



Kennisdocument demonstratieproject Brede Groene Dijk

Project	Demonstratieproject Brede Groene Dijk
Projectleider	Erik Jolink – Waterschap Hunze en Aa's
Datum	26-06-2026
Versie	3.0 definitief

Verantwoording

Het kennisdocument demonstratieproject Brede Groene Dijk is in de periodes juni 2023 – maart 2024 en oktober 2025 – februari 2026 opgesteld door: Erik Jolink, Henk van Norel, Marco Veendorp, Sander Dijk en Sjaak Vis van het waterschap Hunze en Aa's. Zij zijn bijgestaan door Anne Bonthuis, Germ Zeephat, Joël Bosman, Jos van Zuylen en Piet Riemersma, allen van Sweco.

De totstandkoming is inhoudelijk en procesmatig begeleid door: het genoemde projectteam BGD van het waterschap Hunze en Aa's. Ook heeft de technisch adviseur van het regionale begeleidingsteam van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Diederik Bijvoet, een rol gespeeld bij totstandkoming van dit product. Dit geldt ook voor Altenburg & Wymenga, Arcadis, Deltares, Pucimar en Wageningen Environmental Research (WENR).

Naast de hierboven genoemde personen is o.a. gebruik gemaakt van de volgende onderliggende rapportages, opgesomd in chronologische volgorde:

- Evaluatie vergunningen- en gebiedsproces demonstratieproject Brede Groene Dijk, Sweco, 22 september 2019).
- Eindrapport kennisontwikkeling realisatie Brede Groene Dijk, Ecoshape, 45954-RAP-00128, 16 februari 2023.
- Eindrapport Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk, Deltares, Sweco en waterschap H&A, 4 april 2023.
- Kennisdocument ontwerp Brede Groene Dijk, versie D1.0, Sweco, 12 september 2023.
- Eindrapportage Kleirijperij, Ecoshape, 27 september 2023.
- Eindrapport de Rijpdijk, Ecoshape, 16 oktober 2025.
- Eindevaluatie Kluteneiland – Brede Groene Dijk, Altenburg & Wymenga i.o.v. Sweco, 11 december 2025.
- Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk, Onderzoek naar mogelijke effecten op de kwelder inclusief de aanleg van een klutenplas en het tijdelijk gebruik van de kwelder voor een kleirijperij, Pucimar, 8 april 2026.
- Eindrapport Monitoring na aanleg Brede Groene Dijk, Ecoshape, 21 april 2026.

De resultaten zijn tussentijds besproken met en gereviewd door het projectteam van de Brede Groene Dijk van het waterschap Hunze en Aa's met het Begeleidingsteam van het HWBP, de Adviesgroep Kwelders en de werkgroep Procedures en Vergunningen. Het project was niet mogelijk geweest zonder de financiële bijdragen van het HWBP en het Waddenfonds.

Wij willen hierbij iedereen bedanken, die een bijdrage heeft geleverd aan de totstandkoming en kennisontwikkeling van het demonstratieproject Brede Groene Dijk, oftewel de Braide Gruine Diek!

Inhoudsopgave

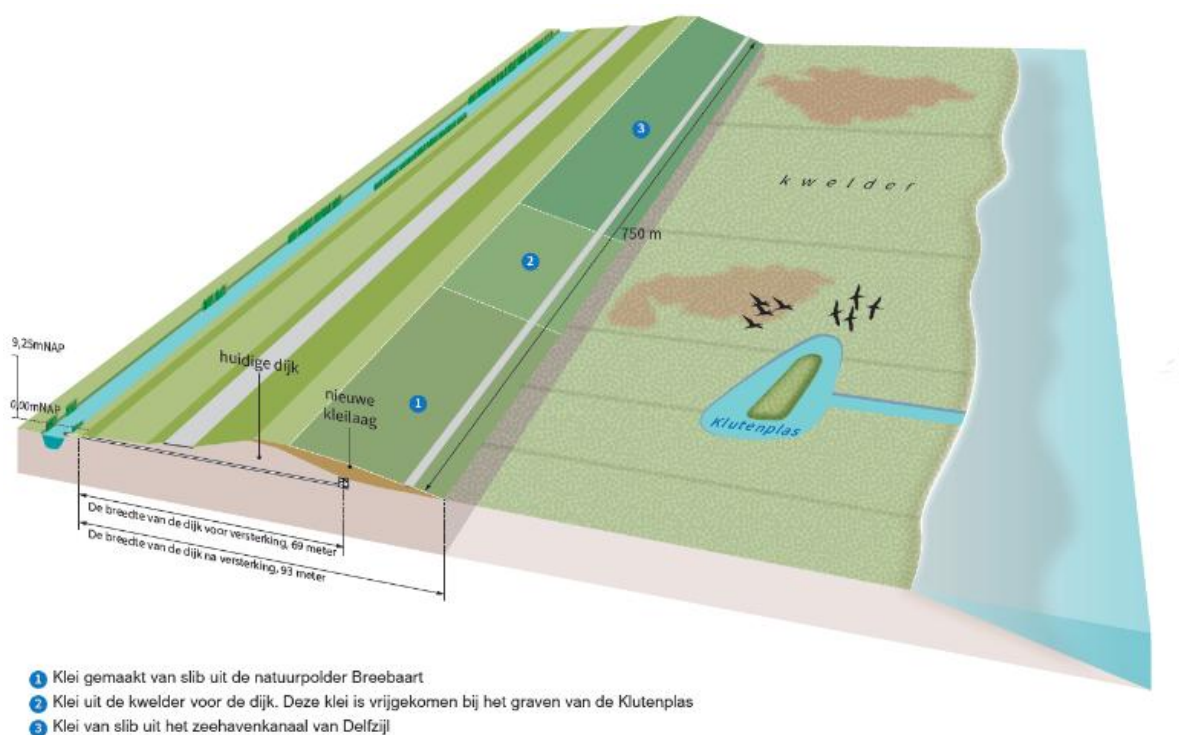
1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding demonstratieproject Brede Groene Dijk	4
1.2	Beschrijving.....	5
1.3	Kennisvragen	8
1.4	Leeswijzer	9
2	Technische inzichten	10
2.1	Samenstelling en geschiktheid lokaal gewonnen slib en klei als bouwstof voor dijken	10
2.2	Kleirijpingsprocessen en -strategieën: De Kleirijperij.....	13
2.3	Kleirijpingsprocessen en -strategieën: de Rijpdijk	15
2.4	Potentiële locaties in Waddengebied / rest van NL voor BGD in combinatie met duurzame (lokale) kleiwinning	18
3	Omgevingsinzichten.....	23
3.1	Inzicht in gebiedsproces voor BGD (in/ nabij Natura 2000 gebied).....	23
3.2	Inzicht stappen/ aanpassingen in juridisch-planologisch kader.....	24
3.3	Leerpunten.....	26
3.4	Inzicht in mogelijkheden in Natura 2000-gebied	28
4	Kosteninzichten.....	30
4.1	Het winnen en leveren van de benodigde klei.....	30
4.2	Update van inzichten vanuit verkenning Dollarddijk	31
5	Resultaten Monitoring	33
5.1	Technische Monitoring 2022 - 2025 na aanleg BGD	33
5.2	Monitoring vegetatie dijk 2022 - 2025 na aanleg BGD	35
5.3	Predatie- en broedvogelmonitoring kwelder 2018 - 2025.....	37
5.4	Monitoring kwelder	39
6	Opgedane inzichten Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD)	42
6.1	Laag A: BGD.....	42
6.2	Laag B: gehele traject.....	43
6.3	Restpunten OGD onderzoek	44
7	Nawoord Braide Gruine Diek	46
8	Referenties	48

1 Inleiding

Voor u ligt ons kennisdocument waarin vragen en inzichten van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) worden beantwoord. Deze inzichten zijn voornamelijk afkomstig van: fase 3a (het ontwerp), fase 3b (de aanleg van de BGD in 2022) en fase 3c (monitoring tot en met 2025). Ook eerdere fasen worden aangestipt. Dit betreft: fase 1, aanleg slibdepot en Klutenplas en fase 2, ontwerp BGD en rijpen van klei.

1.1 Aanleiding demonstratieproject Brede Groene Dijk

Rond 2010 is binnen het Deltaprogramma Waddengebied gestart met een onderzoek naar innovatieve dijkconcepten die de verbinding leggen tussen waterveiligheid en het werelderfgoed Waddenzee. Sindsdien is met grote vastberadenheid gewerkt aan het concept Brede Groene Dijk (BGD) in combinatie met hergebruik van het slib uit de Eems-Dollard. De toepassing van slib als bouwstof uit de Eems-Dollard is een wereldprimeur. Het project heeft eind 2022 de prijs gewonnen voor het meest aansprekende project als het gaat om effectieve, innovatieve en kansrijke uitvoering van het nationaal Deltaprogramma.



Figuur 1-1. Schets van Brede Groene Dijk

De 15 kilometer lange Dollarddijk tussen de punt van Reide en de grens met Duitsland moet versterkt worden. Uit de laatste beoordelingsronde blijkt dat de bekleding van de dijk niet aan de gestelde eisen voldoet. Traditionele versterking betekent dat de grasbekleding vervangen wordt door asfalt. Het waterschap Hunze & Aa's kiest voor een meer natuurlijke dijk die mooi in het landschap past. De dijk wordt breder, met een flauw talud, voorzien van een dikke laag klei, Kennisdocument BGD, versie 3.0, definitief, 26 juni 2026

begroeid met een kruidenrijk grasmengsel ter bevordering van de biodiversiteit. Het flauwe talud vangt de golfklappen op, de klei komt van dichtbij.

In het demonstratieproject BGD (750 meter) is de zoektocht naar lokaal beschikbare klei gekoppeld aan een oplossing van het probleem van de Eems-Dollard, namelijk de vertroebeling van het estuarium door slib. In de pilot Kleirijperij heeft EcoShape slib uit de nabijgelegen brakwater-natuurpolder Breebaart en baggerslib uit de haven van Delfzijl in slechts drie jaar gerijpt tot stevige dijkenglei, een proces dat in de natuur tientallen jaren duurt. Het doel van het demonstratieproject is om te onderzoeken op welke wijze met deze klei een veilige BGD kan worden gebouwd. De gerijpte klei voldoet namelijk niet aan de eisen die aan dijkenglei worden gesteld: het zout- en organisch stofgehalte is te hoog. Om de toepasbaarheid (en voorspelbaarheid daarvan) van lokaal gewonnen kweldermateriaal en gerijpte baggerspecie te vergroten is het Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD) uitgevoerd.

1.2 Beschrijving

1.2.1 Demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD)

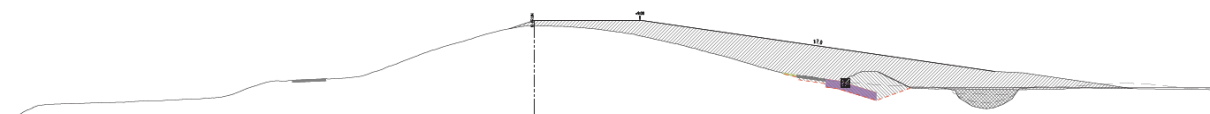
Het demonstratieproject BGD wordt uitgevoerd binnen het dijktraject Dollarddijk (DD, normtraject 6-7). Aan de zeezijde grenst de kering aan het Natura 2000-gebied van de Dollard, onderdeel van de Waddenzee. Aan de landzijde grenst de kering aan polders van Noordoost-Groningen. De kwelders aan zeezijde worden beweide en aan de landzijde is het grondgebruik vooral akkerbouw. Er is weinig bebouwing in de directe omgeving van de kering.

Binnen het demonstratieproject zijn de mogelijkheden onderzocht voor de aanleg van een BGD langs het Natura 2000 gebied van de Dollard. In plaats van de aanvoer en het gebruik van klei van elders is gebruik gemaakt van lokaal te benutten (en te rijpen) slib en klei. De volgende fasen zijn doorlopen:

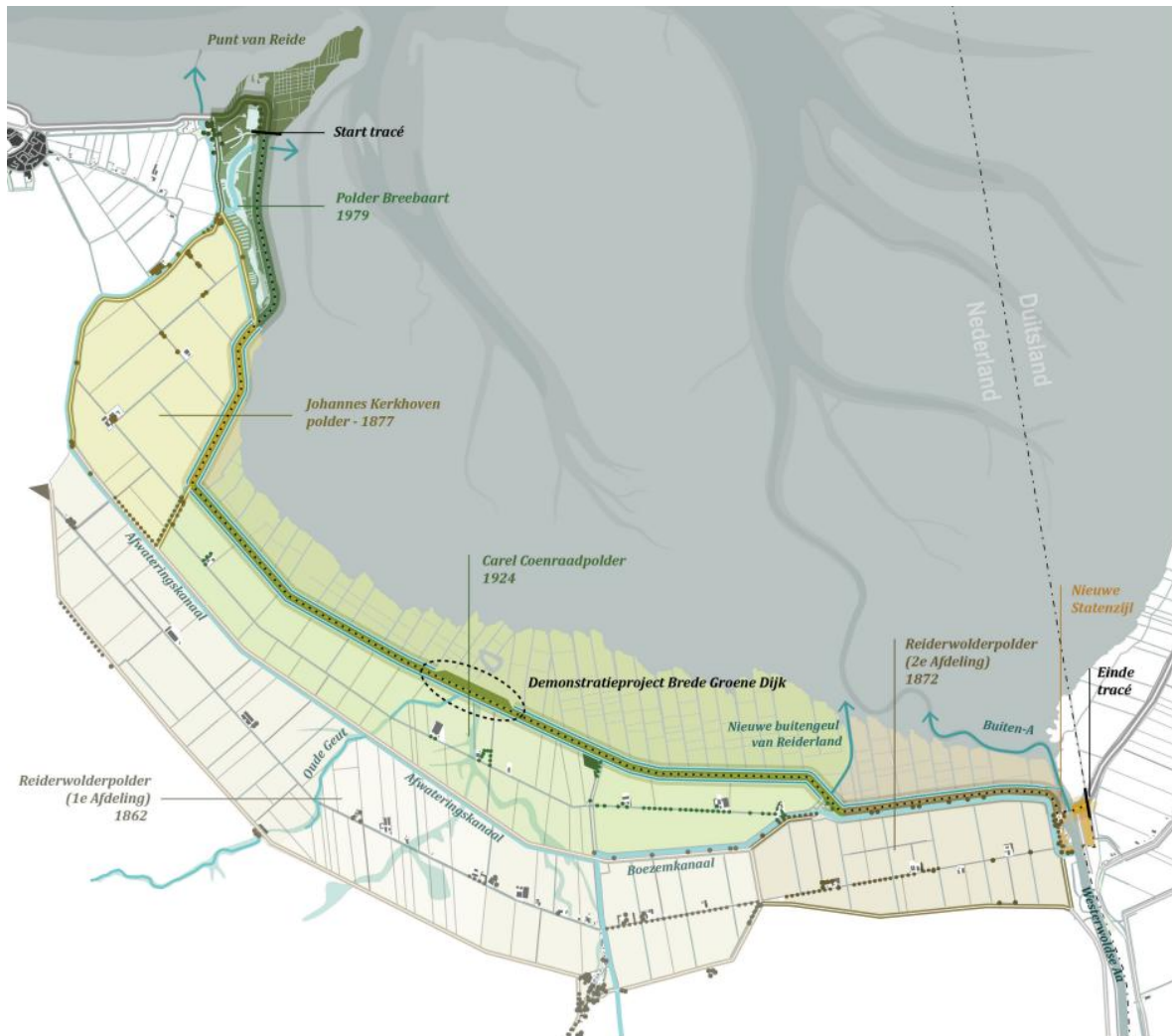
- Fase 1: Bouw slibdepot en aanleg slibvang Klutenplas (2018)
- Fase 2: Rijpen klei en ontwerp BGD (2018 – 2021)
- Fase 3: Bouw en monitoring BGD
 - Fase 3a: ontwerp, besluitvorming en procedures (2019 – 2021)
 - Fase 3b: bouw van de dijk (2022)
 - Fase 3c: monitoring dijk (2022 – 2025)

Figuur 1-2 geeft een dwarsprofiel. Figuur 1-3 geeft het dijktraject Dollarddijk tussen de Punt van Reide en de Duitse grens. De locatie van het demonstratieproject BGD is aangegeven in de ovale cirkel.

De BGD bestaat uit een flauw talud met een dikke laag klei met gras. Door de dijk op deze wijze op te bouwen, is geen harde bekleding nodig. De klei die hiervoor nodig is wordt verkregen uit de Kleirijperij en de nabijgelegen kwelder, zie paragraaf 2.1.



Figuur 1-2. Dwarsprofiel BGD, met een kruinbreedte van 11 m., een buitentalud van 1:7 en een 3 meter brede onderhoudsweg op NAP + 3,55 m.



Figuur 1-3. Dollardijk + in ovale cirkel de locatie van het demonstratieproject Brede Groene Dijk

1.2.2 Relatie BGD met Kleirijperij

In het demonstratieproject BGD is 750 meter dijk aangelegd, die is opgebouwd met gebiedseigen klei van drie verschillende bronnen:

1. Klei van de kwelder (Klutenplas), tijdelijk toegepast in depotdijk, zie figuur 1-4.
2. Kleirijperij locatie Kwelder: gerijpte slib uit polder Breebaart, zie figuur 1-4.
3. Kleirijperij locatie Valgenweg: gerijpte baggerslib uit het zeehavenkanaal van Delfzijl, zie figuur 1-5.

De klei afkomstig uit de bronnen 1 en 2 is in de Pilot Kleirijperij omgezet van slib naar klei. In de Pilot Kleirijperij onderzoeken diverse samenwerkende partijen verschillende manieren om slib om te vormen tot klei. Deze samenwerkende partijen zijn: Rijkswaterstaat, de provincie Groningen, Groningen Seaports, waterschap Hunze en Aa's, Het Groninger Landschap en EcoShape. Onderzoekers van EcoShape voerden praktijkproeven uit om te kijken welke manier van rijpen het best werkt.

Het waterschap heeft bij de totstandkoming van de samenwerkingsovereenkomst met de Kleirijperij een aantal eisen opgesteld ten aanzien van de fysieke kwaliteit. Hier moet de klei aan voldoen die vanuit de Pilot Kleirijperij aan het waterschap wordt geleverd. De eisen zijn afgeleid uit [7]. Het betreft:

1. De gerijpte klei moet minimaal voldoen aan erosieklasse II.
2. De gerijpte klei dient een consistentie-index te hebben van minimaal 0,6.¹
3. Het zandgehalte (> 63 µm) is maximaal 40%.
4. Minder dan 5% organisch materiaal volgens de waterstofperoxidebehandeling methode.
5. Minder dan 25% gewichtsverlies bij de HCl-behandeling (kalkgehalte).
6. Het zoutgehalte (NaCl g/l bodemvocht) is minder dan 4%.
7. Geen significante bijmenging van puin, grind en dergelijke.
8. Weinig heldere (rode, bruine en gele, soms blauwe) verkleuringen.

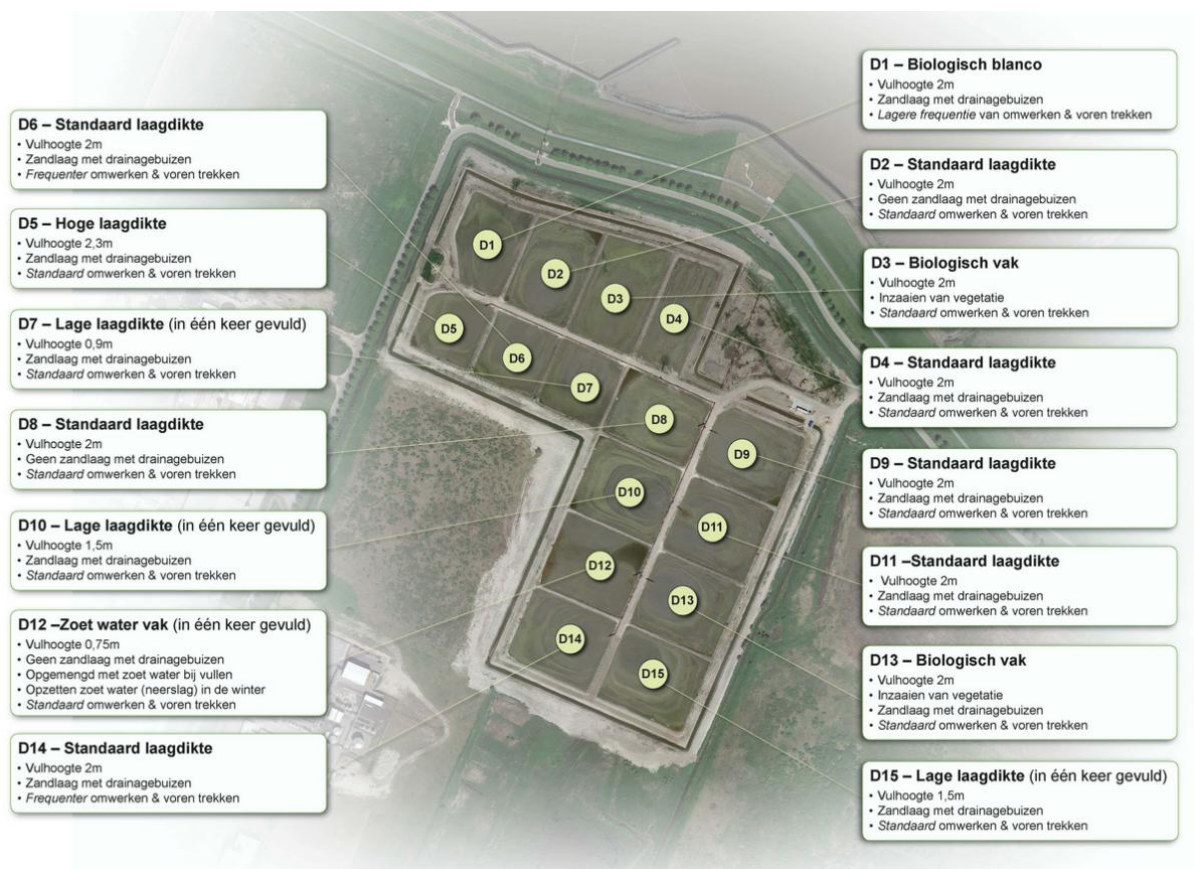
Daarnaast dient de klei te voldoen aan milieukundige eisen om het slib / klei toe te mogen passen.

De Kleirijperij is in 2018 gestart met het inbrengen van slib in de Kleirijperij depots op het terrein van Groningen Seaports, locatie Valgenweg. In het voorjaar van 2020 is het kwelderdepot gevuld met slib uit de Polder Breebaart. De daaropvolgende jaren zijn er in de verschillende depotvakken verschillende methoden van bewerking uitgevoerd om het slib actief om te zetten in klei. De bevindingen van de Kleirijperij komen terug in paragraaf 2.2 én in [1] en [4]. De Brede Groene Dijk is gebouwd in 2022.



Figuur 1-4 Kleirijperij locatie kwelder. De ringdijken van het depot zijn gemaakt van klei uit de Klutenplas, verder op de kwelder

¹ In overleg met de uitvoerende aannemer is hier aan toegevoegd om de nattere klei te gebruiken in de kern van de dijk en de drogere klei in de deklaag van de dijk. Hier is tijdens de uitvoering op gestuurd. Kennisdocument BGD, versie 3.0, definitief, 26 juni 2026



Figuur 1-5 Kleirijperij locatie Valgenweg

In 2025 is nog een extra onderzoek uitgevoerd naar de zogenaamde Rijpdijk. De resultaten hiervan zijn toegevoegd aan inzicht 2 en staan in paragraaf 2.3.

1.3 Kennisvragen

Ons hoofddoel van het demonstratieproject is om via de aanleg van de BGD kennis te ontwikkelen en inzicht te verkrijgen in de hoofdvragen:

- In hoeverre kan een BGD worden gebouwd van lokaal gewonnen klei van de kwelder én klei gemaakt van zout (bagger)slib?
- In hoeverre is hierbij een koppeling met de slibwinning uit het Eems-Dollardsysteem mogelijk?

Deze hoofdvragen hebben we vertaald naar de volgende inzichten:

1. Inzicht in de samenstelling en geschiktheid van lokaal gewonnen klei. Deze zijn afkomstig van de kwelder en gemaakt van slib uit een brakwater natuarpolder én van zout baggerslib. Dit kan als bouwstof gebruikt worden om dijken duurzaam en veilig te versterken.
2. Inzicht in kleirijpingsprocessen en –strategieën.
3. Inzicht in de mogelijkheden om klei te winnen in Natura 2000-gebied.
4. Inzicht in geschikte locaties langs de Waddenzeekust en in de rest van Nederland voor de aanleg van een BGD in combinatie met de duurzame (lokale) winning van klei.

Deze vier technische inzichten komen terug in hoofdstuk 2. Er is naar aanleiding van een in 2025 uitgevoerde pilot een paragraaf toegevoegd m.b.t. de zogenaamde Rijpdijk.

5. Inzicht in de mogelijkheden om door middel van slibvang op de kwelder/ Natura 2000 duurzaam klei te produceren voor toekomstige dijkversterkingen.
6. Inzicht in het gebiedsproces om te komen tot een BGD én inzicht in de mogelijkheden om een BGD mogelijk te maken in Natura 2000-gebied.
7. Inzicht in de stappen en eventueel benodigde aanpassingen in het juridisch-planologisch kader om een BGD mogelijk te maken.

Deze drie omgevingsinzichten vindt u in hoofdstuk 3.

8. Inzicht in de kosten van genoemde kleiwinningsmethoden en de toepassing van de klei in dijken, in vergelijking met de kosten van kleiwinning en toepassing van klei uit het binnenland.
9. Vergelijking tussen een traditionele asfaltdijk en een BGD op basis van LCC-benadering, inclusief verschillen in beheer en onderhoud.

Hoofdstuk 4 beschrijft deze twee kosteninzichten.

Daarnaast bevat dit document ook de resultaten van de Monitoring op de dijk en de kwelder en inzichten uit het Onderzoek Geschiktheid Deltaklei.

1.4 Leeswijzer

Na de inleiding komen de volgende onderdelen aan bod:

- Hoofdstuk 2 behandelt de technische inzichten.
- Hoofdstuk 3 gaat in op de planologische inzichten.
- Hoofdstuk 4 behandelt kosteninzichten.
- Hoofdstuk 5 gaat in op de resultaten van de meerjarige monitoring.
- Hoofdstuk 6 gaat vervolgens in op de inzichten, opgedaan in het Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD).
- Hoofdstuk 7 betreft het nawoord en hoofdstuk 8 de referenties.

2 Technische inzichten

2.1 Samenstelling en geschiktheid lokaal gewonnen slib en klei als bouwstof voor dijken

Deze paragraaf gaat over de opgedane inzichten in de samenstelling en geschiktheid van (1) lokaal gewonnen klei afkomstig van de kwelder en (2) lokaal gewonnen en gerijpte klei gemaakt van zout baggerslib en slib uit een brakwaterpolder als bouwstof voor dijken. Het gaat hierbij om alle fasen van het proces van het zoeken naar en toepassen van potentiële bronnen van klei tot en met de laatste inzichten vanuit het beheer van de dijk.

Bij aanvang van het project zijn in een samenwerkingsovereenkomst (SOK) de eisen ten aanzien van de te leveren klei vastgelegd. De klei eisen komen overeen met de standaard geldende eisen in Nederland ten aanzien van klei voor dijken (TAW rapport Klei voor dijken, 1996) [7]. Het ontwerp van de BGD houdt rekening met erosie en daarom is voorspelbaarheid van het gedrag tijdens erosie gewenst. Uitgangspunt bij het ontwerp is dat in een maatgevende situatie weliswaar schade aan de dijk mag ontstaan, maar falen van de dijk wordt voorkomen.

Onderzoek samenstelling bronmateriaal

Het slib en/of klei is gewonnen in de Eems-Dollard. Daar zijn verschillende potentiële bronnen beschouwd. Hierbij is gekeken naar de samenstelling van het materiaal en of het middels rijping zou kunnen voldoen aan de eisen die in de SOK zijn gesteld. De volgende bronnen zijn uiteindelijk gekozen:

1. Klei van de kwelder (**Klutenplasklei**). Deze 'steekvaste' klei is jarenlang de bron geweest voor de klei van de huidige Dollarddijk. De klei bevat echter meer organisch materiaal dan gewenst en wordt sinds de invoering van de leidraad klei voor dijken [7] niet meer toegepast. Bij het verwerken is de Klutenplas zo gegraven dat deze slib invangt (dus onttrekking uit het estuarium). De klei is afgegraven en gebruikt om de ringdijk van het depot op de kwelder van te maken. Hierdoor heeft er na het afgraven weinig extra rijping plaatsgevonden.
2. Klei van Breebaartslib (**Breebaartklei**). Polder Breebaart is in 1979 aangelegd. In 2001 is gestart met het toelaten van zoutwater. Hiervoor is in de zeedijk een duiker aangelegd en in de polderdijk een vistrap, waardoor eb, vloed en trekvisserij weer toegang hebben tot het gebied. De polder is in de loop van de tijd sterk opgeslibd. Door het bezonken slib te onttrekken, kan de natuur in de polder worden verbeterd. De klei is deels vergraven, maar de in de dijk toegepaste klei is afkomstig van het slib dat bij de baggerwerkzaamheden is verpompt naar het depot op de kwelder.
3. Klei van Havenslib (**Valgenwegklei**): De haven van Delfzijl en het havenkanaal achter de Schermdijk dienen vanuit bevaarbaarheid regelmatig te worden gebaggerd. Het gebaggerde materiaal wordt dan buiten de haven in de Eems teruggebracht en verspreid. Het havenslib is in het depot aan de Valgenweg gerijpt waarbij verschillende methodes zijn toegepast en onderzocht om zodoende de optimale rijping te bereiken.

Het materiaal van elk van de drie bronnen is onderzocht op de samenstelling, toepasbaarheid en verwerkbaarheid. In de kleirijperijs is gestuurd op het verlagen van het zoutgehalte, organische stofgehalte en het vochtgehalte. De verschillende rijpingsmethode varieerden o.a. in verschillende

laagdiktes, drainage, bewerkingen (omzetten) van de klei en het toevoegen van zoet water en met/zonder vegetatie op de klei. Middels periodiek bemonstering is het rijpingsproces gevolgd.

De dijk is in de jaren '80 versterkt door op de zandkern een deklaag van 'steekvaste' klei/slib van de kwelder aan te brengen. Onderzoek naar het materiaal uit de huidige dijk geeft daarom inzicht de ontwikkeling van het materiaal op lange termijn. Daarnaast zijn ook inzichten van de laatste versterking opgehaald. Uit verslagen kwam naar voren dat destijds in de eerste jaren na aanleg erg veel scheurvorming optrad in de deklaag van klei. Reparatie van de scheuren kostte veel geld. Bij bestudering van de historie van de aanleg weten we dat de klei zeer nat is aangebracht (deels in winterperioden met vorst). Het vermoeden is dat het (te) nat aanbrengen de oorzaak was van deze scheurvorming. Een zorgvuldige uitvoering blijkt net zo belangrijk is als een strenge materiaalkeuring.

Beoordeling geschiktheid bronmateriaal

Gedurende het rijpingsproces werd duidelijk dat de standaard eisen voor klei voor dijken niet tijdig konden worden gehaald. Het zoutgehalte en het organische stofgehalte bleef te hoog en daalde gedurende het rijpingsproces minder snel dan gehoopt/verwacht. Dit komt voor een groot deel door de onderlinge samenhang tussen vocht-, zout- en organische stofgehalte. Water is nodig om zout uit de klei te spoelen, bij te dikke lagen vindt dit nauwelijks plaats. Het zout en de organische stof houden zelf vocht vast en dit vertraagt het rijpen van de organische stof (contact met lucht).

De verwachtingen uit de Kleirijperij over het bereiken van categorie 1 klei bij voor de realisatie van Brede Groene Dijk, zijn daarom bijgesteld. Dit is in een memo [8] vastgelegd en ter goedkeuring voorgelegd aan het expert team. Dit markeert de start van het proces "grond gestuurd ontwerpen" en samen met andere kennisvragen over het ontwerp met dijkerosie is dit aanleiding voor het starten van het OGD onderzoek [3].

De verwerkbaarheid van de klei

Het OGD is gestart met de aanleg van een proefdijk om de verwerkbaarheid van de klei te testen. Aanleiding was een bezoek aan de kleirijperij en de constatering dat het materiaal deels uit harde brokken bestond en deels "yoghurt" achtig van samenstelling was. In een proefdijk is ervaring opgedaan met de verwerkbaarheid en hoe de juiste consistentie-index kan worden bereikt. De toplagen van de op ruggen gelegde klei is in dunne lagen aangebracht en met de juiste verdichting (zorgvuldige uitvoering). Onder de juiste omstandigheden bleek het materiaal prima verwerkbaar. Aandachtspunt is dat het materiaal makkelijker vocht aantrekt. Dit vraagt om een strakkere sturing op het vochtgehalte om zodoende te voldoen aan de consistentie-index. Dit was ook nodig bij het gebruik van het havenslib voor de deltagootproeven. De klei was in de winter na een periode van sneeuwval afgegraven en daarmee al nat naar de Deltagoot getransporteerd. Om de dijk van deze klei in de goede condities in de goot op te bouwen is de klei uiteindelijk tijdelijk in een kas verwarmd om te drogen.

Grondgestuurd ontwerpen

Lokaal beschikbare grond, die (net) niet voldoet aan de strenge eisen die aan dijkengrond worden gesteld, wordt in Nederland nauwelijks toegepast. In de dagelijkse praktijk maken we een ontwerp, gebaseerd op grond die aan de norm voldoet. In lijn met de aanbevelingen van het HWBP-innovatieproject Dijkversterking met Gebiedseigen Grond draaien wij dit [ontwerpproces](#) om. Na vaststelling van de sterkteparameters van lokaal beschikbare grond ontwerpen we de dijk zodanig dat deze voldoet aan de veiligheidsnorm. Hiermee leggen we de basis voor nieuwe

ontwerpmethoden voor dijken. Hoofdvariabelen in het ontwerp zijn de dikte van de kleilaag en de taludhelling van de dijk. Zo bevorderen we de toepassing van **gebiedseigen grond**. Dit vermindert de overlast voor de omgeving door minder transport en levert milieuwinst op door vermindering van CO₂-uitstoot en is in lijn met het uitgangspunt Water en Bodem sturend.

Een **zorgvuldige realisatie** is erg belangrijk. De klei dient bij aanbrengen het **juiste vochtgehalte** (niet te droog en niet te nat) te bevatten en goed te worden **verdicht in dunne lagen** (0,25 m). Deze verdichting bepaalt in hoge mate de erosiebestendigheid van de klei. Een slecht verdichte kleilaag gaat namelijk veel scheuren vertonen. Een goede monitoring gedurende de realisatie is hiervoor een must. Tenslotte is een BGD uitermate klimaat-adaptief doordat deze eenvoudig met extra klei uit te breiden is, zodra verdere zeespiegelstijging dat vereist.

Ontwerp en realisatie van de BGD

De kennis van het erosieproces en inzicht in de klei-eigenschappen is toegepast in het ontwerp van de BGD, welke in de zomer van 2022 is gerealiseerd. Het ontwerp van een veilige dijk gaat echter verder dan het erosieproces en daarom moesten er ook andere keuzes worden gemaakt. Zo kan als gevolg van de erosiediepte de minimale dikte van de kleilaag worden bepaald, maar zegt dit niet alles over de dikte van de kleilaag die je moet aanleggen. Bij een normale dijk wordt ondanks de aanwezigheid van een goede grasmatten een kleilaag van minimaal 0,8 m aangehouden voor mogelijke schade, graverij en andere tweede orde effecten. In het ontwerp van de BGD is dit ook aangehouden. De interactie tussen de faalmechanismen GEKB (kruinhoogte) en GEBU (erosie) is ook nader uitgewerkt omdat bij een voldoende dikke kleilaag de kering uiteindelijk faalt op kruinhoogte.

Bij het ontwerp van de Dollarddijk is gezien de ligging aan Natura 2000-gebied, het ruimtebeslag maatgevend geweest in de dimensionering. Het waterschap had eerder besloten om de huidige dijk niet te vergraven. Deze keuze leidde ertoe dat boven op de aanwezige kleilaag van circa 0,8 m. een nieuwe kleilaag van circa 1,7 m. is aangebracht. Om deze ook op het bovenste gedeelte van het talud voldoende dik te laten zijn is de kruin verbreed tot 11 meter.

De proeven hebben laten zien dat niet alleen de eigenschappen van de klei de sterkte bepalen, maar ook conditie van de klei bij belastingen. Hier kan bij de realisatie op worden gestuurd door de klei onder de geschikte omstandigheden (vochtgehalte) en met voldoende verdichting aan te brengen. In de realisatie is daarom extra aandacht besteed aan de voorwaarden voor het aanbrengen van de klei. Dit draagt bij aan het belang van een zorgvuldige realisatie en het accepteren dat dit mogelijk impact heeft op het aantal werkbare dagen en de snelheid van de realisatie.

Er is klei gewonnen uit de kwelder. Gerijpte (steekvaste) klei kan tot aan de afwateringsbasis van de kwelder worden gewonnen. Daaronder is het grijze, niet gerijpte klei die niet zonder meer kan worden toegepast.

De dijk is tot 3 jaar na aanleg gemonitord om zodoende meer vertrouwen en inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de klei. De monitoring is gericht op;

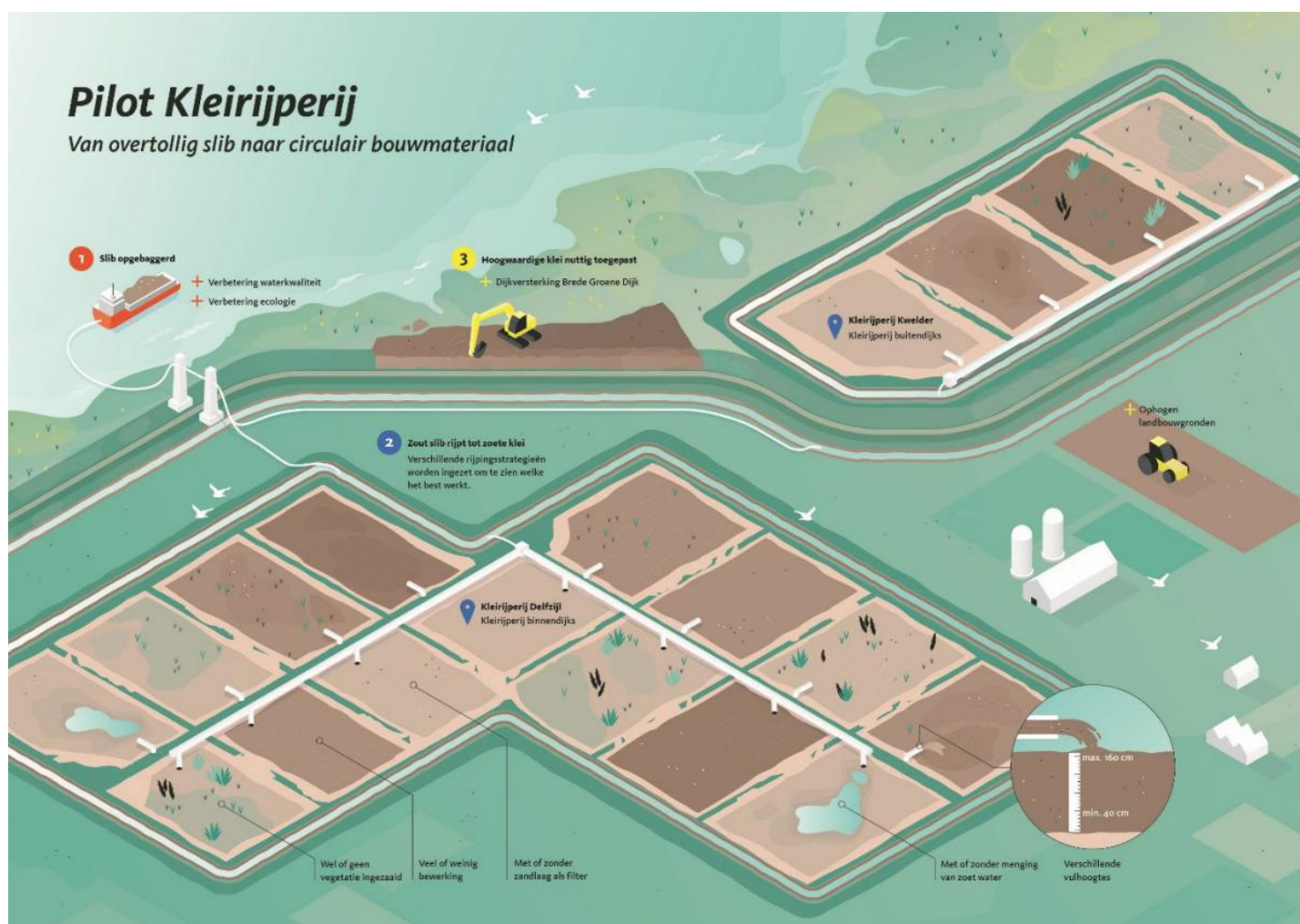
- Rijping van de klei na aanleg van de dijk
- Ontwikkeling structuurvorming in het kleidek (o.a. profielkuilen)
- Ontwikkeling grasmatten, kruidenstroken en overgang naar de kwelder
- Monitoring evt. stormschade aan de dijk

Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van de monitoring.

2.2 Kleirijpingsprocessen en -strategieën: De Kleirijperij

Onderstaande tekst is ontleend aan de 'Eindrapportage Kleirijperij'[6].

Nabij Delfzijl is de Pilot Kleirijperij uitgevoerd als onderdeel van het programma Eems-Dollard 2050 (ED2050), waarin overheden, natuur- en milieuorganisaties en bedrijven samenwerken aan versterking van de natuur, economie en leefbaarheid. Vanuit ED2050 is er de ambitie om langdurig minimaal één miljoen ton droge stof per jaar aan het Eems-Dollardestuarium te onttrekken. De Pilot Kleirijperij is opgezet om te onderzoeken of kleirijping in slibdepots rendabel kan plaatsvinden en daarmee een bijdrage kan leveren aan de grootschalige slibonttrekking uit het Eems-Dollard estuarium. De Pilot Kleirijperij richt zich specifiek op: 1. Het ontwikkelen van kennis en (innovatieve) methoden waarmee slib in betrekkelijk korte tijd in klei van een bepaalde kwaliteit kan worden omgezet (= onderzoeksdoel); 2. Het daadwerkelijk leveren van de benodigde hoeveelheid dijkenglei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel).



Figuur 2-1. Het concept van de Kleirijperij

De Pilot Kleirijperij bestaat uit een kleirijperij op het land nabij het havenkanaal van Delfzijl (slib uit het Zeehavenkanaal) en een kleirijperij buitendijks op de kwelder langs de dijk in de zuidelijke Dollard, nabij de Brede Groene Dijk (slib uit polder Breebaart). De kleirijperijen (samen 24 ha) bestonden ieder uit een tijdelijk slibdepot met verschillende proefvakken, zodat de effecten van verschillende behandelingen op het rijpingsproces met elkaar vergeleken konden worden. Er is bijvoorbeeld gekeken naar effecten van [variatie in aangebrachte laagdikte](#), het [toepassen van fysische bewerkingsmethodes](#) (ploegen en omzetten met een kraan of cultivator², aanbrengen van [drainage](#), [bijmengen met zoetwater](#) en [wel/niet inzaaien](#)). De doorlooptijd van de proeven bedroeg respectievelijk vier en twee jaar voor de kleirijperijen Delfzijl en Kwelder.

[Laagdikte](#) lijkt de [belangrijkste drijvende factor](#) voor kleirijping. Het lijkt efficiënter om meerdere dunne lagen (circa 0,7 – 0,9 m.) snel te laten rijpen in plaats van één dikkere laag (circa 1,5 – 2,0 m.) langer te laten rijpen. Ook bevorderen het [toepassen van fysische bewerkingsmethodes](#) (met name omzetten met kraan/cultivator en het opzijzetten van de korst) de rijping. Het materiaal van de ringkades om de kleirijperij beïnvloedde de rijpingssnelheid ook: bij zandige ringkades verliep het rijpingsproces sneller dan bij de ringkades van klei. Daarnaast is de [depothoogte](#) nog belangrijk: zeker op de kwelder was regenwater in het natte seizoen een probleem. In deze maanden had de rijpende klei, eigenlijk altijd “natte voeten” waardoor het onderste deel van de slib/kleilaag zich weer volzoog met water. Bijmengen met zoetwater in het depot had geen significant effect op daling van de zoutwaarde, maar leidde wel tot het snel bereiken van een goede consistentie-index waarde (geeft aan hoe vast of zacht een cohesieve grond zoals klei is, gebaseerd op het aanwezige vochtgehalte ten opzichte van de vloeigrens en uitrolgrens (Atterbergse grenzen)) die ook nodig is voor verwerking in een dijk. Het aantal vulslagen had geen significant effect op het rijpingsproces.

Het inzaaien van [vegetatie](#) had [weinig effect](#) op de biomassa: inzaaien van vegetatie is niet per se noodzakelijk als een zaadbron in de omgeving aanwezig is. De aanwezigheid van vegetatie had effecten op de bovenste 30 cm van de bodem, maar deze waren niet doorslaggevend voor de rijping van zout slib tot dijkkenlei in een depot (zoals bij deze proef) met relatief grote diepte. De aanwezigheid van harde vegetatiestructuren is in het algemeen niet gewenst voor dijkkenlei (verhoogt kans op falen van een dijk). Om met een kleirijperij meerwaarde te creëren als broedgebied is het van belang dat de locaties goed begroeid zijn en weinig verstoring plaatsvindt tijdens het broedseizoen.

Het **productiedoel** van de Pilot Kleirijperij was het daadwerkelijk leveren van de benodigde hoeveelheid dijkkenlei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk. De eisen voor klei die toegepast wordt in dijkversterkingen liggen in Nederland niet wettelijk vast, maar vaak wordt gebruik gemaakt van klei die voldoet aan de voorwaarden gesteld in de “Technische Richtlijn Klei voor Dijken” [7], waarnaar bijvoorbeeld ook in RAW-bestekken standaard wordt verwezen. Van deze eisen waren zoutgehalte en organische stofgehalte niet binnen de gestelde tijd te halen bij de Pilot Kleirijperij. Desondanks is de klei wel [succesvol](#) toegepast bij de Brede Groene Dijk. Dit was mogelijk door aanvullend onderzoek en het ontwerp

² Een cultivator is landbouwvoertuig waarmee de grond effectief kan worden omgezet mits de grond al voldoende structuur en dichtheid heeft. In de kleirijperij is de cultivator toegepast bij de laatste omzetting voordat de grond naar de “eindopslag” werd verplaatst.

van de dijk aan te passen aan de andere eigenschappen van de klei (grond-gestuurd in plaats van richtlijn-gestuurd ontwerp).

Voor de Pilot Kleirijperij is een [businesscase](#) opgesteld, waarbij o.a. gekeken is waar de grootste kosten van een kleirijperij liggen, wat nog mogelijke extra baten kunnen zijn en wat er nodig is voor opschaling. De grootste kosten zijn transportkosten, grondkosten en inrichtingskosten. Daarnaast is een goede afstemming tussen vraag en aanbod belangrijk. Als vraag en aanbod niet goed zijn afgestemd moet er rekening worden gehouden met (tijdelijke) opslag in depots of een tijdelijke beperking van de productie. [Bedrijfseconomisch](#) is een kleirijperij met een [lange levensduur](#), een [ligging dicht](#) bij de toepassingslocaties en gericht op een [verhoudingsgewijs groot aandeel aan hoogwaardig gebruik](#) van de [klei](#) (die tegen een hoge prijs in de regio kan worden afgezet) het meest gunstig. Er zijn veel factoren van invloed op de kosten en baten van kleirijpen, waarvan een deel lastig voorspelbaar is, zoals weersomstandigheden.

De gerijpte klei kan op veel verschillende manieren worden toegepast. Sommige toepassingen zijn op korte termijn al mogelijk. Andere toepassingen zijn complexer, maar kunnen mogelijk op de lange termijn plaatsvinden. Een aantal belangrijke [uitdagingen](#) voor het toepassen van gerijpte klei zijn het rijpen van [grote volumes](#) klei, [transport](#) van de klei, het [ontzilt](#) van de klei en welke stoffen er in de grond achterblijven. Er lopen verschillende onderzoeken naar de toepassing van het slib uit een kleirijperij, zoals het IBP-project VLOED (opschaling van kleirijpen voor dijkversterking) van de provincie Groningen, toepassing in de keramische industrie en op landbouwgronden.

Bij de haalbaarheid van opschaling van het concept van de kleirijperij spelen ruimtelijke aspecten, juridische, technische en financiële haalbaarheid en draagvlak een rol. Er is een leidraad opgesteld voor het opzetten van een kleirijperij waarbij is ingegaan op ruimte, tijd, laagdikte voor optimale rijping, omgevingsfactoren, rijpingsmethodieken en kosten. In het project VLOED zijn mogelijkheden voor opschaling verder onderzocht.

Het waterschap Hunze en Aa's heeft in 2025 een aanvullend onderzoek laten uitvoeren door Equator over de effecten op de landbouw van binnendijkse kleirijperijen langs de Dollarddijk.

2.3 Kleirijpingsprocessen en -strategieën: de Rijpdijk

In 2024 is het waterschap gestart met de Verkenning Dijkversterking Dollarddijk, een primaire waterkering van 15 kilometer lang tussen de Punt van Reide en de Duitse grens. Voor de dijkversterking verwacht het waterschap veel grond nodig te hebben. Een potentiële kleibron is baggerslib uit de Eems-Dollard.

Er is veel ruimte nodig voor grootschalige kleirijperijen en deze ruimte lijkt beperkt beschikbaar. Eind 2024 is het waterschap een nieuw initiatief gestart: het rijpen van slib direct op de dijk, onder de naam 'Rijpdijk'.

De Rijpdijk heeft als doel te onderzoeken in hoeverre het buitentalud van de Dollarddijk en het vlakke deel tussen de dijk en de buitendijks gelegen petsloot kunnen worden benut voor het rijpen van klei die geschikt is voor dijkversterking. Om dit te beoordelen, zijn de volgende kennisvragen geformuleerd:

1. Welke combinatie van slibdichtheid, hellingshoek en profiel is haalbaar om het gebruik van het talud en de teen van de dijk zo optimaal mogelijk te benutten?
2. Hoe hecht de aangebrachte kleilaag zich aan de onderliggende laag, en op welke manier kan deze hechting worden verbeterd door het verruwen van het oppervlak?
3. Welke combinaties van laagdikte en rijpingstijd zijn mogelijk om de klei-opbrengst per seizoen te maximaliseren?
4. Vindt er tijdens het rijpingsproces ontmenging plaats, en hoe verhoudt deze eventuele ontmenging zich tot de korrelverdeling van het aangevoerde slib?

De Rijpdijk is in het voorjaar en de zomer van 2025 uitgevoerd op het buitentalud van een circa 300 meter lang deel van de Dollarddijk bij Nieuwe Statenzijl. Het benodigde slib is gebaggerd uit de haven van Delfzijl, met dezelfde herkomst als bij de Pilot Kleirijperij. Dit slib is in dunne lagen van gemiddeld 1 centimeter dikte aangebracht in een aantal proefvakken op de dijk. Aan de teen van de dijk zijn daarnaast horizontale vakken ingericht waarin geëxperimenteerd is met dikkere laagdiktes (10 tot 60 cm). De laagdiktes zijn (veel) geringer dan bij de eerdere pilot Kleirijperij.



Figuur 2-2. Inrichting proeflocatie Rijpdijk

Hoofdconclusie

Kleirijpen op het talud van een dijk is een effectief en efficiënt alternatief voor het traditionele kleirijpen in horizontale depots. Het slib is direct op de uiteindelijke toepassingslocatie op het talud van de dijk gerijpt. De proef heeft aangetoond dat relatief snel een substantiële laag slib/klei kan worden opgebouwd, waarbij de waterhuishouding eenvoudiger en goedkoper plaatsvindt doordat regenwater het talud afstroomt. Hierdoor kan het rijpingsproces sneller en zonder onderbrekingen verlopen.

Beantwoording kennisvragen

1. *Welke combinatie van slibdichtheid en hellingshoek is haalbaar om het gebruik van het talud en de teen van de dijk zo optimaal mogelijk te benutten?*

Slib heeft minimaal een dichtheid nodig die hoger is dan de bezinkdichtheid van 1,16 gr/cm³ om te kunnen blijven liggen op het talud. Hierbij geldt dat hoe hoger de dichtheid des te dikker zal de sliblaag zijn die achterblijft op het talud. Het slib dat tijdens de proef nog net kon worden verpompt had een dichtheid van 1,22 gr/cm³.

Het talud van de Dollarddijk heeft een natuurlijke helling die varieert van 1:8 bij de kruin tot 1:3,5 in de onderste helft van de dijk. De hoeveelheid slib dat achterblijft op het talud neemt substantieel toe wanneer het talud verflauwd kan worden van 1:3,5 naar bijvoorbeeld 1:5.

De laagdikte varieerde tussen 3 mm (1,16 gr/cm³, 1:3,5 talud) tot 20 mm (1,22 gr/cm³, 1:8 talud). Waarbij typische en meest gemeten waardes zijn verkregen van 11-12 mm laagdikte (1,19 gr/cm³, 1:5 talud). Als het talud eenmaal is bedekt met slib heeft het geen toegevoegde waarde om direct door te gaan met slib aanbrengen op het talud, omdat dit materiaal niet blijft liggen en daardoor naar beneden stroomt naar de teen van de dijk waar het zich verzamelt in de vlakke delen van de proefvakken.

2. *Hoe hecht de aangebrachte kleilaag zich aan de onderliggende laag, en op welke manier kan deze hechting worden verbeterd door het verruwen van het oppervlak?*

De aanhechting van het gerijpte slib op de oorspronkelijke dijk was uitstekend. Bij het inrichten van de proefvakken was de oorspronkelijke graszode van de dijk gefreesd en verwijderd. Dit om te voorkomen dat er een grensvlak zou ontstaan tussen de verse sliblaag en de (oude) graszode. De bodem van de proefvakken bestond daarmee uit de klei van de dijk direct onder de graszode. Hierdoor ontstond een goede aanhechting van het aangebrachte slib.

De geploegde en geëgde proefvakken hadden een ruwer profiel. De aanhechting was ook hier goed, echter werden de holtes ook gevuld met slib die daardoor werden afgesloten waardoor het rijpen daar minder snel verliep. Het ploegen en eggen had echter alleen een effect bij de eerste sliblaag die werd aangebracht elke volgende sliblaag zorgde ervoor dat het talud steeds gladder werd waardoor het effect van het opruwen bij iedere volgende laag minder werd.

De proefvakken die bij de start glad waren hadden ook een uitstekende hechting. Glad is voor een centimeter dikke sliblaag een relatief begrip, omdat een glad afgewerkt proefvak nog steeds een ruwheid heeft van enkele millimeters waardoor de sliblaag dit ervaart als enigszins ruw.

Een glad oppervlak is het gemakkelijkst te maken en in stand te houden. Bij een glad talud is het slib ook het makkelijkst te verspreiden waardoor per saldo het meeste slib vast wordt gehouden en de rijping gelijkmatig verloopt. Een glad oppervlak werkt hiermee het best voor het rijpen op een talud.

3. *Welke combinaties van laagdikte en rijpingstijd zijn mogelijk om de klei-opbrengst per seizoen te maximaliseren?*

Op de taluds blijft bij een helling van 1:5 en een dichtheid van 1,19 gr/cm³ ruim 1 cm slib liggen. Bij het aanbrengen van een nieuwe laag slib wordt niet het gehele talud bedekt. Het slib zal zich steeds bewegen richting het laagstgelegen deel van de helling waardoor slechts een deel van de helling bedekt wordt. Doordat ook de vlakke delen van de proefvakken werden gevuld kon uiteindelijk de volledige helling worden bedekt met slib. Als er geen vlakke delen zijn bij een eventuele opschaling zal slechts een deel van de helling kunnen worden bedekt met slib. Dit kon niet worden gekwantificeerd tijdens deze proef. Afhankelijk van de tijd van het jaar zal de rijpingstijd van een enkele laag slib 1 tot 3 dagen duren. Dit geldt voor de periode van de uitvoering van de proef van begin mei tot en met eind augustus. Hevige of langdurige regenval kan de wachttijd verlengen.

In de vlakke delen van de proefvakken is de maximale laagdikte waarbij rijping nog goed optreedt 20 cm gebleken. De krimpscheuren gaan door tot de onderkant van de slib/kleilaag waardoor de korst feitelijk de gehele laag vormt. Regenwater kan dan gemakkelijk uitstromen. Wanneer de laagdikte dikker wordt dan 30 cm is het omzetten van het slib / klei nodig om tot volledige rijping te komen. Bij dikkere sliblagen vormt zich een korst boven de natte onderlaag waardoor deze nauwelijks meer kan uitdampen naar de atmosfeer. Regenwater blijft in de scheuren zitten en kunnen zelfs de klei zodanig verweken dat de scheuren weer dichtvloeien. De effectiviteit van de waterhuishouding om regenwater af te voeren heeft veel invloed in de vlakke delen van de proefvakken.

4. Vindt er tijdens het rijpingsproces ontmenging plaats, en hoe verhoudt deze eventuele ontmenging zich tot de korrelverdeling van het aangevoerde slib?

Het slib uit het Zeehavenkanaal bevat niet of nauwelijks zand ($\leq 1\%$) waardoor ontmenging niet plaatsvindt. Dit is dezelfde observatie die ook bij het slib in de Kleirijperij op de Delfzijl-locatie is gedaan. Ook daar vond geen ontmenging plaats bij het vullen van de proefvakken.

2.4 Potentiële locaties in Waddengebied / rest van NL voor BGD in combinatie met duurzame (lokale) kleiwinning

Deze paragraaf beantwoordt de vraag '*Waar in Nederland zijn er geschikte locaties voor de aanleg van een BGD in combinatie met duurzame (lokale) winning van klei?*' in twee stappen:

1. Waar in Nederland is een BGD toepasbaar?
2. Welke criteria moet je hiervoor beschouwen, en waar kan dit mogelijk in combinatie met winning van lokale klei?

Voor de beantwoording van de vragen is het van belang om duidelijk te hebben wat er met het concept BGD wordt bedoeld. Deze paragraaf gaat met name in op technische aspecten. Hierbij verstaan we onder een BGD een primaire kering die een dermate grote golfbelasting heeft dat onder extreme omstandigheden het gras onvoldoende sterk is en dat de sterkte van de bekleding moet worden gevonden uit de combinatie van de grasbekleding én de kleilaag daaronder. Daarbij accepteert de beheerder dat er bij een extreme stormschade kan optreden. Het uitgangspunt is dat de kering niet faalt onder maatgevende omstandigheden. Bij de BGD is gekozen voor een flauw buitentalud (1:7) om de impact van golven te reduceren.

2.4.1 Criteria

Voor de beschouwing van de toepasbaarheid van de BGD zijn de volgende **criteria** van toepassing:

Watersysteem

Hierbij geldt dat de belasting golf gedreven is, en niet waterstand gedreven. Dit betekent dat de rivieren hier niet zijn beschouwd. Daarnaast is dan ook de golfhoogte van belang. Conform de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen, deel 3 Dijkerosie buitentalud. BOI, RWS Informatie, groene versie, juli 2023, ontstaat erosie bij golfhoogtes groter dan 0,6 m.

Het ontwerpen van een dijk met gras/klei bekleding gaat uit van erosie bij maatgevende stormcondities. Dit houdt in dat na een zware storm (niet per sé maatgevend) er kans op schade is en herstel benodigd is. Er is echter weinig tot geen ervaring met grootschalig herstel na een storm.

Het is de verwachting dat bij een BGD de erosie over een grotere strekking kan ontstaan en derhalve na een storm een herstelopgave kan ontstaan. Om periodieke grote schade te beperken wordt geadviseerd om het concept (voorlopig) te beperken tot golven van circa 3 - 4 m. Dit is ter plaatse van de BGD 2,0 - 3,0 m na correctie van hoek van inval.

Voorland

Een sterke grasmat ontwikkelt zich boven de waterspiegel. In de zone van de dagelijkse waterstand zal de grasmat zich minder goed of niet ontwikkelen en derhalve zal rekening moeten worden gehouden met een hogere erosie. Wanneer voldoende voorland aanwezig is kan een BGD worden uitgevoerd. In het geval er geen voorland is, zal moeten worden beschouwd hoe de teen van de dijk voldoende robuust kan worden aangelegd. Hierbij is een harde teenconstructie mogelijk toch noodzakelijk. Alternatief is het aanleggen van een bredere teen van klei, waar erosie kan/ mag ontstaan. Bij toepassing zal moeten worden onderzocht wat de beheerdersinspanning is om de teen stabiel te houden.

Dijkopbouw huidige kering

De huidige dijkopbouw is het fundament voor de versterking en heeft dan ook grote invloed op de inspanning om een BGD aan te leggen. Hoe dikker de kleilaag aan de buitenzijde van het huidige profiel is hoe minder inspanning nodig is om de kering te versterken. Wanneer er zand in de kern zit, zijn de uitbreidbaarheid en de waterspanningen een extra aandachtspunt in het ontwerp.

Geometrie huidige kering

In het ontwerp dient de taludhelling te worden bepaald. Het verschil tussen de huidige taludhelling en ontwerptaludhelling bepaalt voor een groot deel de totale materiaalbehoefte.

Kans op schade

Wat moet worden gerealiseerd is dat het concept BGD in de veiligheidsbenadering erosie met zich meebrengt. Na een storm met erosie zal reparatie nodig zijn en afhankelijk van de belasting en lengte van de kering kan dit forse erosie geven. Dit kan betekenen dat na een zware storm grootschalig herstel nodig is wanneer grote strekkingen groene dijken zijn. Bij meer reguliere stormen is de duur van de storm korter en de golfhoogte lager, derhalve zal de kans op schade klein zijn, zolang de grasmat in goede conditie is.

2.4.2 Gebruik lokale (afwijkende) kleien

Het OGD heeft aangetoond dat met lokale **afwijkende kleien** ook een **waterveilige dijk** kan worden gebouwd. Dit betreft zowel het bouwen zelf als de erosiebestendigheid van de klei in dit ontwerp. Zeker in combinatie met een flauw buitentalud zoals de BGD is een dijk te realiseren waar erosie door golfklappen beperkt is. Dit laat zien dat ontwerpen zoals de BGD een technisch goed alternatief zijn voor een traditionele versterking met harde bekleding zoals zetsteen of asfalt.

Zowel het rijpen van slib tot dijkenglei als het realiseren van een (brede) groene dijk met afwijkende kleien zijn concepten die **breder** in Nederland **toepasbaar** zijn. Hierdoor komen er grotere grondstromen met gebiedseigen grond beschikbaar voor dijkverbetering. Dit vraagt een omslag in ontwerpen: er wordt geen klei gezocht bij een eerder opgesteld ontwerp, maar het ontwerp wordt afgestemd op basis van grond/ klei die dichtbij beschikbaar is. Van norm-gestuurd naar grond-gestuurd ontwerpen, gebruikmakend van gebiedseigen grond! Bij nieuw in te winnen materiaal vraagt dit dat de benodigde volumes klei op tijd bekend moeten zijn, zeker als het materiaal nog moet rijpen.

Het verwerken van de gerijpte kleien vergt bij de uitvoering wel extra aandacht. Voor het halen van de juiste verdichting en verkitting van de klei is de **consistentie-index** (vochtgehalte) van groot belang (tussen 0,6 en 1,0). Het hogere zoutgehalte zorgt ervoor dat vocht makkelijker wordt vastgehouden, waardoor het langer duurt voordat het geschikte vochtgehalte is behaald. Dit vochtgehalte heeft ook tot gevolg dat de rijping (oxidatie) minder snel verloopt. In de uitvoering is door onder andere het op ruggen leggen van de klei en het gebruiken van de toplaag van deze ruggen een hogere consistentie-index verkregen.

De uitvoering van de BGD was tijdens een relatief droge zomer (2022), waardoor de omstandigheden gunstig waren. In het plan van de uitvoering was rekening gehouden met een langere aanlegperiode. Omdat door de klei-eigenschappen de kans op een te lage consistentie bij neerslag groter is, waren er meer niet werkbare dagen in de planning opgenomen. Door de gunstige omstandigheden zijn deze niet nodig geweest, maar dit is wel een risico van bij het gebruik van materiaal met deze eigenschappen.

In het OGD zijn relevante proeven uitgedacht en uitgevoerd die meer vertrouwen geven in het toepassen van gerijpte mariene klei. Door in andere onderzoeken ook naar andere kleibronnen te kijken kan het inzicht voor landelijke toepassing nog verder worden vergroot.

2.4.3 Mogelijkheden duurzame kleiwinning

Paragraaf 2.1 en het OGD-onderzoek in hoofdstuk 6 beschrijven hoe klei van een laagwaardigere kwaliteit dan categorie I klei (vette klei) kan worden toegepast. Dit zal hier daarom ook niet verder worden uitgewerkt. De haalbaarheid van het BGD-concept is aan de Dollard kansrijk, juist vanwege een mogelijkheid om lokaal klei te produceren. Wanneer dit wordt vergeleken met andere locaties aan de Nederlandse kust (o.a. Waddenzee), dan is dit minder kansrijk, met name omdat het sediment snel (te) zandig is. Een uitzondering hierop is de Westerschelde. Aan de Dollard is het slib gewonnen vanuit baggermateriaal van de haven Delfzijl, een getijde polder en de kwelder. Bij de andere toepasgebieden moet ook aan dergelijke winlocaties/ kleibronnen worden gedacht.

Waddenzee

Het demonstratieproject BGD heeft geresulteerd in een versterking van circa 750 m dijk aan de Dollard. Aan de zuidzijde van de [Dollard](#) zijn de omstandigheden relatief vergelijkbaar; dit geldt voor zowel het watersysteem als de dijk en het voorland. Voor dit deel van de Dollarddijk zal een gelijkwaardig ontwerp als de BGD volstaan. Aan de westzijde van de Dollard zijn de golfcondities milder en derhalve is het huidige talud van de kering hier iets steiler. Ook hier zou een BGD mogelijk zijn, echter zijn er delen waar nagenoeg geen voorland aanwezig is, hier dient in het ontwerp en/of keuze van een voorkeursalternatief rekening mee te worden gehouden. Mogelijk kan de huidige harde teen worden hergebruikt.

Ook tussen de [Punt van Reide en Pier van Oterdum](#) liggen trajectdelen met grasbekleding waar mogelijk een BGD wordt overwogen. De kleikern zit hier in het buitentalud met aan de binnenzijde een zandkern. Er is geen voorland, maar de harde teenconstructie biedt bescherming. De golven op deze locatie zijn groter (zullen rond de 3-4 m zijn) en het is de vraag of een BGD wenselijk is. Vanwege het ontbreken van een voorland zullen ook bij mildere stormen grote golven zijn en is de kans op schade en herstelwerk dan ook groter.

Vanaf de haven van [Delfzijl tot Eemshaven](#) is de dijk recentelijk versterkt. Omdat de (voor hoek van inval gecorrigeerde) hoogte van de golven beperkt is zou een BGD kunnen. Het voorland is echter over het grootste gedeelte van de kering beperkt of niet aanwezig. De haalbaarheid is voornamelijk afhankelijk van de huidige dijkopbouw en stabiliteit van de teen. Tevens dient ook rekening te worden gehouden met de diepe geul die soms dicht langs de dijk ligt.

Van [Eemshaven tot Lauwersoog](#) ligt nu een grotendeels met asfalt beklede kering. In wisselende mate is er voorland en derhalve zou een groene dijk lokaal kunnen. De aanpassing zal echter groot zijn omdat de golfaanval groot is en de dijk nu grotendeels uit zand en harde bekleding bestaat.

Langs de [Friese Waddenzeekust](#) is binnen het dijkversterkingsproject Koehool - Lauwersmeer voornamelijk gekeken naar de aanwezigheid van voorland. Waar voorland aanwezig is, is het voorkeursalternatief een groene dijk, waar voorland afwezig is wordt hard versterkt. Ten westen van Koehool is er geen voorland aanwezig en is de huidige teen een harde constructie. Het concept BGD lijkt hier minder haalbaar.

Aan de Waddenzee in de [kop van Noord-Holland](#) zijn kleine strekkingen waar voorland aanwezig is en er zijn ook stukken met een groene dijk en een harde teenconstructie, vooral in het gebied tussen het Amstelmeer en Den Helder. Hier zou het BGD concept een mogelijk alternatief zijn.

Verder worden de [Waddeneilanden](#) alle aan de Waddenzee zijde veelal beschermd door een dijk. Hier is in verschillende maten een voorland aanwezig. Mits een stabiele teen kan worden gerealiseerd kan het concept BGD hier volstaan.

[Samenvattend](#) is aan de Waddenzee circa 35 km zeer kansrijk voor het BGD-concept. Dit betreft de Dollard (15 km), de Eems (5 km) en de westelijke Waddenzee (15 km) Verder wordt het voor nog eens circa 60 km dijk als een mogelijk alternatief ingeschat.

Overig

Aan de [Zuidwestelijke Delta](#) zijn de koppen van de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden veelal beschermd door de duinen. Achter de Deltawerken langs de estuaria en meren zijn er kansen voor het aanleggen van een BGD. De aanwezigheid van voorland kan het potentieel verhogen, maar

ook op locaties waar nu een harde teen ligt en kribben zijn kan naar een BGD worden gekeken, al dan niet met een aangelegde harde teen.

Bij de [grote meren](#) (IJsselmeer, Markermeer, Ketelmeer) is mede vanwege een beheerd peil, het aanleggen van een voorland makkelijker te realiseren (al dan niet in de vorm van een harde teen constructie. Met in combinatie met een stabiele teen is het BGD-concept een mogelijk alternatief. Al met al orde grootte 100 – 200 kilometer.

3 Omgevingsinzichten

De onderzoeksvragen vanuit Omgeving hangen sterk met elkaar samen. Deze vragen richten zich op het komen tot een vergunbaar ontwerp voor de aan te leggen dijk en de hiervoor doorlopen procedures en aangevraagde vergunningen. De tekst in dit hoofdstuk is in nauwe samenspraak opgesteld met de werkgroep Procedures & Vergunningen waarin de bevoegde gezagen rondom het demonstratieproject zitting hebben.

Voor het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvragen voor fase 3 zijn de volgende stappen doorlopen:

- Stap 1: Nadere afbakening en scherp krijgen onderzoeksvragen.
- Stap 2: In beeld brengen doorlopen gebiedsproces en aangevraagde vergunningen/toestemmingen, incl. tijdlijn.
- Stap 3: Evaluatie doorlopen proces en vergunningenstrategie (wat ging goed/ wat kon beter?).
- Stap 4: Doorkijk en aanbevelingen vervolg

3.1 Inzicht in gebiedsproces voor BGD (in/ nabij Natura 2000 gebied)

Fase 3a: Ontwerp, besluitvorming en procedures (2019 – 2021)

In deze fase is het gebiedsproces, zoals opgestart in fase 1 en fase 2 van het project, voortgezet. Het in voorgaande fasen vastgestelde voorkeursalternatief (VKA), Voorlopig ontwerp (VO), Definitief Ontwerp (DO) is samen met de aannemer binnen een bouwteam verder uitgewerkt tot een Uitvoeringsontwerp (UO). Waar het gebiedsproces in de eerdere fasen vooral gericht was op het komen tot een voorkeursalternatief, is het accent in fase 3 meer komen te liggen op het informeren en consulteren van de belanghebbenden en partners. In deze fase zijn daarom geen (interactieve) ontwerp sessies meer georganiseerd met stakeholders. Wel is de Adviesgroep Kwelders in deze fase nog regelmatig (3 keer per jaar) bijeengewees en actief betrokken bij de verdere uitwerking van het ontwerp. Ook liep in deze fase de monitoring naar effecten op Natuur & Kwelder gewoon door.

De Adviesgroep Kwelders heeft ook in deze fase een belangrijke adviesrol gehad in diverse issues en ontwerp vraagstukken. Voordat het waterschap hiermee akkoord ging, is de aannemer gevraagd zijn plan en werkwijze toe te lichten binnen de werkgroep, zodat hier meteen op kon worden gereageerd. Dit is ook gebeurd voor het herstelplan voor de kwelder ter plekke van het buitendijks gelegen slibdepot. Tijdens deze fase hebben regelmatig 1 op 1 gesprekken en werkbezoeken plaatsgevonden met betreffende eigenaren. Het Groninger Landschap heeft ook in deze fase een belangrijke rol gespeeld in het informeren van de achterliggende belangengroeperingen en natuurorganisaties. De Natuur en Milieufederatie Groningen heeft een rol gespeeld in het organiseren van informatievoorziening richting de bij hen aangesloten organisaties. Voor de ter inzagelegging van het Ontwerp-Projectplan Waterwet is het VO gepresenteerd in de bredere klankbordgroep.

Fase 3b: Bouw van de dijk (2022)

De bijeenkomsten en rol van de Adviesgroep Kwelders is ook voortgezet gedurende de bouw fase van de dijk (fase 3b). De adviesgroep is in deze fase regelmatig bijeengewees en geïnformeerd over de stand van zaken met betrekking tot de uitvoering. Ook zijn issues die zich gedurende de bouw van de demonstratiedijk voordeden binnen de werkgroep besproken en voorgelegd voor

advies. De bijeenkomsten werden waar mogelijk gecombineerd met veldbezoeken. Belangrijke issues in deze fase zijn geweest:

- het al dan niet inzaaien en aandrukken/verdichten van het ondertalud (ten behoeve van een zo natuurlijk mogelijke begroeiing en overgang van dijk naar kwelder).
- het al dan niet uitscharen van vee gedurende de uitvoering, incl. hiervoor benodigde rasterplan.
- benodigde maatregelen voor het weer in oorspronkelijke toestand terugbrengen van de kwelder na ontmanteling van het depot (herstelplan kwelder).
- het tijdens de uitvoering zo veel mogelijk rekening houden en voorkomen van verstoring van natuurwaarden (Ecologisch WerkProtocol (EWP)).
- transportroutes voor de aanvoer van klei (uit de kleirijperijen).
- advies over het beheer en de nazorg van het broedeiland.
- het toegankelijk houden van de binnendijkse onderhoudsweg voor fietsers en het afsluiten van het bouwterrein voor beweiding en publiek.
- tussentijdse evaluatie monitoringsplan Natuur & Kwelder, inclusief actualisatie en benodigde aanvullingen fase 3.

In deze fase is de bredere klankbordgroep niet meer bijeengewoest. Wel heeft regelmatig bilateraal overleg plaatsgevonden met leden van deze groep en is gevraagd naar de behoefte aan nadere toelichtingen. Daar was geen behoefte aan. Het project kon ook via de site van het waterschap prima worden gevolgd. Daarnaast werd nog wel informatie ontvangen via de bijeenkomsten van de achterband van Het Groninger Landschap en de Natuur- en Milieufederatie Groningen. Op verzoek is hierin ook een presentatie verzorgd door het waterschap.

3.2 Inzicht stappen/ aanpassingen in juridisch-planologisch kader

Fase 3a: Ontwerp, besluitvorming en procedures

In fase 3a zijn de belangrijkste vergunningen aangevraagd en toestemmingen geregeld voor de realisatie van de demonstratiedijk. Net als in voorgaande fasen heeft de werkgroep Procedures & Vergunningen hierin een belangrijke rol gespeeld. Binnen de werkgroep zijn de benodigde procedures en vergunningen bepaald en is (zowel inhoudelijke als procedureel) een strategie bedacht voor het doorlopen van een gecoördineerde planprocedure. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de in deze fase aangevraagde vergunningen en doorlopen procedures.

Net als in fase 1 en 2 heeft de projectprocedure projectplan Waterwet (fase 3) [12] als moederprocedure gefungeerd. Parallel hieraan is ook een MER-beoordeling [13] doorlopen en een vergunning Wnb aangevraagd. De provincie Groningen trad hierbij op als coördinerend bevoegd gezag. Vanwege vertragingen binnen de kleirijperij is door het waterschap in deze periode ook een verlenging aangevraagd van de instandhoudingstermijn van de in 2017 verleende omgevingsvergunning voor het tijdelijk slibdepot (met een periode van twee jaar tot uiterlijk 1 januari 2023) en de hiervoor reeds eerder afgegeven Wnb-vergunning.

Tabel 3.1: Procedures en (hoofd)vergunningen Demonstratieproject BGD (fase 3)

Procedure/vergunning	Opmerking
Projectplan Waterwet (fase 3)	Moederprocedure
Mer-beoordeling	Besluit geen uitgebreide MER

Wet	Natuurbescherming	Afgifte bestuurlijk rechtsoordeel
(Natura 2000/NNN)		
BPRW-toets	Redenering gevolgd uit de Passende Beoordeling vwb areaalverlies kwelder	
Omgevingsvergunning	Vanwege reeds opgenomen reserveringszone niet nodig	
Ontgrondingen en BBK	Reeds geregeld in fase 1 en 2 (zie evaluatie fase 1 en 2)	

De basis voor de vergunningaanvraag Wnb werd gevormd door de in eerdere fasen reeds uitgevoerde Passende Beoordeling [14]. Deze is voor fase 3 verder aangevuld en geactualiseerd [15]. Daarin is gemotiveerd dat het areaalverlies aan kwelder niet significant en –gezien het pilotkarakter- tijdelijk van aard is en past binnen de natuurlijk dynamiek van de Waddenzee/Dollard. Er is veiligheidshalve uitgegaan van een maximaal areaalverlies door aanleg van de brede dijk (worst-case-scenario). Bovendien is beoordeeld dat het areaalverlies tijdelijk van aard zou zijn en ook een positief effect op natuurherstel van de Eems-Dollard valt te verwachten door de toepassing en het nuttig hergebruik van slib. Dit heeft de aanvraag ook zeker sterker gemaakt

Door aanwezigheid en de instandhoudingsplicht van het broedeiland slibvang Klutenplas werd ook de verstoring op broedvogels als niet significant beoordeeld en kon gedurende het broedseizoen onder ecologische begeleiding worden doorgewaterkt. Een vergunning Wnb is niet afgegeven. In plaats hiervan heeft de provincie Groningen een Bestuurlijk rechtsoordeel genomen: omdat er geen significant negatief effect te verwachten was, bleek een vergunning niet nodig. Dit op voorwaarde dat de eerder in de Wnb-vergunning voor fase 1 en 2 [16] opgenomen voorwaarden ook voor fase 3 onverminderd van kracht zijn. Rijkswaterstaat heeft deze redenering ook gevolgd voor de BPRW-toets [17] en haar toestemming en medewerking aan het demonstratieproject via een bestuurlijke brief verleend [18]. Deze brief is opgenomen als bijlage in het Projectplan Waterwet [12].

Vanwege de reeds opgenomen reserveringszone in de Beheerverordening Waddenzee en Noordzee [19] was voor de aanleg van de demonstratiedijk geen omgevingsvergunning benodigd. Bij al deze verleende toestemmingen en vergunningen is wel het uitdrukkelijke voorbehoud gemaakt van geen precedentwerking voor de (rest van de) te versterken dijk langs de Dollard.

De scheiding voor bevoegd gezag voor ontgrondingen en de BBK ligt precies op het midden van de kruin van de dijk. Aan beide zijden van de dijk gelden andere normen en wet- en regelgeving. Aan landzijde betreft het toepassing in de landbodem (gemeente Oldambt) en aan zeezijde betreft dit de kwelder als waterbodem van de Dollard (Rijkswaterstaat). Ook de afwatering en mogelijke uitloging van stoffen volgt deze scheiding. Hoewel het werk voornamelijk op het buitentalud (aan zeezijde) is uitgevoerd is met de kruinverhoging ook een klein deel aan landzijde uitgevoerd. In onderlinge afstemming is echter een notitie opgesteld waarin 1 lijn is getrokken [20]. Daarin is geredeneerd dat de kruin onder invloed van de zee staat en daarom als waterbodem wordt (mee) gerekend. Daardoor viel het grootste deel van het werk onder bevoegd gezag van RWS. Tevens is geredeneerd dat het in de kruin en buitentalud toe te passen materiaal uit hetzelfde watersysteem afkomstig is en niet leidt tot een slechtere (waterbodem)kwaliteit. Dit is onderbouwd met onderzoek naar de kwaliteit van de toe te passen klei. Op het binnentalud is zoete klei

aangebracht, afkomstig van het depot Nieuwe Statenzijl van het waterschap Hunze en Aa's. Het binnentalud betreft een landbodem, waar niet zomaar zout materiaal mag worden toegepast.

Fase 3b: Bouw van de dijk

De werkgroep Procedures & Vergunningen en de brede Klankbordgroep is in de realisatiefase van het project niet meer bijeengewees. Waar nodig hebben wel bilaterale gesprekken plaatsgevonden met de betrokken leden en zijn deze (individueel) geïnformeerd over de voortgang. Ook zijn in deze periode nog de benodigde uitvoeringsvergunningen en meldingen gedaan. Dit betrof onder meer een melding BBK [21]. Zowel voor het inbrengen van slib in een depot, als voor het toepassen van de gerijpte klei vanuit dat depot moet een BBK-melding met bijbehorende keuringen worden gedaan.

Zowel van de zijde van de aannemer als het waterschap is een ecologisch toezichthouder aangesteld die toezicht hield op de naleving van het Ecologisch Werkprotocol [22] en de uitvoering van het werk in het veld heeft begeleid. De toezichthouders hebben ook bij aanvang een toolboxmeeting verzorgd en waren wekelijks aanwezig bij de vergaderingen in de bouwkeet. Door de ecologische toezichthouder werden maandelijkse rapportages over de inhoudelijke voortgang van het project opgesteld. Ook werd regelmatig een terugkoppeling hiervan verzorgd in de Adviesgroep Kwelders. Er zijn geen noemenswaardige effecten waargenomen.

3.3 Leerpunten

3.3.1 SWOT-analyse

Ten behoeve van deze evaluatie heeft op 17 januari 2024 een bespreking plaats gevonden met de werkgroep Procedures & Vergunningen. Tijdens deze bijeenkomst is een SWOT-analyse (sterkte-zwakte-analyse) uitgevoerd om de leerpunten in beeld te brengen. Daarbij zijn zowel de sterke en zwakke punten van het doorlopen proces fase 3 in beeld gebracht, als ook de kansen en bedreigingen voor de versterking van de Dollarddijk over de rest van het tracé.

Figuur 3.1 geeft een totaal-overzicht van de op deze manier verzamelde sterke en zwakke punten, en ook de kansen en bedreigingen voor opschaling. De hierin benoemde punten worden in dit hoofdstuk kort nader toegelicht. Deels betreft dit een bevestiging van de punten, zoals die ook reeds zijn benoemd in het evaluatierapport fase 1 en 2 [1].

Sterktes - Werken onder Programma ED2050 - Werkgroep Procedures & Vergunningen - Adviesgroep kwelders - Broedeiland slibvang Klutenplas - Ecologische begeleiding en EWP - Monitoring	Zwaktes - Transport gerijpte klei van Delfzijl naar dijk - Twee aparte realisatie-contracten (klei ontgraven/ transporteren en klei verwerken) - Strakke planning - Documentenbeheer (sharepoint) - Natuurkwaliteit onvoldoende in beeld - Timing partijkeuringen
Kansen - Gespreid werken in tijd en ruimte - Compensatie binnen brede kustzone - Ophogen landbouwgronden	Bedreigingen - Wisseling personeel - Schaalgrootte project - Binnendijks en buitendijks werken

- Geleidelijke overgang land - water - Supplement Natura 2000 beheerplan Eems-Dollard	- Werken onder de omgevingswet - Grondpredatie op de kwelder
--	---

Tabel 3-1: SWOT-analyse evaluatie Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 3a en b)

Een uitgebreide toelichting van de sterke en zwakke punten, kansen en bedreigingen staat in [10].

3.3.2 Geleerde lessen gebiedsproces

In fase 1 en 2 van het demonstratieproject was reeds in samenwerking met alle stakeholders een schetsontwerp van de demonstratiedijk opgesteld. In fase 3a en 3b is het ontwerp verder uitgewerkt en gerealiseerd. Onze geleerde lessen zijn als volgt:

1. Gedurende het gehele proces heeft de werkgroep P&V en de Adviesgroep kwelders een belangrijke rol gespeeld in het gebiedsproces om te komen tot een BGD.
2. Niet alleen de samenstelling maar ook de continuïteit, open sfeer en wederzijds respect en vertrouwen binnen deze groepen heeft een belangrijke rol gespeeld in het succes van het project.
3. Het kunnen werken onder een breder gebiedsprogramma (ED2050) helpt zowel inhoudelijk als bestuurlijk de doelen te realiseren en zorgt voor een steun in de rug.
4. Ga zorgvuldig om met de belangen van natuur en milieu en meet de effecten voor, tijdens en na de uitvoering (en deel de resultaten).
5. De positionering en het blijven uitdragen van de boodschap rond het project is van groot belang. Het gaat hier niet alleen om een versterkingsproject, maar ook een project dat een substantiële bijdrage moet leveren aan het herstel van het Eems-Dollard-systeem.
6. Het gedurende het project blijven monitoren van effecten op natuur en milieu helpt het vertrouwen in het project te vergroten.
7. Wees open en transparant in het ontwerp- en gebiedsproces. Wees niet bang om risico's, onzekerheden en leemtes en kennis te benoemen en om hulp te vragen. Motiveer de afwegingen die daarin uiteindelijk zijn gemaakt.
8. Het regelmatig organiseren van veldbezoeken helpt de transparantie en het vertrouwen te vergroten. Ook biedt dit een genuanceerder beeld dan wanneer men alleen informatie uit notities of presentaties krijgt.
9. Geef grondeigenaren en -gebruikers als direct belanghebbenden een aparte positie binnen het gebiedsproces. Bespreek voorstellen en issues eerst met hen en daarna breder. Zorg voor hen voor 1 aanspreekpunt vanuit het project.
10. Start voor het grondtransport door het gebied het overleg met de omgeving vroegtijdig op. Betrek de omgeving bij de keuze voor transportroutes. Om overlast te beperken worden kleirijperijen bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de dijk gesitueerd. Maak ook vooraf duidelijke afspraken met de wegbeheerders.

3.3.3 Geleerde lessen juridisch planologisch kader

De geleerde lessen zijn als volgt:

1. Vanwege het benodigde ruimtebeslag maakt de huidige wet- en regelgeving op het gebied van natuur/Natura 2000 het juridisch en planologisch lastig om een BGD in en

langs het Natura 2000 gebied mogelijk te maken. Vooral het uitwisselen van habitattypes werkt belemmerend en het is lastig om effecten op systeemniveau te bepalen gerelateerd aan een project. Feitelijk zet het beleid in op statisch behoud in een dynamisch systeem waarin ontwikkeling noodzakelijk is om de doelen ook op langere termijn te kunnen borgen.

2. De op papier aangegeven habitattypen en natuurwaarden willen nog weleens afwijken van de situatie in het veld. Kijk daarom goed welke natuurwaarden precies aanwezig zijn en eventueel verloren gaan.
3. Met de nodige creativiteit, de tijdelijkheid, en het bredere doel voor ogen is het echter mogelijk gebleken om de demonstratiedijk binnen de huidige wet- en regelgeving vergunbaar te krijgen. Daarvoor is echter een goed gebiedsproces en de medewerking van alle partijen noodzakelijk.
4. Het anders denken door bevoegd gezag en een goede verankering van het bredere gedachtengoed ("natuurplus") binnen het Natura 2000 beheerplan kan de vergunningverlening makkelijker maken.
5. Voor de versterking langs de gehele Dollarddijk zou een bredere kustzone moeten worden gereserveerd waarin ook natuurwaarden die buitendijks verloren gaan kunnen worden gemitigeerd/gecompenseerd.
6. Vanwege verschil in wet- en regelgeving voor en achter de dijk is afstemming tussen bevoegde gezagen benodigd voor het kunnen bouwen van een Brede Groene Dijk.
7. Het waterschap heeft afgelopen jaren tevens een Kustvisie opgesteld, die aansluit bij het Programma Meegroeierende Kust van de provincie Groningen. Dit biedt kansen voor een bredere kustzone waarin brede groene dijken opgenomen kunnen worden.

3.4 Inzicht in mogelijkheden in Natura 2000-gebied

In de evaluatie fase 1 en 2 is reeds beschreven wat ervoor nodig is geweest om de benutting van klei vanuit de kwelder (fase 1) en de aanleg en gebruik van het buitendijks slibdepot op de kwelder (fase 2) mogelijk te maken. Aanvullend hierop kunnen voor fase 3 de volgende leerpunten worden benoemd:

1. Voor fase 3 is door de provincie een bestuurlijk rechtsoordeel Wnb afgegeven en was er dus geen vergunning benodigd. Dit met name vanwege het aspect tijdelijkheid. Wel heeft hiervoor een actualisatie en aanpassing op de Passende Beoordeling van fase 1 en 2 plaatsgevonden en waren de voorwaarden van toepassing zoals benoemd in de Wnb-vergunning fase 1 en 2.
2. Het is van belang om in de Passende Beoordeling niet alleen de negatieve effecten op soorten en habitats te belichten, maar vooral ook de positieve effecten (zoals meer geleidelijke overgangen van land naar water) en de bijdrage die het project kan leveren aan systeemherstel.
3. Vroegtijdig overleg met alle partijen is noodzakelijk om voldoende draagvlak te verkrijgen voor een succesvolle vergunningenstrategie.
4. Door aanleg en instandhouding van het broedeiland slibvang Klutenplas kon -onder strikte voorwaarden- ook gedurende het broedseizoen worden doorgewerkt.
5. Het is van groot belang te beschikken over een gezamenlijk gedragen ecologisch werkprotocol die schade en verstoring van natuur voorkomt en waarin ook het mandaat van de ecologisch toezichthouder goed is geregeld.

6. Voor het vertrouwen in het project en verzoeken op handhaving te voorkomen is het van belang dat een onafhankelijk partij het ecologisch toezicht op het werk verzorgt en de resultaten hiervan regelmatig rapporteert en terugkoppelt.
7. Naast een Ecologisch Werkprotocol is ook een gedragen herstelplan nodig om de effecten van droogbedden en rij- en werkstroken teniet te doen en het gebied na realisatie weer in oorspronkelijke toestand terug te brengen.
8. Door de rapportages van de monitoring en het ecologisch toezicht kan open en transparant worden gewerkt.
9. Door via monitoring de effecten in het veld direct te meten kan met de hand aan de kraan worden gewerkt en bij onverwachte gebeurtenissen of calamiteiten het werk meteen worden stil gelegd dan wel worden aangepast waar nodig.
10. Voor de medewerking van particulier grondeigenaren is het van belang hen een duidelijk perspectief te geven. Een belangrijk onderdeel daarvan is een reële financiële compensatie voor het gebruik van hun grond.

4 Kosteninzichten

In dit hoofdstuk zijn de inzichten en geleerde lessen vanuit zowel ramingen als nacalculatie van verschillende projectonderdelen beschreven. Deze inzichten zijn gedurende een aantal jaren tot stand gekomen. Opgedane inzichten zijn vaak het uitgangspunt geweest voor een volgende fase. Deze inzichten zijn in chronologische volgorde gepresenteerd.

Aanleiding

In het onderzoeksvoorstel is de volgende vraag aangaande de kosten gedefinieerd; *"Inzicht in de kosten van toegepaste kleiwinningsmethoden en de toepassing van de klei in dijken, in vergelijking met de kosten van kleiwinning en toepassing van klei uit het binnenland."*

Bovenstaand inzicht behelst twee aspecten:

1. Het winnen en leveren van de benodigde klei.
2. Het toepassen van de klei in dijken (bouwen van de dijk).

Aanvullend geeft paragraaf 4.2 een update naar aanleiding van ramingen van alternatieven uit de Verkenning van de Dollarddijk. Hierin zijn de nieuwste inzichten verwerkt en is tevens de alternatieve manier van rijpen, de zogenaamde rijpdijk, zie paragraaf 2.3, toegevoegd. Er is op moment van schrijven nog geen definitieve versie van de ramingen en ook nog geen VKA.

4.1 Het winnen en leveren van de benodigde klei

Tussen 2018 en 2022 heeft de Pilot Kleirijperij plaatsgevonden. Binnen het Interbestuurlijk project VLOED (Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard) is een uitgebreide MKBA [5] opgesteld. Hierin zijn verschillende alternatieven van kleiwinning en levering voor een dijk gemaakt van tot klei gerijpt slib en van klei uit het binnenland, financieel (kosten en baten) met elkaar vergeleken.

In de genoemde MKBA is uitgegaan van het ontwerp van de BGD, doorgetrokken over 15 km in lengte; de lengte van de Dollarddijk. Lokale verschillen in scope, hoeveelheden en optimalisaties zijn hier niet in meegenomen. Simpelweg wordt hier uitgegaan van 2,0 mln. kuub te leveren vaste klei die gelijkmatig langs de Dollard benodigd is.

Voor de te leveren **klei van 'veraf'** zijn vier verschillende routes om het materiaal aan de dijk te krijgen vergeleken. De klei komt via een schip vanaf De Maas; locatie Lithoijen:

- **Rood:** Via een beunschip wordt de klei naar een loslocatie in Delfzijl gebracht en overgeslagen naar een vrachtwagen. De vrachtwagens transporteren de klei naar de dijkversterkingslocatie (circa 18 km). Hiervoor wordt een tijdelijke weg aangelegd over landbouwgrond om bij de locatie aan de dijk te komen.
- **Geel:** Via een beunschip wordt de klei naar de Punt van Reide gevaren. Aan de punt van Reide wordt de klei overgeslagen in vrachtwagens en getransporteerd naar de dijkversterkingslocatie (circa 5-10 km). Er wordt een tijdelijke losvoorziening en een vaargeul naar de losvoorziening aangelegd.
- **Oranje:** Via een beunschip wordt de klei over binnenwateren naar een loslocatie in Winschoten gebracht en overgeslagen naar een kleiner beunschip. Het kleine beunschip transporteert de klei naar Nieuwe Statenzijl. In Nieuwe Statenzijl wordt de klei overgeslagen naar vrachtwagens en wordt de klei naar de dijkversterkingslocatie

(circa 5-10 km) gebracht. Er wordt een tijdelijke losvoorziening aangelegd in Nieuwe Statenzijl.

- **Blauw:** Via een beunship (kleiner dan bij de varianten hierboven) wordt de klei buitengaats naar de loslocatie in Nieuwe Statenzijl gebracht en overgeslagen naar een vrachtwagen. De vrachtwagens transporteren de klei naar de dijkversterkingslocatie (ca. 5-10 km). Er wordt een tijdelijke losvoorziening aangelegd in Nieuwe Statenzijl. Bij deze vaarroute dient rekening te worden gehouden met het getij op de Dollard.



Figuur 4-1. Varianten aanvoer klei referentiealternatief (bron: [5])

Voor de **te rijpen klei** wordt slib gewonnen door het baggeren van het Zeehavenkanaal van de haven van Delfzijl en in een kleirijperij lokaal gerijpt tot klei. Binnen de MKBA zijn er drie varianten beschouwd. Deze varianten verschillen in de locatie van de kleirijperij. Een variant gaat uit van een kleirijperij in de Kerkhovenpolder, een variant in de Reidewolderpolder, en een variant gaat uit van beide.

Conclusie

De lokale winning van grondstoffen biedt naast de voordelen op het gebied van onder andere duurzaamheid tevens een financieel voordeel. Lokaal winnen van slib en dit ter plekke rijpen tot klei lijkt op basis van deze analyse kostentechnisch interessant.

4.2 Update van inzichten vanuit verkenning Dollarddijk

In 2025 is de Verkenning van de Dollarddijk gestart. Hierbij is gebruik gemaakt van het demonstratieproject BGD. Deze paragraaf is geschreven in april 2026, op het moment dat de Kansrijke Alternatieven zijn uitgewerkt. Als onderdeel van het bepalen van de kansrijkheid zijn

nieuwe ramingen gemaakt. In dit document melden we alleen de bevindingen ten opzichte van elkaar.

De alternatieven in de Verkenning zijn samengesteld uit twee aspecten, die wij pijlers noemen. De eerste pijler betreft de geometrie van de dijk, de tweede pijler de kleibron.

Dit heeft na zeef 1 geresulteerd in de volgende kansrijke alternatieven:

- Een Brede Groene Dijk met smalle kruin (met herverdeling van de zandkern). De kleibron is een rijpdijk (zie paragraaf 2.3).
- Een Groene Dijk met steil buitentalud en plaatselijk binnenwaartse asverschuiving. De kleibron is een kleirijperij (zie paragraaf 2.2).

Daarnaast wordt een referentiealternatief beschouwd. Dit betreft een dijk met harde bekleding en klei van elders.

Er is ook steekvaste lokale klei beschikbaar. De hoeveelheid hiervan is te klein voor de gehele versterking. Deze oplossing wordt wél realistisch geacht als optimalisatie voor elk van de alternatieven en daarom ook als optimalisatie wel meegenomen naar de planuitwerking.

In de SSK ramingen zijn zowel de investeringskosten als beheerkosten in beeld gebracht. Voor de levensduur is de situatie van 50 jaar en van 100 jaar uitgewerkt, waarbij het uitgangspunt is dat na 50 jaar de kering wordt versterkt in lijn met de uitgangspunten van het alternatief.

De investeringskosten voor de versterking zijn voor elk van de alternatieven hoger dan de eerdere berekeningen. Dit komt o.a. door de kostenstijgingen van de afgelopen jaren.

De investeringskosten van het referentiealternatief asfaltdijk met klei van elders zijn lager dan de kansrijke alternatieven. Dit komt o.a. doordat zowel het volume van de benodigde grond lager is (circa 1/3 minder), als dat er grotendeels met zand in plaats van klei wordt gewerkt.

De kleibehoeft van een BGD en een groene dijk met steil boventalud zijn nagenoeg gelijk. Dit komt omdat bij een steiler talud (kortere helling) wel meer kleidikte nodig is. Het toepassen van kleirijperijen is wel duurder dan een rijpdijk.

Als we naar de Lifecycle kosten kijken valt op dat beheerkosten van een grastalud hoger zijn dan asfalt, maar dat asfaltbekleding in zijn geheel vervangen moet worden en daardoor veel duurder is dan een gronddijk, die vrij makkelijk kan worden aangepast.

5 Resultaten Monitoring

5.1 Technische Monitoring 2022 - 2025 na aanleg BGD

Deltares heeft samen met Wageningen Environmental Research onder de vlag van Ecoshape de dijk in de periode 2022 – 2025 gemonitord. Deze paragraaf geeft de samenvatting van de technische monitoring na aanleg, ontleend aan het Eindrapport monitoring na aanleg Brede Groene Dijk, 11208988-002-GEO-0008 van 21 april 2026.

Achtergrond

Het rapport behelst de resultaten van het onderzoek dat is uitgevoerd na het gereedkomen van de BGD. In die periode is het functioneren van de dijk en de ontwikkeling van zowel de klei (rijping en zetting) onderzocht. Ook is aandacht besteed aan erosie en deformaties. In 2025 heeft een afsluitend profielkuilonderzoek van deze drie monitoringsjaren met verschillende onderzoeken en analyses plaatsgevonden.

Een centrale vraag was hoe de deels gerijpte klei zich zou gedragen in vergelijking met reguliere, goed gerijpte klei. In de regel neemt de sterkte toe van een met dergelijke, reguliere klei aangelegde dijk: zo verdwijnt de verhoogde waterspanning langzaam die bij aanleg of versterking ontstaat, mede afhankelijk van de dikte van de ophooglagen en doorlatendheid van de klei. De BGD is aangelegd op de oude dijk die bij de vorige versterkingsronde in de jaren 80 van de vorige eeuw aan de buitenzijde werd versterkt met zand en afgedekt met een dunne kleilaag.

Een belangrijk onderdeel van het onderzoek bij dit proefproject is - naast het gedrag van de deels gerijpte klei - de invloed van het in de klei aanwezige hoge zoutgehalte en organisch stofgehalte. Er is bij de BGD bewust gekozen voor grondgestuurd ontwerpen, waarbij drie deels gerijpte zoute kleisoorten zijn toegepast bij de versterking. Het zoutgehalte van de kleisoorten is hoger dan de eisen voor reguliere klei toelaten. Het is bekend dat dit invloed heeft op zowel de fysische eigenschappen van de klei als de daarop groeiende vegetatie. Ook het organisch stofgehalte van deze klei is hoog, d.w.z. regelmatig hoger dan de eisen voor reguliere klei. Een hoog organisch stofgehalte verhoogt de gevoeligheid voor wateropname, maar kan ook een volumeafname door oxidatie hiervan tot gevolg hebben. De hierboven beschreven effecten van beiden op het gedrag van klei ligt ten grondslag aan de eisen voor reguliere klei voor dijken. Met dit project hebben we getracht te achterhalen of dergelijke klei veilig kan worden toegepast.

Samenstelling klei in relatie tot reguliere eisen

Met betrekking tot de rijping kan het volgende worden opgemerkt: twee van de drie kleisoorten (Valgenweg- en Breebaartklei) zijn vooraf in rijpingsdepots vooral fysisch gerijpt, een proces waarbij het watergehalte afneemt. Het zoutgehalte en organisch stofgehalte zijn hierbij in beperkte mate afgenomen. Deze laatste waarden waren nog wel hoger dan de eis, met name het zoutgehalte. De Breebaartklei is in deze velden iets meer dan 2 jaar gerijpt, terwijl de Valgenwegklei een kleine 4 jaar is gerijpt. De derde klei (Klutenplasklei) is niet vooraf in rijpingsdepots gerijpt. Wel heeft deze klei op de kwelder al enige rijping ondergaan, en ook bij het gebruik van deze klei als dijksmateriaal in het Kwelderdepot is deze klei verder gerijpt. De biochemische rijping voor alle drie kleisoorten stond na deze rijpingsfase en daarna bij toepassing van de klei in de BGD nog in het beginstadium.

Alle drie kleisoorten waren bij aanleg van de BGD ontwaterd tot de gewenste consistentie, met als minimumeis dat de consistentie-index groter of gelijk is aan 0,6. Tijdens de aanleg is deze steeds gecontroleerd, evenals de verdichtingsgraad (1-puntsproctor). In de zomer van 2022 waarin de BGD is aangelegd was het weer uitzonderlijk droog en warm. Dit heeft ertoe bijgedragen dat door regelmatig omscheppen in de meeste gevallen de consistentie-index gestegen was tot 0,75, de eis die gesteld wordt aan deklagen van dijken. Slecht weer met veel regen had de consistentie-index van de aangevoerde klei kunnen verlagen.

Als onderdeel van het demonstratieproject is vooraf een aantal kennisvragen opgesteld, die we met behulp van dit onderzoek hebben geprobeerd te beantwoorden. Deze vragen betreffen de ontwikkeling in de tijd van de klei en de hydrologie van de BGD.

Bevindingen algemeen

De dijk heeft gedurende de monitoringsperiode van 3 jaar (2022-2025) een positieve indruk achtergelaten: de dijk ziet er prima uit en alle onderdelen van de dijk zijn naar behoren blijven functioneren. De dijk heeft z'n waterkerende eigenschappen behouden, dat wil zeggen dat de hoogte en breedte van de kruin grotendeels intact is gebleven en dat het buitentalud niet sterk, maar wel enigszins, is gedeformeerd. De drain binnen in de zandige kern die het binnendringende water moet afvoeren is volgens verwachting goed blijven werken. Dit blijkt uit de afvoermetingen en de meting van de grondwaterstand in de kern van de BGD. De ontwikkeling van de vegetatie en de klei is na 3 jaar nog zeker niet voorbij; vele van de in dit rapport besproken processen die van invloed zijn op de ontwikkeling van de dijk zijn langdurende processen die nog vele tientallen jaren kunnen voortgaan. Een voorspelling over de verdere ontwikkeling en het functioneren van de dijk tot het einde van de levensduur kan op basis van huidige informatie niet gegeven worden.

Ontwikkeling zoutgehalte

Zout is langzaam uit de bovenste laag 20 cm van de klei uitgespoeld, zoals blijkt uit metingen van het zoutgehalte van de klei. Het zoutgehalte is verder naar onder in het profiel nog hoog, zoals blijkt uit de beïnvloeding van de TDR-watergehaltemetingen door het zout vanaf een diepte van zo'n 20 cm.

Zakkingen/vervormingen

Het talud is in z'n geheel enigszins gezakt onder invloed van zetting van de oude dijk, het oude voorland en door consolidatie/kruip van de nieuw opgebrachte, deels gerijpte, klei. De zakking of zetting is halverwege de dijk het grootst. Uit analyse van de metingen aan de zakbaken is afgeleid dat delen van de aangebrachte klei langs het talud naar beneden zijn gekropen, uitgeperst dan wel gegleden. De zakbaken onder aan de dijk laten vaak een toename van de dikte van de opgebrachte kleilaag zien, terwijl de zakbaken halverwege het talud een duidelijke afname van de dikte van deze klei laten zien. De verschilzettingen tussen de beide zakbaken liggen rond de 10 cm. De verwachting was dat op beide posities van de zakbaken (onder aan en halverwege het talud) een vergelijkbare vermindering van de dikte van de opgebrachte kleilaag te zien zou zijn, als gevolg van consolidatie en kruip. De relatief lage consistentie-index van 0,6 bij aanleg, in combinatie met de niet volledig gerijpte staat van de klei, zal hier verband mee houden.

Hierbij moet worden opgemerkt dat een kleilaag met een dikte van 3 tot 4,5 meter 10-tallen tot honderden jaren nodig kan hebben om uitgeconsolideerd te raken. De dikke opgebrachte kleilaag draineert voornamelijk eenzijdig (naar boven) als gevolg van de matig doorlatende oude dijk en de slibrijke kwelder als ondergrond. Het talud kan dus de komende jaren verder langzaam in hoogte

afnemen. Vergelijking met AHN laat zien dat de vervormingen aan het maaiveld zoals we uit de zakbaakmetingen hebben afgeleid redelijk kloppen. AHN laat echter alleen maaiveldhoogteveranderingen zien en niet de vervormingen van de opgebrachte kleilaag, die in relatie tot de gedeeltelijke gerijpte status van de klei bij aanleg van groot belang zijn.

Ontwikkeling rijping en sterkte

De klei is opgebracht in een voornamelijk fysisch gerijpte staat, dat wil zeggen dat het slib is verdicht onder invloed van de afvoer van water. De bovenste 70 cm tot 100 cm van de opgebrachte klei is verder gerijpt door de invloed van flora, fauna en klimatologische omstandigheden, een combinatie van fysische en biochemische rijping. Deze biochemische rijping was bij aanleg nog pas in een beginstadium.

Lager in het profiel lijkt de beginnende biochemische rijping grotendeels teniet te zijn gedaan (de initieel aanwezige bruine vlekken zijn verdwenen en de kleur van de klei is veranderd in een grijs/zwarte kleur). De verwachting was dat de rijpingsgraad van de bij aanleg deels gerijpte klei op z'n minst gelijk zou blijven dan wel zou toenemen. De rijping boven in het profiel heeft niet geleid tot een dermate losse structuur dat de samenhang negatief wordt beïnvloed van de klei. De rijping heeft wel mede geleid tot de vorming van diepe krimp-scheuren in de klei, vooral hoger op het talud. Het is nog niet duidelijk of deze scheuren weer dichttrekken onder vochtige omstandigheden. Scheuren zijn potentiële aangrijpingspunten voor de eroderende werking van golven. De sterkte van de klei heeft zich in globaal de bovenste meter van de opgebrachte klei goed ontwikkeld. Door rijping van de klei is de sterkte in dit deel van het grondprofiel toegenomen. De grotendeels nog steeds matig gerijpte staat van de klei daaronder laat echter een minder positief beeld zien. De sterkte lijkt hier niet of nauwelijks te zijn toegenomen.

Ontwikkeling doorlatendheid

De mogelijke teruggang in rijping in de diepere lagen kan verband houden met de geringe doorlatendheid van de klei, waardoor het water onvoldoende afgevoerd kan worden en ook slechts zeer langzaam het dijklichaam kan binnendringen. Deze lage doorlatendheid blijkt bovendien te kunnen leiden tot tijdelijke schijnwaterspiegels, wat tot stabiliteitsproblemen kan leiden.

De geringe doorlatendheid heeft een remmende invloed op de verzoeting van de dieper gelegen klei, verzoeting die door percolerend regenwater door het profiel plaats moet vinden. Een eventuele invloed van diepe ontziltiging hebben we niet in de drie monitoringsjaren vast kunnen stellen. Zoals hiervoor is opgemerkt impliceert de beïnvloeding van de TDR-metingen door het aanwezige zout, dat verzoeting vanaf een diepte van 20 cm niet of nauwelijks plaats heeft gevonden.

5.2 Monitoring vegetatie dijk 2022 - 2025 na aanleg BGD

Wageningen Environmental Research (WENR) heeft samen met Deltares onder de vlag van Ecoshape de dijk in de periode 2022 – 2025 gemonitord. Deze paragraaf geeft de samenvatting van de vegetatiemonitoring na aanleg, ontleend aan het Eindrapport Brede Groene Dijk, Monitoring na aanleg: vegetatie en doorworteling van december 2025.

Tussen 2023 en 2025 zijn de vegetatie en de doorworteling gemonitord in de kruidenstroken op vier verschillende hoogtes op het talud. Daarbij zijn elk jaar vegetatieopnames gemaakt in het groeiseizoen en is in de Valgenwegklei vastgesteld of en hoe ver kruiden zich verspreiden buiten het kruidenvak. Daarnaast is de doorworteling gemeten in het winterseizoen. Ook zijn elk jaar grondmonsters genomen om de geleidbaarheid te meten. In 2025 is ook een chloridemeting uitgevoerd en is de doorworteling in profielkuilen gemeten.



Figuur xx, Bovenaanzicht onderzoek locaties (oranje vierkantjes zijn permanente kwadraten – pq's –, inclusief twee controles net buiten de BGD). Het pq in de kwelder is komen te vervallen in de definitieve onderzoeksopzet. De locaties van de profielkuilen (blauwe lijnen) zijn indicatief.

De onderzoeksvragen hierbij zijn

- *Hoe ontwikkelen de vegetatie (gras/kruidenverhouding, soortensamenstelling, zoutindicatie) en doorworteling zich op de ingezaaide kruidenstroken binnen de eerste drie jaar na aanleg?*
- *Is er onderscheid tussen vegetatie en doorworteling in de drie pq's boven de onderhoudsweg en in het pq tussen de onderhoudsweg en de kwelder?*
- *Wat is het effect van de drie soorten toegepaste klei op vegetatie en doorworteling?*
- *Hoe verspreiden ingezaaide kruiden in de Valgenwegklei zich naar de rest van dit deel van het proefvlak?*

Vegetatie

De resultaten geven aan dat de vegetatie op alle kleitypen van de BGD, na een beginfase met nog veel zilte kweldersoorten, zich tot een zoete vegetatie heeft ontwikkeld van soortenarm (sterk betreden) grasland. De vegetaties worden gedomineerd door rietzwenkgras waarbij een aantal ingezaaide kruiden zich goed heeft gevestigd. De vegetatie heeft overal een hoge bedekking, behalve tussen de onderhoudsweg en de kwelder, dat zich deels in een pioniersstadium bevindt. Dat kan behalve door de lage ligging op het talud veroorzaakt zijn doordat het ondertalud tussen de onderhoudsweg en de kwelder niet is ingezaaid omdat daar delen van de vegetatie niet gemaaid zijn en omdat daar bij hoog water vaak kan blijven liggen. Van de ingezaaide kruiden breidt alleen witte klaver zich spontaan uit buiten het kruidenvak van de Valgenwegklei. De hoge abundantie van rietzwenkgras kan hier medeoorzaak van zijn, maar het kan ook een kwestie van tijd zijn. Er hebben zich namelijk wel enkele niet-ingezaaide kruiden gevestigd in 2025. De toenemende dominantie van rietzwenkgras en afnemende aanwezigheid van zilte soorten laat zien dat de vegetatie nog niet uitontwikkeld is. De ontwikkeling van de BGD naar een zoete

vegetatie houdt in dat er zilte kweldervegetatie kan verdwijnen bij de huidige opzet van de BGD, aangezien deze deels over de oude kwelder heen is gelegd.

Doorworteling

De resultaten van de metingen van de dichtheid aan wortels tot 20 cm diep (VTV-methode) laten zien dat boven de onderhoudsweg op alle kleitypen de doorworteling na twee à drie jaar ook in diepere lagen op orde is, maar op het ondertalud tussen de onderhoudsweg en de kwelder is dat niet het geval. Dat kan een effect zijn van de bodemeigenschappen, maar kan ook komen doordat er niet is ingezaaid tussen de onderhoudsweg en de kwelder of omdat afwijkend van de oorspronkelijke onderzoeksopzet delen niet zijn gemaaid tussen de onderhoudsweg en de kwelder. Ook vaak kan effect hebben gehad. Verschillen tussen kleitypen zijn heel klein.

De resultaten van het meten van de doorworteling in de profielkuilen geven aan dat de dichtheid aan wortels tot 50 cm diep hoger is boven op het talud dan dicht bij de teen. Dat kan te maken hebben met de zuurstofarme donkere grondlaag die daar al vrij ondiep begint. Er is echter nauwelijks verschil tussen doorworteling tussen verschillende soorten klei. Ook is er nauwelijks verschil tussen doorworteling in het basismengsel grassen en in het kruidenmengsel. Dit komt wellicht door de dominantie van rietzwenkgras in de kruidenstroken, waardoor het verschil in vegetatie tussen delen met en zonder ingezaaide kruiden relatief klein is geworden.

Beheer

Er is tweemaal per jaar gemaaid en afgevoerd. Er blijft wel soms her en der maaisel liggen, wat kan leiden tot kale plekken en/of het ontstaan van distelhaarden. Het beheer op de controles is reguliere begrazing, waardoor deze vegetaties niet direct te vergelijken zijn met de vegetaties op de Brede Groene Dijk. Ze geven wel schommelingen in vegetatie en doorworteling aan door de seizoenen heen. We zien ook kleine leeuwentand, duizendblad en rietzwenkgras dicht onder de kruin aan het binnentalud, dat onder reguliere begrazing valt. Deze soorten kunnen zich dus ook handhaven bij begrazing. Hoe de vegetatie zich verder gaat ontwikkelen, hangt sterk samen met hoe het beheer wordt voortgezet. Om te voorkomen dat rietzwenkgras nog verder gaat domineren, kan een extra maaibeurt vroeg in het seizoen (april) ingezet worden en/of met drukkibegrazing. Dan moeten er wel periodes van 6-8 weken rust zijn voor de hergroei en bloei van de kruiden. Voor de biodiversiteit in het algemeen is het nog beter om gefaseerd te gaan maaien. Het effect hiervan moet gemonitord worden.

5.3 Predatie- en broedvogelmonitoring kwelder 2018 - 2025

Altenburg & Wymenga hebben in samenwerking met SOVON vanaf het begin van het project in 2017 tot aan het einde van het project bijgedragen aan de ecologische monitoring van de voorziene ingrepen met betrekking tot ganzen en broedvogels. De resultaten van deze monitoringsreeks zijn gepubliceerd in afzonderlijke jaarlijkse rapportages (zie: Bos et al. 2018a, 2018b, 2019, 2020, Loonstra et al. 2022, 2023, 2024, 2025, in prep).

In het monitoringsplan zijn elf onderzoeksvragen geformuleerd. In onderstaand overzicht staat de vraag en een beknopt antwoord.

1. Wordt er door koloniebroeders (Kluut) gebruik gemaakt van het broedeiland (en in welke mate)?

In alle jaren, behalve in 2025 hebben substantiële aantallen kluten gebroed op het broedeiland.

2. *Wat is het broedsucces en wat zijn de oorzaken van verlies (bijvoorbeeld predatie of overstroming)?*

In tegenstelling tot het gemiddeld zeer hoge nestsucces van kluten op het broedeiland, was alleen het broedsucces van 2021 voldoende voor een stabiele populatie Kluten. In alle jaren speelde predatie van kuikens (vooral buiten het broedeiland) een grote rol, ook hebben een aantal hoge tijen tijdens het broedseizoen van 2018 naar alle waarschijnlijkheid ook een grote invloed gehad op de overleving van kuikens.

3. *Welke bijdrage levert het broedeiland aan de instandhoudingsdoelstelling Natura 2000 voor de Kluut?*

Het broedeiland heeft in een groot aantal jaren een significante bijdrage geleverd aan de Natura 2000-instandhoudingsdoelstelling voor de Kluut in de Waddenzee.

4. *Hoelang duurt het voor de isolatie van het eiland door aanslibbing weer is opgeheven (en deze weer bereikbaar is voor grondpredatoren)?*

Betreding van het broedeiland door huiskat, steenmarter en wasbeerhond is tot op heden nog niet vastgesteld. Echter, de gezenderde vos "Silvan" heeft gedurende het broedseizoen van 2023 een oversteek gemaakt naar het broedeiland. Naast een regulier raster is er ook een extra elektrisch raster geplaatst.

5. *In hoeverre treedt gedurende de uitvoering verstoring op van broedvogels en zijn de te treffen voorzorgs- en mitigerende maatregelen effectief?*

Gedurende de aanleg is de verstoring van broedvogels en foeragerende kweldervogels zeer beperkt gebleven.

6. *Vindt er verstoring plaats van broedvogels tijdens de bouw en het gebruik van het depot en neemt de druk van ganzen binnendijs toe?*

De aanwezigheid van het depot heeft geen meetbaar negatieve invloed gehad op de aanwezigheid van ganzen en hun ruimtelijke verspreiding rondom het depot.

7. *Wat is het effect op het dichtgooien van de petsloot langs de buitenteen van de dijk op het broedresultaat (neemt hierdoor de kans op predatie toe)?*

Op basis van de uitgevoerde monitoringsactiviteiten lijkt het dempen van de petsloot langs de buitenteen van de dijk naar verwachting geen significant effect zal hebben op het broedresultaat op de kwelder.

8. *Wat is het effect van de aanleg en gebruik van het depot op het foerageergedrag van ganzen?*

De aanwezigheid van het depot heeft geen meetbare invloed gehad op de aanwezigheid van ganzen en hun ruimtelijke verspreiding (zowel binnendijs- als buitendijs) rondom het depot.

9. *Vindt er verstoring plaats van broedvogels tijdens de bouw en het gebruik van de dijk en neemt de druk van ganzen binnendijs toe?*

Ondanks aanwezigheid van groot materieel en aanwezig personeel heeft dit tot geen of nauwelijks verstoring geleid in het werkgebied en het broedeiland. Ook is er geen verandering gezien in het graasgedrag van ganzen.

10. *Heeft het al dan niet dempen van de petsloot effect op het broedvogelsucces op de kwelder (neemt hierdoor de kans op predatie toe)?*

De verwachting is dat het dempen van de petsloot langs de buitenteen van de dijk geen significant effect zal hebben op het broedsucces van vogels op de kwelder. De kans op predatie, die nu al hoog is, zal hierdoor waarschijnlijk niet meetbaar verder toenemen.

11. *Wat is de barrièrewerking van de petsloot voor grondpredatoren?*

De huidige petsloot, inclusief de bestaande dammen, vormen geen effectieve barrière voor grondpredatoren zoals de vos en steenmarter.

De uitgebreide antwoorden op deze vragen zijn te vinden in het achtergronddocument Eindevaluatie Kluteneiland – Brede Groene Dijk, Altenburg & Wymenga i.o.v. Sweco, 11 december 2025.

5.4 Monitoring kwelder

In 2018 werd de Klutenplas aangelegd. P. Esselink heeft samen met K. Elschot, R. ter Harmsel, M.E. Tolman en W. Veenstra de monitoring tot en met 2025 verzorgd. Deze paragraaf bevat de samenvatting uit het PUCCIMAR rapport 20, Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk: Onderzoek naar mogelijke effecten op de kwelder inclusief de aanleg van de Klutenplas en het tijdelijk gebruik van de kwelder voor en kleirijperij kwelders (P. Esselink).

Het rapport geeft voor de volgende onderwerpen een overzicht van de behaalde resultaten:

- onderzoek naar de mogelijke effecten van de inrichtingsmaatregelen op de ontwikkeling van het ontwateringsstelsel in de kwelder
- onderzoek naar het eventuele effect van de aanleg van de Klutenplas op de afslag van de kwelder
- monitoring van de opslibbing en sedimentatie in de Klutenplas en analoge referentiemetingen op de kwelder
- monitoring van het mogelijke vegetatieherstel in de Klutenplas
- monitoring van de vegetatieontwikkeling op het broedeiland met de resultaten van de van 2021 t/m 2024 uitgevoerde beheerproef.
- onderzoek naar mogelijke compactie van de kwelderbodem als gevolg van het tijdelijke gebruik van de kwelder voor een kleirijperij
- onderzoek aan het herstel van de kweldervegetatie na ontmanteling van de kleirijperij

De aanleg van de Klutenplas in 2018 vormde de eerste fase van het Demonstratieproject. Hiervoor werd in 2017 een nulmeting uitgevoerd. Bij de opzet van de monitoring is ervoor gekozen om zoveel mogelijk op basis van tijdreeksen een vergelijking te kunnen maken met zowel de uitgangssituatie als met een niet-beïnvloede controlesituatie. Meetpunten uit de niet-beïnvloede controlesituatie vormen daarbij een hulpmiddel om onderscheid te kunnen maken tussen veranderingen op de kwelder veroorzaakt door het demonstratieproject en veranderingen als gevolg van autonome ontwikkelingen.

Ontwateringsstelsel

De detailontwatering op de kwelder in het studiegebied werd grotendeels verzorgd door een regelmatig onderhouden netwerk aan greppels met een onderlinge afstand van ca. 10 meter. Dit greppelonderhoud is in de loop van het project niet veranderd. Het onderzoek naar de effecten van de inrichtingsmaatregelen heeft zich dan ook gericht op de hoofduitwateringen.

De aanleg van de Klutenplas leidde de eerste 2½ jaar tot erosie en een aanzienlijke verdieping van de watergang tussen de Klutenplas en de Dollard. Door de afgenomen debieten als gevolg van het dichtslibben van de Klutenplas liet de diepte van deze watergang vanaf 2021 weer een gedeeltelijk herstel zien. De aanleg van de kleirijperij had een tegenovergesteld effect. Mede door het dempen van de petsloot was er een afname van de komberging met als gevolg een verondieping van de betrokken hoofduitwatering. Na sanering van de kleirijperij en de aansluiting van de opnieuw gegraven greppels volgde een gedeeltelijk herstel. Het eventueel dempen van de petsloot bij opschaling van de brede groene dijk zal tot een versterkte verlanding van de meest landwaartse delen van de hoofduitwateringen leiden.

Kwelderafslag

Terwijl in de periode van acht jaar voorafgaande aan het demonstratieproject (2009–2017) in het studiegebied de omvang van de kwelder in het studiegebied door afslag met ruim 1 ha achteruitging, bleef tijdens het demonstratieproject de omvang van de kwelder nagenoeg gelijk. Er is geen effect gevonden van de aanleg van de Klutenplas op de positie van de kwelderrand.

Opslibbing en sedimentatie in de Klutenplas

De Klutenplas is in het voorjaar van 2018 aangelegd en uitgegraven tot een gemiddelde diepte van 0.27 m +NAP, of 1.61 m onder het maaiveldniveau van de kwelder. In ruim zeven jaar tijd (tot aug 2025) werd een meter slib in de plas afgezet. De hoogteverandering in de plas liep in die tijd terug van 32 cm/jaar in de eerste twee jaar naar minder dan 2 cm/jaar in de laatste twee jaar. De hoogteverandering van de plasbodem liet daarbij een positief verband zien met de overstromingsfrequentie en met hoeveelheid water in – of boven de plas (uitgedrukt in de som van de maximale waterhoogte per getij per periode (seizoen of jaar)). Ditzelfde geldt ook voor de sedimentatie. Bij de meetbrug nam de sedimentatie met 90% af van gemiddeld 150 kg/m²/jr in de eerste twee jaar naar minder dan 15 kg/m²/jr in de laatste twee jaar.

De droge bulkdichtheid (DBD) van het afgezette slib liet bij een eerste succesvolle dieptebemonstering in 2021 door autocompactie een duidelijke positieve relatie zien met de diepte, maar bleef ver onder de referentiewaarde van de kwelder. Vanaf 2022 leek indroging vanaf het oppervlak naar beneden een toenemende factor van belang in de consolidatie van het slib, maar tegelijkertijd leek de autocompactie onder in de afgezette sliblaag te stagneren. In 2025 was de Klutenplas qua volume weer voor 62% gevuld maar door de lage DBD bleef het herstel van de afgegraven hoeveelheid sediment met 35% daar ver bij achter. De verwachting is dat de DBD van het sediment in de Klutenplas nog decennialang onder het niveau van de DBD van de kwelder kan blijven.

De hoogteontwikkeling op de kwelder volgde een door de seizoenen veroorzaakt beïnvloed zigzagpatroon als gevolg van een hogere sedimentatie in de winter en een afname van de hoogte in de zomer door consolidatie en krimp in combinatie met een lagere sedimentaanvoer. Ook op de kwelder liet de hoogteontwikkeling een positieve relatie zien met het overstromingsregime. Gemiddeld over een periode van zeven jaar bedroeg de sedimentatie op de kwelder rond de Klutenplas ongeveer 4 kg/m²/jaar.

Vegetatieherstel Klutenplas

Het vegetatieherstel in de Klutenplas is afhankelijk van de hoogteontwikkeling. In het laatste jaar van de monitoring (2025) had de Klutenplas een gemiddelde hoogte bereikt van 1.26 m +NAP en was 95% van de plas nog onbegroeid. De aanwezige vegetatie bestond voor meer dan de helft uit een ijle begroeiing van Engels slijkgras.

Vegetatieontwikkeling op het broedeiland

Om het broedeiland geschikt te houden voor de Kluut werden op het eiland twee beheerregimes gehanteerd, namelijk a) vroeg in voorjaar maaien en afvoeren van de vegetatie gevolgd door het omwerken van de bovengrond en b) alleen maaien en afvoeren van de vegetatie. Om de effecten van de twee regimes te kunnen vergelijken zijn de twee regimes in een praktijkproef de laatste vier jaar naast elkaar toegepast. De proef leidde tot grote verschillen in de vegetatiesamenstelling tussen de twee regimes met een hoog aandeel meerjarige soorten bij enkel maaien en afvoeren

van de vegetatie. Bij toepassing van grondbewerking bleef het aandeel van de meerjarige soorten in de vegetatie beperkt tot minder dan 20% bedekking.

Gedurende de proef bleef de vegetatie onder beide regimes van jaar op jaar veranderen. Bij de aanleg van de Klutenplas is het eiland opgehoogd. Doordat het eiland hierdoor minder vaak overstroomt, heeft deze ophoging mogelijk geleid tot een geleidelijke ontziltiging van de bodem. Deze gedachte wordt ondersteunt door de ontwikkeling van de zoutindicatiewaardes afgeleid uit de vegetatieopnames. Voor een eventueel herstel van de oorspronkelijke kweldervegetatie na afloop van het project vormt het verlagen van het eiland een voorwaarde.

Compactie van de kwelderbodem na verwijdering van de kleirijperij

Op de locatie van de kleirijperij heeft de aanwezigheid van de tijdelijke slibdepots geleid tot een verdichting van de kwelderbodem tot ten minste een diepte van 80 cm. De inschatting is dat een natuurlijk herstel van de bodemstructuur enkele decennia kan duren.

Vegetatieherstel na verwijdering van de kleirijperij

In het kader van de nulmeting zijn in 2017 (het jaar voor de aanleg van de kleirijperij), verdeeld over twee groepen 36 permanente kwadraten (pq's) uitgezet en opgenomen: een groep van 18 pq's op de locatie van de kleirijperij en een groep van 18 controle pq's op de ernaast gelegen kwelder. Na de verwijdering van de kleirijperij in 2022, is de vegetatie in de pq's drie jaar lang gemonitord (2023–2025). In een multivariate analyse bleek a) dat na de verwijdering van de kleirijperij de vegetatiesamenstelling in de kleirijperij pq's in het eerste jaar een groot verschil lieten zien met de vegetatiesamenstelling tijdens de nulmeting en van de controle pq's en b) dat dit verschil in de twee vervolgjaren duidelijk stapsgewijs terugliep. In het laatste jaar was nog steeds sprake van verschillen tussen de vegetatie van de kleirijperij pq's met die van de nulmeting en de controle pq's en mogelijk was de monitoringsperiode te kort om een volledig herstel te kunnen registreren.

Uit een indicator species analysis bleek dat in het laatste jaar de soort specifieke verschillen tussen de twee groepen pq's vooral voortkwam uit de aanwezigheid van soorten die significant karakteristiek voor de kleirijperij pq's terwijl voor de controle pq's geen karakteristieke soorten naar voren kwamen. Met andere woorden: als in de toekomst van de extra soorten in de kleirijperij pq's soorten zouden verdwijnen zou de gelijkenis tussen de vegetatie van de kleirijperij – en controle pq's verder toenemen.

De opgebouwde dataset is te klein om een conclusie te kunnen trekken over de eventuele invloed van de bodemverdichting en van de verandering in maaiveldhoogte op het vegetatieherstel.

6 Opgedane inzichten Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD)

Het doel van het OGD is de toepasbaarheid – en voorspelbaarheid daarvan – van lokaal gewonnen kweldermateriaal en gerijpte baggerspecie te vergroten. In eerste instantie met het doel te onderzoeken of een waterveilige dijk kan worden aangelegd met het demonstratieproject BGD (Laag A). Voor een eventuele opschaling van dit type dijk naar de hele Dollarddijk (Laag B) is meer klei nodig, die uit meerdere batches van bijvoorbeeld de Kleirijperij zou moeten komen. In de onderzoeken is daarom ook gekeken naar wat nodig is om op te schalen. Een groot deel van de opgedane kennis over de toepasbaarheid van afwijkend materiaal is ook bruikbaar voor andere HWBP- projecten in Nederland (Laag C). Deze rapportage gaat alleen in op de lagen A en B.

In de volgende paragrafen wordt per onderzoekslaag ingegaan op de opgedane inzichten. Daarna komen achtereenvolgens het nieuwe erosiemodel en de restpunten van dit onderzoek aan bod.

6.1 Laag A: BGD

De opgedane inzichten voor de BGD zelf betreffen voornamelijk de bevindingen over de erosiebestendigheid en verwerkbaarheid van de verschillende onderzochte kleibronnen. Met de Proefdijk is aangetoond dat [alle gehanteerde kleien goed verwerkbaar](#) zijn, mits ze het juiste vochtgehalte hebben. De in het TR Klei voor Dijken voorgeschreven ondergrens van een Ic-waarde van 0,6 is hiermee bevestigd. Overigens was het (mede doordat de klei afwijkt) lastig om deze consistentie-index te bereiken en is de klei meermaals omgezet en op ruggen gezet om het materiaal te drogen.

De structuurproef met bakken klei laat zien dat een [sterke toekomstige structurering kan ontstaan](#) bij de gerijpte kleien. Waarschijnlijk vergroot de beperkte laagdikte van de klei en de drainage aan de onderzijde van de bakken de ontstaande structuurvorming. De deels ongelijke begincondities van de kleien maakt het onderling vergelijken lastig.

Bij de Proefdijk is bij alle kleisoorten een stuk minder structuurvorming opgetreden gedurende de twee jaar dat deze aanwezig was op de kwelder. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door het waterbufferend vermogen van een dikkere kleilaag, de aanwezigheid van vegetatie en andere klimaatomstandigheden, waardoor het uitdrogingsproces anders is.

In de Deltagoot is de Valgenwegklei en de Klutenplasklei getest. De klei uit het kwelderdepot (van slib uit polder Breebaart) is niet in de Deltagoot beproefd. In de Deltagoot is vers aangelegde klei verdicht en beproefd, waarbij structuurvorming zich nog niet heeft kunnen ontwikkelen. De erosie van Valgenwegklei voltrok zich sneller dan de Klutenplasklei. Met klei van de Dollarddijk en de dijk bij Blija is kwelderklei getest die al decennia op de dijk heeft gelegen, ongeroerd en inclusief vegetatie. Mede met de resultaten van de in de [Deltagoot](#) opgetreden erosie van de Valgenwegklei en Dollarddijk klei (die in het ontwerp van de BGD is blijven liggen) is het [ontwerp van de BGD bepaald](#).

De Valgenwegklei en Klutenplasklei zijn ook op kleine schaal beproefd met [de roto-erosiemeter](#). Hoewel dit een andere type proef is (gebaseerd op stroomsnelheid) werd ook hiermee bevonden dat de Klutenplasklei een grotere erosiebestendigheid heeft dan de Valgenwegklei. Mogelijk zit hier een verband met de bevindingen uit de Deltagootproeven, waar de klei is beproefd met golfklappen.

Gezien het verschil in erosieproces tijdens golfklappen in vergelijking met een roto-erosieproef (het afbreken van brokken versus het eroderen onder stroming) kan het zijn dat met de roto-erosiemeterproeven een ander erosieproces wordt beschouwd dat wel een gelijk beeld geeft als de Deltagoot. In de roto-erosieproeven wordt structuurvorming niet meegenomen.

In hoeverre het verschil in erosiebestendigheid samenhangt met geotechnische verschillen tussen de kleisoorten is nog niet geheel duidelijk. Met onderzoek naar de mineralogische samenstelling van de verschillende kleien is een verklaring geprobeerd te zoeken voor de verschillen in structuurvorming in de structuurproef met bakken klei. De kleimonsters verschillen met name in de verhouding [kwarts- en kleimineralen](#), de overige mineralen zijn redelijk vergelijkbaar. Naast het verschil in samenstelling, wordt een groot deel van het verschil in gedrag veroorzaakt door het type kleimineralen die in de kleifractie aanwezig zijn, waarvan het reactieve gedrag samenhangt met het type zouten in de klei. Er zijn actieve kleimineralen en minder actieve kleimineralen. Er is een zwak verband geconstateerd tussen het gehalte actieve kleimineralen en de plasticiteitsgrenzen. Er zijn echter geen duidelijke verbanden gevonden tussen de resultaten van de verschillende laboratoriumbepalingen en de mate van structuurvorming. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat de begincondities van de verschillende kleisoorten in de structuurproef met bakken klei niet goed vergelijkbaar waren. Wel is op basis van de mineralogische eigenschappen het verschil in brokkeligheid tussen de twee Blija kleien geduid.

Het is lastig gebleken de erosieparameter af te leiden uit andere kleiparameters en er zijn geen duidelijke verbanden gevonden met de voorspelbaarheid van de klei. Om dit verder te onderzoeken is het nieuwe [Onderzoek Erodeerbaarheid Klei \(OEK\)](#) bij Noorderzijlvest uitgevoerd.

6.2 Laag B: gehele traject

Veel van de opgedane kennis voor de BGD is ook bruikbaar voor de versterking van de Dollarddijk. Hier is echter veel meer klei voor nodig dan voor de BGD nodig was en die in één keer vanuit de Kleirijperijdepots kon worden aangeleverd. Eén van de doelen van het OGD was om tot relatief eenvoudige proeven te komen waarmee het erosiegedrag van gerijpte klei beter kan worden voorspeld, zonder dat hier elke keer een Deltagootproef voor nodig is. In de praktijk is dit nog niet zo eenvoudig gebleken en laat het gedrag van klei zich lastig voorspellen. Het is lastig gebleken de erosieparameter af te leiden uit andere kleiparameters, waar dichtheid, rijping en kleiconditie tijdens belasten vaak niet in zijn opgenomen. Ook waar dit wel nader onderzocht is, zijn geen duidelijke verbanden gevonden met de voorspelbaarheid van de klei. Om dit verder te onderzoeken is het nieuwe [Onderzoek Erodeerbaarheid Klei \(OEK\)](#) bij Noorderzijlvest uitgevoerd. In het OEK is voortgegaan op de resultaten van het OGD. Hierin zijn 12 – 15 eenvoudige beproevingsmethoden gebruikt en toegepast op de in dit rapport genoemde kleien.

Desondanks geven de in het kader van het OGD uitgevoerde onderzoeken al een aantal aanknopingspunten:

- De kleien afkomstig van de Kleirijperij vertoonden ten tijde van de proeven een [hoog organisch stofgehalte](#). Bij zwel en krimp van de klei zorgen de scheuren ervoor dat zuurstof dieper in de klei kan doordringen. Het organisch materiaal komt in contact met zuurstof, waardoor de klei zal rijpen. Het materiaalverlies als gevolg van deze rijping zorgt voor meer open poriën en een lagere erosiebestendigheid.
- De [uitvoering van de dijkversterking](#) en de toestand van de klei ten tijde van golfaanval is minstens zo [belangrijk](#) als de kwaliteit van de klei. In de Deltagootproeven bleek bestaand

dijkmateriaal met een betere samenhang een hogere erosiebestendigheid te hebben. De samenhang van de kleiblokken tijdens transport was hier al een indicatie voor. Daarnaast zijn in de Deltagoot erosiepatronen waargenomen, zowel ruimtelijk als in de tijd, die niet direct te verklaren zijn. Dit heeft waarschijnlijk te maken met onregelmatigheden, veroorzaakt door de aanleghistorie en de actuele toestand van de klei.

- Met de aanleg van de Proefdijk en de BGD is bevestigd dat met de eisen aan consistentie-index (onder- en bovengrens) uit het TR Klei voor dijken ook de afwijkende klei **goed verwerkbaar** is. Bij het **juiste vochtgehalte** zal de klei **beter** kunnen worden **verdicht** en treedt minder scheurvorming op.
- De erosiebestendigheid uit de Deltagootproeven lijkt in **verband** te zijn met de erosiebestendigheid uit de kleinschalige roto-erosiemeterproef. In de roto-erosiemeterproef zit hier tevens een verband met de gemeten schuifspanning. De Valgenwegkleimonsters laten een hogere schuifspanning bij een bepaalde mate van erosie zien dan de Klutenplaskleimonsters. Dit houdt in dat het water in de roto-erosiemeterproef bij de Valgenwegklei een grotere wrijvingskracht bij een gegeven stroomsnelheid uitoefent op de monsters, wat samenhangt met een onregelmatig oppervlak waardoor er sneller blokjes klei loslaten.

6.3 Restpunten OGD onderzoek

Na het OGD zijn nog niet alle vragen beantwoord. Dit betreft zowel vragen uit het oorspronkelijke onderzoeksplan als nieuwe vragen die gedurende het onderzoek zijn opgekomen.

- *Kan het ontwerp van de BGD geoptimaliseerd worden, zodat voor de opschaling minder klei nodig is en toch een waterveilige dijk wordt verkregen?* Enkele optimalisaties naar aanleiding van het OGD zijn al in beeld maar zijn vanwege de planning en vastgelegde ontwerpkeuzes van het demonstratieproject niet meer doorgevoerd, zoals: het volledig probabilistisch rekenen, het meenemen van de golfhoogtebeperking a.g.v. de diepte, het wel of niet laten liggen van de huidige kleilaag en het vergraven van zand in de kern om minder klei nodig te hebben. In de uitwerking van de Verkenning Dollarddijk wordt dit nader onderzocht.
- *Hoe ontwikkelt het zoutgehalte en organische stofgehalte van gerijpte klei op langere termijn (zoals de aangebrachte klei op de BGD) en wat betekent dit voor de kwaliteit van de kleilaag en de erosiebestendigheid?* Deze vraag is uitgewerkt in hoofdstuk 5.
- *Hoe ontwikkelt de structuurvorming zich op langere termijn, hoe is dit op voorhand te voorspellen en welke rol spelen bodemkundige processen daarin?* Dit betreft zowel de hoeveelheid en grootte van scheuren als de diepte tot waar structuurvorming plaatsvindt. De afgelopen 3 jaar is de BGD gemonitord. Uit de monitoring blijkt dat deze zich langzaam ontwikkelt. De voornaamste ontwikkeling blijft beperkt tot de bovenste 50 cm. Voor meer toelichting, zie hoofdstuk 5.
- *Wat is het precieze effect van structuurvorming op erosiebestendigheid? Welke structuurvorming is toelaatbaar en welke structuurvorming is negatief; hoe verhoudt het verschil in structuurvorming in de diepte van de kleilaag zich tot de erosiebestendigheid van de totale laag? Kan je dit beïnvloeden?*

Het uitgevoerde onderzoek heeft weinig concreets opgeleverd om hier meer duiding aan te kunnen geven. De uitgevoerde onderzoeken hebben aangetoond dat de opgetreden structuurvorming bij de gerijpte kleien niet anders is dan klei cat1.

Vanuit de Deltagootproeven blijkt dat net verdichte (gerijpte) klei langer stand heeft gehouden dan de gestructureerde klei. De klei met structuurvorming had een grasbekleding waar bij aanvang van de proeven een beschadiging was aangebracht.

Op basis van alle onderzoeken wordt gesteld dat door structuurvorming de klei zwakker wordt. De doorworteling van gras vergroot de structuurvorming, maar het wortelnet versterkt gelijktijdig de klei. Grofweg kan worden gesteld dat als de klei weer nat is (wat in het stormseizoen het geval is) de sterkte ondanks de structuurvorming, bij een goede grasmatt, niet significant afneemt of mogelijk sterker is.

- *Wat zijn de consequenties van het toepassen van klei met een hoog organisch stof- en zoutgehalte op het beheer? Kan er zich een goede kruidenrijke vegetatie ontwikkelen?* Het antwoord staat in paragraaf 5.2.
- *Hoe is de toekomstige erosiebestendigheid te voorspellen op nieuw materiaal, dat nog niet op een dijk ligt?* Dit betreft in een vroeg stadium het al kunnen voorspellen van baggermateriaal en in een later stadium de gerijpte klei die nog niet op een dijk is verwerkt.
- *Hoe hangt de erosiebestendigheid samen met geotechnische en mineralogische eigenschappen en welke eigenschappen zijn daarbij het meest bepalend?* In het Onderzoek Erodeerbaarheid Klei (OEK) is dit verder onderzocht.

7 Nawoord Braide Gruine Diek

Kennisdeling

Er is de afgelopen 10 jaar uitgebreid aandacht besteed aan kennisdeling van het concept Brede Groene Dijk. Al vanaf de start in het Deltaprogramma tot en met het heden is de kleirijperij en de BGD bezocht en bekeken door honderden, misschien wel duizenden belangstellenden. De BGD is breed gecommuniceerd in de pers. Er zijn vele excursies, lezingen, informatie- en kennisbijeenkomsten georganiseerd.

Geleerde lessen

Lokaal beschikbare grond, die (net) niet voldoet aan de strenge eisen die aan dijkenklei worden gesteld, wordt in Nederland nauwelijks toegepast. In de dagelijkse praktijk maken we een ontwerp, gebaseerd op klei die aan de norm voldoet. In lijn met de aanbevelingen van het HWBP-innovatieproject Dijkversterking met Gebiedseigen Grond draaien wij dit [ontwerpproces](#) om. Na vaststelling van de sterkteparameters van lokaal beschikbare klei ontwerpen we de dijk zodanig dat deze voldoet aan de veiligheidsnorm. Hiermee leggen we de basis voor nieuwe ontwerpmethoden voor dijken. Hoofdvariabelen in het ontwerp zijn de dikte van de kleilaag en de taludhelling van de dijk. Zo bevorderen we de toepassing van [gebiedseigen grond](#). Dit vermindert de overlast voor de omgeving door minder transport en levert milieuwinst op door vermindering van CO₂-uitstoot en is in lijn met het uitgangspunt Water en Bodem sturend.

Een [zorgvuldige realisatie](#) is erg belangrijk. De klei dient bij aanbrengen het [juiste vochtgehalte](#) (niet te droog en niet te nat) te bevatten en goed te worden [verdicht in dunne lagen](#) (0,25 m). Deze verdichting bepaalt in hoge mate de erosiebestendigheid van de klei. Een slecht verdichte kleilaag gaat namelijk veel scheuren vertonen. Een goede monitoring en begeleiding gedurende de realisatie is hiervoor een must. Tenslotte is een BGD uitermate klimaat-adaptief doordat deze eenvoudig met extra klei uit te breiden is, zodra verdere zeespiegelstijging dat vereist.

Tenslotte

Het waterschap H&A is trots op de resultaten van het onderzoek. De resultaten brengen het gebruik van gebiedseigen grond binnen dijkversterkingsprojecten weer een stapje dichtbij. Het waterschap dankt al haar partners die dit onderzoek mogelijk hebben gemaakt!

Naast het winnen van de prijs in 2022 voor het meest aansprekende project als het gaat om effectieve, innovatieve en kansrijke uitvoering van het nationaal Deltaprogramma heeft de BGD een eigen lied: Braide Gruine Diek. Deze is geschreven en gecomponeerd door de Troebadoers, en op het eindsymposium in december 2025 door hen vertolkt.

Braide Gruine Diek

*Op raand van Nederland schient zonne altied gold
Wolken stoeven veurbie op grins van zuit en zolt
n Boer in C.C.Polder ruudt widde siepels doar
n Kotter op de Eemse moakt netten veur t vissen kloar*

Refraain1:

*Wie binnen t laand van wotter en klaai
Wie binnen t volk van vedde sliek
Onze grond tou Nij Stoatenziele
Doar lopt braide gruline diek....*

*Störmvloud bie volle moan rekt diek braide rug
Al dunderet het nog zo haard zee trekt zok weer terugge
Bie t Ambonezenbos zitten jonge lu haand in haand op n baank
De wind deur heur blonde hoar de toukomst nog laank*

Refraain2:

*Wie binnen t laand van wotter en klaai
Wie binnen t volk van vedde sliek
Onze grond tou Nij Stoatenziele
Doar lopt de braide gruline diek
Onze grond tou Polder Breebaart
Mien laand woar ik ook kiek
Deur de kwelder van olle Tjoard
Doar lopt braide gruline diek....*



8 Referenties

- [1] Evaluatie vergunningen- en gebiedsproces demonstratieproject Brede Groene Dijk fase 1 en 2, Sweco, 22 september 2019.
- [2] Eindrapport kennisontwikkeling realisatie Brede Groene Dijk, Ecoshape, 45954-RAP-00128, 16 februari 2023.
- [3] Eindrapport Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk, Sweco en waterschap H&A, 4 april 2023.
- [4] Kennisdocument ontwerp Brede Groene Dijk, versie D1.0, Sweco, 12 september 2023.
- [5] MKBA Scenario 2 IBP VLOED, Arcadis, 23 augustus 2023
- [6] Eindrapportage Kleirijperij, kennis en ervaring over het omzetten van slib naar klei voor toepassing in bouwprojecten', document 5.1 v 2.0 definitief, Ecoshape in opdracht van Rijkswaterstaat Noord Nederland, 27 september 2023.
- [7] Technisch rapport Klei voor dijken. Technische adviescommissie Waterkeringen (TAW), mei 1996.
- [8] Memo heroverweging klei eisen zoals opgenomen in de samenwerkingsovereenkomst pilot kleirijperij. Waterschap Hunze en Aa's, oktober 2020.
- [9] Demonstratieproject Brede Groene Dijk – Plan van aanpak, Waterschap Hunze en Aa's, 10-05-2017.
- [10] Demonstratieproject Brede Groene Dijk – Evaluatie gebiedsproces, procedures en vergunningen (fase 3), Sweco, 08-03-24.
- [11] Pilot kleirijperij: van slib tot dijk – Eindrapportage Kleirijperij – WP 5.1 Eindrapportage Kleirijperij, Ecoshape, 27-09-2023.
- [12] Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 3) - Projectplan Waterwet fase 3, Waterschap Hunze en Aa's, 03-02-2021.
- [13] M.e.r.-beoordeling Brede Groene Dijk, Sweco, kenmerk: SWNLo264835, 12-06-2020,
- [14] Ecologische Beoordeling Vitale Kust – Dollard, Altenburg & Wymenga, 19-07-2017.
- [15] Addendum bij de Ecologische beoordeling Brede Groene Dijk-Dollard. Altenburg & Wymenga, A&W notitie 06-10-2020.
- [16] Besluit wet natuurbescherming, Provincie Groningen, 23-01-2018.
- [17] BPRW-toets Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2), Sweco, 21-12-2017.
- [18] Reactie op ontwerp projectplan Brede Groene Dijk fase 1 en 2, Rijkswaterstaat, 11-10-2017.
- [19] Beheerverordening Waddenzee en Noordzee, Gemeente Oldambt, 13-07-2015.
- [20] Notitie grondstromen Brede Groene Dijk, Sweco, 21-02-2020.
- [21] Melding besluit bodemkwaliteit, Sweco, 26-02-2018.
- [22] Ecologisch Werkprotocol realisatie slibvang klutenplan en broedeiland – werkprotocol Demonstratieproject Brede Groene Dijk, kenmerk SWNLo216769, 27-11-2017.
- [23] Demonstratieproject Brede Groene Dijk - Strategie benodigde vergunningen en procedures fase 3, Sweco, kenmerk SWNLo255158, 17-01-2020.
- [24] Monitoringsplan Demonstratieproject Brede groene dijk (2017-2024) - "Kleiwinning en dijkversterking in Natura 2000-gebied" Monitoringsplan natuur en kwelder, Sweco, 30-01-2018.
- [25] Evaluatie gebiedsproces, procedures en vergunningen, fase 3 BGD, Sweco, 18 maart 2024.