



Pilot Kleirijperij

WP 4.5.1 Biologische methoden en
ecologische waarden

Projectomschrijving: Pilot Kleirijperij
 Contractnummer: 32268
 Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Noord Nederland
 Documentnummer: 4.5.1
 Datum: 31-12-2022
 Versie: v1.0
 Status: Definitief

Revisie

Revisie no.	Revisie Datum	Naam en paraaf eindverantwoordelijke			
		Opsteller	Gecontroleerd	Geautoriseerd	Paraaf
V0.1	22-09-2022	Isabelle van der Ouderaa Marinka van Puijenbroek Kelly Elschot Peter Esselink Michaela Scholl	Projectgroep Kleirijperij Niels Nijborg Wouter van der Star		
V1.0	31-12-2022	Isabelle van der Ouderaa Marinka van Puijenbroek Kelly Elschot Peter Esselink Michaela Scholl	Projectgroep Kleirijperij Niels Nijborg Wouter van der Star	Niels Nijborg	

Distributielijst

Distributielijst				
Kopie nr.	Functie	Naam	Revisie	Toelichting bedrijf
	Opdrachtgever	Bart Koster		
	Opdrachtgever	Hans Ruiter		
	Opdrachtgever	Machiel Crielaard		
	Projectmanager	Niels Nijborg		
	Technisch manager	Marcel van den Heuvel		
	Kennismanager	Wouter van der Star		

Contact

Noordeinde 109b
 3341 LW Hendrik Ido Ambacht
info@ecoshape.nl
www.ecoshape.nl



Building with Nature – Pilot Kleirijperij

Effecten van biologische bewerkingsmethoden op het rijpen van klei

Auteur(s): Isabelle van der Ouderaa¹, Marinka van Puijenbroek¹, Kelly Elschot¹, Peter Esselink², Michaela Scholl¹

Wageningen University &
Research rapport C058/22

1 Wageningen Marine Research

2 PUCCIMAR Ecologisch onderzoek en advies

Building with Nature - Pilot Kleirijperij

Effecten van biologische bewerkingsmethoden op het rijpen van klei

Auteur(s): Isabelle van der Ouderaa¹, Marinka van Puijenbroek¹, Kelly Elschot¹,
Peter Esselink², Michaela Scholl¹

1 Wageningen Marine Research

2 PUCCIMAR Ecologisch onderzoek en advies

Wageningen Marine Research
Den Helder, 31 december 2022

VERTROUWELIJK: Nee

Wageningen Marine Research rapport C058/22

Keywords: slib, klei, vegetatie, building with nature, nature-based solutions, ecosysteemdiensten

Opdrachtgever: EcoShape

Projectteam: Wouter van der Star (Deltares); Niels Nijborg, Jannes Boer (Arcadis);
Marcel van den Heuvel (Van Oord)
Noordeinde 109
3341 LW Hendrik Ido-Ambacht

De auteurs zijn erkentelijk voor de financiering via het WUR kennisbasis programma:
KB36 Biodiversiteit in een Natuurinclusieve Samenleving (projectnummer
KB36-003-017) – dat wordt ondersteund door het Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/577997>

Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Uitvoeringsproject Pilot Kleirijperij	6
1.3 Leeswijzer	7
2 Onderzoeksdoel en kennisvragen	8
2.1 Kennisvragen en hypotheses	9
2.1.1 Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de rijping van slib tot klei?	9
2.1.2 Is inzaaien noodzakelijk of voldoet spontane vestiging van vegetatie voor de rijping van slib tot klei?	11
2.1.3 Hebben de kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde als broed- en/of foerageergebied voor vogels?	12
3 Onderzoeksopzet en -methoden	13
3.1 Literatuuronderzoek	13
3.2 Proeflocaties	13
3.2.1 Inrichting slibdepots	13
3.2.2 Inzaai vakken	15
3.3 Veldwerk en monitoring	18
3.3.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling	19
3.3.2 Biomassa	20
3.3.3 Abiotische factoren	21
3.4 Data-analyse	23
3.5 Broedvogelinventarisatie	23
4 Resultaten	25
4.1 Monitoring kleirijping met vegetatie	25
4.1.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling	25
4.1.2 Biomassa	27
4.1.3 Bodemparameters	28
4.2 Broedvogelinventarisatie	35
5 Discussie en conclusies	37
5.1 Effect van vegetatie op rijping van slib tot klei	37
5.1.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling	37
5.1.2 Kleirijpingsprocessen	38
5.2 Effect van inzaaien	39
5.3 Natuurwaarden	39
6 Aanbevelingen	41
7 Kwaliteitsborging	42
Literatuur	43
Verantwoording	45
Bijlage 1 Vereisten dijkkenlei	46

Samenvatting

De Pilot Kleirijperij is onderdeel van het programma Eems-Dollard 2050 (ED2050) dat is gestart om de slibproblematiek in het Eems-Dollardestuarium aan te pakken. Als een voor de hand liggende oplossing voor het verbeteren van de ecologische kwaliteit geldt slibonttrekking. Inmiddels ligt er de ambitie om langdurig minimaal één miljoen ton droge stof per jaar uit het Eems-Dollardestuarium te verwijderen. Voor dat slib wordt binnen het ED2050-deelprogramma Nuttig Toepassen Slib naar bestemmingen gezocht die ook in economisch opzicht rendabel zijn. De Pilot Kleirijperij is een van de verkennende projecten binnen dat deelprogramma, en kent een separaat uitvoeringsproject met twee hoofdactiviteiten: 1) onderzoek naar manieren van kleirijping in slibdepots op land met behulp van zowel diverse fysische als biologische bewerkingsmethoden; en 2) het toeleveren van 70.000 m³ gerijpte klei aan het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) - een ander ED2050-innovatieproject.

De praktische uitvoering van de Pilot Kleirijperij vond plaats op twee terreinen: één nabij het zeehavenkanaal van Delfzijl (Oterdum; Kleirijperij Delfzijl) en een kwelderlocatie langs de Dollarddijk (Kleirijperij Kwelder), waar in 2022 ook het 750 m lange proeftracé van de BGD is aangelegd.

De voorliggende rapportage van Wageningen Marine Research (WMR) gaat enkel over de biologische bewerkingen in de kleirijperen en levert toe aan de EcoShape-rapportage over alle toegepaste bewerkingsmethoden. In die overkoepelende rapportage wordt ook de vergelijking gemaakt tussen de effecten van de fysische en de biologische bewerkingen. In het projectdeel van WMR stond de vraag centraal wat het effect van vegetatie is op het kleirijpingsproces, waarbij ook de praktische vraag aan de orde was: is actieve inzaai van vegetatie wel nodig of voldoet spontane vestiging van vegetatie? Als derde speelde de vraag of een kleirijperij extra (tijdelijke) natuurwaarde kan hebben als broedgebied voor vogels.

Om de inrichting c.q. inzaai van de biologische vakken in de slibdepots nader te kunnen bepalen, is een literatuurstudie uitgevoerd. De wijze van monitoren van de vegetatie en van de natuurwaarden c.q. broedvogels is afgestemd op de uitvoering van de fysische bewerkingen. In 2020 en 2021 zijn vervolgens beide proeflocaties meerdere keren bezocht voor opname van de gevestigde vegetatie in het eerste jaar en de biomassabepaling en bedekking van de vegetatie. Beide locaties zijn op een verschillend moment en met een ander bronmateriaal in gebruik genomen en kenden derhalve een verschillende opnamecyclus. De meest relevant geachte abiotische factoren (vocht-, zout-, zuurstof- en organisch-stofgehalte) zijn gemeten. Ook zijn broedvogelinventarisaties uitgevoerd in de kleirijperijen als geheel.

De aanwezigheid van vegetatie in een kleirijperij is niet doorslaggevend voor de rijping van zilt slib tot dijenklei in een depot met relatief grote diepte (zoals bij deze proef), maar heeft wel bepaalde effecten. Twee jaar doorlooptijd is echter te kort om effecten van vegetatie op de langzame rijping van slib eenduidig te bepalen. Wel kon worden vastgesteld dat er in de bovenste 30 cm van de bodem enige invloed van vegetatie is.

- Ten opzichte van onbegroeide bodem zorgt een vegetatiedek in de zomermaanden voor een lagere bodemtemperatuur, in de toplaag (0-14 cm) voor een lager vochtgehalte en in zowel de toplaag als de diepere laag (14-28 cm) voor een hoger zoutgehalte.
- In de diepere laag (14-28 cm) zien we een toename van oxidatie in de bodem en een (kleine) toename van organische stof.
- Inzaai van vegetatie is niet per se noodzakelijk. Vegetatie komt op uit reeds in het slib aanwezige en aangewaarde zaden; een zaadbank en/of zaadbron in de omgeving zijn daarvoor wel een voorwaarde.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In een door Wageningen University and Research (WUR) en Deltares uitgevoerde pilotstudie 'Groene Dollard Dijk', uitgevoerd in 2012/2013 binnen het Deltaprogramma Waddengebied, werd geconcludeerd dat een zogenaamde Brede Groene Dijk (BGD) een veilige dijk oplevert, die op locaties met aangrenzende kwelders naar verwachting goedkoper in aanleg en onderhoud is dan een traditionele dijk met een harde bekleding (Van Loon-Steensma et al., 2013). Echter, een BGD heeft een flauwer talud en vergt daarom meer klei dan een traditionele dijk, en hiervoor zou een lokale bron van klei de voorkeur hebben. In het kader van het hoogwaterbeschermingsprogramma 'Project Overstijgende Verkenning (POV) Waddenzeedijken' werd eind 2013 een voorstel geschreven om kleiputten te graven in de voorliggende kwelder en hieruit dijkenglei te winnen. Waterschap Hunze en Aa's was, als trekker van het voorstel, voornemens een BGD-proefdijk aan te leggen in de Dollard. In een brainstormsessie met partners van Stichting EcoShape, projectpartner van het POV Waddenzeeproject, werd een verband gelegd met het teveel aan slib in de Eems-Dollard omdat daar door allerlei menselijke ingrepen een teveel aan slib in het watersysteem aanwezig is. Als gevolg daarvan is het water in de afgelopen decennia steeds troebeler geworden, is het bodemleven aangetast en zijn specifieke leefgebieden op de grens van zout en zoet water sterk achteruitgegaan¹. Het idee ontstond om een 'kleirijperij' op te zetten, dat wil zeggen het zilte slib aan land te brengen en daar te laten rijpen tot klei. Voor een beknopte uitleg van wat onder de rijping van klei moet worden verstaan, zie box 1.1. Begin 2015 schreef EcoShape een uitwerking van het projectidee Kleirijperij. Provincie Groningen, Waterschap Hunze en Aa's, Groningen Seaports (GSP), Rijkswaterstaat (RWS), Het Groninger Landschap (HGL) en Stichting EcoShape sloegen vervolgens de handen ineen om gezamenlijk een 'Pilot Kleirijperij' te ontwikkelen waarin kleirijping voor verschillende toepassingen op voldoende grote schaal kon worden getest.

Box 1.1: Kleirijping

Rijping van klei is het proces waarbij uit een slappe, structuurloze modder van minerale en organische deeltjes (bv. algen) die zijn omgeven met gebonden waterfilms, een begaanbare grond ontstaat. Het rijpingsproces kent fysische, chemische en biologische aspecten. Fysische rijping is het onomkeerbare indrogingsproces van sedimenten die onder natte omstandigheden zijn afgezet, en dat zichtbaar wordt in de vorming van een macrostructuur door scheurvorming en inklinking. Wanneer door scheurvorming zuurstof kan toetreden, kunnen ook chemische en biologische processen gaan spelen; bv.: verzuring van de bodem, het onttrekken van vocht door plantenwortels of het afbreken van organische stof door micro-organismen (bv. bacteriën en schimmels).

Om de aanhoudende ecologische verslechtering van de Eems-Dollard tegen te gaan is er na een MIRT-verkenning (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport) in 2015 het programma Eems-Dollard 20502 (ED2050) gestart (eerste uitvoeringsfase: 2016-2020). In dat meerjarig adaptieve programma werken overheden en particuliere organisaties samen aan nuttige maatregelen die ook in economisch opzicht voordelig zijn voor de regio. Het MIRT-onderzoek Eems-Dollard concludeerde dat het slibprobleem aangepakt kan worden door slibonttrekkingen. Vanuit het MIRT is de ambitie geformuleerd om vanaf 2022 jaarlijks 1 miljoen ton slib (gemeten als drooggewicht) uit de Eems-Dollard te onttrekken.

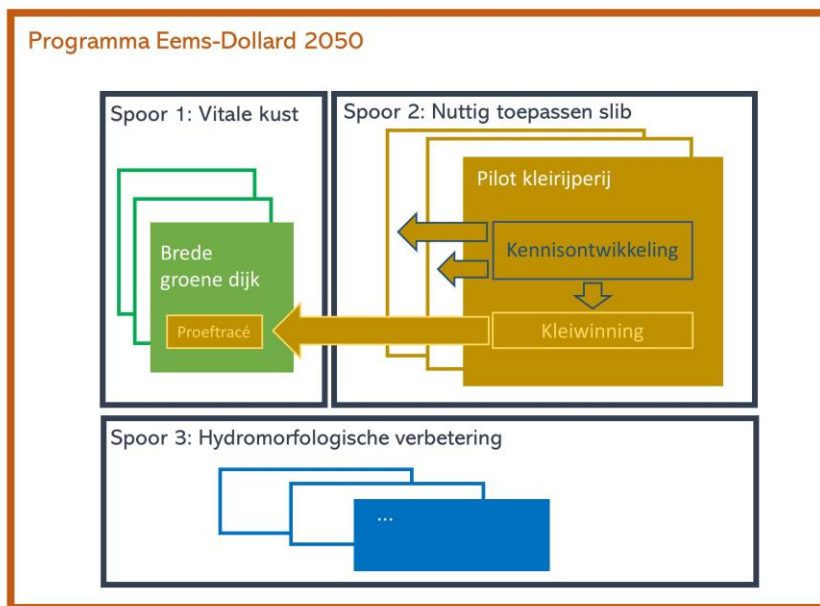
Idealiter vindt het slib na de verwijdering uit het watersysteem een zinvolle toepassing. Voor het uitwerken van ideeën daarover is binnen ED2050 het innovatieprogramma Nuttig Toepassen Slib³ opgezet, waarin op basis van praktijktesten en pilots concepten voor toepassingen van slib worden ontwikkeld die economisch rendabel en/of ecologisch aantrekkelijk zijn. Denk hierbij aan toepassingen bij dijkversterking en natuurontwikkeling en in de landbouw en industrie. De eerder ontwikkelde Pilot Kleirijperij werd een van de projecten binnen het innovatieprogramma 'Nuttig Toepassen Slib' van het programma Eems-Dollard 2050 (Sweco, 2016).

¹ <https://www.waddenacademie.nl/nieuws/nieuwsbericht/zicht-op-oplossing-voor-slibproblematiek-eems-dollard>

² <https://eemsdollard2050.nl>

³ <https://eemsdollard2050.nl/wp-content/uploads/2017/11/Nuttig-toepassen-slib.pdf>

Het idee ontstond om in een separaat proefproject verschillende manieren van kleirijping in slibdepots op land te onderzoeken en, bij succesvolle slibomzetting, op het eind 70.000 m³ klei van de vereiste kwaliteit (bijlage 1) aan het BGD-project toe te leveren. De plaats en interne relatie van de Pilot Kleirijperij in het ED2050-programma is schematisch weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 De Pilot Kleirijperij als onderdeel van het programma Eems-Dollard 2050.

Zoals figuur 1.1 laat zien kent de Pilot Kleirijperij twee hoofdactiviteiten⁴: enerzijds het ontwikkelen van kennis en (innovatieve) methoden waarmee slib in betrekkelijk korte tijd in klei van een bepaalde kwaliteit kan worden omgezet, en anderzijds het daadwerkelijk winnen van klei, met als doel de toelevering van de benodigde hoeveelheid dijkenglei aan het proeftracé van het demonstratieproject BGD. De verwachting is dat wanneer met de pilot zou kunnen worden aangetoond dat kleirijping in slibdepots rendabel kan plaatsvinden, dit een economische onderbouwing⁵ kan vormen voor een bijdrage aan de gewenste grootschalige slibonttrekking uit het Eems-Dollardestuarium.

1.2 Uitvoeringsproject Pilot Kleirijperij

De Pilot Kleirijperij als onderdeel van het ED2050-programma is een samenwerkingsproject van de Provincie Groningen, het ministerie van Infrastructuur en Milieu (nu: ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), het Waterschap Hunze en Aa's, Groningen Seaports NV, Stichting Het Groninger Landschap en Stichting EcoShape. De uitvoeringsonderdelen van het project werden ondergebracht in een separaat uitvoeringsproject (opdrachtgever: Rijkswaterstaat) dat onder leiding van Stichting EcoShape stond en waaraan negen EcoShape-partners hebben deelgenomen.

Het praktische werk vond plaats op twee verschillende proeflocaties: een terrein nabij de haven van Delfzijl (Oterdum; Kleirijperij Delfzijl) en op een kwelderlocatie langs de Dollarddijk (Kleirijperij Kwelder), waar in 2022 ook het 750 m lange proeftracé van de BGD is aangelegd. De doorlooptijd van de proeven bedroeg respectievelijk drie en twee jaar voor de Kleirijperijen Delfzijl en Kwelder. Wageningen Marine Research (WMR) was verantwoordelijk voor de biologische/ecologische componenten van het onderzoek (EcoShape 2017).

Voor een gedetailleerde beschrijving van de proeflocaties, zie paragraaf 3.2.

⁴ In de samenwerkingsovereenkomst van de Pilot Kleirijperij (ED2050-project) is het hoofddoel van de pilot als volgt gesteld: "Nagaan met welke innovatieve methoden slib op het land nuttig en rendabel is om te zetten in klei, waardoor een economische basis kan worden gelegd onder de gewenste slib-onttrekking aan de Eems-Dollard."

⁵ De uitwerking van een businesscase is onderdeel van de opdracht aan EcoShape. Voor een eerste versie zie EcoShape (2021).

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding (hoofdstuk 1) worden in hoofdstuk 2 de kennisvragen toegelicht die voor het hele project relevant zijn, en daarvan afgeleid de vragen specifiek voor het onderwerp van dit rapport: de biologische bewerkingsmethoden. Het onderzoek naar de fysische methoden wordt in de overkoepelende rapportage van de Pilot Kleirijperij besproken (EcoShape; in voorber.), waaraan ook de bevindingen uit dit rapport bijdragen en waar de vergelijking wordt gemaakt tussen de biologische en fysische bewerkingen. In dit rapport maken we onderscheid tussen de doelstellingen ten aanzien van de biologische bewerkingen en een nevendoelstelling met betrekking tot de natuurwaarden die ingezaaide slibdepots kunnen hebben. In hoofdstuk 3 worden de onderzoekopzet en de gebruikte onderzoeksmethoden besproken voor zowel de activiteiten in verband met de inrichting van de 'biologische vakken' als voor de aansluitende monitoring van de gekozen parameters. In hoofdstuk 4 presenteren we de resultaten, waarvoor we dezelfde indeling hanteren als in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 5 wordt de relatie gelegd tussen de resultaten en de algemene vraag in hoeverre de oorspronkelijke verwachtingen zoals geformuleerd in hoofdstuk 2 ook zijn uitgekomen. De conclusies die op basis van de proeven getrokken kunnen worden, worden puntsgewijs opgesomd. In het laatste hoofdstuk (6) wordt een enkele aanbeveling gedaan.

2 Onderzoeksdoel en kennisvragen

De overkoepelende onderzoeksopdracht van de Pilot Kleirijperij was: nagaan met welke innovatieve methoden zilt slib op land nuttig en rendabel kan worden omgezet in klei, hier: specifiek in dijkanklei. Bekend is dat voor de omzetting van slib in klei drie processen, de zogenaamde drie O's, belangrijk zijn: ontwatering, ontzilting en oxidatie. In verband met de vereiste sterkte en consistentie mag dijkanklei (naast andere vereisten; bijlage 1) normaal gesproken slechts een bepaalde maximale hoeveelheid zout en organische stof bevatten (Technisch rapport Klei voor dijken, 1996). De vraag is dan: Hoe kunnen deze processen worden bevorderd? In het uitvoeringsproject van de pilot worden twee typen bewerkingsmethoden onderzocht: fysische en biologische.

Voor het biologische deel is inzaai van vegetatie als bewerkingsmethode ingezet. De inzet van bodemfauna was een andere mogelijkheid geweest. Denk hierbij aan het introduceren van bodemwoelende dieren, zogenaamde bioturbators. Echter, vanwege de verwachte snel veranderende omstandigheden in de slibdepots, het ontbreken van voedsel voor de bodemdieren en de relatief korte tijdsduur van de pilot, werd de inzet van bodemorganismen niet aanbevolen en dus ook niet toegepast.

In dit rapport wordt de biologische bewerkingsmethode uitgewerkt aan de hand van vier behandelingen waarbij vegetatie is ingezaaid als a) monocultuur, bestaande uit enkel zulte, en b) als een mengsel van drie soorten: zulte, klein schorrenkruid en strandmelde. Een voordeel van het inzaaien met een mengsel is dat het risico van niet-kiemen van de zaden wordt verkleind. Er werd bewust gekozen voor zouttolerante soorten. Door de variatie in groei tussen de verschillende soorten in het zaadmengsel zouden bodemparameters in deze behandeling kunnen verschillen van bodemparameters in de monocultuur-behandeling – wat dan uit de metingen zou blijken. De derde behandeling hield in c) controle/'niets doen', waarbij geen inzaai heeft plaatsgevonden maar vegetatie wel spontaan kon opkomen uit aangewaaid zaad/de reeds aanwezige zaadbank. Als een vierde behandeling kan worden beschouwd d) het kaal branden van plots in de controle-vakken. (Vanwege deze varianten spreken we hierna regelmatig van 'methoden', in meervoud dus.) Een praktische vraag die hierbij aan de orde komt, is of inzaai noodzakelijk is of dat planten zich in voldoende mate spontaan kunnen vestigen, bijvoorbeeld vanuit zaden die al in het aangebrachte slib aanwezig zijn of die komen aanwaaien.

Dit leidde tot de eerste twee hoofdvragen:

- 1) Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de rijping van slib tot klei?
- 2) Is inzaaien noodzakelijk of voldoet spontane vestiging van vegetatie voor de rijping van slib tot klei?

Volgens het plan van aanpak (EcoShape, 2017) kan de ontwikkeling van (tijdelijke) natuurwaarden in een kleirijperij-project (hier: het proefproject) een meerwaarde hebben. Kleirijping in slibdepots legt immers beslag op ruimte en op basis van bestaande wet- en regelgeving moet rekening worden gehouden met omgevingseffecten. Hoewel de Wet Natuurbeheer niet toestaat dat eventuele positieve omgevingseffecten met eventuele nadelige effecten worden verdisconteerd, kunnen ontwikkelde natuurwaarden, ook al zijn ze maar tijdelijk, wel de maatschappelijke acceptatie verhogen van kleirijperijen die wellicht in de toekomst vergund worden. Voor natuurwaarden kan daarbij zowel aan flora als fauna worden gedacht. Dat de kleirijperijen van de pilot als tijdelijk broedgebied voor vogels kunnen dienen werd, ondanks de wetenschap dat de werkzaamheden in de depots bezwarende omstandigheden kunnen creëren, als kansrijk ingeschat, waardoor de derde hoofdvraag was:

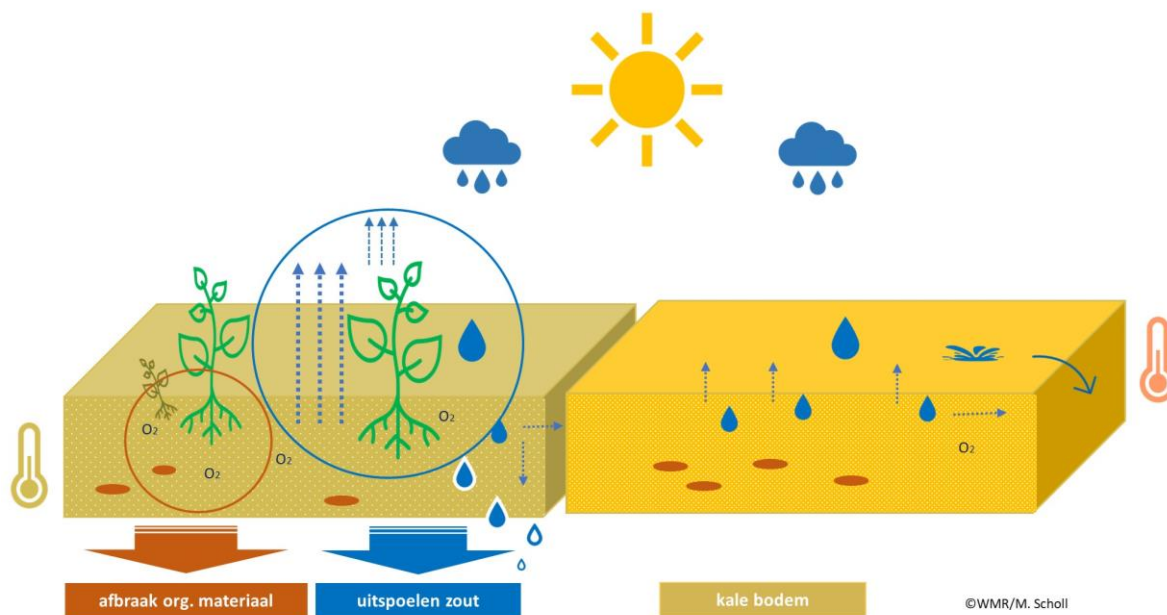
- 3) Hebben de kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde als broed- en/of foerageergebied voor vogels?

In de volgende paragrafen worden deze hoofdvragen eerst nader toegelicht en de verwachtingen geschetst.

2.1 Kennisvragen en hypothesen

2.1.1 Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de rijping van slib tot klei?

Als in deze vraag 'rijping' wordt vervangen door de drie relevante processen gaat de vraag uit naar het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de ontwatering en de ontzilting van het ingebrachte slib en de oxidatie (afbraak) van de aanwezige organische stof in het slib. In figuur 2.1 is de mogelijke rol van vegetatie in deze drie processen aanschouwelijk gemaakt in een conceptueel model.



Figuur 2.1. Conceptueel model dat weergeeft hoe de aanwezigheid van vegetatie de rijping van slib tot klei zou kunnen beïnvloeden via de processen ontwatering, ontzilting en oxidatie; dit in vergelijking met een kale bodem. Centraal staan de vorming/afbraak van organisch materiaal (rode cirkel) en de ontzilting via infiltratie in de bodem en verdamping door de planten (blauwe cirkel). Voor meer uitleg zie tekst.

Voor het verkrijgen van geschikte dijkensleem uit zilt slib is het belangrijk dat het vocht en het zout uit het sediment verdwijnen en het daarin aanwezige organisch materiaal afbreekt tot een gehalte van minder dan 5% droge stof (zie bijlage 1). In de literatuur over bodemprocessen zijn aanwijzingen gevonden die de aanname ondersteunen dat ontwatering en ontzilting samengaan wanneer het zout in (regen)water oplost en/of met het uittredende water wordt afgevoerd. Daartegenover staat dat het zoutgehalte zal toenemen wanneer water vanuit de bodem en via de planten verdamppt. Voor de afbraak van het organisch materiaal in het slib is zuurstof nodig. Hoe meer zuurstof de bodem indringt, hoe sneller de organische stof uiteindelijk wordt omgezet in koolstofdioxide en water (Zwart, 2004).

De aanwezigheid van vegetatie heeft een gunstig effect doordat:

- vegetatie de bodem tegen korstvorming beschermt, waardoor bij neerslag een betere infiltratie optreedt (McLaren en Jefferies, 2004).
- neerslag⁶ langs de wortels van de plant (zo diep als die reiken) in de grond kan doordringen (infiltratie) en daarmee meer zout (ook in de diepere lagen) kan worden opgelost. Afhankelijk

⁶ valt in het Nederlandse klimaat vrijwel zeker

van de bodemstructuur (mate van scheuring, die mogelijk versterkt wordt door de aanwezigheid van plantenwortels) kan via het drainagewater meer zout naar de omgeving uittreden → meer ontwatering en meer ontzilting.

- vegetatie de bodemtemperatuur verlaagt, waardoor er minder capillaire stijging (door negatieve zuigspanning) optreedt waarbij zout vanuit diepere lagen naar het oppervlak wordt aangevoerd (McLaren en Jefferies, 2004; Zuur, 1938).
- het water in het slib en bijkomend regenwater door de wortels van de plant aan de bodem worden onttrokken (Van den Akker et al., 2013).
- de planten meer zuurstof in de grond brengen, wat bevorderlijk is voor de afbraak van organisch materiaal (Vermeulen en Hendriks, 1996; Zwart 2004) → meer oxidatie.

Maar er zijn ook tegengestelde effecten doordat:

- regenwater langs de wortels van de plant infiltreert. Het vochtgehalte in de bodem zal daardoor hoger zijn vergeleken bij een kale bodem → minder ontwatering door verhoogd aanbod aan water.
- de planten een dicht vegetatiedek vormen en daarmee de bodem tegen het zonlicht afschermen. De bodem warmt vergeleken met een bodem zonder vegetatie minder snel op waardoor minder verdamping optreedt → minder ontwatering.
- de inbreng van planten juist een verhoging van organisch materiaal betekent → toename organische stof door verhoogd aanbod aan organisch materiaal.

Wat betreft de tegengestelde effecten, wanneer ze tegelijk optreden, is het de vraag wat het effect per saldo is.

Op basis van het conceptueel model en voor het bepalen van de exacte onderzoekopzet (zie hoofdstuk 3) zijn vier deelvragen geformuleerd:

- 1) Hoe ontwikkelt de vegetatie zich in de tijd?
- 2) Hoeveel organisch materiaal wordt bovengronds en ondergronds door de vegetatie geproduceerd en hoe verhoudt zich dat tot de al aanwezige organische stof in het slib?
- 3) Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie, gemeten aan de hand van bodemtemperatuur, vocht-, zout-, zuurstof- en organisch-stofgehalte, op het rijpende slib?
- 4) Worden de effecten van vegetatie (zie de vraag hiervoor) versterkt door het inzaaien van een zaadmengsel in vergelijking tot het inzaaien van een enkele soort of geen inzaai (de controle-behandeling*)?

*) controle-behandeling betekent hier 'niets doen'. Hier heeft geen actieve inzaai plaatsgevonden, maar kon vegetatie wel spontaan opkomen uit het reeds in het slib aanwezige zaad dan wel uit ingewaaid zaad uit de omgeving.

Ad 1. Deelvraag 1 richt zich zuiver op de ontwikkeling van vegetatie (ingezaaid of spontaan opgekomen) op het zilte slib. Na het inbrengen van het slib in de depots is het vocht- en zoutgehalte van het slib nog relatief hoog. Dit betekent dat het kiemen van het zaad en de groei en ontwikkeling van de opkomende planten sterk zullen afhangen van hun tolerantie voor deze condities. Kwelderplanten zijn aangepast om zich in vochtige en zoute omstandigheden te kunnen vestigen, maar vertonen onderling sterke variatie in hun vocht- en zouttolerantie. Er werd dan ook verwacht dat de snelheid van ontzilting sturend zou zijn voor de vegetatie-ontwikkeling.

Ad 2. Deelvraag 2 gaat verder dan deelvraag 1 en kijkt specifiek naar de geproduceerde biomassa in de verschillende scenario's. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen bovengrondse en ondergrondse biomassa, per type vegetatie: ingezaaide monocultuur *versus* ingezaaid mengsel (in combinatie met al dan niet spontaan opgekomen vegetatie); steeds in vergelijking met de controle-behandeling waar geen actieve inzaai heeft plaatsgevonden ('niets doen') en de behandeling waarbij de bodem actief kaal gehouden werd door het wegbranden van de vegetatie. Verwacht werd dat wanneer er meerdere soorten aanwezig zijn, zoals in het mengsel, de bovengrondse en ondergrondse biomassa hoger zal zijn vanwege de variatie in de groei van de planten en als gevolg van concurrentie (de Wit, 1960). Vaak hebben planten

verschillende 'wortelstrategieën': de ene plant heeft een penwortel, de andere een uitgebreid wortelstelsel (een vertakte hoofdwortel of bijwortels) en is er verschil in worteldiepte, die mede wordt bepaald door de lokale omstandigheden. Door deze verschillen kunnen planten de ruimte onder de grond delen en kan er dus meer biomassa zijn bij een mengsel van planten dan bij een monocultuur. In lijn met het conceptueel model werd aangenomen dat hoe vertakter de wortelstructuur in de grond is, des te meer ontzilting. Inbreng van vegetatie betekent echter dat er organisch plantenmateriaal aan de bodem wordt toegevoegd, en hoe uitgebreider het wortelstelsel (de biomassa ondergronds) des te groter is deze toename. Planten verhogen het zuurstofgehalte in de bodem, en – gezien de doelstelling van het onderhavige project c.q. de vereisten uit de richtlijn Klei voor Dijken uit 1996 (bijlage 1) – is de vraag of een hoger zuurstofgehalte kan compenseren voor de biomassa die extra, dat wil zeggen bovenop de al in het slib aanwezige organische stof, afgebroken moet worden en dit in de metingen te zien zal zijn. Zie ook onder ad 4 waar besproken wordt dat het effect van meer of minder ondergrondse biomassa meetbaar zou kunnen zijn doordat er vegetatieverschillen zijn aangebracht (monocultuur van één enkele soort *versus* soortenmengsel).

- Ad 3. Deelvraag 3 is gericht op het effect van vegetatie op kleirijping en benoemt de parameters waarlangs rijping gemeten kan worden. Verwacht werd dat er een duidelijk effect van de aanwezigheid van vegetatie uitgaat en dat het effect in de gekozen parameters meetbaar zou zijn. Aangenomen werd dat plantenwortels de korst (de bovenste sliblaag, die in de consolidatiefase⁷ indroogt) doorbreken waardoor regenwater en zuurstof beter in de bodem kunnen dringen en daarmee leiden tot ontzilting en snellere afbraak van organische stof, vooral in de laag van 30 cm. Het vegetatiedek isoleert de bodem waardoor er minder water via het oppervlak (evaporatie) verdwijnt maar er juist ook verdamping via de bladeren van de planten (transpiratie) plaatsvindt. Het netto-effect van deze processen op het vochtgehalte van de bodem was echter onbekend. Zonder vegetatie loopt het regenwater via de scheuren weg en is er slechts marginale ontzilting langs de scheurranden.
- Ad 4. Deelvraag 4 is specifiek dan deelvraag 3 en richt zich op het effect van de verschillende toegepaste behandelingen op de bodemparameters. De verwachting was dat er met name verschillen zouden optreden tussen de ingezaaide behandelingen enerzijds en kaal gebrande delen anderzijds. Het verschil met de controle-behandeling werd geringer geacht omdat ook daar vegetatie aanwezig is, te weten de spontaan opgekomen vegetatie. Onzekerheid was er over het kunnen detecteren van een verschil tussen de ingezaaide vegetaties (enkele soort *versus* mengsel) en tussen de locaties.

Om deze vier deelvragen te kunnen beantwoorden zijn proefvakken met verschillende biologische behandelingen ingericht (zie paragraaf 3.2).

2.1.2 Is inzaaien noodzakelijk of voldoet spontane vestiging van vegetatie voor de rijping van slib tot klei?

In de Pilot Kleirijperij is ervoor gekozen om vegetatie in te zaaien, deels vanwege de relatief korte doorlooptijd van het project en om vestiging van ongewenste soorten, zoals riet (*Phragmites australis*) en akkerdistel (*Cirsium arvense*) te voorkomen. Voor toekomstige opschaling is het wel relevant om te bepalen of inzaai echt noodzakelijk is. Spontane vestiging van lokale planten heeft de voorkeur boven het eventueel inzaaien van planten van niet-lokale of niet-inheemse oorsprong vanwege de kans op introductie van ongewenste soorten. Vegetatie kan zich spontaan vestigen vanuit de zogenoemde zaadbank en/of vanuit zaadaanvoer vanuit de omgeving. Afhankelijk van de slibbron kan er al een zaadbank aanwezig zijn en is, in combinatie met het aanwaaien van zaden, inzaai dan dus niet noodzakelijk. De verwachting was dat slib uit de haven van Delfzijl een (zeer) beperkte zaadbank zou hebben, terwijl slib uit de brakke Polder Breebaart mogelijk al veel zaden van zouttolerante planten zou bevatten. De vraag naar de noodzaak van inzaai is benaderd door de in het eerste groeiseizoen spontaan opgekomen vegetatie te bepalen en de veranderingen te volgen in de controlevakken.

⁷ de fase waarin vooral het water wordt weggeperst

2.1.3 Hebben de kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde als broed- en/of foerageergebied voor vogels?

Op kwelders broeden en foerageren veel verschillende soorten weidevogels, zoals grote groepen ganzen, kluten, veldleeuweriken en graspiepers. Omdat begroeide kleirijperijen als tijdelijk broedhabitat en de vegetatie als wintervoedsel kunnen dienen, zouden bepaalde vogelsoorten zich ertoe aangetrokken kunnen voelen. Het zou bijvoorbeeld mogelijk zijn dat bij een spaarzame begroeiing of het ontbreken van vegetatie kluut, scholekster en minder algemene pioniersoorten zoals kleine plevier of bontbekplevier zich als broedvogel vestigen, terwijl bij aanwezigheid van meer begroeiing vestiging van veldleeuwerik, graspieper of gele kwikstaart als broedvogel tot de mogelijkheid behoort.

3 Onderzoeksopzet en -methoden

3.1 Literatuuronderzoek

In 2018 is als eerste stap in dit project een literatuurstudie uitgevoerd (Lagendijk en Elschot, 2018) om meer inzicht te krijgen in biologische bewerkingsmethoden en wat hun bijdrage aan kleirijping zou kunnen zijn. Toen werd daarbij nog aan zowel vegetatie als bodemorganismen gedacht, maar voor dit rapport is alleen vegetatie nog relevant, omdat grootschalige inzet van bodemorganismen op de schaal van deze pilot niet uitvoerbaar werd geacht. Wat betreft de inzet van vegetatie was de conclusie van het rapport dat dit nog niet zo eenvoudig is. Vastgesteld werd dat het aantal plantensoorten dat geschikt is om ingezet te worden in de initiële fase van de kleirijperij, door de snel veranderende en stressvolle omstandigheden, beperkt zou zijn. Als belangrijkste voordeel van de inzet van planten als bewerkingsmethode werd gezien dat plantenwortels de infiltratie van regenwater in het rijpende slib verhogen, wat de ontziltiging en daarmee de kleirijping kan stimuleren.

Op basis van de literatuurstudie is voor een inrichting van de 'biologische vakken' gekozen die in de volgende paragraaf wordt beschreven.

Interessant om te vermelden is dat kortstondig is overwogen om riet in te zetten, omdat riet in het verleden succesvol is ingezet om ingepolderde zilte bodems sneller geschikt te maken voor agrarisch gebruik. Echter, omdat de inschatting was gemaakt dat de slibdepots naar alle waarschijnlijkheid al snel te droog zouden zijn om riet succesvol te laten vestigen en groeien, is mede gezien de korte duur van de proeven afgezien van het gebruik ervan. De slibdepots hadden tevens te zout kunnen zijn voor de vestiging van riet, gezien riet beter ontkiemt in brak water dan in zout water. Nóg doorslaggevend was dat riet wortelstokken vormt (dit in tegenstelling tot een wortelstelsel met vertakte hoofdwortel of bijwortels), wat zeer onwenselijk is wanneer de klei bedoeld is voor dijkenbouw. Dijkenklei moet immers homogeen en goed verwerkbaar zijn.

3.2 Proeflocaties

3.2.1 Inrichting slibdepots

Het uitvoeringsproject Pilot Kleirijperij vond plaats op twee locaties. Eén kleirijperij lag op het land nabij het havenkanaal van Delfzijl (Oterdum; Kleirijperij Delfzijl of Delfzijl-locatie), de andere buitendijks op de kwelder langs de dijk in de zuidelijke Dollard bij Carel Coenraadpolder (Kleirijperij kwelder of kwelderlocatie), nabij de locatie van het toekomstige proeftracé van de Brede Groene Dijk (figuur 3.1 en 3.2). De kleirijperijen (samen 24 ha) bestonden ieder uit een tijdelijk slibdepot dat in verschillende vakken was opgedeeld, zodat de effecten van verschillende behandelingen op het rijpingsproces met elkaar vergeleken konden worden.



Figuur 3.1. De locaties van de kleirijperijen: Delfzijl (rode ster) en kwelder bij Dollard-dijk (oranje ster) (Bron: pixabay.com)



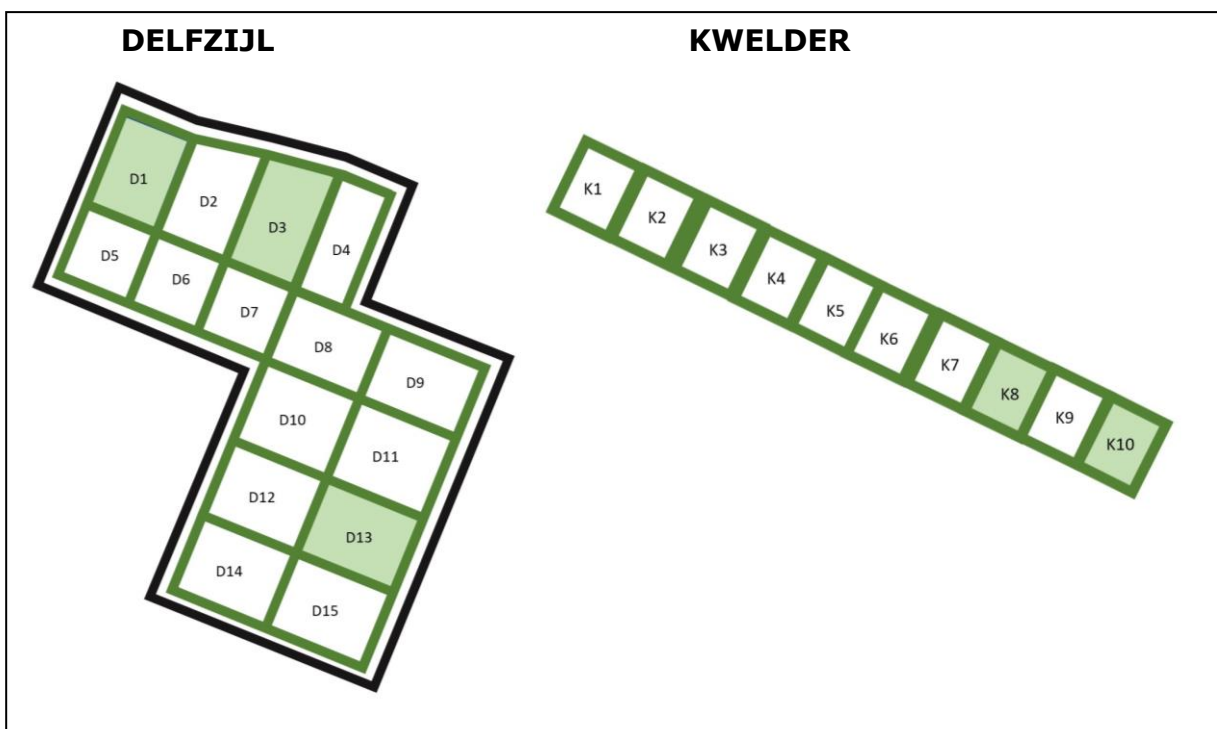
Figuur 3.2. De herkomstlocaties van het gebruikte slib (Zeehavenkanaal en Polder Breebaart; rood-wit gestreepte delen) en de ligging van de kleirijperijen bij Delfzijl en de Dollarddijk (groen). (Bron: EcoShape)

De Kleirijperij Delfzijl had 15 vakken die in april 2018 (eerste vulslag) en juni 2018 (tweede vulslag) via een persleiding werden gevuld met baggerslib uit de haven van Delfzijl. In 12 van de 15 vakken werd voor het vullen met slib een 20-30 cm dikke zandlaag met drainageleidingen aangebracht om in het eerste jaar de ontwatering te versnellen (Hazelhorst, 2018). Het zand was afkomstig uit het terrein. De kwelderlocatie (zonder drainage) had tien vakken die in het voorjaar van 2019 initieel met een beperkte hoeveelheid baggerslib uit het natuurgebied Polder Breebaart via een persleiding zijn gevuld en in het voorjaar van 2020 met een tweede laag verder zijn aangevuld.

In totaal zijn negen verschillende hoofdbewerkingsmethoden voorgesteld, waarvan zeven fysische en strikt genomen één biologische (i.e. vegetatie; vanwege de verschillen in inzaai en het kaal branden van plots spreken we wel van 'methoden', dus in meervoud). Op de Delfzijl-locatie zijn drie van de 15 vakken gebruikt voor de biologische bewerkingsmethode, op de kwelderlocatie zijn dat er twee van de tien (figuur 3.3; tabel 3.1).

Tabel 3.1. Overzicht van de toegewezen biologische bewerkingsmethoden per vak op de twee proeflocaties.

Locatie	Vak	Biologische methode
Delfzijl	D1	Inzaaien van vegetatie
Delfzijl	D3	Inzaaien van vegetatie
Delfzijl	D13	Inzaaien van vegetatie
Kwelder	K8	Inzaaien van vegetatie
Kwelder	K10	Inzaaien van vegetatie



Figuur 3.3. Schematische weergave (niet op schaal) van beide kleirijperijen met de ligging van de vakken. Groen gekleurde vakken geven de vakken met de biologische bewerkingen weer (vakken D1, D3 en D13; K8 en K10). NB: De kwelderlocatie is zonder ringsloot.

3.2.2 Inzaai vakken

In 2018, het eerste jaar van de kleirijperij-proeven, die op de Delfzijl-locatie zijn gestart, vond bewust geen inzaai van vegetatie plaats om zo in het voorjaar van 2019 de gevestigde vegetatie op de Delfzijl-locatie in kaart te kunnen brengen (zie subparagraaf 4.1.1). Bovendien was in de eerste maanden de opwaartse waterflux zo groot dat inzaaien als niet kansrijk werd gezien.

Delfzijl-locatie - eerste inzaai

De eerste inzaai van vegetatie vond plaats in het voorjaar van 2019 op de Delfzijl-locatie. Tot aan het moment van inzaai vonden in de drie biologische vakken dezelfde bewerkingen plaats als bij de zgn. standaardbehandeling in de overige vakken (één keer omzetten per jaar en het trekken van voren). In verband met de kennisvraag naar de mogelijke (tijdelijke) natuurwaarde van de kleirijperen, was er gekozen voor wintervoedsel voor akkervogels, i.e. twee verschillende zaadmengsels van landbouwgewassen met akkeronkruiden. De vakken D3 en D13 kregen een apart zaadmengsel; vak D1 werd niet ingezaaid en diende als controle. Echter, als gevolg van zout dat in de toplaag achterbleef door de verdamping van water, die in de warme zomermaanden hoger is dan in de wintermaanden, bleek de toplaag van het slib in de zomer van 2019 niet voldoende ontzilt te zijn voor een succesvolle kieming van de ingezaaide vegetatie. Bodemonsters die waren genomen tijdens de inzaai van de toplaag in vak D3, lieten een gemiddeld zoutgehalte zien van 33 g/L bodemvocht (20 g Cl/L), wat hoger is dan aan het begin is gemeten. Naar aanleiding van de tegenvallende ontkieming van akkeronkruiden werd het onderzoeksprogramma aangepast (Esselink en Elschot, 2019). Omdat een deel van dit ingebrachte zaad in de zomer van 2020 alsnog is gaan kiemen, geven we in tabel 3.2 toch de samenstelling van de in 2019 gebruikte zaadmengsels.

Tabel 3.2. Samenstelling van de gebruikte zaadmengsels bij de inzaai van wintervoedsel voor akkervogels in de biologische vakken D3 en D13 op 18 april 2019. Het mengsel A6 met inheemse éénjarige soorten bestond uit de volgende twaalf soorten: bolderik (*Agrostemma githago*), korenbloem (*Centaurea cyanus*), wilde ridderspoor (*Consolida regalis*), gele ganzenbloem (*Glebionis segetum*), echte kamille (*Matricaria chamomilla*), akkerleeuwenbek (*Misopates orontium*), bleke klapproos (*Papaver dubium*), grote klapproos (*P. rhoeas*), kegelsilene (*Silene conica*), Franse silene (*S. gallica*), nachtkoekoeksbloem (*S. noctiflora*) en koekruid (*Vaccaria hispanica*).

Zaadmengsel vak D3		Zaadmengsel vak D13	
Soort	kg/ha	Soort	Kg/ha
Zomertarwe	40	Bladrammenas	10
Zonnebloem	1	Boekweit	5
Mengsel A6 éénjarige akkerbloemen	1,5	Phacelia	5
		Zonnebloem	1,5
		Mengsel A6 éénjarige akkerbloemen	0,75

Delfzijl-locatie - tweede inzaai

In november 2019 zijn conform het bijgestelde plan van aanpak halofyten ingezaaid en is het monitoringonderzoek naar winterakkervogels in de kleirijperij komen te vervallen. Voor deze tweede inzaai werd gekozen voor een zaadmengsel van zulte (*Tripolium pannonicum*), klein schorrenkruid (*Suaeda maritima*) en strandmelde (*Atriplex litoralis*) (tabel 3.3). Deze soorten zijn in meer of mindere mate zouttolerant en kortlevende soorten, waarmee de ongewenste opbouw van uitgebreide wortelstokken e.d. wordt vermeden. De verwachting was dat zulte het vooral goed zou doen in het eerste jaar onder vochtiger omstandigheden, terwijl klein schorrenkruid en strandmelde mogelijk beter zouden aanslaan onder drogere omstandigheden.

Zaden van strandmelde en klein schorrenkruid zijn niet commercieel verkrijgbaar. Daarnaast is het belangrijk inheemse zaden te gebruiken in of nabij Natura 2000-gebieden. Daarom zijn gerijpte zaden van zulte en klein schorrenkruid in het najaar van 2019 handmatig verzameld op kwelders in de Waddenzee (nabij Westhoek). Zaden van strandmelde zijn op de kades van de kleirijperij in Delfzijl verzameld. De zaden zijn in gelijke porties verdeeld, gemend met vochtig zaagsel en zo snel mogelijk ingezaaid op de Delfzijl-locatie.

Om de resultaten ook statistisch te kunnen analyseren (zie paragraaf 3.4) zijn de bewerkingsmethoden gerepliceerd. Hiervoor zijn de vakken D1, D3 en D13 in drie subvakken verdeeld, met: a) enkel zulte, b) een mengsel, en c) controle-behandeling (geen inzaai) (figuur 3.4).

Tabel 3.3. Zaaidichtheid van de inzaai met halofyten in subvakken van de vakken D1, D3 en D13 op de Delfzijl-locatie, ingezaaid in november 2019.

Monocultuur		Zaadmengsel	
Soort	kg/ha	Soort	kg/ha
Zulte	1,5	Zulte	1,5
		Klein schorrenkruid	1,2
		Strandmelde	3,8

Tijdens een veldbezoek in maart 2020 bleek dat er ook in de controle-behandeling veel kiemplanten van zulte aanwezig waren. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de ingezaaide behandelingen en de sliblaag zonder vegetatie, is ervoor gekozen om vaste plots (2 x 2m) vrij te houden van vegetatie door in de controle-behandeling kiemplanten met een onkruidbrander weg te branden (figuur 3.5). Met deze methode kan vegetatie worden bestreden zonder de bodemstructuur te verstoren. Het branden is tussen 2 april en 23 juni 2020 vijf keer uitgevoerd en geldt als vierde bewerkingsmethode, die vanaf april 2021 werd voortgezet (samen met de kwelderlocatie).



Figuur 3.4. Voorbeeld van een recent ingezaaid vak (hier vak K10) met drie subvakken (v.l.n.r.: enkel zulte, controle (geen inzaai) en zaadmengsel). (Foto: Kelly Elschot)



Figuur 3.5. Voorbeeld van een kaal gebrand plot. In de subvakken met de controlebehandeling werden twee plots kaal gebrand (foto: Kelly Elschot).

Kwelderlocatie – inzaai

Het vullen van de kleirijperij op de kwelderlocatie is niet volgens plan verlopen. Door problemen bij het baggerwerk in Polder Breebaart zijn in het voorjaar van 2019 de vakken slechts voor een klein deel gevuld. Het meeste slib is hier alsnog in maart 2020 heen getransporteerd. Op 29 oktober 2020 zijn twee vakken (K8 en K10) op vergelijkbare wijze als op de Delfzijl-locatie ingezaaid. Omdat klein schorrenkruid op de Delfzijl-locatie nauwelijks was gekiemd, is ervoor gekozen deze soort niet meer in te zaaien op de kwelderlocatie. Zaden van zulte en strandmelde zijn verzameld op de kleirijperij bij Delfzijl in het najaar van 2020. In de twee vakken op de kwelderlocatie zijn de volgende drie inzaaibehandelingen toegepast (alle drie in twee subvakken): a) alleen zulte, b) zaadmengsel van zulte en strandmelde, en c) controle-behandeling. Bewerking (d) 'kaal branden' vond hier eveneens in vaste plots van 2 x 2 m vanaf april 2021 plaats.

3.3 Veldwerk en monitoring

Om het effect van vegetatie op de rijping van het slib te onderzoeken, is gekeken naar drie hoofdprocessen: ontwatering, ontziltiging en oxidatie. Om te kunnen onderzoeken hoe deze processen zich ontwikkelden gedurende het project, zijn verschillende biotische en abiotische parameters gemeten (tabel 3.4).

Het opgespoten slib uit de Eems-Dollard heeft een relatief hoog organisch-stofgehalte. Op de twee locaties kan door contact met zuurstof de organische stof in het slib oxideren en als CO₂ in de lucht verdwijnen. Echter, zuurstof dringt slechts in beperkte mate door in het slib. Door de groei van wortels van de vegetatie kan zuurstof de bodem beter indringen, wat kan resulteren in een hoger zuurstofgehalte. Meer zuurstofindringing kan een positief effect hebben op de oxidatie van organisch materiaal – waarbij door chemische reacties het organische materiaal wordt afgebroken tot CO₂, H₂O,

kleine organische en anorganische bestanddelen. Om het zuurstofgehalte in de plots in de verschillende behandelingen vast te stellen, is de redoxpotentiaal van de bodem gemeten; hoe hoger de gemeten waarde, hoe hoger het zuurstofgehalte. Het effect van oxidatie in de bodem kan zich uiten in een verandering van het organisch-stofgehalte in de bodem.

Tabel 3.4. Overzicht van uitgevoerd veldwerk; weergegeven zijn de periodes per meting/actie voor beide proeflocaties, chronologisch weergegeven. Voor broedvogelmonitoring zie paragraaf 3.5.

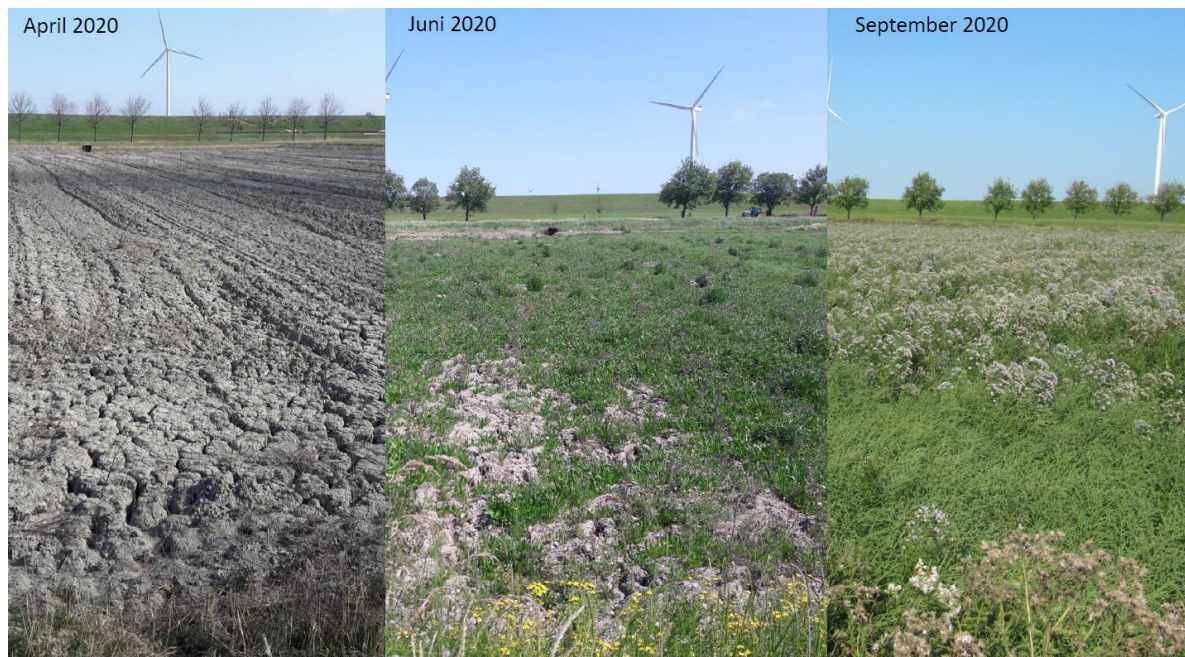
Meting/actie	Delfzijl	Kwelder	Beschrijving
Vulling met slib	April en juni 2018	Nov/dec 2019 en jan/feb 2020	Vulling van de depots met slib
Vegetatie (1 ^e inzaai)	April 2019	Nvt	Inzaai met akkervegetatie
Opname vegetatievestiging	Aug 2019	Aug 2020	Waarneming plantensoorten en abundantie in zes depots in Delfzijl en tien depots op de kwelderlocatie
Zaden verzamelen	Okt 2019	Okt 2020	Zaden handmatig verzameld op de kwelder bij Westhoek (2019) of op de Delfzijl-locatie (2019 en 2020)
Vegetatie (2 ^e inzaai)	Nov 2019	Okt 2020	Inzaai met drie halofyte plantensoorten
Vegetatie wegbranden	April tot juli 2020 April tot juli 2021	April tot juli 2021	Circa 5x wegbranden van de vegetatie per jaar per betreffende locatie
Vegetatieopname	Sept 2020 en sept 2021	Sept 2021	Vegetatiehoogte en bedekking geschat
Biomassa	Sept 2020 Sept 2021	Sept 2021	Nemen van bodemkernen
Bodemtemperatuur	24 juni 2020 tot 14 sept 2020	24 juni 2020 tot 14 sept 2020	Tussentijdse uitlezing: 4 aug 2020, meetfrequentie is elke 30 minuten
Vochtgehalte	Sept 2020 en sept 2021	Sept 2021	Nemen van bodemkern
Zoutgehalte	Sept 2020 en sept 2021	Sept 2021	Nemen van bodemkern
Organisch-stofgehalte	Sept 2020 en sept 2021	Sept 2021	Nemen van bodemkern
Redoxpotentiaal	Sept 2021	Sept 2021	Metten van redoxpotentiaal in een bodemkern

3.3.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling

Om de natuurlijke vestiging en ontwikkeling van de vegetatie in het aangebrachte slib te bepalen is de vegetatiesamenstelling en de abundantie van de plantensoorten in beide locaties opgenomen. Deze relatief simpele methode heeft als nadeel dat alleen de plantensoorten worden meegenomen die in de heersende omstandigheden wisten te kiemen en te vestigen. De methode zal niet een volledig beeld geven van de aanwezige soorten in de zaadbank. In deze pilot zijn echter alleen de soorten die kunnen kiemen relevant en daarom is voor deze methode gekozen.

Deze opname is uitgevoerd in de eerste zomer na het aanbrengen van het eerste slib en zo gauw de vakken te voet begaanbaar bleken te zijn. Hierbij werd gebruik gemaakt van de Tansley-schaal en de aantallenschaal van Staatsbosbeheer, deze methoden zijn geschikt om grote vlakken vegetatie in kaart te brengen. Voor de Delfzijl-locatie zijn zes vakken beschreven, terwijl dat er voor de kwelderlocatie alle tien vakken zijn omdat nog onduidelijk was welke vakken de biologische behandelingen toegewezen zouden krijgen. De vegetatie van de kades is buiten beschouwing gelaten, al zullen sommige plantensoorten zich mogelijk vanuit de kades (zoals strandmelde), of met de wind, vanuit de omgeving naar de kleirijperijen hebben verspreid (zoals zulte).

Vegetatieopname



Figuur 3.6. Impressie van vegetatiegroei op de Delfzijl-locatie; getoond is vak D3 (foto's: Kelly Elschot).

Per vak zijn twee plots (2 x 2m) gekozen bij de vier verschillende behandelingen: a) inzaai zulte, b) inzaai mengsel, c) controle-behandeling en d) kaal gebrand. In de vegetatie bedekte vakken zijn deze plots gekozen tijdens het bemonsteren daar waar de vegetatie representatief was voor het gehele subvak. De kaal gebrande plotten lagen op vaste plekken, gekozen in het voorjaar voor gestart is met branden. In totaal zijn er op de Delfzijl-locatie 24 plots in 2020 en 2021 en op de kwelderlocatie 16 plots in 2021 opgenomen (figuur 3.6). De vegetatieopnames zijn beschreven met de decimale schaal van Londo (Londo, 1976). Deze schaal heeft de voorkeur boven de Tansley-schaal op kleine oppervlakten, vanwege een hogere nauwkeurigheid. De vegetatiehoogte en de bedekking van alle aanwezige plantensoorten werden geschat.

3.3.2 Biomassa

Om te bepalen hoeveel biomassa bovengronds en ondergronds wordt geproduceerd door de aanwezige vegetatie, zijn in september 2020 en september 2021 monsters genomen van de bovengrondse en ondergrondse plantendelen in de vakken D1, D3, en D13 in Delfzijl. Op de kwelderlocatie zijn in september 2021 monsters genomen in de vakken K8 en K10. Per behandeling is dit in duplo uitgevoerd in dezelfde vaste plots waar ook de vegetatie en bodemonsters zijn genomen.

Bovengronds is een vierkanten houten frame (0,25 m²) op de bodem geplaatst (figuur 3.6). In dit frame is alle aanwezige vegetatie afgeknipt tot ca. 1 cm boven het maaiveld. De verzamelde vegetatie is vervolgens op plantensoort gesorteerd en gedroogd in een droogstoof (24 uur, 70°C) en gewogen. Ondergronds is met een wortelboor (diameter: 70 mm, lengte: 140 mm) een bodemonster gestoken van de toplaag (0-14 cm) en de diepere laag (14-28 cm). Deze monsters zijn uitgespoeld om zo het sediment te verwijderen, waarna de overgebleven wortels zijn gedroogd (24 uur, 70°C) en gewogen.



Figuur 3.6. Om de bovengrondse biomassa te verzamelen is een vierkanten houten frame met een intern oppervlak van 0,25 m² op het maaiveld geplaatst en alle vegetatie hierbinnen afgeknipt tot 1 cm boven het maaiveld (september 2020).

3.3.3 Abiotische factoren

Om de effecten van vegetatie op de kleirijping te bepalen zijn verschillende bodemparameters gemeten. De gemeten bodemparameters betreffen bodemtemperatuur, vocht-, zout- en organisch-stofgehalte. De focus lag hierbij op de bovenlaag van 0-24 cm. Metingen in de diepere lagen werden uitgevoerd door Deltares en worden in de overall-rapportage gepresenteerd (EcoShape; in voorber.)

Bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur is bepaald met twaalf temperatuursensoren (iButtons, DS1921G-F5# Temperature Loggers) voor de periode van 24 juni tot 14 september 2020, met een meetfrequentie van eens per dertig minuten. Acht sensoren zijn geplaatst op de Delfzijl-locatie en vier op de kwelderlocatie met een tussentijdse uitlezing op 4 augustus 2020 (tabel 3.4). De sensoren werden ingraven op 5 en 12 cm diepte in vak D3 op de Delfzijl-locatie in drie behandelingen: a) alleen zulte, b) zaadmengsel van zulte en strandmelde, en d) kaal gebrand. Vier sensoren zijn in de kwelderlocatie in de controle-behandeling geplaatst op 5 en 12 cm diepte, eveneens met een meetfrequentie van dertig minuten.

Op 7 juni 2021 zijn de temperatuursensoren op de Delfzijl-locatie in vak D3 geplaatst, voor de behandelingen: a) alleen zulte, b) zaadmengsel van zulte en strandmelde, en d) kaal gebrand. In vak D1 is nog een sensor geplaatst bij behandeling b. Op de kwelderlocatie zijn zes sensoren geplaatst in de periode 7-9 juni 2021 in de twee vakken K8 en K10: één sensor in elk van de drie behandelingen a, b en d. Alle sensors zijn verwijderd op 31 augustus 2021.

Tabel 3.5. Plaatsing temperatuursensoren in 2020/2021, in verschillende behandelingen en op twee dieptes in de kleirijperijlocaties. NA = niet beschikbaar.

Locatie	Vak	Behandeling	Diepte (cm)	Start sensor	1e uitlezing	2e uitlezing	Commentaar
Delfzijl	D3	Kaal	12	24 juni 2020	4 aug 2020	14 sept 2020	
Delfzijl	D3	Kaal	5	24 juni 2020	4 aug 2020	14 sept 2020	
Delfzijl	D3	Mengsel	12	24 juni 2020	4 aug 2020	NA	14-9: verdwenen
Delfzijl	D3	Mengsel	5	24 juni 2020	NA	14 sept 2020	4-8: verdwenen
Delfzijl	D3	Zulte	12	24 juni 2020	4 aug 2020	14 sept 2020	14-9: sensor uit de grond
Delfzijl	D3	Zulte	5	24 juni 2020	4 aug 2020	14 sept 2020	14-9: sensor nog 2 cm diep
Kwelder	K1	Controle	12	24 juni 2020	5 aug 2020	14 sept 2020	
Kwelder	K1	Controle	5	24 juni 2020	5 aug 2020	14 sept 2020	
Delfzijl	D3	Kaal	10	7 juni 2021	31 aug 2021		
Delfzijl	D3	Zulte	10	7 juni 2021	31 aug 2021		
Delfzijl	D3	Mengsel	10	7 juni 2021	31 aug 2021		
Delfzijl	D1	Mengsel	10	7 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K8	Kaal	10	9 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K8	Zulte	10	9 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K8	Mengsel	10	9 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K10	Kaal	10	7 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K10	Zulte	10	9 juni 2021	31 aug 2021		
Kwelder	K10	Mengsel	10	7 juni 2021	31 aug 2021		

Redoxmetingen

Als proxy voor het zuurstofgehalte in de bodem is de redoxpotential gemeten. Dit is uitgevoerd in September 2021 bij elk plot op beide locaties. Hierbij werd gebruik gemaakt van een Veld Microsensor Multimeter, redoxpotential gemeten ten opzichte van een referentie-waterstofelektrode (<https://unisense.com/products/field-microsensor-multimeter/>). De redoxpotential is verticaal elke 3 cm gemeten, startend vanaf 0-3 cm tot en met 27-30 cm.

Vocht-, zout- en organisch-stofgehalte

Op de Delfzijl-locatie zijn in september 2020 per behandeling twee bodemkernen met een diameter van 70 mm gestoken van de toplaag op 0-14 cm en 14-28 cm diepte. Deze bodemkernen, waarin zich ook worteldelen bevonden, zijn meegenomen naar het lab van WMR voor de bepaling van vocht-, zout- en organisch-stofgehalte. De kernen zijn gewogen en 24 uur gedroogd op 105°C in de droogstoof en opnieuw gewogen om het vochtgehalte te bepalen. De kernen zijn vervolgens fijngemalen in een keukenmachine, waarvan 10 g werd opgelost in 40 mL milliQ water; uitgevoerd in duplo. Dit is overnacht geroerd en de eerstvolgende dag is de geleidbaarheid (als indicator voor het zoutgehalte) bepaald met een EC-meter in mS/cm en ‰ met een verdunningsfactor van 1:4 bij 20°C. Het organisch-stofgehalte is bepaald met de gloeiverliesmethode, dat wil zeggen door 10 g droog sediment te verassen op 550°C gedurende 24 uur en opnieuw te wegen; uitgevoerd in duplo.

3.4 Data-analyse

De gemiddelde bedekking van de plantensoorten is per jaar, locatie en behandeling grafisch weergegeven. De bovengrondse en ondergrondse biomassa is uitgerekend met een nauwkeurigheid van g/m^2 en geanalyseerd met een Anova type III. De verklarende factoren gebruikt in het model waren locatie, de behandelingen en de interactie tussen locatie en behandelingen.

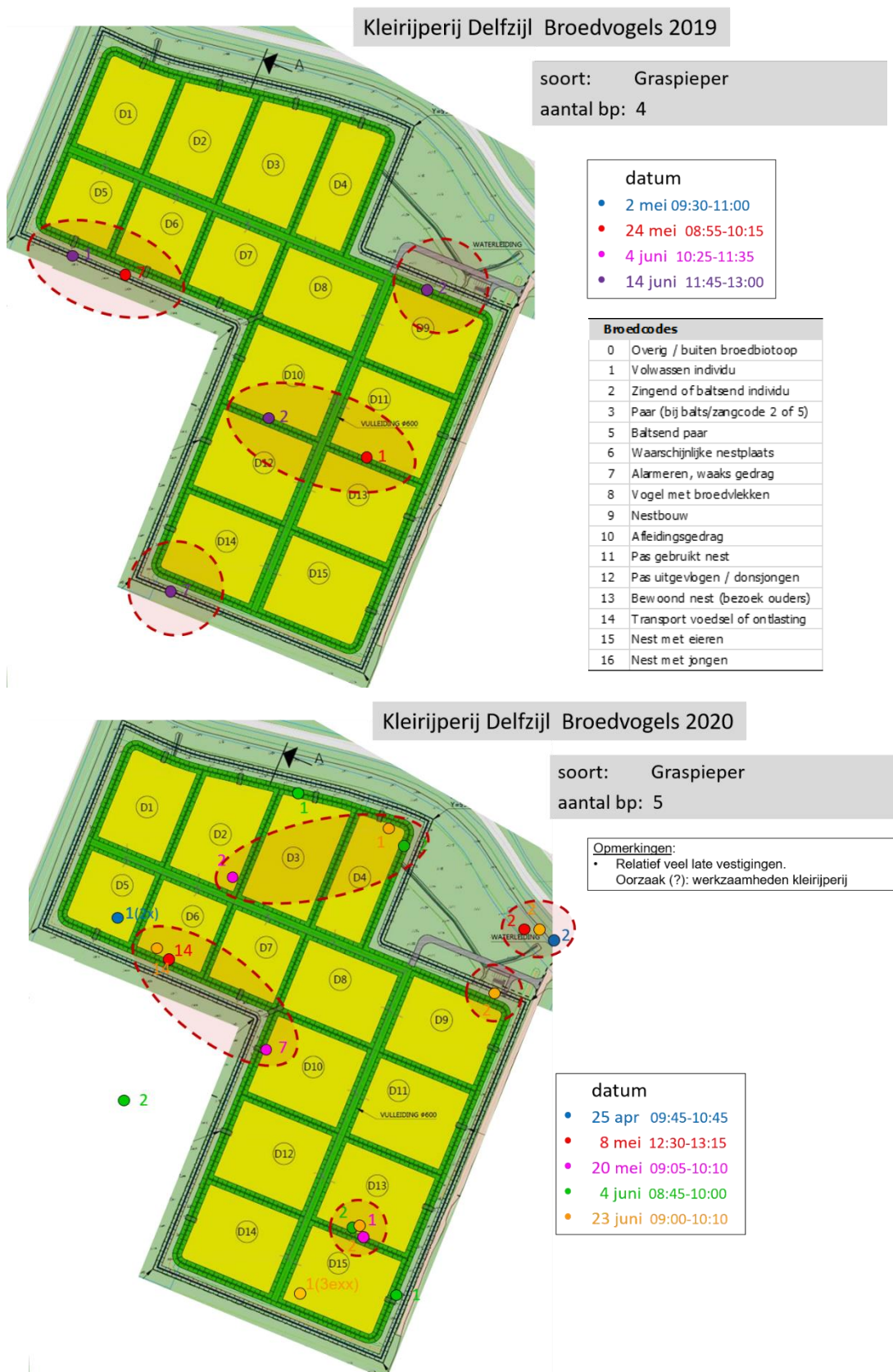
De redoxpotentiaal is geanalyseerd met een Anova type III met locatie, behandeling en diepte en alle mogelijke interacties tussen de verklarende variabelen. Daarnaast is de redoxpotentiaal gerelateerd aan de ondergrondse biomassa. Daarvoor is de gemiddelde redoxpotentiaal berekend voor de diepte van 0–14 cm. De uitkomsten zijn gerelateerd aan locatie en ondergrondse biomassa met een *general linear model*.

Voor de analyse van de temperatuurdata zijn alleen de sensoren gebruikt die op vergelijkbare diepte hebben gelegen. Dit betekent dat alleen de sensoren op 10 en 12 cm diepte zijn geselecteerd. Van de temperatuurdata is de dagelijkse maximum-, minimum- en gemiddelde temperatuur berekend. Deze drie temperatuurvariabelen zijn met een Anova type III gerelateerd aan locatie, jaar, behandeling, maand en de interactie tussen maand en behandeling. De factoren vocht-, zout- en organisch-stofgehalte zijn alle drie geanalyseerd met een Anova type III. De verklarende factoren waren locatie, behandeling en diepte.

Of de factoren normaal waren verdeeld, is grafisch getest. Alle analyses zijn uitgevoerd met behulp van het statische programma R.

3.5 Broedvogelinventarisatie

Voor het monitoren van de eventuele tijdelijke natuurwaarde (zie subparagraaf 2.1.3) is in zowel 2019 als in 2020 in beide kleirijperijen een broedvogelinventarisatie uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de standaard Broedvogel Monitoring Project-methode (BMP) van SOVON (Vergeer et al., 2016). De waarnemingen werden op afstand uitgevoerd om geen extra verstoring te veroorzaken; er werd niet door de vakken heen gelopen om exacte nestlocaties te bepalen. Voor het aantal bezoekerondes is hierbij het schema van gemengd cultuurland/akker (of open agrarisch gebied) gevolgd (Vogel et al., 2016), namelijk: vier bezoekerondes in 2019 in de periode tussen 2 mei (week 18) en 14 juni (week 24) en vijf in 2020 in de periode 25 april (week 17) en 23 juni (week 26). Waarnemingen werden in de ochtend gedaan en per soort ingetekend op een kaart met een standaardcodering voor gedrag of een andere aanwijzing die op mogelijk broeden kan duiden. Omdat het slechts twee kleine gebieden betreft is ervoor gekozen om de resultaten handmatig te verwerken. Hiervoor zijn voor beide locaties alle waarnemingen overgebracht op zogenoemde soortverzamelkaarten (zie bijvoorbeeld figuur 3.7 voor de graspieper). Het aantal broedparen per soort is afgeleid van het aantal clusters van stippen op de soortverzamelkaarten. De stippen moeten hierbij wel voorzien zijn van een gedragscode die wijst op het mogelijk broeden van de soort, zoals bijvoorbeeld een zingend mannetje (code 2 in figuur 3.7). Tijdens de bezoekerondes zijn de standaardcodes uit de BMP-handleiding van SOVON gehanteerd (zie figuur 3.7). In de Delfzijl-locatie is de ringsloot waarin het drainagewater van de locatie werd opgevangen ook tot de locatie gerekend. Bij de kwelderlocatie is een stukje kwelder waar droge klei uit Polder Breebaart lag opgeslagen ook tot de locatie van de kleirijperij gerekend.



Figuur 3.7. Soortverzamelkaart van de locatie Delfzijl voor de signalering van graspiepers in 2019 (boven) en 2020 (onder). Elk bezoek heeft een unieke kleur en er zijn verschillende broedcodes onderscheiden. De stippen geven de locaties weer waar de vogels zingend, baltsend of alarmerend gedrag vertoonden.

4 Resultaten

4.1 Monitoring kleirijping met vegetatie

4.1.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling

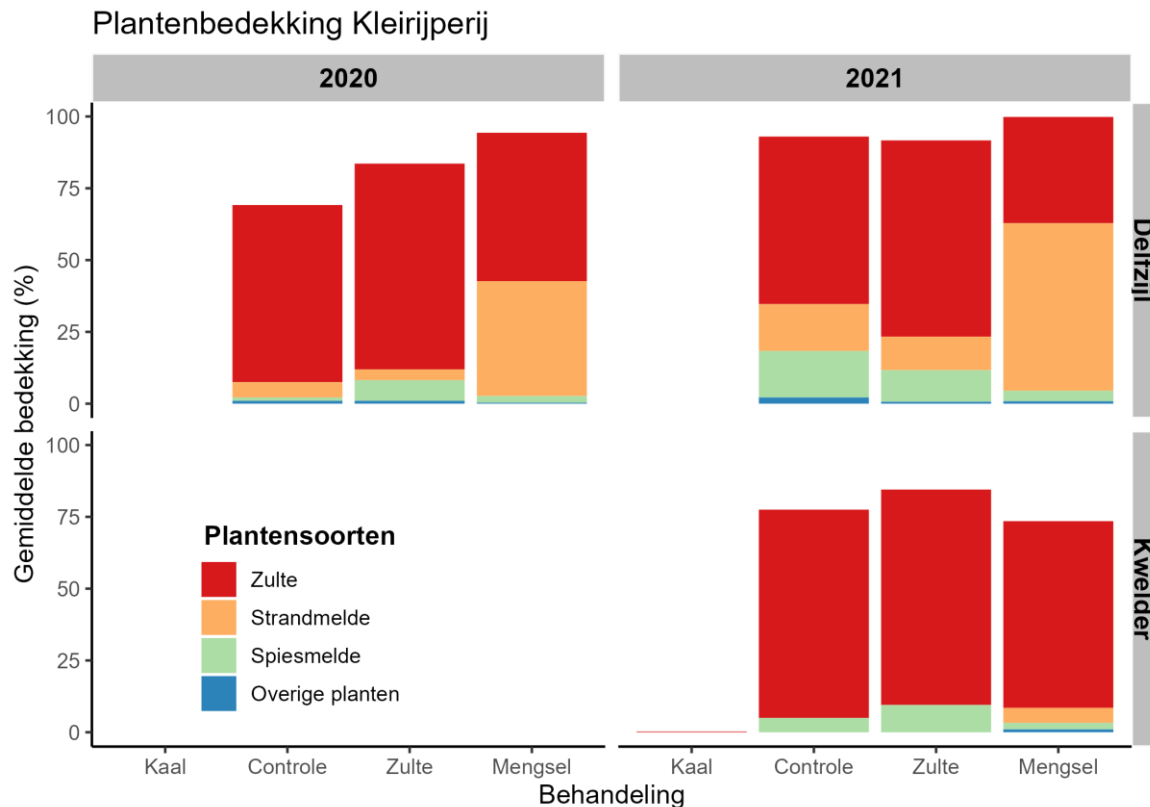
In de Kleirijperij Delfzijl werden vrijwel alleen soorten met een hoge zouttolerantie aangetroffen (tabel 4.1). Een uitzondering hierop was het biologische vak D3 waar verspreid over het vak een paar tarweplanten werden aangetroffen als gevolg van de eerste inzaai in april 2019. Het ontbreken van andere niet-zouttolerante of brakke soorten uit de eerste inzaai in augustus 2019 geeft aan dat de vakken op de Delfzijl-locatie een jaar na het vullen nog steeds veel te zout waren voor niet-zouttolerante planten en dat de aanwezige zaadbank in het aangebrachte slib zeer beperkt was. De vegetatie op de kwelderlocatie in augustus 2020 (een paar maanden na het vullen) indiceert dat het zoutgehalte van het slib hier lager was dan dat van de Delfzijl-locatie aangezien er al verscheidene soorten met een lagere zouttolerantie aanwezig waren, zoals klein kruiskruid, heen en goudknopje. Het aantal plantensoorten dat zich had gevestigd op het slib afkomstig uit Polder Breebaart was gemiddeld tien plantensoorten per vak; op het slib uit de haven bij Delfzijl was het gemiddelde 6,6 plantensoorten per vak.

Tabel 4.1. De vegetatie van de beide kleirijperijen in Delfzijl en op de kwelder. De soorten zijn gegroepeerd naar hun zouttolerantie gebaseerd op Scherfose (1987) en Esselink et al., (2015). 2 = zouttolerant, 1 = matig zouttolerant (brak), 0 = laag - of niet zouttolerant. Binnen dezelfde zouttolerantie-klasse zijn de soorten gerangschikt naar afnemende mate van voorkomen. Opname is in de Tansley-schaal met s = sporadisch, r = zeldzaam (rare), o = af en toe (occasional), f = frequent en a = overvloedig (abundant), allen < 5% bedekking.

Plantensoort	Delfzijl (vaknr.) 2019						Kwelder (vaknr.) 2020									
	D1	D2	D3	D8	D9	D13	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Zouttolerantie 2																
Zulte	f	f	o	o	f	f	a	f	o	a	f	f	f	a	f	a
Spiesmelde	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	f	f	r	o	r	a
Kortarige zeekraal	o	r	r	o	o	o	a	a	a	a	a	a		a	a	a
Langarige zeekraal	o	o	r	o	o	o	f	f		o	f	a	f	f	f	f
Strandmelde	o	r	o	o	o	o										
Zilte schijnspurrie	o	r	r	r	r		f	a		a	f	a		a	o	o
Klein schorrenkruid				s			f	f	a	f	a	a	f	f	f	a
Gewoon kweldergras							o		f	r		o	o	o	f	f
Melkkruid																s
Echte schijnspurrie							f	f	f	a	f	f	o	f	o	a
Zouttolerantie 1																
Stomp kweldergras		s	s			s		r			o				r	o
Heen										o	o	r	a		o	
Goudknopje									r	o	o	o	o			o
Riet												r	r	r	r	r
Kweek							s							s		
Varkensgras															s	
Zouttolerantie 0																
Tarwe			o													
Klein kruiskruid													o			r
Totaal aantal soorten per depot	6	7	8	7	6	6	9	8	7	10	9	11	11	10	12	13

Om antwoord te kunnen geven op de vraag naar de ontwikkeling van vegetatie op zilt slib, is gekeken naar de begroeiing bij de verschillende behandelingen met de gekozen zouttolerante planten (figuur 4.1).

In 2020 lag het percentage van de gemiddelde bedekking met vegetatie iets lager in de plots in de controlevakken (hierna controle-plots) dan in de plots in de vakken die ingezaaid waren met zulte of met een zaadmengsel (hierna inzaai-plots). In 2021 was de bedekking in de verschillende plots nagenoeg gelijk, met een iets hogere bedekking in Delfzijl dan op de kwelderlocatie. Zulte en strandmelde waren ingezaaide soorten, die vervolgens dominant zijn geworden. De derde ingezaaide soort, klein schorrenkruid, is nauwelijks opgekomen. Zulte was de overheersende plantensoort, met uitzondering van 2021 op de Delfzijl-locatie, waarbij in de gemengde inzaai strandmelde de hoogste bedekking bereikte. In 2021 was in de Delfzijl-locatie de totale bedekking van strandmelde en spiesmelde veel hoger dan in 2020. De vegetatie die in de controle-plots groeide kwam voort uit ingewaaid zaad uit de omgeving dan wel uit de beperkte zaadbank die reeds aanwezig was in het opgespoten slib.

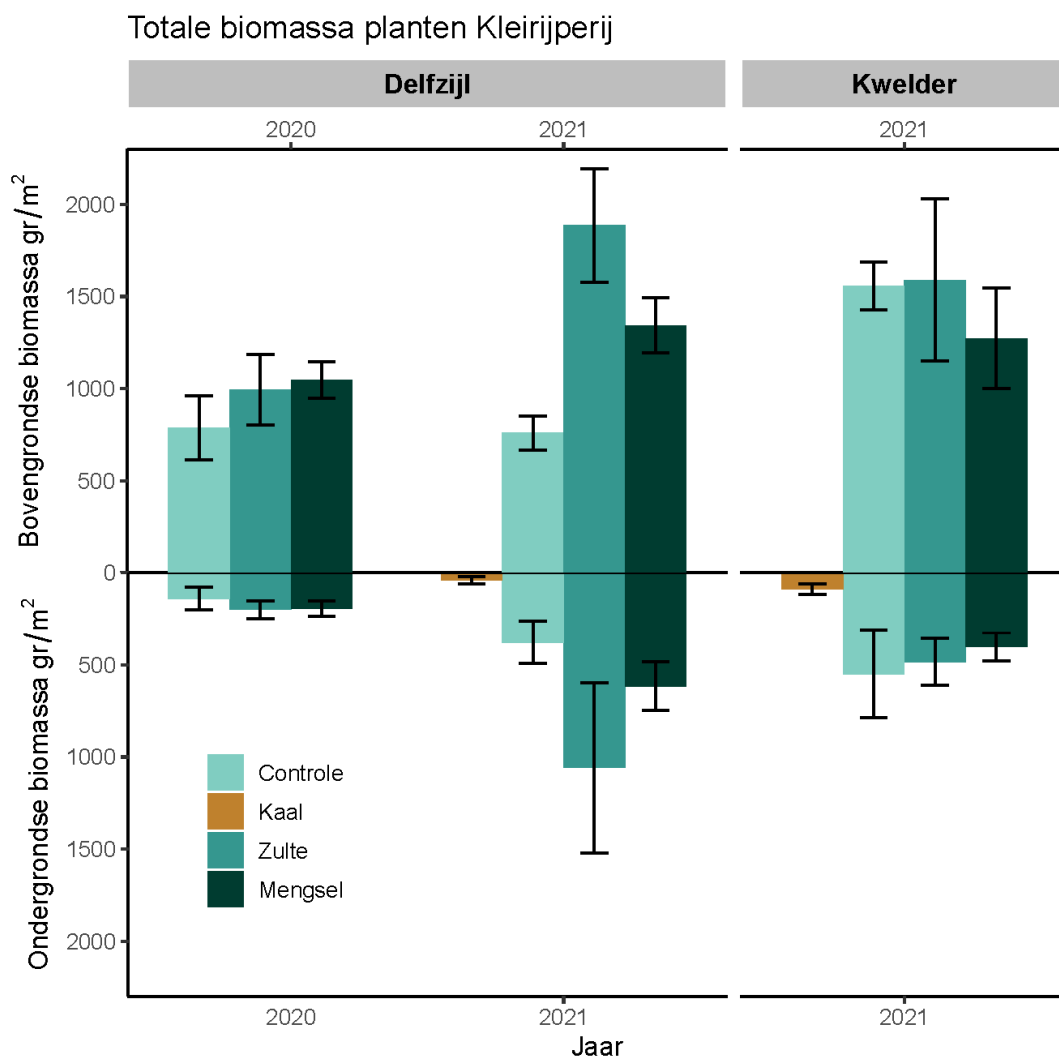


Figuur 4.1. Gemiddelde bedekking van de drie algemeenste soorten in 2020 en 2021 en het aandeel overige soorten op de Delfzijl-locatie en kwelderlocatie.

4.1.2 Biomassa

Om de ontwikkeling van de biomassaproductie in de verschillende behandelingen vast te stellen, is door middel van het nemen van monsters de bovengrondse en ondergrondse droge biomassa bepaald (figuur 4.2).

De kale plots zijn kaal gebrand en daarom is de bovengrondse vegetatie afwezig. De ondergrondse biomassa in de kale plots is biomassa van wortels van planten die buiten de kale plots stonden. Vanwege de actieve verwijdering van de biomassa in de kale plots, zijn deze plots niet meegenomen in de statistische analyses. In 2020 was er geen significant verschil in bovengrondse en ondergrondse biomassa tussen de behandelingen. De controle-plots verschilden niet van de plots met ingezaaide vegetatie (i.e. zulte en zaadmengsel). In 2021 verschilde de droge bovengrondse biomassa in de plots met zulte significant van de controle-plots op de Delfzijl-locatie (figuur 4.2; tabel 4.2). Op de kwelderlocatie was geen significant verschil aanwezig tussen de droge biomassa in de vegetatie-behandelingen, bovengronds noch ondergronds, vergelijkbaar met het eerste groeiseizoen (2020) in Delfzijl.



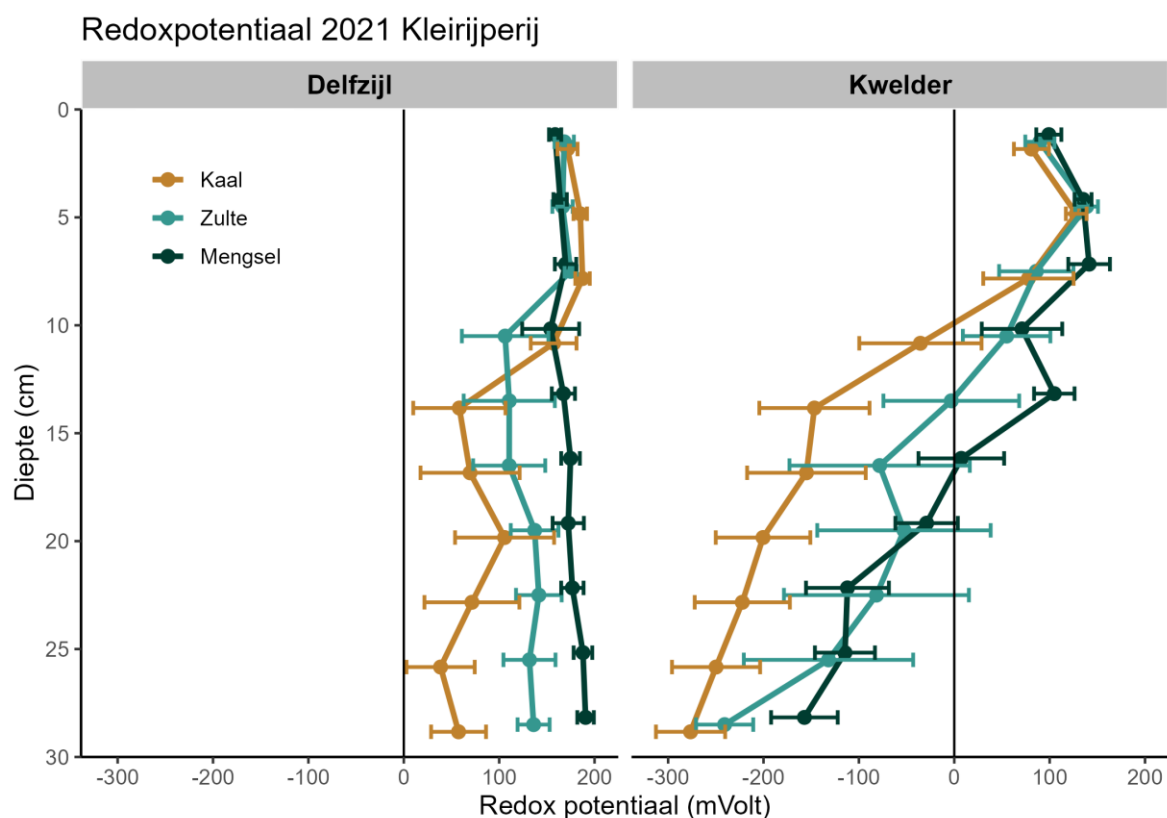
Figuur. 4.2. De gemiddelde ($\pm$ SE) bovengrondse en ondergrondse droge biomassa in de verschillende plots in 2020 en 2021, gegeven voor de Delfzijl-locatie en kwelderlocatie.

Tabel 4.2. Resultaten van een Anova type III met de verschillende plotbehandelingen en de beide locaties voor zowel bovengrondse als ondergrondse droge biomassa in 2020 en 2021. In 2020 zijn enkel op één locatie metingen gedaan (Delfzijl). De kale behandeling is niet meegenomen in deze statistische analyses. De getoonde waarden zijn F-waarden, p-waarden zijn aangegeven met een asterisk, met * < 0.05, ** < 0.01 en *** < 0.001. Df = aantal vrijheidsgraden

Factoren	Bovengrondse biomassa		Ondergrondse biomassa	
	2020	2021	2020	2021
Behandeling	0.73	6.32 **	0.66	2.09
Locatie	-	0.70	-	2.32
Behandeling*Locatie	-	2.65	-	0.98
Df	15	24	15	24

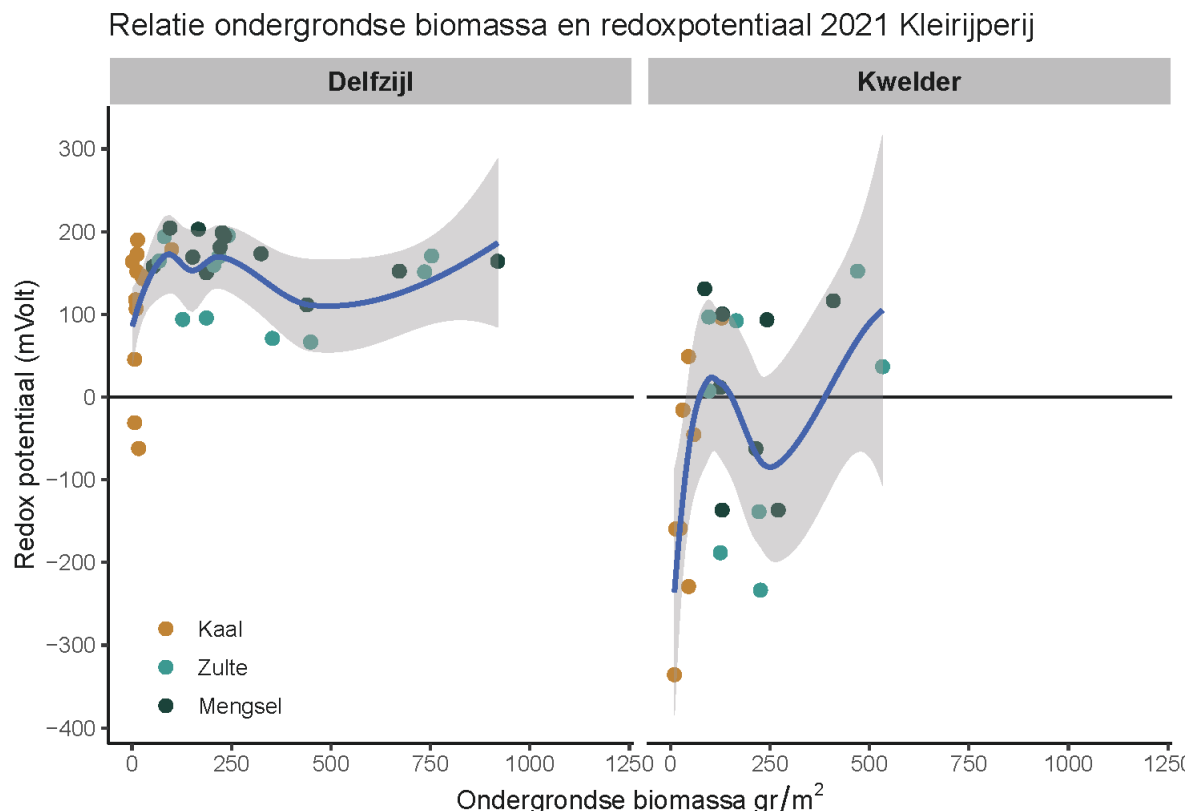
4.1.3 Bodemparameters

De redoxpotentiaal is als proxy gebruikt voor het **zuurstofgehalte** in de bodem. Over het algemeen had de kwelderlocatie een lager zuurstofgehalte dan de Delfzijl-locatie (figuur 4.3; tabel 4.3), omdat de Delfzijl-locatie twee groeiseizoenen heeft ondergaan en er dus meer zuurstof in de bodem heeft kunnen indringen dan in de kwelderlocatie, die één seizoen heeft ondergaan. Op beide locaties nam het zuurstofgehalte met toenemende diepte af en bleken de verschillen tussen de behandelingen en locaties significant. Op de kwelderlocatie werden negatieve waarden gemeten vanaf ca. 15 cm diepte (zuurstofarmer), terwijl de waarden op de Delfzijl-locatie in het hele diepteprofiel positief bleven (zuurstofrijker). Op beide locaties hadden de kale plots een lager redoxpotentiaal dan de plots met zulte of mengsel, waarbij het plot met mengsel de hoogste waarden had.



Figuur 4.3. De gemiddelde waarden ($\pm$ SE) van de redoxpotentiaal gemeten in 2021 op verschillende dieptes (in cm), weergegeven voor de verschillende behandelingen en twee locaties. NB, op de Delfzijl-locatie heeft de vegetatie al twee groeiseizoenen gestaan terwijl dat op de kwelderlocatie maar één groeiseizoen was.

De relatie tussen de ondergrondse biomassa en het zuurstofgehalte in de bodem bleek te verschillen tussen de twee locaties; deze was enkel op de kwelderlocatie significant (figuur 4.4). Er leek geen duidelijke relatie te zijn tussen de ondergrondse biomassa van wortels en de redoxpotentiaal. Alleen in de kale plots (zonder biomassa) was de redoxpotentiaal lager.



Figuur 4.4. De relatie tussen de ondergrondse biomassa en de redoxpotentiaal gemeten in de bodem op de twee kleirijperijlocaties (punten zijn gemiddelden).

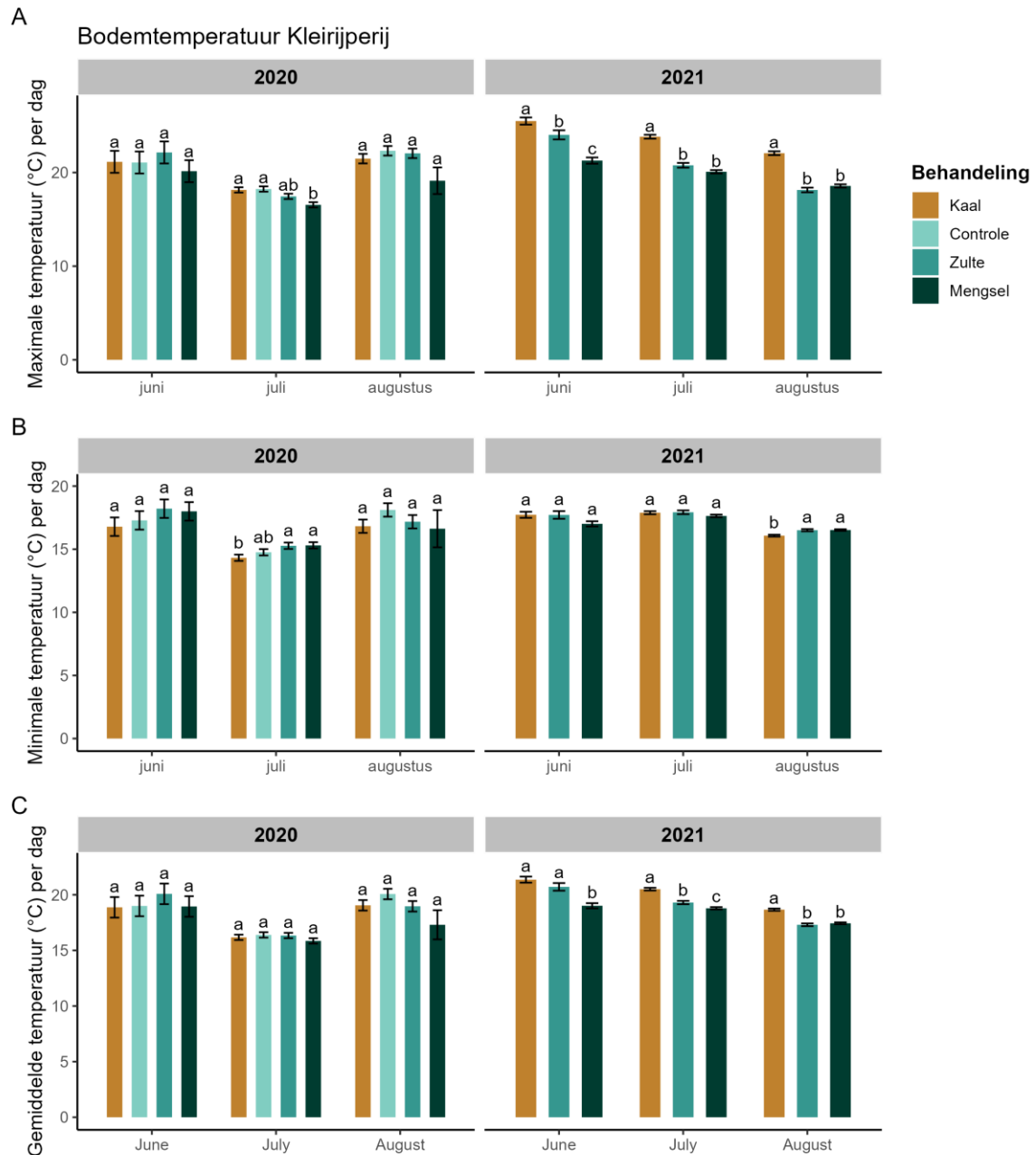
Tabel 4.3. Links: Resultaten van een Anova type III voor het effect van de behandeling, locatie en diepte voor de redoxpotentiaal. Rechts: Resultaten van een linear model met de gemiddelde redoxpotentiaal van 0–14 cm diepte, gerelateerd aan locatie en ondergrondse biomassa. De getoonde waarden zijn F-waarden, p-waarden zijn aangegeven met een asterisk, met * < 0.05, ** < 0.01 en *** < 0.001. Df = aantal vrijheidsgraden.

Factoren	Redox potentiaal
Locatie	0.038
Behandeling	1.14
Diepte	1.03
Locatie*Behandeling	1.92
Locatie*Diepte	33.93 ***
Behandeling*Diepte	8.01 ***
Locatie*Behandeling*Diepte	0.41
Df	288

Factoren	Redox potentiaal
Locatie	44.21 ***
Ondergrondse biomassa	0.02
Locatie*Ondergrondse biomassa	6.22 *
Df	56

De aanwezigheid van vegetatie had een verlagend effect op de **bodemtemperatuur**. De bodemtemperatuur (gemeten in de maanden juni, juli en augustus) was in 2020 in juli lager dan in de andere twee maanden. In 2021 was dit niet het geval (figuur. 4.5). Zowel in 2020 als in 2021 waren er verschillen tussen de behandelingen wat betreft de maximale en gemiddelde bodemtemperatuur (figuur 4.5a en 4.5b; tabel 4.4). In 2020 zijn de verschillen het meest significant in de maanden juli

en augustus tussen de kale plots en de plots met het mengsel. In 2021 waren de maximale en gemiddelde temperatuur lager in de plots met zulte en met het mengsel dan in de kale plots.



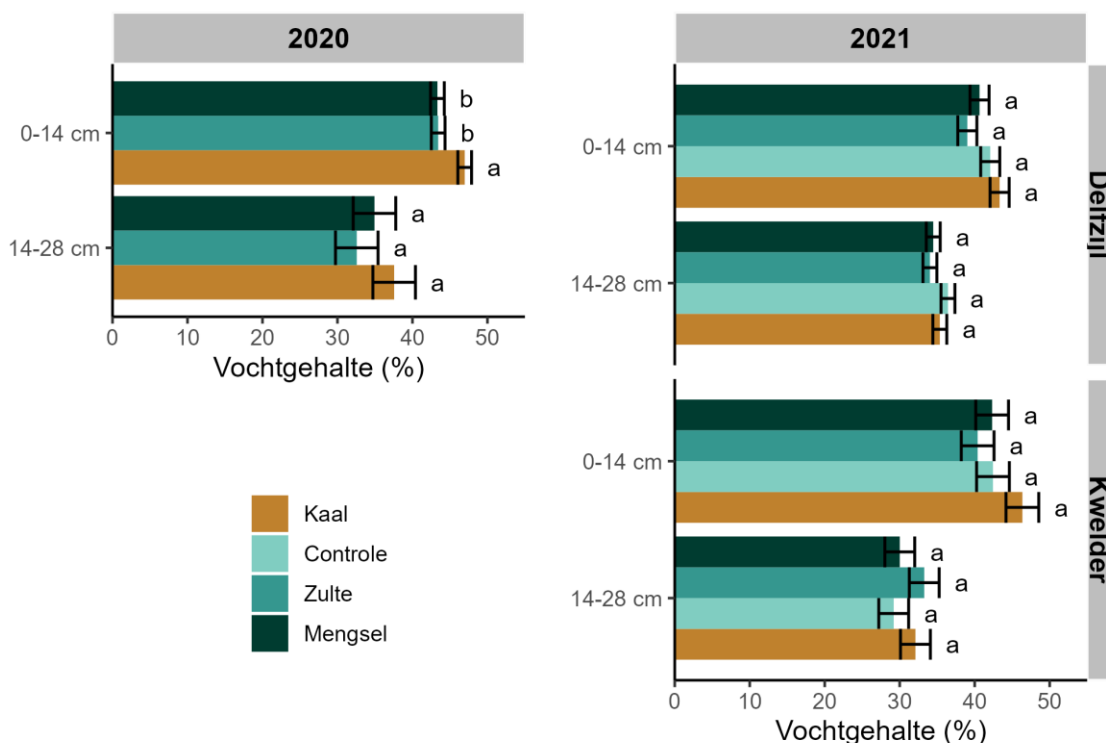
Figuur 4.5. De maximale (A), minimale (B) en gemiddelde (C) bodemtemperaturen (gemiddelde $\pm$ SE) in de verschillende behandelingen, gemeten in 2020 en 2021. Letters geven significantie aan, waarbij balken met verschillende letters significant van elkaar verschillen. Aangezien er geen verschil was tussen de locaties, is het gemiddelde genomen van beide locaties. NB, in 2020 is op de kwelderlocatie alleen in de kale behandeling gesensord.

Tabel 4.4. Resultaten van een Anova type III met de behandelingen, maanden, jaren en de interactie tussen behandeling en maand, gegeven voor de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur. De getoonde waarden zijn F-waarden, p-waarden zijn aangegeven met een asterisk, met * < 0.05, ** < 0.01 en *** < 0.001. Df = aantal vrijheidsgraden.

Factoren	Max. temp.	Min. temp.	Gem. temp.
Locatie	1.21	0.82	0.053
Jaar	75.74***	64.45***	93.61***
Behandeling	35.70***	3.88**	22.75***
Maand	43.29***	3.92*	31.32***
Behandeling x maand	11.02***	14.71***	16.72***
Df	1001	1001	1001

De aanwezigheid van vegetatie had in het algemeen een significant effect op het **vochtgehalte**, maar dat verschilde tussen de jaren, locaties en dieptes (tabel 4.5). Figuur 4.6 laat zien dat het vochtgehalte in de toplaag van het slib hoger was dan in het dieper gelegen slib. Enkel in 2020 werd in de toplaag een significant hoger vochtgehalte gemeten in de kale plots dan in de plots met zulte en de plots met het mengsel. Dit verschil werd in 2021 niet meer gemeten; in dat jaar verschilde het vochtgehalte tussen de twee dieptes van elkaar, maar waren er geen significante verschillen tussen de behandelingen. Dit kan het gevolg zijn geweest van de gevallen neerslag; de zomer van 2021 was natter dan die van 2020. In de winter speelt neerslag ook een rol, maar is er een andere wisselwerking met verdamping door hoge luchttemperatuur (en opname van water door de plant).

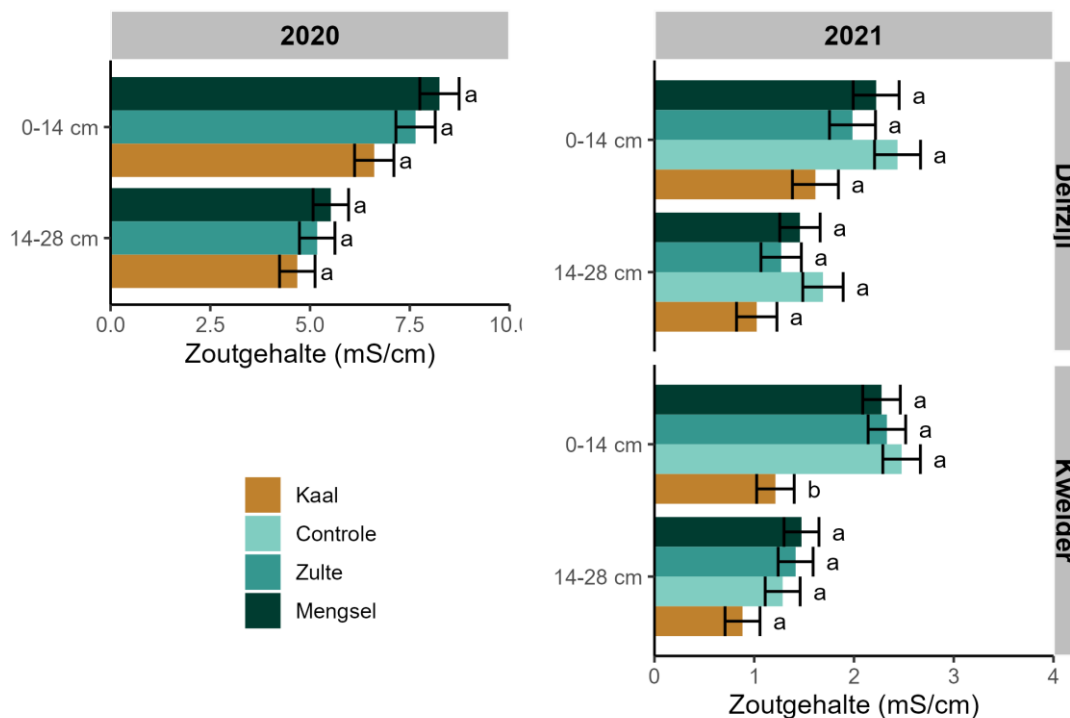
Vochtgehalte kleirijperij



Figuur 4.6. Het vochtgehalte in de bodem op 0-14 cm en 14-28 cm diepte, gemeten in 2020 en 2021 op de Delfzijl-locatie en de kwelderlocatie. Letters geven significantie aan, waarbij balken met verschillende letters significant van elkaar verschillen.

Er is zo goed als geen significant effect van de behandelingen op het aanwezige **zoutgehalte** in het slib waargenomen (figuur 4.7; tabel 4.5). Wel is er een trend te zien van hogere zoutgehaltes bij de aanwezigheid van vegetatie ten opzichte van de kale plots. Zowel in 2020 als in 2021 was het zoutgehalte hoger in de toplaag dan in de diepere laag. Enkel in de toplaag van de kwelder was in 2021 een significant verschil tussen de behandelingen; het zoutgehalte in de kale plots was lager dan in de andere plots. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door capillaire werking water omhoog kwam en door de plantenwortels werd opgenomen, waarbij het zout aanwezig in dit water niet werd opgenomen en achterbleef in de toplaag. Dit is echter een proces dat met name plaatsvindt in de zomer. Het lagere zoutgehalte in de kale plots leek ook te gelden voor de diepere sliblaag en op de Delfzijl-locatie, maar daar bleken de verschillen niet significant.

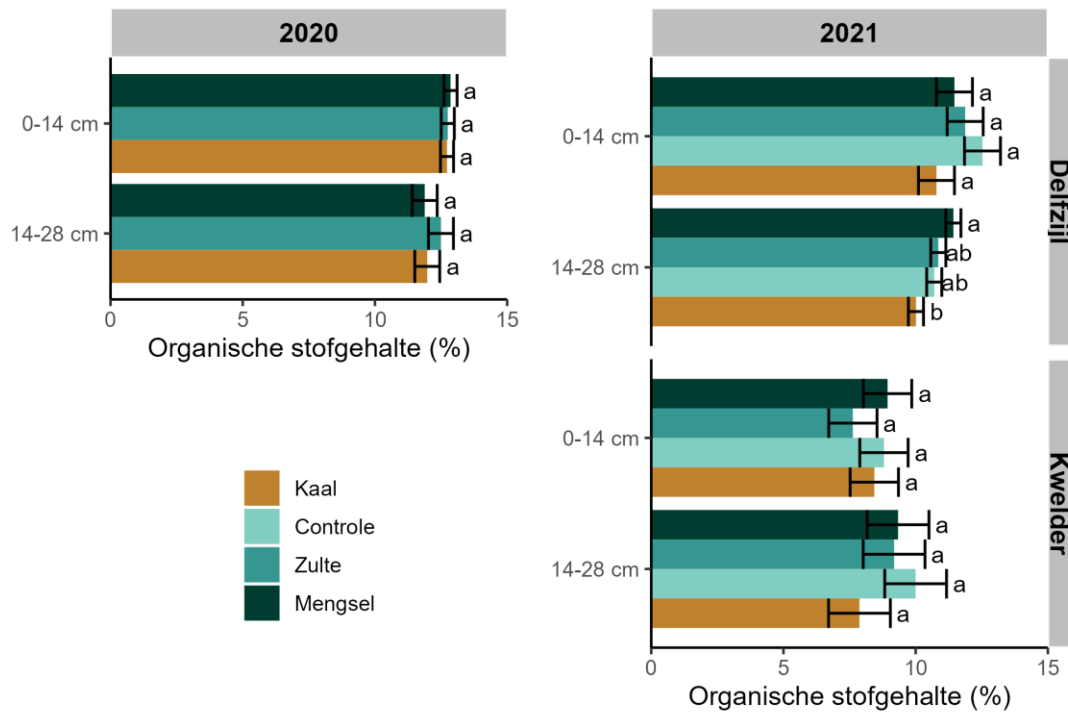
Zoutgehalte kleirijperij



Figuur 4.7. Het zoutgehalte in de bodem, gemeten op twee dieptes, in 2020 en 2021 op de Delfzijl-locatie en de kwelderlocatie. Letters geven significantie aan, waarbij balken met verschillende letters significant van elkaar verschillen.

Een duidelijk effect van vegetatie op het **organisch-stofgehalte** in de bodem is niet gemeten. In 2020 was er geen verschil tussen het organisch-stofgehalte in behandelingen in de toplaag en de diepere laag (figuur 4.8; tabel 4.5). Het organisch-stofgehalte verschilde wel significant tussen de twee locaties, met een lager organisch-stofgehalte op de kwelderlocatie dan op de Delfzijl-locatie. In 2021 was er op de kwelderlocatie geen verschil tussen de verschillende dieptes en binnen de behandelingen. Enkel in de diepere laag op de Delfzijl-locatie was het organisch-stofgehalte significant lager in de kale plots dan in de plots met het mengsel. De wortelbiomassa van vegetatie is tussen 0.8 en 4% van de totale organische stof die aanwezig is in de klei (tabel 4.6). Op de Delfzijl-locatie is een significante relatie gevonden tussen het zoutgehalte en het organisch-stofgehalte (t-waarde = 4.3, p-waarde = >0.001) (figuur 4.9).

Organische stofgehalte kleirijperij



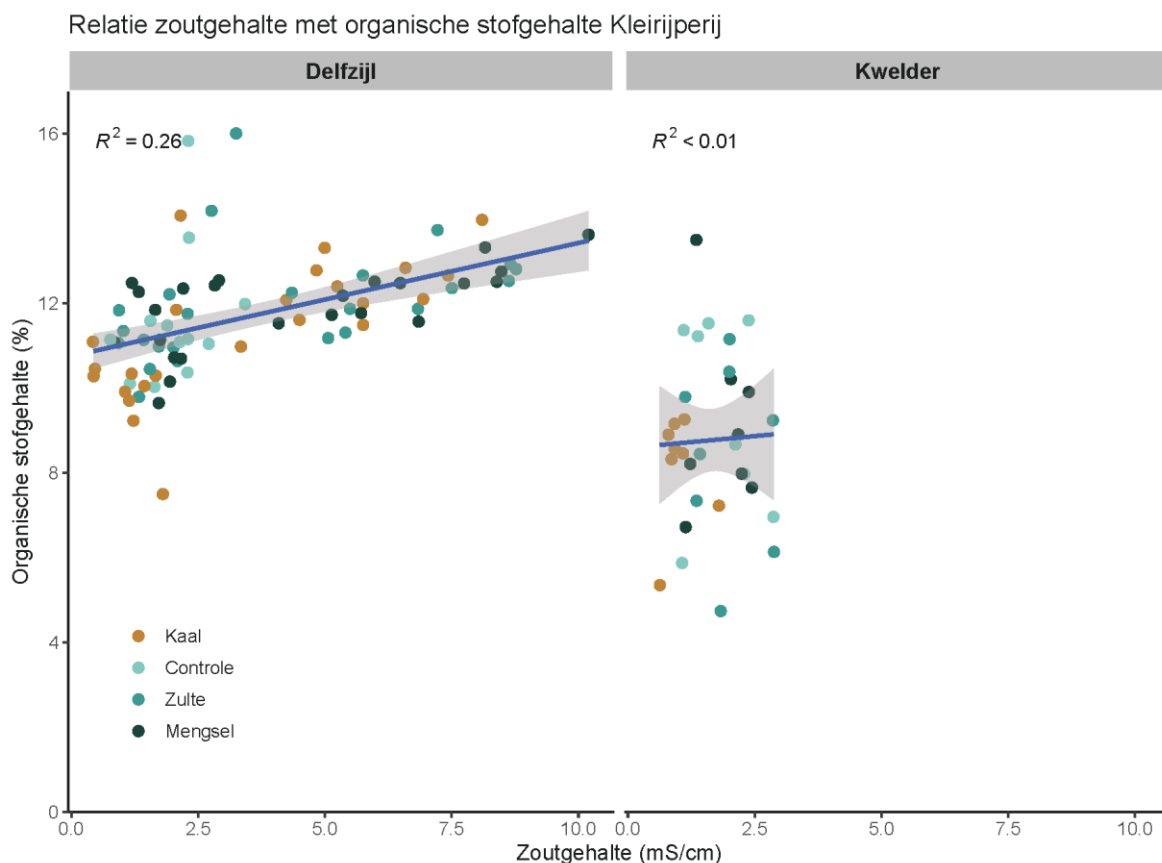
Figuur 4.8. Het organisch-stofgehalte in de bodem, op 0-14 cm en 14-28 cm diepte, gemeten in 2020 en 2021 op de Delfzijl en de kwelderlocatie. Het organisch-stofgehalte is bepaald met de gloeiverlies-methode. Letters geven significantie aan, waarbij balken met verschillende letters significant van elkaar verschillen.

Tabel 4.5. Resultaten van een Anova type III met de locaties, behandeling en diepte, gegeven voor het vochtgehalte, zoutgehalte en het organisch-stofgehalte in het slib. De getoonde waarden zijn F-waarden, p-waarden zijn aangegeven met een asterisk, met * < 0.05, ** < 0.01 en *** < 0.001. Df = aantal vrijheidsgraden.

Factoren	Vochtgehalte	Zoutgehalte	Organisch-stofgehalte
Locatie	4.48*	18.34***	85.05***
Behandeling	3.77*	2.38	1.16
Diepte	131.64 ***	10.13**	1.98
Df	110	110	110

Tabel 4.6 Een vergelijking tussen de gemiddelde ondergrondse biomassa en het organisch-stofgehalte. Een gemiddelde ratio is uitgerekend tussen de ondergrondse biomassa en het organisch-stofgehalte. N.g. = niet gemeten.

Jaar	Locatie	Behandeling	Ondergrondse biomassa (g/m ²)	Organisch-stofgehalte (g/m ²)	Ratio (%)
2020	Delfzijl	Kaal	n.g.	23343 ± 828	-
2020	Delfzijl	Controle	140 ± 61	n.g.	-
2020	Delfzijl	Zulte	201 ± 49	24839 ± 1333	0.83 ± 0.23
2020	Delfzijl	Mengsel	196 ± 43	24011 ± 485	0.83 ± 0.19
2021	Delfzijl	Kaal	121 ± 39	73164 ± 3846	0.16 ± 0.04
2021	Delfzijl	Controle	1133 ± 389	90757 ± 4397	1.23 ± 0.37
2021	Delfzijl	Zulte	3178 ± 1405	86894 ± 5978	3.56 ± 1.37
2021	Delfzijl	Mengsel	1846 ± 269	83537 ± 4408	2.20 ± 0.21
2021	Kwelder	Kaal	178 ± 54	41112 ± 2014	0.44 ± 0.15
2021	Kwelder	Controle	1100 ± 635	56704 ± 7165	2.11 ± 1.39
2021	Kwelder	Zulte	967 ± 9	48945 ± 6452	2.01 ± 0.28
2021	Kwelder	Mengsel	803 ± 243	51616 ± 4591	1.53 ± 0.34



Figuur 4.9 Relatie tussen het zoutgehalte en het organisch-stofgehalte. De regressielijn en de R^2 geven de model fit weer.

4.2 Broedvogelinventarisatie

Beide kleirijperijen vormden voor het onderzoek aan broedvogels gebieden van relatief geringe omvang. Daarnaast vond er veel verstoring plaats op de locaties. (Voor een goed begrip, verstoring is niet pas relevant in de fase waarin vogels daadwerkelijk overgaan op broeden, maar ook in de voorfase waarin vogels nog op zoek zijn naar een geschikte broedplek.) Mede hierdoor waren de broedvogelaantallen erg laag (tabel 4.6) en daardoor tevens moeilijk te evalueren. De meeste broedvogels leken gebonden aan de randen van de kleirijperij en de kades tussen de baggerdepots (zie ook figuur 3.7). Op de Delfzijl-locatie lagen bijvoorbeeld de territoria van blauwborst, gele kwikstaart, kleine karekiet, rietgors, rietzanger en roodborsttapuit allemaal in of aan de ringsloot, evenals een aantal territoria van de graspieper; *i.e.* in totaal meer dan de helft van de totale broedvogelbevolking op deze locatie (tabel 4.6). De witte kwikstaarten werden steeds waargenomen rond stortkokers van de baggerdepots en mogelijk werden de kokers als nestplaats gebruikt. De geplaatste oeverwalwand bij de locatie Delfzijl bleef zowel in 2019 als in 2020 onbezet. Tijdens drie van de vier bezoeken werden in 2019 wel enkele oeverwaluwen boven de locatie Delfzijl waargenomen.

Met uitzondering van de biologische vakken in 2020, bleven de meeste vakken op de Delfzijl-locatie als gevolg van het regelmatige omzetten vrijwel onbegroeid. Door het ontbreken van vegetatie bleven deze vakken voor veel vogels ongeschikt om er te broeden met uitzondering van pioniersoorten als kleine plevier, bontbekplevier, kluut en scholekster. In 2019 is inderdaad mogelijk sprake geweest van een broedgeval van de kleine plevier. Tijdens drie van de vier bezoeken werden alarmerende vogels waargenomen. Om verstoring te minimaliseren is geen poging ondernomen om via het zoeken van een nest het broeden te bevestigen. Op 2 mei 2019 was ook een paartje bontbekplevieren aanwezig dat zich op basis van het getoonde gedrag leek te gaan vestigen als broedvogel. De vogels zijn tijdens de drie volgende bezoeken echter niet meer waargenomen. Uiteindelijk is op de Delfzijl-locatie van de genoemde pioniersoorten geen enkel broedgeval vastgesteld.

De kwelderlocatie in de Dollard was kleiner en werd ongeveer een jaar later in gebruik genomen dan de Delfzijl-locatie (zie paragraaf 3.2). Na het vullen van de depots in het voorjaar bleven deze de rest van het jaar nog vrijwel onbegroeid. Ook in het voorjaar van 2020 was slechts sprake van een ijle begroeiing. Dit betekent dat net als op de Delfzijl-locatie de depots van de kleirijperij voor meeste vogelsoorten geen geschikt broedhabitat vormden. De spaarzame broedvogels van de kwelderlocatie zijn voor een belangrijk deel vastgesteld op het depot van droge klei uit Polder Breebaart op de kwelder net ten westen depot vak K1 (vgl. figuur 3.3). In 2019 ontwikkelde zich hier plaatselijk een ijle begroeiing van hoog opgaande plantensoorten als riet en zulte, die zich in 2020 flink wist uit te breiden. In 2019 waren veldleeuwerik en scholekster op dit depot gevestigd; in 2020 kwamen hier onder meer blauwborst, rietgors en gele kwikstaart tot broeden. De overige broedvogels leken gebonden aan de voor de kleirijperij afgerasterde strook van de zeedijk en de kades in de kleirijperij. Er zijn meerdere factoren die invloed hebben op de geschiktheid van een gebied voor broedvogels. Deze zijn hier niet allemaal onderzocht, maar bekend is het opduiken van een vos op en rond de zeedijk naast de kwelderlocatie, dat van grote invloed kan zijn geweest op het lage aantal broedvogels op de kwelderlocatie.

Tabel 4.6. De broedvogelbevolking van de locaties Delfzijl en de kwelder in 2019 en 2020. Een '+' geeft aan dat een soort tijdens één of meerdere inventarisatierondes weliswaar is waargenomen in geschikt broedbiotoop (broedcode 1 of hoger in figuur 3.7), maar dat broedgevallen op de betreffende locatie kunnen worden uitgesloten.

Vogelsoort	Delfzijl		Kwelder	
	2019	2020	2019	2020
Wilde eend	-	+	-	-
Krakeend	-	+	-	-
Kuifeend	-	+	-	-
Bontbekplevier	+	-	-	-
Kleine plevier	0-1	-	-	-
Kievit	-	-	+	+
Kluut	-	-	+	-
Scholekster	+	+	1-4	2
Blauwborst	-	2	-	1
Gele kwikstaart	1	-	+	2
Graspieper	4	5	+	+
Kleine karekiet	2	3	-	-
Putter	-	+	-	-
Oeverwaluw	+	-	-	-
Rietgors	2	1	-	1
Rietzanger	-	1	-	-
Roodborsttapuit	-	1	-	-
Tapuit	-	-	-	+
Veldleeuwerik	-	1	1	-
Witte kwikstaart	2	2	2	2
Totaal broedparen	12	17	4	9
Aantal soorten	5	8	3	5

5 Discussie en conclusies

Het Eems-Dollardestuarium kampt met een slibprobleem, terwijl er in dit gebied tegelijkertijd vraag is naar klei voor dijkversterking. Om meer kennis te vergaren om deze twee problemen tegelijkertijd te kunnen aanpakken is de Pilot Kleirijperij in het leven geroepen. In dit *learning by doing*-project werden verschillende fysische en biologische bewerkingsmethoden getest om zo de beste manier te vinden voor het (snel en rendabel) laten rijpen van zilt slib tot geschikte klei voor dijkenbouw. De vraag naar wat de natuurwaarde van een kleirijperij kan zijn, is daaraan toegevoegd.

In dit rapport zijn de effecten van vegetatie (biologische bewerkingsmethode) op kleirijping uitgewerkt aan de hand van de volgende drie hoofdvragen:

- 1) Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de rijping van slib tot klei?
- 2) Is inzaaien noodzakelijk of voldoet spontane vestiging van vegetatie voor de rijping van slib tot klei?
- 3) Hebben de kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde als broed- en/of foerageergebied voor vogels?

5.1 Effect van vegetatie op rijping van slib tot klei

5.1.1 Vegetatievestiging en -ontwikkeling

Op beide kleirijperijen vestigden verschillende soorten planten zich spontaan. Deels kwam deze vegetatie voort uit de in het slib aanwezige zaadbank, deels uit de directe omgeving (bijvoorbeeld door verspreiding via wind). Meer soorten kiemden in de kwelderlocatie, wat waarschijnlijk kan worden verklaard door de herkomst van het slib. In het slib uit Polder Breebaart ging het om tien aangetroffen plantensoorten per vak en in het slib uit Delfzijl om gemiddeld 6,6 soorten. De herkomst verklaart ook het voorkomen van brakke soorten zoals klein kruiskruid, heen en goudknopje op de kwelderlocatie. Polder Breebaart is een brak natuurgebied met een verscheidenheid aan planten, wat heeft kunnen leiden tot een meer diverse zaadbank in het hier gewonnen slib. Het slib op de Delfzijl-locatie komt uit de bodem van de haven, waarin minder verschillende soorten zaden aanwezig zijn. De gevonden soorten geven waarschijnlijk geen volledig beeld van de aanwezige zaadbank, doordat de omstandigheden ongeschikt waren voor kieming van niet-halofyte soorten. Ook zullen soorten, zoals zulte die verspreidt via wind, zich er hebben gevestigd vanuit de omgeving.

In alle met vegetatie begroeide plots was het bedekkingspercentage van de vegetatie hoog en domineerde zulte. Zulte vestigde zich vrijwel net zo goed in de controle-plots als in de ingezaaide plots (zulte en mengsel). De dominantie van zulte kan verklaard worden doordat zulte een veelzijdige en algemene zoutplant is, die zich goed kan vestigen in uiteenlopende milieus (Weeda et al., 1991). Daar waar op de Delfzijl-locatie een mengsel van zaden was ingezaaid, bleek zowel zulte als strandmelde goed op te komen. De derde ingezaaide soort, klein schorrenkruid, is nauwelijks opgekomen. Opvallend is de afwezigheid van strandmelde op de kwelderlocatie. Enkel in de behandeling waar ze ingezaaid was (mengsel), kwam strandmelde op. Zowel in de controle als de zulte-behandeling bleef de opkomst van strandmelde uit, maar kwam spiesmelde wel op. Spiesmelde en strandmelde zijn allebei halofyte plantensoorten met een voorkeur voor een stikstofrijk en nat milieu. Echter, in tegenstelling tot strandmelde, lijkt spiesmelde een hogere tolerantie te hebben voor minder zoute milieus, wat blijkt uit de groei van deze plantensoort op kleibouwland, rivieroeveren en kwelders (Weeda et al., 1985). Dit zou een verklaring kunnen zijn voor de aanwezigheid van spiesmelde en de afwezigheid van strandmelde op de kwelderlocatie (buiten de ingezaaide vakken), gezien de herkomst van het slib. Een goede keuze kan zijn om naast zulte en strandmelde ook spiesmelde in te zaaien, gezien deze plant ook een eenjarige soort is met een brede tolerantie voor saliniteit en geen

wortelstokken vormt. Zo wordt het risico van niet of slechte kieming gespreid. Jammer genoeg is enkel zulte commercieel beschikbaar, waardoor opschaling niet eenvoudig te realiseren is.

5.1.2 Kleirijpingsprocessen

De aanwezigheid van vegetatie zorgde voor een lagere bodemtemperatuur, een lager vochtgehalte in de toplaag, en een hoger gehalte aan zuurstof, zout en organische stof in zowel de top- als diepere laag; dit vergeleken bij wat in de betreffende maanden in de kale plots is gemeten. Om de hoofdvraag: "Wat is het effect van de aanwezigheid van vegetatie op de rijping van slib tot klei?" te beantwoorden, worden de voor kleirijping relevante processen ontwatering, ontzilting en oxidatie hieronder apart en in meer detail behandeld.

Ontwatering

Voor het rijpen van de klei is een goede ontwatering onmisbaar. Vastgesteld is dat het vochtgehalte in de toplaag (top 14 cm) bij aanwezigheid van vegetatie lager is dan bij een niet-begroeide bodem. Maar het effect van vegetatie op de ontwatering is complex. Zo verlaagde de vegetatie de bodemtemperatuur overdag significant, wat te verklaren is met het vermogen van vegetatie om een deel van het warme zonlicht te weerkaatsen. Een lagere bodemtemperatuur betekent minder verdamping van water uit de toplaag, ofwel: meer vocht in deze laag. Uit de resultaten bleek ook dat de toplaag vochtiger was dan de dieper gelegen laag (waarbij wel moet worden aangemerkt dat ondanks dat de over het algemeen gunstige weersomstandigheden, kortstondige weersfluctuaties effect kunnen hebben gehad op de vochtgehaltemetingen). Dat strookt niet met het geconstateerde vocht-verlagende effect van vegetatie in de toplaag. Verwacht werd dat regenwater de grond beter zou kunnen infiltreren wanneer er plantenwortels zijn waarlangs het water kan lopen, en dat er naast evaporatie (verdamping van water uit de bodem) ook transpiratie via de bladeren van de planten zou plaatsvinden. Echter, de verdamping van water aan het bodemoppervlak enerzijds en uit de porieën van de bladeren anderzijds is niet direct gemeten, waardoor geen conclusies kunnen worden getrokken over de combinatie van beide processen (evapotranspiratie). Mogelijk is dat de vegetatie de vorming van een droge zoute korst heeft belet, waardoor hier meer water kon verdampen dan in de kale plots (met korst) wat de indroging en kleirijping kan bevorderen.

Bij het onderzoeken van het effect van vegetatie op ontwatering was het, met de huidige opzet, niet mogelijk om rekening te houden met de verschillen in ondergrond van de kleirijperijen. Op de Delfzijl-locatie werd de drainage gestimuleerd door het aanbrengen van een onderliggende zandlaag alvorens het depot met slib werd gevuld. Dit maakt vergelijkingen tussen de twee locaties lastig, zeker wat betreft de ontwatering van de vakken.

Belangrijk om in gedachten te houden is dus dat er meerdere processen tegelijk optreden. Verdamping van water aan het bodemoppervlak vindt plaats bij hoge luchttemperaturen en door de verdamping van water door planten. Op basis van de resultaten van de Pilot Kleirijperij moet worden aangenomen dat het effect van de verdamping van water door de planten groter was dan het effect van directe verdamping vanuit de bodem door een hoge luchttemperatuur, en het effect per saldo (lager vochtgehalte in de toplaag) door de aanwezigheid van de planten werd bepaald.

Ontzilting

Ontzilting en ontwatering hangen nauw samen. De aanwezigheid van vegetatie bleek ontzilting niet te faciliteren. Er is eerder sprake van een negatief effect. Er werd een trend gevonden van hogere zoutgehaltes bij de aanwezigheid van vegetatie en zoutgehaltes waren hoger in de toplaag dan in de diepere laag. Deze resultaten spreken de hypothese, waarbij gesteld werd dat vegetatie een positief effect zou hebben op de ontzilting van het slib doordat regenwater beter zou kunnen infiltreren in de bodem, tegen. Ook werd er verwacht dat, afhankelijk van de bodemstructuur (mate van scheuring die mogelijk versterkt wordt door de aanwezigheid van plantenwortels) het zoute water versterkt naar de omgeving zou kunnen uittreden. Een mogelijke verklaring voor de gevonden zoutgehaltes is het lage vochtgehalte in de toplaag. Doordat zoutwater uit de diepere lagen door capillaire stijging naar boven komt en er waarschijnlijk meer water onder het vegetatiedek is verdampt in de zomer, blijft er meer

zout achter in de toplaag; wat ondersteund wordt door de resultaten waaruit blijkt dat het zoutgehalte hoger was in de toplaag dan in de diepere bodemlaag.

Oxidatie

Een veelgehoord argument dat pleit tegen de inzet van vegetatie bij kleirijping is dat daardoor het organisch materiaal in de bodem toeneemt. Gezien de eisen die gesteld worden aan klei voor dijkenbouw is de aanwezigheid van te veel organisch materiaal ongewenst. Uit de resultaten van deze pilot bleek dat er vegetatie amper invloed op het organisch-stofgehalte heeft; alleen in de diepere laag was er een (kleins) toename te zien. Tussen 2020 en 2021 lijkt het organisch-stofgehalte in de vegetatiebehandelingen ongeveer gelijk gebleven terwijl het in de percelen met kale plots licht afnam. Mogelijke verklaringen voor deze afname zijn: 1) de vorming van ondergrondse wortels, 2) afname in afbraaksnelheid door een hoger zoutgehalte (Qu et al., 2019) en 3) een overschatting van organisch-stofgehalte. Deze overschatting kan het gevolg zijn van water dat in de zoutkristallen zit dat vervolgens pas bij de verassing op 560 graden vrijkomt/verdampt (Dick en Van der Star, 2021). Door deze late verdamping treedt er een groter gewichtverlies op bij de verassing dan enkel van verassing van organisch materiaal. Dit verklaart mede de relatie die gevonden werd tussen het zout- en organisch-stofgehalte. Verder betekent dit dat de schijnbare afname van het organisch-stofgehalte zou kunnen zijn veroorzaakt door een daadwerkelijke afname in het zoutgehalte. Het aandeel organische stof in de vorm van ondergrondse wortels varieerde tussen 0,8% en 3,6% van het totale aanwezige organische stof in de top 28 cm. Dit aandeel nam sterk toe in het tweede groeiseizoen *versus* het eerste seizoen op de Delfzijl-locatie.

De aanwezigheid van vegetatie (met name een mengsel) zorgde wel voor een toename van het zuurstofgehalte in de bodem dieper dan 10 cm diepte en alleen in het eerste groeiseizoen. Een hoger redoxpotentiaal duidt op een hoger zuurstofgehalte en daarmee de mogelijkheid voor afbraak van organisch materiaal (oxidatie). Wortels kunnen het zuurstofgehalte in de bodem verhogen, maar er werd geen directe relatie gevonden tussen de ondergrondse biomassa en het zuurstofgehalte. Door natuurlijke infiltratie van zuurstof in de toplaag van de bodem (door scheuren in de bodem) verschilde het zuurstofgehalte in de eerste centimeters niet tussen de plots met vegetatie en de kale plots.

De looptijd van de Pilot Kleirijperij was relatief kort voor de vorming van natuurlijke kleirijpingsprocessen en voor de vorming van een goed ontwikkeld vegetatiedek. Het is goed mogelijk dat de verwachte effecten alsnog zouden optreden bij een langere looptijd. Processen zoals ontzilting (en oxidatie) zijn langzame processen waar meerdere jaren overheen kunnen gaan. De inzaai van een mengsel *versus* alleen zulte lijkt bepaalde processen iets te versterken, zoals een lagere bodemtemperatuur en een hoger redoxpotentiaal. Al zijn deze effecten vooral in het eerste groeiseizoen. De keuze om een mengsel in te zaaien zal dan ook eerder praktisch van aard zijn omdat het de risico's op een slechte kieming door slechte groeiomstandigheden verspreidt.

5.2 Effect van inzaaien

Uit de resultaten van deze pilot blijkt dat voor de rijping van slib tot klei inzaai van vegetatie niet noodzakelijk is; de spontane vestiging van vegetatie is afdoende. Met name zulte en spiesmelde vestigden zich binnen korte tijd op het slib in beide kleirijperijen. Strandmelde vestigde zich met name op het slib in de Delfzijl-locatie. De gemeten bovengrondse biomassa verschilde weinig tot niet tussen de ingezaaide plots en de controle-plots. Voor de inzaai was er, met name op de Delfzijl-locatie, al veel aangewaaid zaad van zulte aanwezig in de vakken (pers. obs. Kelly Elschot). Wat pleit voor het wél inzaaien van vakken is dat daarmee voorkomen kan worden dat minder aantrekkelijke soorten, zoals riet en distels, zich vestigen.

5.3 Natuurwaarden

De vraag of de kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde hebben als broed- en/of foerageergebied voor vogels, kan op basis van de uitgevoerde broedvogelmonitoring op de twee proeflocaties niet worden beantwoord. Hiervoor zijn verschillende redenen aan te voeren:

-
- het ontbreken van voldoende rust in de proeflocaties tijdens het broedseizoen. Op de Delfzijl-locatie werden in beide jaren bijvoorbeeld tot ver in het broedseizoen werkzaamheden uitgevoerd (zowel ter bewerking van het slib als voor de plaatsing van een windmolen voor werkzaamheden van derden), terwijl vogels in de vestigingsfase aan het begin van het broedseizoen gevoelig kunnen zijn voor verstoring (vooral plevieren en andere pioniersoorten).
 - zoals eerder genoemd waren de proeflocaties te klein voor het doen van broedvogelonderzoek, waardoor het aantal broedvogels te beperkt is om conclusies te kunnen trekken en enkel ter indicatie dient voor grotere kleirijperij-gebieden met minder verstoring;
 - het ontbreken van dekking en geschikt nesthabitat. Doordat bijna alle vakken, met uitzondering van de biologische vakken, regelmatig werden omgezet bleven deze vrijwel onbegroeid. Hierdoor bleef in deze vakken de ontwikkeling van geschikt broedhabitat voor de meeste zangvogels uit. De wel waargenomen broedvogels (tabel 4.6) leken veelal gebonden aan de aangelegde ringsloot rond de kleirijperij (Delfzijl-locatie), de begroeiing op het depot met droge klei op de kwelderlocatie en de begroeiing van de kades rond de vakken (beide locaties).

Bij het experiment om in de biologische vakken voedselakkers voor winterakkervogels aan te leggen, is de ontziltingssnelheid van het slib overschat.

Samenvatting van conclusies:

De aanwezigheid van vegetatie in een kleirijperij heeft effecten in de bovenste 30 cm van de bodem. Die effecten zijn echter niet doorslaggevend voor de rijping van zilt slib tot dijkenglei in een depot (zoals bij deze proef) met relatief grote diepte. Ook zijn twee jaar doorlooptijd te kort om effecten van vegetatie op de langzame rijping van slib eenduidig te bepalen.

In detail is vast te stellen:

- Ten opzichte van onbegroeide bodem zorgt een vegetatiedek in de zomermaanden voor een lagere bodemtemperatuur, in de toplaag (0-14 cm) voor een lager vochtgehalte en in zowel de toplaag als de diepere laag (14-28 cm) voor een hoger zoutgehalte. In de diepere laag (14-28 cm) zien we een toename van oxidatie in de bodem en een (kleine) toename van organische stof.
- Inzaai van vegetatie is niet per se noodzakelijk. Vegetatie komt op uit reeds in het slib aanwezige en aangewaide zaden; een zaadbank en/of zaadbron in de omgeving zijn daarvoor wel een voorwaarde.

6 Aanbevelingen

Zoals vastgesteld is de inzaai van vegetatie niet per se noodzakelijk voor de rijping van slib tot dijkenglei. Inzaai kan wel zinvol zijn met het oog op andere aspecten, zoals een eventuele natuurwaarde of wanneer er andere doelen worden beoogd en andere eisen aan de klei worden gesteld, zoals aan klei voor het ophogen van landbouwgrond. Let wel, het aspect natuurwaarde kon in deze pilot niet vastgesteld worden, maar kan desalniettemin nog steeds aanwezig zijn. Voor zover economische overwegingen geen rol spelen - immers, inzaai is bewerkelijk en kostbaar, en de controle-plots hebben laten zien dat inzaai niet nodig is - zou men kunnen denken: baat het niet, dan schaadt het niet. Maar dat is te kort door de bocht. De herkomst en kwaliteit van ingekochte zaden is niet altijd bekend waardoor ongewild exoten zouden kunnen worden geïntroduceerd. Tevens zijn de geschikte zaden niet altijd commercieel beschikbaar. Bij inzaai heeft het gebruik van zaden uit de lokale omgeving de voorkeur, ook om introductie van niet-inheemse varianten te vermijden. Dat geldt in het bijzonder in de nabijheid van een Natura-2000 gebied. Voor het inzaaien van een kleirijperij pleit wellicht nog dat met actieve inzaai de vestiging van ongewenste soorten zoals akkerdistel kan worden voorkomen of vertraagd vanwege de competitie voor licht.

Ten slotte, in de Pilot Kleirijperij is bewust niet gekozen voor de inzaai van riet, maar riet zou, wanneer klei niet gebruikt wordt voor dijkenbouw en dus niet hoeft te voldoen aan specifieke vereisten, een meerwaarde kunnen hebben als rust- en broedgebied voor vogels, zoals baardman, blauwborst, kleine karekiet, rietgors, rietzanger en overige vogels van droge rietlanden en ruigtes.

7 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagement-systeem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Literatuur

- Childers, D.L., Day, J.W., McKellar, H.N., 2000. Twenty more years of marsh and estuarine fluxes studies: revisiting Nixon (1980). In: M.P. Weinstein & D.A. Kreeger (red.). Concepts and controversies in tidal marsh ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 391-424.
- De Wit, C.T., 1960. On competition. Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen No. 66. 1-82.
- Dick, J., Van der Star, W., 2021. The overestimation of organic matter by loss on ignition at clay from the Kleirijperij. Deltares report.
- Donadi, S., van der Heide, T., Piersma, T., van der Zee, E.M., Weerman, E.J., van de Koppel, J., Olff, H., Devine, C., Hernawan, U.D., Boers, M., Planthof, L. & Eriksson, B.K., 2015. Multi-scale habitat modification by coexisting ecosystem engineers drives spatial separation of macrobenthic functional groups. *Oikos*, 124: 1502-1510.
- EcoShape, 2017. Plan van aanpak uitvoering Pilot Kleirijperij.
- EcoShape, 2021. Pilot Kleirijperij, WP4.5.2 Business case.
- Esselink, P., D. Bos, P. Daniels, W.E. van Duin & R.M. Veeneklaas. 2015. Van Polder naar kwelder: tien jaar kwelderherstel Noorderleegh. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries/ Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden. *PUCCIMAR rapport 06/ A&W rapport 1901*. 209 pp.
- Esselink P. & K. Elschot. 2019. Wijziging inrichting & monitoringsplan. Memo 29 sept. 2019.
- Hanslin, H., Eggen, T., 2005. Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salt-tolerant grass cultivars. *Seed Science Research*, 15: 43-50.
- Hazelhorst, H. 2018. Vulplan Pilot Kleirijperij. WP 1.2.2. Arcadis Nederland B.V., Assen.
- Hemminga, M.A., Van Soelen, J., 1992. The performance of the leaf mining microlepidopteran *Bucculatrix maritima* (Stt.) on the salt marsh halophyte, *Aster tripolium* (L.), exposed to different salinity conditions. *Oecologia* 89: 422-427.
- Lagendijk, G., Elschot, K., 2018. Pilot kleirijperij: Een literatuurstudie voor de selectie van de biologische bewerkingsmethoden. *Wageningen University & Research rapport 18.012*
- Loon-Steensma, J.M. van & H.A. Schelfhout, 2013. Pilotstudie Groene Dollard Dijk; een verkenning naar de haalbaarheid van een brede groene dijk met flauw talud en een breed voorland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2437; Deltares: 18050-000-ZKS-0004.
- McLaren, J.R., Jefferies, R.L., 2004. Initiation and maintenance of vegetation mosaics in an arctic salt marsh. *Journal of Ecology*, 92: 648-660.
- Qu, W., Li, J., Han, G., Wu, H., Song, W., Zhang, X., 2019. Effect of salinity on the decomposition of soil organic carbon in a tidal wetland. *Journal of soils and sediments*, 19: 609-617
- Rozema, J., Schat, H., 2013. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 83-95.

-
- Scherfse, V. 1987. Salz-Zeigerwerte von Gefäßpflanzen der Salzmarschen, Tideröhrichte und Salzwasser-tümpel an der deutschen Nord- und Ostseeküste. *Jahresberichte Forschungsstelle Küste* 39: 31–82.
- Schrama, M.J.J., Van Boheemen, L.A., Olff, H., Berg, M.P., 2015. How the litter-feeding bioturbator *Orchestia gammarellus* promotes late-successional saltmarsh vegetation. *Journal of Ecology*, 103: 915-924.
- Shumway, S.W., Bertness, M.D., 1992. Salt stress limitation of seedling recruitment in a salt marsh plant community. *Oecologia*, 92: 490-497.
- Sweco, 2016. Projectplan Kleirijperij. Is kleivorming op land een (rendabele) oplossing voor het vertroebelingsprobleem van het Eems-estuarium? Sweco-project 347241. Sweco Nederland bv, Groningen.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996. Technisch rapport Klei voor dijken.
- Van den Akker, J.J.H., Hendriks, R.F.A., Frissel, J.Y., Oostindie, K., Wesseling, J.G., 2013. Gedrag van verdroogde kades. Fase B, C, D: Ontstaan en gevaar van krimpscheuren in klei- en veenkades. Alterra Wageningen UR. Rapport 2473.
- Van Regteren, M., Ten Boer, R., Meesters, E.H., De Groot, A.V., 2017. Biogeomorphic impact of oligochaetes (Annelida) on sediment properties and *Salicornia* spp. seedling establishment. *Ecosphere*, 8: e01872.
- Vergeer J.W., van Dijk, A.J., Boele, A., van Bruggen, J., Hustings, F., 2016. Handleiding Sovon broedvogelonderzoek: Broedvogel Monitoring Project en Kolonievogels. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Vermeulen, J., Hendriks, R.F.A., 1996. Bepaling van afbraaksnelheden van organische stof in laagveen: Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport 288.
- Vogel R., Wiersma P., Roodbergen M., Vlaanderen, O., 2016. Beheermonitoring van vogels in open akkerland in Oost-Groningen. Sovon-rapport 2016/13. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen / Rapport Stichting Werkgroep Grauwe Kiekendief 2016. Stichting Werkgroep Grauwe Kiekendief, Scheemda.
- Weeda, E.J., Westra, C., Westra, R., Westra, T., 1985. Nederlandse oecologische flora: wilde planten en hun relaties 1. IVN, Amsterdam.
- Weeda, E.J., Westra, C., Westra, R., Westra, T., 1991. Nederlandse oecologische flora: wilde planten en hun relaties 4. IVN, Amsterdam.
- Zuur, A.J., 1938. Over de ontzilting van den bodem in de Wieringermeer. Een studie over de zout- en waterbeweging in jonge poldergronden. Den Haag, Algemeene Landsdrukkerij 1938.
- Zwart, K., 2004. Mineralisatie van Veengronden. Wageningen: Alterra 965.

Verantwoording

Rapport C058/22

Projectnummer: 431 21000 51

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. ir. Martin J. Baptist
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 31 december 2022

Akkoord: Dr. ir. Tammo P. Bult
Business unit manager

Handtekening:



Datum: 31 december 2022

Bijlage 1 Vereisten dijkkenklei

De klei die naar verwachting toegepast kan worden in het project Brede Groene Dijk, moet voldoen aan de criteria die zijn weergegeven in tabel A. Deze eisen zijn gebaseerd op de eisen die gesteld zijn in het Technische Rapport Klei voor Dijken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996)

Tabel A. Vereiste waardes voor klei voor dijkenbouw (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996)

Parameters	Vereiste waarde
Zoutgehalte in porievocht	< 4 g/L
Organisch-stofgehalte	< 5 % droge stof
Erosiebestendigheid	Erosieklasse 1, klasse 2 is acceptabel
- plasticiteitsindex	- > 0.73
- vloeigrens	- -
- uitrolgrens	- -
Consistentie-index	> 0.6
Zandgehalte	< 40 %
Kalkdichtheid	< 25 %
Dichtheid	> 1.55 – 1.60
Milieukundige kwaliteit	Klasse A, Achtergrondwaarde of Bodemfunctieklasse Wonen

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'