

Slibtoepassingen

**Life IP Deltanatuur
Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers, Stichting Nationale
Koolstofmarkt, Rijkswaterstaat, Wageningen Marine
Research en Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit**

10 februari 2023



LIFE IP
} **Deltanatuur**

Contactpersoon

LEONIE KOENDERS
Junior Consultant River Coast &
Sea Advisory Group

M +31(0)621447991

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers als onderdeel van het programma LIFE IP Deltanatuur.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Slibtoepassingen	4
1.2	Blue Carbon in relatie tot slibtoepassingen	5
2	Slibtoepassingen	6
2.1	Ophogen van (landbouw) grond	6
2.1.1	Projecttoelichting	6
2.1.2	Projectstappen	6
2.1.3	Projectreferenties (BAU-scenario)	8
2.1.4.	Vergelijking	10
2.1.5.	Conclusie	11
2.2	Dijkversterking	13
2.2.1	Project toelichting	13
2.2.2	Projectstappen	14
2.2.3	Projectreferentie (BAU-scenario)	15
2.2.4	Vergelijking	17
2.2.5	Conclusie	17
2.3	Het persen van slibblokken voor diverse toepassingen	19
2.3.1	Project toelichting	19
2.3.2	Projectstappen	19
2.3.3	Projectreferentie (BAU-scenario):	20
2.3.4	Conclusie	20
3	Conclusies	21
4	Literatuurlijst	23
	Colofon	24

1 Inleiding

Blue Carbon is opgenomen in het klimaatakkoord van 2019 als een mogelijkheid om een waardevolle bijdrage te leveren aan klimaatadaptatie en – mitigatie. De Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers, gericht op het creëren van ruimte voor natuurlijke processen, die mee kunnen groeien met klimaatverandering, vroeg Arcadis om een eerste inventarisatie van de Blue Carbon potentie in de Eems-Dollardregio te maken. Het onderzoek (Koenders et al., 2021) geeft een overzicht van 40 voorgenomen en lopende projecten in de Eems-Dollardregio, waarin wordt gewerkt met koolstofrijk sediment en ontwikkeling van kwelders, zeegras- of schelpdierbanken en binnendijkse kwelders, dubbele dijken, wisselpolders, ophogen landbouwgronden met slib uit de Eems-Dollard, bewerken van slib tot andere producten via verschillende procedés, etc.. Om een inschatting te maken van de vastlegging van CO₂ in sedimenten, werd naar de hoeveelheid sediment gekeken (in totaal en sedimentatie per jaar), hoeveel organisch koolstof daarbij wordt vastgelegd, welk deel van de organische koolstof sowieso zou worden vastgelegd en welk deel van de organische koolstof wordt afgebroken na vastlegging. Uit deze inventarisatie is gebleken dat voor koolstofvastlegging de meest kansrijke projecten de Pilot Marconi en kwelderontwikkeling Uithuizerwad zijn, gevolgd door de Polder Breebaart (in combinatie met de toepassingen: Pilot Kleirijperij en Brede Groene Dijk), de Dubbele dijk en de Grootte Polder. Deze projecten zijn kansrijk op het gebied van koolstofvastlegging en op de overige criteria die zijn gebruikt voor de rangschikking. De fase waarin deze projecten zich bevinden verschilt, van reeds uitgevoerd (voor de Pilot Marconi), tot de verkenningsfase (kwelderontwikkeling Uithuizerwad). Voor de project-specifieke kwantificering van de potentiële koolstofvastlegging is voor een deel van deze projecten aanvullende kennis van de koolstofhuishouding nodig.

Voor de (buitendijkse) kwelderontwikkeling bestaat een methodiek, die door de Stichting Nationale Koolstofmarkt is ontwikkeld. Er zijn nog kennisleemtes omtrent toepasbare rekenmethodes voor andersoortige projecten, zoals binnendijkse verkweldering, ophogen of verrijken van (landbouw)grond (op veenkoloniale zandgronden), toepassing van slib voor dijkversterking en het persen van slibblokken voor diverse toepassingen. De invloed van dit type projecten op de koolstofbalans betreft niet alleen de vastlegging van CO₂, maar ook het vermijden van uitstoot, doordat andere productieprocessen en transport worden vermeden.

Het doel van het voorliggende onderzoek is om handvatten te bieden voor de CO₂-balans voor andersoortige vastlegging van slib dan in buitendijkse kwelders. Hierbij gaat het voorliggende rapport in op mogelijke kansen voor koolstofvastlegging door slib uit de Eems-Dollard op verschillende manieren toe te passen.

1.1 Slibtoepassingen

In het voorliggende rapport wordt nader onderzocht wat de kansen van emissiereductie in slibtoepassing zijn. In het Eems-Dollard estuarium is sprake van hoge tot zeer hoge slibconcentraties en dit heeft negatieve effecten op de ecologie. Daarom is in het programma ED2050 afgesproken om ieder jaar een grote hoeveelheid slib aan de Eems-Dollard te onttrekken, zodat gaandeweg deze druk op de ecologische kwaliteit zal afnemen. In dat kader wordt gekeken naar nieuwe mogelijkheden om het slib nuttig te kunnen toepassen. In het voorliggende rapport worden drie toepassingen nader onderzocht:

1. Dijkversterking: Uit het eerder onderzoek (Quick Scan: Blue Carbon Eems Dollardregio, 2021) is gebleken dat combinaties zoals de Polder Breebaart, de Pilot Kleirijperij en de Pilot Brede Groene Dijk kansen bieden voor langdurige koolstofvastlegging.
2. Ophogen van landbouwgronden: in eerder onderzoek werd specifiek naar het pilotproject Ophogen landbouwgrond (ca. 4 ha) gekeken, in het voorliggende onderzoek werd het vervolgproject hiervan geanalyseerd; IBP-VLOED (ca. 100 ha met de ambitie voor opschaling).
3. Het persen van slibblokken: voor verschillende toepassingen, bijvoorbeeld rifelementen.

Door middel van literatuuronderzoek en in gesprekken met deskundigen zijn de slibtoepassingen nader in kaart gebracht. De slibtoepassingen zijn nog redelijk nieuw, waardoor de scope en implementatie van de toepassingen kan wijzigen. Vandaar dat elk project en de verschillende processen binnen het project beschreven zijn, waarbij aannames als zodanig vermeld staan. Daarnaast is naar het Business As Usual (BAU)-scenario of naar referentieprojecten/producten gezocht om een inschatting te kunnen maken van de emissiereductie van producten uit slib uit de Eems-Dollard in vergelijking met de "norm" (zonder toepassing van slib uit de Eems-Dollard). Vergelijkbaar met de aanpak van het eerder uitgevoerde onderzoek naar de potentie van Blue Carbon in de Eems-Dollard regio

worden kengetallen gebruikt om een eerste inschatting te maken van de mogelijke emissiereductie. In het voorliggende onderzoek wordt met name naar het verminderen van CO₂ uitstoot gekeken in plaats van naar koolstofvastlegging. Koolstofvastlegging beschrijft processen zoals fotosynthese en het vastleggen van koolstof in het sediment door sedimentatie dit is niet het geval in de drie toepassingen. De drie toepassingen zouden mogelijk door hergebruik van baggermateriaal een bijdrage kunnen leveren aan emissiereductie, door bijvoorbeeld kortere transportroutes.

Een additionele belangrijke kanttekening bij het voorliggende onderzoek en de grove inschattingen die in het kader van het onderzoek zijn uitgevoerd voor emissiereductie, is dat de drie slibtoepassingen specifiek uitgewerkt zijn voor de regio Eems-Dollard. Per toepassing is wel gekeken naar de potentie voor opschaling, maar de gebruikte kengetallen zijn specifiek voor de regio Eems-Dollard en kunnen niet één op één gekopieerd worden naar een ander gebied.

1.2 Blue Carbon in relatie tot slibtoepassingen

Het is van belang om te toetsen of slibtoepassingen voldoen aan de definitie van Blue Carbon om verkeerde beeldvorming en miscommunicatie te voorkomen. In de verklarende woordenlijst van de IPCC wordt Blue Carbon gedefinieerd als: "Alle biologisch gestuurde koolstofluxen en -opslag in mariene systemen die voor beheer vatbaar zijn, kunnen als Blue Carbon worden beschouwd." (Bijlagen document Glossary, IPCC). In het voorliggende onderzoek wordt naar verschillende slibtoepassingen gekeken en een vergelijking met een BAU-scenario/referentieproject uitgevoerd. Hieruit bleek dat met name baggermateriaal van een locatie naar een andere locatie verplaatst wordt en werd duidelijk dat de slibtoepassingen kansen bieden voor het voorkomen van emissies, maar dat er geen sprake is van koolstofvastlegging. Vandaar dat slibtoepassingen niet aan de definitie van Blue Carbon voldoen, maar een kans bieden op het voorkomen van emissies.

Daarnaast is het van belang om te benoemen dat baggerwerkzaamheden/ingrepen ook emissies met zich meebrengen die in de berekening moeten worden meegenomen. Daarbij wel de kanttekening dat veel ingrepen zoals dijkversterkingen en het periodieke baggeren in vaargeulen werkzaamheden zijn die als noodzakelijk worden beschouwd vanwege het maatschappelijk nut en dus zonder meer zullen worden uitgevoerd. In deze gevallen kan een alternatieve toepassing van het slib, waarbij emissies worden voorkomen, gunstig zijn. Hierbij is het essentieel dat de juiste referentieprojecten/BAU¹-scenario's gekozen worden voor een goede vergelijking.

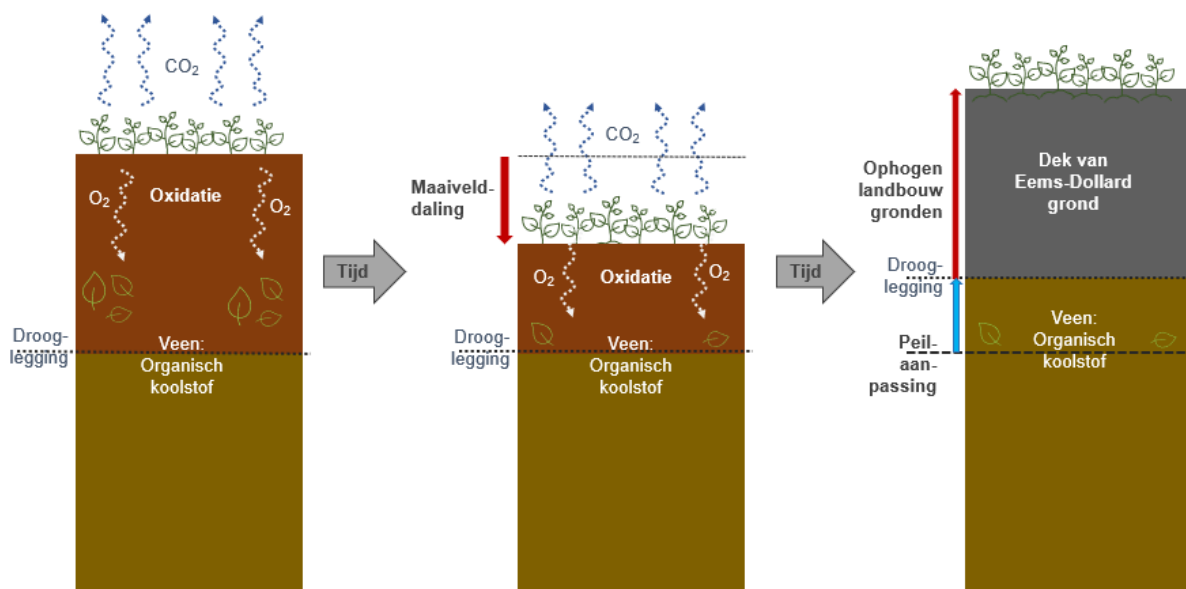
¹ BAU: Business-As-Usual

2 Slibtoepassingen

2.1 Ophogen van (landbouw) grond

2.1.1 Projecttoelichting

Bij het ophogen van landbouwgronden wordt een sliblaag op de aanwezige veenbodem aangebracht. Laaggelegen gebieden met een dik veenpakket nabij het maaiveld worden op verschillende plekken in Nederland aangetroffen. Ook in de provincie Groningen liggen dergelijke gebieden, nabij het Eems-Dollard estuarium. Het ophogen met een sliblaag heeft meerdere doelstellingen: ophogen van de landbouwgronden om waterschade en verzilting te voorkomen, verminderen van veenoxidatie en CO₂-uitstoot, verhoging van de opbrengst en verbetering van de waterhuishouding. Een schematisch weergave van het ophogen van landbouwgronden is te zien in Figuur 2-1. De bijdrage aan de reductie van koolstofemissie vindt plaats doordat de oxidatie van het veen kan worden beperkt of voorkomen door het opbrengen van de sliblaag.



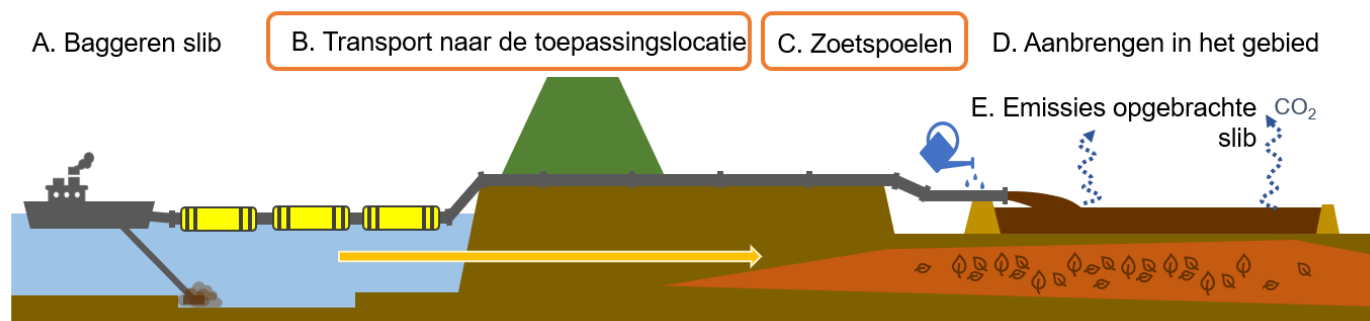
Figuur 2-1 Ontwikkeling veenweidegebied, waar functiebehoud voor de landbouw wordt gerealiseerd door het ophogen met een sliblaag. De autonome situatie is weergegeven in de linker en middelste figuur, waarbij te zien is dat het maaiveld gaandeweg lager wordt door oxidatie van het veenpakket. Door de maaiveld-daling komt het maaiveld steeds dichterbij het grondwater te liggen. Het veenweidegebied wordt daardoor gemiddeld steeds natter. Na het opbrengen van het slib, neemt de maaiveldhoogte toe, zodat de afstand tot het grondwater groter is en verdere oxidatie van het veen wordt voorkomen.

2.1.2 Projectstappen

Het concept Ophogen landbouwgronden wordt binnen het programma Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard (VLOED) nader verkend. Momenteel wordt een studiegebied onderzocht met een oppervlakte van 100 hectare in het Oosterhorn-Zuid, waarbij per jaar 550.000 m³ (of 770.000 ton) slib uit de Eems-Dollard onttrokken zal worden, over een periode van 3 jaar waarbij dit tot een ophoging van ca. 1 m zal leiden (Klooster, J., 2022). Voor de latere opschaling wordt echter gekeken naar honderden hectares laaggelegen gronden.

De werkzaamheden voor het ophogen van de landbouwgronden zijn schematisch weergegeven in Figuur 2-2. Als eerste zullen ringdijken op de toegewezen landbouwpercelen aangelegd worden om te voorkomen dat het natte baggermateriaal van de percelen afstroomt. De ringdijken zullen uit de oorspronkelijke bovengrond (20 à 30 cm) van de percelen bestaan. In de daaropvolgende x aantal jaren zal een bepaalde laagdikte van nat sediment per jaar op de landbouwgronden geplaatst worden, na ontwatering hoopt men hierdoor een additionele hoogte op de landbouwpercelen te creëren. Afhankelijk van de gewenste additionele hoogte op de landbouwpercelen zal toepassing van baggermateriaal en de laagdikte variëren. Het baggermateriaal zal vóór elke toepassing met zoetwater gespoeld worden om het zoutgehalte te verlagen. Ook na het spoelen zal het zoutgehalte van het baggermateriaal hoger zijn in vergelijking met de landbouwgronden. De aanname is dat het rijpingsproces van het materiaal voltooid is 1 jaar na de

laatste storting van baggermateriaal. Bij het rijpingsproces zal het koolstofgehalte van het opgebrachte slib naar verwachting afnemen. Daarna kan het terrein weer in gebruik genomen worden voor landbouw. Ook daarna kan het koolstofgehalte van het opgebrachte materiaal nog afnemen. In de onderstaande tabel staan de verschillende onderdelen en stappen van het proces. In Tabel 2-1 staat ook hoeveel CO₂ vrijkomt bij de verschillende stappen, waarbij zowel wordt gekeken naar het materieel, oftewel de machines die worden ingezet voor de werkzaamheden, als naar het materiaal, dat wil zeggen het sediment/baggerslib dat wordt toegepast.



Figuur 2-2 Overzicht van het proces tijdens het ophogen van landbouwgronden.

Tabel 2-1 Overzicht van de projectstappen en mogelijke emissies uit materieel en materiaal, aangepast uit rapport Van Oord (2019).²

Ophogen landbouwgronden	Emissies uit materieel (ton CO ₂) (770.000 ton)	Emissies uit materiaal
Baggerwerkzaamheden in de Eemshaven	In verband met de grote afwijkingen van uitstoot bij baggerwerkzaamheden, zijn hier geen algemene getallen opgenomen, deze zullen echter bij een projectaanvraag voor een SNK-certificaat wel berekend moeten worden	<ul style="list-style-type: none"> In beperkte mate zullen oxidatieprocessen ontstaan, i.v.m. de aanwezigheid van sulfaat en een laag zuurstofgehalte, waardoor begrensd emissies zullen ontstaan
Sediment wordt vervoerd naar de dichtstbijzijnde landbouwgronden	278 per jaar	
Landbouwgronden worden voorbereid door ringdijken op de percelen te plaatsen, bestaand uit de bovenlaag (ca. 25 cm) van het landbouwperceel	1.834	<ul style="list-style-type: none"> Het materiaal is reeds in contact met de omgeving vandaar dat verdere afbraakprocessen beperkt zullen zijn
Het sediment wordt gespoeld met zoetwater om het zoutgehalte te verlagen	?	<ul style="list-style-type: none"> Door de verandering van zout naar zoet en mogelijke contact met zuurstof zullen emissies ontstaan

² Voor het project ophogen landbouwgronden is geschikt baggermateriaal in de Eemshaven gevonden en toegepast. De kengetallen die voor het voorliggende onderzoek zijn gebruikt zijn gebaseerd op toepassing van baggerspecie uit Delfzijl. De transportafstand van de Eemshaven naar de landbouwgronden is groter dan de afstand van Delfzijl naar de landbouwgronden. Een vergelijking met de huidige situatie waarbij het baggermateriaal in het Eems estuarium verspreid wordt en verspreiden op landbouwgronden is nodig zijn om te vergelijken of hierdoor meer of minder emissies ontstaan, maar de gegevens hiervoor waren voor deze studie niet beschikbaar.

Het sediment wordt op de landbouwgronden in de ringdijken gepompt. 278 per jaar

- Emissies zullen ontstaan gedurende het uitdrogen van het baggermateriaal

Voor de berekeningen werden de volgende kengetallen benut:

- Dichtheid van 1,4 ton/m³ Kleirijperij (bij de Eemshaven), bij de Zeehavenkanaal is de dichtheid 1,2 ton/m³, in dit onderzoek is met de getallen uit de Eemshaven gerekend. Binnen het project VLOED wordt er momenteel vanuit gegaan dat het baggermateriaal uit de Eemshaven komt.
- Indicatieve cijfers uit het rapport van Van Oord, 2019 voor de emissies uit materieel van de Kleirijperij

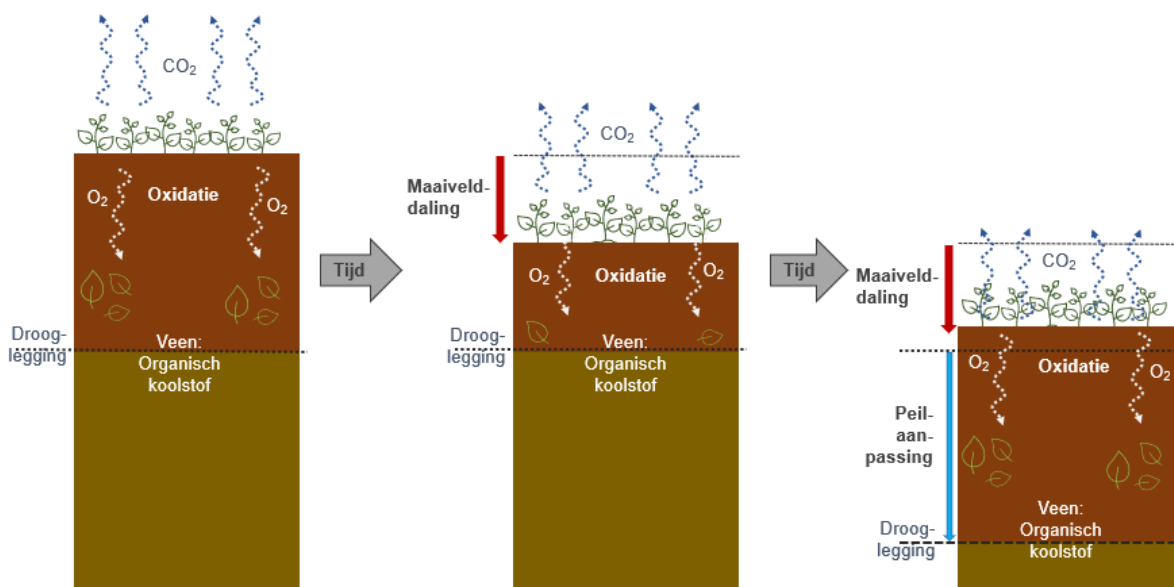
2.1.3 Projectreferenties (BAU-scenario)

Om een inschatting en afweging te kunnen maken van de potentie voor emissiereductie bij het ophogen van landbouwgronden is naar mogelijke projectreferenties gekeken. De projectreferenties zijn vergeleken met ophogen van de landbouwgronden door het opbrengen van slib uit de Eems-Dollard estuarium. Door het ophogen van landbouwgronden kan de landbouw op veenweidegebieden voortbestaan en zelf verbeteren. Door de percelen op te hogen kunnen de eigenaren na een beperkt aantal jaren rijpen het perceel weer in gebruik nemen. De opbrengst zal naar verwachting aan het begin lager zijn vanwege het nog iets verhoogde zoutgehalte, in de navolgende jaren zal de opbrengst steeds meer stijgen. Het uitgangspunt voor het ophogen van de landbouwgronden in veenweidegebied is dat er door de ophoging een verbeterde drooglegging ontstaat, en ook dat de waterpeilen verhoogd kunnen worden om zodoende de veenoxidatie af te remmen (Klooster, 2022). Het uitgangspunt is dat door de verhoging van de landbouwgronden jaarlijks 14,9 ton CO₂/ha/jaar emissies voorkomen kan worden (Green Deal, 2018). Een kanttekening hierbij is dat in droge zomers mogelijk scheuren in de bodemlaag kunnen ontstaan en zuurstof alsnog het veenpakket bereikt of dat de toegepaste landbouwvorm intensief is en er juist emissies ontstaan door hoge toediening van mest en het uitputten van bodems.

Ten opzichte van het ophogen van de landbouwgronden met slib zijn twee verschillende projectreferenties beschouwd: een alternatief met functiebehoud en een alternatief met een wijziging van de functie. Bij het ophogen van landbouwgronden blijft de functie behouden.

Functiebehoud door peilverlaging:

- Peilverlaging: Momenteel wordt het veenweidegebied in de regio langs de Eems-Dollard kust voor landbouw gebruikt, maar er zijn complicaties in verband met de bodemdaling door veenoxidatie en gaswinning. Hierdoor kan het perceel uiteindelijk te nat worden voor landbouwmachines. Daarnaast zakken de grondwaterstanden in de zomer weg waardoor grotere delen van het veenpakket gaan oxideren. In droge periodes kan eveneens zoute kwel doordringen tot de wortelzone waardoor het gewas beschadigd wordt. Om verdere daling van de bodem zoveel mogelijk te beperken hanteert het waterschap het “*stand-still*” principe waarbij waterpeilen worden vastgehouden op het huidige niveau. Dat betekent dat er afgeweken wordt van het paradigma “*peil volgt functie*”. Het “*stand-still*” principe heeft gevolgen voor de landbouw, want bij een te hoge grondwaterstand kunnen de boeren niet met hun reguliere landbouwmachines op het perceel en traditionele gewassen niet telen. Een mogelijkheid is om het gefixeerde peil toch weer te verlagen ten behoeve van de landbouwfunctie, waardoor geteeld kan blijven worden, een schematische weergave hiervan is te zien in Figuur 2-3.



Figuur 2-3 Ontwikkeling veenweidegebied: Functiebehoud door peilverlaging

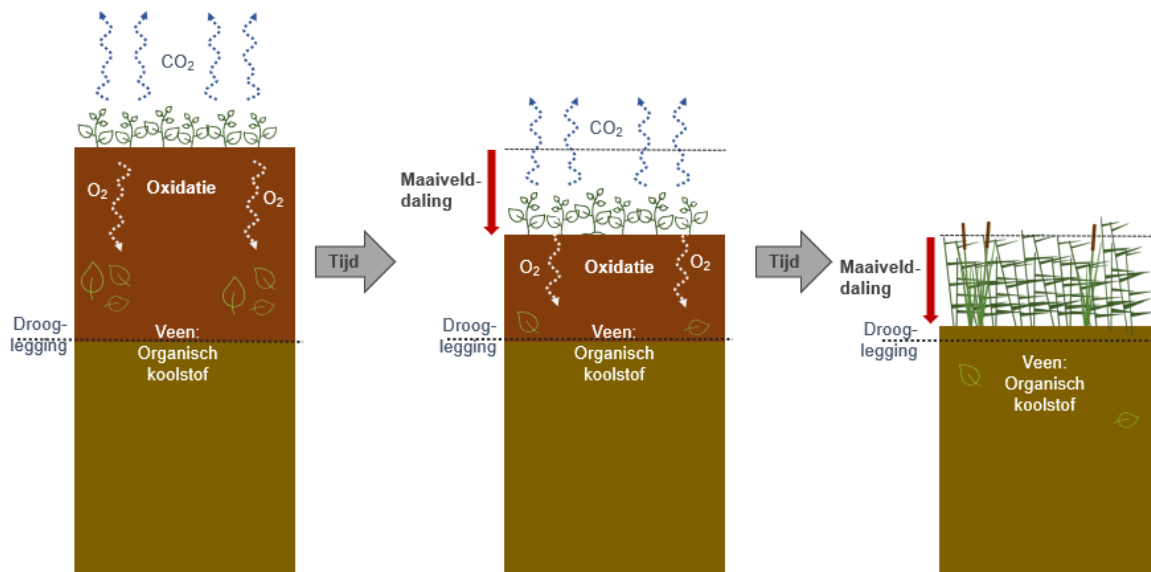
Een verdere verlaging van het peil heeft als gevolg dat het onderliggende veen in aanraking komt met de lucht, waardoor daar ook oxidatieprocessen ontstaan en het veen langzaam vergaat. Dit proces heeft meerdere consequenties, zoals verdere bodemdaling en afbraak van organisch materiaal uit het veenpakket waardoor emissies ontstaan en nutriënten vrijkomen. In de MKBA van VLOED werden de kengetallen van Kwakernaak et al. (2010) aangehouden waarbij aangegeven wordt dat jaarlijks 30 ton CO₂/ha vrijkomt in Nederlandse veenweidegebieden. Volgens de SNK-methode veenweide ontstaat gemiddeld 14,9 ton CO₂/ha/jaar (Green Deal, 2018, p.10). Aansluitend op het eerdere project zullen wij in het voorliggende onderzoek de waarde van de SNK-methode aanhouden³. Overigens kunnen per locatie de emissies verschillen in verband met de hoogte van het grondwaterpeil, aanwezigheid van organisch materiaal en bedrijfsvoering (Kwakernaak et al., 2010).

De projectreferentie waarbij het peil wordt verlaagd is het eigenlijke BAU-scenario, zoals dat tot nu toe in het gebied wordt gehanteerd. Tegen over dit scenario, waarbij de landbouwkundige functie van de veenweidegebieden wordt behouden, staat het scenario met functiewijziging, dat hieronder is toegelicht.

Functiewijziging bij maaiveld-daling en een gelijkblijvend peil:

- Naast het behouden van de landbouwfunctie kan ook een wijziging in de functie in het gebied overwogen worden. Bij een wijziging in de functie gaan wij ervan uit dat het grondwaterpeil onveranderd blijft of verhoogd wordt. Het gevolg hiervan is dat de daling van het maaiveld door zal gaan in de tijd tot dat de veenoxidatie in evenwicht is met het grondwaterpeil. Vanwege de vernatting die dan optreedt zal landbouw steeds lastiger worden. Als het gebied zich natuurlijk ontwikkelt zal in de loop van de tijd veen, moeras en natte natuur ontstaan. Volgens de SNK-methode groen veenweide kan de vegetatieontwikkeling 2 ton CO₂/ha/jaar vastleggen (Green Deal, 2018, p.14). Een schematische weergave van een functiewijziging tot een natuurgebied is te zien in Figuur 2-4. In principe zijn voor de totstandkoming van deze projectreferentie zonder peilwijziging geen fysieke ingrepen nodig, zodat er geen sprake is van uitstoot door materieel. Bij een verhoging van het peil kan het wel nodig zijn om fysieke aanpassingen in het gebied door te voeren. Bij functiewijziging nemen de emissies door veenoxidatie geleidelijk af en kan na verloop van tijd sprake worden van vastlegging van CO₂.

³ Quick Scan: Blue Carbon Eems Dollardregio



Figuur 2-4 Ontwikkeling veenweidegebied: Functiewijziging door maaiveld-daling bij gelijkblijvend peil

2.1.4. Vergelijking

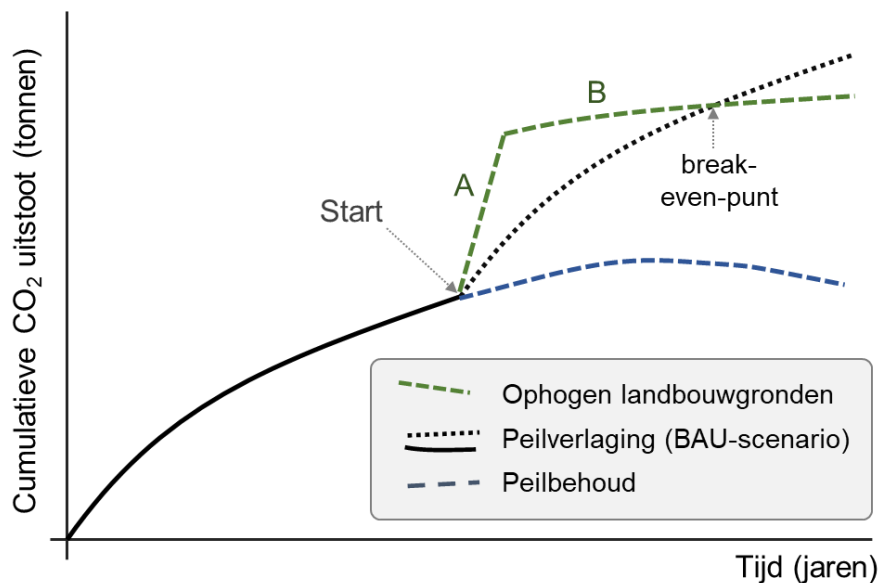
Naar aanleiding van de gevoerde gesprekken en literatuuronderzoek lijkt het ophogen van landbouwgronden op veengebieden voordelig voor het reduceren van emissies vanuit het veenpakket op lange termijn. Volgens de grove berekeningen zal uit het materieel ongeveer 35 ton CO₂/ha tijdens de aanleg over drie jaar vrijkomen⁴. Onzekerheid over de emissies uit materieel bestaan met name rond het spoelen en baggeren van het slib. Het spoelen van baggermateriaal vraagt een forse inspanning. Vanuit het materiaal zullen in beperkte mate emissies tijdens het baggeren en vervoer ontstaan. Emissies tijdens het spoelen van het baggermateriaal en tijdens het toepassen op de percelen kunnen nog niet gekwantificeerd worden, maar zullen een orde groter zijn dan vervoer en de baggerwerkzaamheden. Volgens VLOED is de doelstelling dat het grondwaterpeil na het ophogen van landbouwgronden verhoogd wordt en ervanuit gegaan kan worden dat daarmee emissies vanuit het veen voorkomen of sterk verminderd wordt. De emissies die ontstaan tijdens de realisatie van VLOED zouden bij een Projectalternatief (BAU-scenario) niet ontstaan zijn. Het is bij het ophogen van de landbouwgronden belangrijk om de optelsom te maken van de extra uitstoot op korte termijn (aanlegjaar) en de reductie van de emissies op de lange termijn (jaren). Figuur 2-5 laat in een schematische grafiek deze ontwikkeling zien. Ook al zijn er nog kennislagunes omtrent dit onderwerp (zie alinea hieronder), zal er op lange termijn een break-even-punt ontstaan waarbij de hoeveelheid voorkomen veenoxidatie de uitgestoten emissies tijdens de realisatiefase passeert (aangegeven in Figuur 2-5).

Meer onderzoek is noodzakelijk om een uitspraak te doen over de gevolgen voor de onderliggende bodemlagen door het additionele gewicht van de ophoging. In het rapport van Verhagen et al. 2009 wordt aangegeven dat de verdichting en consolidatie ten gevolge van het ophogen tijdelijk is terwijl veenoxidatie een continu proces is. De verdichting en consolidatie van de bodemstructuur kan worden geaccepteerd. Bovendien is het nog onduidelijk hoe het veenpakket met de zoutere bodemlaag bovenop zal interacteren. Alhoewel er nog kennisleemtes zijn geven de reeds bekende kengetallen inzicht in de kansen voor het voorkomen van emissies op lang termijn bij het ophogen van landbouwgronden. Of sprake is van additionele vastlegging van koolstof is sterk afhankelijk van het type landbouw dat na de verhoging plaats zal vinden. Ervan uitgaande dat de emissie van rond de 14,9 ton CO₂/ha/jaar voorkomen kan worden, dan zou na 2,5 jaar, dus nog tijdens de aanleg, minder emissie plaatsvinden dan in vergelijking met het BAU-scenario. Hierbij past wel de kanttekening dat de emissies van het spoelen nog niet gekwantificeerd zijn en het mogelijk iets langer zou kunnen duren voordat de omslag naar emissiebeperking plaatsvindt. Bovendien kan de

⁴ Voor de berekening is uitgegaan dat de aanleg over een periode van drie jaar uitgevoerd zal worden. Eenmalig zullen ringdijken geplaatst worden, dit resulteert in 1.834 CO₂ uitstoot. Voor het transport van baggermateriaal naar de landbouwpercelen wordt uitgegaan van 278 CO₂ uitstoot en de uitstoot bij het storten van het materiaal wordt in dezelfde orde grote verwacht. In totaal zal dit in drie jaar tot een uitstoot van 3.502 CO₂ leiden (per hectare ongeveer 35 CO₂/ha).

toekomstige vorm van landbouw (intensief of extensief) bepalend zijn voor de hoeveelheid emissies die ontstaat door landbouw.

Een functiewijziging naar natuur met behoud van het huidige peil levert in potentie de grootste emissiereductie, mede omdat er geen uitstoot door materieel hoeft plaats te vinden (zie Figuur 2-5 voor een vergelijking met de twee andere scenario's). Op termijn kan mogelijke een omslag naar langdurige koolstofvastlegging plaatsvinden. Overigens dient nog wel rekening te worden gehouden met een initiële periode met verhoogde emissies door vernatting⁵. Bij het verhogen van het peil kan wel sprake zijn van uitstoot door materieel, maar daar staat tegenover dat de emissiereductie eerder plaats zal vinden.



Figuur 2-5 Schematische grafiek met de cumulatieve uitstoot van CO₂ in de tijd voor verschillende scenario's. De grote uitstoot bij A van het scenario ophogen landbouwgronden is het gevolg van de werkzaamheden. Deze korte periode met roet uitstoot wordt gevolgd door periode B met minder uitstoot,

2.1.5. Conclusie

Het concept ophogen landbouwgronden wordt momenteel onderzocht in de regio van de Eems-Dollard om in te schatten wat de potentie hiervoor is. Voor het eerst wordt daarbij in beschouwing genomen wat het effect van de toepassing op de koolstoflux is. Op langere termijn (enkele jaren) ontstaat een potentie voor emissiereductie in verband met het verlagen/voorkomen van veenoxidatie. Figuur 2-2 geeft een overzicht van de projectstappen, waarbij twee stappen doorslaggevend zijn voor de hoeveelheid uitstoot tijdens het project:

- Transport van baggerlocatie naar landbouwpercelen: Naarmate de afstand toeneemt zullen de emissies tijdens de aanleg stijgen.
- Baggermateriaal spoelen met zoetwater.

In het voorliggende onderzoek zijn twee projectreferenties aangehouden: functiebehoud bij business as usual (BAU-scenario) en een functiewijziging met natuurontwikkeling. Voor allebei de projectreferenties wordt geen slib toegepast. De keuze van de projectreferentie is bepalend voor de vergelijking en duiding voor emissiereductie. Geadviseerd wordt om het BAU-scenario te gebruiken als referentie. Het geeft inzicht in de potentie van emissiereductie bij het

⁵ Voor meer informatie zie: Green Deal Nationale Koolstofmarkt (2018) *Methode voor vaststelling van emissiereductie CO₂-eq. Type project: CO₂-emissiereductie via verhoging grondwaterpeil in veengebieden ('Valuta voor Veen')*.

realiseren van het project en als het niet gerealiseerd wordt, zonder dat de functie van het gebied wordt gewijzigd. De functiewijziging met natuurontwikkeling kan relevant zijn daar waar natuurontwikkelingsprojecten worden overwogen.

Momenteel bestaat nog een reeks kennislacunes, zoals de emissies uit het materiaal tijdens de verschillende projectstappen, die onzekerheden introduceren in de berekeningsmethode. Op basis van beschikbare getallen en aannames zijn berekeningen uitgevoerd, maar bijvoorbeeld de kwantificering van de processtap spoelen met zoetwater ontbreekt nog. Met een kwantificering van de emissies uit het materiaal kan met meer zekerheid berekend worden wanneer het verlagen/voorkomen van veenoxidatie een hogere bijdrage levert dan de uitstoot tijdens de aanleg. Nader veldonderzoek en validatie van de emissies die door veenoxidatie ontstaan en hoe deze veranderen na het aanbrengen van baggermateriaal gaat verduidelijken wat de potentie van deze emissiereductie is.

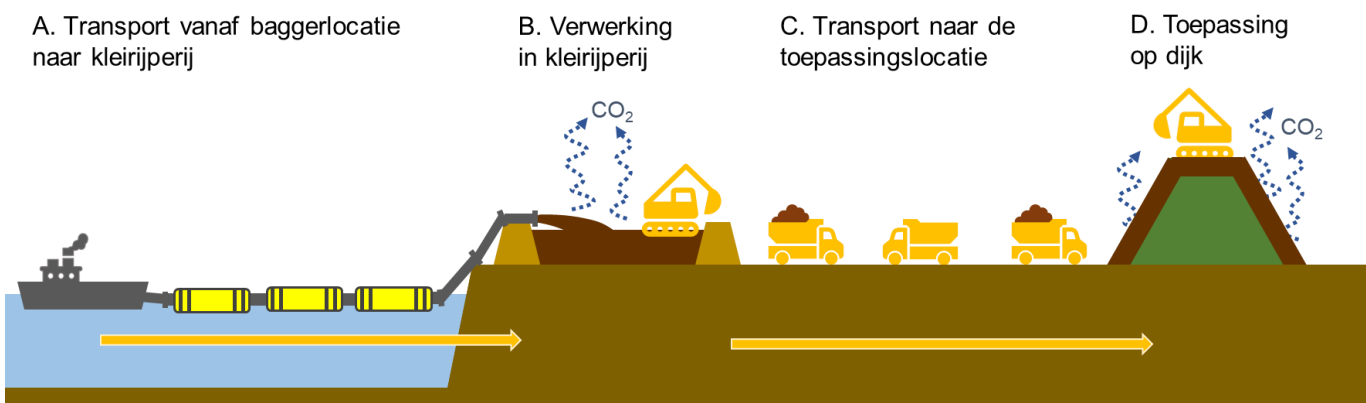
Gezien de grote oppervlaktes aan laaggelegen gebieden met veenpakketten dicht onder het maaiveld, bestaan kansen voor opschaling en uitbreiding van de toepassing. Dit geldt specifiek voor de regio Eems-Dollard, waar de fysieke afstand tussen deze gebieden waar veenoxidatie en maaiveldverlaging optreedt, en de potentiële slibbronnen klein is. Omdat de afstand van de baggerlocatie tot de landbouwpercelen een bepalende factor is voor de emissiereductie, maakt dit uitbreiding nabij de Eems-Dollard kansrijk. Daarbij geldt voor de Eems-Dollard de opgave om slib aan het estuarium te onttrekken, om de ecologische kwaliteit van het estuarium te vergroten. De mogelijkheden voor uitbreiding van het concept Ophogen van landbouwgronden zouden nader onderzocht moeten worden voor andere delen van Nederland. Zoals hierboven aangegeven is met name de transportafstand van de baggerlocatie tot de landbouwpercelen een bepalende factor voor emissies. Hoe groter de afstand, hoe meer emissies tijdens de realisatie zullen ontstaan. Het zal dan ook langer duren voor dat de emissies van de realisatie gelijk staan aan de voorkomen emissies van veenoxidatie. Omdat een baggerlocatie dichtbij essentieel is voor de meerwaarde van dit concept, zal niet overal in Nederland een locatie geschikt zijn voor emissiereductie door het ophogen van landbouwgronden.

2.2 Dijkversterking

2.2.1 Project toelichting

De toepassing van het slib uit de Eems-Dollard voor de dijkversterking vindt in drie stappen plaats, die na elkaar in de tijd plaatsvinden. Figuur 2-6 toont schematisch de verschillende stappen:

1. Het slib wordt gewonnen en getransporteerd naar de kleirijperij (A in Figuur 2-6)
2. Het slib wordt gerijpt tot dijkenslib (B in Figuur 2-6)
3. De dijkenslib (het gerijpte slib) wordt toegepast op de dijk (C & D in Figuur 2-6)



Figuur 2-6 Projectstappen voor lokale winning van slib, dat na rijping in een kleirijperij wordt toegepast als dijkenslib.

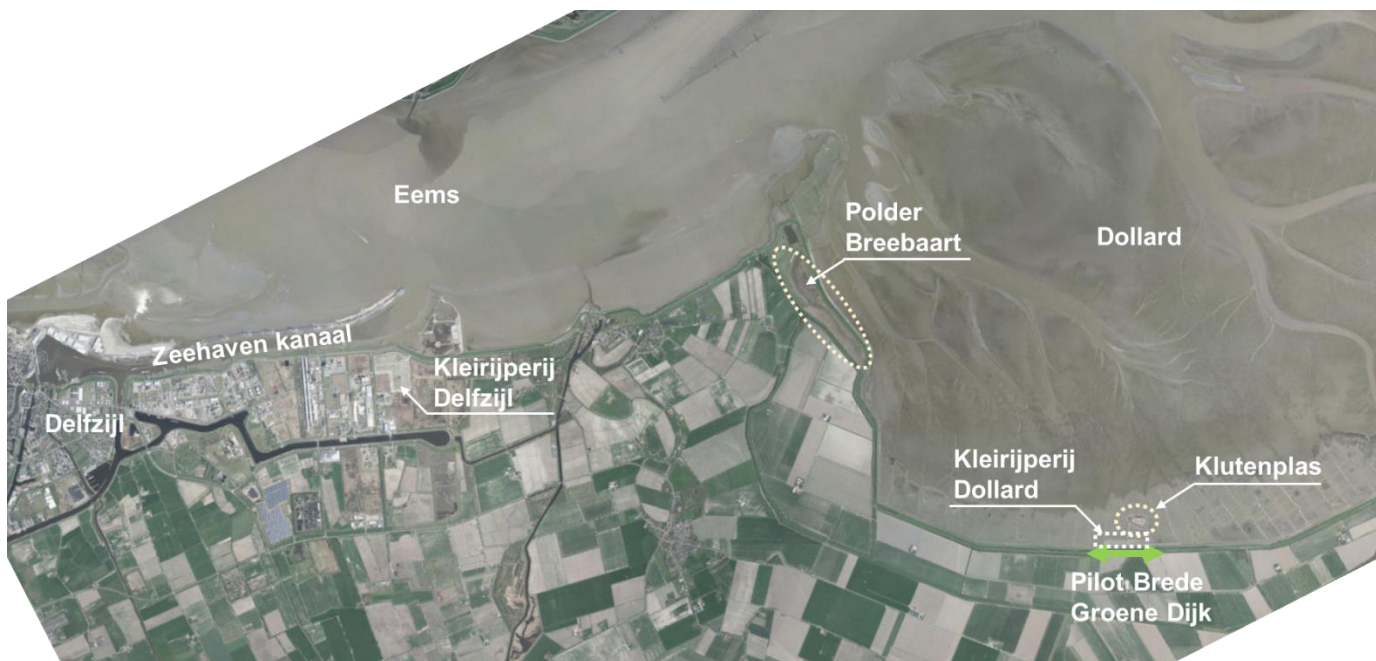
Het slibtoepassingsproject dijkversterking bestaat uit meerdere pilotprojecten, waarvan de grondstromen aan elkaar verbonden zijn (zie Figuur 2-7 voor de locaties). Hiervoor werd specifiek gekeken naar de volgende projecten: Polder Breebaart, Pilot Kleirijperij en de Brede Groene Dijk⁶.

Polder Breebaart: In het natuurgebied wordt sinds de herinrichting slib ingevangen, dat vanuit de Dollard in de polder stroomt en bezinkt (Esselink et al., 2020). Voor de herinrichting werd in 2001 een inlaatwerk in de zeedijk geplaatst, waardoor het gebied sindsdien een gedempt getijdenregime kent. Recent is het ingevangen slib opgebaggerd. Het baggeren van het ingevangen slib verbetert de natuurlijke omgeving in de polder en biedt opnieuw ruimte voor sedimentatie. Over een x aantal jaren is Polder Breebaart opnieuw opgevuld met sediment.

Pilot Kleirijperij: In de Kleirijperij zijn innovatieve methoden onderzocht om van slib klei te maken voor gebruik bij dijkversterkingen. Hierbij ging het om een oppervlakte van ongeveer 24 ha (ongeveer 14 ha bij Delfzijl en 10 ha bij de kwelder langs de Dollardijk), die opgevuld werd met 260.000 m³ slib. In het gebied zijn verschillende proefvelden aangelegd om verschillende processen van rijping te onderzoeken, bijvoorbeeld met of zonder vegetatie, omwoelen van het geplaatste materiaal en variërende vulhoogtes in een proefveld. Bovendien werd gemonitord wat het effect van de Kleirijperij op de kweldernatuur is bij de Dollardijk.

De Brede Groene Dijk: In de Brede Groene Dijk wordt onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor het toepassen van klei en slib uit de Eems-Dollard in een dijkversterking. Hiervoor is slib uit de polder Breebaart en het Zeehavenkanaal van Delfzijl gegraven, welke op twee locaties (Kleirijperijen) droogde, ontzilte en rijpte tot dijkenslib (bij de kwelder langs de Dollardijk en bij Delfzijl). Het materiaal dat ontgraven is bij de aanleg van de Klutenplas in de Dollardkwelder, als compensatiemaatregel voor de Kleirijperij bij de Dollardijk, werd ook in de zeedijk verwerkt. In het pilotproject is in eerste instantie de zeedijk over een lengte van ongeveer 750 m versterkt met de gerijpte klei.

⁶ De uitstoot door de aanleg van de Klutenplas in de kwelder als compensatiemaatregel voor de Kleirijperij in de kwelder is buiten beschouwing gelaten.



Figuur 2-7 Overzichtskaart met de verschillende projectlocaties waar sediment is onttrokken, gerijpt en toegepast (Luchtfoto 2018, bron beeldmateriaal.nl).

2.2.2 Projectstappen

Voor het dijkversterkingsproject zijn verschillende bron locaties gebruikt:

- Het Zeehavenkanaal (locatie Delfzijl): In 2018 werd ongeveer 230.000 m³ slib uit de vaargeul bij de haven gehaald en kon direct in de depotlocatie bij Delfzijl worden gepompt;
- Polder Breebaart: In 2019 werd eenmalig ongeveer 70.000 m³ afgegraven en in de depotlocatie op de kwelder naast de te versterkende dijk geplaatst. Hiervoor zijn leidingen van de Polder Breebaart naar de kwelderlocatie aangelegd en kon het opgebaggerde materiaal verpompt worden. De ringdijk ter plekke van de Kleirijperij op de kwelder werd gebouwd uit bodemmateriaal van de Klutenplas. Het bodemmateriaal uit de Klutenplas is uiteindelijk ook verwerkt in de Brede Groene Dijk.

Er zijn in de huidige Brede Groene Dijk (de pilot) 3 grondstromen (Zeehavenkanaal, polder Breebaart en Klutenplasklei) verwerkt in secties van x-aantal meter. In totaal zijn 750 meter dijk gerealiseerd, waarvan ongeveer 300 m uit klei van de Zeehavenkanaal bestaan, 200 m uit de Klutenplas, 100 m uit polder Breebaart. De resterende delen zijn de aansluiting op de oude dijk. Die worden de komende jaren gemonitord.

Metingen op de proeflocatie van de Kleirijperij wijzen op een fractie van 15% organisch materiaal in het sediment bij Delfzijl, deze fractie is beperkt gedaald. Redenen voor de minimale daling van organisch stof kan de beperkte indringingsmogelijkheden voor zuurstof in het slib zijn en de aanwezigheid van sulfaat (Shahmirzadi et al., 2020; Kox et al., 2022). Op de locatie bij de Dollardkwelders is de fractie organisch materiaal in het sediment lager met ongeveer 8-9%. De fractie organisch koolstof is maar een deel van de fractie organisch materiaal. Met behulp van een rekenmethode is deze berekend voor Delfzijl (6,21 %) en de Kwelder locatie (3,61 %) (Kox et al., 2022). Voor de kwelderlocatie van het project werden metingen in de eerste 3 maanden uitgevoerd ter inschatting van de koolstofoxidatie. Gemeten waardes duiden op een oxidatie van 8 kg CO₂ e/m² (0,012 ton CO₂ e/ton klei (Kox et al., 2022).

Nadat in 2018 de Kleirijperij op de twee depotlocaties gevuld is, is in 2022 de eerste 750 m van de Brede Groene Dijk aangelegd. Hiervoor is het materiaal van de Kleirijperij bij Delfzijl met vrachtwagens naar de dijkversterkingslocatie gebracht. Voor de kwelderlocatie kon het materiaal relatief eenvoudig ter plaatse in de dijkversterking verwerkt worden. Het resultaat is een bredere met gras ingezaaide dijk dan een standaard dijk die met reguliere dijkklei of asfalt is bekleed (Kox et al., 2022).

Tabel 2-2 Activiteiten en emissies uit materieel en materiaal bij de dijkversterking (70.000 m³) uit een pilotproject, aangepast uit rapport Van Oord (2019).

Dijkversterking (pilot)	Emissies uit materieel CO ₂ – emissies (ton)	Emissies uit materiaal
Polder Breebaart	Emissies uit de aanleg van Polder Breebaart zijn niet meegenomen, gezien deze buiten scope liggen. Het doel van de aanleg is het creëren van het natuurgebied en uitgraven van het slib is deel van het onderhoud.	Het materiaal is onder invloed van getij en zou mogelijk beperkt CO ₂ kunnen uitstoten
Ontgraven van sediment polder Breebaart	Via pompen richting de Kleirijperij bij de kwelder	Het materiaal is reeds in contact met de omgeving vandaar dat afbraakprocessen beperkt zullen zijn
Ontgraven van sediment Zeehaven Delfzijl	Vanuit de haven wordt het materiaal direct de Kleirijperij bij Delfzijl ingelaten	In beperkte mate zullen oxidatieprocessen optreden, i.v.m. de aanwezigheid van sulfaat en een laag zuurstofgehalte
	CO ₂ -emissies Delfzijl [ton] voor 70.000 m ³ klei	
Bouwen depots en aanleggen persleiding met hydraulische graafmachines en bulldozers	194	• 0.012 (ton CO ₂ e/ton clay) Kox et al. 2022) veldwerk
Draineren (1^e jaar) en omzetten van de klei met diverse mobiele werktuigen ten behoeve van het rijpingsproces	34	
Ontgraven van de klei uit het depot met hydraulische graafmachines	19	
Droog transport van de klei van de overslaglocatie naar dijklichaam met vrachtwagens	188	
Verwijderen persleiding en herstellen terrein in oorspronkelijke staat met hydraulische graafmachines en een bulldozer	39	
Totaal	474	

2.2.3 Projectreferentie (BAU-scenario)

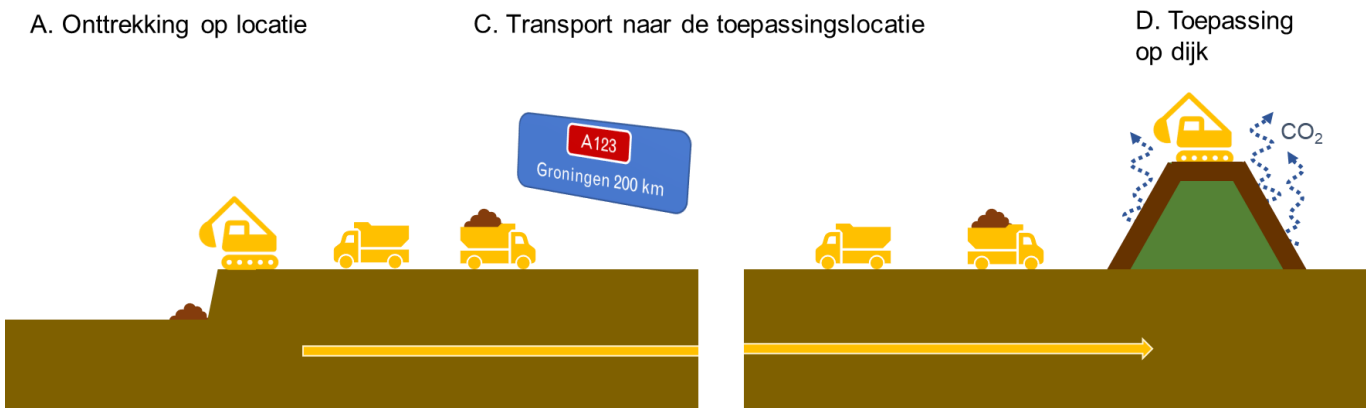
Om een inschatting en afweging te kunnen maken van de potentie voor emissiereductie bij de combinatie oplossing voor een dijkversterking (Polder Breebaart, Kleirijperij en Brede Groene Dijk) is naar mogelijke projectreferenties of alternatieven gekeken. Hierbij werd naar twee verschillende referentieprojecten gekeken: 1. periodieke baggerwerkzaamheden in het Zeehavenkanaal om de vaargeul bevaarbaar te houden en 2. een dijkversterking met standaard dijkklei uit België⁷.

Periodieke baggerwerkzaamheden in het Zeehavenkanaal: Onafhankelijk van de Kleirijperij of de ambitie om slib uit de Eems-Dollard te halen zouden onderhoudsbaggerwerkzaamheden in het Zeehavenkanaal uitgevoerd moeten worden om de vaargeul en haven van Delfzijl bevaarbaar te houden. Als het baggermateriaal geen toepassing heeft wordt het baggermateriaal terug in het estuarium gestort (Kox et al. 2022). Terwijl nu de inspanningen groter zijn om

⁷ Voor dit scenario zijn eerdere berekeningen door Van Oord (Van Oord, 2019) uitgevoerd en kan beschikbare informatie gebruikt worden.

het materiaal naar de depotlocatie bij Delfzijl te varen en het materiaal actief in de depots te plaatsen, is de vaarafstand kleiner dan het storten van baggermateriaal voor de kust waardoor emissies vanuit materieel bespaard worden.

Dijkversterking met standaard dijkklei uit België: Figuur 2-8 laat dit alternatief, waarbij de klei wordt gewonnen in België en wordt getransporteerd naar het toepassingsgebied schematisch zien. De reden voor de toepassing van dijkklei die op relatief grote afstand wordt gewonnen, zijn de eisen die aan dijkklei worden gesteld. Een van de eisen aan de dijkklei, is het percentage organische stof, dat conform de huidige normen onder de 5% moet zijn (Kox et al., 2022). Baggermateriaal kan afhankelijk van de condities en locatie een hoger gehalte organische stof hebben. Dit heeft te maken met verschillende aspecten zoals de aanvoer van organisch materiaal, afbraakprocessen, nutriënten, temperatuur en aanwezigheid van zout. Sediment uit zoetwatermilieu in België wordt vaak voor dijkversterkingen gebruikt, omdat het een laag gehalte van organische stof heeft. Of er emissies ontstaan uit het materiaal tijdens het afgraven en transport van het materiaal is moeilijk in te schatten, er zullen oxidatieprocessen ontstaan op het moment dat diepere bodemlagen in aanraking komen met zuurstof, maar een kwantificering hiervan eist nader (veld)onderzoek. Desondanks kan een inschatting gemaakt worden van de emissies die door het materieel ontstaan. Hiervoor zijn twee reeds uitgevoerde voorbeelden van Van Oord gebruikt worden, waarbij Van Oord een totaal van 1299 ton CO₂ als emissies berekend voor een vergelijkbaar project met materiaal uit België, zie Tabel 2-3.



Figuur 2-8 Projectstappen voor een BAU-scenario met toepassing van dijkklei uit België.

Tabel 2-3 Activiteiten en emissiebronnen BAU-scenario (70.000 m³), aangepast uit rapport Van Oord (2019).

Dijkversterking BAU	Emissies uit het materieel (CO ₂ -emissies (ton))	Emissies uit het materiaal
Ontgraven klei met hydraulische graafmachines en dumper laden	20	<ul style="list-style-type: none"> Organisch stofgehalte moet minder dan 5% zijn Door mogelijke oxidatieprocessen tijdens het graven en verplaatsen zouden emissies kunnen optreden
Droog transport van ontgravingslocatie naar overslaglocatie met dumper en laden beunschip middels stortbrug	84	
Transport over water met een beunschip tot overslaglocatie	830	
Lossen van de klei uit beunschip et hydraulische graafmachine en laden in vrachtwagen	26	
Droog transport met vrachtwagen van overslaglocatie naar dijklichaam	339	
Totaal BAU-scenario	1299	

2.2.4 Vergelijking

Voor de emissies uit het materieel heeft Van Oord een vergelijking van de emissies bij een BAU- en een Kleirijperijscenario ontwikkeld, zie Tabel 2-4. De vergelijking duidt erop dat met name de aanleg van de infrastructuur bij de Kleirijperij tot emissies leidt, terwijl voor een BAU-scenario het transport de bepalende factor is. In het onderzoek van Van Oord werd duidelijk dat het 'nat' vullen van de depots met baggerslib door het verpompen van het slib in vergelijking met het storten op verder gelegen locatie voordelig is. Door het vullen van depots met baggerslib in plaats van storten gaat Van Oord ervanuit dat emissies voorkomen worden, vanwege de kortere transportafstand. Ook bij een winlocatie voor dijkkenlei op kortere afstand van de toepassingslocatie dan de BAU-locatie in België, bijvoorbeeld in het Nederlandse rivierengebied, is dit de belangrijkste factor. De emissiereductie door de Kleirijperij is gevoelig voor transportafstand, waardoor bij een vervolgproject de locatie van de Kleirijperij in verhouding tot de dijklocatie belangrijk is qua emissies vanuit materieel.

Tabel 2-4 Emissies uit materieel bij een BAU- en Kleirijperijscenario (Van Oord, 2019)

Activiteitscategorie	Emissies per functionele eenheid BAU-scenario (kg CO ₂ /m ³ dijkkenlei)	Emissies per functionele eenheid kleirijperij-scenario (kg CO ₂ /m ³ dijkkenlei)
Aanleggen infrastructuur	0	3,3
Winning en productie	0,3	0,3
Transporteren eindproduct	18,3	2,7
Totaal	18,6	6,3

Voor een vergelijking van de emissies uit materiaal zijn er nog geen getallen bekend bij een BAU-scenario. Voor het voorliggende onderzoek wordt er van uit gegaan dat tijdens het transport bij een BAU-scenario beperkt oxidatieprocessen ontstaan in verband met de keuze van het materiaal om aan de dijkkenlei eisen van minder dan 5% organische stofgehalte te voldoen. De veldmetingen van de emissies tijdens het rijpingsproces in de Kleirijperij duiden erop dat 8 kg CO₂/m² vrijkomt of 12,8 kg CO₂/m³ (locatie: Kleirijperij) en 4,8 kg CO₂/m³ (locatie: Kwelder)⁸. De huidige dijkkenlei eisen vergen dat de dijkkenlei minder dan 5% organisch materiaal bevat. Het percentage organische materiaal was in het baggermateriaal hoger en is ook niet gedaald tot de 5%. In het onderzoek van Deltares is een worst-case scenario opgenomen, waarbij ervan uitgegaan wordt dat het percentage organisch materiaal in de Kleirijperij daalt tot onder 5%, met als gevolg meer emissies. De veldmetingen duiden echter niet op dat dit worst-case scenario optreedt. Kox et al. (2022) concluderen dat de emissies in een BAU-scenario (transport en winning) in dezelfde orde van grootte zijn als bij een worst-case Kleirijperij-scenario.

2.2.5 Conclusie

Momenteel worden nieuwe en innovatieve manieren onderzocht om dijken te versterken, met oog op uitdagingen zoals zeespiegelstijging en klimaatverandering. In de Eems-Dollard regio wordt de Brede Groene Dijk in de praktijk onderzocht. Bij de Brede Groene Dijk worden twee doelen gecombineerd:

1. Het hergebruiken van baggermateriaal en
2. Het versterken van de waterkering.

Figuur 2-6 geeft een overzicht van de verschillende projectstappen bij het gebruik van lokale dijkkenlei uit slib, inclusief projectstappen die tot uitstoot leiden. Op basis van de nu beschikbare informatie en gegevens is duidelijk geworden dat lokale dijkkenlei uit kleirijperijen kansen biedt voor emissiereductie. Met name het verschil in transportafstand in vergelijking met het BAU-scenario (schematisch weergegeven in Figuur 2-8) blijkt een bepalende factor voor de emissiereductie.

Voor een definitief oordeel over de emissiereductie is het belangrijk dat verder onderzoek de kennisleemtes reduceert, zodat de gedetailleerde en gekwantificeerde berekeningen aan de emissiereductie beter worden onderbouwd. Door veldmetingen zou bijvoorbeeld moeten worden vastgesteld hoeveel uitstoot ontstaat uit het baggermateriaal in de verschillende projectstappen. De monitoringsgegevens van de pilot Brede Groene Dijk zullen nadere inzichten geven in het rijpingsproces en geschiktheid voor dijkkenlei. Mogelijk dat het rijpingsproces nog versneld kan worden of dat

⁸ De gemiddelde vulhoogte van de Kleirijperij is afhankelijk van de locatie: Delfzijl 1,6 m en op de Kwelder 0,6 m.

een hogere fractie organisch materiaal een minder groot obstakel is voor toepassing in dijken dan eerder is aangenomen.

In het voorliggende onderzoek zijn twee projectreferenties aangehouden voor de verschillende onderdelen van het proces:

1. Periodieke baggerwerkzaamheden in de Zeehavenkanaal om de vaargeul bevaarbaar te houden en
2. Een dijkversterking met standaard dijkklei uit België, te zien in Figuur 2-8.

De keuze van de projectreferentie is bepalend voor de vergelijking en daarmee voor de berekende emissiereductie.

Voor de Eems-Dollard geldt de doelstelling om slib uit het estuarium te onttrekken, voor het verbeteren van de ecologische kwaliteit. Daarmee is in potentie veel slib beschikbaar voor toepassing bij dijkversterking. Opschaling van deze toepassing is in deze regio voor de hand liggend. Langs de Nederlandse kust, langs de rivieren en de grote meren vinden continue werkzaamheden plaats om de bescherming tegen overstromingen te garanderen. En op allerhande plekken wordt gebaggerd voor het op diepte houden van vaarwegen. Deze combinatie van werkzaamheden biedt kansen voor opschaling van de toepassing van lokaal gerijpte dijkklei. Zoals eerder genoemd zal de afstand van de baggerlocatie tot de dijk een bepalende factor zijn voor de hoeveelheid emissies en de mogelijkheid om emissiereductie te bereiken.

2.3 Het persen van slibblokken voor diverse toepassingen

2.3.1 Project toelichting

Het persen van slibblokken voor diverse toepassingen is een technologie om sedimenten nuttig te hergebruiken. Het materiaal of de geproduceerde producten kan worden gebruikt voor landaanwinning, rifelementen en potentieel zelfs om huizen te bouwen. Hiervoor wordt (bagger)sediment ontwaterd en versterkt met lokaal beschikbaar materiaal om de eigenschappen te optimaliseren en de sterkte van de samengeperste slibblokken te stabiliseren.



Figuur 2-9 GEOWALL building blocks van Netics

2.3.2 Projectstappen

Het nuttig toepassen van baggermateriaal door het materiaal te persen en mogelijk te mengen met bindend materiaal kan verschillende producten opleveren. Bedrijven zoals Netics produceren rifelementen en geowalls die bijvoorbeeld als zetsteen bij dijken gebruikt kunnen worden of om als natuurlijke overgang richting de zee te fungeren. Daarnaast kunnen ook grastegels en breukstenen ontwikkeld worden. Gezien de grote variatie aan toepassingen in producten richt zich het voorliggende onderzoek op de Geowall-toepassing van een blok (per ton). Hiervoor is contact opgenomen met de projectleider en organisatie Geowall (een dochterbedrijf van Van Oord).

Voor de Geowalls wordt momenteel gebruik gemaakt van baggerspecie uit de Kleirijperij. Na het rijpingsproces in de Kleirijperij wordt het materiaal naar de fabriek gebracht, die in de buurt van de Kleirijperij staat. In de fabriek aangekomen wordt het materiaal gemengd met een natuurlijke binder, zoals kalk. Afhankelijk van het materiaal kunnen de blokken uit 90% baggerspecie bestaan of lagere waarden zoals 50% en meer bindmateriaal. De variatie in het aandeel baggerspecie vertaalt zich door naar een variatie in koolstof in de blokken. Volgens Netics zou het koolstofgehalte per blok ongeveer 3-5% moeten zijn, dit komt overeen met ongeveer 30-50kg CO₂. Daarnaast geeft Netics aan dat de uitstoot bij het persen zelf (stroomgebruik) ongeveer 4kg CO₂ per ton Geowall is. De volledige productieketen heeft een uitstoot van rond de 35,4kg CO₂ per ton volgens Geowall⁹. Een groot deel van de uitstoot ontstaat bij de productie/winning van hoogovencement. Voor een overzicht van de projectstappen zie Tabel 2-5.

De Geowall-toepassing is nieuw en daarom is het moeilijk om een inschatting te maken van de lange termijn vastlegging van koolstof. Volgens informatie van Netics zijn de blokken niet speciaal ontworpen om bijvoorbeeld 50 jaar lang stand te houden, maar wordt wel verwacht dat dit behaald kan worden. In het geval dat de blokken uiteen breken of vergaan zou het materiaal sedimenteren en weer onderdeel van het systeem worden. Er is dan geen sprake meer van de vastlegging van koolstof.

Tabel 2-5 Overzicht van de projectstappen en mogelijke emissies uit materieel en materiaal.

GEOWALL/Slibblokken	Emissies uit materieel	Emissies uit materiaal
Afgraven van baggerspecie (Zeehavenkaneel)	35,4kg CO ₂ per ton (productieketen)	In beperkte mate zullen oxidatieprocessen ontstaan, i.v.m. de aanwezigheid van sulfaat en een laag zuurstofgehalte
Kleirijperij		<ul style="list-style-type: none"> 0.012 (ton CO₂e/ton klei) Kox et al. 2022) veldwerk

⁹ Deze berekening is door Geowalls uitgevoerd. Hierbij is het onduidelijk welke processtappen meegenomen zijn in de berekening en welke niet.

Transport	Het materiaal is reeds in contact met de omgeving vandaar dat afbraakprocessen beperkt zullen zijn
Hydraulisch persen van materiaal in de gewenste vorm	Geen informatie beschikbaar

2.3.3 Projectreferentie (BAU-scenario):

Vanwege de variatie in de toepassingen van de geperste slibblokken en de nieuwe toepassingsmogelijkheden die zijn bedacht, is ervoor gekozen om beton als referentieproduct te bekijken. We vergelijken dus de basismaterialen (geperst slib en beton) en niet de toepassing van de blokken. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat de samenstelling van beton sterk verschilt per product en toepassing. Bovendien is niet altijd inzichtelijk waar de verschillende basismaterialen van het beton vandaan komen en wat de transportafstanden zijn. Vandaar dat meerdere bronnen geraadpleegd zijn om een bandbreedte van mogelijke emissies in kaart te brengen¹⁰:

- Volgens de SNK-methode voor hennep voor langdurige CO₂-opslag heeft een dragende muur 64,6 kg CO₂ eq./m² muur en een niet-dragende muur 49,8 kg CO₂ eq./m² muur (Edzes, et. al, 2022)
- Volgens de IPCC: 507 kg CO₂/ton portlandklinker¹¹ (Gibbs et al, onbekend)
- Volgens een artikel uit het Journal of Cleaner Production: 900 kg CO₂/ton cement (Benhelal et al, 2013)

De getallen hierboven geven een indicatie dat er een groot verschil in de verwachte emissies van het beton zit. Nader onderzoek is noodzakelijk om inzichtelijk te krijgen of de duurzaamheid of levensduur van beton en Geowalls vergelijkbaar is om ook hierop een vergelijking te kunnen uitvoeren.

2.3.4 Conclusie

Zoals hierboven aangegeven kunnen verschillende producten uit het gerijpte slib geperst worden. Vandaar dat ervoor gekozen is om beton als algemeen vergelijkingsproduct te gebruiken. Vanwege de hoeveelheid kennisleemtes, beperkt inzicht in de lange termijn werking van het product en het ontbreken van een proces waarbij koolstof vastgelegd wordt over emissiereductie gesproken en niet over vastlegging. Het is echter nog niet mogelijk om de volledige emissiereductie door de toepassing van geperste slibblokken in plaats van betonblokken te berekenen.

Voor een kwantitatieve vergelijking moet worden onderzocht wat de uitstoot uit het materiaal is gedurende de hele productieketen om een betere vergelijking te maken tussen beton en het gerijpte en geperste slib. En voor een vergelijking over gehele toepassingsduur ("Life cycle") zijn metingen nodig op lange termijn om de bestendigheid van slibblokken te toetsen. Bovendien is voor een volledige vergelijking de keuze van het type beton en de oorsprong belangrijk, omdat de verschillende ingrediënten voor beton uit verschillende locaties kunnen komen.

De potentiële mogelijkheden voor uitbreiding en opschaling van het concept, bijvoorbeeld als zetsteen bij dijkversterkingen of gebouwen zijn legio. Maar ongeacht de omvang van de opschaling, blijft de kwantiteit aan baggermateriaal dat hiervoor uit het estuarium gehaald kan worden beperkt in vergelijking tot de toepassing in dijken en op landbouwgronden. Dijkversterkingen zullen frequent uitgevoerd moeten worden en vragen constant om nieuw materiaal en dat geldt ook voor het ophogen van landbouwgronden. Voor de slibblokken is maar een beperkte kwantiteit aan baggermateriaal nodig.

¹⁰ De vergelijking gaat mogelijk mank in verband met de verschillende beton producten die met elkaar vergeleken worden, desondanks laat juist deze vergelijking zien hoe groot de bandbreedte van emissies bij beton producten is.

¹¹ Portlandklinker ontstaat tijdens de productie van portlandcement en is een zogenaamd halffabricaat.

3 Conclusies

Met het toepassen van slib uit de Eems-Dollard kunnen waarschijnlijk reducties van CO₂-emissies worden bereikt. Of dat daadwerkelijk zo is en hoe groot deze reducties dan zijn, is afhankelijk van de toepassing zelf en de vergelijking met de Business-As-Usual referentie. De drie toepassingen die zijn beschouwd in dit rapport leiden niet tot vastlegging van koolstof in mariene afzettingmilieus, zoals dat wel gebeurt in kwelders (Koenders et al., 2021). Dat betekent dat geen sprake is van 'Blue Carbon' bij deze toepassingen van slib. Desondanks kan wel sprake zijn van emissiereductie. De potentie voor emissiereductie is nader gekwantificeerd voor de drie toepassingen.

Ophogen van (landbouw)grond

Door het ophogen van landbouwgrond, in combinatie met het aanpassen van het peil, zal de veenbodem behouden blijven en kan de grond opnieuw in gebruik worden genomen voor landbouwdoeleinden. Bij de BAU-referentie zal na peilverlaging oxidatie van de veenbodem plaatsvinden met de bijbehorende emissies. In vergelijking met het BAU-alternatief leidt het ophogen van landbouwgronden na ca. 3 jaar tot een jaarlijkse reductie van de emissies van 14,9 ton CO₂/ha/jaar¹². Hierbij past wel de kanttekening dat de emissies van het spoelen met zoetwater nog niet gekwantificeerd zijn, waardoor het mogelijk iets langer kan duren voordat de omslag naar emissiebeperking plaatsvindt. Andere emissieposten zoals transport en de aanleg van kades hebben hier ook invloed op. Opschaling van het ophogen van grond voor het beperken van veenoxidatie lijkt kansrijk in de omgeving van de Eems-Dollard. Bij toepassing elders in Nederland wordt de transportafstand tussen de locatie waar slib wordt onttrokken en de locatie waar ophoging plaatsvindt doorslaggevend voor het wel of niet bereiken van het omslagpunt naar emissiereductie.

Dijkversterking

Het verwerken van het slib tot klei die op de dijk kan en mag worden toegepast is een bewerkelijk proces, waarbij verschillende stappen worden doorlopen om het slib te rijpen. Elk van deze stappen kan leiden tot emissies. Desondanks kan de optelsom van de emissies van de verschillende stappen lager uitvallen dan de emissies van de BAU-referentie. Sterk bepalend voor de specifieke situatie zijn de afstanden waarover slib en klei moeten worden getransporteerd. Kox et al. (2022) concluderen dat de emissies in een BAU-scenario (winning op een realistische afstand en transport naar de dijk) in dezelfde orde van grootte zijn als bij een worst-case Kleirijperij-scenario. Het worst-case scenario gaat ervanuit dat het percentage organisch materiaal in de Kleirijperij daalt tot onder 5 %. De veldmetingen tot nu toe duiden echter niet op een dergelijke afname. Nader veldonderzoek zal hier meer uitsluitsel over geven. Volgens de getallen zoals die nu beschikbaar zijn, biedt lokale dijkklei uit de Kleirijperij kansen voor een emissiebeperking. In potentie is de toepassing van slib via kleirijperijen in dijken opschaalbaar. Dat geldt zeker langs de Eems-Dollard, vanwege de natuuropgave om slib aan het estuarium te onttrekken. Mogelijk is dit ook op andere locaties in Nederland toepasbaar. Voor het bepalen van de mogelijke emissiereductie moet daarbij steeds worden gekeken naar de lokale variabelen, waarbij de transportafstand sterk bepalend is.

Slibblokken persen

Het persen van slibblokken voor diverse toepassingen is een technologie om sedimenten nuttig te hergebruiken. De blokken kunnen lokaal geproduceerd worden, waardoor emissies in vergelijking met een BAU-scenario gereduceerd worden, vanwege kleinere transportafstanden. De emissies van de betonproductie in het BAU-scenario kennen een grote bandbreedte van 49,8 kg CO₂ eq./m² - tot 900 kg CO₂/ton cement, waardoor een vergelijking van de uitstoot van de productie lastig blijkt. Veldonderzoek kan helpen om de emissies nauwkeuriger in beeld te brengen. Daarmee kunnen ook vragen over de levensduur en bestendigheid van de slibblokken over de tijd worden beantwoord. De productie van slibblokken kan worden opgeschaald. Bij opschaling is de bepalende factor de omvang van de afzetmarkt. Ook bij verregaande opschaling blijft de hoeveelheid bagger die in de slibblokken verwerkt kan worden beperkt in verhouding tot toepassingen voor het ophogen van landbouwgronden en in dijkversterking.

Algemeen

Naar verwachting kunnen de absoluut grootste reducties van de CO₂-emissies worden bereikt met het ophogen van landbouwgronden en dijkversterking met lokaal gewonnen dijkklei. Met deze activiteiten kan ook de grootste reductie van de slibbelasting van de Eems-Dollard worden bereikt.

Kennisleemtes

In het voorliggende onderzoek zijn meerdere kennisleemtes benoemd. Een overkoepelende kennisleemte betreft de emissies van slib in situ, tijdens het baggeren, het transport, in kleirijperijen en de toepassingen. Het aantal metingen

¹² Voor de berekening is uitgegaan dat de aanleg over drie jaar uitgevoerd zal worden.

van dergelijke emissies is nog beperkt, mede vanwege de complexiteit van dit soort metingen. Er is steeds meer aandacht voor emissiebeperkingen en koolstofvastlegging bij grondverzet en waterbouwprojecten. Dit komt tot uitdrukking bij projecten en programma's als het Handelingspalet broeikasgasemissies Duurzaam en Kosteneffectief Grondverzet Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW), Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), Duurzaam Nat Grondverzet voor natuur en klimaat (DuNaG) en vele andere. Over het algemeen wordt in al deze projecten naar een nadere kwantificering van emissies gezocht en wordt gekeken welke aspecten een rol spelen bij emissiereductie en – beperking. Het onderzoek in deze projecten zal voor een deel voorzien in gegevens en generieke inzichten om de kennisleemtes te reduceren.

Voor het onderbouwen van de emissiereductie van specifieke projecten, wel of niet gekoppeld aan de uitgifte van SNK- koolstofcertificaten, zullen ook kenmerken moeten worden vastgelegd die van toepassing zijn op de betreffende locaties. Dat kan bijvoorbeeld door het achterhalen van lokale kenmerkende waarden en/of het uitvoeren van metingen ter plaatse.

4 Literatuurlijst

- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., Bahadori, A., (2013) *Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry* Journal of Cleaner Production. P.142-161
- Bijlagen document Glossary, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2022/03/10_SROCC_AnnexI-Glossary_FINAL.pdf, IPCC. Website is bezocht op 20.08.2022
- Gregg, R., Elias, J., Alonso, I., Crosher, I., Muto, P., Morecroft. (2021) *Carbon storage and sequestration by habitat: a review of the evidence (second edition)* Natural England
- Green Deal Nationale Koolstofmarkt (2018) *Methode voor vaststelling van emissiereductie CO2-eq. Type project: CO2-emissiereductie via verhoging grondwaterpeil in veengebieden ('Valuta voor Veen')*.
- Gibbs, M., Soyka, P., Conneely, D., (onbekend) *Good practice Guidance and Uncertainty management in national greenhouse gas inventories: CO2 emissions from cement production* (https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_1_Cement_Production.pdf)
- Edzes, M., Hees, E., Van Well, E., Kool, A., (2022) *Hennep voor langdurige CO2-opslag Methodedocument voor vaststelling van emissiereductie en/of vastlegging van CO2 eq.* Stichting Nationale Koolstofmarkt
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (2014) *IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Published: IPCC, Switzerland.
- Klooster, J. (2022) *Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard (Vloed), Scenario 1 – Oosternhorn-Zuid (Maatschappelijke kosten-batenanalyse.* Arcadis
- Koenders, L., J. Cleveringa, N. Nijborg & N. Slik, 2021. *Quick Scan: Blue Carbon Eems Dollardregio.* Arcadis-rapport D10032296:146
- Kox, M., Van der Star, W., Nieuwenhuis, R. (2022) *Greenhouse gas emissions from the clay ripening pilot "Kleirijperij".* Deltares
- Van Oord (2019) *Ketenanalyse "Kleirijperij" Dijkenklei maken uit baggerslib vs reguliere kleiwinning.* Van Oord.
- Verhagen, A., Van den Akker, J.J.H., Blok, C., Diemont, W.H., Joosten, J.H.J., Schouten, M.A., Schrijver, R.A.M., Den Uyl, R.M., Verweij, P.A., Woesten, J.H.M. (2009) *Scientific Assessment and Policy Analysis: Peatlands and carbon flows: Outlook and importance for the Netherlands.*

Colofon

SLIBTOEPASSINGEN
LIFE IP DELTANATUUR
COALITIE NATUURLIJKE KLIMAATBUFFERS, STICHTING NATIONALE
KOOLSTOFMARKT, RIJKSWATERSTAAT, WAGENINGEN MARINE
RESEARCH EN MINISTERIE VAN LANDBOUW, NATUUR EN
VOEDSELKwaliteit

AUTEUR
Leonie Koenders

ONZE REFERENTIE
<DocId>:1

DATUM
10 februari 2023

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

T +31 (0)88 4261261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.linkedin.com/company/arcadis-nederland)



[arcadis_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.facebook.com/ArcadisNetherlands)