Pilot Kleirijperij: van slib tot dijk

WP 5.1 Eindrapportage Kleirijperij

Kennis en ervaring over het omzetten van slib naar klei voor toepassing in bouwprojecten

EEMS DOLLARD 20 50

EcoShape

Projectomschrijving:	Pilot Kleirijperij
Contractnummer:	32268
Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat Noord Nederland
Documentnummer:	5.1
Datum:	27-09-2023
Versie:	v2.0
Status:	Definitief

Revisie

Revisie no.	Revisie Datum	Naam en paraaf eindverantwoordelijke			
		Opsteller	Gecontroleerd	Geautoriseerd	Paraaf
V0.1	03-02-2023	Bente de Vries (RHDHV) Sophie de Reus (RHDHV)	Projectgroep Kleirijperij Fred Haarman Petra Dankers	Fred Haarman	FH
V1.0	19-05-2023	Bente de Vries (RHDHV) Sophie de Reus (RHDHV) Niels Nijborg (Arcadis)	Projectgroep Kleirijperij Petra Dankers Marcel van den Heuvel Wouter van der Star	Petra Dankers	PD
V2.0	27-09-2023	Bente de Vries (RHDHV) Sophie de Reus (RHDHV) Niels Nijborg (Arcadis)	Projectgroep Kleirijperij Wouter van der Star	Niels Nijborg	

Distributielijst

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

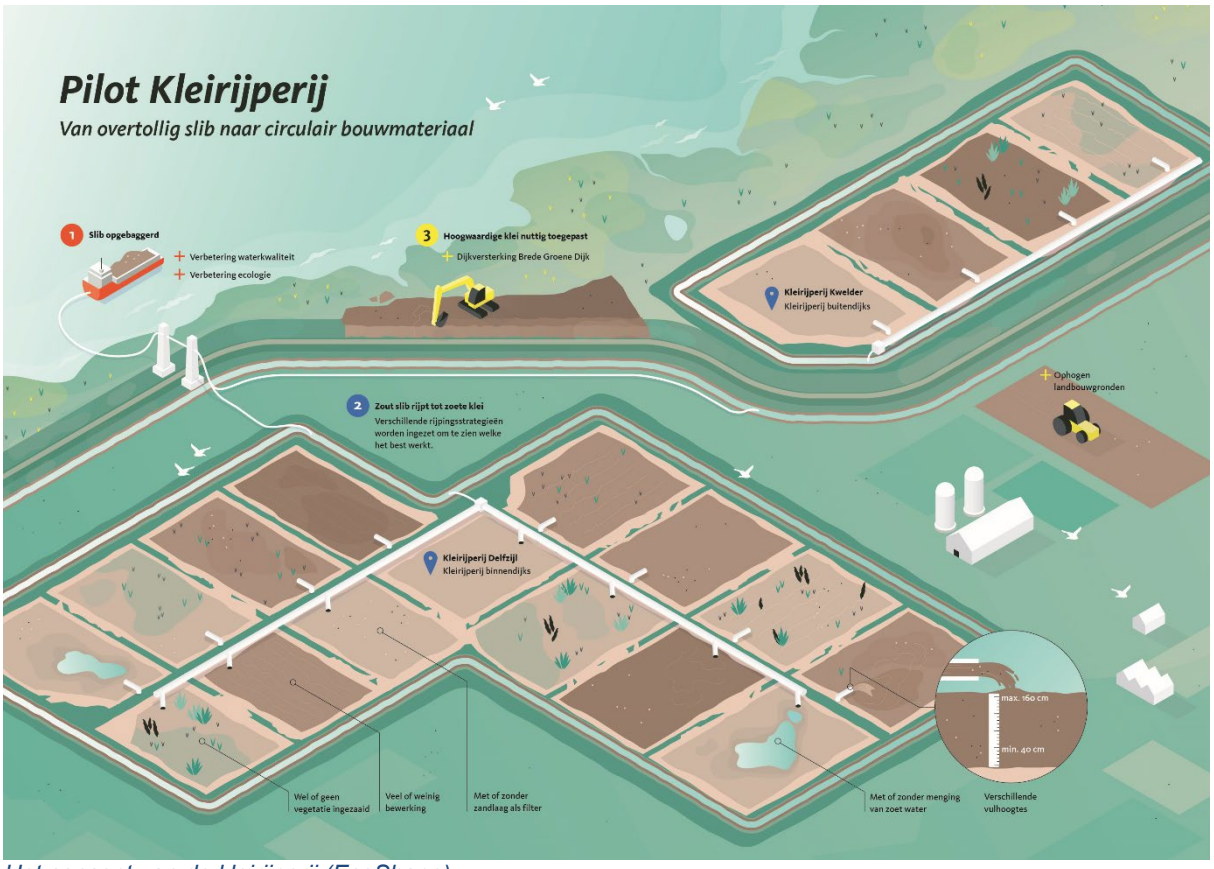
Contact
Noordeinde 109b
3341 LW Hendrik Ido Ambacht
info@ecoshape.nl
www.ecoshape.nl

Managementsamenvatting (NL)

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 dijkenklei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel).

Dit overkoepelende eindrapport geeft een samenvatting van de belangrijkste ervaringen, ontwikkelde kennis en een doorkijk richting bredere toepasbaarheid. In het rapport wordt verwezen naar de onderliggende rapportages.



Het concept van de kleirijperij (EcoShape).

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 (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 cultivator[1]), aanbrengen van drainage, bijmengen met zoetwater en wel/niet inzaaien. De

[1] 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.

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 snel te laten rijpen in plaats van één dikkere laag 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 (mate van plasticiteit van de klei) 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 dijkenklei in een depot (zoals bij deze proef) met relatief grote diepte. De aanwezigheid van harde vegetatiestructuren is in het algemeen niet gewenst voor dijkenklei (verhoogt kans op falen van een dijk). Het is nog wel een discussiepunt in hoeverre vegetatiestructuren na rijping echt een probleem vormen: mogelijk verdwijnen de harde structuren relatief snel na toepassing. 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 dijkenklei 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”, 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 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.

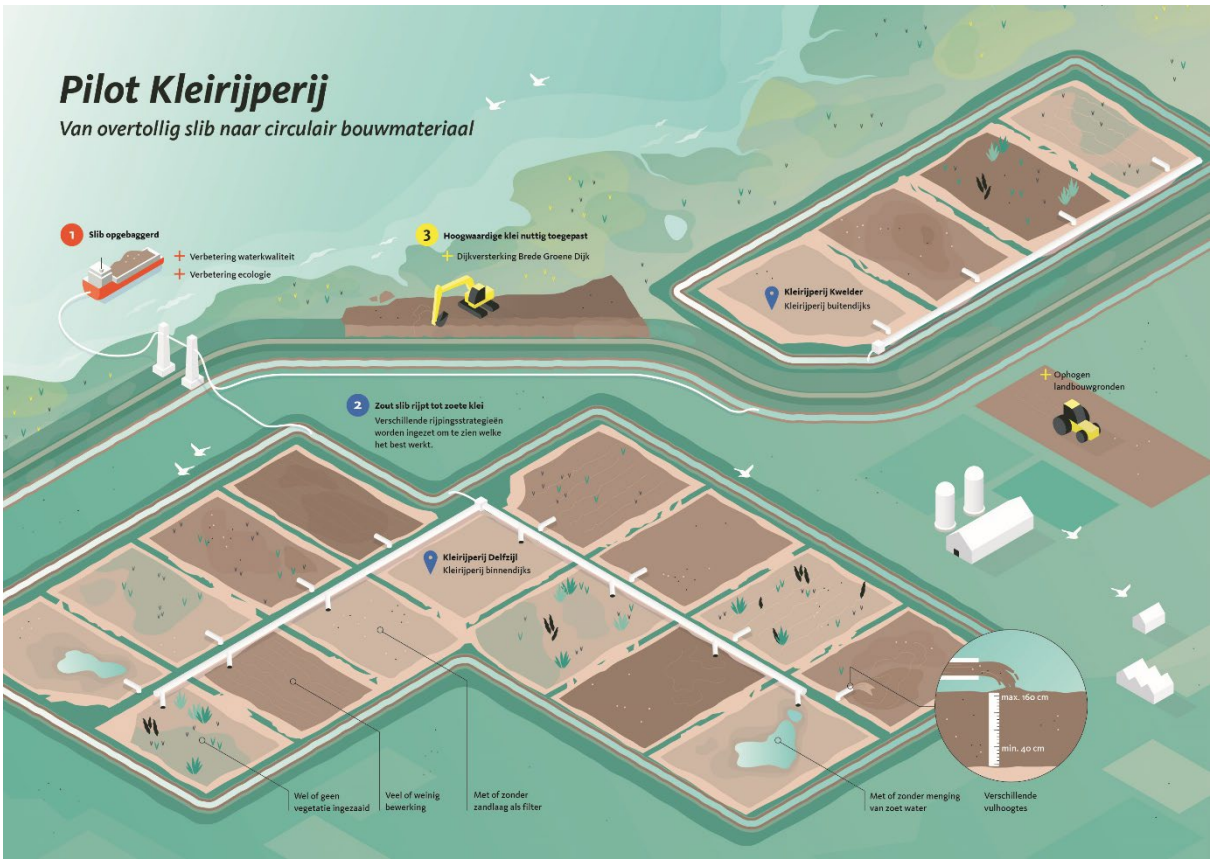
De gerijpte klei kan op veel verschillende manieren worden toegepast. Sommige toepassingen zijn op korte termijn al mogelijk. Andere toepassingen zijn complexer, maar kunnen mogelijk op de lange termijn plaatsvinden. Een aantal belangrijke uitdagingen voor het toepassen van gerijpte klei zijn het rijpen van grote volumes klei, transport van de klei, het ontzilten 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 project VLOED (opschaling van kleirijpen voor dijkversterking), 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. Een leidraad is 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 worden mogelijkheden voor opschaling verder onderzocht.

Management summary (EN)

Near Delfzijl, the Clay Ripening Pilot was carried out as part of the Ems-Dollard 2050 program (ED2050), in which governments, nature and environmental organizations and private companies work together to strengthen nature, the economy and quality of life. ED2050 has the ambition to extract at least one million tons of mud per year from the Ems estuary for a long period of time. The Clay Ripening Pilot was set up to demonstrate that clay maturation in sludge depots can take place cost-effectively and thus contribute to large-scale silt extraction from the Ems estuary. The Clay Ripening Pilot focuses specifically on:
1. The development of knowledge and (innovative) methods with which sludge can be converted into clay of a certain quality in a relatively short period of time (= research objective);
2. The actual delivery of the required quantity of dike clay for the Demonstration project “Brede Groene Dijk” (Wide Green Dike).

This overarching final report provides a summary of the most important lessons learned, developed knowledge and a look ahead towards broader applicability of the concept. In the report we refer to the underlying reports.



The concept of the clay ripening pilot (EcoShape).

The Clay Ripening Pilot consists of a clay ripening depot on land near the harbor of Delfzijl (silt from Zeehavenkanaal) and a clay ripening depot outside the dike on the salt marsh along the dike in the southern Dollard (silt from the Breebaart polder). The clay ripening facilities (together 24 ha) each consisted of a temporary sludge depot with different test sections, so that the effects of different treatments on the ripening process could be compared with each other. For example, the effects of variation in applied layer thickness, using processing methods (ploughing/turning over with

crane/cultivator[2]), applying drainage, mixing with freshwater, and sowing/not sowing were examined. The duration of the pilot was four and two years respectively for the Delfzijl and Kwelder depots.

Layer thickness seems to be the main driving factor for clay maturation. It seems more efficient to let several thin layers ripen quickly instead of letting one thicker layer ripen longer. Also, the application of physical processing methods (ploughing, turning over with crane/cultivator and setting the crust aside) had a positive effect on clay ripening. The material of the ring quays around the clay ripening facility also influenced the rate of ripening: the ripening process was faster with sandy ring quays than with clay ring quays. The elevation of the depot is important as well: rainwater was a problem on the salt marsh during the wet season. In these months, the maturing clay actually always had “wet feet”, as a result of which the silt/clay layer absorbed water. Mixing with freshwater had no significant effect on the decrease in salinity, but it did lead to the rapid achievement of a good consistency index value (degree of plasticity of the clay), which is also necessary for processing in a dike. The number of filling strokes had no significant effect on the ripening process.

Sowing vegetation had little effect on biomass: sowing vegetation is not necessarily if a seed source is present in the area. The presence of vegetation had effects on the top 30 cm of the soil, but these were not decisive for the maturation of salt silt to dike clay in a depot (as in this experiment) with a relatively great depth. To create added value as a breeding area with a clay ripening depot, it is important that the locations are well covered with vegetation and there is little disturbance during the breeding season.

The production goal of the Clay Ripening Pilot was to supply the required quantity of dike clay for the test section of the “Brede Groene Dijk” demonstration project. The requirements for clay used in dike reinforcements are not incorporated in the law in the Netherlands, but often clay is used that meets the conditions set in the Technical Guideline “Clay for Dikes”, to which is referred to in for example RAW-specifications. Of these requirements, salinity and organic matter content could not be achieved within the set time at the Clay Ripening Pilot. Nevertheless, the clay has been used successfully at the “Brede Groene Dijk”. This was possible through additional research and by adapting the design of the dike to the properties of the clay (‘soil-driven’ instead of ‘guideline-driven’ design).

A business case was created for the clay ripening pilot, in which, among other things, the main costs of a depot, additional benefits and possibilities for upscaling were analysed. The largest costs were transport costs, land costs and furnishing costs. In addition, good coordination between supply and demand is important. If supply and demand are not properly coordinated, (temporary) storage in depots or a temporary limitation of production must be considered. From an economic point of view, a clay ripening depot with a long lifespan, located close to the application locations, and aimed at a relatively large share of high-quality use of the clay (which can be sold in the region at a high price) is the most favourable. Many factors influence the costs and benefits of clay ripening, some of which are difficult to predict, such as weather conditions.

The matured clay can be used in many different ways. Some applications are already possible in the short term. Other applications are more complex but can potentially take place in the long run. A number of important challenges for the application of matured clay are the ripening of large volumes of clay, transport of the clay, desalination of the clay and which substances remain in the soil. Various studies look into these challenges such as the VLOED project (upscaling clay ripening for dike reinforcement), application in agriculture and ceramic industry.

Spatial aspects, legal, technical, and financial feasibility and support play a role in the feasibility of scaling up the concept of the clay ripening plant. A guideline is presented for the design for a new clay ripening facility, which discusses space, time, layer thickness for optimal ripening, environmental factors, ripening methods and costs. Possibilities for upscaling are being further investigated in the VLOED project.

[2] A cultivator is an agricultural vehicle with which the soil can be converted effectively, provided that the soil already has sufficient structure and density. In the clay ripening facility, the cultivator was used for the last conversion before the soil was moved to the “final storage”.

Inhoudsopgave

Colofon i
Revisie i
Managementsamenvatting (NL) ii
Management summary (EN) iv
Inhoudsopgave vi
1. Opzet van dit rapport 1
2. De Pilot Kleirijperij 3
3. Opgedane kennis en ervaring 7
3.1. Opzet van de Pilot Kleirijperij 7
3.1.1. Totstandkoming en belang van het stakeholdersproces 7
3.1.2. Opzet van het ontwerp 8
3.1.3. Wet- en regelgeving 15
3.2. Aanleg en oplevering 17
3.2.1. Baggerwerkzaamheden 17
3.2.2. Aanleg van en werkzaamheden op de rijpingsvelden 18
3.2.3. Transport en toepassing bij de dijkversterking 20
3.3. Resultaten monitoring 22
3.3.1. Toegepaste monitoringstechnieken 22
3.3.2. Invloed van omgevingscondities en toegepaste bewerkingsmethoden op de kleirijping 23
3.3.3. Effect op natuurwaarden 24
3.3.4. Toepasbaarheid als dijkenklei 24
3.3.5. Broeikasgasemissies bij de kleirijperij 26
3.4. De businesscase 27
3.4.1. Invalshoeken businesscase 27
3.4.2. Belangrijkste kostenvariabelen 27
3.4.3. Businesscase kleirijperij Delfzijl en Kwelder 28
3.4.4. Maatschappelijke baten 30
3.4.5. Opschaling en optimalisatie van de businesscase 31
3.4.6. Onzekerheden bij toekomstige toepassing en opschaling 31
4. Bredere toepassing en opschaling 33
4.1. Leidraad voor het opzetten van een Kleirijperij 33
4.1.1. Ruimte 34
4.1.2. Tijd 34
4.1.3. Omgevingsfactoren 35
4.1.4. Rijpingsmethodieken 36
4.1.5. Kosten 40

4.2. Mogelijke toepassingen en uitdagingen 40
5. Bronvermelding 43
Appendices 45
Appendix A – Toelichting op de kennisvragen 45

1. Opzet van dit rapport

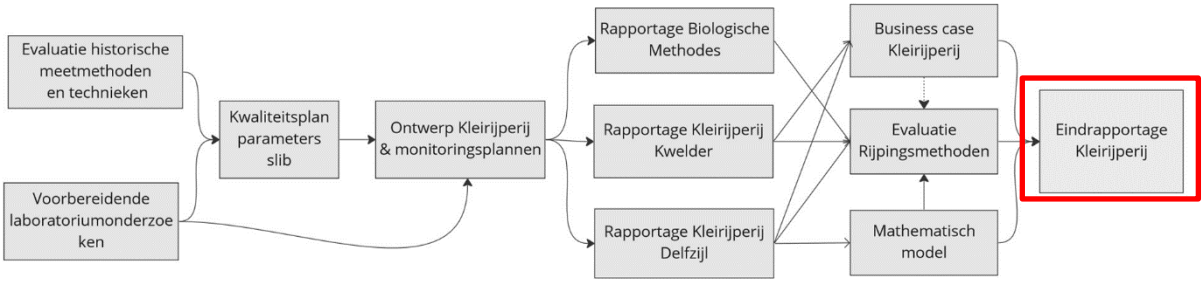
Nabij Delfzijl is de Pilot Kleirijperij uitgevoerd als onderdeel van het programma Eems-Dollard 2050 (ED2050). Hierin werken overheden, natuur- en milieuorganisaties en bedrijven samen aan versterking van de natuur, economie en leefbaarheid. ED2050 heeft de ambitie om langdurig minimaal één miljoen ton droge stof aan slib 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) en (2) het daadwerkelijk leveren van de benodigde hoeveelheid dijkenklei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel).

De Pilot Kleirijperij is een samenwerkingsproject van de Provincie Groningen, Rijkswaterstaat, het Waterschap Hunze en Aa's, Groningen Seaports NV, Stichting Het Groninger Landschap en Stichting EcoShape. Het project is gefinancierd door het Waddenfonds en het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) (via waterschap Hunze en Aa's) naast in-kind bijdragen van alle betrokken partners. Begin 2015 schreef EcoShape een uitwerking van het projectidee Kleirijperij. In 2017-2019 is een kleirijperij op 2 locaties aangelegd. De kleirijperij in Delfzijl is gevuld in 2018 en die op de kwelder grotendeels in 2020. In 2022 was de klei voldoende gerijpt en bruikbaar voor toepassing.

Eén van de doelstellingen van de Pilot Kleirijperij is het delen van kennis over kleirijpen, de voordelen van dergelijke toepassingen en het uitdragen van de mogelijkheden en aandachtspunten van bredere toepasbaarheid. Dit overkoepelende eindrapport geeft een samenvatting van de belangrijkste ervaringen, ontwikkelde kennis en een doorkijk richting bredere toepasbaarheid. Aan dit eindrapport liggen verschillende rapportages ten grondslag. De samenhang tussen alle rapportages is zichtbaar in Figuur 1-1). Dit rapport focust puur op de pilot kleirijperij, meer informatie over het demonstratieproject Brede Groene Dijk is te vinden in EcoShape (2023).

In dit rapport wordt eerst een beknopt overzicht gegeven van het project (Hoofdstuk 2), gevolgd door een overzicht van de opgedane kennis en ervaring in zowel het ontwerpproces, de uitvoering als de monitoring (Hoofdstuk 3). Tot slot gaan we in op bredere toepassing en opschaling met een leidraad voor het opzetten van een kleirijperij en een overzicht van mogelijke toepassingen (Hoofdstuk 4). Verdere detailinformatie is te vinden in de onderliggende rapporten die staan aangegeven in Figuur 1-1.

Wat is kleirijping?
Kleirijping is het proces waarbij uit een slappe, structuurloze modder (waarbij de modder bestaat uit minerale en organische deeltjes en water) een begaanbare grond ontstaat. Het rijpingsproces kent fysische, chemische en biologische aspecten. Fysische rijping is het indrogingsproces van sedimenten die onder natte omstandigheden zijn afgezet, en dat zichtbaar wordt in de vorming van een macrostructuur door scheurvorming en inklinking. Wanneer door scheurvorming zuurstof kan toetreden, kunnen ook chemische en biologische processen gaan spelen, bijvoorbeeld verzuring van de bodem, het onttrekken van vocht door plantenwortels of het afbreken van organische stof door micro-organismen (zoals bacteriën en schimmels).



Figuur 1-1 Samenhang tussen de rapportages die onderdeel uitmaken van de Pilot Kleirijperij. Rood omcirkeld is de huidige rapportage weergegeven.

2. De Pilot Kleirijperij

Doel van het project
De Pilot Kleirijperij is 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 slib per jaar aan het Eems-Dollardestuarium te onttrekken. Voor dat slib wordt binnen het programma ED2050 naar oplossingen (bestemmingen) gezocht die ook in economisch/maatschappelijk opzicht rendabel zijn[3]. De Pilot Kleirijperij richt zich op onderzoek naar het omzetten van slib naar klei (kleirijping) die bruikbaar is als dijkenklei of anders voor mogelijke toepassing in de landbouw. Dit onderzoek vindt plaats d.m.v. een pilot. De pilot is nauw verbonden met het project 'Natuurverbetering Polder Breebaart' (één van de locaties waar het slib vandaan komt) en het 'Demonstratieproject Brede Groene Dijk' (de locatie waar de gerijpte klei kan worden toegepast).

De Pilot Kleirijperij (Figuur 2-1) is opgezet met de wens om te onderzoek 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 heeft daarbij de volgende doelen:

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 dijkenklei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel).

Onderzoeksvragen
In de samenwerkingsovereenkomst voor de Kleirijperij zijn een groot aantal kennisvragen gedefinieerd die aan de hand van de Pilot Kleirijperij worden beantwoord. Voor het EcoShape onderzoek zijn deze vragen geherformuleerd (zie ook Appendix A – Toelichting op de kennisvragen voor extra toelichting).

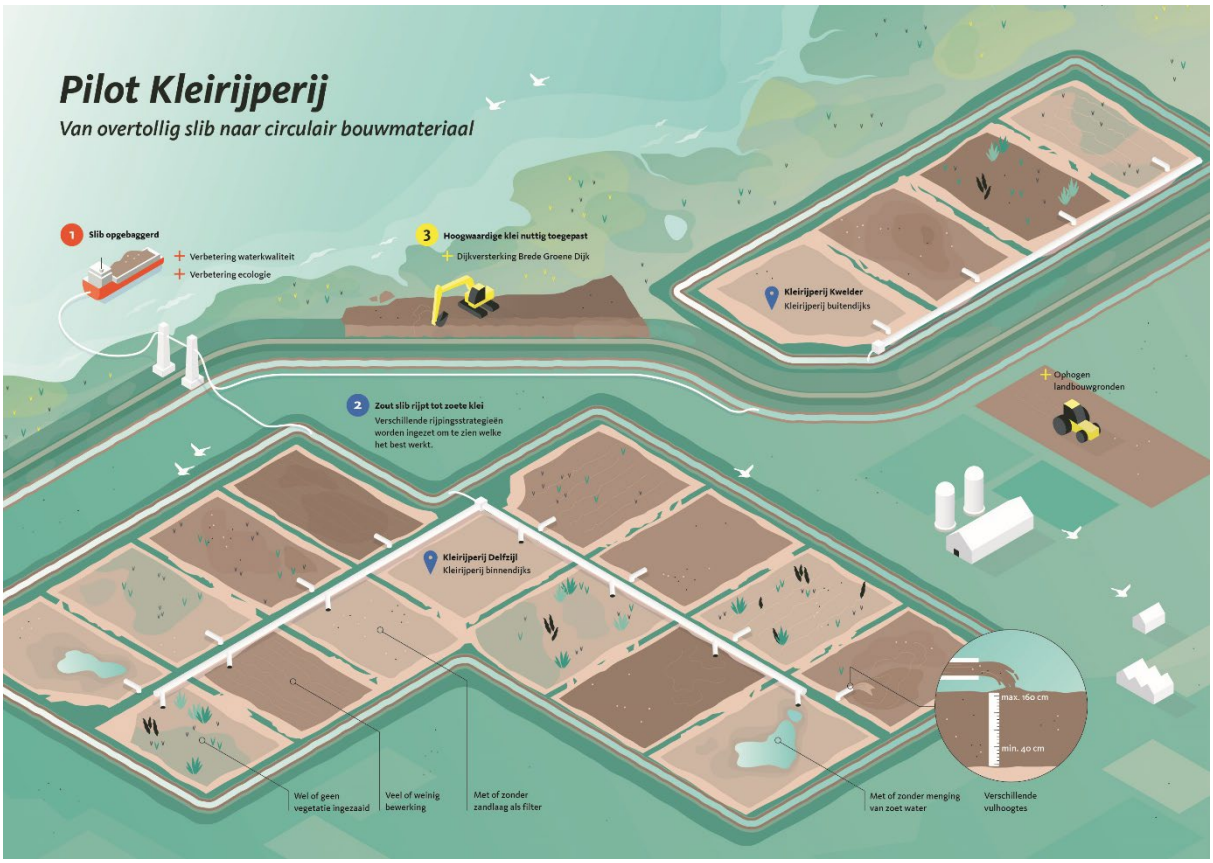
De hoofdvraag van het onderzoek is in EcoShape (2017) als volgt geformuleerd:
Wat zijn de karakteristieken en effecten van kansrijke kleirijpingsmethodes met slib uit de Eems-Dollard?

Met karakteristieken wordt daarbij gedoeld op uit te voeren handelingen, gebruikte materialen, benodigde rijpingstijd, kosten, waarde voor ecologie en impact op het milieu. Bij effecten gaat het om eigenschappen van de geproduceerde klei.

Specifieke deelvragen voor de geselecteerde kleirijpingsmethodes die getest zijn waren:

a. Hoe verloopt de rijping (wat zijn de fysische eigenschappen en watergehalte)?
b. Wat is de ontwikkeling van het zoutgehalte?
c. Wat is de ontwikkeling van de natuurwaarde?
d. Wat zijn de voorwaarden voor een sluitende business case?

[3] Binnen het deelprogramma Onttrekken en nuttig toepassen slib (Haarman 2020).



Figuur 2-1 Het concept van de kleirijperij (EcoShape).

Het projectgebied
Het projectgebied ligt nabij Delfzijl en omvat een kleirijperij op het land nabij het Zeehavenkanaal van Delfzijl (bij het voormalig dorp Oterdum, genaamd Kleirijperij Delfzijl) en een kleirijperij buitendijks op de kwelder langs de dijk in de zuidelijke Dollard bij Carel Coenraadpolder (genaamd Kleirijperij Kwelder). Beide liggen nabij de locatie van het toekomstige proeftracé van de Brede Groene Dijk (Figuur 2-2). 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. Het slib heeft respectievelijk vier (Kleirijperij Delfzijl) en twee jaar (Kleirijperij Kwelder) in depot gelegen voor de kleirijperijen Delfzijl en Kwelder.

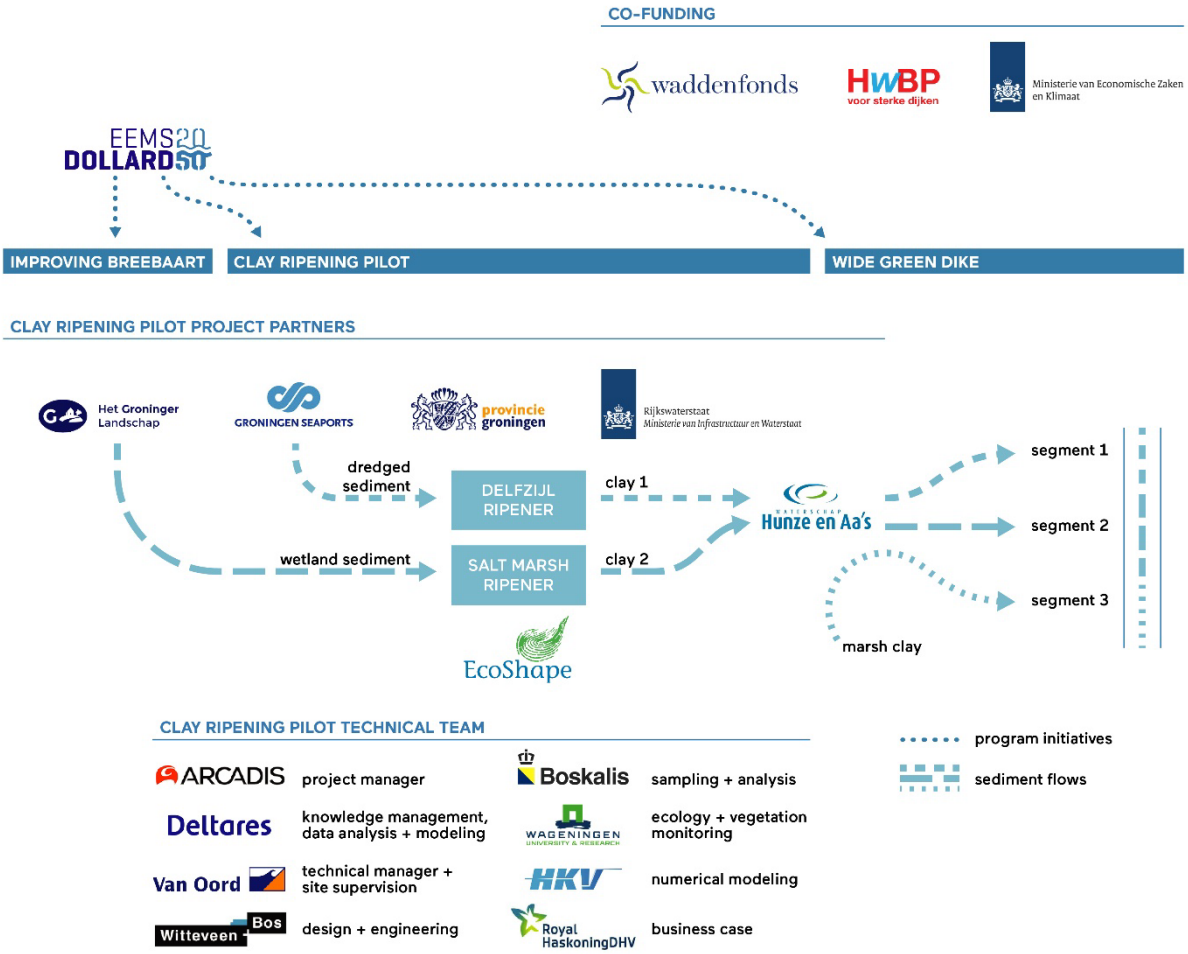
Het slib voor de kleirijperij in Delfzijl kwam uit de slibvang van het Zeehavenkanaal. Het slib voor de kleirijperij op de kwelder kwam uit Polder Breebaart (Figuur 2-3). De gerijpte klei is vervolgens toegepast in het Demonstratieproject Brede Groene Dijk (Figuur 2-2).

Om de kades van de kleirijperij op de kwelder te maken is er gebiedseigen materiaal gebruikt. Hiertoe is een deel van de kwelder ontgraven en omgevormd tot een plas, geschikt als leefgebied voor de vogelsoort Kluut (de Klutenplas). De Klutenplas diende ook als compensatie van de effecten van het project op natuur.

Figuur 2-2 Ligging van de Pilot Kleirijperij. Links: Delfzijl (rode ster) en kwelder bij de Dollard-dijk (oranje ster). Rechts: de Brede Groene Dijk langs de Eems-Dollard met beide proeflocaties (pixabay.com en EcoShape, overgenomen uit Van der Star et al., 2023 en Van der Ouderaa et al, 2023). De gerijpte klei is toegepast bij de dijk nabij Kleirijperij Kwelder.

Figuur 2-3 De herkomstlocaties van het gebruikte slib (Zeehavenkanaal en Polder Breebaart; rood-wit gestreepte delen) en de ligging van de kleirijperijen bij Delfzijl en de Dollarddijk (groen). (EcoShape, overgenomen uit Van der Ouderaa et al, 2023).

Betrokken partners
De Pilot Kleirijperij is een samenwerkingsproject van vele publieke en private partijen. Groningen Seaports en Het Groninger Landschap leverden sediment aan EcoShape. EcoShape leidde een team van acht technische partners (Arcadis, Deltares, Van Oord, Witteveen+Bos, Boskalis, Wageningen Marine Research, HKV, Royal HaskoningDHV) die de kleirijperij ontwierpen en zorgden voor onderzoek naar en kennisdeling over het kleirijpen. Een deel van de klei is vervolgens geleverd aan Waterschap Hunze en Aa's voor gebruik in het demonstratieproject Brede Groene Dijk. De resterende klei is overgenomen door Groningen Seaports. Provincie Groningen (projectleider) en Rijkswaterstaat (opdrachtgever / contactmanager) hebben het project gemanaged als onderdeel van het ED2050-programma. Het project is gefinancierd door het Waddenfonds en het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) (via waterschap Hunze en Aa's) naast in-kind bijdragen van alle betrokken partners.



Figuur 2-4 Overzicht van partners betrokken bij de Kleirijperij pilot en hun rol (Van Eekelen en Bouw, 2021).

3. Opgedane kennis en ervaring

Gedurende de totstandkoming van het project, het opstellen van het ontwerp en doorlopen van procedures, de aanleg en de monitoring is veel ervaring en kennis opgedaan die kan worden ingezet in toekomstige projecten. De belangrijkste kennis is in dit hoofdstuk samengevat.

3.1. Opzet van de Pilot Kleirijperij

3.1.1. Totstandkoming en belang van het stakeholdersproces

Totstandkoming van de Pilot Kleirijperij
De Pilot Kleirijperij is tot stand gekomen door het samenkomen van meerdere belangen. Uit de pilotstudie 'Groene Dollard Dijk' (2012/2013) werd geconcludeerd dat een zogenaamde 'Brede Groene Dijk' goedkoper in aanleg en onderhoud kan zijn dan een traditionele dijk met harde bekleding (Van Loon-Steensma et al., 2013). Een Brede Groene Dijk vergt echter meer klei doordat deze een flauwer talud heeft dan een traditionele dijk. Het is kostentechnisch daarom belangrijk dat de klei dichtbij gewonnen kan worden. Voor de 'Project Overstijgende Verkenning (POV) Waddenzeedijken' (onderdeel van hoogwaterwaterbeschermingsprogramma) werd eind 2013 daarom een voorstel geschreven om kleiputten te graven in de voorliggende kwelder en hieruit dijkenklei te winnen. Waterschap Hunze en Aa's had naar aanleiding van het plan de intentie om een Brede Groene Dijk-proefdijk aan te leggen.

In het Eems-Dollard gebied speelde tegelijkertijd een discussie over het water dat in de laatste decennia steeds troebeler is geworden door een teveel aan slib als gevolg van menselijke ingrepen. Het troebele water heeft o.a. een negatief effect op de primaire productie en daarmee op de rest van de voedselketen en het ecosysteem. In een brainstormsessie met partners van EcoShape, die het voorstel hadden ingediend voor de POV Waddenzeedijken, is een link gelegd tussen de beoogde proefdijk en de wens om de kwaliteit van het ecosysteem van de Eems-Dollard te verbeteren. Begin 2015 schreef EcoShape een uitwerking van het projectidee Kleirijperij. Provincie Groningen, Waterschap Hunze en Aa's, Groningen Seaports (GSP), Rijkswaterstaat (RWS), stichting Het Groninger Landschap (HGL) en Stichting EcoShape sloegen vervolgens de handen ineen om gezamenlijk een 'Pilot Kleirijperij' te ontwikkelen waarin kleirijping voor verschillende toepassingen op voldoende grote schaal kan worden getest. Later is de eerder ontwikkelde Pilot Kleirijperij opgenomen binnen het innovatieprogramma 'Nuttig Toepassen Slib' van het Eems-Dollard 2050 programma[4].

Het belang van de samenwerkingsovereenkomst
Een goede samenwerking tussen alle partijen was zeer belangrijk bij de Pilot Kleirijperij vanwege de afhankelijkheden tussen de verschillende projecten (zie Hoofdstuk 0).

Om een goede samenwerking te bewerkstelligen is aan het begin van het project een intentieovereenkomst en later een samenwerkingsovereenkomst (SOK) opgesteld tussen de verschillende partijen met een focus op de gezamenlijke ambities van het project. Op momenten dat de samenwerking onder druk kwam te staan, bijvoorbeeld doordat het ene project niet op het juiste moment de juiste input leek te kunnen gaan leveren voor het volgende project, heeft de SOK geholpen om te kunnen focussen op de gezamenlijke ambities om zo gezamenlijk te kunnen werken aan oplossingen in plaats van te belanden in te veel contractuele discussies. Al met al is de samenwerking goed verlopen en dankzij een flexibele opstelling en focus op gezamenlijke ambities konden uitdagingen in het project gezamenlijk worden overwonnen.

Een verbeterpunt is om in de toekomst in een SOK nog betere afspraken te maken over met name project overstijgende risicobeheersing en daarvoor van tevoren voldoende budget vrij te maken. Hierbij is het wel belangrijk dat, zoals hierboven beschreven, gezamenlijke doelstellingen voorop blijven staan.

---

[4] Inmiddels is de 2e tranche van het ED2050 programma van start gegaan. De kleirijperij valt daarbij binnen de strategielijn "Onttrekken en nuttig toepassen slib".

Verschillende belangen productie en onderzoek
De Pilot Kleirijperij is een project waarbij de betrokken partijen veel verschillende belangen hebben. Voor de Brede Groene Dijk moest er binnen de planning voldoende klei van de juiste kwaliteit worden geproduceerd. Voor de wetenschap staat juist kennisontwikkeling bovenaan. Hiervoor is het van belang dat er voldoende tijd is en dat alle procedures in de rijpingsvakken zo exact mogelijk gevolgd werden om goede vergelijkingen mogelijk te maken. In de SOK was daarmee rekening gehouden door te accepteren dat een gedeelte van de klei niet zou voldoen, én door opties mee te nemen voor verlenging. De productiedruk ging deels ten koste van de wetenschappelijke belangen, maar het werken op deze schaalgrootte leidde aan de andere kant tot een mogelijkheid om de praktijktoepassing ook daadwerkelijk te toetsen.

Een leerpunt is dat het bij dergelijke pilots erg belangrijk is om vooraf goed af te stemmen en vast te leggen welk doel leidend is. Als kennisontwikkeling leidend is moet er voldoende tijd en ruimte zijn om de kennisontwikkeling te laten plaatsvinden. Als een ander doel leidend is, bijvoorbeeld het leveren van klei, dan moet duidelijk zijn dat er mogelijk minder ruimte kan zijn voor kennisontwikkeling.

Opgedane kennis en ervaring:
- Bij een pilotproject is het moeilijk om alles van tevoren te plannen. Het vooraf opstellen van een gezamenlijke samenwerkingsovereenkomst (SOK) hielp om met onverwachte zaken om te kunnen gaan. Risicobeheersing dient goed uitgewerkt te zijn in een SOK.
- Door de samenwerking met een grote groep partijen was een enorme voorraad aan kennis beschikbaar. Het is belangrijk om deze kennis vanaf het begin van een project te benutten om snel zoveel mogelijk inzicht te krijgen in de verschillende aspecten die van belang zijn voor het verdere proces.
- Het is belangrijk om bij een pilot waar wetenschappelijk onderzoek wordt gecombineerd met een harde productie-eis vooraf duidelijk af te stemmen welk doel leidend is.

3.1.2. Opzet van het ontwerp

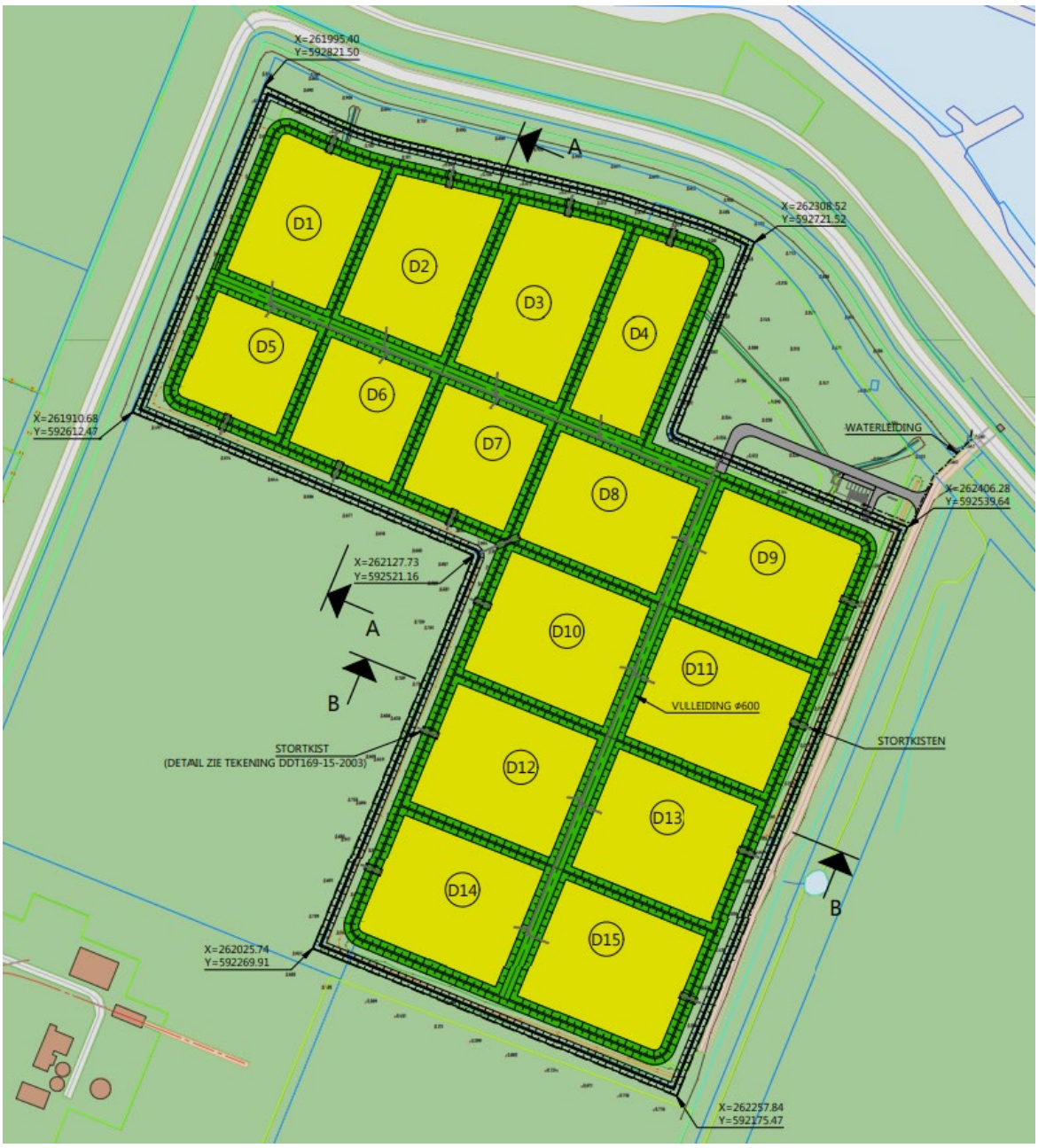
De Pilot Kleirijperij is opgezet met twee doelen: (1) het ontwikkelen van kennis en (innovatieve) methoden waarmee slib in betrekkelijk korte tijd in klei van een bepaalde kwaliteit kan worden omgezet (= onderzoeksdoel) en (2) het toeleveren van voldoende klei van de juiste kwaliteit voor het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel). Bij het opstellen van het ontwerp voor de kleirijperij diende met beide doelen rekening gehouden te worden.

Locatiekeuze
Voor het project zijn twee kleirijperijen/depots aangelegd, één op het land bij het havenkanaal van Delfzijl (vanaf nu Kleirijperij Delfzijl genoemd) en één buitendijks op de kwelder (vanaf nu Kleirijperij kwelder genoemd) (Van der Star et al., 2018a,b) (Figuur 2-3). De bron van het slib verschilt voor de twee locaties. Bij Kleirijperij Delfzijl was het slib baggerspecie uit de slibvang van de haven van Delfzijl en bij Kleirijperij Kwelder uit slibafzettingen uit polder Breebaart. De twee kleirijperijen verschilden ook in afstand ten opzichte van de slibbron en de toepassingslocatie. De Kleirijperij Delfzijl lag dicht bij de slibbron, maar verder van de toepassingslocatie af, terwijl de Kleirijperij Kwelder tegen de toepassingslocatie aanlag, maar iets verder van de slibbron af. Alhoewel uit praktische overwegingen tot stand gekomen was de variatie in locaties en toepassingsgebied nuttig in relatie tot de kennisontwikkeling voor de businesscase (zie H3.4).

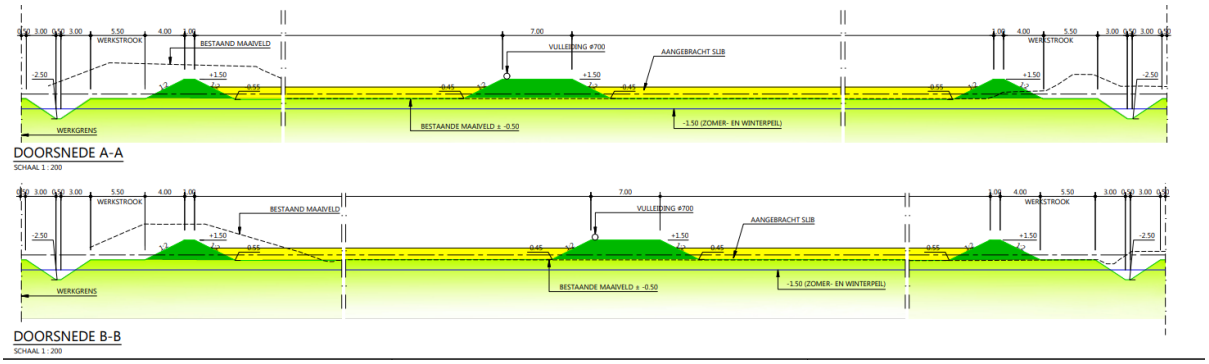
Het ontwerp van de depots
Kleirijperij Delfzijl
Het depot Kleirijperij Delfzijl heeft een oppervlak van 16 hectare (Van der Star et al., 2018a). Van buiten naar binnen bestaat het terrein uit een ringsloot voor de afwatering, een ringperskade[5], de lager gelegen vlakke proefvakken en een brede middendijk (zie Figuur 3-1; Figuur 3-2). De vulleidingen, waarmee de proefvakken zijn gevuld, liggen aan de binnenkant van de proefvakken op de middendijk. De stortkisten voor afwatering van de proefvakken liggen aan de buitenkant van de proefvakken en

[5] Hoger gelegen wal/kade die rondom de proefvakken en de kleirijperij als geheel lag. Bij de kleirijperij waren er in totaal twee verschillende perskades: (1) tussenkades, gelegen tussen de proefvakken in en (2) buitenkades (deze laatste hadden een grotere dimensionering om bezwijken en gerelateerde negatieve effecten te voorkomen).

komen uit in de ringsloot. Het overtollige water van de proefvakken is in de eerste maanden van daaruit terug naar de zee gepompt via een retourleiding tot de zoutwaarden laag genoeg waren voor aansluiting op het omliggende poldersysteem. De klei die vrijkwam bij het graven van de ringsloot is gebruikt om de buitenste ringperskade te bouwen. De proefvakken variëren in oppervlak tussen de 5 300 m^2 (D5) en 9 000 m^2 (D3), waarbij de meeste vakken een oppervlak hadden van 8000-9000 m^2. De vakken lagen na aanleg op ongeveer 0,5 meter -NAP. De proefvakken konden worden bereikt met zwaarder materieel vanaf de middendijk via de ingang van het depot aan westkant.



Figuur 3-1 Bovenaanzicht depot Kleirijperij Delfzijl met daarin aangegeven de proefvakken (geel), middendijk en ringsperkades (groen), ringsloot (zwart, buitenste lijn) en vulleiding (grijs) Met A-A en B-B staat de locatie van de profielen uit Figuur 3-2 aangegeven (Meshkati Shahmirzadi et al. (2023a)).



Figuur 3-2 Dwarsdoorsnedes depot Kleirijperij Delfzijl (Zie Figuur 3-1 voor locatie dwarsdoorsnedes A-A en B-B). Van der Star et al. (2023).

Kleirijperij Kwelder

Het ontwerp van het depot van Kleirijperij Kwelder (Van der Star et al., 2018b) is vergelijkbaar met dat van het depot van Kleirijperij Delfzijl met de proefvakken, perskades, vulleiding/persleiding en stortkisten (Figuur 3-3). In plaats van een ringsloot is een afvoerleiding aangelegd om het water af te voeren. Het slib voor de proefvakken is aangevoerd met een persleiding vanaf Polder Breebaart over een afstand van ongeveer 8 kilometer. De perskades zijn gemaakt van klei afkomstig van de Klutenplas. De proefvakken hebben een oppervlakte van 7 125 m^2. De veldhoogte van de proefvakken na aanleg én voordat de vulslagen hebben plaats gevonden varieerde van 2,02 m +NAP tot 2,28 m + NAP.

Voor de kleirijperij Kwelder was het belangrijk dat de perskades, aangelegd om de kleirijperij droog te houden, niet zouden bezwijken of overstromen. Voor de verhogingen is gebiedseigen grond gebruikt. De hoeveelheid beschikbare grond was daardoor beperkt. Het was lastig om de buitenste dijken dusdanig aan te leggen dat er de garantie was dat deze niet zouden bezwijken. Uiteindelijk is voor een risico gestuurde, praktische aanpak, gekozen, waarbij enige overslag/afkalving werd geaccepteerd (een overstromingskans van 1/10 is aangehouden). Daarnaast is er in overleg met het waterschap – als dijkbeheerder – een hoogwaterprotocol opgesteld. Bij de aanleg van het rijpingsveld op de kwelder moest ook worden afgestemd met de beheerder van de waterkering waaraan de kleirijperij grensde, moesten maatregelen worden getroffen voor op de kwelder aanwezig vee (drinkputten) én afspraken gemaakt worden met de eigenaren van de kwelder o.a. om te kunnen voldoen aan de vergunningsvoorwaarden.

De Kleirijperij Kwelder was relatief laag gelegen. Het slib lag daardoor lager dan het omliggende land. Dit belemmerde de ontwatering.

Figuur 3-3 Bovenaanzicht depot Kleirijperij Kwelder met daarin aangegeven de proefvakken (geel), ringsperkades (groen), verzamelleiding (zwart, buitenste lijn) en vulleiding/persleiding (paars gestippeld). (Meshakti Shahmirzadi et al.. 2023b).

Indeling van de proefvakken en onderzoeksaspecten
Een belangrijk aspect van de kleirijperij is het onderzoek naar (innovatieve) methoden waarmee slib in betrekkelijk korte tijd in klei van een bepaalde kwaliteit kan worden omgezet. Hierbij is vooral gekeken naar de effecten van verschillende fysische en biologische methoden op de snelheid van kleirijpen. Eerst is onderzocht welke kennis en meetmethodes al beschikbaar waren (zie Van den Heuvel, 2017; Sjenitzer et al., 2020; Meshkati Shahmirzadi et al., 2018). Om verschillende methoden te testen zijn de kleirijperijen uiteindelijk opgedeeld in meerdere proefvakken waarin de verschillende methoden zijn getest. Tabel 3-1 geeft een samenvatting van de variaties van de proefvakken met daarin de verschillende fysische en biologische methoden en overige (ongeplande) variatie. Figuur 3-5 en Figuur 3-6 tonen een bovenaanzicht van alle proefvakken met de methoden die per vak zijn onderzocht.

Fysische aspecten
Wat betreft de fysische aspecten is er gevarieerd in aan te brengen laagdikte, wel/niet toepassen bewerkingsmethoden, drainage en bijmengen met zoetwater:

- Het grootse verschil qua fysische methode was de keuze voor een bepaalde laagdikte. Een grotere laagdikte kan de rijpingstijd vertragen, maar leidt ook tot een groot volume gerijpte klei. Een essentiële vraag was bij welke laagdikte de productie van klei optimaal is.
- De bewerkingsmethode heeft ook invloed op het rijpingsproces. Door bewerkingen uit te voeren en drainage te bevorderen kan rijping worden versneld. Dit kost echter ook meer geld. Binnen de kleirijperij is een aantal bewerkingsmethodes gebruikt, afhankelijk van de consistentie van het materiaal op dat moment. Daarbij is eerst gebruik gemaakt van een “ploeg” die voren trok door de korst van het natte slib. Na ongeveer 1 jaar kon door het materiaal worden heen gereden en het materiaal op ruggen worden gezet. Dat was een methode die als effect had dat nieuw slib “aan het oppervlak” kwam te liggen. Tot slot is voor vakken waarin de klei voldoende vast was om overheen te rijden een cultivator[6] toegepast om de klei “los” te maken en nog 1 keer om te zetten. De belangrijkste variatie die is aangebracht in de verschillende vakken is tussen “niet bewerken” (in de biologische vakken) en wél bewerken.
- Voor de drainage is gevarieerd met het wel/niet opbrengen van een 20-30 cm dikke zandlaag met drainageleidingen die ontwatering in het eerste jaar versnellen.
- Ontzilting bevordert het rijpingsproces ook. Daarom is qua fysische methode ook gevarieerd met het bijmengen met zoetwater nadat het depot was gevuld om de ontzilting te bevorderen en het opzetten van zoet water (neerslag) in de winter.

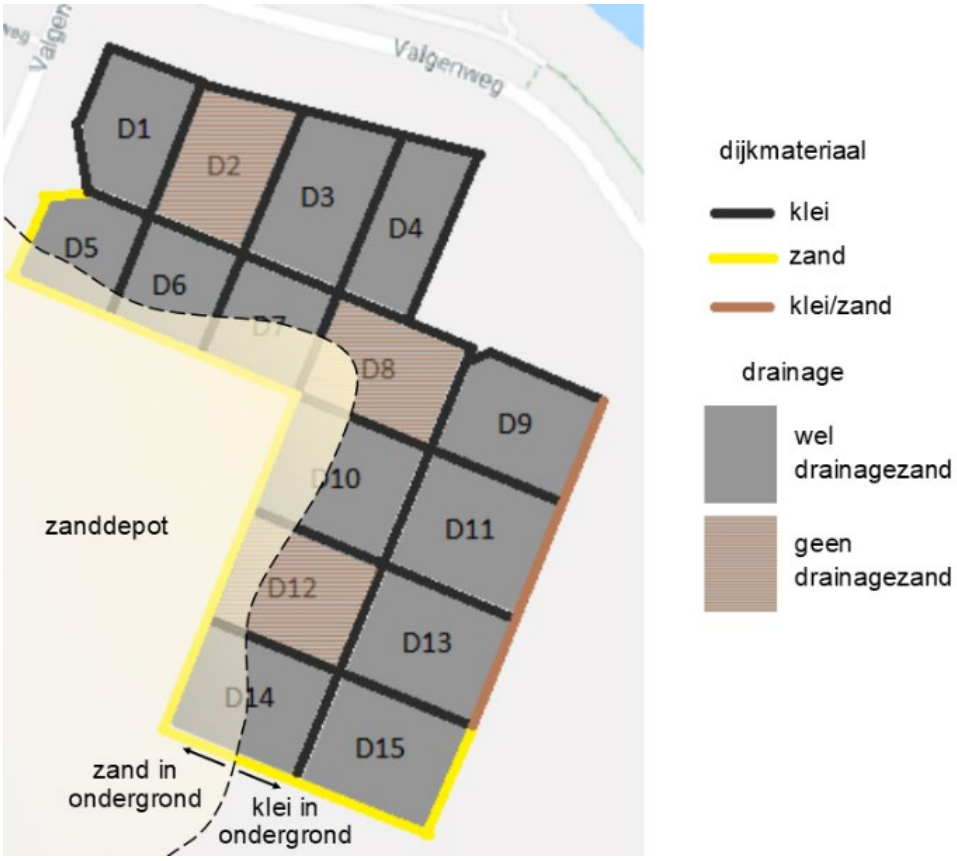
Biologische aspecten
Vegetatiegroei heeft invloed op de structuur van de grond en daarmee op de infiltratie van regenwater (onzilting) en zuurstofindringing (benodigd voor oxidatie). Om het effect hiervan te kunnen onderzoeken is er gevarieerd met inzaaien en met het kaalbranden van de vegetatie (Van der Ouderaa et al., 2023).

Overige aspecten
Naast bewuste variaties ten behoeve van het onderzoek waren er nog andere verschillen tussen de proefvakken bij de Kleirijperij Delfzijl en Kwelder. Ten eerste verschilt de herkomst van het slib (respectievelijk haven Delfzijl en Polder Breebaart). Bij Kleirijperij Delfzijl was er ook een natuurlijke variatie in de drainerende werking van de ondergrond en in het materiaal van de aanlegde kades (Figuur 3-4). Hiermee moest bij de latere analyses rekening gehouden worden.

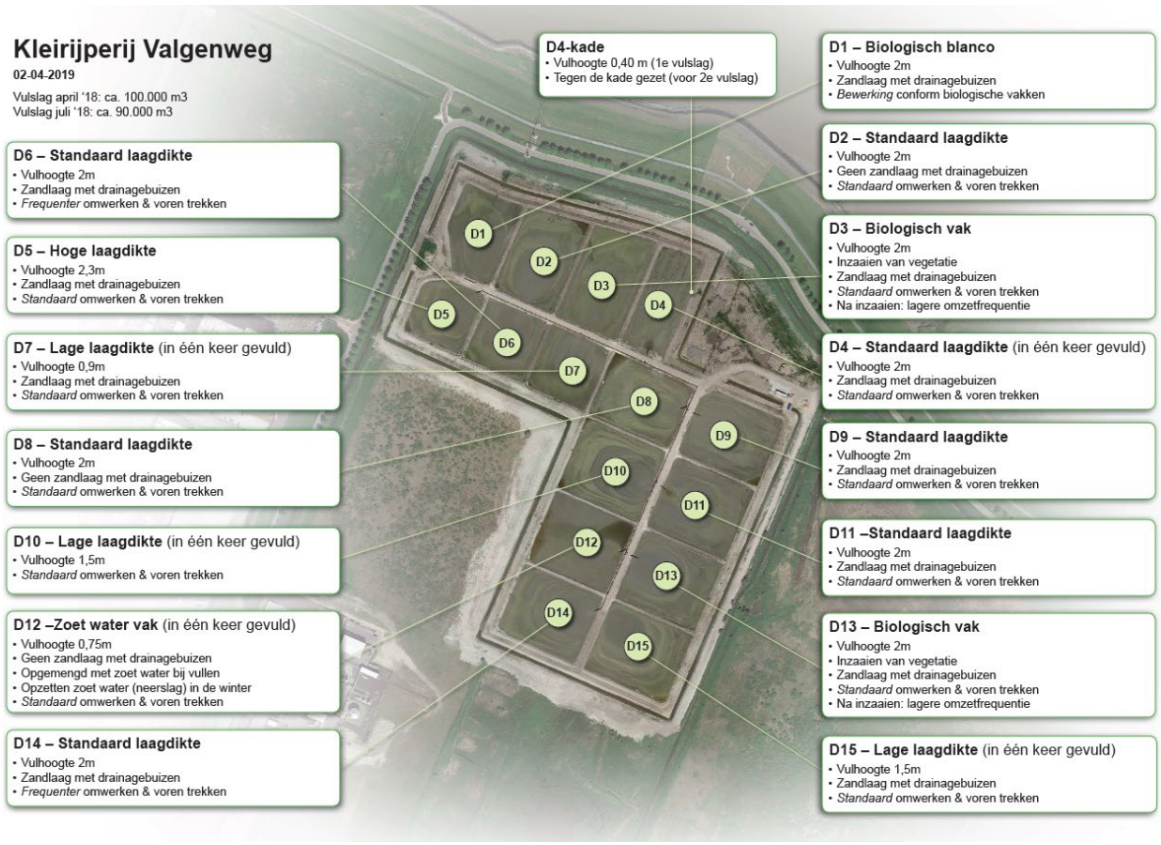
[6] Een cultivator is landbouwvoertuig waarmee de grond effectief kan worden omgezet mits de grond al voldoende structuur en dichtheid heeft. In de kleirijperij is de cultivator toegepast bij de laatste omzetting voordat de grond naar de “eindopslag” werd verplaatst.

Tabel 3-1 Samenvatting variaties van de proefvakken.

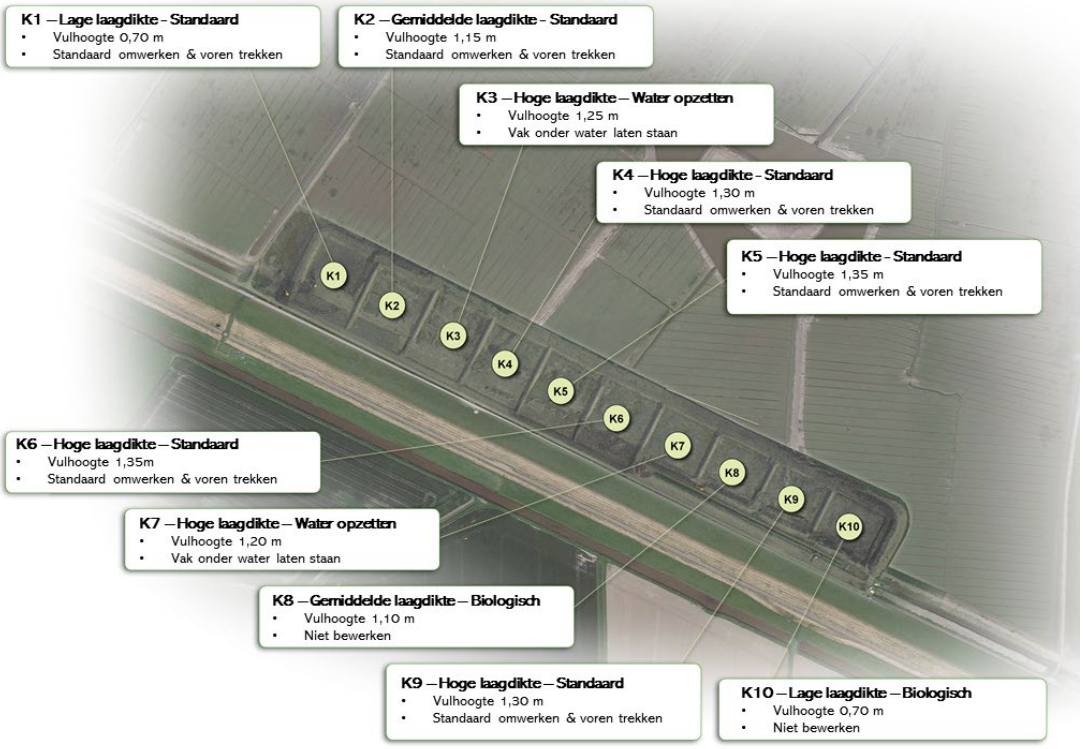
Fysisch
Laagdikte (vulhoogte)
Wel/niet toepassen fysische bewerkingsmethoden (ploegen, omzetten met kraan of cultivator[7])
Drainage (wel/niet aanbrengen van zandlaag met drainageleidingen)
Ontzilting (Wel/niet onderwater staan van de vakken na het vullen en mengen met zoet water)
Biologisch
Wel/niet inzaaien
Wel/niet kaalbranden
Overige variatie
Aantal vulslagen
Drainerende werking ondergrond
Materiaal kades



Figuur 3-4 Overzicht van variatie in de drainerende werking van de ondergrond en het materiaal van de aanlegde kades bij Kleirijperij Delfzijl (Meshkati Shahmirzadi et al., 2023a).



Figuur 3-5 Overzicht van de verschillen tussen de proefvakken in de Kleirijperij Delfzijl t.b.v. het onderzoek. (Meshkati Shahmirzadi et al., 2023a).



Figuur 3-6 Overzicht van de verschillen tussen de proefvakken in de Kleirijperij Kwelder t.b.v. het onderzoek. (Meshkati et al., 2023b).

Ontwerp opstellen samen met aannemer
In het project is de aannemer als partner binnen het EcoShape consortium vanaf het begin betrokken geweest bij het opstellen van het ontwerp. Dit hielp om snel praktische zaken goed uit te kunnen werken. De aannemer heeft o.a. meegedacht over de inrichting van rijpingsvakken en de grondbalans. Door directe feedback van de aannemer konden veel zaken van belang voor de uitvoering meteen worden meegenomen. Beslissingen werden gezamenlijk genomen, waardoor er minder discussie was.

Hoeveelheden en dichtheden
Bij de opzet van de Pilot Kleirijperij was het van belang dat er voldoende slib gebaggerd en geleverd kon worden om de proefvakken te vullen, zodat de kleirijperij op zijn beurt weer voldoende klei kon aanleveren voor de dijkversterking. Van tevoren zijn afspraken gemaakt over de hoeveelheid aan te leveren slib (richting kleirijperij) en klei (richting dijkversterking). Een aandachtspunt hierbij waren de verschillende definities en eenheden die gebruikt worden om hoeveelheden slib en klei aan te duiden, bijvoorbeeld: volume in situ, beunvolume en ton droge stof (TDS) en volume in losse kuub klei (vrachtwagen) en vaste kuub klei (na verwerking in de dijk). Tijdens het project is uiteindelijk een Excelsheet gemaakt met alle omrekenfactoren op een rij om overzicht te creëren. Uit de pilot is gebleken dat het belangrijk is dat er duidelijke afspraken worden gemaakt over welke definities en eenheden worden gebruikt en wat gebruikt wordt als eenheid voor afstemming tussen verschillende projectonderdelen. TDS lijkt de handigste eenheid voor die afstemming (waarna de hoeveelheid in TDS vervolgens kan worden door vertaald naar maten die gebruikelijk zijn voor de verschillende stappen/onderdelen van het project).

Een leerpunt vanuit de kleirijperij is ook dat het ontwerp van het depot afgestemd zou moeten worden op de hoeveelheid ingangsmateriaal. Bij de kleirijperij werkte dit anders: van tevoren was een terrein beschikbaar gesteld. Vanwege de hoeveelheid benodigd slib zijn uiteindelijk dikkere lagen slib aangebracht dan in beginsel was gewenst. Hierdoor duurde de rijping relatief lang. Kortom, oppervlakte vs. hoeveelheid slib vs. rijpingsduur moeten op elkaar afgestemd worden.

Kosten voor grond en inrichting in de businesscase
Vanuit de businesscase (H3.4) is gekeken naar rol van kosten voor grond en inrichting in de totale businesscase.

Grond moet in de meeste gevallen worden gepacht of verworven voor de aanleg van een kleirijperij. Goed inzicht in de duur van het kleirijpen (afhankelijk van de rijpingssnelheid en volume) is belangrijk: voor die termijn moet de pacht gedekt zijn. De locaties voor opslag moeten slim gekozen worden om de kosten beperkt te houden. De grondkosten lopen flink op als gebruik wordt gemaakt van grond met een bestemming als bedrijventerrein, zoals voor de pilot Delfzijl. Ook wanneer de grondeigenaar eigenaar is van de kleirijperij moet rekening worden gehouden met verlies aan gederfde inkomsten, die anders zouden zijn verkregen als het terrein zou zijn verhuurd. Bij opschaling nemen de kosten voor het verwerven of pachten van de gronden toe in verband met langere doorlooptijd en meer kosten voor onderhandelen en onderbouwing.

De inrichtingskosten zijn groter naarmate meer werkzaamheden nodig zijn om een locatie om te bouwen tot een kleirijperij waar slib in kan worden ontvangen. Kostenposten zijn de compartimenteringsdammen, drainage en eventuele ontsluiting die moet worden gerealiseerd. Veruit de grootste kostenpost is het aanbrengen van een zandlaag. In afwijking van de pilot is bij opschaling een minimale inrichting mogelijk met beperktere kosten. Naast de kosten van inrichting moet ook rekening worden gehouden met herstelkosten die bij een volledig herstel van de locatie in dezelfde orde van grootte liggen als de inrichtingskosten voor het grondwerk, afgezien van het aanbrengen van de zandlaag. De inrichtingskosten verschillen voor buitendijkse typen. Bij een kleirijperij op een kwelder moet bijvoorbeeld rekening worden gehouden met verhoudingsgewijs hoge kosten voor een beschermingsdam.

Opgedane kennis en ervaring:

- Door de aannemer vanaf het begin bij het ontwerp te betrekken konden praktische uitvoeringszaken direct worden meegenomen in het ontwerp waardoor er bij de realisatie minder discussie was.
- Een kleirijperij moet op z'n minst aangelegd worden óp het maaiveld en niet lager zodat ontwatering goed kan plaatsvinden.
- Bij afspraken over de hoeveelheden aan te leveren slib en klei dient goed te worden afgestemd welke definitie en eenheid wordt gehanteerd. TDS (ton droge stof) is een eenheid die over het algemeen handig is om aan te houden voor afstemming tussen projectonderdelen.
- Beschikbaar oppervlak, benodigde hoeveelheid klei en rijpingsduur moeten goed op elkaar worden afgestemd.
- Voor de businesscase is het belangrijk om de locaties van de depots slim te kiezen om kosten (grondverwerving/pacht) te beperken. Er moet zowel rekening gehouden worden met inrichtingskosten als herstelkosten. Het aanbrengen van een zandlaag is relatief duur. Bij een kleirijperij op een kwelder moet rekening gehouden worden met relatief hoge kosten voor de aanleg van een beschermingsdam.

3.1.3. Wet- en regelgeving

Benodigde vergunningen en certificaten
Voor zowel Kleirijperij Delfzijl als Kleirijperij Kwelder zijn verschillende vergunningen en certificaten aangevraagd: omgevingsvergunning, lozingsvergunning, waterwetvergunningen (realiseren persleiding over en langs de primaire zeekering en zoetwateronttrekking), vergunning en ontheffing vanuit de Wet Natuurbescherming en bouwvergunning. Voor het werken in een kleirijperij is certificering onder BRL 7500 certificaat (Bewerken van verontreinigde grond en baggerspecie), protocol 7510 (Procesmatige ex situ reiniging/bewerking en immobilisatie van grond en baggerspecie) nodig.

Voor het baggeren was geen ontgrondingsvergunning nodig, omdat slib is gebruikt vanuit de reguliere onderhoudsbaggerwerkzaamheden van Groningen Seaports waar al een vergunning voor is. Als het slib op een andere manier verkregen moet deze vergunning mogelijk worden aangevraagd.

Voor het vervoeren van de klei was geen vergunning nodig. Wel moest een bbk-melding gemaakt worden. Bij het leveren van de klei uit de Kleirijperij Delfzijl waren veel transportbewegingen met grote vrachtwagens met klei nodig. Een aandachtspunt is dat lokale infrastructuur niet altijd berekend is op dergelijke vervoersbewegingen.

Omgevingsvergunning
Voor zowel het depot van Kleirijperij Delfzijl als de Kleirijperij Kwelder was een omgevingsvergunning nodig. Voor de Kleirijperij Delfzijl is de omgevingsvergunning aangevraagd bij de gemeente Delfzijl (nu gemeente Eemsdelta) en voor de Kleirijperij Kwelder bij de gemeente Oldambt voor een tijdelijk depot. Voor een omgevingsvergunning moeten alle conditionerende onderzoeken doorlopen worden, zoals archeologie, ecologie, grondwater, geluid, NGE en bodem. Verder is een milieukundig nulsituatieonderzoek nodig om aan te tonen dat het depot of de werkzaamheden niet leiden tot een verslechtering van de huidige situatie. Tijdens de Pilot Kleirijperij is er op last van de omgevingsdienst gemonitord op grondwaterkwaliteit. Op basis van deze monitoring konden mitigerende maatregelen worden genomen indien eventuele negatieve effecten zouden optreden. Dit plan met maatregelen is voorafgaand aan de uitvoering opgesteld.

Lozingsvergunning
Er is een lozingsvergunning aangevraagd voor de Pilot Kleirijperij bij het waterschap Hunze en Aa's. In het begin is het zoute water uit de kleirijperijen in het estuarium geloosd. Later, nadat de zoutwaardes van de ringsloot om het depot voldoende gedaald waren, is er geloosd in het omliggende poldersysteem. In overleg met het waterschap Hunze en Aa's zijn afspraken gemaakt over de signaalwaardes met betrekking tot de zoutgehaltes. Zolang het lozen van water afkomstig van het depot onder de signaalwaarde bleef kon er vrij geloosd worden. Op de momenten dat er boven de signaalwaarde werd geloosd werd de koppeling met het omliggende poldersysteem verbroken door het afsluiten van de duiker.

Waterwetvergunningen
Voor de Pilot Kleirijperij waren er waterwetvergunningen nodig die zijn aangevraagd bij het waterschap Hunze en Aa's. Voor de Kleirijperij Delfzijl zijn twee waterwetvergunningen aangevraagd, de eerste voor de aanleg van een persleiding over de primaire kering en de tweede voor het onttrekken van zoetwater. Voor de Kleirijperij kwelder zijn twee projectplannen opgesteld (i.p.v. waterwetvergunning), één voor het Demonstratieproject Brede Groene Dijk en één voor de kleirijperij Kwelder en het graven van de Klutenplas.

Wet Natuurbescherming vergunning en ontheffing
Voor zowel Kleirijperij Delfzijl als Kleirijperij Kwelder is er een ecologische check uitgevoerd om in kaart te brengen of er beschermde soorten aanwezig waren en of de kleirijperij effect had op aangewezen beschermde Natura 2000-gebieden. Voor de Kleirijperij Kwelder is een ontheffing (voor beschermde soorten) en een vergunning (voor beschermde Natura 2000-gebieden) aangevraagd onder de Wet Natuurbescherming bij de Provincie Groningen. Dit was een uitdaging, want er wordt (tijdelijk) areaal onttrokken uit een Natura 2000-gebied. Er is een gecombineerde vergunning aangevraagd voor de Klutenplas en polder Breebaart. De Klutenplas was niet bedoeld als mitigerende maatregel voor de Kleirijperij, maar kon uiteindelijk wel zo gebruikt worden. Het totaal van de Klutenplas, Brede Groene Dijk en de kleirijperij werd namelijk als natuur inclusief ontwerp geclassificeerd. Voor de Kleirijperij Delfzijl is naar aanleiding van een ecologisch oordeel aangegeven dat gebruik kon worden gemaakt van de bestaande ontheffing tijdelijke natuur waar de locatie van de kleirijperij onderdeel van uitmaakt. Bij de ecologische check werden er geen beschermde soorten of beschermde Natura 2000-gebieden geconstateerd. Later bleek toch een dassenburcht aanwezig te zijn. Daarop is het ontwerp aangepast, heeft videomonitoring plaatsgevonden en is een herplaatsing elders van de dassenburcht voorgeschreven en is een ontheffing verkregen vanuit de Provincie Groningen. De werkzaamheden voor de kleirijperij kwelder zijn verricht onder ecologisch toezicht.

BRL 7500 certificaat
Voor het bewerken van grond en baggerspecie is een BRL 7500[8] certificaat nodig. Dit was van tevoren niet voorzien en is tijdens het vullen van de depots aangevraagd. Voor de BRL-certificering waren er tijdens de rijpingsfase twee audits per jaar nodig van het Keurings- Instituut van Waterleiding Artikelen (KIWA). Deze audits hebben ook plaatsgevonden als er geen klei in of uit de depots ging, maar er wel slib bewerkt werd. Het is belangrijk dat de grondstromen goed navolgbaar zijn voor het BRL-certificaat. Vooral als het slib bewerkt en getransporteerd wordt en ook als er slib uit meerdere invoerlocaties of invoermomenten komt. Er dient aandacht te zijn voor het scheiden van verschillende grondstromen. Het is bijvoorbeeld niet altijd toegestaan om partijen grond met elkaar te mengen. Dat geldt eveneens voor de partijkeuring die noodzakelijk is als het gerijpte materiaal getransporteerd en toegepast gaat worden op een locatie elders (buiten het depot). Omdat bij de kleirijperijen het slib steeds van één locatie afkomstig was, mocht het (ondanks dat het in verschillende vakken zit) voor het BRL-certificaat als één partij worden beschouwd. Dat zal anders liggen als slib van verschillende kwaliteiten wordt gebruikt.

Milieuhygiënische bodemkwaliteit
Bij inname van slib door een kleirijperij moet er een erkend bewijsmiddel liggen met betrekking tot de samenstelling en milieukundige kwaliteit van het materiaal. Voor de Pilot Kleirijperij kwam daaruit naar voren dat het ingenomen slib milieukundig aan de achtergrondwaarde voldeed met uitzondering van chloridewaardes (wat in zeewater te verwachten is). Voor toepassing elders is het slib opnieuw gekeurd worden door middel van een partijkeuring (gerijpte klei). Hierbij moest één partijkeuring per 10.000 ton worden uitgevoerd. Uit de pilot is geleerd dat ten gevolge van het rijpingsproces maar ook door het feit dat gebruik wordt gemaakt van een steekproef er een variatie in milieukundige kwaliteit kan worden geconstateerd. Delen van het gerijpte materiaal kwamen uit op de klasse industrie. Deze klasse mag niet altijd zondermeer toegepast worden. Voor toepassing in de Brede Groene Dijk bleek dit geen issue te zijn, omdat het materiaal aan de buitendijkse zijde werd toegepast wat waterbodem is en bovendien deel uitmaakt van hetzelfde waterlichaam als waar het slib ook vandaan is gekomen. Aan de binnenzijde van de dijk had het materiaal op basis van het Besluit Bodemkwaliteit niet zondermeer toegepast mogen worden.

[8] BRL SIKB. "BRL SIKB 7500 Bewerken van verontreinigde grond en baggerspecie, versie 5.0. 1 februari 2018"; en protocol 7511 "Ontwateren en rijpen van baggerspecie, versie 5.0, 1 februari 2018".

Aandachtspunten bij opschaling
Voor een opschaling van een kleirijperij, waarbij meerdere jaren een depot in stand wordt gehouden of bij een permanent depot, moet rekening gehouden worden met meer/andere omgevingseffecten en andere wetgeving. Wanneer een depot voor langere tijd in stand gehouden wordt kan dit ook leiden tot grotere effecten op het milieu, bijvoorbeeld een toename van het zoutgehalte in het grondwater. Ook compensatie voor het raken van Natura2000 gebied is mogelijk lastiger. Qua wetgeving is het bijvoorbeeld mogelijk dat een kleirijperij wordt gezien als een 'inrichting' in plaats van een depot waarbij andere vergunningen noodzakelijk zijn. Verder kunnen er aanvullende eisen voor vergunningen zijn als baggerwerkzaamheden niet onder reguliere baggeractiviteiten vallen. Bij grotere oppervlakten kleirijperij kunnen ook de kosten voor grond- en bodemonderzoek (ook relevant voor ontwerp), vergunningsaanvragen, effectenonderzoek en het doorlopen van planologische procedures (in de businesscase, zie H3.4, vallen deze procedurele kosten onder de aanvullende kosten).

Opgedane kennis en ervaring:

- Voor een BRL-certificaat dienen grondstromen goed navolgbaar zijn. Vooral als het slib bewerkt en getransporteerd wordt en eveneens als er slib uit meerdere invoerlocaties of invoermomenten komt.
- De classificatie van de milieukundige kwaliteit van het slib/ de klei kan verschillend zijn voor en na het rijpen. Hier dient rekening mee gehouden te worden, omdat dit de mogelijkheden voor toepassing kan beperken. Zaken die de partijkeuring kunnen beïnvloeden zijn veranderingen in de fijne fractie en organische stofgehalte (die een invloed hebben op het gestandaardiseerde gehalte dat wordt getoetst).
- Het is relevant om vooraf te weten of de gerijpte klei binnen of buitendijks toegepast gaat worden. Dit heeft invloed op de eisen die gesteld worden aan de milieukundige kwaliteit.
- De zoute baggerspecie zorgt ervoor dat de ondergrond (grond en grondwater) zouter wordt. Na verloop van tijd spoelt het zout door intreding van regenwater weer uit. Mocht er een kleirijperij gerealiseerd worden in een gebied waar de percelen rondom het depot ook gebruikt worden (bijvoorbeeld voor landbouw) dan zul je hiervoor van tevoren mitigerende maatregelen moeten nemen, of kunnen aantonen dat er geen negatieve effecten op de omgeving zullen zijn.
- Bij opschaling van een kleirijperij, waarbij meerdere jaren een depot in stand wordt gehouden of bij een permanent depot, moet rekening gehouden worden met meer/andere omgevingseffecten, andere wetgeving en mogelijk grotere procedurele kosten.

3.2. Aanleg en oplevering

3.2.1. Baggerwerkzaamheden

Bronmateriaal en kwaliteit
Het slib voor Kleirijperij Delfzijl kwam uit het Zeehavenkanaal bij de haven van Delfzijl. Het slib voor de Kleirijperij Kwelder kwam uit Polder Breebaart (Figuur 2-3). Het gebaggerde materiaal is bij beide locaties met een persleiding naar de vakken gebracht.

Bij de haven van Delfzijl is gebaggerd met een sleephopperzuiger. Het in situ materiaal had geen hoge dichtheid omdat dit materiaal pas recent was gesedimenteerd en omdat het materiaal in de haven t.g.v. de standaard gebruikte baggermethode aldaar (met een air set het materiaal in beweging krijgen en vervolgens met de stroom laten meegaan) een hoog watergehalte heeft. Het baggerwerk voor de kleirijperij maakte deel uit van regulier baggerwerk van de haven. Hiermee konden voor de pilot de kosten laag gehouden worden.

EcoShape is betrokken geweest bij het waterkundig bodemonderzoek van de baggerwerkzaamheden om toe te zien op de kwaliteit van het gebaggerde materiaal. Dit was van belang omdat EcoShape als leverancier uiteindelijk verantwoordelijk was voor de kwaliteit van de gerijpte klei.

Het slib uit de haven van Delfzijl was recent ingevangen en zeer homogeen en redelijk vloeibaar. Daardoor was dit materiaal makkelijk toepasbaar voor de kleirijperij. Het materiaal uit Polder Breebaart was minder homogeen en bevatte meer zand. Dat leidde tot segregatie: in de buurt van de stortpijp waren zandgehaltes aanmerkelijk hoger. Een volgende keer zou een zandvang kunnen worden toegepast om dit te voorkomen. Verder was het sediment zeer compact, doordat het al enigszins

gerijpt was in de polder. Hierdoor was het lastig om het materiaal te winnen. Hiervoor was in eerste instantie niet het juiste materieel aanwezig.

De bron van het (bagger) slib in de businesscase
Vanuit de businesscase (H3.4) is gebleken dat de bron van het slib op meerdere manieren invloed op de prijs. Kosten kunnen worden bespaard als een deel van het werk samenvalt met regulier baggerwerk. Verder kan de samenstelling van het slib van locatie tot locatie verschillen wat de rijpingssnelheid en de kwaliteit van het eindproduct kan beïnvloeden.

Opgedane kennis en ervaring:

- Door slimme keuzes in de baggerlocatie kan zo homogeen mogelijk materiaal worden gebaggerd wat eenvoudiger bruikbaar is bij een kleirijperij. Veelal is dit echter lastig aangezien het baggeren zelf ook een specifiek doel dient en deze keuze daarom niet altijd gemaakt kan worden. Met name bij grotere kleirijperijen zal er meer variatie zijn, waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden.
- Afhankelijk van de locatie is speciaal materieel nodig voor de baggerwerkzaamheden.
- Het laten uitvoeren van de baggerwerkzaamheden en depotbeheer door dezelfde partij(en) i.p.v. knippen in contracten heeft belangrijke voordelen. Zo kunnen bijvoorbeeld de baggermethode en intensiteit kunnen worden aangepast op het depot en andersom en afstemming is eenvoudiger.
- De bron van het materiaal van het baggeren beïnvloedt de kosten van een kleirijperij, omdat het de rijpingssnelheid en kwaliteit van het eindproduct kan beïnvloeden.

3.2.2. Aanleg van en werkzaamheden op de rijpingsvelden

Het opbrengen van de sliblagen
Voordat het slib in de vakken werd gestort is bij kleirijperij Delfzijl het maaiveld uitgevlakt en is bij de kleirijperij Kwelder ook de bovenste zode van de grond eraf gehaald. Deze laag, waarin gebiedseigen zaden zaten, zou na afloop van het project worden teruggebracht om het gebied naar de oorspronkelijke staat te herstellen. Het afgraven van de grond leidde echter tot een te lage ligging van de vakken waardoor drainage en daarmee rijping van de klei verminderde. Na het terugbrengen van de laag bleek bovendien dat de zaden niet meer goed ontkiemden.

Het opbrengen van de sliblagen bij Kleirijperij Delfzijl gebeurde in twee keer omdat het volume slib (vóór rijping) te groot was/ de kades niet hoog genoeg, om het totale volume in een keer aan te brengen in de depots. Tussen het aanbrengen van de 1ste en de 2de laag zat ongeveer 3 maanden. Achteraf bleek dit ervoor te zorgen dat het materiaal uit de tweede ronde minder goed zijn water kwijt kon. De consolidatie van de bodem verliep dan ook niet sneller door dit in twee fases te doen.
Het rijpen van de zeer dikke sliblagen (2 meter dikte) duurde lang: ongeveer 3-4 jaar. In de tussentijd was het, in verband met de lage draagkracht van het materiaal, lastig om het slib te bewerken met machines. Bij de vakken met een sliblaag van 30 cm en 80 cm was de klei in respectievelijk 3 maanden en 1 jaar gerijpt. Met name in de eerste fase ging de rijping snel. Mogelijk is het dus effectiever om binnen een jaar meerdere dunne lagen te laten rijpen.
Op dit moment wordt bij de Groningse kust geëxperimenteerd met kleinere laagdiktes bij de pilot Slibhub Lauwersoog.

Drainage en leidingen
Bij de Kleirijperij Delfzijl verliep de drainage goed dankzij de omliggende sloten. Bij de Kleirijperij Kwelder verliep de drainage langzaam. Zoals hiervoor aangegeven leidde het afgraven van de bovenste laag tot een lagere ligging op de kwelder. Dit hinderde de drainage. Daarnaast werkte het leidingsysteem niet optimaal. Het water, dat in stortkisten werd opgevangen, is via één hoofdleiding afgevoerd naar de petsloot bij de teen van de dijk, ongeveer een kilometer verderop. Deze leiding liep dicht met slib. Voor een volgende keer is het wellicht beter drainage natuurlijk te laten plaatsvinden of om de stortkisten met een rechte leiding, via de kortste weg naar buiten toe te leiden d.m.v. een duiker.

Gedurende het jaar waren ook regelmatig werkzaamheden nodig om drainage te bevorderen om bijvoorbeeld plasvorming te voorkomen en bestaande plassen te draineren. Hier dient bij de kostenraming voor een dergelijk project rekening mee gehouden te worden.

Inzaaien
Voor de ontwikkeling van vegetatie is het zoutgehalte en het type vegetatie een aandachtspunt. Het aangebrachte slib was van nature zout. Hierop kunnen in principe alleen zoutminnende planten ontkiemen. Echter, nadat het zout uit de bovenste laag van de bodem is gespoeld is er juist ruimte voor andere soorten planten. Als er gekozen wordt voor het inzaaien van niet zouttolerante planten dan moet enige tijd gewacht worden met inzaaien. Akkerplanten konden bijvoorbeeld niet tegen het hoge zoutgehalte, de Zeeaster daarentegen ontkiemde goed.

Inzet van materieel
Bij de rijpingslocatie Delfzijl zijn wegen aangelegd zodat materieel gemakkelijk bij de vakken kon komen. Bij de rijpingslocatie Kwelder is dit niet gebeurd. Hierdoor was het midden van de vakken moeilijk te bereiken. Om het project zo goedkoop mogelijk te kunnen uitvoeren is gekeken naar aanschaf en huur van materieel. Een waterpomp was één van de zaken die bij een kleirijperij langdurig gebruikt wordt en daarom is aangeschaft.

Opgedane kennis en ervaring:
- Het opbrengen van slib voor een kleirijperij kan het best in één keer gebeuren, omdat bij twee keer opbrengen korstvorming de drainage belemmert. Hiervoor moeten de kades wel hoog genoeg zijn, aangezien het natte slib een relatief groot volume inneemt.
- Het rijpen van 2 meter slib nam relatief veel tijd (ca. 3-4 jaar) in beslag. Het rijpen van 1 of meerdere dunnere lagen per jaar na elkaar heeft waarschijnlijk de voorkeur. De toegevoegde waarde van een extra laag bovenop een nog niet gerijpte laag is niet aangetoond. De ideale laagdikte verschilt per locatie en hangt o.a. af van de afwatering en het weer. De gerijpte lagen moeten afgegraven worden voordat een nieuwe laag wordt aangebracht (zie ook punt hiervoor).
- Bij de aanleg van de kleirijperij moet goed gekeken worden naar het drainagesysteem. Hoogteligging en het voorkomen van verstopping van de leidingen zijn daarbij aandachtspunten.
- Bij het inzaaien dienen soorten te worden gebruikt die passen bij het zoutgehalte van de bodem. Overweeg om zouttolerante soorten te zaaien of te wachten met inzaaien totdat het meeste zout is uitgespoeld.
- Bij het ontwerp van de kleirijperij moet rekening gehouden worden met de bereikbaarheid door materieel, als het de wens is om dat in te zetten. Materieel kan niet verplaatst worden over de slappe sliblagen.

3.2.3. Transport en toepassing bij de dijkversterking

Aanleg van de Brede Groene Dijk en inschatting benodigde hoeveelheid grond
De Brede Groene dijk is aangelegd met klei uit de kleirijperijen in de periode mei-augustus 2022. De klei is daarbij direct van de kleirijperij naar de bouwlocatie gebracht zonder tussendepot. Voor toepassing was het belangrijk dat de juiste hoeveelheid grond voor de versterking kon worden geleverd. Van tevoren waren echter geen metingen gepland om te kijken hoeveel klei precies nodig was. Deze zijn gedurende het project toch uitgevoerd bij een proeftracé. Dit proeftracé was in eerste instantie aangelegd om metingen te kunnen doen om de waterveiligheid aan te tonen, maar bood meteen ook de kans om beter inzicht te krijgen in de benodigde hoeveelheid grond. Hiermee kon het risico worden ingeschat over een eventueel tekort aan grond.

Transport van kleirijperij naar bouwlocatie
De gerijpte klei is met vrachtwagens vervoerd van Kleirijperij Delfzijl naar de bouwlocatie bij de Brede Groene Dijk. Dit was ingewikkelder dan van tevoren gedacht. De route van de kleirijperij naar de Brede Groene Dijk bestond uit smalle wegen en liep door een dorp. Aanwonenden verwachtten veel overlast van het transport en hadden zorgen over de veiligheid en schade aan infrastructuur en gebouwen. Daarnaast waren de smalle wegen in de omgeving niet geschikt voor zware vrachtwagens. Een alternatieve route was echter niet direct voorhanden. Uiteindelijk is besloten om een bypass met rijplaten aan te leggen over akkerlanden om het dorp te ontzien van de grondtransporten. Hierbij zijn veel extra kosten gemaakt – zowel voor het omgevingsmanagement en de realisatie - waar bij aanvang van het project geen rekening mee was gehouden. Voor een volgende keer zou eerder in het project een transportplan gemaakt kunnen worden om eventuele knelpunten vroegtijdig in beeld te hebben.

Ontwerp aanpassen aan het beschikbare materiaal
Een jaar na de start van het kleirijpen werd duidelijk dat het niet ging lukken om binnen de planning voldoende klei van de juiste kwaliteit te leveren voor de dijkversterking van Waterschap Hunze en Aa's. Na gesprekken tussen de verschillende partijen is besloten om niet vast te houden aan alle normen voor toepassing van klei op dijken, maar om het ontwerp van de dijk aan te passen aan de beschikbare klei. De essentie van een dijkversterking is immers een veilige dijk en daar kon de gerijpte klei prima voor worden gebruikt. De benodigde aanpassing van het ontwerp hield in dat de dijk iets breder werd dan in het oorspronkelijke ontwerp.

Omdat er geen standaardregels waren over hoe om te gaan met het toepassen van klei die niet aan de normen voldeed is extra onderzoek uitgevoerd om de veiligheid van deze klei bij toepassing op dijken aan te tonen. Extra werkzaamheden die zijn uitgevoerd zijn o.a. verschillende lab analyses, uitvoeren van proeven in de Deltagoot en het aanleggen van een proefsectie van een dijk met materiaal uit de kleirijperij.

Door het ontwerp aan te passen aan het beschikbare materiaal in plaats van vast te blijven houden aan de standaard normen kon meer circulair gebouwd worden.

Een discussiepunt is nog in hoeverre de aanwezigheid van vegetatiestructuren in gerijpte klei de toepassingsmogelijkheden als dijkenklei beïnvloedt. Over het algemeen is voor dijkenklei de wens dat deze zo homogeen mogelijk is. Vegetatiestructuren in dijkenklei kunnen onstabiele punten in de ondergrond vormen. Bij de Brede Groene dijk is de klei met deze structuren daarom dieper in het dijklichaam aangebracht i.p.v. aan het oppervlak. Het is echter nog de vraag of dit echt noodzakelijk was of dat dergelijke structuren na toepassing aan het oppervlak binnen betrekkelijke tijd verdwijnen.

Over het algemeen is bij dijkversterking vaak pas laat echt duidelijk hoeveel klei nodig is, terwijl een kleirijperij dan al eerder nodig is. Daar moet rekening mee worden gehouden bij afstemming van vraag en aanbod.

Transport in de businesscase
Vanuit de businesscase (H3.4) is gebleken dat transportkosten de grootste kostenpost kunnen vormen. De transportkosten kunnen wel 80 tot 90% van de totale kosten vormen. De transsportkosten bestaan uit het transport van het slib naar de kleirijperij als van de gerijpte klei naar de dijk. Hoe groter de transportafstand hoe hoger de kosten per kuub gerijpte klei. Dit pleit voor zo kort mogelijke afstanden tussen bron, kleirijperij en toepassingslocatie.

Opgedane kennis en ervaring:
- Voor het inschatten van de benodigde hoeveelheden grond is het noodzakelijk gebleken om alle grondstromen in dezelfde eenheden uit te drukken. TDS (ton droge stof) is daarvoor een handige eenheid.
- Het heeft de voorkeur om de kleirijperij zo dicht mogelijk bij de bouwlocatie aan te leggen om overlast door transport met vrachtwagens zoveel mogelijk te beperken. De nabijheid van de baggerlocatie is met het oog op overlast voor omwonenden minder van belang, omdat het gebaggerde slib met persleidingen naar de kleirijperij kan worden vervoerd wat minder overlast geeft dan vrachtverkeer. Door het maken van een transportplan kunnen eventuele knelpunten vroegtijdig in kaart worden gebracht.
- Het ontwerp aanpassen aan het beschikbare materiaal kan bijdragen aan een duurzaam, circulair ontwerp.
- Transportkosten maken een belangrijk deel uit van de totale kosten van een kleirijperij. Dit pleit voor zo kort mogelijke afstanden tussen bron, kleirijperij en toepassingslocatie.

3.3. Resultaten monitoring

De ontwikkeling van beide kleirijperijen is uitgebreid gemonitord voor inzicht in:

- De invloed van omgevingscondities en toegepaste bewerkingsmethoden op de kleirijping;
- De (tijdelijke) natuurwaarde van kleirijperijen als broed- en/of foerageergebied voor vogels.
- De kwaliteit van de gerijpte klei in relatie tot toepassingseisen voor dijkenklei (toepassing in Brede Groene Dijk)
- De financiële haalbaarheid van een kleirijperij (monitoring als input voor de businesscase, zie H3.4).

De monitoring en resultaten daarvan staan uitgebreid beschreven in Van der Star et al., (2023), Meshkati Shahmizai et al. (2023a,b) en Van der Ouderaa et al. (2023). In aanvulling hierop is ook gekeken naar broeikasgasemissies bij de kleirijperij (Kox en Jansen, 2022). Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste zaken.

3.3.1. Toegepaste monitoringstechnieken

Toegepaste monitoringsmethodes en data-analyse
Om inzicht te krijgen in de effecten van de verschillende fysische en biologische bewerkingsmethodes op het kleirijpingsproces zijn veel verschillende metingen uitgevoerd over een periode van drie tot vier jaar (afhankelijk van de locatie) (Tabel 3-2). Hierbij is gekeken naar drie hoofd-processen: ontwatering, ontzilting en oxidatie.

Voor meer informatie over de monitoring zie Meshkati Shahmirzadi et al. (2023a,b).

Tabel 3-2 Monitoringsmethodes toegepast voor de monitoring bij de Pilot Kleirijperij.

Parameter	Monitoringsmethode
Atterbergse grenzen	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering RAW proef 14
Watergehalte	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering NEN 5112:1995
Dichtheid	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering Eigen methode (Boskalis)
Soortelijk gewicht	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering NEN-EN-ISO 17892:3-2016
Droge stof	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering NEN 5112:1995
Zoutegehalte	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering RAW Proef 28
Korrelgrootteverdeling	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering Eigen methode (Deltares)
Organische stofgehalte	Bemonstering met zuigerboor + korstbemonstering RAW proef 36
Laagdikte	Bemonstering met guts
Hoogte	Fotogrammetrie met drone (DJI Phantom Pro 4 drone)
Wateroverspanning	Waterspanningsmeter
Drainage	Meting drainagedebiet en geleidbaarheid in drainagebuizen Meting debiet in de ringsloot
Vegetatie-vestiging	Waarnemingen soorten en aantallen met Tansley-schaal en aantallenschaal van Staatsbosbeheer
Vegetatie-ontwikkeling	Waarnemingen soorten en aantallen op 2x2m plots met decimale schaal van Londo
Biomassa	Houten frame, onderverdeling biomassa boven (afknippen) en onder de grond (wortelsteken). Weging na drogen.
Bodemtemperatuur	Temperatuursensoren: iButtons, DS1921G-F5# Temperature Loggers
Redoxpotentiaal	Sensor: Veld Microsensor Multimeter
Vocht-, zout- en organisch-stofgehalte	Bodemkernen (toplaag en dieper) - Wegen na droging - Geleidbaarheid met EC-meter - Verassing

Broedvogels	Waarnemingen incl. aanduiding gedrag/overige aanwijzingen die op broeden kunnen duiden Analyse aantal broedparen d.m.v. soortenverzamelkaarten.
Milieu hygiënische bodemkwaliteit	Samenstellingsanalyse

Opgedane kennis en ervaring:

- Bij de Pilot Kleirijperij zijn relatief grote vakken gebruikt. Dit was nuttig voor het kunnen produceren van voldoende klei voor toepassing. Voor onderzoeksdoeleinden was een kleiner oppervlak voldoende geweest.
- Om de kleirijping te monitoren zou het bij een volgende keer aan te raden zijn om camera's op te hangen (continu beeld van bijv. vorming krimpscheuren) of op vaste momenten drone-opnames te maken.
- De methode die gebruikt is voor het meten van het vochtgehalte is gevoelig voor weersomstandigheden. Hier moet rekening mee gehouden worden bij de interpretatie van de resultaten.
- Het is lastig om broedvogelaantallen te evalueren over een gebied van slechts 24ha (het aantal broedvogels was te laag om goede conclusies uit te kunnen trekken) (zie ook Van der Ouderaa (2023).
- Door het uitvoeren van de bewerkingen werden de metingen soms verstoord. Daarom moest bij iedere bewerkingsronde gecheckt worden in hoeverre dit effect had op het meetprogramma.

3.3.2. Invloed van omgevingscondities en toegepaste bewerkingsmethoden op de kleirijping

De resultaten zijn beschreven in de Evaluatie Rijpingsmethodes (Van der Star et al., 2023) en worden hieronder kort beschreven.

Effecten fysische parameters
De laagdikte is de belangrijkste drijvende factor voor kleirijping. Het kleirijpingsproces in vakken met relatief dunne lagen klei verliep het snelst, zelfs als in deze vakken weinig bewerkingsmethodes werden toegepast om het rijpingsproces te versnellen.

Het verschil tussen wel en niet bewerken was ook duidelijk te zien: de bewerkte vakken waren een half jaar eerder gereed voor gebruik. Het effect van het ploegen van de korst van het natte slib leek beperkt: de insnijdingen gemaakt door de ploeg trokken relatief snel weer dicht. Met het omzetten het op ruggen zetten kwam nieuw slib aan het oppervlak te liggen wat de rijping bevorderde. Een nadeel van deze methode is dat het droge materiaal (aan de bovenkant) weer natter werd. Daarom is in een later stadium de bovenkant (korst) verwijderd nadat die voldoende was ingedroogd en "los" van de klei geplaatst. Ook het omzetten met een cultivator bevorderde de rijping.

De dichtheid van de klei nam in vakken met zandige ringkades meer toe dan bij de ringkades van klei. Mogelijk was dit het geval, omdat (regen)water makkelijker kon weglopen. Vermenging met zoet water had geen significant effect op daling van de zoutwaarde, maar leidde wel tot het snel bereiken van een goede consistentie-index waarde (mate van plasticiteit van de klei) die ook nodig is voor verwerking in een dijk. Effecten van het aanbrengen van extra drainage waren niet zichtbaar in de gemeten drainagedebieten, maar het is wel mogelijk dat de aanwezigheid van een drainerende laag een positief effect heeft. 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. De depothoogte is hierbij ook sterk van belang. Het aantal vulslagen had geen significant effect op het rijpingsproces.

Vegetatieontwikkeling en effecten van inzaaien
Bij beide kleirijperijen (Delfzijl en kwelder) vestigde vegetatie zich spontaan en was het bedekkingspercentage hoog (ca. 70-90%) (Van der Ouderaa et al., 2023). Inzaaien van vegetatie was niet noodzakelijk, meerdere soorten vestigden zich spontaan en er was weinig verschil in biomassa tussen ingezaaide en kale plots. Van de ingezaaide soorten kwam strandmelde op de kwelder niet goed op, mogelijk vanwege de relatief kleine zouttolerantie. Verder is klein schorrekruit bij beide locaties nauwelijks opgekomen.

Effecten van vegetatie op het kleirijpingsproces
Voor kleirijping is ontwatering, ontzilting en oxidatie van belang (Van der Ouderaa et al., 2023). De aanwezigheid van vegetatie heeft effecten op de bovenste 30 cm van de bodem, maar het is niet doorslaggevend voor de rijping van zilt slib tot dijkenklei in een depot (zoals bij deze proef) met relatief grote diepte.

Het effect van vegetatie op ontwatering was tweeledig. Het gemeten vochtgehalte in de bodem in het eerste jaar was lager bij aanwezigheid van vegetatie. Mogelijk heeft vegetatiegroei de vorming van een korst belet waardoor verdamping hoger kon zijn dan in kale plots. Anderzijds bleek uit metingen dat de toplaag vochtiger was dan de dieper gelegen laag. Dit is een indicatie dat schaduw door aanwezigheid van vegetatie directe evaporatie van water uit de toplaag verminderde.

De aanwezigheid van vegetatie leidde niet tot meer of snellere ontzilting in tegenstelling tot de verwachting. Zoutgehaltes waren hoger bij aanwezigheid van vegetatie. Een mogelijke verklaring is het lage vochtgehalte in de toplaag, wat tot omhoogkomen van zoutwater uit diepere lagen door capillaire stijging kan hebben geleid.

Voor dijkenklei heeft een laag gehalte organisch materiaal de voorkeur. Aanwezigheid van vegetatie had een negatief effect op de afname van het gehalte organisch materiaal. De aanwezigheid van vegetatie (met name een mengsel) zorgde wel voor een toename van het zuurstofgehalte in de bodem, beneden 10 cm diepte en alleen in het eerste groeiseizoen, wat oxidatie kan bevorderen.

3.3.3. Effect op natuurwaarden

Ontwikkelde natuurwaarden
Eén van de onderzoeksvragen was of kleirijperijen een extra (tijdelijke) natuurwaarde hebben als broed- en/of foerageergebied voor vogels. Aangezien de proeflocaties en het aantal broedvogels relatief klein waren voor broedvogelonderzoek is het lastig om deze vraag te beantwoorden (Van der Ouderaa et al., 2023).

Door alle werkzaamheden op de proeflocaties was er veel verstoring tijdens de vestigingsfase aan het begin van het broedseizoen (Van der Ouderaa et al., 2023). Daarnaast was er te weinig dekking en geschikt nesthabitat voor broedvogels. De vegetatiegroei werd gehinderd door een hoog zoutgehalte, waardoor bepaalde soorten niet goed ontkiemden, en door bewerkingen zoals ploegen in bepaalde proefvakken. De waargenomen broedvogels leken vooral gebonden aan begroeiing op de kades rond de vakken.

Om met een kleirijperij meerwaarde te creëren als broedgebied is het dus van belang dat de locaties goed begroeid zijn en weinig verstoring plaatsvindt tijdens het broedseizoen. Het is dus in ieder geval aan te raden om, als er de wens is om broedgebied te creëren, ervoor te zorgen dat het ontwerp van de kleirijperij dusdanig is dat tijdens de broedperiode geen ingrepen nodig zijn.

3.3.4. Toepasbaarheid als dijkenklei

Het productiedoel van de Pilot Kleirijperij was het daadwerkelijk leveren van de benodigde hoeveelheid dijkenklei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk. Hieronder staat beschreven in hoeverre de gerijpte klei voor de dijkversterking toepasbaar was.

Eisen voor dijkenklei
De eisen voor klei die toegepast wordt in dijkversterkingen liggen in Nederland niet vast in de wet: de geotechnische eisen van het materiaal zijn onderdeel van het ontwerpproces waarin het keringsontwerp als geheel aan de gestelde eisen moet voldoen. Bij de toepassing van klei in Nederland wordt vaak gebruik gemaakt van klei die voldoet aan de voorwaarden gesteld in de Technische Richtlijn “Klei voor Dijken” (*Tabel 3-3*), waarnaar in bijvoorbeeld RAW-bestekken standaard wordt verwezen. Het is echter niet zo dat klei die niet aan deze eisen voldoet automatisch “ongeschikt” is voor toepassing.

Dit komst ten eerste doordat de parameters slechts een indicatie vormen over in hoeverre de klei zijn functie (bijv. erosiebestendigheid) kan vervullen. Het kan daardoor het geval zijn dat de klei geschikt is ook al wordt niet aan de parameters voldaan. Daarnaast kan klei die niet voldoet aan de gestelde eisen nog steeds functioneel zijn doel dienen in een waterkering mits daar in het ontwerp rekening mee gehouden wordt. Zo kan van klei die minder erosiebestending is bijvoorbeeld een dikkere laag worden aangebracht of kan worden geaccepteerd dat de onderhoudsbehoefte groter is dan bij gebruik van klei die aan de richtlijn voldoet.

Bij de monitoring van de pilot is gekeken in welke mate de parameters veranderen als gevolg van het rijpingsproces (zie *Tabel 3-3*). Omdat klei die niet voldoet aan deze eisen toch geschikt kan zijn als dijkenklei is aanvullend onderzoek uitgevoerd (Onderzoek Geschiktheid Deltaklei [OGD] en aanleg proefdijk).

Tabel 3-3 Vereiste waardes voor de klei om in dijken te mogen toepassen, en de verandering van deze waarden tijdens het rijpingsproces bij Kleirijperij Delfzijl (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996).

Parameter	**Eenheid**	**Beginwaarde**	**Eindwaarde**	**Norm/ doelwaarde eindproduct**
Dichtheid	t/m^3	1,19	1,58	>1,55-1,65
Atterbergse grenzen -vloeigrens -rolgrens -plasticiteitsindex	 % % %	 131 46,9 85	 80-120 40-42 40-85	
Consistentie-index		–3,2	0,35	0.6
Zoutgehalte	g/L (porievocht)	18,0	11,4	<4
Zoutgehalte[9]	g/kg	51	8,1	-
Organische stof	%	9,0	4,2	<5
Kalkgehalte	%	13	n.d.[10]	<25
Zandgehalte	% %	2,8	n.d.[10]	<40

Eigenschappen gerijpte klei in relatie tot de eisen voor dijkenklei
Van de eisen in de Technisch Richtlijn Klei voor Dijken waren zoutgehalte en organische stofgehalte niet binnen de gestelde tijd te halen bij de Pilot Kleirijperij. Dit kwam dit doordat een zeer groot gedeelte van de zoutvracht moest worden verwijderd (>90%) om de norm te halen. Verder neemt het organisch stofgehalte pas af wanneer het zoutgehalte voldoende is afgenomen.

De opzet van een kleirijperij zou moet veranderen wanneer deze gericht is op het behalen van de eisen uit de richtlijn. Daarbij kan gedacht worden aan het aanbrengen van dunne laagjes, het vooraf mengen met zoet water om het zoutwaterpercentage te verlagen of het accepteren van veel langere rijpingstijden. Het alternatief is om de gestelde eisen niet zo absoluut te beschouwen als in de afgelopen decennia werd gedaan, maar te kijken naar de functionele eisen van de klei in relatie tot de functie die het moet vervullen. Daarmee worden klei-eigenschappen meer onderdeel van het ontwerpproces als geheel gezien en is de afweging om verder te rijpen, óf de klei al eerder op de dijk te brengen een ontwerpkeuze waarbij geoptimaliseerd kan worden op kosten en gebruikswaarde gedurende de gehele gebruikscyclus. Een dergelijke manier van werken vereist wel een andere inrichting van de “slibketen” en wordt tot nu toe nog maar mondjesmaat toegepast (Veendorp et al., 2023).

[9] Geen formele norm, maar een indicatie van totaal aanwezig en verwijderd zout.
[10] Vanwege beperkte wijziging geen reden om mee te meten.

Toepassing gerijpte klei in Brede Groene Dijk
Ondanks dat de klei niet aan alle eisen van de Technische Richtlijn Klei voor Dijken voldoet is de klei wel succesvol toegepast bij het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk. Dit was mogelijk door aanvullend onderzoek en de verwerkbaarheid van het materiaal is daarvoor eerst getest in een proefdijk (Van den Heuvel et al. 2020) en de erosiebestendigheid in een afzonderlijk onderzoeksprogramma (zie o.a. Van Steijn en Klein Breteler, 2021). Het ontwerp van de dijk is vervolgens aangepast aan de (afwijkende) eigenschappen van de klei. Er is ongeveer 20% meer volume klei aangebracht dan wanneer klei zou zijn gebruikt die wel volledig aan de Technische Richtlijn zou hebben voldaan.

3.3.5.Broeikasgasemissies bij de kleirijperij

In aanvulling op de monitoring van het rijpingsproces en ontwikkelde natuurwaarden is aanvullend onderzoek gedaan naar broeikasgasemissies tijdens het rijpingsproces op de kleirijperij (Kox en Jansen, 2022). De broeikasgasemissie van de kleirijperij is gemeten in april en juni 2020, nadat de kleirijperij was van december 2019 tot maart 2020. De uitstoot was erg laag: uitstoot van koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4) was vergelijkbaar met de uitstoot bij een nabijgelegen kwelder. Waarschijnlijk kwam dit door hoge concentraties sulfaat in het sediment die methaan productie beperkt. Een andere oorzaak zou traag transport van zuurstof in en broeikasgassen uit het rijpende sediment kunnen zijn. Op basis van de resultaten van deze studie is een tool ontwikkeld om broeikasgasemissies bij kleirijping in te schatten (zie Kox en Jansen, 2022; Kox et al., 2021).

Opgedane kennis en ervaring:

- De laagdikte is de belangrijkste drijvende factor voor kleirijping. Het lijkt efficiënter om meerdere dunne lagen snel te laten rijpen in plaats van één dikkere laag langer te laten rijpen. Ook het toepassen van fysische bewerkingsmethoden (omzetten met kraan of cultivator) droeg bij aan snellere rijping. Verder beïnvloedt het materiaal van de ringkades om de kleirijperij de rijpingssnelheid: bij zandige ringkades verliep het rijpingsproces sneller dan bij de ringkades van klei. Met deze resultaten kunnen operationele kosten voor toekomstige kleirijperijen beperkt worden.
- Inzaaien van vegetatie is niet per se noodzakelijk mits een zaadbank en/of zaadbron in de omgeving aanwezig is. Inzaaien zou wel kunnen voorkomen dat minder aantrekkelijke soorten zoals riet en distels zich vestigen.
- Als ervoor gekozen wordt om in te zaaien is het op een kwelder van belang dat soorten die worden ingezaaid een brede tolerantie voor saliniteit hebben. Daarnaast heeft het gebruik van lokale zaden de voorkeur om introductie van exoten te voorkomen.
- Inzaaien met riet is ongewenst wanneer klei moet worden toegepast in dijken, maar is wel interessant als meerwaarde voor rust- en broedgebieden voor vogels.
- Leerpunt is dat het handig is om bewerkingen in de zomerperiode uit te voeren en in de winter alleen de afwatering te regelen. De periode met de meest intensieve werkzaamheden valt daardoor samen met het broedseizoen. Een kleirijperij is daardoor in beginsel niet aantrekkelijk voor broedvogels.

3.4. De businesscase

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 businesscase is beschreven in Fiselier en De Reus (2023). In dit hoofdstuk volgt een beknopte weergave van de businesscase.

3.4.1. Invalshoeken businesscase

In de businesscase is de (economische) haalbaarheid van een kleirijperij vanuit verschillende invalshoeken bekeken. Zo is de businesscase bekeken vanuit:

- De kleirijperij zelf;
- De dijkversterking;
- De beleidsopgave;
- Ruimtebeslag of planologisch perspectief.

De businesscase vanuit de kleirijperij gaat uit van een kleirijperij die over een langere periode gerijpte klei levert aan dijkversterkingsprojecten in het noorden van Nederland. Centraal staat de vraag of een kleirijperij marktconform dijkenklei kan produceren. Deze kleirijperij is sterk afhankelijk van de onzekere regionale vraag naar klei en waar deze is gelegen en ook welke eisen aan deze klei worden gesteld.

De businesscase vanuit de dijkversterking betreft een kleirijperij die over een periode van 6 jaar gerijpte klei levert aan de Brede Groene Dollard Dijk. In dit geval wordt een kleirijperij gekoppeld aan een concrete vraag naar dijkenklei over een kortere periode. Hier is de centrale vraag of een kleirijperij voor een dijkversterking voldoende klei van de juiste kwaliteit tegen acceptabele kosten kan leveren voor een dijkontwerp dat uitgaat van een flauw oplopend talud.

De businesscase vanuit de beleidsopgave gaat uit het over langere termijn vervullen van de beleidsopgave door het jaarlijks onttrekken van orde 400.000 ton droge stof[11] uit het Eems-Dollard estuarium. De vraag hierbij is of de beleidsvraag over langere termijn ongewijzigd blijft, en of er met oog op de beoogde ecologische effecten en kosten een voorkeur is voor het onttrekken van het slib uit de haven van Delfzijl of Eemshaven.

De businesscase vanuit het ruimtebeslag kijkt naar het oppervlak wat nodig is om de beleidsmatige business case invulling te geven en wat overwegingen zijn bij het kiezen van een geschikte locatie en de mogelijkheden van medegebruik.

3.4.2. Belangrijkste kostenvariabelen

Meerdere variabelen zijn belangrijk in de businesscase om de kosten en baten van een kleirijperij te berekenen (Royal HaskoningDHV, 2021, Business Case Kleirijperij). De belangrijkste variabelen voor de Pilot Kleirijperij waren: transportkosten, de bron van het (bagger) slib, inrichtingskosten, bijkomende kosten (zoals grond- en bodemonderzoek en vergunningaanvragen), operationele kosten van het kleirijpen, functionele levensduur van de kleirijperij, vraag en aanbod van klei, prijs van dijkenklei, of de resterende klei verkocht wordt en grondkosten (pacht).

De bandbreedte in kosten en baten is groot. De transportkosten voor slib en voor de gerijpte klei zijn verreweg de belangrijkste kosten voor het leveren van gerijpte dijkenklei en deze kosten worden vooral door de locatie bepaald. De baten hangen vooral af van de vraag en deze worden mede door de kwaliteit van de klei bepaald, welke vooral afhangt van het bronmateriaal en minder van de rijping. Als de functionele levensduur van de kleirijperij kort is lopen de kosten per m^3 flink op vooral voor locaties waar de inrichtingskosten hoog zijn of wanneer de nettoproductie van klei laag is.

[11] De beleidsopgave van het jaarlijks onttrekken 400 000 ton droge stof verschilt van de ambitie vanuit het Eems-Dollard 2050 programma om jaarlijks 1 000 000 ton droge stof te onttrekken. Deze laatste opgave is afgeleid van de eindrapportage Economie en Ecologie Eems-Dollard in Balans (2015), waarin wordt geschreven dat “kan worden afgeleid dat de vereiste orde-grootte van de slibonttrekkingen tenminste 1 miljoen ton (als droge stof) per jaar bedraagt.”

De transportkosten, effect van bronmateriaal, inrichtingskosten, bijkomende kosten (procedures), grondkosten en operationele kosten zijn al besproken onder de betreffende projectfase eerder in dit hoofdstuk. Hieronder wordt verder ingegaan op de overige variabelen.

Vraag en aanbod
Voor de businesscase is vraag en aanbod van belang, zowel voor efficiëntie van het proces als voor de opbrengst/kosten van de te leveren klei en resterende klei.

Als vraag en aanbod niet goed op elkaar zijn afgestemd moet rekening worden gehouden met tijdelijke opslag in depots of het tijdelijk beperken van de productie. In depot zetten vraagt extra werkhandelingen, waardoor de kosten per m^3 die in depot is gezet snel hoger worden. Afstemming is van belang tussen de baggerwerkzaamheden en de kleirijperij, tussen productie en levering van gerijpte klei, aanleg van de kleirijperijen en de ontwikkeling van de markt en de beleidsopgave op termijn.

De prijs van dijkenklei wordt bepaald door de vraag naar klei, de locatie van het werk (vanwege de hoge transportkosten) en de aard van het werk (vanwege de vereiste kwaliteit van de klei die wordt gevraagd en kan worden geleverd). De businesscase is veel gunstiger als hoogwaardige klei (klasse I) kan worden geproduceerd. De Pilot Delfzijl laat echter zien dat het vrijwel onmogelijk is om die hoogwaardige klei van klasse I te laten rijpen, vanwege het hoge organische stofgehalte in het bronmateriaal.

Klei die niet als dijkenklei kan worden geleverd, moet wel kunnen worden afgevoerd. Het risico is dat in aanvulling op de rijpingskosten ook nog kosten moeten worden gemaakt voor de afvoer van deze restklei. Gezien de huidige grote vraag naar klei is nu verondersteld in het basisscenario dat de restklei kostenneutraal kan worden afgevoerd. Mocht de vraag naar klei minder worden, dan komen er kosten bij om de restklei af te voeren.

Aanvullende economische baten
Aanvullende economische baten zouden kunnen worden verkregen doordat de functie van kleirijperij gecombineerd kan worden met andere vormen van landgebruik of als compensatiemaatregel voor effecten op natuur van buitendijkse versterking. In dat laatste geval moet het beheer mede op deze natuurcompensatie functie zijn afgestemd. Ervaring uit de pilot toonde dat bewerkingen bijvoorbeeld verstoring opleverden voor natuur.

Risico-opslag
Uit het voorgaande blijkt al wel dat veel factoren van invloed zijn op de kosten en ook de baten van kleirijpen. Veel van deze factoren zijn nog onduidelijk of kennen in de toekomst een onvoorspelbaar verloop. De pilot Delfzijl heeft niet de onzekerheid over alle factoren die van invloed zijn op het kleirijpen kunnen wegnemen, mede ook omdat het kleirijpen sterk afhankelijk is van de weerscondities. Dit maakt dat er in de praktijk sprake zal zijn in een grote bandbreedte om kosten en baten. Het kan meezitten, maar wat betreft veel variabelen kan het vooral ook tegenzitten. Er is daarom in de berekeningen gebruikt gemaakt van een risico-opslag die gebaseerd is op de kosten-en baten verhouding van scenario's met gunstige en ongunstige uitgangspunten.

3.4.3. Businesscase kleirijperij Delfzijl en Kwelder

In de businesscase-analyse zijn zes basistypen kleirijperijen onderscheiden. In dit eindrapport gaan we kort in op de twee types die het meest lijken op de kleirijperij Delfzijl en kleirijperij kwelder. Meer informatie inclusief informatie over de overige basistypen is te vinden in Fiselier en De Reus (2023).

Tabel 3-4 geeft op hoofdlijnen de verschillen aan tussen de businesscase voor type Delfzijl en Kwelder. Het type **Delfzijl** is gaat uit van inzet van baggerslib uit de haven van Delfzijl en is in feite een opgeschaalde pilot Delfzijl. Het type **Kwelder** ligt buitendijks en dicht bij de plek waar de gerijpte klei wordt ingezet. Het type lijkt op de pilot Kwelder, maar is opgeschaald en wordt gevuld met lokale bagger, uit slibputten, zoals is gebeurd voor de pilot. In beide typen gaat het om opschaling tot het jaarlijks onttrekken van 400.000 ton droge stof uit het Eems-Dollard (zie H3.4.1).

Tabel 3-4 Belangrijkste verschillen in uitgangspunten tussen de basistypen Delfzijl en Kwelder die in de businesscase zijn uitgewerkt.

Uitgangspunt	Basistype Delfzijl	Basistype Kwelder
Startpunt van businesscase	Beleidsopgave	Inzet op werk
Bronmateriaal	Dunne bagger vanuit haven Delfzijl	Dikke bagger/klei vanaf kwelder
Eigenschappen rijpingslocatie	Nabij locatie bronmateriaal Bedrijventerrein, hoge grondkosten	Nabij toepassingslocatie Kwelder, lagere grondkosten

Voor de businesscase-analyse zijn verschillende aannames gedaan op basis van de pilot resultaten (voor zover bekend in 2020/2021) over de rijpingsduur, productie, inrichtingskosten, vaar- en persafstanden en transportafstanden. Daarnaast is gevarieerd met:

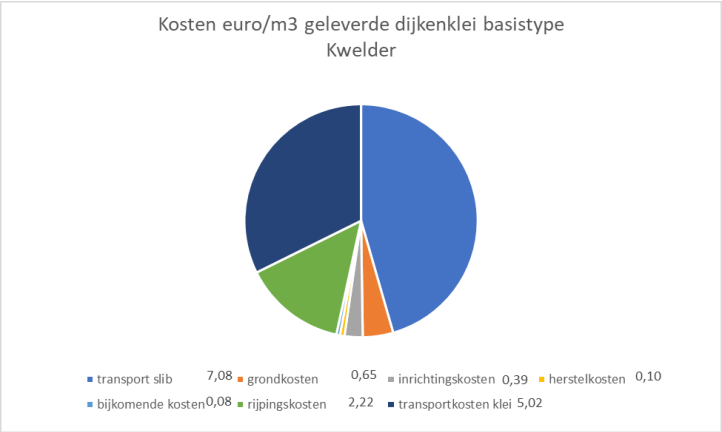
1. Het volume en afstanden bij transport van slibbron naar kleirijperij;
2. Samenstelling van het bronmateriaal (droge stofgehalte/organisch stofgehalte);
3. Transportafstand van kleirijperij naar de toepassingslocatie;
4. De marktprijs van dijkenklei uit het rivierengebied of andere bronnen;
5. De kwaliteit en inzetbaarheid van de gerijpte klei;
6. Het aandeel restklei/ niet verkoopbare klei en eventuele kosten hiervan;
7. De levensduur van de kleirijperij;
8. De omvang van de kleirijperij;
9. Vermeden kosten (bijv. van huidig baggerwerk).

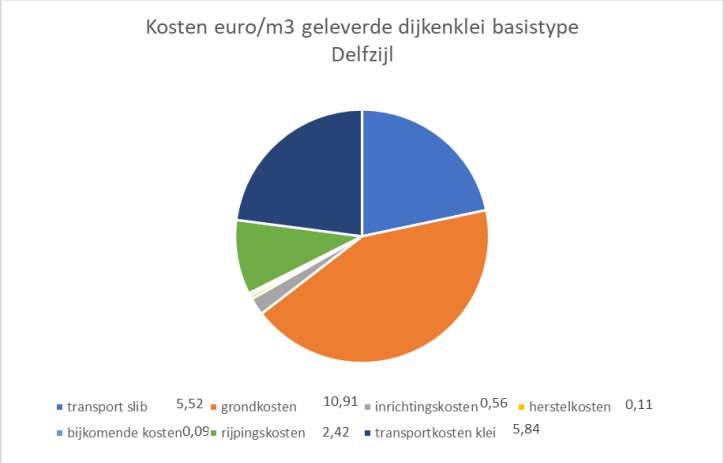
Om inzicht te krijgen in het effect van een aantal grote onzekerheden in de uitgangspunten is gewerkt met verschillende scenario's (basis-, ongunstig en gunstig scenario).

Voor de verschillende typen kleirijperijen en scenario's is inschatting gemaakt van de opbouw van de kosten (euro/kuub). Figuur 3-7 geeft de kostenverdeling voor kleirijperij type Delfzijl en Kwelder bij het basisscenario. Voor zowel kleirijperij Delfzijl als Kwelder vormen de transportkosten van het slib en de klei een belangrijk onderdeel van de prijs per kuub. Verder zijn de grondkosten, rijpingskosten van belang. Met name bij het type Delfzijl, die uitgaat van een locatie met hoge economische waarde (en dus hoge pachtprijs), zijn de grondkosten daarnaast ook heel belangrijk voor de totaalprijs. De inrichtingskosten vormen een beperkt deel van de totaalprijs per kuub bij aannames die voor deze businesscase zijn gedaan.

Voor een kleirijperij bij Delfzijl (maar niet direct op het industrieterrein, waar huurkosten hoog zijn) zijn de kosten ruim 20 euro per m^3 klei (prijspeil 2021). Dit is vergelijkbaar met de marktprijs. Wat betreft de reguliere kosten voor het klei bestaat echt een vraagmarkt. De daadwerkelijke prijs is sterk afhankelijk van lokaal vrijkomende klei uit andere werken. Voor het extern aanvoeren van klei wordt in Nederland een prijs van circa 20 euro per kuub aangehouden. De kosten kunnen echter fors hoger zijn, in het bijzonder bij moeilijk bereikbare locaties, zoals ten zuidoosten van Delfzijl.

Meer informatie over alle uitgangspunten en uitkomsten van andere varianten en scenario's is te vinden in Fiselier en De Reus (2023). De businesscase is grotendeels opgesteld in 2021 en bevat daardoor in mindere mate de informatie uit de jaren erna. Voor het project VLOED (Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard) is recenter nog een MKBA (maatschappelijke kosten-batenanalyse) opgesteld (Klooster, 2023). In deze MKBA zijn ook de inzichten uit de versterking van de Dollarddijk over de afgelopen 2 jaar meegenomen.





Figuur 3-7 Overzicht van de kostenverdeling bij kleirijperij type Delfzijl (€ 25,11 per m^3) en Kwelder (€ 15,54 per m^3) in het basisscenario (Fiselier en De Reus, 2023).

3.4.4.Maatschappelijke baten

Bij een kleirijperij zijn er ook (maatschappelijk) baten die meegenomen moeten worden in de businesscase. Bij de Pilot Kleirijperij waren er (mogelijke) baten gekoppeld aan een gezond ecosysteem, tijdelijke natuur, het gebruik van hernieuwbare grondstof (slib), de regionale economie, landschap en aanvullende economie (Fiselier en de Reus, 2023, Business Case Kleirijperij). Daarnaast zijn er de vermeden kosten welke ook als maatschappelijke baat kunnen worden gezien (minder CO_2 en stikstof uitstoot).

Door slib te onttrekken draagt de Pilot Kleirijperij bij aan een gezond Eems Dollard ecosysteem. Het gaat dan om het verhogen van de primaire productie, grotere voedselrijkdom, meer biodiversiteit en mogelijk ook een kleine verlaging van de slibbelasting van vaargeulen en havens.

Het slib kan ook gebruikt worden voor (tijdelijke) natuur, voor bijvoorbeeld foeragerende steltlopers. Hier is in het kader van de pilot geen onderzoek naar gedaan. Zeker bij een grote kleirijperij kan er voldoende rust en voedsel zijn voor vogels om te verblijven (mits er niet te vaak bewerkingsmethoden worden toegepast gedurende het jaar).

De baten die zijn gekoppeld aan het gebruiken van een hernieuwbare grondstof kunnen zijn een verbeterd imago, doorvoeren beleid en minder CO_2-emissie. De CO_2-emissie kan relatief klein zijn als de klei in de regio wordt afgezet in plaats van dat het uit het rivierengebied moet komen. Besparingen komen vanuit inzet van minder materieel, vooral door minder transport en vermeden kosten van emissies (CO_2 en stikstof). Het vormen van methaangas of emissie van CO_2 door het rijpen van klei is nihil omdat vrijwel geen organische stof wordt afgebroken.

3.4.5. Opschaling en optimalisatie van de businesscase

Zoals hierboven benoemd is de haalbaarheid van een kleirijperij afhankelijk van veel factoren. Daarom kan niet zomaar aangegeven worden of het maken van een kleirijperij voor een dijkversterking nu wel of niet sluitend te maken valt. Per locatie moet gekeken worden hoe de kleirijperij het beste kan worden aangelegd en of dat rendabel is.

Bij het opschalen van de kleirijperij kan op een aantal kosten worden bespaard, zoals de compartimenten, en onderzoek. Daarnaast kan er bij opschaling gewerkt worden met vaste leidingen. Dit is kostentechnisch voordeliger. Bij opschalen is het idee ook om langer/vaker te rijpen in dezelfde depots zodat de levensduur van de kleirijperij langer is, waarmee kosten van inrichting minder zwaar wegen op de m^3 gerijpte klei.

Daarnaast zijn er ook wat zaken waar rekening mee gehouden moet worden. Bij opschaling gaat het niet meer om een pilot of tijdelijke bestemming zodat rekening gehouden moet worden met procedures voor het wijzigingen van het bestemmingplan. Een grotere kleirijperij vraagt om meer effect onderzoek. Voor de pilot is de afzet bekend, voor toekomstige kleirijperijen nog niet en moet rekening worden gehouden met de noodzaak om ook tijdelijke depots in te richten, zodat vraag en aanbod op elkaar kunnen worden afgestemd.

Ten opzichte van de Pilot Kleirijperij kunnen er kosten geoptimaliseerd worden voor opschaling van een kleirijperij. De transportkosten kunnen zo minimaal mogelijk gehouden worden, door de afstanden van de bron, kleirijperij en dijk zo klein mogelijk te houden. Bijvoorbeeld door de kleirijperij op de kwelder te leggen.

Om de grondkosten minimaal te houden is het mogelijk aantrekkelijk om de kleirijperij buitendijks aan te leggen. Een ander voordeel van een buitendijkse kleirijperij is dat, mits de klei uit hetzelfde systeem komt, de milieu hygiënische kwaliteit van de klei minder relevant is. De reden hiervoor is dat het deel uitmaakt van hetzelfde waterlichaam als waar het slib is uitgehaald.

De inrichtingskosten kunnen ten opzichte van de Pilot Kleirijperij beperkt worden. Bij de inrichting van de pilot zijn veel extra kosten gemaakt, onder andere voor het maken van een groot aantal compartimenten, waarmee verschillende werkwijzen kunnen worden beproefd. Bij het opschalen wordt uitgegaan van de werkwijze die het beste zal werken. In afwijking van de pilot is bij opschaling een minimale inrichting mogelijk met beperktere kosten. Minimaal is de aanleg van een ringsloot en een compartimenteringsdam per compartiment. Duurder is de aanleg van een zandbed met drainage, waarvan in de kleirijperij is aangetoond dat daarmee de rijping sneller en mogelijk ook kosten-effectiever gaat.

3.4.6. Onzekerheden bij toekomstige toepassing en opschaling

Veel factoren zijn van invloed op de kosten en baten van kleirijperijen. Veel van deze factoren zijn onduidelijk of kennen in de toekomst een onvoorspelbaar verloop. De kennis die bij de pilot is ontwikkeld heeft bijgedragen aan meer zekerheid op dit vlak, maar in de praktijk zal er nog steeds sprake zijn van een grote bandbreedte om kosten en baten. Er zijn echter ook zaken die nu alweer anders liggen dan op het moment toen de businesscase werd opgesteld. Hieronder gaan we in op een aantal van de onzekerheden.

Voor een kleirijperij ben je o.a. afhankelijk van de vraag naar klei. De vraag vanuit dijkversterkingsprojecten is nu nog onduidelijk en dat geldt ook voor de mogelijke ontwikkeling van de beleidsopgave en het deel wat daarvan aan de kleirijperijen wordt toebedacht. Vooral een mismatch die leidt tot een korte functionele levensduur leidt tot flinke extra kosten. Hetzelfde geldt voor een kleirijperij die klei produceert waar geen vraag naar is. De marktprijs van de klei hangt ook af wat tegen welke kosten vanuit het rivierengebied dijkenklei kan worden geleverd. Op dit moment wordt verwacht dat de marktprijs de komende jaren zal stijgen, in verband met de grote vraag naar klei.

Weersomstandigheden zijn ook een belangrijke onzekerheidsfactor. Een natte zomer maakt dat het slib minder snel kan rijpen tot klei die ook wat betreft het vochtgehalte voldoet aan de eisen voor dijkenklei. In natte jaren kan de productie daarmee tegenvallen, terwijl in jaren met een droge zomer de productie niet hoger kan worden dan vooraf werd voorzien.

Aangezien de transportkosten een belangrijk onderdeel vormen van de totale prijs zijn onzekerheden hierin ook belangrijk. De transportprijs wordt onder andere beïnvloed door marktschommelingen in brandstofprijzen en vraag en aanbod van transport. De conclusies uit de businesscase zijn gebaseerd op de transportkosten van voor de energiecrises van 2022. Daarna zijn de brandstofprijzen zijn sterk omhooggegaan. Het effect op de toename in kosten voor de verschillende vervoerswijzen (per as of per beunschip) was vergelijkbaar. In de toekomst moet daarnaast ook rekening gehouden worden op eventuele extra kosten die gemaakt moeten worden voor het beperken van de stikstofemissie op verschillende transportwegen.

4. Bredere toepassing en opschaling

De Pilot had als doelen (1) het ontwikkelen van kennis en (innovatieve) methoden waarmee slib in betrekkelijk korte tijd in klei van een bepaalde kwaliteit kan worden omgezet (= onderzoeksdoel) en (2) het daadwerkelijk leveren van de benodigde hoeveelheid dijkenklei aan het proeftracé van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (= productiedoel). Inmiddels is de klei geleverd. De ontwikkelde kennis kan nu ingezet worden voor bredere toepassing en opschaling.

De belangrijkste kennis die is opgedaan staat samengevat in Hoofdstuk 3. Op basis hiervan is een leidraad voor het opzetten van toekomstige kleirijperijen opgesteld met advies over op welke wijze opschaling voor het rijpen en leveren van grotere hoeveelheden klei zou kunnen worden gerealiseerd (H4.1). Vervolgens gaan we nog in op mogelijke toepassingen naast een dijkversterking, projecten die lopen op dat vlak en welke aanvullende kennisvragen hierbij spelen (H4.2).

4.1. Leidraad voor het opzetten van een Kleirijperij

De onderzoeken, metingen en ervaringen binnen de Pilot Kleirijperij liggen ten grondslag aan een advies over op welke wijze opschaling voor het rijpen en leveren van grotere hoeveelheden klei zou kunnen worden gerealiseerd. Dit advies geldt voor het rijpen van marien slib (zoals het bijvoorbeeld voorkomt in de Zuidwestelijke Delta en de Eems-Dollard). Zes kritische factoren spelen hierbij een rol: ruimte, tijd, omgevingsfactoren, rijpingsmethodieken, kosten en risico's:

1. Ruimte
    - Beschikbare hoeveelheid terreinoppervlak om slib te rijpen
    - Locatie van dit terrein t.o.v. de slibbron + wijze van slibtransport
    - Locatie van dit terrein t.o.v. de eindlocatie + wijze van kleitransport
    - Beschikbare hoeveelheid terreinoppervlak om gerijpte klei (tijdelijk) op te slaan

2. Tijd
    - Beschikbare hoeveelheid tijd om het totaal volume aan klei te produceren
    - Invloed van de seizoenen op het rijpingsproces
    - Beste moment voor inbrengen van het slib
    - Beste moment voor het leveren van de gerijpte klei

3. Omgevingsfactoren
    - Invloed van het weer op het rijpingsproces
    - Invloed van de ondergrond op het rijpingsproces
    - Invloed van klei rijpen op de ondergrond en de toepassingslocatie (milieuperspectief)
    - Milieutechnische en fysische kwaliteit van het te leveren slib
    - Levering van slib
    - Sociaaleconomische effecten op de omgeving door veranderende activiteiten

4. Rijpingsmethodieken
    - Geotechnische eigenschappen ingangsmateriaal
    - Eisen eindproduct
    - Inrichting depot
    - Drainerende zandlaag en/of drainageleidingen als ondergrond
    - Moment en hoeveelheid van in te brengen slib (laagdikte)
    - Waterhuishouding
    - Ringsloot + eventueel afvoeren van zout water
    - Omzetten van de klei
    - Begroeiing

- In depot zetten van klei
-

5. Rijpingsmethodiek

6. Kosten
    - Kosten per m^3 gerijpte klei
    - Kosteneffect bepalen voor langere uitvoeringstijd met minder omzetten
    - Flexibiliteit levering klei als gevolg van omgevingsfactoren

4.1.1. Ruimte

Ruimte en tijd zijn aan elkaar gekoppeld bij een bepaalde hoeveelheid klei die moet worden geproduceerd. Als er meer ruimte beschikbaar is, dan neemt logischerwijze de hoeveelheid klei die geproduceerd kan worden toe. Belangrijk is dus te bepalen hoeveel klei er per hectare kan worden geproduceerd. Bij hoeveelheden klei is het belangrijk om duidelijk te beschrijven wat er met een ton of m^3 klei wordt bedoeld (verdicht, los, nat, verzadigd etc.), omdat dat beeld bij de diverse partijen kan verschillen.

De positionering van het kleirijperij depot t.o.v. de slibbron en de eindlocatie van de te leveren klei heeft grote invloed op latere transportkosten en de daarbij behorende druk op de omgeving. De meest logische manier (minste omgevingshinder en laagste kosten) om grote hoeveelheden slib over land te vervoeren is met een persleiding. Gerijpte klei wordt per beunschip of vrachtwagen getransporteerd aangezien transport via persleiding niet mogelijk is zonder het opnieuw toevoegen van proceswater. Bij het vastleggen van een terreinlocatie dient de wijze van transport goed afgestemd te zijn met alle belanghebbenden (aannemers, bewoners, waterschap, gemeenten, terreineigenaar/-beheerder, Rijkswaterstaat etc.) zodat vergunningen kunnen worden geregeld en iedereen zich achter de plannen kan scharen.

Afhankelijk van de gekozen werkmethodiek kan er gekozen worden om terrein beschikbaar te houden voor opslag van gerijpte klei, bijvoorbeeld om bij het leveren van de klei een continue aanvoer te hebben. Het extra/tussentijds opslaan van klei op een andere locatie kost relatief veel geld; transportbewegingen en tussentijdse opslag moeten altijd geminimaliseerd worden.

4.1.2. Tijd

Tijd, ruimte en kosten zijn onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Het snel uitvoeren van een project kan veel geld besparen, omdat het in stand houden van projectteams, logistiek, vergunningen, terreinhuur etc. veel geld kost. Echter, zal bij het laten rijpen van klei, het projecttempo bepaald worden door de hoeveelheid klei die jaarlijks geproduceerd kan worden. Dit is vooral afhankelijk van de grootte van het terrein dat er beschikbaar is om de klei te laten rijpen, en in mindere mate afhankelijk van de gekozen werkmethodiek. Hierbij wordt er dus vanuit gegaan dat er voldoende slib beschikbaar is en dat er een grote vraag is naar klei. Het zou mogelijk kunnen zijn om kosten op bewerken te besparen door simpelweg te wachten, maar daar hoort dan vervolgens wel een langere uitvoeringstijd bij. Het exacte optimum is sterk afhankelijk van grondprijs, ingangsmateriaal en klimaat en moet voor ieder project apart worden bepaald.

Seizoenswerking is een andere belangrijke factor. In Nederland zal het rijpen vooral in de warmere en veelal drogere zomermaanden plaatsvinden. Daarbij mag ook niet overal het gehele jaar door aan bijvoorbeeld een dijk worden gewerkt. Belangrijk is dat de planning op alle randvoorwaarden wordt afgestemd. Het heeft voor het rijpingsproces bijvoorbeeld niet zoveel zin om in de wintermaanden de klei om te zetten. Ook zal klei die al gerijpt is in de wintermaanden weer natter worden. Het is daarom essentieel om rekening te houden met de seizoenen. Het vullen van de depots met slib kan het beste uitgevoerd worden in het late najaar zodat in de winterperiode het eerste deel van de consolidatie kan plaatsvinden waardoor een deel van het water al kan afstromen. Vervolgens komt het zomerseizoen waarbij de daadwerkelijk rijping van het materiaal plaatsvindt en eventuele rijpingsbevorderende maatregelen (bewerkingen) uitgevoerd kunnen worden. Zeker als het slib met een lage dichtheid wordt ingebracht, kan het bezinkingsproces en een eerste stuk consolidatie in het natte koude seizoen

plaatsvinden. Zodra de zon begint te schijnen en het warmer wordt kan vervolgens het water eraf gelaten worden zodat het echte rijpingsproces kan beginnen.

Daarnaast speelt de beschikbaarheid van slib een rol in de planning voor het vullen van de depots. Indien gebruik gemaakt wordt van onderhoudsslib zal ook de planning van de baggerwerkzaamheden een rol spelen. Onderhoud van havens vindt doorgaans gedurende het gehele jaar plaats. De onderhoudsbehoefte zit ook niet in één maand, dus alle depots vullen in één maand is vanuit het onderhoudsbaggeren gezien niet realistisch.

Er kan ook gekozen worden om de grotendeels gerijpte klei in de winter te laten liggen, deze klei bij aanvang van het zomerseizoen nog wat na te laten drogen en vervolgens te leveren en te verwerken in een dijk. De consequentie is echter dat het depot dan niet elk jaar gevuld kan worden. Ook kost het in depot zetten van klei geld. Het onnodig verplaatsen van klei moet zoveel mogelijk worden voorkomen.

4.1.3. Omgevingsfactoren

Het weer is de belangrijkste omgevingsfactor voor het rijpingsproces. Het is dus belangrijk om alles zo in te richten dat de invloed van het weer beheersbaar is. Idealiter heeft weer geen invloed op de planning en organisatie, en alleen op kosten. Oftewel, in een natte zomer moet je vaker de klei omzetten. Wanneer het gehele project 10 jaar duurt zijn deze kosten goed in te schatten bij een normale afwisseling van natte en droge zomers (3x natte zomer, 4x normale zomer, 3x droge zomer). Het omzetten of het op een andere manier bewerken van het materiaal zal toch een soort jaarlijks terugkerend proces zijn, waarvan de frequentie afhankelijk van de weersomstandigheden zal verschillen.

Als de ondergrond van klei is, zal water nauwelijks in de bodem dringen. Voor het ontwateren en rijpen van klei heeft de ondergrond in dat geval dus weinig tot geen effect. Echter zal het grond- en oppervlaktewater gaan verzilten wanneer meerdere jaren zout slib wordt aangebracht. In welke mate dit zal plaatsvinden en hoelang het duurt voordat de situatie van voor het kleirijpen is bereikt is moeilijk in te schatten, maar zeker meetbaar. In hoeverre dat een zorgpunt is, is afhankelijk van de aanwezige hoeveelheid zout in het grondwater; en dus ook vaak van de afstand tot de zee. Het teruggaan naar oorspronkelijk aanwezige waarden zal jaren in beslag nemen. Bovendien zul je bij inrichting van een kleirijperij in binnendijkse gebieden aandacht moeten hebben voor de eventuele uitstralingseffecten buiten het projectgebied en het nemen van mitigerende maatregelen.

Bij het onttrekken van het slib moet vooraf gekeken worden naar de eigenschappen, zowel milieukundig als fysisch, om na te gaan wat de toepasbaarheid van het materiaal is. Daarbij speelt zandgehalte een rol (10-20% zand zal de rijping vergemakkelijken)[12], maar ook slibtype.

Bij het baggeren van geschikt materiaal kan financieel het beste worden aangesloten bij baggerwerkzaamheden die toch al moeten worden uitgevoerd (zoals in havens en vaargeulen). Daarbij kan het zijn dat de timing niet altijd aansluit: ook in de zomermaanden is er onderhoud, een moment dat de kleirijperij mogelijk geen slib wil ontvangen. Daarnaast kan de wijze van baggeren en het aanwezige (bagger)materieel ongeschikt zijn voor het op gewenste wijze inbrengen van slib in het depot. Tijdige afstemming hierin is belangrijk. Het is een voordeel als slechts een deel van de baggeropgave op land hoeft te worden gebracht, zodat het juiste materiaal in de juiste periode wordt geselecteerd voor toepassing op land of dat slim kan worden afgestemd met andere nuttige toepassingen van het slib.

Ten slotte zal de omgeving er een aantal jaren behoorlijk anders uit gaan zien. Financieel zullen er afspraken gemaakt moeten worden met de perceeleigenaren over het gebruik maken van de gronden voor inrichting en exploitatie van een kleirijperij. Hierin dient ook rekening gehouden te worden met de zoutere ondergrond na ontmanteling van de kleirijperij t.o.v. de nulsituatie. Of dat überhaupt is toegestaan is afhankelijk van de staat van de ondergrond bij de start (wordt bijvoorbeeld de streefwaarde al overschreden), de mate waarin de bodem wordt gewijzigd en het lokale wetgevende

[12] Het slib uit de slibvang van de Haven van Delfzijl bevatte weinig tot geen zand. De klei die vanuit de Valgenweg is geleverd bevatte wel wat zand dat vermoedelijk is meegekomen uit de drainerende zandlaag.

kader (bijvoorbeeld lokale maximumwaarden). Het duurt namelijk nog een aantal jaren voordat al het zout in de ondergrond is uitgespoeld. Om zoutindringing in de ondergrond te verminderen of te voorkomen kan gedacht worden aan het toepassen van een folie in het depot. Het toepassen van een dergelijke mitigerende maatregel is duur en beperkt ook de snelheid van rijpingsproces omdat er geen water via de ondergrond kan verdwijnen. Bovendien is het technisch ingewikkeld om dit over grote oppervlakken te installeren en gaat dit stuk bij het ontgraven van de gerijpte klei. Het toepassen van een folie is dan ook niet aan te bevelen. Naast de perceeleigenaar zijn er andere stakeholders die iets zullen vinden van het kleirijperij-concept op een dergelijke locatie. Op tijd alle stakeholders in kaart brengen, bevragen en de plannen toe te lichten is evident.

4.1.4.Rijpingsmethodieken

Bij de inrichting van het depot is het essentieel om te denken aan de waterhuishouding. Immers, de focus ligt in beginsel voornamelijk op het ontwateren van het slib. Ook voor het vullen van de depots met slib is het belangrijk dat de vulpunten, route van de persleidingen en locatie van de stortkisten goed zijn uitgedacht. Het slib dat wordt ingebracht heeft idealiter een dichtheid van boven de bezinkdichtheid, tussen de 1,16 en 1,20 ton/m^3. Dan beperk je de hoeveelheid proceswater, heb je geen bezinking en heb je eigenlijk tijdens het vullen van de depots de stortkisten niet nodig. Bij langere persafstanden is het verpompen van slib met hogere dichtheden lastig en kan er gekozen worden om verdund slib in te brengen. In dat geval heb je veel proceswater nodig dat ook snel weer moet worden afgevoerd door de stortkisten.

De stortkisten zijn ook nodig voor het afvoeren van regenwater. De stortkisten komen uit op de bestaande sloten die om het terrein liggen. Deze sloten kunnen - op binnendijkse locaties - tijdelijk niet op het omliggende poldersysteem aangesloten blijven omdat deze sloten ongetwijfeld zullen verzilten (tenzij zoutgehaltes al vooraf worden gereduceerd). Overtollig zout water moet dan terug naar het mariene estuarium worden vervoerd.

Het enige wat je kan doen is het zoutgehalte verlagen door het slib te verdunnen met zoet water waardoor de zoutlast snel tot ca. 80% kan worden teruggebracht. Dat komt omdat door verdunnen een laag dichtheidsmengsel ontstaat, dat makkelijk bezinkt, waardoor het bovenliggende water (met zout) snel kan worden afgevoerd. Bij het gebruik van grote hoeveelheden zoet water kan de beschikbaarheid een knelpunt gaan vormen, met name in de zomerperiode. Het is dan ook aan te bevelen om het verdunnen met zoet water uitsluitend te doen in de winterperiode waarbij er sprake is van een neerslagoverschot.

Een zandige ondergrond – in tegenstelling tot een kleiondergrond - versnelt de ontwatering en afvoer van water doordat de afstroomafstand in het verticale vlak bijna halveert: 2-laagse consolidatie. Bij een kleibodem kan een speciaal daarvoor aangebrachte zandlaag met drainage het ontwatering-/consolidatieproces versnellen. Rijping is echter meer dan ontwatering alleen. Het positieve effect van een speciaal aangebrachte zandlaag met drainage neemt af bij afnemende laagdikte. Het advies luidt om ingebrachte sliblagen te hanteren van minder dan 1 meter, hierdoor zal het effect van een drainerende zandlaag hoogstwaarschijnlijk niet opwegen tegen de kosten daarvan. Bovendien zal de zandlaag iedere paar jaar moeten worden aangevuld omdat er altijd zand vermengd wordt met de klei tijdens het omzetten en leeghalen van de depots. Het advies is dan ook om geen zandlaag met drainage toe te passen. De stortkisten kunnen direct aangesloten worden op een pompsysteem dat het zoute water terugpompt naar de zee/het estuarium. Een aparte ringsloot graven is dan ook om deze reden niet nodig. Een aparte ringsloot kan echter ook een functie hebben om geïnfiltreerd zout water uit de ondergrond op te vangen waardoor negatieve uitstralingseffecten voorkomen wordt.

Als er geen drainerende onderlaag wordt aangebracht wordt de waterhuishouding wel extra belangrijk. Als er plassen in het depot staan stopt het rijpingsproces op deze locaties volledig. Rijping gebeurt onder invloed van de atmosfeer (zon, regen, wind, warmte). Rondom de depots zullen perskades het slib in depot houden. Deze perskades moeten niet hoger worden gebouwd dan nodig zodat je goed bij het terrein kan komen met materieel. Regenwater kan uittreden via de stortkisten, en als het slib voldoende aan dichtheid heeft gewonnen en niet meer dicht vloeit heeft het meerwaarde om langs de binnenkant van de perskades kleine greppels te trekken zodat het water goed weg kan stromen.

In het tijdsbestek van het vullen, omzetten en rijpen is niet te verwachten dat er veel begroeiing op het terrein zal komen. Dat geldt zeker voor slib van een zeehaven (zoals uit het Zeehavenkanaal), dat nauwelijks zaden in zich heeft. Voordat er zaden het depot zijn ingewaaid en uitgekomen is de klei alweer een keer omgezet, wat ook de plantengroei verhindert.

Het is in een normale zomer niet mogelijk om het slib dat in de wintermaanden in depot is gebracht en in de zomer is gerijpt vóór het stormseizoen in de dijk te verwerken. Het is daarom de vraag wat je met de gerijpte klei gaat doen in de wintermaanden. Het in depot zetten kost geld, maar het laten liggen van de klei vraagt in de volgende lente eerst weer wat tijd om de klei te drogen of nog een keer om te zetten. De klei 1x omzetten is ongeveer 4 maal goedkoper dan om het te verplaatsen en in depot te zetten. Echter als je de klei in de winter laat liggen kun je het depot niet opnieuw vullen.

Indicatie laagdikte voor optimale rijpingsstrategie

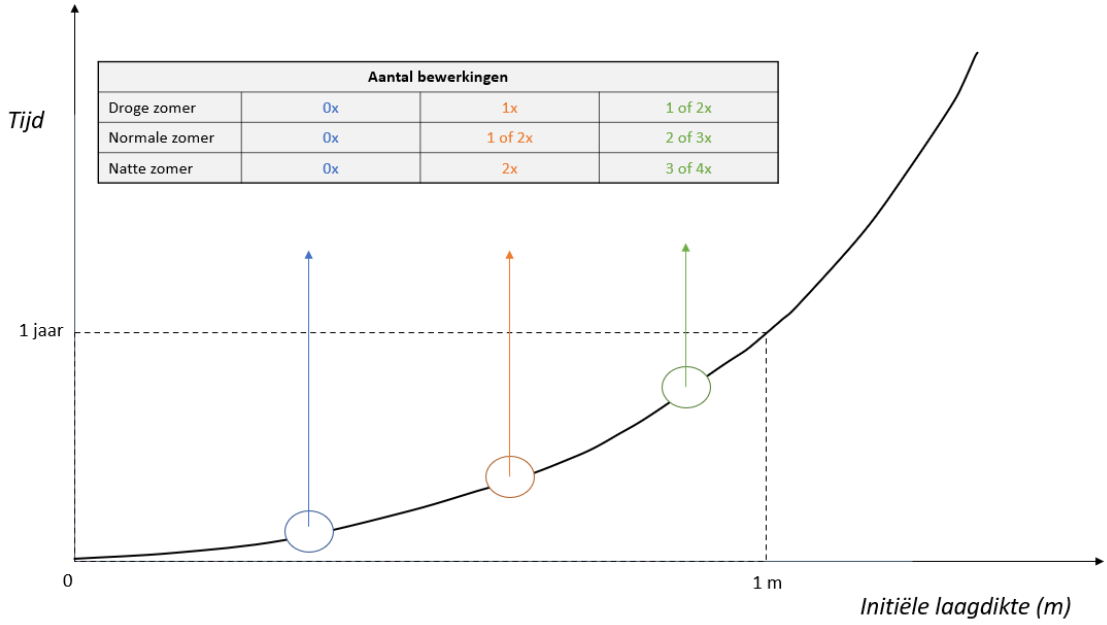
Een optimale rijpingsstrategie is afhankelijk van de doelen die er bij aanvang van het project gesteld worden. Daarnaast kunnen er randvoorwaarden zijn die de keuzes in de rijpingsstrategie beïnvloeden. Is tijd de beperkende factor? Is ruimte de beperkende factor? Hoeveel materiaal is er beschikbaar? De hoeveelheid slib bepaalt uiteindelijk hoeveel klei gemaakt kan worden. Wegen de kosten van de bewerkingen op tegen het eerder beschikbaar hebben van de klei?

Tijd, ruimte en kosten zijn onlosmakelijk aan elkaar verbonden. De laagdikte van het slib volgt uit de hoeveelheid materiaal en de beschikbare ruimte. Bij de rijping is de initiële laagdikte van het slib erg belangrijk. Grofweg geldt hier een kwadratische relatie: een verdubbeling van de initiële hoogte leidt tot een verviervoudiging van de tijdsduur. Om het rijpingsproces te versnellen kunnen er bewerkingen uitgevoerd worden (omzetten, op ruggen plaatsen, klei afschrapen etc.).

De vraag is op welke wijze er op een effectieve en efficiënte wijze zoveel mogelijk klei geproduceerd kan worden. Op basis van de ervaringen uit de pilot luidt het algemene advies om laagdiktes < 1 m te hanteren voor een kleirijperij. De meest effectieve bewerkingen in de Pilot Kleirijperij vonden plaats op het moment dat de klei plastisch gedrag vertoonde. Gezien de relatief grote laagdiktes gebruikt in de pilot bleek het meest effectief te zijn om op het moment dat de klei voldoende draagkrachtig was deze om te zetten met een cultivator en vervolgens de gedroogde korst eraf te schrapen. Laagdiktes > 1 m zijn ook vanuit van het eventueel uitvoeren van bewerkingen niet wenselijk.

Bij een te grote laagdikte wordt omzetten minder effectief. Immers, alleen de bovenste 30 tot 40 cm materiaal zal gaan rijpen. Bij een laagdikte van bijvoorbeeld 200 cm zal een groot deel van het omgezette materiaal nog steeds niet in de bovenste 30 tot 40 cm terecht komen. Die klei is dus voor niks omgezet.

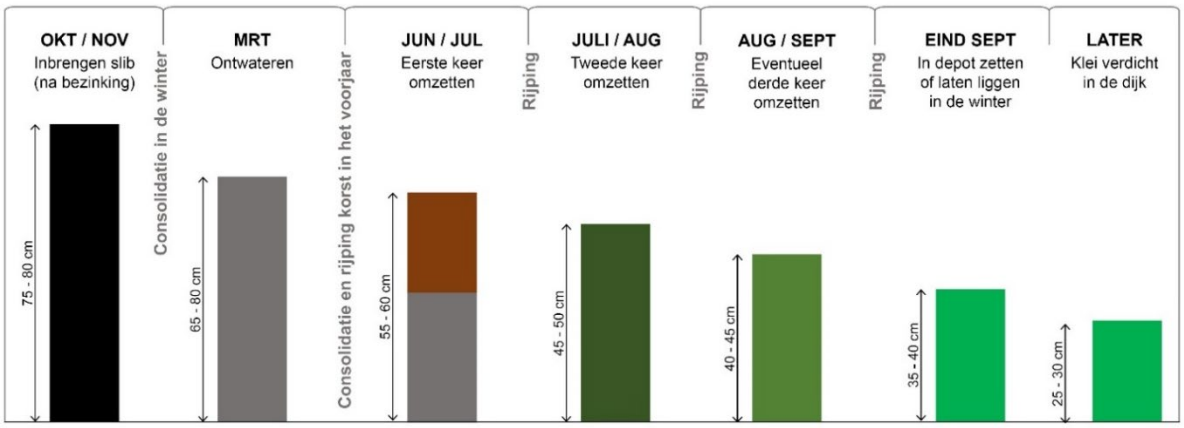
Om inzicht te geven in een optimum zijn hieronder een aantal grafieken weergegeven. In Figuur 4-1 is voor een initiële laagdikte van ca. 30, 60 en 90 cm weergeven wat de verwachting is met betrekking tot de rijpingsduur en het aantal noodzakelijke bewerkingen om binnen 1 jaar te komen tot gerijpte klei. De grafiek laat zien dat er theoretisch gezien geen bewerkingen nodig zijn bij een dunne sliblaag tot 30 cm, maar hierbij moet worden opgemerkt dat dit na rijping ca. 10 cm klei oplevert dat in de zomerperiode uitdroogt en harde brokken vormt wordt waardoor verwerking in de uiteindelijke toepassing lastiger is. Daarnaast zijn de kosten per m^3 voor het ‘oogsten’ van een dunne laag klei hoger dan bij een dikkere laag in verband met de productiesnelheden.



Figuur 4-1 Laagdikte in relatie tot rijpingstijd voor een laagdikte van ca. 30, 60 en 90 cm. Het aantal bewerkingen om te komen tot gerijpte klei is gebaseerd op een gewenste rijpingsduur van maximaal 1 jaar.

Bij het inbrengen van 75-80 cm aan slib zal er eerst consolidatie optreden (ca. 10 cm) en de korst zal gedurende de zomer uitdrogen. Dit kan in een droge warme periode erg snel gaan (bijv. 1 maand). Als er veel regen valt kan dit langer duren (bijv. 3 maanden). Uiteindelijk zal er bij een laagdikte van 75-80 cm, uitgaande van 1 jaar rijping, altijd moeten worden omgezet. Echter de dikte van de gedroogde en gebarsten korst zal dan ongeveer gelijk zijn aan de dikte van de slappe, iets ingedikte (kwark), sliblaag daar onder. Inschatting is dat met 1 à 2 omzettingsslagen in een droge zomer, 2 à 3 omzettingsslagen in een normale zomer, en 3 à 4 omzettingsslagen in een natte zomer de klei aan het einde van de zomer gereed zou moeten zijn. Er zal altijd minimaal 1 omzettingsslag moeten plaatsvinden.

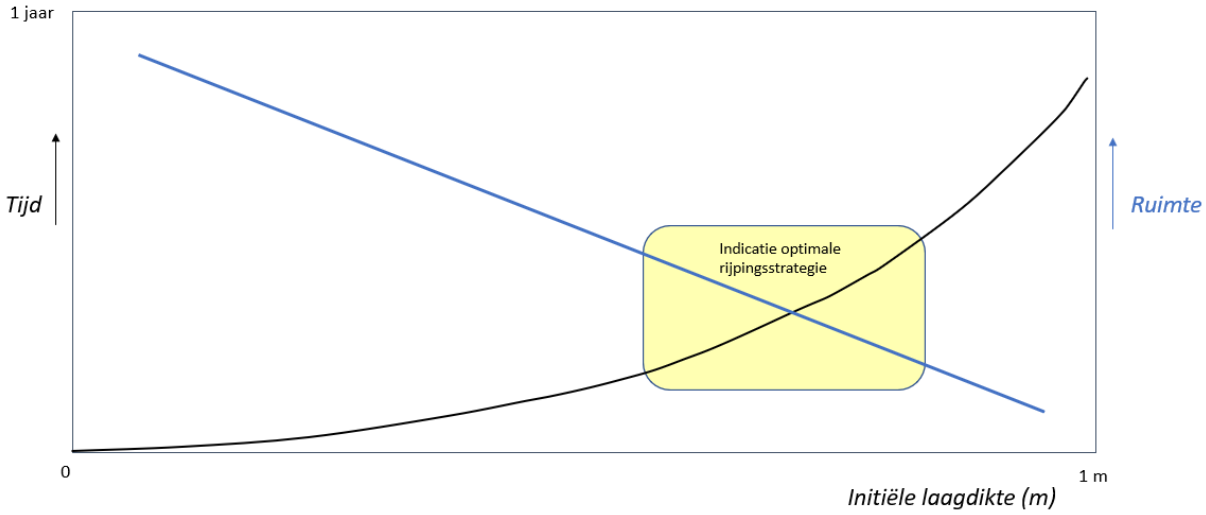
De verhouding slib t.o.v. gerijpte en verdichte klei in de dijk is op basis van de gemeten waarden van het materiaal (afkomstig uit het Zeehavenkanaal in Delfzijl) in de Pilot Kleirijperij een factor 3,0 – 3,2. Dat betekent dat voor elke m^3 geproduceerde klei, 3,0 tot 3,2 m^3 slib nodig is, uitgaande van een slibdichtheid bij aanvang van 1,2 ton /m^3. Als bijvoorbeeld in 1 jaar een sliblaag van 75-80 cm gerijpt kan worden, resulteert dit in een productie van ca. 25 cm klei per m^2 terreinoppervlak per jaar. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Schematische weergave laagdikte in relatie tot het rijpingsproces van 1 jaar.

Over het algemeen kan gesteld worden dat een langere rijpingsduur zorgt voor hogere kosten en dat meer benodigde ruimte ook zorgt voor hogere kosten. Het is daarom van belang om hier een optimum in te zoeken en dit zal projectspecifiek zijn. In Figuur 4-3 is op basis van expert judgement een indicatie gegeven om te kiezen voor een laagdikte die een balans is tussen ruimte en tijd en daarmee indirect dus ook in kosten. De range voor een optimale laagdikte ligt op basis van de ervaringen in de

Pilot Kleirijperij tussen de 60 en 90 cm. Het is wenselijk dat er in de zomerperiode minimaal één bewerking plaatsvindt om te zorgen dat het materiaal onder de korst ook in contact komt met zuurstof, anders vindt hier geen rijping plaats. Zonder het uitvoeren van een bewerking vindt er nog een beetje consolidatie plaats, maar geen rijping. Met de randvoorwaarde om binnen één jaar zo efficiënt en zoveel mogelijk klei te produceren zou het ambitieniveau op een laagdikte van minimaal 75 cm moeten liggen.



Figuur 4-3 Indicatie optimale laagdikte in relatie tot rijpingstijd en ruimte. De aanname is hier dat er zoveel mogelijk klei geproduceerd wordt binnen 1 jaar op basis van 1x vullen van de kleirijperij waarin op basis van expert judgement de risico's (o.a. weersomstandigheden) ook zijn meegewogen.

Als er behoefte is aan grote hoeveelheden klei die jaarlijks gegarandeerd geleverd moeten worden aan een project is het werken met dunnere lagen niet aan te bevelen. Bij het inbrengen van 30 – 40 cm slib zou dit in een half zomerseizoen kunnen rijpen tot klei. Hierbij zouden twee vulslagen in één jaar moeten worden ingebracht waarbij er minder bewerkingen hoeven plaats te vinden. Het werken met dunnere lagen en het twee keer vullen per jaar brengt echter wel grote uitvoerings- en planningsrisico's met zich mee. Immers, een nat of een droog voorjaar is niet van tevoren bekend, terwijl de baggerwerkzaamheden niet altijd helemaal flexibel kunnen meebewegen. Er moet eveneens rekening gehouden worden met de uitvoeringstijd om de klei uit het depot te halen, en weer te vullen met slib. Dit zal dan plaatsvinden midden in de zomerperiode waarin er dus geen klei gerijpt wordt. Vanuit dat oogpunt zal twee keer vullen en oogsten in één seizoen niet de voorkeur hebben, omdat dan mogelijk bij een natte nazomer de tweede laag niet meer voldoende rijpt. Bovendien is het wenselijk dat de gerijpte klei ook direct toegepast/verwerkt wordt. Om dit allemaal goed op elkaar te laten afstemmen waarbij het weer ook nog eens een rol speelt is niet realistisch, en brengt grote risico's met extra kosten met zich mee. Voor andere toepassingen zou het rijpen in dunne lagen wellicht wel een goed alternatief kunnen zijn, echter hangt dit af van project specifieke randvoorwaarden (bijv. kleinere hoeveelheden, flexibiliteit tussen productie en levering van de klei, beschikbare ruimte, bereidheid betaling kosten per m^3 klei etc.).

Voorkeur is om één laagdikte te kiezen die in één zomerseizoen rijpt tot klei, en de wintermaanden te gebruiken om de depots te vullen met slib. Daarnaast geldt dat als het (deels) gerijpte materiaal in de winterperiode blijft liggen dit qua kwaliteit/rijping achteruit zal gaan. Het is dan ook aan te bevelen om geschikte klei in depot te zetten en te zorgen dat weersinvloeden nauwelijks invloed meer hebben op de kwaliteit van het gerijpte materiaal. Het tempo van levering in relatie tot de uitvoering van bijvoorbeeld een dijkversterking is een aandachtspunt. Aan het einde van het rijpingsjaar zou ongeveer bekend moeten zijn hoeveel klei is gerijpt en hoeveel meter dijk er kan worden versterkt in het daaropvolgende jaar.

De eigenschappen van het slib wijzigen sterk tijdens het rijpen. Het is daarom aan te bevelen om een korte rijpingstest te doen (met bijvoorbeeld 50 liter materiaal), en vervolgens materiaaleigenschappen (zoals Atterbergse grenzen) te bepalen. Op dit manier kan de massabalans en de "volumebalans" beter ingeschat worden. Daarbij kunnen ook de parameters worden bepaald die gebruikt kunnen worden als input voor een model waardoor de rijping beter voorspeld kan worden. Met de juiste testen op het ingangsmateriaal en daarbij testen op een geringe hoeveelheid gerijpte klei in de beginfase van

het project kan een goede inschatting worden gemaakt voor de geschiktheid van het eindproduct voor de gewenste toepassing.

4.1.5.Kosten

Uiteindelijk zal aan elke m^3 klei een prijskaartje hangen. Dit is afhankelijk van huur van het terrein, transportkosten van het slib en de klei en de kosten voor bewerkingen. De Business Case (zie H3.4) gaat uitvoerig in op deze aspecten.

Waar nog over nagedacht kan worden is om de klei wat langer te laten liggen om kosten te besparen op omzetten. De verwachting is echter dat dit niets zal opleveren omdat de terreinhuur waarschijnlijk duurder zal zijn dan de kosten van extra omzetten. Tijd is dus geld in dat opzicht en een korte uitvoeringstijd zal vanuit kosten vaak de voorkeur hebben. De kosten voor het omzetten van de klei ligt rond de 0,50 €/m^3, dat is 3000 €/hectare bij een laagdikte van 60 cm. Dit is de laagdikte na consolidatie en rijping van een 90 cm dikke sliblaag. Voor het bewerken van een dunnere laag met een kraan zullen de kosten per m^3 klei hoger zijn aangezien de productiesnelheden lager zijn. Vanuit toekomstige toepassingen is het wenselijk dat het rijpende materiaal in ieder geval één bewerkingsslag krijgt om te zorgen dat het materiaal onder de korst ook aan zuurstof wordt blootgesteld, maar ook om de korst (bestaande uit harde brokken uitgedroogde klei) te breken. Afhankelijk van de gewenste hoeveelheden klei en de uiteindelijke toepassing zal op basis van de kosten, tijd, ruimte en uitvoeringsrisico's een keuze gemaakt worden in de gewenste laagdiktes. Met betrekking tot de kosten voor het produceren van grote hoeveelheden klei is het niet wenselijk om voor dunne lagen te kiezen vanwege de relatief lage productiesnelheden van bewerking en waar eveneens veel ruimtebeslag voor nodig is.

4.2. Mogelijke toepassingen en uitdagingen

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. Tabel 4-1 geeft voorbeelden van mogelijke toepassingen voor gerijpte klei inclusief specifieke uitdagingen en onderzoeksvragen. Een aantal belangrijke uitdagingen voor het toepassen van gerijpte klei zijn:

- Het rijpen van grote volumes klei binnen een relatief korte periode: dit is nodig om de klei geschikt te maken voor toepassing in bijvoorbeeld grote bouwprojecten;
- Het transport van de locatie van de kleirijperij naar de locatie van toepassing: bij voorkeur is er dicht bij de toepassingslocatie grond geschikt voor een kleirijperij, om overlast door transport te voorkomen;
- Het (deels) ontzilten van de klei: dit is belangrijk voor toepassing in bijvoorbeeld landbouw of een natuurontwikkelingsproject in een zoetwatersysteem;
- Zekerheid hebben over welke stoffen (nutriënten, spoorelementen, ziekteverwekkers) in de opgebrachte grond zitten en waar deze blijven gedurende het rijpen van de klei en het toepassen hiervan.

Tabel 4-1 Voorbeelden van toepassingsmogelijkheden voor gerijpte klei inclusief specifieke uitdagingen, onderzoeksvragen en inschatting op welke termijn toepassing mogelijk wordt.

Thema	Toepassing	Uitdagingen/onderzoek
Waterbouw	Dijkenbouw (conventioneel)	- Groot volume nodig in relatief korte tijd - Er moet vraag naar zijn in de nabije omgeving van de rijpingslocatie
	Meegroeidijk (Forzoni et al., 2021)	- Er moet vraag zijn naar de klei - Uitdaging in relatie tot de grasmat en daarmee waterveiligheid
	Aanleg eilanden/ landaanwinningen (Sittoni et al, 2022)	- Groot volume nodig in relatief korte tijd
	Sliblokken voor kabels onder water, kades, beschoeiingen, wegverharding, weginfrastructuur, keermuren etc.	- Levensduur (aantoonbaar maken)
Natuur-ontwikkeling & Landbouw	Aanleg kwelder, verondiepingen en/of geleidelijke land-waterovergangen	- Groot volume nodig in relatief korte tijd
	Aanleg rifstructuren	
	Aanleg oeverstructuren	- Ontzilting belangrijk (bij zoetwatersysteem)
	Vernatten natuur (d.m.v. bijv. aanleggen secundaire kering of afdichten watergang)	- Ontzilting belangrijk (bij zoetwatersysteem)
	Verbeteren grondstructuur landbouw zand- en veengronden.	
	Ophogen landbouwgrond	- Ontzilting belangrijk - Onderzoek naar inzaaimengsels met meer zouttolerante soorten
Overig	Keramiek (kunst en bouw)	- Zout slecht voor oven, nog onderzoek nodig in hoeverre toepassing mogelijk is na ontzilting
	Kattenbakkorrels	
	Isolatiemateriaal	- Infrastructuur poreus voor doorlaat - Zout slecht voor oven, nog onderzoek nodig in hoeverre toepassing mogelijk is na ontzilting

Voorbeelden onderzoek in relatie tot kleirijpen
Er lopen verschillende onderzoeken naar de toepassing van het slib uit een kleirijperij of onderzoeken die op een andere manier samenhangen met de kleirijperij. Hieronder staan enkele voorbeelden:

Project VLOED
Naast toepassing van slib in een dijk kan omgezet slib ook worden ingezet voor het ophogen van landbouwgronden. Het project VLOED (Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard) verkent de opschalingsmogelijkheden van het ophogen van landbouwgronden (de Vries et al., 2019) en gaat daarnaast ook in op het kleirijpen voor dijkversterking en een binnendijkse slibinvang[13]. Wat betreft de ophoging van landbouwgronden borduurt dit project voort op de Pilot Ophogen Landbouwgronden (POL) waarbij bij Borgsweer landbouwgrond is opgehoogd met slib, nadat het is gespoeld met zoet water uit het Verbindingskanaal. Ook wordt gebruik gemaakt van opgedane kennis en ervaringen van ophogingsprojecten in Duitsland. Bij het project VLOED wordt gekeken naar technische uitwerking, maar ook juridische zaken, omgang met beschermde natuurgebieden en het verkrijgen van draagvlak en financiering.

Slibhub Lauwersoog
Bij de haven van Lauwersoog wordt ervaring opgedaan met het rijpen van slib in dunne lagen. Hierdoor wordt de rijpingstijd aanzienlijk verkort. Het gerijpte slib wordt 'op bestelling' geleverd aan de 'Meegroeidijk' (geleidelijke dijkversterking door het jaarlijks opbrengen van dunne lagen slib) en aan de landbouw als grondverbetering (Forzoni et al., 2021).

[13] https://www.provinciegroningen.nl/projecten/project-vloed/

Project Sea Silt Ceramics: onderzoek naar toepassing voor keramische producten
Humade onderzoekt sinds 2020 in samenwerking met Koninklijke Tichelaar in hoeverre het mogelijk is om op grote schaal keramische producten van gebaggerd zeeslib te produceren (Koninklijke Tichelaar, 2022). Eerder werd gedacht dat het lastig was om de klei toe te passen, omdat zout onwenselijk is binnen het keramiek proces. Het is echter gelukt om meerdere bruikbare recepturen te ontwikkelen en er liggen mogelijkheden voor diverse keramiektechnieken. Vanwege de positieve testresultaten is het project een doorontwikkeltraject ingegaan waarbij de nadruk ligt op de schaalbaarheid van het hernieuwbare materiaal met als eerste doelstelling de productie van gevelplaten en glazuren.

Figuur 4-4 Proefstukken van keramiek uit kleirijperijklei (vak D7). Het kleurverschil komt door verschillen in oventemperatuur en bijmengingen (Foto van exhibitie Sea Silt Ceramics, Humade).

Geowall: geperste rifblokken voor mosselen en ander leven[14]
Aannemerscombinatie Geowall, waarin ingenieursbureau NETICS en baggerbedrijf Van Oord samenwerken doen een proef met rifblokken. Van de klei uit de Pilot Kleirijperij wordt een bindmiddel toegevoegd en vervolgens onder hoge druk tot blokken van 250 kilo geperst. De in totaal vierhonderd rifblokken worden in oktober langs de dijk tussen Delfzijl en Eemshaven geplaatst. Op dit moment ligt er alleen slib op de bodem van de Eems Dollard. Met deze nieuwe harde structuren kunnen mosselen en andere organisme zich hopelijk plaatsen en groeien. Het is een proef van vijf jaar.

Meegroeidijk
Binnen het project Meegroeidijk wordt onderzoek gedaan naar mogelijkheden om dijken meer geleidelijk, laagje voor laagje, te versterken met hergebruik van gebaggerd, gebiedseigen slib (Forzoni et al., 2021). Dit haakt meteen in op één van de belangrijkste uitdagingen van de kleirijperij zoals hierboven benoemd: bij geleidelijk meegroeien is er minder noodzaak dat binnen korte tijd zeer veel klei gerijpt wordt.

TKI Living Lab for Mud
Binnen deze TKI is de kennis die is opgedaan binnen verschillende onderzoeksprojecten, waaronder de Pilot Kleirijperij, geanalyseerd als geheel. Dit heeft geleid tot overkoepelende leerpunten en bijdrages voor het opzetten van vervolgonderzoeken.

[14] https://www.rtvnoord.nl/nieuws/961966/blokken-samengeperst-slib-uit-de-eems-dollard-moeten-mosselen-en-ander-leven-terugbrengen

5. Bronvermelding

Rapporten EcoShape project Pilot Kleirijperij:

- EcoShape (2017) Plan van Aanpak: Uitvoering Pilot Kleirijperij.
- Fiselier, J., de Reus, S. (2023). Business Case Kleirijperij, Verkenning van kosten en baten van de kleirijperij. Royal HaskoningDHV. EcoShape.
- Kox, M., Jansen, S. (2022) Greenhouse gas emissions from the clay ripening pilot “Kleirijperij”. 11202895-002-BGS-0002. Deltares.
- Meshkati Shahmizadi, E., Wichman, B., Hansen, J. (2018). Pilot Kleirijperij. WP4.2.1 Voorbereidende laboratoriumproeven. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0006. EcoShape.
- Meshkati Shahmirzadi, E., Wesdorp, K., Vreeken, T., van der Star, W.R.L (2023a). Monitoringsrapportage Kleirijperij Delfzijl. Deltares rapport 11201344-002-ZKS-0003. EcoShape.
- Meshkati Shahmirzadi, E., Wesdorp, K., Vreeken, T., van der Star, W.R.L (2023b). Monitoringsrapportage Kleirijperij Kwelder. Deltares rapport 11201344-002-ZKS-0005. EcoShape.
- Sjenitzer, S., Derks, D., Van der Star, W., Meshkati Shahmirzadi, E. (2020). Historisch (literatuur) onderzoek Pilot Kleirijperij Literatuurstudie, werkpakket 4.1.1. Royal HaskoningDHV en Deltares rapport WATRC_BC8760-111_R0001_901691_f1.0. EcoShape.
- Van den Heuvel, M. (2017). Kwaliteitsplan Parameters Slib. EcoShape.
- Van der Ouderaa, I., Van Puijenbroek, M., Elschot, K., Esselink, P., Scholl, M. (2023). Building with Nature - Pilot Kleirijperij, Effecten van biologische bewerkingsmethoden op het rijpen van klei. Wageningen Marine Research rapport C058/22. EcoShape.
- Van der Star, W., Wichman, B., Boganen, J. 2018a. Monitoringsplan Kleirijperij locatie Delfzijl, WP4.1.2. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0005. EcoShape.
- Van der Star, W., Wichman, B., Boganen, J. 2018b. Monitoringsplan Kleirijperij locatie Kwelder, Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0008. EcoShape.
- Van der Star, W., Meshkati Shahmirzadi, E., Wesdorp, K. (2023). Evaluatie rijpingsmethoden Kleirijperij. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0011. EcoShape.
- Veendorp, M., van den Heuvel, M., van der Star, W. Klei van dichtbij in de praktijk. 2023. Land+Water 3 p32-33.

Overige bronnen:

- De Vries, M., Haarman, F., Buurman, M. 2019. Verbetering landbouwgronden door ophoging met slib uit de Eems-Dollard (VLOED). Gebiedsplan voor het IBP-Vitaal Platteland project. Programma Eems-Dollard 2050.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Provincie Groningen. 2015. Economie en Ecologie Eems-Dollard in balans. Eindrapport MIRT-onderzoek. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Provincie Groningen.
- EcoShape (2023). Eindrapport Kennisontwikkeling Realisatie Brede Groen Dijk. Rapport 45954-RAP-00128, d.d. 16-02-2023, Ecoshape.
- Forzoni, A. Doornenbal, P., Leuven, J., Horstman, M., van Es, B. Puijenbroek, M. Leever, K., Krocké, V. Grashof-Bokdam, C., Sittoni, L., Wentholt, L. De Jong, K., Nieuwenhuis, J.W., Kieftenburg, A., Van der Doef, M., Methorst, M. (2021) Meegroeidijk uitvoerings- en opschalingsplan. Deltares rapport 11205748-002-BGS-0004. Diverse partners.
- Haarman, F.G., Op weg naar een rendabele slibeconomie. 2020. Landschap. p123-129.
- Klooster (2023). VLOED Scenario 2, Kleirijpen voor dijkversterking, Maatschappelijke kosten-batenanalyse (concept).
- Koninklijke Tichelaar (2022). Humade - Linking Elements. https://www.tichelaar.nl/activiteiten/detail/linking-elements (bezocht: 04-11-22).
- Kox, M., Klimkowska, A., Boone Kaufmann, J., Tonneijck, F., Jansen, S. (2021). Ripening of dredged sediment, study of greenhouse gas emissions. Terra et aqua, #164-autumn 2021.
- Provincie Groningen (n.d.). Project VLOED. https://www.provinciegroningen.nl/projecten/project-vloed/t VLOED - Provincie Groningen (bezocht: 28-10-22).
- Radersma, S. (2022). Blokken samengeperst slib uit de Eems/Dollard moeten mosselen en ander leven terugbrengen. https://www.rtvnoord.nl/nieuws/961966/blokken-samengeperst-slib-uit-de-eems-dollard-moeten-mosselen-en-ander-leven-terugbrengen (bezocht: 28-04-2023), RTVNoord.
- Sittoni, L., Hendriks, E., Meshkati Shahmirzadi, E., Barciela Rial, M., Janssen, S. (2022) TKI Living Lab for Mud. Research, dissemination, upscaling. EcoShape rapport 20220512LS.

- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1996). Technisch rapport Klei voor dijken.
- Van Eekelen, E., Bouw, M. (Eds.) (2021). Building with Nature: Creating, Implementing, and Upscaling Nature-based Solutions. nai010 publishers. EcoShape.

- Van den Heuvel, M., Boganen, J., Postma, T. (2020). De Aanleg van een Proefdijk, Verslaglegging van uitvoeringsaspecten en verdichtingsmetingen van een Proefdijk bestaande uit gebiedseigen klei uit de Eems-Dollard t.b.v. Demonstratieproject Brede Groene Dijk van het Waterschap Hunze en Aa's. Van Oord en Boskalis.
- Van Loon-Steensma, J.M., Schelfhout, H.A. 2013. Pilotstudie Groene Dollard Dijk: een verkenning naar de haalbaarheid van een brede groene dijk met flauw talud en een voorland van kwelders. rapport 2437 en 18050-000-ZKS-0004. Alterra en Deltares.
- Van Steijn, P., Klein Breteler, M. (2021). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 9: Meting erosiebestendigheid deltaklei met Deltagootproevenrapport 11206194-002-HYE-0014. Deltares.

Appendices

Appendix A – Toelichting op de kennisvragen

In de samenwerkingsovereenkomst voor de Kleirijperij zijn een groot aantal kennisvragen gedefinieerd die binnen de Kleirijperij worden beantwoord. De vragen hebben echter niet altijd hetzelfde gewicht. Daarom zijn in het Plan van Aanpak (EcoShape, 2017) de vragen zijn geherformuleerd tot een aantal vragen die goed passen bij het project. Deze staan hieronder toegelicht.

In het Plan van aanpak (EcoShape, 2017) zijn een aantal kennisvragen gedefinieerd.

De hoofdvraag van het onderzoek is:
Wat zijn de effecten en karakteristieken van kansrijke kleirijpingsmethodes met slib uit de Eems-Dollard?

De bedoelde karakteristieken liggen op het gebied van de uit te voeren handelingen, gebruikte materialen, benodigde rijpingstijd, kosten, waarde voor de ecologie en impact op het milieu. Met effecten wordt gedoeld op het te bereiken resultaat: de karakteristieken van de geproduceerde materialen, en de mate van slibreductie die in de Eems Dollard gerealiseerd kan worden. De combinatie van beide brengen in beeld in hoeverre kleirijping een rendabele oplossing is (de juiste karakteristieken heeft) voor de beoogde effecten (klei produceren en vertroebeling terugdringen door slibreductie) in de Eems-Dollard is.

De belangrijkste afgeleide kennisvragen bij deze hoofdvraag zijn voor geselecteerde methodes:

a) Hoe verloopt de rijping (wat zijn de fysische eigenschappen en watergehalte)?
Het verlagen van het watergehalte is de belangrijkste opgave bij de rijping en daarom is het watergehalte (en de daaraan gerelateerde depot-hoogte) een belangrijke parameter. De sterkte-ontwikkeling wordt tevens gevolgd om vast te stellen of en wanneer de klei aan de eisen voldoet. Via vaststelling door monitoring en vergelijking van deze parameters voor verschillende technieken wordt belangrijke kennis ontwikkeld rondom bewerkingsmethodieken, hun karakteristieken en hun effecten.

b) Wat is de ontwikkeling van het zoutgehalte?
Het zoute slib dat op het land wordt gebracht zal geleidelijk verzoeten. Dat is van belang omdat klei met een te hoog zoutgehalte (>4 g/l NaCl in het poriewater) niet voldoet als erosiebestendige klei olgens de technische richtlijn “Klei voor dijken” (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996). Aan de andere kant is niet gezegd dat klei die níet voldoet aan deze eis geen geschikte dijkenklei. Hier wordt apart onderzoek naar gedaan.

c) Wat is de ontwikkeling van de natuurwaarde?
De kleirijperij kan een belangrijke waarde hebben als (tijdelijke) natuur. Monitoring is erop gericht om dat gedurende de rijpingsfase op verschillende momenten vast te stellen. Ontwikkeling van natuurwaarde is een van de belangrijkste parameters om allereerst rekenschap te nemen van omgevingseffecten, daarnaast is het van belang om de maatschappelijke waarde van grootschalige kleirijping in beeld te krijgen en tenslotte haakt het ook aan bij de juridische knelpunten voor kleirijping in verband met (natuur)wetgeving, zoals de beoordeling van de toepasbaarheid van kleirijping in Natura 2000-gebied. Ontwikkeling van de natuurwaarde staat echter in contrast tot veel bewerkingen en er is behoefte aan grotere gebieden. Daarom bleek de toegevoegde natuurwaarde van de pilot zelf beperkt.

d) Wat zijn de voorwaarden voor een sluitende business case?
In de business case komen de belangrijke vragen bij elkaar: wat zijn de kosten en baten van een kleirijperij, waarbij aan de opbrengstenkant niet alleen wordt gekeken naar de opbrengst wat betreft waarde van het geproduceerde materiaal, maar ook naar ecologische waarde (die niet “op kosten” wordt gezet) en de kwantificering van de mate waarin de doelen van verwijdering van 1 miljoen ton droge stof slib per jaar worden gehaald. Onderdeel van de business case is ook een inventarisatie van juridische randvoorwaarden.

Kennisvragen zoals gedefinieerd in de samenwerkingsovereenkomst.

Type vraag	**Beschrijving**	**Beantwoord in**[15]
Hoofdvraag	Is kleivorming op land een (rendabele) oplossing voor het vertroebelingsprobleem van het Eems-Dollard Estuarium?	Business case
Deelvraag	In hoeverre is het invangen van slib buitendijks (kwelder) of binnendijks (wisselpolder o.i.d.) zinvol met het oog op een nuttige toepassing daarvan?	Deze rapportage
Deelvraag	Wat zijn de kosten per m3 gewonnen slib per winningsmethodiek?	Business case
Deelvraag	Op welke wijze kan slib (bijvoorbeeld baggerspecie) geschikt worden gemaakt voor dijkversterking? Hoe verandert daarbij de samenstelling en welke erosieklasse kan worden bereikt?	Rapportage Evaluatie Rijpingsmethodes
Deelvraag	Op welke wijze kan slib (bijvoorbeeld baggerspecie) geschikt worden gemaakt voor ophoging van binnendijkse gronden?	Rapportage Evaluatie Rijpingsmethodes
Deelvraag	Op welke wijze kan slib (bijvoorbeeld baggerspecie) geschikt worden gemaakt voor toepassing in de keramische/baksteenindustrie?	Deze rapportage
Deelvraag	Op welke wijze kan zout (bagger)slib worden ontzilt? Hoelang duurt dit proces?	Rapportage Evaluatie Rijpingsmethodes
Deelvraag	Op welke wijze kan het rijpingsproces/ indikken worden versneld (bijvoorbeeld door toepassing stoffen, beplanting, ontwatering) en welke eindproducten kunnen worden bereikt met de verschillende methodes?	Rapportage Evaluatie Rijpingsmethodes
Deelvraag	Wat zijn de kosten van bovenstaande bewerkingen per m3 eindproduct?	Business case
Deelvraag	Welke technische en omgevingseisen worden gesteld aan de inrichting en de locatie van een slibdepot met oog op gewenst eindproduct?	Deze rapportage
Deelvraag	Welke wet- en regelgeving veroorzaakt knelpunten bij het onttrekken (baggeren, invangen en ontgraven) van slib (natuurwetgeving, domeinheffingen e.d.) en hoe kunnen die worden opgelost?	Deze rapportage
Deelvraag	Welke juridische knelpunten zijn van toepassing bij het bewerken van slib en hoe kunnen die worden opgelost?	Deze rapportage

[15] BC = Businesscase, EM = Eindrapportage monitoring, RETR = Rapportage Evaluatie Toegepaste Rijpingsmethodes