Kwelderontwikkeling als Nature-based Solution

Kennis en ervaring van de Proefkwelder Marconi

EcoShape

Distributielijst

Projectomschrijving:	Proefkwelder Marconi
Contractnummer:	-
Opdrachtgever:	Gemeente Delfzijl
Documentnummer:	-
Datum:	22 januari 2021
Versie:	Def
Auteurs:	Jasper Leuven (RHDHV), Bente de Vries (RHDHV), Petra Dankers (RHDHV), Marinka van Puijenbroek (WMR), Pim Willemsen (Deltares), Laura Coumou (Arcadis), Jelmer Cleveringa (Arcadis), Martin Baptist (WMR), Kelly Elschot (WMR)

Revisie

Revisie nr.	Revisie Datum	Naam en paraaf eindverantwoordelijke			
		Opsteller	Gecontroleerd	Geautoriseerd	Paraaf
v03	8-12-2020	Jasper Leuven	Petra Dankers	Luca Sittoni	
Def	22-01-2021	Jasper Leuven	Petra Dankers Luca Sittoni	Aaldert de Vrieze	

Het EcoShape Marconi project maakt deel uit van het Marconi Buitendijks project van de waterschappen Noorderzijlvest en Hunze & Aa's, provincie Groningen, Rijkswaterstaat Noord-Nederland, gemeente Delfzijl (maakt sinds 01-01-2021 deel uit van gemeente Eemsdelta), gemeente Eemsmond, Groninger Landschap en Groningen Seaports, uitgevoerd in opdracht van gemeente Delfzijl. Het EcoShape project is uitgevoerd door EcoShape partners Royal HaskoningDHV, Wageningen Marine Research, Arcadis en Deltares. Gezamenlijk financieren de Marconi partners, EcoShape en het Waddenfonds het onderzoeksprogramma. De uitvoering van Marconi Buitendijks werd financieel mede mogelijk door belangrijke bijdragen van het Waddenfonds en provincie Groningen.

Contact
Spuiboulevard 210
3311 GR Dordrecht
+31 78 6111 099
info@ecoshape.nl
www.ecoshape.nl

Inhoudsopgave

Distributielijst i

Inhoudsopgave ii

Management samenvatting iii

Management summary iv

1. Doel van dit rapport 1

2. Marconi buitendijks 2

2.1 De stadskwelder 3

2.2 De proefkwelder 3

3. Opgedane kennis en ervaring 5

3.1 Ontwerpfase 5

3.1.1 Belang en relevantie van het stakeholderproces 5

3.1.2. Wet- en regelgeving 6

3.1.3. Kosten-baten 7

3.2 Uitvoeringsfase 7

3.2.1. Aanleggen van de basis 7

3.2.2. Praktische uitvoering proefkwelder: inmengen slib 8

3.2.3. Praktische uitvoering proefkwelder: inzaaien zeekraal 8

3.3 Monitoringsfase 9

3.3.1. Opgedane kennis over de uitvoering van monitoring 9

3.3.2. Opgedane kennis met betrekking tot de kwelderontwikkeling 10

3.4 Fase van beheer en onderhoud: adaptief management 12

3.5 De ontwikkelde waarden 12

4. Bredere toepassing & veel gestelde vragen 14

4.1 Waar kan dit concept worden toegepast? 14

4.1.1 Welke (a)biotische randvoorwaarden zijn nodig voor toepassing? 14

4.1.2 Wat zijn andere belangrijke zaken om rekening mee te houden? 15

4.1.3 Wat zijn de verschillen tussen buitendijkse en binnendijkse kwelderontwikkeling? 15

4.1.4 Wat zijn verdere aandachtspunten bij implementatie en opschaling? 15

4.2 Hoe draagt kwelderontwikkeling bij aan meegroeien met zeespiegelstijging en klimaatadaptatie? 16

5. Bronvermelding 17

Bijlage 1: Kiemexperimenten 18

Kiemexperiment langarig zeekraal (*Salicornia procumbens*) WMR 18

Management samenvatting

Het stimuleren van kwelderontwikkeling is een voorbeeld van een Nature-based Solution die bijdraagt aan diverse doelstellingen. Kwelders vormen waardevolle natuur en vergroten de kustveiligheid door hun golfremmende werking (Van Lente & Vuik, 2020). Verder vangen kwelders slib in, onder andere doordat kweldervegetatie de stroming remt. Door het invangen van slib kunnen kwelders meegroeien met de zeespiegelstijging, verbetert de waterkwaliteit en wordt CO_2 vastgelegd.

Bij Delfzijl is een kwelderlandschap aangelegd voor de kust als onderdeel van de gebiedsontwikkeling Marconi Buitendijks. Ter verduidelijking, er is niet een volgroeide kwelder aangelegd maar een lage onbegroeide kwelder welke zou moeten uitgroeien tot een volledig kwelderlandschap dat gekenmerkt wordt door een opeenvolging van hoge, middel en lage kwelder en wadplaten. Een deel van het aangelegde kwelderlandschap is ingericht als proefkwelder en een ander deel is ingericht als stadskwelder (ook wel kwelderpark genoemd). De hoofddoelstellig van het project was een veilige en aantrekkelijke kust met ruimte voor recreatie. Eén van de nevendoelstellingen van het project is het delen van kennis over de aanleg van kwelders en het uitdragen van de bredere toepasbaarheid en voordelen daarvan. Dit rapport gaat over dit nevendoel.

De proefkwelder bestaat uit zes vakken met verschillende percentages slib in de bodem. Het percentage slib in de bodem is gevarieerd om het effect hiervan op de kwelderontwikkeling te kunnen onderzoeken. De volgende slibpercentages zijn toegepast: 5%, 20% en 50%. Deze percentages zijn doorgemengd in de aangelegde zandige bodem. In een deel van de vakken is vervolgens zeekraal ingezaaid. De monitoring en het onderzoek heeft zich gericht op de ontwikkeling van de bodem en biodiversiteit van de kwelder.

Uit eerder onderzoek was al bekend wat de (a)biotische randvoorwaarden zijn voor kwelderontwikkeling. Allereerst moet er voldoende hoogte van de bodem zijn ofwel voldoende luwte om sedimentatie te bewerkstelligen zodat sedimentatie plaatsvindt en deze hoogte zich verder kan ontwikkelen. Kweldervorming begint rond gemiddeld hoogwater (GHW). Daarnaast is er minimaal 5% slib in de bovenlaag van de bodem nodig. Ten derde mogen de stroomsnelheden maximaal 1,2 m per seconde bedragen. Over de noodzaak om zaden in te zaaien was nog onvoldoende bekend, maar de verwachting was dat dit nodig zou zijn om kwelderontwikkeling te stimuleren.

De volgende aandachtspunten voor het stimuleren van kwelderontwikkeling volgen uit dit project:

- Betrek in een vroeg stadium diverse stakeholders. Het uitwisselen van wensen, ideeën en ervaringen leidt tot een integraal ontwerp waarin voor alle betrokken partijen elementen zitten die relevant en interessant zijn. Een goed doordacht stakeholderproces faciliteert dit (zie HS 3.1.1).
- Breng in een vroeg stadium in beeld wat de geldende wet- en regelgevingen zijn en hoe je hieraan kunt voldoen (zie HS 3.1.2).
- Maak een kosten-baten analyse als je de kosten van het project af wil zetten tegen de waarden die het oplevert (zie HS 3.1.3). Voor een overzicht van mogelijke waarden die het oplevert, zie HS 3.5.
- Kies voor een plek waar de bodemhoogte al geschikt is voor kwelderontwikkeling. Dit maakt de vervolgstappen mogelijk makkelijker. Lukt dat niet, realiseer je dan dat het aanbrengen van een basislaag niet makkelijk is (zie HS 3.2.1).
- Voor kwelderontwikkeling is een minimaal slibpercentage in de bodem noodzakelijk (zie HS 3.2.2 en HS 3.3.2). Een slibpercentage van 20% leidt tot een snellere en betere kwelderontwikkeling dan een slibpercentage van 5%. Hogere percentages dan 20% leveren geen verder voordeel op voor kwelderontwikkeling.
- Inmengen van slib is niet makkelijk wanneer je een exact percentage wil behalen. Voor dit onderzoek was het nodig om specifieke percentages te verkrijgen. Voor nieuwe projecten is dit minder relevant en kan worden gewerkt met een benadering van het percentage.
- Inzaaien van zeekraal lijkt beperkte meerwaarde op te leveren voor de lange termijn (HS 3.3.2). Het kan wel op de korte termijn de vegetatiebedekking vergroten.

Management summary

Stimulating salt marsh development is an example of a Nature-based Solution that contributes to various objectives. Salt marshes form valuable ecosystems and increase coastal safety through their wave-inhibiting effect (Van Lente & Vuik, 2020). Salt marshes also trap sediments, because vegetation slows the flow. By trapping fine sediments, salt marshes can grow with sea level rise, improve water quality and store CO_2.

The Marconi program of the municipality of Delfzijl (in the north of the Netherlands) consists of various projects. One of them is the Marconi Buitendijks project, which includes the project 'salt marsh development Marconi'. To be clear, it is not that a full-grown salt marsh has been built, but instead a low and non-vegetated area was created, which was expected to grow and develop into a salt marsh landscape. A salt marsh landscape is characterised by the succession of high and low salt marshes followed by mud flats.

The aim of this project is to investigate the best way to restore salt marshes by re-using dredged sediment. At the same time a nature area is formed which contributes to the water quality, ecology, coastal safety and attractiveness of the coast. The area consists of multiple experimental fields with different percentages of silt, different types of wave-inhibiting structures and includes fields with and without sowing of samphire seeds. After implementation, monitoring was conducted on the development of the morphology and biodiversity of the salt marsh.

The reason why a *Building-with-Nature* approach was chosen is due to the wishes of the stakeholders. Several stakeholders were involved in this project, all benefiting from this solution and approach in their own way. The municipality was particularly interested in improving the attractiveness of the city. The Waddenfonds saw a need to improve the ecological quality of the Wadden Sea and knowledge development of salt marshes. For the EcoShape partners, Deltares and Wageningen Marine Research, gaining (scientific) knowledge of the development of a created salt marsh was the most important factor. The consultancies Royal HaskoningDHV and Arcadis had an interest in gaining practical experience in salt marsh creation with soft sediments. There was also an overarching need for all partners, to play a role in improving the value of the area and developing sustainable solutions for adaptation. One of the secondary objectives of the project is to share knowledge about the construction of salt marshes and to propagate the wider applicability and benefits thereof. This report contributes to this secondary goal.

Previous research already showed what the (a)biotic preconditions are for salt marsh development. Firstly, there must be sufficient height of the bed or the energetic conditions must be low enough to bring about sedimentation. Salt marsh formation starts around mean high water (MHW). In addition, a minimum of 5% mud in the top layer of the soil is required. Third, the flow velocities may not exceed 1.2 m per second. Not enough was known about the need to sow seeds, but it was expected that this would be necessary to stimulate salt marsh development

The following points for attention for stimulating salt marsh development follow from this project:

- Involve the various stakeholders at an early stage. The exchange of wishes, ideas and experiences leads to an integrated design that contains elements that are relevant and interesting for all parties involved. A stakeholder process facilitates this (see Chapter 3.1.1).
- Identify the applicable laws and regulations at an early stage and determine how you can comply with them (see Chapter 3.1.2).
- Make a cost-benefit analysis if you want to compare the costs of the project with the values it yields (see Chapter 3.1.3). For an overview of possible values that it yields, see Chapter 3.5.
- Choose a location where the bed level is already suitable for salt marsh development. This may make the next steps easier. If that does not work, realise that applying a base bed level is not easy (see Chapter 3.2.1).
- A minimum percentage mud in the soil is required for salt marsh development (see Chapter 3.2.2 and 3.3.2). A mud percentage of 20% leads to stronger salt marsh development than a mud percentage of 5%. Percentages mud than 20% do not provide any further benefit for salt marsh development.
- Mixing of mud in the top layer is not easy if you want to do this accurately. For this research, it was required to obtain such accuracy. For future projects, this accuracy may be less relevant, and the mud percentage can be approximated.
- Sowing samphire appears to provide limited added value for the long term (Chapter 3.3.2). However, it can increase vegetation cover on the short term.

1. Doel van dit rapport

Voor de kust van Delfzijl zijn nieuwe kwelders aangelegd binnen het project Marconi Buitendijks. Het eerste ontwerp voor de Marconikwelder kwam tot stand in het innovatieprogramma *Building-with-Nature* in de periode 2012-2013 (Dankers et al. 2013). In 2014 is door EcoShape een eerste versie van een projectplan voor een Proef Kwelderaanleg geschreven. Dit projectplan is begin 2015 gefinaliseerd. Vervolgens is in nauw overleg met de aannemer de uitvoering van de aanleg begeleid. De nieuwe kwelders zijn 2 november 2018 opgeleverd. Aansluitend heeft EcoShape experimenten verricht op het gebied van kwelderontwikkeling met een looptijd van november 2018 tot en met december 2020. Hierna wordt het beheer van de kwelders overgedragen aan een natuurbeheerder.

Eén van de doelstellingen van het project is het delen van kennis over de aanleg van kwelders en het uitdragen van de bredere toepasbaarheid en voordelen daarvan. Hiervoor is in de proefkwelder onderzocht wat slib en het inzaaien van zeekraal bijdraagt aan kwelderontwikkeling. Het vastleggen en delen van de opgedane kennis gebeurt onder andere met dit rapport. In dit rapport wordt eerst een beknopt overzicht gegeven van het project (Hoofdstuk 2), gevolgd door een overzicht van de opgedane kennis en ervaring in zowel het ontwerpproces, de uitvoering als de monitoring (Hoofdstuk 0). Tot slot worden de belangrijkste vragen over bredere toepasbaarheid beantwoord (Hoofdstuk 4). Meer informatie over de metingen en analyses daarvan zijn te vinden in de rapportage Monitoringsresultaten (De Vries et al., 2021). Meer informatie over de wijze waarop en mate waarin kwelders een bijdrage leveren aan kustveiligheid door hun golfremmende werking is te vinden in een aparte rapportage hierover (Van Lente & Vuik, 2020). De informatie uit deze rapportages is op hoofdlijnen opgenomen in dit rapport, maar voor meer details wordt de lezer verwezen naar de onderliggende rapportages.

Wat zijn kwelders?

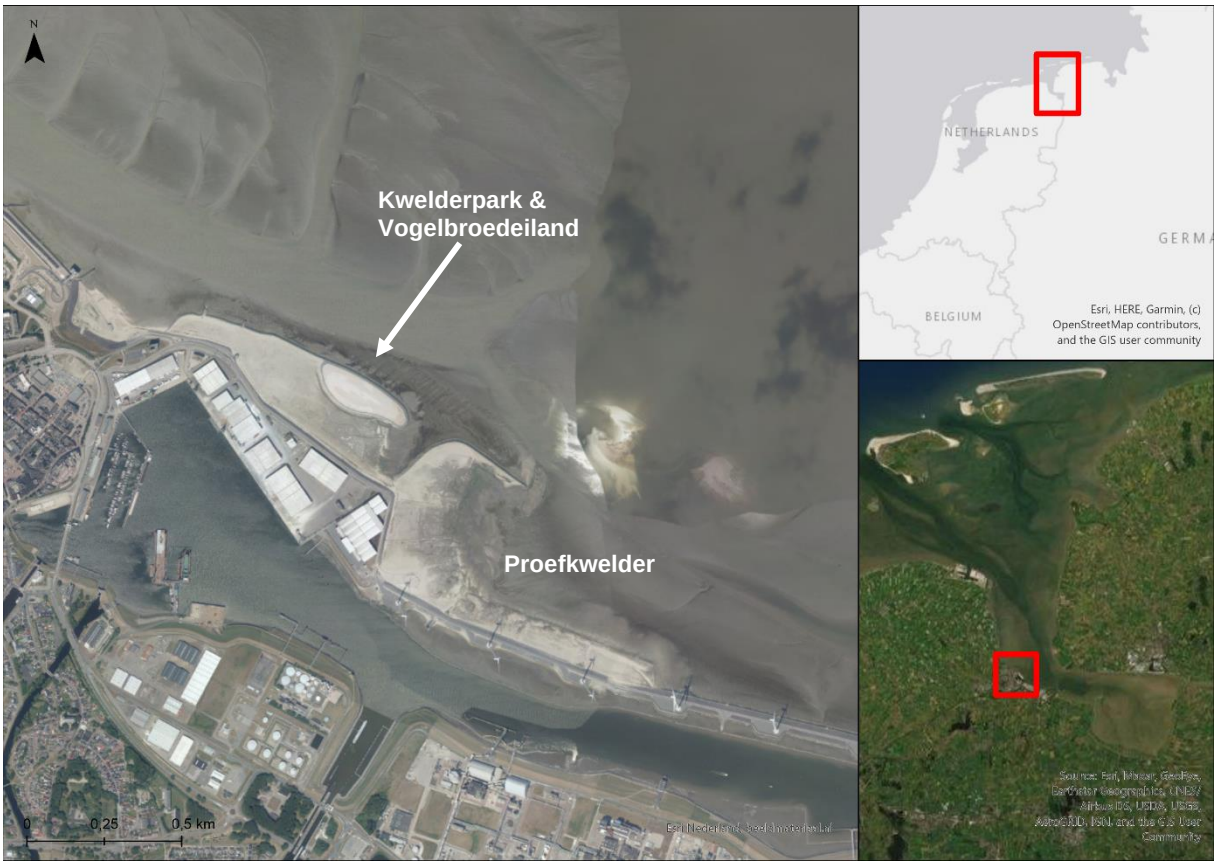
Kwelders zijn door planten begroeide stukken land die direct, zonder duinenrij of dijken, aan zee grenzen liggen. Bij storm of extra hoog water komt een kwelder onder water te staan. Door bedijkingen en inpolderingen zijn veel kwelders in de Waddenzee verdwenen.

Kwelders vormen prachtige en waardevolle natuur en zijn op nog veel meer manieren waardevol. Kwelders vergroten de kustveiligheid door hun golfremmende werking. Verder vangen de planten op de kwelder slibdeeltjes in met hun stengels en bladeren. Door het invangen van slib kunnen kwelders meegroeien met de zeespiegelstijging, verbetert de waterkwaliteit en wordt CO_2 vastgelegd.

In dit rapport zal steeds gesproken worden over ‘kwelders’. Het beeld dat daarbij leeft is vaak het volledig begroeide deel: de midden en hoge kwelder. Echter, het hele concept dat hier is toegepast, waarin kwelderontwikkeling gestimuleerd wordt, gaat over meer van de kwelder dan alleen de midden en hoge kwelder. Ook de pionierkwelder (meest lage deel) hoort erbij. Op de pionierkwelder staat slechts heel beperkt vegetatie, en zelfs een klein stukje van het onbegroeide voorland (de platen) hoort hierbij. Telkens wanneer er naar stimulering van kwelders of kwelders in het algemeen wordt verwezen in dit rapport, wordt er eigenlijk een lage onbegroeide kwelder bedoeld, welke op termijn zou moeten uitgroeien tot een volledig kwelderlandschap dat gekenmerkt wordt door een opeenvolging van hoge, middel en lage kwelder en wadplaten.

2. Marconi buitendijks

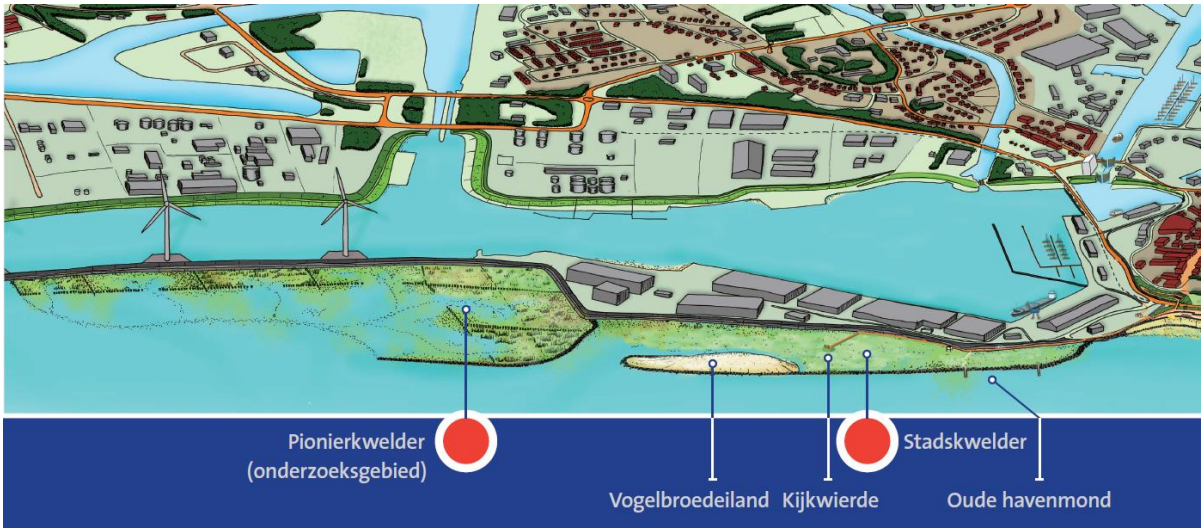
Delfzijl ligt aan de rand van het Eems-Dollard estuarium (Figuur 1), een uniek natuurgebied dat de overgang vormt van de rivier de Eems naar de Waddenzee. Direct naast de waardevolle natuur van het Eems-Dollard estuarium liggen enkele belangrijke industriegebieden. De leefbaarheid in deze krimpregio staat, mede vanwege de aardbevingen door de gaswinning in Groningen, onder druk. Zeespiegelstijging en bodemdaling zorgen voor extra uitdagingen om de kustveiligheid te garanderen en alle gebruiksfuncties van het gebied goed te combineren.



Figuur 1: Ligging Delfzijl aan het Eems-Dollard estuarium.

Naast gebiedsuitdagingen had Delfzijl een gebrek aan mogelijkheden voor recreatie en natuurbeleving. Het maritieme karakter van de havenstad ging verloren als gevolg van grootschalige industrialisering in de tweede helft van de vorige eeuw. Verhogingen van de zeedijk leidden tot een steeds grotere scheiding tussen stad en zee. Om het stadcentrum van Delfzijl weer te verbinden met het natuurgebied Eems-Dollard is het project Marconi Buitendijks uitgevoerd.

De zeedijk bij Delfzijl is verlegd en versterkt en vormt nu een verbinding tussen stad en wad. Verder is voor de kust een pionierkwelder aangelegd, bestaande uit 15 hectare proefkwelder, een vogelbroedeiland en 13 hectare stadskwelder (ook wel kwelderpark genoemd) (Figuur 1; Figuur 2).

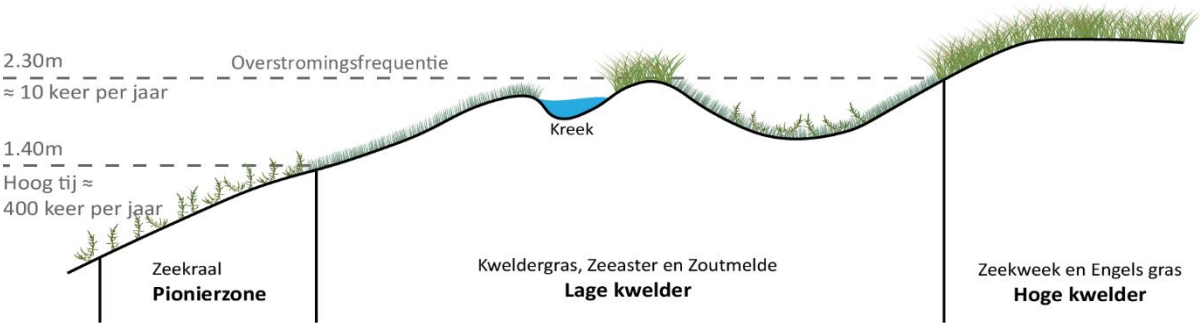


Figuur 2: Overzichtstekening van Marconi buitendijks (Bron: documentatie t.b.v. de Informatietafels Delfzijl)

2.1 De stadskwelder

De stadskwelder is toegankelijk voor bezoekers, die hier de schoonheid van een kwelder zelf kunnen ervaren. Er groeien bijzondere planten die tegen zoutwater kunnen. Na verloop van tijd zal een zonering ontstaan in de plantensamenstelling van laag naar hoog (Figuur 3). In de laagste delen groeit zeekraal, terwijl op de iets hogere delen soorten groeien zoals kweldergras, lamsoor, zeealsem, zoutmelde, zeeaster en zilte schijnspurrie. Op de hoogste delen komen Engels gras, rood zwenkgras en strandkweek.

Op de hoek van de stadskwelder is een vogelbroedeiland aangelegd. Het vogelbroedeiland is aangelegd voor de visdief, noordse stern en bontbekplevier. Met deze drie grondbroeders gaat het slecht in de Waddenzee. Vossen en ratten eten hun jongen op, hun nesten spoelen weg tijdens stormvloeden, ze hebben voedseltekort, mensen verstoren hun broedgebied en visdief en noordse stern hebben ‘aanvaringen’ met windturbines. Rond het eiland staat een raster dat roofdieren als rat en vos buitenhoudt. Het eiland is ook van belang als hoogwatervluchtplaats voor wadvogels. Bij laag water gaan ze het drooggevallen wad op om voedsel te zoeken. Bij hoogwater en ’s nachts rusten en slapen ze op het eiland.



Figuur 3: Zonering van kweldervegetatie.

2.2 De proefkwelder

Een gedeelte bij de kust van Delfzijl is ingericht als proefkwelder. Met de proefkwelder wordt kennis ontwikkeld over aangroei van kwelders en de diverse manieren waarop je dit kunt stimuleren door te bouwen met zand en slib uit de omgeving (Figuur 4). De proefkwelder bestaat uit zes vakken met verschillende percentages slib in de bodem. Binnen deze vakken is het percentage slib in de bodem gevarieerd, om het effect hiervan op de kwelderontwikkeling te kunnen onderzoeken. De volgende slibpercentages zijn in de bodem toegepast: 5%, 20% en 50% (Figuur 4). Hiervoor moest slib gemengd worden in de bodem. In een deel van de vakken is vervolgens zeekraal ingezaaid (Figuur 4). Hier vindt onderzoek plaats naar de ontwikkeling van de bodem en biodiversiteit van de kwelder. Met de proefkwelder leren we hoe het ontwerp en de aanlegmethode effect heeft op de ontwikkeling van een kwelder.

De opgedane kennis (Hoofdstuk 0) wordt wereldwijd ingezet om kwelderaangroei te stimuleren en kwelders in te zetten als duurzame vorm van kustverdediging.

Figuur 4: Infographic van de proefkwelder in het project Marconi Delfzijl. Dit gedeelte van Marconi Buitendijks wordt ingezet om kennis te ontwikkelen over kwelderaangroei.

3. Opgedane kennis en ervaring

Tijdens het hele project Marconi Buitendijks is kennis opgedaan over verschillende facetten van het aanleggen van een kwelderlandschap. Het project omvatte een ontwerpfase, uitvoeringsfase en een monitoringsfase. Gedurende de ontwerpfase is er met name kennis op gedaan over het belang en de relevantie van het stakeholderproces, en daarnaast over de geldende wet- en regelgevingen. In de uitvoeringsfase is ervaring opgedaan met de aanleg van een dergelijk project. Vervolgens heeft monitoring plaatsgevonden om kennisvragen te beantwoorden (de monitoringsfase). De resultaten hiervan hebben nieuwe kennis opgeleverd, alsmede de ervaringen bij het uitvoeren van de monitoring. Tot slot wordt er een doorkijk gegeven naar de aanstaande fase van beheer en onderhoud en een overzicht gegeven van de ontwikkelde waarden in het gebied.

3.1 Ontwerpfase

3.1.1 Belang en relevantie van het stakeholderproces

Het uitvoerige stakeholderproces heeft bijgedragen aan het succes van het EcoShape Marconi project. Hieronder wordt kort toegelicht wie er in dit geval betrokken was bij het project, wat de belangen waren van de verschillende partijen en hoe dit samen is gekomen in een ontwerp en project waarin voor elke partij interessante en belangrijke elementen zaten.

Het EcoShape Marconi project maakt deel uit van het Marconi Buitendijks project. Het Marconi Buitendijks project is uitgevoerd in opdracht van Gemeente Delfzijl en is een project van:

- Waterschappen Noorderzijlvest & Hunze & Aa's;
- De Provincie Groningen;
- Rijkswaterstaat Noord-Nederland;
- Gemeentes Delfzijl & Eemsmond;
- Stichting het Groninger Landschap;
- Groningen Seaports.

Het EcoShape Marconi project is uitgevoerd door EcoShape partners onder opdracht van de Gemeente Delfzijl, namelijk:

- Royal HaskoningDHV;
- Wageningen Marine Research;
- Arcadis;
- Deltares.

Gezamenlijk hebben de Marconi partners, EcoShape en het Waddenfonds het onderzoeksprogramma gefinancierd. De uitvoering van Marconi Buitendijks werd financieel mede mogelijk door belangrijke bijdragen van het Waddenfonds en Provincie Groningen. De financiële bijdrage van meerdere stakeholders was noodzakelijk voor de doorgang van het project.

De Gemeente Delfzijl had de wens om een interessante en aantrekkelijke kustzone te ontwikkelen voor de stad Delfzijl. De gemeente en waterschappen hadden daarnaast de doelstelling om kustveiligheid te garanderen. Op basis daarvan is een ontwerp gemaakt, in samenspraak met diverse stakeholders. Het strand en het kwelderpark sloten aan bij de wensen van Gemeente Delfzijl, omdat beiden interessant zijn voor bewoners en toeristen. De proefkwelder was juist vanuit het oogpunt van onderzoek en kennisontwikkeling interessant, maar droeg in eerste instantie niet direct bij aan het hoofddoel van de gemeente. Zowel de stadskwelder als de proefkwelder hadden de potentie om bij te dragen aan de ecologische kwaliteit van de Waddenzee en Eems-Dollard estuarium. Alle stakeholders en partners zagen of ondersteunden de noodzaak om duurzame oplossingen in te zetten om de waarde van het gebied te vergroten.

Het gehele Marconi Buitendijks project is omvangrijk met diverse onderdelen. Bij een deel van Marconi Buitendijks is EcoShape betrokken geweest. Dit is gestart in 2011 toen EcoShape door de samenwerkende partijen binnen Marconi is gevraagd om kansrijke inrichtingsvarianten voor de kustverdediging te ontwikkelen die zorgen voor voldoende kustveiligheid en daarbij de ambities ten aanzien van de stedelijke ontwikkeling van Delfzijl mogelijk

maken en tevens bijdragen aan de ecologische ambities. Dit heeft in 2013 geleid tot het rapport “Ecodynamische variantenanalyse kustontwikkeling Delfzijl – Onderzoek naar mogelijkheden van strand- en kwelderaanleg”. In dat rapport wordt op basis van een vergelijking van de kosten en de effecten van verschillende inrichtingsvarianten van de kustverdediging op de morfodynamiek, slibhuishouding, ecologie en ontwikkelingsmogelijkheden van Delfzijl een voorstel gedaan voor een ecodynamische inrichting van de kust nabij Delfzijl. Het stakeholder proces in dit specifieke project betrof daarmee feitelijk alleen het meenemen van de wensen en eisen van de Marconi projectpartners. Niet lang hierna werd door de Gemeente Delfzijl opdracht verleend aan EcoShape om de voorgestelde inrichtingsvariant verder uit te werken zodat deze ten uitvoer kon worden gebracht. EcSshape was niet betrokken bij de definitieve uitwerking van de verschillende inrinchtingsmaatregelen en het daar gevolgde stakeholderproces.

Opgedane kennis en ervaring: Het uitwisselen van wensen, ideeën en ervaringen leidt tot een integraal ontwerp waarin voor alle betrokken partijen elementen zitten die relevant en interessant zijn. Een goed doordacht stakeholderproces faciliteert dit. Daarnaast helpt een stakeholderproces om het project in te passen binnen de bestaande wet- en regelgevingen, waarbinnen dit normaliter niet zomaar mogelijk zou zijn geweest. In het specifieke geval van de EcoShape werkzaamheden werd het stakeholderproces alleen gevoerd met de Marconi partijen. Deze waren georganiseerd in een stuurgroep met een groot gezamenlijk belang. Deze stuurgroep, en vooral het grote gezamenlijke belang, is essentieel gebleken voor het doorzetten en doen slagen van dit project.

3.1.2. Wet- en regelgeving

Passende Beoordeling en wet Natuurbescherming

Om het gehele project Marconi Buitendijks doorgang te laten vinden moest voldaan worden aan diverse wet- en regelgevingen. Het Eems-Dollard Estuarium maakt deel uit van Natura 2000-gebied Waddenzee en Dollard. Om dit project in een Natura 2000-gebied uit te mogen voeren, was een vergunning onder de wet Natuurbescherming nodig. Om de mogelijk negatieve invloed op natuurwaarden uit te sluiten, is een Passende Beoordeling opgesteld. Hierin is ook de mogelijke invloed van de EcoShape onderzoeksactiviteiten meegenomen. Na het opstellen van de Passende Beoordeling (Buro Bakker, 2015) is vergunning verleend voor het uitvoeren van het project.

Uit de Passende Beoordeling (Buro Bakker, 2015) bleek dat het project zou leiden tot een vergroting van de biodiversiteit en samenhang binnen het estuarium en in relatie tot het Waddengebied. Het project zou daarnaast bijdragen aan realisatie van de specifieke instandhoudingsdoelen voor kwelderhabitattypen en sterns. De geplande onderzoeksactiviteiten zouden instandhoudingsdoelstellingen niet aantasten. Het project verzacht de harde rand tussen land en wad op de plek waar deze aan Nederlandse zijde binnen het estuarium het hardst is. Het netto verlies van areaal van habitattype 1130 estuaria is beperkt en betreft subhabitats waarvan grote oppervlakten aanwezig zijn binnen het Waddengebied en estuarium. Hiervoor in de plaats worden habitats ontwikkeld waarvan een veel geringer areaal in het Waddengebied en estuarium aanwezig zijn. Op de projectlocatie zijn geen bijzondere natuurwaarden aanwezig en de ingreep is omkeerbaar. Op basis hiervan werd in de Passende Beoordeling geconcludeerd dat het project niet leidt tot aantasting van de natuurlijke kenmerken en dat het project voldoet aan alle randvoorwaarden en toetsingskaders.

Toepassen van materiaal van verschillende kwaliteit

Een ander aspect waar het project tegenaan liep, was de wijze van toepassing van slib om de bovenlaag van de kwelder te realiseren. Ook hier kwam wet- en regelgeving bij kijken. De basislaag die werd aangelegd bestond uit zand. Het is in de wet opgenomen dat het materiaal dat bovenop een ander materiaal wordt aangebracht tenminste net zo schoon moet zijn als het onderliggende materiaal. Het havenslib dat toegepast zou worden was weliswaar afkomstig uit het estuarium zelf maar mocht niet toegepast worden omdat, vanwege de aard van slib, het vrijwel altijd minder schoon is dan zand. Verontreinigingen hechten zich namelijk wel aan slib, maar niet aan zand. Omdat het zand al als basislaag was aangelegd, mocht vervolgens het gebiedseigen slib niet meer hierover worden aangebracht.

Daarnaast was werken met nat slib een grote uitdaging (praktisch en qua kwaliteit). Vanwege de beperkte tijd die nog restte voor aanleg, moest gezocht worden naar geschikt schoon slib in een slibopslag. Het voordeel van materiaal in een slibopslag is dat het ontwaterd is en daardoor gemakkelijker toe te passen is. Van de drie klassen slib die kunnen voorkomen mocht alleen het type ‘AW2000 slib’ vrij worden toegepast. Slib dat wordt opgeslagen

is echter meestal niet schoon. Daarom moest het toepassen van slib in samenspraak gedaan worden met Rijkswaterstaat, die tevens de aanvraag zouden beoordelen.

Uiteindelijk is gekozen voor gebiedseigen materiaal dat vrijkwam bij de aanleg van Handelskade-Oost, dezelfde locatie als de Marconi-kwelders. Dat slib lag al enige tijd in Depot Oosterwierum en was daarom al goed ontwaterd. Het betrof ca 60.000 kuub sediment met een slibfractie van gemiddeld 63% fijner dan 0,063mm. De voorwaarde was dat het materiaal schoon moest zijn en aan de AW2000-norm moest voldoen.

Opgedane kennis en ervaring: Het uitvoeren van een project binnen Natura2000 gebied vraagt om toetsing aan de wet Natuurbescherming en dat betekent veelal dat een vergunning aangevraagd moet worden op basis van een Passende Beoordeling. Door in het ontwerp rekening te houden met de doelstellingen van het Natura2000 gebied wordt het verkrijgen van de wet Natuurbescherming-vergunning gefaciliteerd. Door EcoShape te betrekken in het opstellen van de Passende Beoordeling hoefde geen aparte beoordeling voor de mogelijke invloed van de onderzoeksactiviteiten te worden opgesteld. Hergebruik van sediment/grond betekent dat moet worden voldaan aan de (complexe) wet- en regelgeving rondom kwaliteitseisen. Dit heeft beperkingen opgeleverd, omdat alleen slib dat voldeed aan de hoge kwaliteitsnorm kon worden toegepast in het project.

3.1.3. Kosten-baten

Gedurende de ontwerpfase is een raming opgesteld van de kosten voor het deel van het project Marconi Buitendijks waarvoor EcoShape de ecodynamische variantenanalyse had opgesteld (strand, kwelderpark en pionierkwelder inclusief verschillende varianten voor versteviging van de schermdijk en de chemiedijk (de primaire kering). Veel kosten zaten in de bescherming van de chemiedijk, die niet meer voldeed aan de veiligheidsnormen. Het ophogen of verstevigen van de chemiedijk leverde verder echter niet veel extra voordelen. Daarom is ook gekeken naar het aanpakken van de Schermdijk. Deze dijk schermt het Zeekanaal en de havenmondig af van de Waddenzee. De Schermdijk is geen primaire kering maar zou wel op termijn een officiële veiligheidsfunctie kunnen krijgen als deze voldoende aangepast zou worden, bijvoorbeeld door deze dijk te combineren met een vooroever.

Bij de kostenraming zijn kosten van verschillende maatregelen ingeschat. Hoewel de aanleg van een vooroever met een stadskwelder en proefkwelder niet het goedkoopste was, leverde dit wel de meeste voordelen op voor de omgeving en betrokken partijen. De kostenraming voor het gehele project Marconi Buitendijks was voldoende om tot aanleg over te gaan. Voor de losse onderdelen (stadskwelder en proefkwelder) is dus geen specifieke afweging meer gemaakt wat betreft kosten en baten. De baten die deze onderdelen opleverden voor het totaalproject (waaronder kennis en maatschappelijke meerwaarde) droegen bij aan de keuze voor een duurdere oplossing dan het geval zou zijn bij alleen het versterken van de primaire kering.

Opgedane kennis en ervaring: de meerwaarde die een *Building with Nature*-oplossing biedt, kan voldoende interesse wekken van betrokken partijen en stakeholders, waardoor de goedkoopste oplossing niet noodzakelijk de beste oplossing is, omdat deze minder toegevoegde waarden bieden. De stadskwelder en proefkwelder zijn een voorbeeld van zo'n oplossing. De verschillende waarden hiervan worden in Paragraaf 3.5 verder uitgewerkt.

3.2 Uitvoeringsfase

3.2.1. Aanleggen van de basis

Kwelderontwikkeling komt past op gang als de hoogte van het rondom gemiddeld hoogwater (GHW) komt te liggen. Deze hoogte is erg belangrijk, maar was nog niet aanwezig in het gebied. Daarom moest er eerst een basislaag van zand aangebracht worden. Bij het aanbrengen van de basislaag liep het project tegen enkele praktische problemen aan. Zo ging het aangebrachte zand stuiven en begon de bodem na realisatie sterker te zakken dan was voorspeld op basis van consolidatie berekeningen. Hierdoor werd de oplevering vertraagd. Pas toen de basislaag van zand er lag, begon de daadwerkelijke aanleg van de proefkwelder.

Opgedane kennis en ervaring: De aanleghoogte komt erg nauw voor een kwelderlandschap. Zetting en consolidatie leveren grote onzekerheid in de uiteindelijke hoogte na realisatie. Omdat het lastig is deze factoren met voldoende nauwkeurigheid te berekenen, betekent dit dat je bij realisatie adaptief moet zijn en erop voorbereid moet zijn nog aanpassingen te doen. Hierbij is het zaak om voorzichtig te werk te gaan: liever te laag aangelegd

waardoor je later moet terugkomen dan te hoog aangelegd. Een alternatief is om te zoeken naar locaties die al om en nabij de goede hoogte voor kwelderontwikkeling zitten.

3.2.2. Praktische uitvoering proefkwelder: inmengen slib

De proefkwelder is aangelegd met een basis die bestaat uit zandrijk gebaggerd materiaal uit de omgeving. Om rekening te houden met zetting is de basislaag 10-20 cm hoger aangelegd dan de ontwerphoogte. Daarna is slibrijk materiaal aan de toplaag toegevoegd en doorgemengd om de juiste percentages slib in de bovenste meter van de bodem te krijgen. Vervolgens is een deel van de kwelder ingezaaid.

Het aangebrachte materiaal lag al enkele jaren opgeslagen. Het was ooit aangebracht als slib (vloeibaar) maar was ondertussen ingedroogd waardoor het een vaste consistentie had gekregen. Het inmengen van het ingedroogde slib bleek in de praktijk erg lastig. Er zijn discussies gevoerd over het nat of droog inmengen. Volgens de aannemer was nat mengen niet mogelijk. Droog mengen bleek in praktijk ook een lastige klus. Hiervoor zijn eerst experimenten gedaan. Omdat het materiaal was ingedroogd was het lastig om het materiaal homogeen door de zandlaag te mengen. Daarnaast was het moeilijk om de specifieke percentages slib in de bodem te bereiken (5%, 20% en 50% in verschillende vakken). Bij hoge percentages slib werd de bodem al zo slap, dat machines konden wegzakken. Hiervoor waren specialistische machines nodig. Deze (landbouw)machines hebben duidelijke (banden)sporen achtergelaten, met name in de meer slibrijke bodems. De hoogteverschillen die hierdoor zijn ontstaan, zijn na twee jaar nog steeds in uitgevlakte vorm zichtbaar. Aangezien deze hoogtes en laagtes zorgen voor respectievelijk kortere en langere blootstelling aan overstroming, heeft dit effect op de ontwikkeling van vegetatie.

Ondanks dat het praktisch lastig bleek het slib door te mengen, lijkt de korrelgrootte verdeling (D50) van de doorgemengde laag de ontwerpwaardes te benaderen. Echter zijn op kleinere ruimtelijke schaal brokken aanwezig, die duidelijk te onderscheiden zijn van het meer zandige substraat. Het is echter wel mogelijk om op grote schaal (schaal van een proefvak) en binnen een bandbreedte slib in te mengen. Het resultaat was goed genoeg om de proeven uit te kunnen voeren (zie De Vries et al., 2021).

Het slib fungeert in potentie ook als een bron van zaden van (kwelder)planten. Daarom is onderzocht welke zaden aanwezig waren in het slib dat is doorgemengd. Omdat het slib zolang in een depot gelegen had, waren er voornamelijk door de wind verspreide ‘zoete’ zaden aanwezig. Verder zijn enkele door de wind verspreide zoute zaden gevonden. Na aanleg kwamen andere soorten vegetatie op dan verwacht op basis van de aanwezige zaden. Dit leidt tot de conclusie dat de aanwezige vegetatiesoorten op natuurlijke wijze, na aanleg, in het gebied terecht zijn gekomen, met uitzondering van de zeekraal die is ingezaaid.

Opgedane kennis en ervaring: In praktijk bleek realiseren van precieze percentages slib in de bodem lastig. Het werk vergt een ervaren aannemer en voldoende afstemming tussen het projectteam en de aannemer. Voor onderzoeksdoeleinden was het nodig om de percentages slib zo nauwkeurig mogelijk te realiseren, maar voor toekomstige projecten is het realiseren van het slibpercentage binnen een bepaalde bandbreedte voldoende. Dat is makkelijker te realiseren. Hoge percentages slib waren lastiger te realiseren en resulteerden in meer (banden)sporen. Dit is te vermijden door niet te werken met hoge percentages slib.

3.2.3. Praktische uitvoering proefkwelder: inzaaien zeekraal

Na het inmengen van slib in de bovenlaag van de bodem is een deel van de kwelder ingezaaid met zeekraal. Over zeekraal-kieming was historische kennis aanwezig en dankzij de kweek ook wel recente kennis. Deze kennis ging echter vooral over opkweken uit zaad. Het projectteam dacht dat het gemakkelijker zou zijn als je stukjes stengel met daarin de zaadhulzen zou kunnen gebruiken. Van tevoren zijn kiemexperimenten gedaan. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage 1.

Zeekraalplantjes zijn in de herfst van 2017 verzameld op de kwelder Noordpolder langs de Groningse kust, in beheer van Het Groninger Landschap. Hier zijn met de hand 13.500 zeekraalplantjes afgeknipt. Vervolgens is de geoogste zeekraal droog opgeslagen in een schuur. De plantjes zijn met een antieke strosnijder in stukjes geknipt. De stukjes bevatten de zaadhulzen met daarin de minuscule zaadjes. Drie dagen vóór het uitzaaien zijn de plantenstukjes in zoet water ondergedompeld om tot kieming over te gaan en gemengd met zaagsel. De gekiemde

plantendelen werden gemengd met zaagsel om meer volume te krijgen en dit mengsel werd vervolgens uitgestrooid in drie proefvakken van elk 9.000 m^2 oppervlakte. Het inzaaien vond plaats in mei 2019.

Opgedane kennis en ervaring: Op basis van experimenten en oude kennis is een praktisch toepasbare methode ontwikkeld voor het oogsten, bewaren, bewerken en inzaaien van zeekraal. Hieruit bleek dat inzaaien van zeekraal in principe haalbaar is.

3.3 Monitoringsfase

Op de proefkwelder wordt de ontwikkeling van de bodem gemeten (zetting, bodemhoogtedynamiek, bodemsamenstelling, ontwikkeling van instroomopeningen, kreekvorming- en dynamiek), het voorkomen van kweldervegetatie (bedekkingsgraad, soortensamenstelling, microfytobenthos) en de waterbeweging en waterstanden. Het doel van de monitoring is om het effect van het slibpercentage in de bodem en het wel/niet inzaaien met zeekraal op de kwelderontwikkeling te bepalen. In het kwelderpark wordt alleen de vegetatieontwikkeling gemeten.

Naast de metingen ten behoeve van kennisontwikkeling omvat de monitoring van kwelders ook wettelijk verplichte monitoring. De wettelijk verplichte monitoring volgt uit Natura 2000-wetgeving. Daarbij worden de instandhoudingsdoelstellingen voor soorten en habitattypen gemonitord. Hiervoor is een specifiek monitoringplan opgesteld, dat onderdeel vormt van de wet Natuurbescherming-vergunning.

3.3.1. Opgedane kennis over de uitvoering van monitoring

Op de proefkwelder werd met diverse instrumenten gemeten. Sommige metingen werden twee keer paar jaar gedaan, zoals een drone-opname van de hoogte, andere metingen werden in de zomer wekelijks gedaan.

Bodemhoogteveranderingen waaronder opslibbing zijn op vier manieren gemeten: (1) continue hoogteveranderingen met ASEDs (Acoustic Surface Elevation Dynamics) en Echologgers, (2) periodieke metingen met de Sedimentatie en Erosie balk (SEB) (een per 2 tot 3 maanden), (3) periodieke metingen met behulp van RTK-DGPS en (4) twee keer per jaar een gebiedsdekkend hoogte model met een LiDAR drone. Deze methodieken zijn gekozen om zowel ruimtelijk als in de tijd een goede dekking van meetgegevens te krijgen.

ASED's zijn *state-of-the-art* meetinstrumenten gebruikt om continue de hoogteverandering te meten van de bovenste 50 tot 75 centimeter van de kwelderbodem. ASED's leveren metingen met een resolutie van seconden tot minuten en een nauwkeurigheid van één tot enkele millimeters, zodra de kwelder onder water komt te staan. Deze instrumenten zijn vergelijkbaar met stand-alone optische SED's (Hu et al., 2015; Willemsen et al., 2018), maar werken met een akoestisch signaal en meten dus onder water. Er is een methode ontwikkeld om de ruwe data te verwerken. De ruwe gegevens werden gefilterd om metingen uit te sluiten die werden verkregen toen de kwelder droog was. Bovendien werden metingen uitgesloten wanneer deze verkregen waren wanneer het waterpeil nabij de ASED te laag was (lager dan +/- 30 cm). Ten slotte werden signalen met te veel ruis eruit gefilterd.

De Sedimentatie en Erosie balk (SEB-balk) meet opslibbing of erosie op een nauwkeurigheid van 1.5 mm en kan worden geijkt aan de hoogte van het maaiveld (Nolte et al., 2013). De SEB-balk wordt gebruikt op meerdere gebieden in het Waddengebied en is redelijk onderhoudsvrij en geeft nauwkeurige waardes.

De ontwikkeling van de instroomopeningen is gemeten middels RTK-DGPS profielen dwars door de opening. Dit is een simpele manier om de hoogte van de instroomopeningen te relateren aan NAP. Middels de resultaten van deze metingen kan bepaald worden of de hoogte van de instroomopeningen richting een (dynamisch) evenwicht gaan. Aangezien de hoogtemetingen indirect ook de zetting meten hebben we ook verschillende metingen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de zetting. Daarvoor hebben we elke keer de hoogte van de SEB-balken gemeten middels RTK-DGPS, en twee palen gemeten van de rijshoutendammen direct naast de instroomopeningen. Deze metingen tonen altijd de dynamiek van de volledige bodem, en/of de bodem onder de locatie waar een paal verankerd is. Dat betekent dat de resulterende dynamiek bepaald wordt door zetting en opslibbing.

De bedekking van microfytobenthos werd gemeten met een benthotorch. Doordat de batterij van het apparaat niet goed werkte onder wintercondities, is een deel van de tijd geen data verzameld. Er is veel lokale variatie in de bedekking van microfytobenthos. Daarom is het belangrijk om meerdere metingen per locatie te nemen om een gemiddelde waarde te bepalen.

Vegetatiemetingen vonden een keer per jaar plaats in september. Dit is de periode dat de vegetatie de hoogste bedekking heeft. Daarnaast is er na het inzaaien van zeekraal tweewekelijks gemeten. Deze aanvullende metingen gaven meer inzicht in de ruimtelijke variatie van de bedekking van zeekraal en informatie over de groei over het hele seizoen.

Opgedane kennis en ervaring: Op de Marconi kwelders vindt zetting plaats. Dit vraagt om een andere afweging bij gebruik van meetinstrumenten, dan wanneer zetting beperkt is (zoals op bestaande kwelders). Bij het opstellen van een monitoringsplan wordt een afweging gemaakt voor het gebruik van continue meetinstrumenten of metingen op een bepaald aantal momenten. In hooggelegen kwelders kunnen het beste meetinstrumenten worden gebruikt die bij droogval meten, terwijl in laaggelegen kwelders beter meetinstrumenten gebruikt kunnen worden die meten tijdens inundatie. De hoogteveranderingen op hoger gelegen delen zijn veelal kleiner dan op de delen die vaker overstromen. Hier kan de meetfrequentie op worden aangepast. ASEDs kunnen de ontwikkeling van bodemhoogte op de korte termijn goed volgen, maar de ruwe data moeten wel gefilterd worden. Vegetatieontwikkeling kan gekarteerd worden om een inzicht te krijgen in de ontwikkeling. Microfytobenthos kan gemeten worden met een benthotorch. Voor een uitgebreidere rapportage van de monitoring en de resultaten daaruit wordt verwezen naar De Vries et al. (2021).

3.3.2. Opgedane kennis met betrekking tot de kwelderontwikkeling

Fijn sediment nodig voor vegetatieontwikkeling

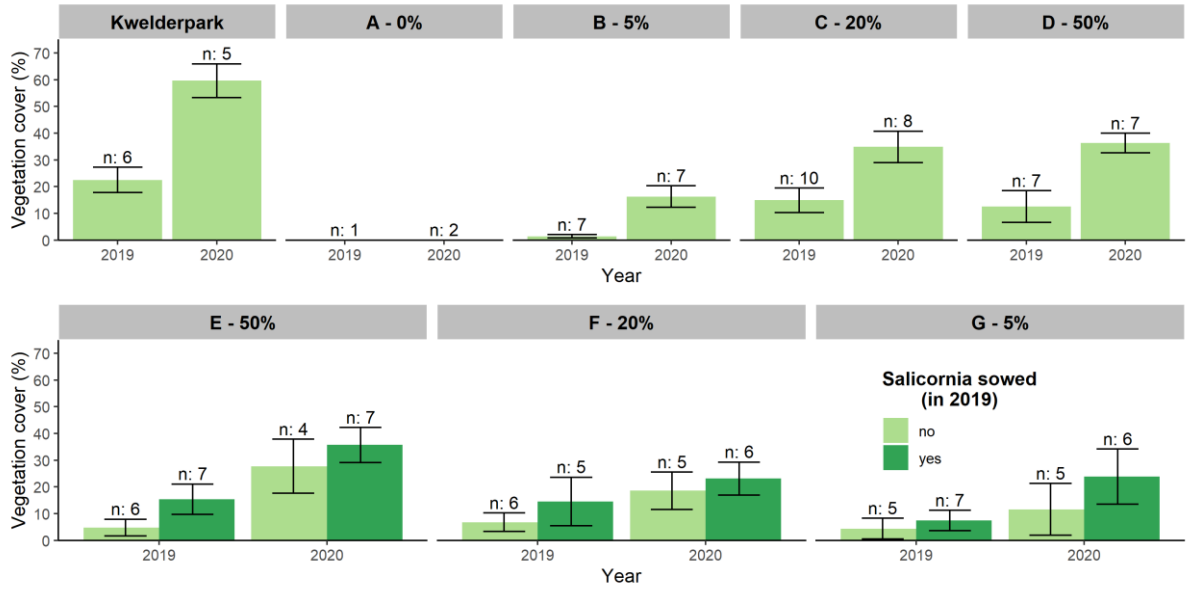
De belangrijkste factor voor vegetatieontwikkeling bleek de aanwezigheid van fijn sediment in de bodem te zijn. In het vak met 5% slib kwam vrijwel geen vegetatie op gang zonder ingezaaid zeekraal (zie vak B in Figuur 5). De vegetatiebedekking in vakken met 20% en 50% slib lag een stuk hoger.

Ontwikkeling vegetatie op korte termijn

Over het algemeen was de vegetatiebedekking nog erg laag op de proefkwelder na het eerste seizoen (gem. 3% in september 2019), in het tweede seizoen (september 2020) was de bedekking al veel hoger (20%). De vegetatiebedekking zal vrijwel zeker blijven toenemen. De stadskwelder, waar alleen een laag slib is opgebracht, heeft al een hogere bedekking (60% in 2020). In 2020 zijn op de pionierkwelder en stadskwelder 17 soorten vegetatie gevonden. In beide gebieden kwam zeekraal het meeste voor.

Inzaaien zeekraal heeft een beperkt effect op vegetatieontwikkeling op de langere termijn

In 2019 had inzaaien een duidelijk positief effect op de bedekking, in 2020 is er echter weinig effect van inzaaien op de bedekking. In het proefgebied komen twee soorten zeekraal voor, waarvan er één is ingezaaid (Langarige zeekraal). Op dit moment (eind 2020) domineert een tweede soort (Kortarige zeekraal) die niet is ingezaaid. Hoewel in 2020 alle ingezaaide vakken een hoger bedekkingspercentage hebben dan de niet-ingezaaide vakken is het verschil tussen ingezaaid en niet-ingezaaid als gevolg van variatie statistisch niet-significant. In 2019 was er wel een statistisch significant verschil.



Figuur 5: Percentage vegetatiebedekking in de proefvakken, die verschillen in slibgehalte in de bodem en wel/niet inzaaien, in september 2019 en 2020. Voor locatie proefvak A t/m G zie Figuur 4.

Kreekvorming buiten de instroomopeningen

Kreken vormden zich in de meeste proefvakken onder gemiddeld hoogwater, maar niet noodzakelijkerwijs in de ontworpen openingen tussen de rijshouten dammen.

Bij het ontwerpen van de proefkwelder was aangenomen dat zich kreken zouden vormen in de openingen tussen de rijshouten dammen. Dit bleek slechts beperkt het geval. Kreken vormden zich in de meeste proefvakken onder gemiddeld hoogwater, maar niet noodzakelijkerwijs in de ontworpen openingen tussen de rijshouten dammen. Kreekvorming was deels al gestart voordat de rijshouten dammen werden geplaatst. De initiële kreken zijn actief gebleven en stromen nu onder en door de rijshouten dammen heen in plaats van dat ze verschoven zijn richting de openingen.

Het achterblijven van kreekontwikkeling is teleurstellend vanuit het oogpunt van onderzoek. Het waas namelijk juist de bedoeling om de invloed van het percentage bodemslib (5, 20 of 50%) op kreekontwikkeling te onderzoeken. Ten behoeve van deze onderzoeksvraag is de bovenste 1.0 m van de basislaag gemengd met slib, omdat kreken tot een meter diep kunnen uitslijten. Voor de ontwikkeling van vegetatie is een ondiepere menging met slib voldoende.

Er zijn verschillende verklaringen voor de afwijkende ligging van de kreken. Zo zou het te maken kunnen hebben met het onderhoud van de rijshoutendammen. Een deel van het rijshout is weggeslagen, maar niet direct weer hersteld, waardoor het water kon blijven stromen. Daarnaast kan de hoge aanleghoogte van de kwelder de vorming van kreken in de instroomopening hebben beperkt, omdat door de hoogte een relatief klein volume water de kwelder in en uit stroomt per getijdecyclus en daarmee de totale energie door de instroomopening relatief laag is. De consolidatie was uiteindelijk minder sterk dan verwacht.

Het snel plaatsen van rijshouten dammen na aanleg en het graven van geultjes kan helpen om kreekvorming op gekozen locaties te stimuleren. Een alternatief is om de openingen van de rijshoutendammen aan te passen op de initieel gevormde kreken. Het laatstgenoemde past het beste bij een *Building-with-nature* project.

Op enkele locaties zijn ook binnen de proefvakken kreekpatronen te vinden, met name in de meer westelijk gelegen proefvakken. Een deel van de kreekontwikkeling in deze proefvakken lijkt gedreven door de laagtes die zijn ontstaan door de machines die de aanleg van de kwelders mogelijk hebben gemaakt. In de oostelijke proefvakken zijn vrijwel geen geulen gevormd, mogelijk door de hoge aanleghoogte van de proefvakken of door de vorming van een zandwal in de oostelijke vakken. De ontwikkeling van deze zandwal (zandbank) was onverwacht, maar heeft wel

interessante morfologische en ecologische gradiënten opgeleverd. Tegelijkertijd roept de aanwezigheid van de zandwal vragen op over het beheer en onderhoud. De rijshoutendammen zijn hier mogelijk overbodig geworden.

Opgedane kennis en ervaring: Er is vastgesteld dat een slibpercentage van 5% of lager in de bodem te laag is om kwelderontwikkeling op gang te helpen. Bij slibpercentages vanaf ca. 20% komt de kwelderontwikkeling sneller op gang. Hoewel inzaaien van zeekraal op de korte termijn een positief effect heeft gehad op de vegetatieontwikkeling, lijkt het effect op de langere termijn beperkt. Kreekvorming voorafgaand aan de realisatie van de rijshoutendammen heeft ervoor gezorgd dat de vorming van kreken door de bedoelde openingen beperkt is gebleven. Dit hoeft geen probleem te zijn, en het ontwerp zou hierop aangepast kunnen worden. Daarnaast bleef kreekvorming zeer beperkt. Hierdoor kon het effect van slibpercentage op kreekvorming helaas niet goed onderzocht worden. Het feit dat kreken direct na aanleg al vormden, doet vermoeden dat de initiële morfologie een groter effect heeft op kreekvorming dan het slibpercentage in de bodem. Voor sterkere kreekvorming is de aanleghoogte van belang. Als de initiële hoogte te hoog is, ontwikkelen kreken langzaam waardoor de kreekvorming beperkt blijft. Voor een uitgebreidere rapportage van de monitoring en de resultaten daaruit wordt verwezen naar De Vries et al. (2021).

3.4 Fase van beheer en onderhoud: adaptief management

De officiële 'beheer en onderhoudsfase' is op dit moment nog niet aangebroken en daarom nog niet aan de orde. Dit is echter wel iets wat op termijn moet gebeuren en waar men bij een dergelijk project over moet nadenken. Het doel van beheer en onderhoud is in dit geval de waarden van het gebied laten ontwikkelen. Dit in tegenstelling tot veel beheer en onderhoud dat is gericht op het behouden wat er op dit moment aanwezig is. Het voorziene beheer en onderhoud bestaat uit het herstellen van schade aan rijshoutendammen en het monitoren van erosie. Hierbij spelen verschillende vragen, o.a. wanneer grijp je in, wanneer ga je beheren, tot hoever, in hoeverre laat je natuurlijke ontwikkeling zijn gang gaan en wanneer zijn erosie-effecten te groot.

Juist in dit soort projecten zijn er veel onzekerheden. Dat is niet erg, want dat past bij een pilot om van te leren en de *Building-with-Nature* aanpak in het algemeen. Uit de pilot hoeft niet per se te komen wat van tevoren bedacht is. Dat is anders dan projecten zonder de *Building-with-nature* aanpak, waar alles precies moet kloppen en de resultaten moet geven die van tevoren bedacht is. Dit betekent wel dat je bij *Building-with-nature* rekening dient te houden met een grotere onzekerheidsmarge, de situatie mogelijk vaker moet monitoren en bereid moet zijn flexibel te zijn met beheer en onderhoud. Op die manier kan *Building-with-nature de g*ulden middenweg zijn tussen enerzijds de natuur volledig z'n gang laten gaan en anderzijds een (harde) ingreep plegen in een natuurlijk systeem.

Opgedane kennis en ervaring: Beheer en onderhoud is anders in een *Building-with-nature* project dan in bijvoorbeeld een dijkversterking. Bij de Marconi kwelders hoort adaptief management: er is geen vooraf vastgesteld eindbeeld en met beheer en onderhoud wil je zoveel mogelijk aansluiten bij de natuurlijke ontwikkelingen. Het is nog onbekend wat de rijshouten dammen op lange-termijn bijdragen als ze niet onderhouden worden (en in hoeverre ze op de lange-termijn nodig zijn voor het behoud van de kwelder). Langere monitoring kan dit uitwijzen.

3.5 De ontwikkelde waarden

De stadskwelder en proefkwelder dragen bij aan diverse waarden van het gebied. Het gaat onder andere om een verbetering van de landschappelijke kwaliteit en kustbescherming, maar kwelders zijn ook effectief in het vastleggen van CO_2 en stikstof.

Landschappelijke kwaliteit & Recreatie: De stadskwelder en de proefkwelder verhogen de aantrekkelijkheid van de kust en bieden mogelijkheden voor recreatie. De verbinding tussen de stad en het Natura 2000-gebied (het estuarium) is nu duidelijker aanwezig doordat men het wad en de kwelder kan beleven vanaf de dijk. De ecologische successie die zal plaatsvinden bij groei van de kwelder en verdere opslibbing biedt een nieuwe en andere vorm van belevingswaarde. De natuur en natuurlijke processen worden hier zichtbaar gemaakt.

Kustverdediging: De nieuwe kwelders vergroten de kustveiligheid door hun golfremmende werking (Van Lente & Vuik, 2020). De bodemhoogte van de kwelders verlaagt de significante golfhoogte bij de dijk met ca. 25% voor golfoverslag en met ca. 60% voor golfimpact op het buitentalud bij een waterstand van 4 m+NAP (waterstand representatief voor golfimpact op de kustdijk). De huidige vegetatie heeft een beperkt effect op de golfhoogte. Zodra

de kweldervegetatie verder is ontwikkeld tot climaxvegetatie draagt deze ook bij aan verdere reductie van de golfhoogte tijdens matige stormen (Van Lente & Vuik, 2020). Tijdens extreme stormen zullen de stengels echter afbreken, waardoor de bijdrage van de vegetatie aan golfdemping minimaal wordt. Naast de effecten op golfhoogte beperken kwelders de effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging, doordat ze kunnen meegroeien. Door de luwe condities die hier gecreëerd zijn door onder andere de rijshoutendammen, vindt er sedimentatie plaats.

Natuurontwikkeling: Kwelders zijn waardevol natuurgebied en aantrekkelijk leefgebied voor diverse soorten planten en dieren. Kwelders dragen bij aan het verbeteren van de waterkwaliteit en het verlagen van de troebelheid, onder andere doordat ze sedimentatie van slib faciliteren. De toename in pionier- en kweldervegetatie zorgt voor een verhoogd voedselaanbod en toename van leefgebied voor plantenetende vogels en insecten. Een toename in kwelderareaal zorgt tevens voor een toename in rust- en broedplaatsen voor vogels. Op lange termijn wordt het gebied aantrekkelijker als paaigebied voor vis en verbetert de kinderkamerfunctie voor juveniele vis.

Slibvastlegging: Kwelders leggen slib vast en groeien mee met zeespiegelstijging. Het vastleggen van slib draagt bij aan de verlaging van de troebelheid van het Eems-Dollard estuarium.

CO_2 opname: Ontwikkeling van nieuwe kwelders is positief voor CO_2-vastlegging. Een typische referentiewaarde voor CO_2-vastlegging is 13,5 ton CO_2 opslag per hectare per jaar voor de Noord-Groningse kust met een range tussen 5,1 en 13,5 voor heel Nederland. Hoefsloot et al. (2020) geven een referentiewaarde van 7,6 ton/ha/jr als gemiddelde voor NL-kwelders. Ter referentie: Kwelders slaan 6 tot 10 keer meer koolstof op dan bossen op eenzelfde oppervlak (Murray et al., 2011 en notitie Blue Carbon) en de gemiddelde emissie in NL is ca. 10 ton/inwoner/jaar.

Stikstof opname: Ontwikkeling van nieuwe kwelders is positief voor stikstofvastlegging. Een typische referentiewaarde voor stikstofvastlegging is 10-40 kg N per hectare per jaar (20 kg per hectare per jaar voor lage kweldervegetatie en 40 bij hoge kweldervegetatie, zie Smits et al. (2014). Waarschijnlijk ligt deze waarde initieel lager dan wanneer er een volgroeide kwelder aanwezig is.

Opgedane kennis en ervaring: Aanleg van kwelders of stimulatie van kweldergroei levert een positieve bijdrage aan de landschappelijke waarde, recreatiemogelijkheden, kustverdediging en natuurwaarden. Daarnaast wordt er in kwelders netto CO_2 en stikstof vastgelegd. Hoewel de stadskwelder en proefkwelder dus niet de goedkoopste oplossing waren, leverde deze oplossing wel de meeste toegevoegde waarde.

4. Bredere toepassing & veel gestelde vragen

De problematiek in het kustgebied van Delfzijl staat niet op zichzelf. Wereldwijd hebben kustgebieden te maken met de stijging van de zeespiegel en bodemdaling. In Delfzijl is waardevolle kennis en ervaring opgebouwd met de aanleg van kwelders die kunnen dienen als natuurlijke kustbescherming. Deze expertise kan ook andere haven- en deltagebieden helpen om met natuurlijke en gebiedseigen materialen kwelders te ontwikkelen.

4.1 Waar kan dit concept worden toegepast?

Aanleg van kwelders is toepasbaar in kustgebieden en riviermondingen (estuaria), waar van nature slib voorkomt. Verder dient er getijdewerking te zijn in zout- of brakwater. De overige randvoorwaarden worden hieronder toegelicht. Als deze randvoorwaarden niet aanwezig zijn kunnen ze deels worden geconstrueerd. Bij het Marconi project heeft dit deels plaatsgevonden. De gekozen locatie was suboptimaal voor het ontwikkelen van een kwelder. Toch is het hier gelukt met verschillende artificiële ingrepen zoals het aanbrengen van een basislaag en door bescherming te bieden met stortstenen dammen en rijshouten dammen. In dit geval was dit geen probleem, omdat het project een groot onderzoekskarakter heeft. Indien het concept elders wordt toegepast verdient het altijd de voorkeur om locaties te kiezen waar minder artificiële ingrepen nodig zijn.

4.1.1 Welke (a)biotische randvoorwaarden zijn nodig voor toepassing?

Eerder onderzoek heeft al samengevat wat de benodigde abiotische randvoorwaarden zijn voor kwelderontwikkeling (De Groot & Van Duin, 2012; Loon-Steensma et al., 2012). De benodigde inspanning om kwelderontwikkeling op gang te helpen, is afhankelijk van de mate waarin een gebied voldoet aan deze randvoorwaarden. Een dergelijke inspanning omvat het aanbrengen van luwtemaatregelen, bijvoorbeeld rijshoutendammen. De randvoorwaarden zijn:

- Voldoende hoogte van de bodem of voldoende luwte om sedimentatie te bewerkstelligen zodat sedimentatie plaatsvindt en hoogte ontstaat: kweldervorming (de ontwikkeling van vegetatie) begint rond gemiddeld hoogwater (GHW). Als de hoogteligging lager is, maar wel nog intergetijdengebied is, is de verwachting dat rijshoutendammetjes in eerste instantie vooral zorgen voor een hoogtetoename en daarna alsnog kweldervorming kunnen stimuleren. Voldoende luwte en voldoende aanvoer van sediment zijn hiervoor essentieel, zodat sedimentatie plaatsvindt tot het niveau rond GHW. Als de lokale condities energetisch zijn (bijv. veel golven door een diep/steil voorland of nabij een zeegat) zal er gewerkt moeten worden met een (zand)dam. Als de condities minder energetisch zijn, kan er ook gewerkt worden met rijshoutendammen. Als het gebied veel te laag ligt zal een basislaag met een minimale hoogte in het intergetijdengebied nodig zijn. Deze basislaag is aangebracht in het Marconi project (zie HS3.2).
- Slibpercentage in de bovenlaag: gebieden met minder dan 5% slib in de bovenlaag werden in het verleden ongeschikt geacht voor het stimuleren van kwelderontwikkeling (Loon-Steensma et al., 2012). Dit wordt bevestigd door de onderzoeksresultaten van de proefkwelder in het Marconi project (zie HS3.3). Als er geen slib in de bodem aanwezig is, zal dit ingemengd (zoals op de proefkwelder) of opgebracht (zoals op de stadskwelder) moeten worden om kwelderontwikkeling te bespoedigen.
- Maximaal optredende stroomsnelheden: hoge stroomsnelheden beperken kwelderontwikkeling. Loon-Steensma et al. (2012) suggereren 1,2 m per seconde als bovengrens (gebaseerd op waarnemingen bij bestaande kwelders en modelonderzoek). In het Marconi-project zijn zowel stortstenen dammen als rijshoutendammen aangebracht om de stroming te remmen. Als stroomsnelheden hoger liggen, zijn waarschijnlijk grote ingrepen nodig om kwelderontwikkeling nodig te maken.
- Aanwezigheid van zaden: recente veldexperimenten toonden aan dat de beschikbaarheid van levensvatbare zaden in het sediment een drempel kan vormen voor de groei van pioniervegetatie, zelfs met een bronpopulatie in de nabijheid (van Regteren et al., 2019; 2020). Vandaar dat zaden van de pionierplant zeekraal in het Marconi project zijn aangebracht. Hoewel inzaaien van zeekraal op de korte termijn een positief effect heeft gehad op de vegetatieontwikkeling, lijkt het effect op de langere termijn beperkt.

4.1.2 Wat zijn andere belangrijke zaken om rekening mee te houden?

Andere belangrijke punten om rekening mee te houden zijn:

- Betrek in een vroeg stadium diverse stakeholders. Het uitwisselen van wensen, ideeën en ervaringen leidt tot een integraal ontwerp waarin voor alle betrokken partijen elementen zitten die relevant en interessant zijn. Een goed doordacht stakeholderproces faciliteert dit (zie HS 3.1.1).
- Breng in een vroeg stadium in beeld wat de geldende wet- en regelgevingen zijn en hoe je hieraan kunt voldoen (zie HS 3.1.2).
- Maak een kosten-baten analyse als je de kosten van het project af wil zetten tegen de waarden die het oplevert (zie HS 3.1.3). Voor een overzicht van mogelijke waarden die het oplevert, zie HS 3.5.
- Kies voor een plek waar de bodemhoogte al geschikt is voor kwelderontwikkeling. Dit maakt de vervolgstappen mogelijk makkelijker. Lukt dat niet, realiseer je dan dat het aanbrengen van een basislaag niet makkelijk is (zie HS 3.2.1).
- Voor kwelderontwikkeling is een minimaal slibpercentage in de bodem noodzakelijk (zie HS 3.2.2 en HS 3.3.2). Inmengen van slib is niet makkelijk wanneer je dit nauwkeurig wil doen, maar de benodigde nauwkeurigheid is mogelijk alleen nodig voor onderzoek. Inzaaien van zeekraal lijkt beperkte meerwaarde op te leveren voor de lange termijn (HS 3.3.2). Het kan wel op de korte termijn de vegetatiebedekking vergroten.

4.1.3 Wat zijn de verschillen tussen buitendijkse en binnendijkse kwelderontwikkeling?

Kwelderontwikkeling kan zowel binnendijks als buitendijks plaatsvinden. Beide varianten hebben voor- en nadelen.

Het Marconi project betrof buitendijkse kwelderontwikkeling en in dit geval betekende dit automatisch ook dat je werkt in Natura 2000-gebied. Hieraan zijn strenge richtlijnen verbonden. De maatregelen mogen geen negatieve impact hebben op de bestaande natuurwaarden. In het geval van de Marconi kwelders werd areaal ‘overstroomde zandbanken, slik- en zandplaten’ (H1140) omgezet in (pionier)kwelder (areaal H1310). Dit is niet zondermeer toegestaan, omdat er een instandhoudingsdoelstelling is voor het areaal wadplaten. Hierdoor is een Passende Beoordeling nodig om aan te tonen dat de effecten van de ingreep opwegen tegen de nadelige effecten van het verlies van wadplaat. Deze problematiek speelt meestal niet bij een binnendijkse maatregel, daar waar de grens van het Natura 2000-gebied samenvalt met de dijk. In die gevallen wordt het areaal met beschermde habitattypen uitgebreid. Overigens zijn er binnendijkse gebieden die aan de Waddenzee grenzen die een Natura 2000 status hebben, zoals het Lauwersmeergebied, en dan raakt het binnendijks realiseren van kwelders wel aan de beschermde natuurwaarden.

Bij binnendijkse maatregelen betreft het gebied dat al in gebruik is voor andere functies (vaak landbouw) en raken de plannen aan bestaande belangen. Bij een binnendijkse ontwikkelingen zal water binnen gelaten moeten worden door of over de primaire kering (dijk), zodat de kwelder kan overstromen en weer leegstromen. Dit vraagt om het realiseren van een doorlaatmiddel, dat dezelfde garanties biedt tegen overstromingen tijdens stormen (onder maatgevende condities) als de dijk.

In beide gevallen zorgt kwelderontwikkeling ervoor dat een gebied de potentie krijgt om mee te groeien met zeespiegelstijging (zie 4.2). Dit betekent dat implementatie van deze maatregel op binnendijks gebied, de negatieve gevolgen van bodemdaling tegen zou kunnen gaan, waarbij hoger gelegen land ontstaat. Op langere termijn zou dat binnengebied in gebruik genomen kunnen worden voor andere functies. Deze ideeën staan nu nog in de kinderschoenen, maar dit zou een oplossing kunnen zijn om binnendijkse gebieden mee te laten groeien met zeespiegelstijging.

4.1.4 Wat zijn verdere aandachtspunten bij implementatie en opschaling?

Voor zowel binnendijkse als buitendijkse maatregelen moet er rekening gehouden worden met kombergingseffecten. De komberging is het gebied dat volloopt met water in de periode van laag tot hoog water . De komberging bepaalt het volume aan water dat in- en uit een getijdegebied stroomt. Als dit volume toeneemt, nemen de stroomsnelheden over het algemeen toe en neemt de omvang van de aangrenzende geulen ook toe. Als de komberging afneemt, geldt het omgekeerde.

Als de hoogte toeneemt van het gebied dat volloopt (bijv. door sedimentatie en kwelderontwikkeling) neemt de komberging af. Het is belangrijk om kennis te hebben van deze effecten en dit indien nodig te modelleren met een model dat zowel stroming als bodemverandering uit kan rekenen.

Hoewel de effecten op komberging voor een project als Marconi beperkt zijn, kunnen de cumulatieve effecten na opschaling wél zodanig groot zijn dat dit veranderingen teweegbrengt in de geulen van het Eems-Dollard estuarium. In het meest extreme hypothetische geval dat er langs de hele rand van het estuarium kwelders ontwikkeld worden, neemt de komberging sterk af, waardoor de geulen zullen verondiepen en hun benodigde diepte voor bijvoorbeeld scheepvaart sneller verliezen.

De kosten voor opschaling zullen sterk afhangen van de schaal waarop het wordt toegepast en de aanwezige randvoorwaarden. Het stimuleren van kwelderontwikkeling is bijvoorbeeld een stuk goedkoper wanneer er al voldoende hoogte is en er al slib in de bodem aanwezig is (zoals bijvoorbeeld in de Dollard). In het geval van de Marconi kwelders moest er een basislaag aangebracht worden waarop vervolgens nog slib ingemengd moest worden. Dat maakt de ingreep relatief duur. Met voldoende hoogte en slib in de bodem, hoeven er waarschijnlijk alleen rijshoutendammen aangebracht te worden, wat relatief goedkoper is.

4.2 Hoe draagt kwelderontwikkeling bij aan meegroeien met zeespiegelstijging en klimaatadaptatie?

Kwelders beperken de effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging omdat ze sediment in kunnen vangen. Om kwelders te laten ontwikkelen kan gewerkt worden met rijshoutendammen. Deze creëren luwte en zorgen daarmee voor ontwikkeling van hoogte op wadplaten, die vervolgens kunnen ontwikkelen tot pionierkwelder en kwelder. Zowel sedimentatie als kwelderontwikkeling (de vegetatieontwikkeling) vergroten op termijn de kustveiligheid door hun golfremmende werking en doordat het gebied mee kan groeien met zeespiegelstijging. Kwelderontwikkeling kan het gebied weerbaarder maken voor de effecten van zeespiegelstijging. Wanneer deze maatregel binnendijks wordt toegepast (zie ook 4.1.4), kan kwelderontwikkeling de negatieve effecten van bodemdaling ongedaan maken. Een gebied dat zonder ingrijpen qua hoogte gelijk zou blijven of zou dalen, zal met dagelijks overstromende platen en pionierkweldervegetatie juist in hoogte toenemen.

Naast dat kwelderontwikkeling bijdraagt aan meegroeien met zeespiegelstijging en een bijdrage levert voor kustverdediging, onttrekken kwelders netto CO_2 en stikstof. Eén hectare kwelder legt per jaar ongeveer evenveel CO_2 vast als één persoon in Nederland uitstoot (zie HS 3.5). Dat betekent dat we behoorlijk wat kwelders nodig hebben om een significant effect te hebben in het tegengaan van klimaatverandering. Toch leggen kwelders wel 6 tot 10 keer meer CO_2 vast dan bossen. Zowel de kweldervegetatie als sedimentatieprocessen dragen bij aan het vastleggen van CO_2. Dat betekent dat je idealiter niet alleen kwelders hebt, maar ook een natuurlijke transitie naar kale platen waar sedimentatie plaats kan vinden.

5. Bronvermelding

Buro Bakker (2015). Passende Beoordeling Kwelderpark Marconi Buitendijks. Buro Bakker adviesbureau voor ecologie BV, in opdracht van gemeente Delfzijl

De Groot, A.V. & Van Duin, W.E. (2012). Best practices for creating new salt marshes in a saline estuarine setting, a literature study. IMARES rapport C145/12 for EcoShape Building with Nature.

De Vries et al. (2021). Salt marsh pilot Marconi, Monitoring results.

Dankers, P., Verhoogt, H., Van Nieuwerburgh, L., Akkerman, G.J., Peerbolte, B., Schaafsma, M., Voerman, A., Kanger, W., Grasmeijer, B., De Groot, A., Baptist, M. & Smit, C. (2013). Ecodynamische variantenanalyse kustontwikkeling Delfzijl: Onderzoek naar mogelijkheden van strand-en kwelderaanleg en dijkversterking. Nijmegen: Royal HaskoningDHV, Arcadis, WageningenUR, for EcoShape Building with Nature.

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 Rapportnr. 20-028. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Hu et al. (2015). Continuous monitoring bed-level dynamics on an intertidal flat: Introducing novel, stand-alone high-resolution SED-sensors, Geomorphology, Volume 245, pp. 223-230. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X15300118

Loon-Steensma et al. (2012). Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied; een verkenning naar locaties in het Waddengebied waar bestaande kwelders of kwelderontwikkeling mogelijk kunnen bijdragen aan waterveiligheid. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2391. 62 blz.; 18 fig.; 5 tab.; 37 ref.

Smits, N. A. C., Slim, P. A., & van Dobben, H. F. (2014). Herstelstrategie H1330A: Schorren en zilte graslanden (buitendijks). In Rapport Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats: Deel II Herstelstrategieën voor stikstofgevoelige habitats (pp. 49-62). (Herstelstrategieën).. https://edepot.wur.nl/352854

Van Lente, J.-W. & Vuik, V. (2020). Wave load reduction by salt marshes: A case study based on Marconi Delfzijl, HKV Report PR4265.10.

Van Regteren, M., Colosimo, I., de Vries, P., van Puijenbroek, M.E.B., Freij, V.S., Baptist, M.J.& Elschot, K. (2019). Limited seed retention during winter inhibits vegetation establishment in spring, affecting lateral marsh expansion capacity. Ecol. Evol. 9, 13294–13308.

Van Regteren, M., Meesters, E.H., Baptist, M.J., de Groot, A. V., Bouma, T.J. & Elschot, K. (2020). Multiple Environmental Variables Affect Germination and Mortality of an Annual Salt Marsh Pioneer: Salicornia procumbens. Estuaries and Coasts 43, 1489–1501.

Walck, J.L., Hidayati, S.N., Dixon, K.W., Thompson, K., Poschlod, P. (2011) Climate change and plant regeneration from seed. Global Change Biology 17: 2145-2161.

Willemsen et al. (2018); Quantifying Bed Level Change at the Transition of Tidal Flat and Salt Marsh: Can We Understand the Lateral Location of the Marsh Edge? JGR Earth Surface, Volume 123, Issue 10, pp. 2509-2524. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JF004742

Bijlage 1: Kiemexperimenten

Kiemexperiment langarig zeekraal (*Salicornia procumbens*) WMR

Om de beste strategie te bepalen voor het inzaaien met zeekraal is een kiemexperiment in een klimaatkamer uitgevoerd in februari 2017. De omstandigheden voor een optimale kieming verschilt tussen plantensoorten waarbij bijvoorbeeld sommigen afhankelijk zijn van een winterperiode (Walck et al. 2011). Van Regteren et al. (2020) laten in een veldstudie zien dat temperatuur, zoetwater en rustige hydrologische omstandigheden essentieel zijn voor een goede kieming van *S. procumbens*, maar of zeekraal ook een winterperiode nodig heeft was onbekend. Omdat jonge kiemplantjes zeer kwetsbaar zijn en sterfte gedurende het inzaaien een groot risico vormt is ervoor gekozen om het kiemen in takjes mee te nemen omdat dit mogelijk bescherming biedt tijdens het inzaaien.

Methoden

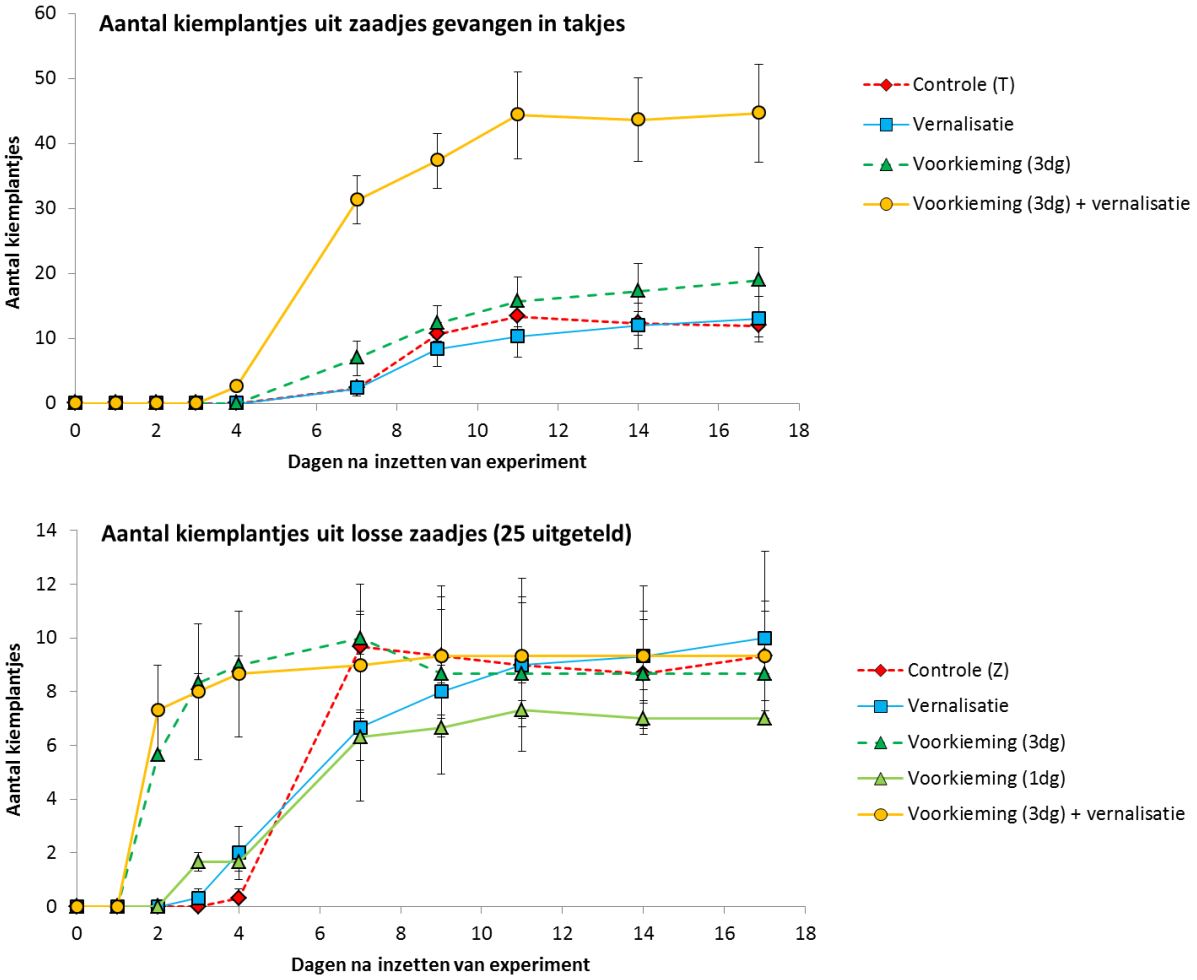
Zeekraal zaden (*S. procumbens*) zijn verzameld bij Westhoek in november 2016 door bovengrondse delen (takken) te oogsten en deze 48 uur op 70°C te drogen. Daarna zijn de takken met zaden op kamertemperatuur in papieren zakken bewaard tot de start van het kiemexperiment in februari 2017. De klimaatkamer werd op een constante temperatuur gehouden van 25ºC met een dag/nacht ritme met tussen 7.30 tot 20.00 uur daglicht (Spectrabox pro 5, 360 W). Zout slib werd geharmoniseerd, over 27 pvc-buizen verdeeld (Ø 10 cm) en vochtig gehouden. Een deel van de zaden werd vrijgemaakt uit de takjes en per 25 uitgeteld. De nog intacte takjes werden in stukken van een centimeter geknipt. Per behandeling werd altijd 10 x 1 cm aangebracht. Negen verschillende behandelingen zijn in het kiemexperiment meegenomen (Tabel 1). Om de effecten van vernalisatie (een winterperiode) op de kieming te bepalen is een deel van de zaden en takjes 10 dagen op 3,5 graden gehouden in de koelkast. Om de effecten van voorkiemen te bepalen is een deel van de zaden en takken drie volle dagen in zoetwater geweekt. Omdat kieming van de losse zaden zeer snel plaatsvond is er vervolgens voor gekozen om ook één dag voorkiemen mee te nemen. Elke behandeling is drie keer gerepliceerd en de kieming en vestiging zijn drie weken gemonitord.

Tabel 1 toegepaste behandelingen in het kiemexperiment van zeekraal (Salicornia procumbens).

Nr	Zaadbron	Vernalisatie	Voorkiemen (dagen)		Behandeling
			1	3	
1	Zaden (los)				Controle
2	Zaden (los)	x			Gevernaliseerd
3	Zaden (los)	x		x	Gevernaliseerd + voorgekiemd (3d)
4	Zaden (los)			x	Voorgekiemd (3d)
5	Zaden (los)		x		Voorgekiemd (1d)
6	Zaden in takjes				Controle
7	Zaden in takjes	x			Gevernaliseerd
8	Zaden in takjes	x		x	Gevernaliseerd + voorgekiemd (3d)
9	Zaden in takjes			x	Voorgekiemd (3d)

Resultaten

De snelste kieming en vestiging vond plaats uit losse zaden na drie dagen voorkiemen in zoetwater (Figuur 6). Na twee dagen hadden gemiddeld zeven van de vijfentwintig plantjes zich gevestigd (Figuur 6, onder). Vernalisatie had geen effect op de kieming uit los zaad. Vernalisatie had wel een sterk effect op de vestiging van zeekraal als de zaden nog gevangen zaten in takjes, mits dit gecombineerd was met drie dagen voorkiemen in zoetwater. Uitsluitend vernalisatie of uitsluitend voorkiemen had weinig effect (Figuur 6, boven). Dit komt waarschijnlijk doordat de structuur van het weefsel om de zaden heen onder een koude temperatuur deels afbreekt waardoor zoetwater beter de zaden kan bereiken en de kiemplantjes beter uit de takjes kunnen komen. Na 3 dagen voorkiemen in zoet water + 4 dagen op slib in de klimaatkamer kwamen de eerste kiemplantjes uit de takjes. Dit gaf een goed beeld van hoelang het minimaal duurt voor zeekraal kan vestigen uit takjes onder optimale omstandigheden (voldoende zoet water, temperatuur is hoog genoeg en rustige omstandigheden).



Figuur 6 Aantal kiemplantjes uit takjes (boven) en 25 losse zaden (onder). Behandelingen meegenomen zijn: vernalisatie (10 dagen op 3,5ºC) en voorkiemen in zoet water (1 dag of 3 dagen).

Conclusie en aanbeveling

Gebaseerd op dit kiemingsexperiment en de veldstudie uitgevoerd door Van Regteren et al. (2020) werd voor het project Marconi aanbevolen om in het najaar zeekraalplanten te oogsten, de plantendelen te drogen en in de winter donker op te slaan met een winterbehandeling tijdens opslag. In het voorjaar worden de takken in stukken geknipt, 3 dagen voorgekiemd in zoetwater en gezaaid op de kwelders gedurende een doodtij.