere vervolgstappen noodzakelijk zijn. Veel van deze stappen zouden het best kunnen worden aangepakt binnen een te ontwikkelen onderzoeksprogramma waar specifiek verder onderzoek wordt gedaan naar de verschillende aspecten zoals eerder bediscussieerd:

- Toetsing ontwerp dubbele dijken aan richtlijnen Waterwet
 - Welke parameters zijn cruciaal om de dubbele dijken veilig te maken en te houden binnen de wetgeving
 - Waar kunnen dubbele dijken en waar zijn aanvullende harde maatregelen wenselijk?
- Onderzoek naar opbrengsten uit wisselpolders
 - Diverse opties voor aquacultuur en zilte teelt
 - Natuurontwikkeling in combinatie met toerisme
- Hoe kan bodemophoging worden gefaciliteerd met in achtname van de ecologische kwaliteit van de ontwikkeling van de wisselpolder, het estuarium en aanliggende gebieden.
 - Wat is de invloed van wisselpolders op de sedimentbalans binnen en buiten de wisselpolder?
 - Hoe beïnvloedt de ontwikkeling van de wisselpolder de verzilting in het gebied en hoe verhoudt dit zich tot doorgaan met de huidige praktijk?
- Hoe makkelijk kan een wisselpolder van estuariene natuur weer in productie genomen worden, en weer terug, en hoe groot zijn de kosten en baten voor het wisselen van landgebruik?
- Wat zijn de mogelijkheden voor het combineren van gebruik van wisselpolders (natuur, aquacultuur, zilte teelten, evt. winning slib), het toegankelijk en beleefbaar maken van de natuurlijke waterkerende landschappen en tegelijk ook ecologisch herstel en doelen uit Nature 2000 te halen.
- Hoe kunnen de economische kansen en baten helpen om draagvlak binnen de maatschappij en op bestuurlijk niveau te verkrijgen voor inrichting met dubbele dijken, en welke wettelijke aanpassingen zijn hierbij nodig.



Figuur 6.2. Artistieke impressie van een natuurlijke waterkerende zone met dubbele dijken en wisselpolders (illustratie: Defacto).

6.4. Conclusies

Het is van belang dat er snel gehandeld wordt en er keuzes gemaakt worden waarbij breder gekeken wordt dan alleen waterveiligheid. In het verleden waren rampen een belangrijke motivator om actie te ondernemen en de aanpak van waterkeringen te veranderen. Nu is er het vooruitzicht van een versnelde zeespiegelstijging en waterafvoer die kustgemeenschappen over de hele wereld dwingt om preventief maatregelen te overwegen om zich aan te passen aan wat er komen gaat. Maar onzekerheden over het tempo van de toekomstige klimaatverandering en de zeespiegelstijging maken het moeilijk om te voorzien welke maatregelen wanneer nodig zijn. Alleen wanneer we wachten tot de onzekerheden zijn weggewerkt, is de tijd te kort om tot een afgewogen en succesvolle implementatie van dubbele dijken met wisselpolders te komen. Het benutten van autonome, natuurlijke processen in de op ecosystemen gebaseerde benadering wordt dan namelijk steeds minder effectief, waardoor de totale kosten hoger worden. Onze analyse laat zien dat dubbele dijken direct als no-regret maatregel kan worden uitgevoerd op schaal van de gehele Zuidwestelijke delta mits sedimenttekorten kunnen worden opgelost. De investeringskosten mogen dan hoog zijn, maar door het herstel van natuurlijke processen ontstaat een breed waterkerend landschap dat het aangrenzende land veilig houdt en uiteindelijk goedkoper is in vergelijking met de conventionele aanpak van dijkverhogingen. Maar misschien nog wel belangrijker: De huidige aanpak waarbij we de dijken steeds verder verhogen wordt op termijn onhoudbaar door toenemende kosten voor het tegengaan van faalmechanismen. Dubbel dijken met wisselpolders zijn een volwaardig en veilig alternatief. De investeringskosten van de dubbele dijken zijn vergelijkbaar met die van de goedkopere overslagbestendige dijken. Maar door aanleg van dubbele dijken wordt het probleem van bodemdaling en effecten daarvan op o.a. faalmechanisme wel opgelost. De kwaliteit van het landschap wordt versterkt met verschillende natuurlijke en economische functies die de samenleving op verschillende terreinen welvarender en duurzamer maken voor deze en volgende generaties. Daarom is het van belang dat er snel gehandeld wordt voordat we deze kans verspelen door voortschrijdende bodemdaling en versnelde zeespiegelstijging.

Referenties

Literatuur

- Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R., & Nicolai, R. (2019). Zeespiegelmonitor 2018. De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.
- Balke, T., Stock, M., Jensen, K., Bouma, T. J., & Kleyer, M. (2016). A global analysis of the seaward salt marsh extent: The importance of tidal range. *Water Resources Research*, 52(5), 3775-3786.
- Benoit, L. K., & Askins, R. A. (2002). Relationship between habitat area and the distribution of tidal marsh birds. *The Wilson Journal of Ornithology*, 114(3), 314-323.
- Boerema, A., Geerts, L., Oosterlee, L., Temmerman, S., & Meire, P. (2016). Ecosystem service delivery in restoration projects: the effect of ecological succession on the benefits of tidal marsh restoration. *Ecology and Society*, 21(2).
- Borsje, B. W., van Wesenbeeck, B. K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T. J., van Katwijk, M. M., & de Vries, M. B. (2011). How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecological Engineering*, 37(2), 113-122.
- Bouma, T.J., Van Belzen, J., Balke, T., Zhu, Z., Airolidi, L., Blight, A.J., Davies, A.J., Galvan, C., Hawkins, S.J., Hoggart, S.P. & Lara, J.L., (2014). Identifying knowledge gaps hampering application of intertidal habitats in coastal protection: Opportunities & steps to take. *Coastal Engineering*, 87, 147-157.
- Broekx, S., Smets, S., Liekens, I., Bulckaen, D., & De Nocker, L. (2011). Designing a long-term flood risk management plan for the Scheldt estuary using a risk-based approach. *Natural hazards*, 57(2), 245-266.
- Bruil, D. W. (2008). Naar een nieuwe Deltawet.
- Canu, D. M., Ghermandi, A., Nunes, P. A., Lazzari, P., Cossarini, G., & Solidoro, C. (2015). Estimating the value of carbon sequestration ecosystem services in the Mediterranean Sea: An ecological economics approach. *Global Environmental Change*, 32, 87-95.
- Charlier, R. H., Chaineux, M. C. P., & Morcos, S. (2005). Panorama of the history of coastal protection. *Journal of Coastal Research*, 21(1 (211)), 79-111.
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L. and Hussain, S., & Van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem services*, 1(1), 50-61.
- De Haas, T., Pierik, H. J., Van der Spek, A. J. F., Cohen, K. M., Van Maanen, B., & Kleinhans, M. G. (2018). Holocene evolution of tidal systems in The Netherlands: Effects of rivers, coastal boundary conditions, eco-engineering species, inherited relief and human interference. *Earth-Science Reviews*, 177, 139-163.
- De Kraker, A. M. (2006). Flood events in the southwestern Netherlands and coastal Belgium, 1400–1953. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5), 913-929.
- De Louw, P. G., Essink, G. O., Stuyfzand, P. J., & Van der Zee, S. E. A. T. M. (2010). Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, the Netherlands. *Journal of Hydrology*, 394(3-4), 494-506.
- De Mesel, I. G., Ysebaert, T., & Kamermans, P. (2013). *Klimaatbestendige dijken: het concept wisselpolders* (No. C072/13). IMARES.
- De Ruig, J. H. M. (1998). Seaward coastal defence: limitations and possibilities. *Journal of coastal conservation*, 71-78.

- Elschot, K., & Baptist, M. J. (2016). *Pilot kleirijperij en klutenplas in de Dollardkwelders: een verkenning van de lokale natuurwaarden, dimensies van de klutenplas en verwachte korte-en lange-termijn effecten* (No. C101/16). Wageningen Marine Research.
- Essink, G. O. (2008). Impacts of climate change on the coastal groundwater systems in The Netherlands. *20th Salt Water Intrusion Meet., Naples, Florida, USA*, 178-181.
- Haasnoot, M., Bouwer, L., Diermanse, F., Kwadijk, J., Van der Spek, A., Essink, G.O., Delsman, J., Weiler, O., Mens, M., Ter Maat, J. & Huismans, Y., (2018). *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma: een verkenning*. Deltares.
- Haasnoot, M., Brown, S., Scussolini, P., Jimenez, J. A., Vafeidis, A. T., & Nicholls, R. J. (2019). Generic adaptation pathways for coastal archetypes under uncertain sea-level rise. *Environmental Research Communications*, 1(7), 071006.
- Haasnoot, M., Kwadijk, J., Van Alphen, J., Le Bars, D., van den Hurk, B., Diermanse, F., van der Spek, A., Essink, G.O., Delsman, J. & Mens, M., (2020). Adaptation to uncertain sea-level rise; how uncertainty in Antarctic mass-loss impacts the coastal adaptation strategy of the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034007.
- Hillen, M. M., Jonkman, S. N., Kanning, W., Kok, M., Geldenhuys, M. A., & Stive, M. J. F. (2010). Coastal defence cost estimates: Case study of the Netherlands, New Orleans and Vietnam. *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*, No. 2010-01.
- Hoefsloot, G., van der Jagt, H. A., & Van Duin, W. E. (2020). Blue Carbon in Nederlandse kwelders. *Kansen voor extra CO2 vastlegging in kwelders. Bureau Waardenburg, Culemborg*.
- Huizer, S., Luijendijk, A. P., Bierkens, M. F. P., & Essink, G. O. (2019). Global potential for the growth of fresh groundwater resources with large beach nourishments. *Scientific reports*, 9(1), 1-14.
- Jonkman, S. N., Hillen, M. M., Nicholls, R. J., Kanning, W., & van Ledden, M. (2013). Costs of adapting coastal defences to sea-level rise—new estimates and their implications. *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1212-1226.
- King, S. E., & Lester, J. N. (1995). The value of salt marsh as a sea defence. *Marine pollution bulletin*, 30(3), 180-189.
- Kirwan, M. L., & Megonigal, J. P. (2013). Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, 504(7478), 53-60.
- Knutson, T. R., McBride, J. L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K., & Sugi, M. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature geoscience*, 3(3), 157-163.
- Le Bars, D., Drijfhout, S., & de Vries, H. (2017). A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044013.
- Lin, N., Emanuel, K., Oppenheimer, M., & Vanmarcke, E. (2012). Physically based assessment of hurricane surge threat under climate change. *Nature Climate Change*, 2(6), 462-467.
- Ma, Z., Cai, Y., Li, B., & Chen, J. (2010). Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, 30(1), 15-27.
- Möller, I., Kudella, M., Rupprecht, F., Spencer, T., Paul, M., Van Wesenbeeck, B. K., ... & Schimmels, S. (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. *Nature Geoscience*, 7(10), 727-731.
- Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D., & Mitchum, G. T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(9), 2022-2025.

- Nicholls, R. J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., & Muir-Wood, R. (2007). Ranking of the world's cities most exposed to coastal flooding today and in the future. *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris*.
- Oosterlee, L., Cox, T. J., Temmerman, S., & Meire, P. (2020). Effects of tidal re-introduction design on sedimentation rates in previously embanked tidal marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 244, 106428.
- Oosterlee, L., Cox, T. J., Vandenbruwaene, W., Maris, T., Temmerman, S., & Meire, P. (2018). Tidal marsh restoration design affects feedbacks between inundation and elevation change. *Estuaries and coasts*, 41(3), 613-625.
- Resio, D. T., & Westerink, J. J. (2008). Modeling the physics of storm surges. *Physics Today*, 61(9), 33.
- Schuerch, M., Spencer, T., Temmerman, S., Kirwan, M.L., Wolff, C., Lincke, D., McOwen, C.J., Pickering, M.D., Reef, R., Vafeidis, A.T. & Hinkel, J., (2018). Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature*, 561(7722), pp.231-234.
- Siemon, B., van Baaren, E., Dabekaussen, W., Delsman, J., Dubelaar, W., Karaoulis, M., & Steuer, A. (2019). Automatic identification of fresh-saline groundwater interfaces from airborne electromagnetic data in Zeeland, the Netherlands. *Near Surface Geophysics*, 17(1), 3-25.
- Silva, W., & Van Velzen, E. (2008). De dijk van de toekomst?: quick scan doorbraakvrije dijken. *uitgevoerd door Deltares, rapportnr. Q4558*. 32.
- Stonkhorst, J., & Lagendijk, O. (2012). Toekomstbestendige verharde zeeweringen. *rapport 1206188-000-VEB-0009 in opdracht van Rijkswaterstaat, waterdienst*.
- Syvitski, J. P., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681-686.
- Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S., & Meire, P. (2004). Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. *Marine Geology*, 212(1-4), 1-19.
- Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M., Ysebaert, T., & De Vriend, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79-83.
- Teunis, M., & Didderen, K. (2018). Blue Carbon in Nederlandse kwelders. *Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten. Bureau Waardenburg Rapportnr*, 18-301.
- van Baars, S., & Van Kempen, I. M. (2009). The causes and mechanisms of historical dike failures in the Netherlands. *E-Water journal*, 2009.
- van Belzen, J., Bouma, T. J., & Ysebaert, T. (2020). Blue Carbon in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. *NIOZ Report*, 3.
- van de Koppel, J. V. D., Wal, D. V. D., Bakker, J. P., & Herman, P. M. (2005). Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist*, 165(1), E1-E12.
- van Loon-Steensma, J. M., & Schelfhout, H. A. (2017a). Wide Green Dikes: A sustainable adaptation option with benefits for both nature and landscape values?. *Land Use Policy*, 63, 528-538.
- van Loon-Steensma, J. M., & Huiskes, R. (2017b). *Meer biodiversiteit met brede groene dijken?: een verkenning van de vegetatie op de Waddenzeedijken* (No. 2802). Wageningen Environmental Research.
- Van Slobbe, E., de Vriend, H. J., Aarninkhof, S., Lulofs, K., de Vries, M., & Dircke, P. (2013). Building with Nature: in search of resilient storm surge protection strategies. *Natural hazards*, 66(3), 1461-1480.
- Voosen, P. (2020). Seas are rising faster than ever. *Science*, doi:10.1126/science.abf7770

- Vuik, V., Borsje, B. W., Willemsen, P. W., & Jonkman, S. N. (2019a). Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. *Ocean & coastal management*, 171, 96-110.
- Vuik, V., Jonkman, S. N., Borsje, B. W., & Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. *Coastal engineering*, 116, 42-56.
- Vuik, V., Jonkman, S. N., Willemsen, P. W., Borsje, B. W., Janssen, S. K. H., Hermans, L. M., & Bouma, T. J. (2019b). Voorlanden voor hoogwaterbescherming. *H2O: tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer*.
- Wiersma, A., Tangelder, M., Brouwer, J., & Abma, R. (2014). *Sustainable scenarios for the Southwest Delta based on Building with Nature strategies* (No. 1202061-000). Deltares.
- Wolff, W. J. (1992). The end of a tradition: 1000 years of embankment and reclamation of wetlands in the Netherlands. *Ambio*, 287-291.
- Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., Jonkman, S.N., Temmerman, S. & Bouma, T.J., (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853-862.

Bronnen

- AHN3, voor bepalen bodemhoogte wisselpolders en dijken.
- BAG, Basisadministratie Adressen en Gebouwen, <https://bagviewer.kadaster.nl/>
- CBS, Nationale en regionale rekeningen 2017 (2019)
- CBS/WUR, Monetary valuation ecosystems (2020)
- FAO, Food en Agriculture Organization of the United Nations, www.fao.org
- Kenniscentrum Kusttoerisme, Kerncijfers vrijetijdseconomie en economische impact in Zeeland (2017 en 2018)
- NBTC/NIPO, Bezoek natuur- en recreatiegebieden in Zuid-Holland 2017 (2018)
- NBTC/NIPO, Bezoekersonderzoek natuurgebieden in Zeeland 2017 (2018)
- NCR knowledge base, <https://kbase.ncr-web.org/all-risk/nl/updates/wat-houdt-de-risicogebaseerde-benadering-in/>
- PBL/CBS, Regionale Bevolkingsprognoses 2020-2050 (2019)
- Planetcalc, Wave height statistical forecasting, <https://planetcalc.com/4442/>
- Rienstra/RIOT, Regionale input-outputtabellen 2017 (2020)
- RVO, pachtnormen en pacht prijzen, <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/grond/pachten-en-verpachten/pachtnormen-en-pachtprijzen-berekenen>
- VU/IVM, Bezoekersonderzoek Hollandsch Diep 2018, omgeving Willemstad
- Waterinfo (RWS), informatie over gehalte zwevende stof (SSC) en waterstanden zijn op basis van open RWS data bepaald (waterinfo.rws.nl).

Appendix 1: Aanpak kosten-baten-analyse

A.1.1 Modeloverzicht

Het rekenmodel heeft tot doel de kosten en baten in te schatten van grootschalige implementatie van dubbel dijken met wisselpolders en deze te vergelijken met de twee alternatieven. Het rekenmodel maakt een inschatting van de benodigde initiële investeringen en onderhoudskosten van de benodigde dijktypen, veranderingen in kosten en opbrengsten door getransformeerd landgebruik en mogelijke extra baten. De kosten bedragen de te maken kosten voor de aanwerving van grond en de huizen in de polders en de aanleg van waterkering en het jaarlijkse onderhoud en beheer. Door gebruik te maken van de historische dijken (slaperdijken) in het landschap kunnen mogelijke kostenbesparingen worden gerealiseerd, die in de berekeningen worden meegenomen. Door de aanleg van de dubbele dijken zal het landgebruik veranderen van voornamelijk een agrarische toepassing naar intergetijdennatuur of aquacultuur. De kosten en baten van deze transformatie van landgebruik worden geschat. Extra baten worden geschat voor de inkomsten uit recreatie en toerisme.

Overzicht kosten en baten

Hierbij een overzicht van de kosten en baten die worden meegenomen in de kostenbatenanalyse:

- Kosten
 - Investerings:
 - Land verwerving
 - Verwerving huizen en gebouwen
 - Landvoorbereiding (bijv. verwijdering van infrastructuur en huizen)
 - Aanleg kustverdedigingsconstructie
 - Onderhoud en beheer:
 - Kustverdedigingsstructuur
 - Landbouwverliezen door:
 - Verzilting
 - Herschikking van de kust
- Baten
 - Transformatie van landgebruik:
 - Aquacultuur "nat" - d.w.z. relatief laag in het intergetijdengebied
 - Scheldieren (kokkels, oester & mossels)
 - Polychaeten (wormen voor o.a. aas)
 - Aquacultuur "droog" - d.w.z. op hoge getijdengebieden en verzilte landbouwgrond
 - Zoute gewassen (zeekraal en aster)
 - Recreatie

Een meer gedetailleerde beschrijving van hoe deze kosten en baten worden berekend en op welke aannames deze berekeningen zijn gebaseerd, is te vinden in de model details.

Tijd en ruimteschalen van studiegebied

Welke polders kwalificeren als potentiële dubbele dijken wordt bepaald op de schaal van de gehele Zuidwestelijke delta. De resolutie van de hoogtekaarten die in de analyse worden

gebruikt, is 2 bij 2 meter. Kosten en baten worden berekend voor een tijdvenster van 100 jaar met tijdstappen van een jaar. Er wordt gewerkt met een constante discontovoet van 4% (Broekx et al., 2011).

Inrichtingsscenario's voor kustverdediging

Kosten-batenanalyses worden vergeleken voor drie inrichtingsscenario's:

- Conventionele dijkverhoging (CD)
- Overslagbestendige dijken (OD)
- Dubbele dijken met wisselpolders (DD)

In het 'business-as-usual' -scenario (CD) worden de kosten en baten berekend van conventionele dijkverhogingen en -versterkingen om de kustverdediging op het vereiste veiligheidsniveau te houden. Dijkverhoging in stedelijke en industriële gebieden is duurder omdat versterking van de kering nodig is. Dure versterkingen zijn in het landelijk gebied niet nodig omdat meer ruimte kan worden benut om de tolerantie voor dynamische belasting van de dijk te verbeteren.

In het tweede scenario (OD) wordt de kustverdediging op basis van een nieuwe civieltechnische technieken ingericht, de 'overslagbestendige dijk'. Dit type dijk, dat bestand is tegen golfoverslag, kan lager blijven dan de conventionele dijk en is daardoor potentieel goedkoper, maar vereist een groter basisoppervlak om goed te functioneren (door een flauwer binnentalud') en vereist dus voldoende extra ruimte (meer dan 50 m). In stedelijk gebied worden conventionele dijkverhogingen met versterkingen doorgevoerd, zoals in (S1).

In het scenario met dubbele dijken en wisselpolders (DD) kan alleen bij voldoende ruimte de dubbel dijk en wisselpolder worden geïmplementeerd. Als uitvoering van de dubbele dijk wordt uitgesloten vanwege beperkte ruimte (minder dan 200m polder vanaf primaire dijk) wordt in plaats daarvan een overslagbestendige dijk geïmplementeerd (zoals in OD). In stedelijk gebied worden conventionele dijkverhogingen en -versterkingen, zoals in (CD), doorgevoerd. Door het gebruik van een polder voor het dubbeldijkensysteem wordt het landgebruik gewijzigd. Om rekening te houden met de voordelen van deze verandering in landgebruik van landbouw naar het nieuwe landgebruik, moet een evenwicht worden gevonden. We houden daarbij rekening met de landbouwverliezen als gevolg van aanhoudende verzilting van bouwland als er geen dubbele dijk met wisselpolder wordt geïmplementeerd. Voor het nieuwe landgebruik kijken we de opbrengsten uit aquacultuur voor laaggelegen polders.

Gegevens en bronnen

Een shapefile bestaande uit primaire en secundaire dijken, andere waterkeringen en verhoogde lijnelementen (d.w.z. verhoogde infrastructuur zoals treinsporen en wegen) werd aangeleverd door het waterschap Scheldestromen. De huidige hoogteverschillen van de polders en primaire en secundaire dijken worden gewonnen uit de AHN3 (Algemene Hoogtekaart Nederland) op basis van het shapefile voor polders en dijken aangeleverd door Scheldestromen.

Informatie over het aantal adressen (woningen en overige eigendommen) en het actuele landgebruik en prijzen zijn afkomstig van het CBS.

Om de huidige gemiddelde hoogwaterstanden (MHW) van verschillende stations langs estuaria te kennen, is gebruik gemaakt van gegevens van de waterbasis van Rijkswaterstaat. Deze informatie om de benodigde ontwerphoogtes voor de aangebrachte dijken te kennen. Om MHW-waarden te krijgen voor polders die zich tussen stations bevinden, worden deze verhogingen lineair geïnterpoleerd.

Kosten voor het aanleggen van nieuwe dijken, dijkonderhoud en dijkverhoging, het schoonmaken van het land (o.a. verwijderen van infrastructuur) zijn verzorgd door waterschap Scheldestromen, een onafhankelijke (anonieme) aannemer, evaluatie van geslaagde kustverdedigingsprojecten en verder literatuuronderzoek.

Verliezen en winsten door het omzetten van land van landbouw naar aquacultuur zijn gebaseerd op recente basisprijzen van de FAO (www.fao.org), een WUR-rapport over klimaatbestendige dijken (De Mesel et al., 2013) en aanvullend literatuuronderzoek.

Baten uit recreatie worden geschat op basis van de literatuur.

A.1.2 Model details

In deze paragraaf worden de berekeningen en aannames die zijn gebruikt voor de kosten-batenanalyses en de biogeomorfologische modelering in meer detail uiteengezet. Eerst wordt de methode voor het selecteren van de dijktypes en wisselpolders toegelicht. Deze sectie wordt gevolgd door een sectie over de modelering van de bodemdaling en opslibbing in de polders met behulp van het biogeomorfologische model. Als laatste is een sectie opgenomen met de methoden voor het inschatten en berekenen van de kosten en baten.

Selectie van dijken en polders voor implementatie van dubbele dijken en wisselpolder

Bij het inschatten van de kosten en baten is het eerst nodig om te beslissen welke polders potentieel kunnen worden omgevormd tot wisselpolder en waar welke dijktype langs de kustlijn kan worden geïmplementeerd (Fig.3.1), dat is: 1) de conventionele dijkverhoging (CD, 'business as usual'); 2) de overslagbestendige dijk (OD); en 3) dubbele dijken met wisselpolder (DD). Daarom werd een stapsgewijze benadering op basis van de opgestelde beslissingsboom gevolgd (Fig.3.2). De beslissing over welk dijktype waar wordt uitgevoerd, wordt bepaald op basis van de ruimte die beschikbaar is vanaf de kustlijn landwaarts. Alleen als er voldoende ruimte beschikbaar is, kunnen niet-conventionele dijkwerken worden gebouwd. Indien stedelijk of industrieel landgebruik direct grenst aan de kustlijn (<50m) is alleen dijkverhoging en daaruit voortvloeiende versterking een optie. Als er vervolgens minder dan 200 m beschikbaar is, kan er alleen gekozen worden voor de overslagbestendige dijk. Indien er meer dan 200 meter beschikbaar is, kan een dubbele dijk worden gerealiseerd. De landwaartse dijk van de dubbele dijk ligt echter op een maximale afstand van 2000 tot 2250 meter van de zeewaartse dijk. Alleen indien in dit bereik geen binnendijk aanwezig is, wordt een nieuwe dijk aangelegd.

Voor het opstellen en berekening van de andere inrichtingsscenario's doorlopen we de beslissingsboom (Fig.3.2) niet volledig. Dit betekent in het geval van inrichtingsscenario met de overslagbestendige dijk dat de kustlijn waar dubbele dijken mogelijk zijn nu met overslagbestendige dijken (OD) worden doorgerekend. In het geval van de 'business as usual' inrichtingsscenario berekenen we voor de gehele kustlijn de kosten voor dijkverhoging van de conventionele dijk (CD). In het laatste geval worden dijken altijd verhoogd, maar in landelijke gebieden waar meer dan 50 meter beschikbaar is zullen de kosten voor versterking van de dijken/waterkering in vergelijking tot stedelijk en industrieel gebied lager zijn (zie unitkosten in laatste sectie).

Indien een polder een wisselpolder wordt en dus onderdeel van een dubbel dijk, dan wordt het gewijzigde landgebruik in de kosten en baten meegenomen. Dus het verlies aan opbrengsten uit landbouw is meegenomen. Maar daar tegenover staan baten uit aquacultuur en zilte teelt. We gaan er namelijk vanuit dat wisselpolders kunnen worden gebruikt voor deze alternatieve vormen van voedselproductie. Wat mogelijk is in een wisselpolder, is afhankelijk van de hoogte en overstromingsduur (Fig.3.2). Lage wisselpolders die meer dan 30% van de tijd onder water staan, zijn geschikt voor 'natte' aquacultuurpraktijken zoals mossels, oester en wormen als aas. Zilte gewassen kunnen onder meer 'droge' omstandigheden worden verbouwd als het gebied minder dan 30% van de tijd onder water staat (De Mesel et al., 2013). Deze nieuwe manieren van landgebruik worden dus toegekend op basis van verwachte overstromingsduur aan de hand van de getijdenrange voor de zeewaartse dijk.

De bodemhoogte in de wisselpolders ontwikkeld in het model over de periode over 100 jaar als gevolg bodemdaling (compactie) en opslibbing (depositie). Opslibbing kan alleen plaatsvinden wanneer de polder gekoppeld is aan het estuarium. De simulatie start met alle polders afgesloten van het estuarium. Er is eerst een periode van 5 jaar waarin geen polder wordt aangesloten als een periode van voorbereiding. Vervolgens worden de polders in de 35 jaar erna in willekeurige volgorde gekoppeld aan het estuarium. Dit is op basis van een gepermuteerde volgorde lijst. Zodra een polder gekoppeld wordt vindt naast compactie ook depositie plaats. Depositie is een functie van de overstromingsduur en de aanwezigheid van schorrenbegroeiing.

De depositie wordt op een eenvoudige manier berekend op basis van aanwezige sediment in de waterkolom en de tijd die het krijgt om uit te zakken:

$$Depositie = k * ws * C * T$$

In deze vergelijking is: k = kalibratie parameter (0,05 zonder vegetatie [$>30\%$ overstromingsduur] / 0,085 met vegetatie [$<30\%$ overstromingsduur]); ws = valsnelheid ($4 \cdot 10^{-4}$ m/s); C = concentratie zwevende stof (mg/L, afhankelijk van de gemiddelde waarde in het estuarium, zie Temmerman et al., voor typische waarden langs de Westerschelde). T = is de inundatieduur (totaal aantal sec per getij).

De inundatieduur (T) is afhankelijk van de bodemhoogte (z) en de getijden range (Tr). We gaan daarbij uit dat de er een goede uitwisseling tussen estuarium en wisselpolder is waardoor de getijden range (Tr) die aan de zeewaartse kant van de dijk ook in de wisselpolder actief is. Zeespiegelstijging wordt meegenomen door voor steeds hoger posities een langere inundatieduur te berekenen. Een bodemhoogte die eerst te hoog is om door getij te overstroomd kan daardoor na verloop van tijd door zeespiegelstijging alsnog worden overstroomd. Natuurlijk kan ook door bodemdaling een eerst hoog gelegen bodem overstroomd raken.

De compactie snelheid waarmee de bodem inklinkt:

$$Compactie = d$$

Hier is d (2 mm/jaar) bepaald aan de hand de snelheid waarmee polders in Zeeland dalen na inpoldering. De hoogte van de dijken zakt ook met de compactiesnelheid d . Vervolgens kan de verandering in de bodemhoogte (z) worden bepaald:

$$dz = Depositie / \rho_b - Compactie$$

De bodemophoging is de depositie gedeeld door de dichtheid van het sediment (ρ_b).

De polders worden afzonderlijk gesimuleerd door elke tijdstap ($dt = 1/12$ jr) een polder uit de ranglijst af te werken. Elke polder is als een lijntransect gesimuleerd waarbij de initiële hoogtedistributie (in quantielen) in de polder op basis van de AHN3 is bepaald.

Rekenmethode meegenomen kosten en baten

Aankoop van grond en onroerend goed

Als de gebieden voor het implementeren van de dubbele dijken met wisselpolders zijn geïdentificeerd, is dat het totale oppervlak waar we vanuit gaan dat dit moet worden aangekocht. Het aantal de huizen en andere onroerende goederen, is bekend op basis van de adressen in de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG). De investeringskosten als gevolg van de aankoop van landbouwgrond, graslanden, woningen en gebouwen zijn meegenomen op basis van gemiddelde prijzen:

- Huizen en gebouwen €230.000 per adres
- Landbouw €65.000 per ha
- Grasland €55.000 per ha

We gaan er in de berekening van de kosten vanuit dat alle grond en daarop gelegen bebouwing moet worden opgekocht. Dit is een conservatieve benadering omdat er de mogelijkheid voor de huidige landeigenaren is om het land in eigendom te houden en te verpachten voor aquacultuur. Ook is het uitgeven van pachtcontracten een manier om het geld terug te verdienen voor de nieuwe eigenaar. We hebben deze pachtprizen niet meegenomen in de KBA omdat de uiteindelijke productieprizen een beter beeld geven van de potentiële baten (zie ‘Verlies van opbrengsten agricultuur en baten aquacultuur door verandering van landgebruik’).

Ter indicatie voor akkerbouwgebieden in de zuidwestelijke delta kan €315 per ha per jaar (regionormprizen 2019, RVO) als pacht opbrengen. Dit zijn de laagste normprizen in Nederland. Ter vergelijking brengt een vergelijkbare grond in de IJsselmeerpolder €1013 per ha per jaar aan pacht op. De regionormprijs voor de pacht is een goede indicatie van de te verwachten productieopbrengsten. Ook de verpachting van mosselpercelen met een normprijs van €555 per hectare per jaar is een stuk gunstiger.

Kosten dijken

De totale kosten voor een bepaalde dijktipe wordt bereken volgens:

$$\text{Kosten dijktipe (€/km)} = \text{Bouwkosten (€/km)} + \text{Tijd horizon} * \text{Onderhoudskosten (€/km/jaar)}$$

Voor elk inrichtingsscenario (CD, OD of DD) komen dan de totale kosten op:

$$\text{Totale kosten (€)} = \Sigma(\text{Lengte kustlijn (km)} * \text{kosten dijktipe (€/km)})$$

Over het algemeen zijn de kosten voor aanleg en onderhoud van een dijk afhankelijk van de gebruikte materialen en de ontwerpaanpassing die nodig is (verhoging). Bovendien worden dijken normaal ontworpen met oversterte om ervoor te zorgen dat limieten niet te makkelijk worden overschreden. In de KBA splitsen we de kosten van de dijken in de posten ‘investeringskosten’ en ‘onderhouden & beheer’. Hieronder volgt een meer gedetailleerde beschrijving over welke aannames zijn gemaakt om de dijkhoogten en kosten te berekenen.

Kruinhoogte van dijken

De kruinhoogtes verschillen per dijktipe (Fig.2.6). Huidige kruinhoogtes (CD) van waaruit gestart wordt welke aanpassingen nodig zijn worden vanuit de AHN3 bepaald.

De kruinhoogte (DH) van een conventionele dijk wordt bepaald door de 1) de waterkerende hoogte ofwel de ontwerphoogte voor maatgevende waterstanden (b.v. kans op voorkomen van 1:4000) en daar bovenop 2) een extra hoogte (vrijboord) om overslag door de golfploop binnen gestelde limieten te houden. Golfploop is een functie van de golfhoogte, diepte voor de dijk, vooroever en talud. Een dijk in een beschutte kustlijn heeft dus een lagere ontwerphoogte dan een dijk in een blootgestelde. Bovendien kunnen dijken met een hoge vooroever, b.v. door de aanwezigheid van een schor lager worden aangelegd. Deze factoren worden (deels) meegenomen bij de schatting van de aanleg- en onderhoudskosten voor de verschillende dijktypen die in deze KBA worden overwogen.

De kruinhoogte van de conventionele dijk (DH, typisch 9 – 10 m NAP) is een optelsom van de waterkerende hoogte bij ontwerphoogte (maatgevend hoog water = MHW, typisch 5,5 m NAP) met daarbovenop een extra vrijboord om golfoverslag door golfploop te voorkomen (Jonkman et al., 2013):

$$DH (m) = MHW (m) + Golfploop (m)$$

In het specifieke geval van de KBA voor de Oosterschelde maken we onderscheid tussen een situatie met stormvloedkering (SVK) en zonder. Wanneer de SVK afwezig is zal de benodigde ontwerphoogte hoger zijn, we gaan uit van: $MHW + 2$.

Voor een overslagbestendige dijk (OD) als ook de zeewaartse dijk van de dubbele dijk (DD) gaan we ervan uit dat er geen vrijboord voor golfoverslag nodig is (dus $DH = MHW$). Maar de ontwerphoogte voor de OD (en zeewaartse dijk DD) is wel een factor 100 strenger (bv. 1:4.000 wordt het dan 1:400.000). Als we de ontwerphoogte baseren op de huidige dijkhoogte ($MHW(1)$) dan wordt de nieuwe ontwerphoogte, op basis van terugkeertijd waterstanden aan monding Schelde (Haasnoot et al., 2018): $MHW(0,01) = MHW(1) + (-0,73 \cdot \log_{10}(1/100))$.

De ontwerphoogte van de landwaartse dijk is gelijk aan de ontwerphoogte van de conventionele dijk maar voor de kruinhoogte wordt een extra vrijboord van 0,5m ingecalculeerd (zie meer detail hieronder):

$$DH (m) = MHW (m) + 0,5 (m)$$

Factor dijkverhoging om zeespiegelstijging en bodemdaling te compenseren

Omdat de kruinhoogte voor een groot deel bepaald wordt door vrijboord om golfoverslag door golfploop te voorkomen neemt de kruinhoogte niet evenredig toe met zeespiegelstijging (SLR) (Jonkman et al., 2013). Doordat de waterdiepte voor de dijk toeneemt als gevolg van zeespiegelstijging neemt ook de golfhoogte waar de dijk aan blootgesteld is toe. Wanneer de waterdiepte even sterk toeneemt als de zeespiegel dan is de verhoging die nodig is om golfploop op hetzelfde overslagniveau te houden een factor 2 met zeespiegelstijging ($\Delta DH \approx 2\Delta SLR$) (Jonkman et al., 2013). In realiteit zal de waterdiepte niet zo sterk toenemen door o.a. suppleties van het kusbundament en aanpassingen van het voorland. In de berekeningen die hieronder volgen is de verhogingsfactor (I) voor de zeewaartse dijk gekozen van 1,55 (Jonkman et al., 2013). Wanneer er een voorland voor de dijk ligt welke meebeweegt met de zeespiegel, dan neemt de waterdiepte voor de dijk dus niet toe en is de verhoogfactor gelijk aan 1. Om de berekeningen simpel te houden is er niet gekeken naar de voorlanden die momenteel eventueel aanwezig zijn bij de zeewaartse dijken (zowel CD, OD en DD). In het geval van de dubbele dijk gaan we er wel vanuit dat de landwaartse dijk verhoogd wordt met een factor 1 omdat deze dijk voordelen heeft van de specifieke configuratie. De golven in de wisselpolder zullen beperkt blijven omdat golfopbouw beperkt is door beperkte fetch (strijk lengte, afstand tussen

zeewaartse en landwaartse dijk is tussen de 0,2 en 2 km). Golfhoogte (GH) zal niet hoger zijn dan 0,3 m (Planetcalc) waardoor de te verwacht golfoploop kleiner is dan 0,5 m:

$$\text{Golfoploop (m)} = GH (m) * 8 * 0,202$$

Daarnaast zal door de ontwikkeling van bodemhoogte in de wisselpolder de waterdiepte voor de landwaartse dijk afnemen en golven ook diepte gelimiteerd worden. Standaard wordt voor alle dijken daarom een default vrijboord van 0,5 m boven op de ontwerphoogte voor de waterkerende werking aangehouden, zoals eerder ook aangegeven voor de landwaartse dijk (DD).

$$\Delta DH (m) = I * \Delta SLR (m) \quad [min. 0,5 m]$$

Investeringskosten, onderhoud en beheer van dijken

In de KBA maken we onderscheid tussen de post ‘investeringskosten’ en ‘onderhoud & beheer’. De kosten die nodig zijn om de dijken aan te leggen of aan te passen, vallen onder de post investeringen waar ook de kosten voor het aanwerven van grond en onroerende goederen zijn opgenomen. Onderhoud en beheer van de dijken na aanleg zijn als aparte post in de KBA aangehouden. Effecten van zeespiegelstijging komen daardoor ook alleen terug in de extra investeringen die nodig zijn om de dijken op hoogte te houden en niet in het onderhoud en beheer.

Investeringskosten:

In het algemeen worden de totale investeringskosten worden berekend volgens:

$$\text{Bouwkosten (€)} = \text{Unitkosten (€/km/jr)} * \Delta DH * \text{Dijklengte (km)}$$

Daarbij zijn de unitkosten in Tabel A.1 gebruikt. Voor de conventionele dijkverhoging of versterkingen wordt onderscheid gemaakt in de unitkosten tussen de goedkopere dijken in landelijk gebied en verhogingen in bebouwd gebied die vaak veelal veel hoger uitpakken. Omdat de overslagbestendige dijk en de dubbele dijk niet van toepassing zijn in bebouwde gebieden is voor deze dijktypen dit onderscheid niet nodig.

Tabel A.1. Unitkosten dijktypen.

Conventionele dijk (CD)	gebruikt	min	max		Referentie
<u>Dijkverhoging/aanpassing:</u>					
Stedelijk/industrieel (<50 m)	18,95	13,8	23	10 ⁶ €/Δm/km	Hillen et al., 2010
Landelijk (>50 m)	8,4	4	13,8	10 ⁶ €/Δm/km	Hillen et al., 2010
<u>Dijkonderhoud en beheer</u>	0,1	0,063	0,1	10 ⁶ €/km/jr	Wiersema et al., 2014
Conventionele dijk (OD)					
<u>Dijkverhoging/aanpassing (>50 m)</u>	4,5	4,5	19	10 ⁶ €/Δm/km	Silva & van Velzen, 2008
<u>Dijkonderhoud en beheer</u>	300			€/km/jr	Wiersema et al., 2014
Dubbele dijken (DD)					

<u>Zeewaartse dijk:</u>					Jonkman et al., 2013; Silva & van Velzen, 2008
<i>Dijkverhoging/aanpassing</i>	4,5	4,5	19	10 ⁶ €/Δm/km	
<i>Dijkonderhoud en beheer</i>	300			€/km/jr	
<u>Landwaartse dijk:</u>					Jonkman et al., 2013
<i>Dijkverhoging/aanpassing</i>	3,8			10 ⁶ €/Δm/km	
<i>Dijkonderhoud en beheer</i>	3500			€/km/jr	

Geaccumuleerde onderhoud- en beheerkosten:

De totale onderhoud- en beheerkosten worden berekend over de gehele tijdshorizon:

$$\text{Total kosten (€)} = \text{Unitkosten (€/km/jr)} * \text{Dijklengte (km)} * \text{Tijdhorizon (jr)}$$

Zie unitkosten in Tabel A.1.

Verlies van opbrengsten agricultuur en baten aquacultuur door verandering van landgebruik

Om de verandering in de productiewaarde van de wisselpolder van landbouw naar aquacultuur te berekenen, wordt eerst de te verwachten gemiddelde productiewaarde voor agrarisch gebruik berekend. In deze schatting zijn de productieverliezen door verzilting meegenomen:

$$\text{Landbouwopbrengst (€/jr)} = (1 - \text{verziltingsfactor})$$

$$* \Sigma (\text{fractie gewas} * \text{opbrengst volume (kg/ha/jr)} * \text{marktprijs (€/kg)} * \text{landoppervlak (ha)})$$

We stellen het maximale effect van verzilting op 0,5 (verziltingsfactor), wat betekent dat de opbrengst wordt gehalveerd door indringing van zout water (Wolff, 1992). We geven een range voor het verlies door verandering van het landgebruik zonder effecten van verzilting (verziltingsfactor = 0). Maar omdat we geen goede schattingen hebben van ontwikkeling van de toekomstige waarden van deze factor en er veel variatie is tussen polders gebruiken we voorlopig een range van geen tot 50% verlies aan opbrengsten. In werkelijkheid zal naar verwachting deze factor in de tijd toenemen door bodemdaling van de polders en zeespiegelstijging. Zo is de verzilting op Schouwen-Duivenland mede door bodemdaling al vergevorderd en zijn de geschatte landbouwopbrengsten daar eerder een overschatting. De fracties (Tabel A.2) van het gewassen is gebaseerd op de huidige gemiddelde verdeling van de geteelde gewassen (Boerema et al., 2018). Opbrengsten uit landbouw komen daarmee uit op €758 tot €1515 per ha per jaar. Deze opbrengsten worden dus als een verliespost onder kosten ingeboekt.

Tabel A.2. Gemiddelde opbrengsten uit aquacultuur en zilte teelt (prijzen op basis FAO).

	Gemiddelde marktprijs	Opbrengst (volume)	Opbrengst	Verhouding
<i>Aardappelen</i>	€0,051/kg	40.000 kg/ha/jr	€2040/ha/jr	0,21
<i>Suikerbieten</i>	€0,037/kg	80.000 kg/ha/jr	€2960/ha/jr	0,11

<i>Graan</i>	€0,046/kg	9.500 kg/ha/jr	€437/ha/jr	0,2
<i>Mais</i>	€0,024/kg	35.000 kg/ha/jr	€840/ha/jr	0,2
<i>Groenten</i>	€0,049/kg	50.000 kg/ha/jr	€2450/ha/jr	0,12
<i>Andere</i>	€0,053/kg	25.000 kg/ha/jr	€1325/ha/jr	0,16

Bij het potentieel voor inkomsten (baten) uit aquacultuur richten we ons op de teelt van organismen die in de intergetijden kunnen voorkomen (De Mesel et al., 2013; Wiersema et al., 2014). Denk hierbij aan scheldieren (bv. kokkels, mosselen en oesters) en polychaeten (wormen) als aas- en eiwitbron in feed (voeder). Mogelijke inkomsten uit vis en zeewier worden niet in aanmerking genomen vanwege technische uitdagingen bij het implementeren van dergelijke aquacultuur in intergetijdengebieden. De opbrengsten worden op een vergelijkbare manier als de landbouwopbrengsten berekend:

$$\text{Aquacultuuropbrengsten (€)} = \Sigma (\text{fractie aquacultuur} \times \text{opbrengst (kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1})$$

$$* \text{ marktprijs (€ kg}^{-1}) * \text{ landoppervlak (ha)}$$

Welk type aquacultuur toegepast kan worden is afhankelijk van de overstromingsduur (hoogte van de wisselpolder) en het zoutgehalte (saliniteit). In onze berekeningen gaan we ervan uit dat schelpdieren en polychaeten alleen kunnen worden gekweekt als ze meer dan 30% van de tijd onder water staan ('natte' aquacultuur), terwijl zilte teelt kan worden bedreven bij een inundatietijd van minder dan 30% ('droge' aquacultuur). Verder kunnen scheldieren niet goed tegen te brakke condities, maar hebben wormen hier minder last van (afhankelijk van de gekozen soort).

Tabel A.3. Gemiddelde opbrengsten uit aquacultuur en zilte teelt (prijzen op basis FAO, De Mesel et al., 2013).

	Gemiddelde marktprijs	Opbrengst (volume)	Opbrengst	Verhouding [zout / brak]	Overstromingsduur
Schelpdieren (bv. oesters en mossels)	€1,20/kg	20.000 kg/ha/jr	€24.000/ha/jr	[0,5 / 0]	>30%
Polychaeten (wormen voor aas en feed)	€2,50/kg	11.000 kg/ha/jr	€27.500/ha/jr	[0,5 / 1]	>30%
Zilte teelt (bv. lamsoor en zee kraal)	€2,00/kg	12.000 kg/ha/jr	€24.000/ha/jr	[1 / 1]	<30%

Het verschil tussen opbrengsten uit landbouw en aquacultuur wordt, naast recreatie (zie hieronder) als belangrijkste baat van landtransformatie beschouwd en is substantieel (De Mesel et al., 2013; Wiersema et al., 2014). Hoewel de opbrengsten volume van de productie door aquacultuur lager zijn dan die van de landbouw, zijn de prijzen per kg veel hoger. Daarom wordt geschat dat een voordeel van € 22.500 tot € 26.700 per ha per jaar kan worden behaald vanwege deze transformatie naar aquacultuur en zilte teelt.

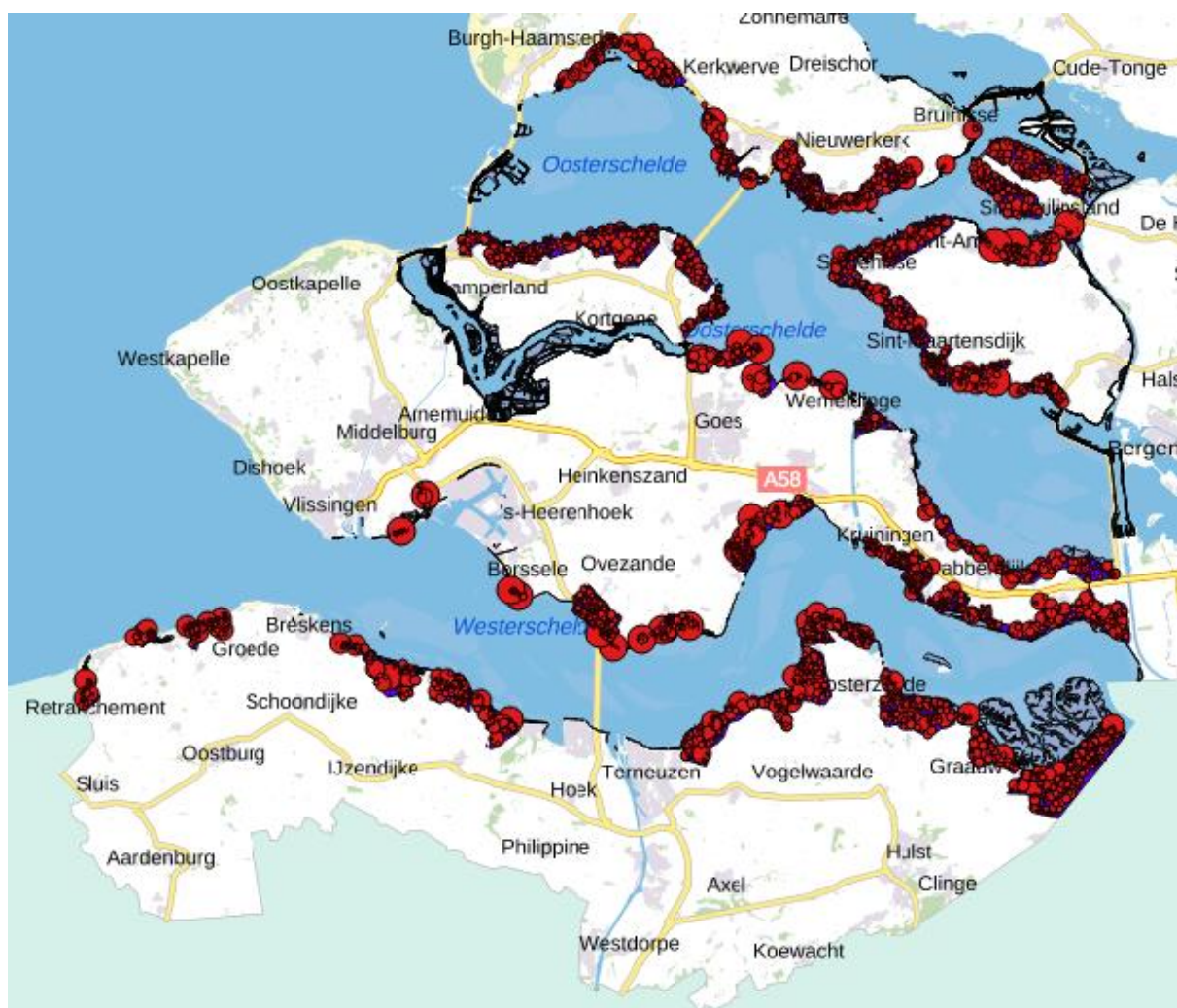
Recreatie

De meerwaarde door recreatief gebruik van het meer diverse en natuurlijke landschap met dubbele dijken en wisselpolder is berekend op basis van een recente studie waarin werd aangetoond dat een landschap met wetlands aan de kust \$2193/ha/jaar extra inkomen kan opleveren (De Groot et al., 2012). Dit is ongeveer €1975/ha/jaar. Dit is de waarde waarmee de meerwaarde van recreatie in alle wisselpolders wordt berekend. In het kader van de in onze studie uitgevoerde economische effecten als gevolg van extra toeristische-recreatieve

bestedingen komen we voor Zeeland zelf hoger uit (hoofdstuk 5). Maar in de KBA gebruiken we de lagere waarde uit de studie van De Groot et al. (2012) als conservatieve schatting van de baten uit recreatie.

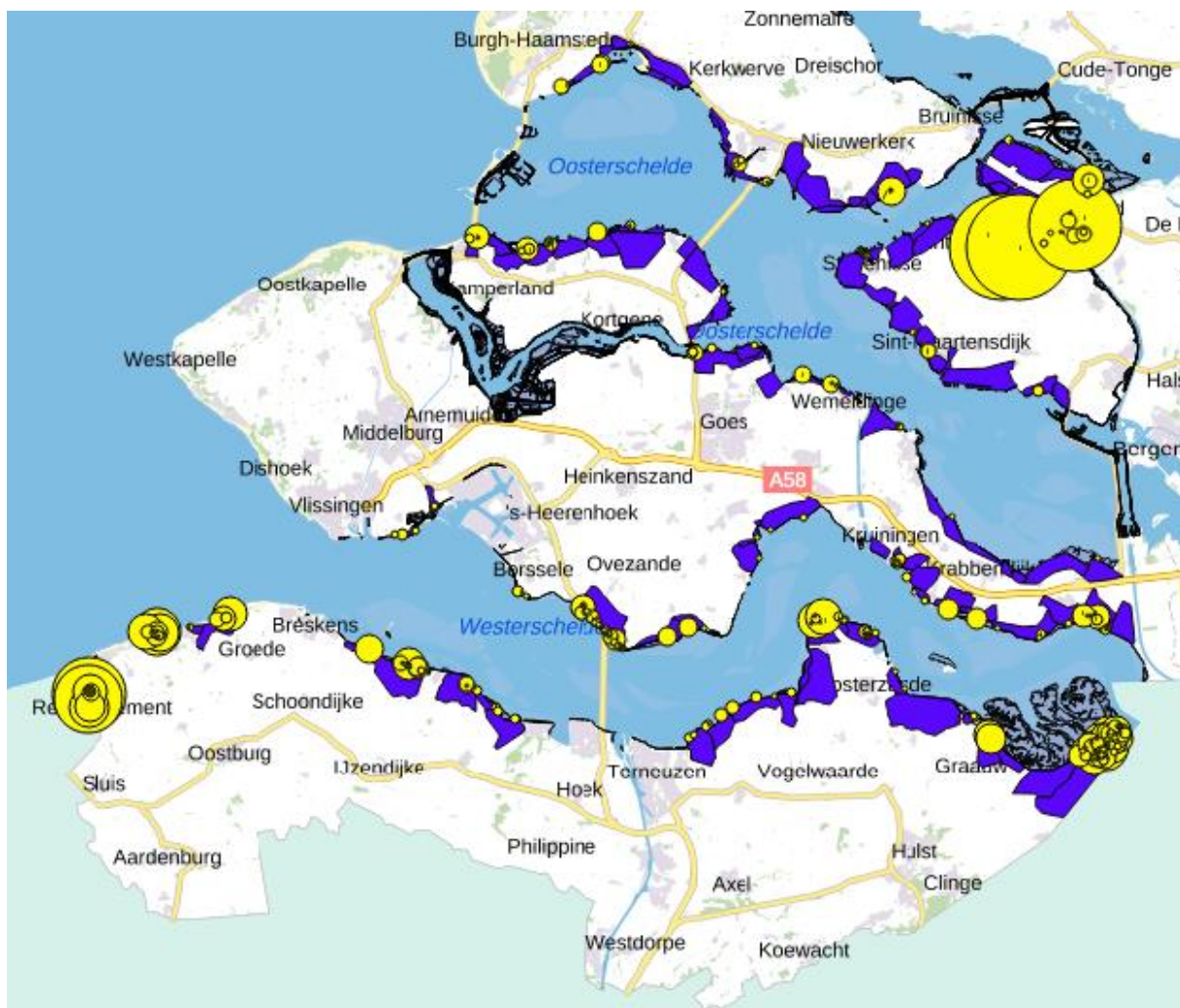
Appendix 2: Rekenvoorbeeld monetaire waardering ecosysteemdiensten en opbrengsten wisselpolder

Een mogelijke derde invalshoek van onze economische benadering van de wisselpolder tussen de dubbele dijken betreft de financieel-economische of monetaire waardering van de ecosysteemdiensten in de kuststroken van de Wester en Oosterschelde. In eerste instantie is uitgegaan van het totaal van ecosysteemdiensten (producerend, regulerend en cultureel) binnen de contouren van de potentiële polders voor dubbele dijken. Het gaat om 9.465 kadastrale percelen met een totale oppervlakte van 24.463 ha, die in de volgende figuur met hun oppervlakten (rode cirkels) per perceel zijn afgebeeld:



Oppervlakte van kadastrale percelen (rode cirkels) binnen de contouren van potentiële dubbele dijkenpolders

Als we de ecosysteemdiensten op deze percelen monetair waarderen, gaat het om een totale economische waarde van €57,3 mln. Een aantal percelen heeft ook een specifieke locatiecode (EUCODE2) met de groepen ‘duinen en stranden’ en ‘tijdelijk land onder water’. Onder die laatste groep vallen buitendijkse polders en zoutmoeras. Deze percelen samen vertegenwoordigen een waarde van €3,7 mln.. De verdeling over de buitendijkse gebieden is afgebeeld in de volgende kaart:



Monetaire waarde ecosysteem diensten binnen de contouren van potentiële dubbele dijkenspolders. Referentiebeeld vóór implementatie.

Het betreft 769 percelen geconcentreerd in een aantal belangrijke clusters met hoge monetaire waardering van natuurtoeristisch/recreatieve ecosysteemdiensten bij Tholen (noordelijk kustgebied), Verdrongen land van Saeftinghe (west en zuidoosthoek) en Kust West-Zeeuws-Vlaanderen. Er is dus niet alleen sprake van landbouwgrond binnen de contouren van de dubbele dijkenspolders.

Het merendeel van de ecosysteemdiensten binnen de contouren van de potentiële dubbele dijkenspolders heeft betrekking op culturele diensten. Dat zijn in dit geval natuurtoerisme (vooral van buiten de provincie Zeeland) en in mindere mate natuurrecreatie. Deze ecosysteemdiensten vertegenwoordigen binnen de contouren een monetaire waarde van €44,7 mln. (€2,8 mln. duinen/buitendijks). De producerende diensten (vooral akkerbouw en veeteelt) in dit gebied zijn goed voor een waarde van €10,0 mln. (€0,1 mln. duinen/buitendijks).

Op grond van deze waardering van de ecosysteemdiensten kan ook de netto contante waarde over 100 jaar, als basis voor een kosten-batenanalyse, worden berekend, de zogenoemde ecosysteemactiva of natuurkapitaalvoorraad. Dit natuurkapitaal bedraagt binnen de contouren €1.715 mld. (€124,9 mln. duinen/buitendijks).

Met deze kennis en waardering van de ecosysteemdiensten als referentiebeelden is het mogelijk een potentiële locatie als voorbeeld uit te werken.

We nemen daartoe een fictief voorbeeld van een potentiële dubbele dijkenpolder. Daarbij is met kengetallen (CBS/WUR, 2020) bepaald wat bij de huidige inrichting van zo'n polder, een combinatie van akkerbouw, veeteelt, onverhard terrein, bebouwing, de monetaire waarde zou kunnen zijn. Deze wordt bepaald in drie type ecosysteemdiensten, namelijk producerende diensten (vooral gebaseerd op de opbrengst van verschillende typen landbouwproducten zoals de productie van akkerbouwgewassen, de productie van veevoer en houtproductie.), regulerende diensten (luchtfiltratie, koolstofvastlegging in biomassa, waterzuivering en bestuiving), en culturele ecosysteemdiensten, namelijk recreatie in de natuur, natuurtoerisme, en de voorzieningen die natuur biedt op het gebied van wonen.

De waarde van producerende diensten is afgeleid uit echte prijzen, zoals de prijs van 'hout op stam' en pachtprijzen van landbouwland. Hier is in prijzen en productiecijfers gezocht naar het deel dat aan ecosystemen kan worden toegeschreven. De waarde van culturele diensten is berekend vanuit de bedragen die mensen daadwerkelijk uitgeven aan goederen en diensten die aan ecosystemen zijn gerelateerd. Denk bijvoorbeeld aan kosten die mensen maken om te recreëren in de natuur of de bereidheid om meer te betalen voor de aankoop van een huis vlakbij een natuurgebied.

De waarde die in onze voorbeeldpolder aan producerende ecosysteemdiensten met akkerbouwgewassen (jaarlijks, meerjaren), veeteelt en loofbos wordt toegekend is gemiddeld 700 euro per hectare. Dit is een waarde die op dit moment iets hoger ligt dan in het gebied rond de Oosterschelde voor aquacultuur worden gevraagd.

Voor traditionele akkerbouwgewassen wordt gerekend met een opbrengst tussen de 3.500 en 6.000 euro per hectare. De prijzen die per hectare worden ingeschat met opbrengsten van aquacultuur en zilte teelten liggen vele malen hoger ¹:

- Kokkels, zeewier en zeeaster: 40.000 euro per hectare
- Zeekraal: 20.000 euro per hectare
- Zilte aardappelen: 15.000 euro per hectare

¹ Kwakernaak et al., Een dubbele dijk met driedubbele doelen (H2O, juni 2015); R.D. Goedhart, Dubbele dijk (Arcadis, augustus 2017);

Erratum

In de eerste eindversie van het rapport, welke op maandag 25 januari werd gepubliceerd, bleken enkele fouten geslopen te zijn. Door het samenvoegen van verschillende deelteksten is op enkele plaatsen abusievelijk een eerdere versie van tekst en figuren in het rapport terecht gekomen en werd het dankwoord niet ingevoegd. Daarnaast zijn aanwijzingen in de tekst voor het aanpassen van de opmaak van het rapport blijven staan. Ook zijn in de samenvattende tabel 6.1 zijn enkele bedragen verkeerd overgenomen. In deze herziende versie van het rapport corrigeren we deze gebreken. Verder maken we van de gelegenheid gebruik om op enkele punten de tekst te verduidelijken en een samenvattende tabel toe te voegen naar aanleiding van ontvangen feedback op het rapport. Hieronder is een gedetailleerde opsomming van de aanpassingen aan het rapport te vinden.

Elke aanpassing wordt voorafgegaan met een verwijzing tussen []: Eerst wordt het paginanummer van de eerste versie (v1) van maandag 25 januari gegeven, vervolgens de nieuwe pagina nummering van de huidige herziende versie (v2). Enkele typefouten en fouten in de opmaak (lettergrootte en type) zijn zonder vermelding in onderstaande lijst van aanpassingen gecorrigeerd omdat zij geen invloed hebben op de inhoud en strekking van de tekst.

Aanpassingen

[v1: p.8; v2: p.9-10]: Hier is het dankwoord opgenomen en een notitie over de deze tweede herziene versie.

[v1: p.9-10; v2: p.11-12]: De inhoudsopgave is aangepast met opname van het Erratum aan het eind van het rapport.

[v1: p.14; v2: p.16]: In de inleidende tekst (1.2 doelstellingen en aanpak) werd vermeld dat vanwege de lage sedimentbeschikbaarheid in de Oosterschelde en Haringvliet en daarmee verwachte trage opslibbing van de wisselpolders tussen de dubbele dijken er mogelijk aanvullende maatregelen nodig zijn. Om de mogelijkheden van dergelijke maatregelen te verkennen is een workshop georganiseerd waaraan verschillende experts op het gebied van sediment, civiele waterbouwingenieur en ecologie deelnamen. Tijdens deze workshop is verkend welke oplossingsstrategieën en extra maatregelen genomen kunnen worden om de bodemophoging in de wisselpolders te faciliteren. De resultaten van deze workshop zijn niet, zoals eerder foutief vermeld, opgenomen in dit rapport maar zullen volgen in een latere publicatie.

[v1: p.15; v2: p.17]: Om te verduidelijken dat de studie naar de economische effectonderzoek (in hoofdstuk 5) gebaseerd is op een andere werkwijze dan de KBA, is na de besproken invalshoeken (1 en 2) extra tekst opgenomen. Hierin wordt de gebruikte methode kort toegelicht waardoor het onderscheid met de KBA duidelijker wordt.

[v1: p.38; v2: p.42]: In de eerste versie had figuur 3.6 slechts één paneel met daarin alleen de ontwikkeling van de arealen polderfuncties opgenomen. Er was hier een figuur met twee panelen voorzien. In de herziende versie is de figuur met twee panelen opgenomen waarin ook de ontwikkeling over de tijd van de gemiddelde bodemhoogte is te zien. Deze correctie past in de figuur zoals origineel de bedoeling was en ook al in het onderschrift was te lezen. In het onderschrift is voor de duidelijkheid toegevoegd dat het de ontwikkelingen bij een scenario van 1 meter zeespiegelstijging in 2100 betreft.

[v1: p.42; v2: p.46]: In deze figuur met drie panelen waren in het bovenste paneel (A) de lijnen welke de ontwikkeling van de bodemontwikkeling voorstelden weggefallen. Daarnaast kwam

niet duidelijk genoeg in de figuur naar voren hoe het uitstellen van implementatie van dubbele dijken met wisselpolders vertaalde naar de langere tijd die nodig is voor de wisselpolders om de bodemhoogte te ontwikkelen. Om dit punt te verduidelijken is deze figuur volledig herzien. Het onderschrift is aangepast aan herzieningen in de figuur en verwijzingen in de tekst op p.47 verduidelijkt overeenkomstig met wat er in de figuur wordt weergegeven.

[v1: p.56; v2: p.62]: In de tekst stond aangegeven dat ook de opbrengsten uit CO₂-vastlegging in de berekeningen zijn meegenomen. Dit klopt niet, dit is gecorrigeerd en verwijderd.

[v1: p.71; v2: p.78]: In tabel 6.1 zijn de totaal kosten voor dubbel dijken (DD) in de Westerschelde verkeerd overgenomen. Er stond dat de kosten €169-176 mln. per jaar zijn, maar dit had €260-267 mln. per jaar moeten zijn, zoals ook al te vinden is in tabel 3.5 (p.40).

[v2: p.79]: Naast een overzicht van de KBA In tabel 6.1 zijn twee extra tabellen opgenomen (in 6.1. Resume) voor het samenvatten van de economische effecten: Tabel 6.1 en 6.2. In deze tabel is overzicht een gegeven van de economische effecten door de investeringen en onderhoud alsmede de directe en indirecte effecten als gevolg van extra opbrengsten die verwacht kunnen worden wanneer dubbele dijken met wisselpolders worden geïmplementeerd (Tabel 6.1). Ook de extra toeristisch-recreatieve bestedingen die verwacht kunnen worden zijn in deze tabel aangegeven (Tabel 6.2). Deze tabel vat de bevindingen in de studie uit hoofdstuk 5 samen en bevat dus geen nieuwe informatie. Daarnaast zijn in de tekst verwijzingen naar deze tabel opgenomen daar waar dit relevant was (p.77).

[v1:p74; v2:p81] De passage “De opbrengsten per hectare voor aquacultuur en zilte teelten liggen hoger, tussen de €15.000 en €40.000.” is uit de alinea verwijderd omdat deze verwarrend was. De alinea bediscussieerde de ecosysteemdiensten die binnen deze studie niet gewaardeerd zijn. De vergelijking met de opbrengsten uit aquacultuur is verwarrend omdat we opbrengsten als gevolg van het overschakelen naar aquacultuur als alternatieve voedselproductieactiviteit juist wel hebben meegenomen in de KBA en de economische effecten.

[v1: p.79-82; v2: p.87-90]: Enkele ontbrekende literatuurreferenties en bronnen welke in de appendices worden gebruikt ontbraken en zijn hier toegevoegd.

[v1: p.88-93; v2: p.91-101]: De sectie ‘model details’ in Appendix A was abusievelijk een oudere Engelstalige versie van de tekst, welke op sommige punten incompleet was, opgenomen. Zo ontbrak de beschrijving van het gebruikte model dat de bodemdaling en opslibbing in de wisselpolder beschrijft. Deze is vervangen door de correcte Nederlandstalige versie inclusief de beschrijving van het model voor bodemdaling en opslibbing.

Het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, doet als nationaal oceanografisch onderzoeksinstituut multidisciplinair fundamenteel zeegaand onderzoek naar wetenschappelijk en maatschappelijk belangrijke vraagstukken over het functioneren van delta- en kustgebieden, zeeën en oceanen. Daarnaast beheert het NIOZ de nationale onderzoeksschepen en de apparatuur voor de Nederlandse onderzoeksgemeenschap. Ook stimuleert en ondersteunt het NIOZ het mariene onderzoek, onderwijs en beleidsontwikkeling op nationaal en internationaal niveau.

NIOZ is onderdeel van de institutenorganisatie van NWO



www.nioz.nl

