

# Blue Carbon in Nederlandse kwelders

Resultaten van vier Kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten



M. Teunis  
K. Dideren



**Bureau Waardenburg**  
Ecologie & Landschap  
[www.buwa.nl](http://www.buwa.nl)



## Blue Carbon in Nederlandse kwelders

### Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten

drs. M. Teunis

#### Status uitgave: definitief

Rapportnummer: 18-301  
Projectnummer: 18-0015  
Datum uitgave: 08-11-2018  
Foto's omslag en hoofdstukken: Udo van Dongen / Bureau Waardenburg  
Projectleider: drs. M. Teunis  
Tweede lezer: drs. K. Diddersen  
Naam en adres opdrachtgever: Natuurmonumenten, Barbara Schoute  
Schaep en Burgh, Noordereinde 60, 1243 JJ 's-Graveland  
Referentie opdrachtgever: Opdrachtbrief 8 maart 2018  
Akkoord voor uitgave: W. Liefveld

Paraaf:



Graag citeren als: Teunis, M. and Diddersen, K. (2018). Blue Carbon in Nederlandse kwelders. Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten. Bureau Waardenburg Rapportnr. 18-301. Bureau Waardenburg, Culemborg.

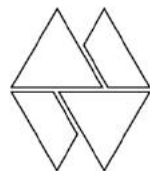
Trefwoorden: Blue Carbon, kwelder, koolstof, klimaatmitigatie

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv. Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Natuurmonumenten

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is door CERTIKED gecertificeerd overeenkomstig ISO 9001: 2015. Bureau Waardenburg bv hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.



**Bureau Waardenburg bv**  
Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Postbus 365 4100 AJ Culemborg  
Telefoon 0345 51 27 10  
info@buwa.nl www.buwa.nl





# Voorwoord

De directie van Natuurmonumenten heeft in 2016 besloten om te verkennen of het concept van klimaatcertificaten voor haar aantrekkelijk is en om welk potentieel (capaciteit van natuurgebieden voor het lange termijn opslaan van koolstof) het daarbij kan gaan. Besloten is om deze verkenning te koppelen aan het beschrijven en doorrekenen van een aantal potentiële projecten. Een belangrijk onderdeel hiervan is het onderzoeken of met een betrouwbare berekening de omvang van koolstof in een kwelder, en de mate van toe- of afname van koolstofvastlegging (Blue Carbon) kan worden vastgesteld.

Blue Carbon is koolstof dat ligt opgeslagen in mariene ecosystemen, zoals mangroves, zeegrasvelden en kwelders. Koolstof opslag in kwelders kan voor Natuurmonumenten interessant zijn en de potentie van Blue Carbon is derhalve onderdeel van de verkenning.

Bureau Waardenburg heeft zich de afgelopen jaren ingezet om Blue Carbon in Nederland op de kaart te krijgen. Daarbij heeft Bureau Waardenburg ook een eerste haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar Blue Carbon in Nederland in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen en de Universiteit van Utrecht.

Het huidige rapport omschrijft een methodologie om Blue Carbon potentie vast te stellen en bevat vier casussen van verschillende kweldergebieden in Nederland in beheer van Natuurmonumenten. Uitgezocht is hoeveel organisch koolstof de kwelders op dit moment bevatten en hoeveel er jaarlijks bijkomt. De uitkomsten zijn omgezet naar het CO<sub>2</sub> equivalent om een duidelijk beeld te geven in hoeverre de kwelders bijdragen aan klimaatmitigatie en of een Blue Carbon project haalbaar is.

Dit rapport is opgesteld door Bureau Waardenburg, de berekening van organisch koolstof is opgenomen in het supplement bij dit rapport. Aan de totstandkoming van dit rapport werkten mee:

Malenthe Teunis	projectleiding, veldwerk, lab analyses, rapportage
Floor Driessen	veldwerk
Udo van Dongen	veldwerk en fotografie
Wilbert van Deelen	veldwerk en lab analyses
Helga van der Jagt	rapportage
Karin Didden	rapportage
Paul de Gier	giskaarten

Vanuit Natuurmonumenten werd de opdracht begeleid door de Frans Vlieg, Paul Vertegaal en Barbara Schoute. Wij danken hen voor de prettige samenwerking. Daarnaast willen wij graag de beheerders van de verschillende gebieden bedanken, waaronder Eckard Boot en Jitske Esselaar, Andre Hannewijk en Frans van Zijderveld,

Geertjan Smits en Jacob de Bruin, voor de informatie die zij aangeleverd hebben voor deze studie

De Universiteit van Utrecht heeft een belangrijke bijdrage geleverd in het analyseren van de monsters, dank daarvoor.

# Inhoud

Voorwoord .....	3
Samenvatting .....	7
Inleiding .....	13
1.1 Blue Carbon.....	14
1.2 Klimaatmitigatie .....	15
1.2.1 Vrijwillige koolstofmarkt .....	16
1.3 Doel.....	17
1.3.1 Leeswijzer .....	17
2 Blue Carbon Methodologie.....	19
2.1 Blue Carbon Methodologie.....	21
2.1.1 Aanpak van de methodologie .....	21
2.2 Blue Carbon project scenario .....	22
2.2.2 Additionaliteit en huidige beleid.....	25
2.3 Baseline Vaststellen .....	26
2.3.1 Baseline Blue Carbon middels locatiespecifieke waarden .....	27
2.4 Blue Carbon potentie bepalen.....	31
2.5 Permanente metingen .....	33
3.1 De Schorren op Texel .....	37
3.1.1 Locatie en leeftijdsbepaling.....	37
3.1.2 Huidig beleid .....	39
3.1.3 Huidig beheer.....	39
3.1.4 Resultaten Koolstofmetingen.....	39
3.1.5 Blue Carbon project.....	41
3.1.6 Conclusie .....	43
3.1.7 Blue Carbon potentie.....	43
3.2 Verdrongen Land van Zuid-Beveland .....	45
3.2.1 Locatie en leeftijdsbepaling.....	45
3.2.2 Huidig beleid .....	47
3.2.3 Huidig beheer.....	47
3.2.4 Resultaten .....	47
3.2.5 Blue Carbon project.....	49
3.2.6 Conclusie .....	50
3.2.7 Blue Carbon potentie.....	50

3.3	Zuidgors .....	52
3.3.1	Locatie en leeftijdsbepaling .....	52
3.3.2	Huidig beleid .....	53
3.3.3	Huidig beheer .....	54
3.3.4	Resultaten.....	54
3.3.5	Blue Carbon project .....	56
3.3.6	Conclusie .....	58
3.3.7	Blue Carbon potentie .....	58
3.4	Uithuizerwad .....	60
3.4.1	Locatie en leeftijdsbepaling .....	60
3.4.2	Huidig beleid .....	60
3.4.3	Huidig beheer .....	61
3.4.4	Resultaten.....	61
3.4.5	Blue Carbon project .....	63
3.4.6	Conclusie .....	64
3.4.7	Blue Carbon potentie .....	64
4	Blue Carbon potentie .....	67
4.1	Blue Carbon per gebied .....	68
4.1.1	Eilandkwelders; wadkant van de Westelijke Waddeneilanden .....	68
4.1.2	Estuariene kwelders; Westerschelde.....	69
4.1.3	Estuariene kwelders; Oosterschelde .....	70
4.1.4	Vastelandkwelders; Friese en Groningse kust.....	71
4.2	Blue Carbon in Nederland.....	72
4.3	Blue Carbon in relatie tot omgevingsfactoren .....	72
4.4	Blue Carbon wereldwijd .....	73
5	Conclusie en aanbevelingen .....	75
5.1	Conclusie.....	76
5.1.1	Locatie specifiek.....	76
5.2	Aanbevelingen .....	77
6	Literatuur .....	79

# Samenvatting

## Blue Carbon

Blue Carbon is koolstof dat ligt opgeslagen in mariene ecosystemen, zoals mangroves, zeegrasvelden en kwelders. Deze ecosystemen houden per hectare meer koolstof vast dan bossen, en zorgen hierbij voor opslag van CO<sub>2</sub>. In Nederland zijn de kwelders, met hun gezamenlijk oppervlak van 10.000 ha, de grootste Blue Carbon ecosystemen. Samen zorgen zij voor een koolstofopslag gelijk aan ongeveer 60.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar en bevatten ze in de bovenste meter van de bodem een hoeveelheid koolstof die overeenkomt met de opslag van 7 miljoen ton CO<sub>2</sub>.

## Blue Carbon en koolstofcertificaten

Vanuit particulieren is er steeds meer interesse in het compenseren van CO<sub>2</sub>-uitstoot, zodat zij klimaatneutraal zijn. Zij kunnen koolstofcertificaten kopen van beheerders van natuurgebieden, die met dit geld extra koolstofopslag in de natuur kunnen creëren. Hierbij is het essentieel dat er extra beheermaatregelen worden getroffen bovenop de al bestaande, verplichte maatregelen, zodat er meer koolstof wordt opgeslagen in vergelijking met het huidige beheer en onderhoud (baseline). Het voorkomen van kweldererosie of het ontwikkelen van nieuw kwelderareaal is in potentie een geschikte maatregel om extra koolstofopslag te creëren. Wanneer dit methodisch kan worden ingebed kan dit bovendien als potentiële basis dienen voor de afgifte van koolstofcertificaten.

## Methodologie Blue Carbon project

In dit rapport is de volgende methodologie opgesteld voor een Blue Carbon project:

1. Bepalen wat voor project in het gebied gerealiseerd kan worden (optimalisatie van beheer, uitbreiding van het areaal, creëren van nieuw areaal, bescherming tegen erosie);
2. Bepalen of dit project een toevoeging is op het huidige beheerbeleid van het gebied;
3. Bepalen hoeveel koolstof er ligt opgeslagen en jaarlijks bijkomt of afgaat onder het huidige beheerbeleid, de baseline;
4. Bepalen hoeveel koolstof er extra wordt opgeslagen onder het Blue Carbon project-scenario;
5. De haalbaarheid van het project bepalen aan de hand van de kosten van het project en de opbrengsten van koolstofcertificaten;
6. Monitoring van het gebied gedurende het Blue Carbon project om te bepalen hoeveel koolstof daadwerkelijk extra wordt vastgelegd.

## Haalbaarheid Blue Carbon project (4 casussen van Natuurmonumenten)

Aan de hand van deze methodologie is de haalbaarheid van een Blue Carbon project onderzocht in vier kwelders die beheerd worden door Natuurmonumenten: de Schorren van Texel, het Verdrongen Land van Zuid-Beveland aan de Oosterschelde, de Zuidgors aan de Westerschelde, en het Uithuizerwad aan de Waddenzee. De Schorren van Texel worden momenteel behouden, waarbij een Blue Carbon project

dus voor uitbreiding van het areaal moet zorgen. Het ophogen van bestaande rijshoutdammen en het verhogen van gebieden door het storten van zand of klei kunnen potentieel voor een jaarlijkse extra opslag van 7,2 ton CO<sub>2</sub> per hectare nieuw areaal zorgen. Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland erodeert onder het huidige beheerbeleid, waarbij een Blue Carbon project erosie moet voorkomen en/of voor uitbreiding van areaal moet zorgen. Het plaatsen van rijshouten dammen kan erosie voorkomen en kwelderontwikkeling bevorderen, waarbij extra opslag van 11,6 ton CO<sub>2</sub> per hectare kwelder per jaar gerealiseerd kan worden. De Zuidgors erodeert ten dele onder het huidige beleid, maar in dit gebied is het onduidelijk of extra maatregelen zouden zorgen voor behoud van de kwelder. In de omgeving ligt een andere kwelder, de Biezelingse Ham, die potentie heeft voor een Blue Carbon project in aanmerking te komen. Het creëren van extra kweldergebied kan zorgen voor een extra opslag van 5,1 ton CO<sub>2</sub> per nieuwe hectare per jaar. Het Uithuizerwad wordt onder het huidige beheer behouden, maar uitbreiding van het areaal is niet mogelijk. Als Blue Carbon project kunnen nieuwe kwelders langs de Waddenzeedijken van Groningen en Friesland gerealiseerd worden, waarbij een opslag van 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare nieuwe kwelder per jaar gerealiseerd kan worden.

Blue Carbon projecten aan Nederlandse kwelders kunnen zorgen voor een extra CO<sub>2</sub>-opslag. Aan de hand van een gevalideerde methodologie kan bepaald worden hoeveel extra koolstofopslag gerealiseerd kan worden en hoeveel koolstofcertificaten afgegeven kunnen worden. De methodologie in het huidige rapport kan dienen als basis voor een officiële methodologie met betrekking tot de Green Deal.

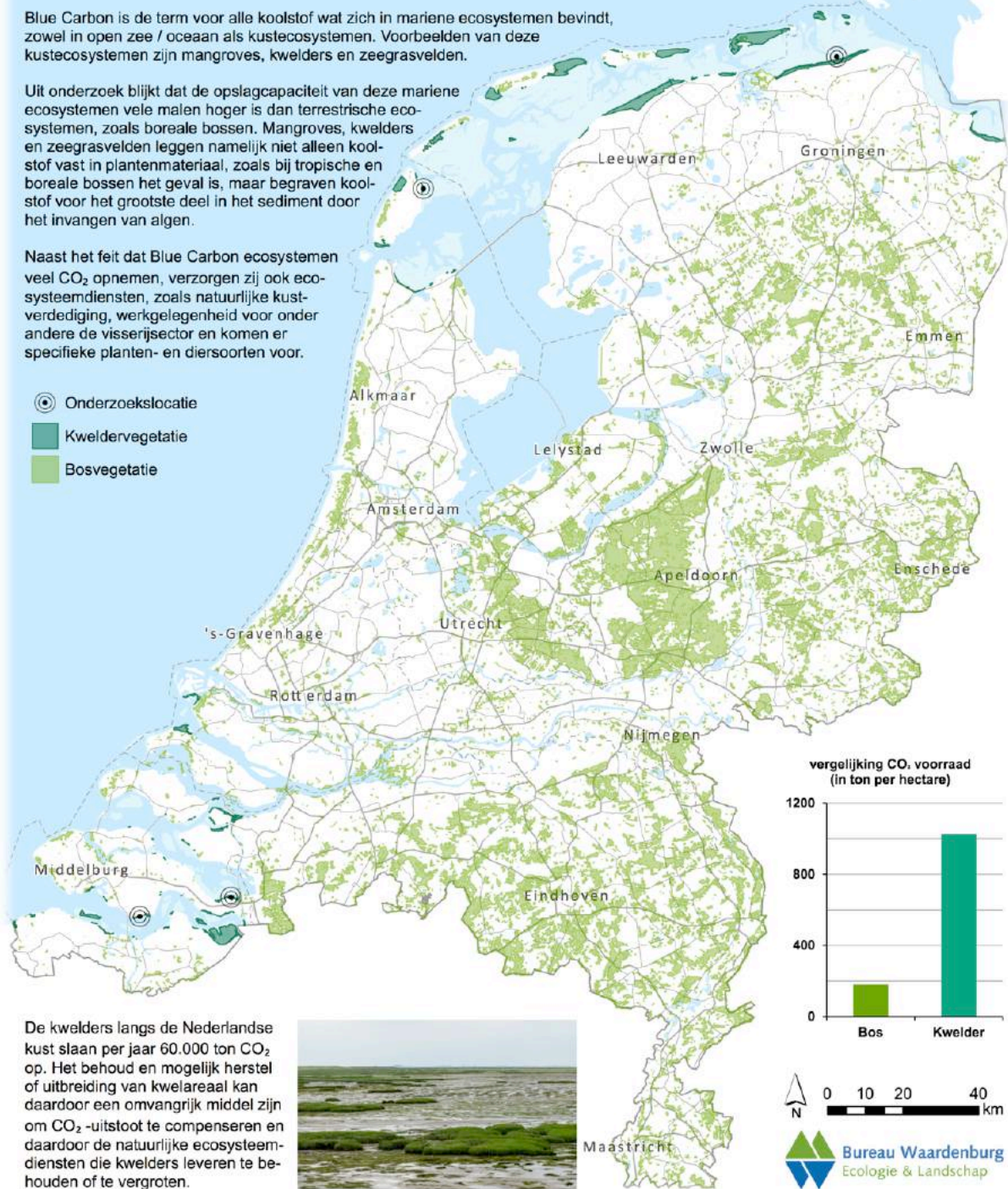
# Blue Carbon in Nederlandse kwelders



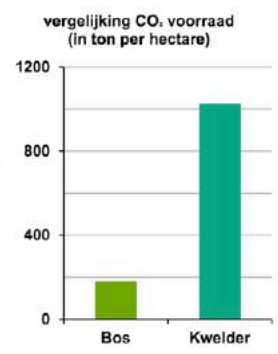
Blue Carbon is de term voor alle koolstof wat zich in mariene ecosystemen bevindt, zowel in open zee / oceaan als kustecosystemen. Voorbeelden van deze kustecosystemen zijn mangroves, kwelders en zeegrasvelden.

Uit onderzoek blijkt dat de opslagcapaciteit van deze mariene ecosystemen vele malen hoger is dan terrestrische ecosystemen, zoals boreale bossen. Mangroves, kwelders en zeegrasvelden leggen namelijk niet alleen koolstof vast in plantenmateriaal, zoals bij tropische en boreale bossen het geval is, maar begraven koolstof voor het grootste deel in het sediment door het invangen van algen.

Naast het feit dat Blue Carbon ecosystemen veel CO<sub>2</sub> opnemen, verzorgen zij ook ecosystemendiensten, zoals natuurlijke kustverdediging, werkgelegenheid voor onder andere de visserijsector en komen er specifieke planten- en diersoorten voor.



- ⊙ Onderzoeklocatie
- Kweldervegetatie
- Bosvegetatie



De kwelders langs de Nederlandse kust slaan per jaar 60.000 ton CO<sub>2</sub> op. Het behoud en mogelijk herstel of uitbreiding van kwelareaal kan daardoor een omvangrijk middel zijn om CO<sub>2</sub>-uitstoot te compenseren en daardoor de natuurlijke ecosystemendiensten die kwelders leveren te behouden of te vergroten.



0 10 20 40 km

**Bureau Waardenburg**  
Ecologie & Landschap





## Afkortingenlijst

C	Symbool voor het element koolstof
CH <sub>4</sub>	Symbool voor het molecuul methaan, een broeikasgas
CO <sub>2</sub>	Symbool voor het molecuul koolstofdioxide, een broeikasgas
C/ha of CO <sub>2</sub> /ha	Koolstof(opslag) per hectare/koolstofdioxide(opslag) per hectare
C/ha/jaar of CO <sub>2</sub> /ha/jaar	Jaarlijkse koolstof(opslag) per hectare/ jaarlijkse koolstofdioxide(opslag) per hectare
EU-ETS	European Union Emission Trading System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

## Begrippenlijst

1 Koolstofcertificaat	1 ton CO <sub>2</sub> opgeslagen en verhandelbaar
Carbon sink	Een plek waar koolstof wordt vastgelegd en opgeslagen
Carbon source	Een plek waar koolstof vrijkomt als CO <sub>2</sub> in de atmosfeer
Green Deal	Een overheidsinitiatief waarbij duurzame innovaties of ontwikkelingen worden gestimuleerd
Kwelder	Begroeide stukken land, gelegen aan de zee, die regelmatig overstromen en onder invloed staan van de getijdenwerking
Koolstofopslagsnelheid	Het vastleggen en vasthouden van organisch materiaal in het sediment per oppervlakte en tijdseenheid (C/ha/jaar of CO <sub>2</sub> /ha/jaar)
Koolstofvoorraad / CO <sub>2</sub> -gehalte	De hoeveelheid koolstof in de eerste meter bodem (C/ha of CO <sub>2</sub> /ha)
Minerogeen	Een kwelder met als voornaamste bron sediment input slib en zand heeft
Organogeen	Een kwelder met als voornaamste bron van sediment input organische stof heeft
Schorren	Een andere benaming voor kwelder (meestal in Zeeland)
Verplichte koolstofmarkt	Koolstofmarkt waar carbon credits verhandeld kunnen worden en waarbij deelnemers carbon credits als compensatie voor eigen uitstoot kunnen kopen of verhandelen (zoals de EU-ETS)
Vrijwillige koolstofmarkt	Koolstofmarkt waarbij carbon credits kunnen worden verhandeld maar waarbij de deelnemers dit niet verplicht zijn . Het is dus alleen voor CO <sub>2</sub> -uitstoot vermindering die additioneel is aan wettelijke verplichtingen of overheidsbeleid en kan zodoende niet gebruikt worden om eigen uitstoot te compenseren.

## Eenheden

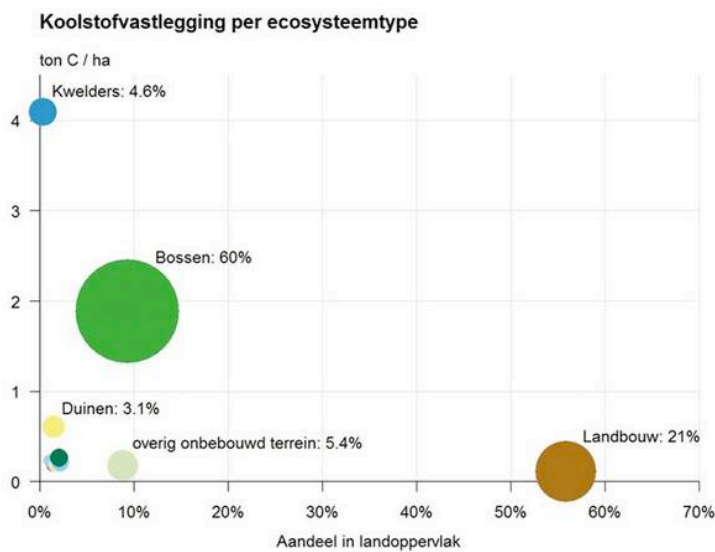
<b>Eenheid</b>	<b>Symbool</b>	<b>Waarde</b>
Oppervlakte	1 ha	10.000 m <sup>2</sup>
Gewicht	1 ton (T)	1000 kg
Omrekening koolstof naar koolstofdioxide	C / CO <sub>2</sub>	1 ton C = 3.67 ton CO <sub>2</sub>

# 1 Inleiding



## 1.1 Blue Carbon

Blue Carbon is de term voor alle koolstof die zich in mariene ecosystemen bevindt, zowel in open zee en oceaan als kustecosystemen. Voorbeelden van deze kustecosystemen zijn mangroves, kwelders en zeegrasvelden. Mangroves, kwelders en zeegrasvelden leggen niet alleen koolstof vast in plantenmateriaal, zoals bij tropisch en boreale bossen het geval is, maar begraven koolstof voor het grootste deel in het sediment door het invangen van algen (fytoplankton). Blue Carbon ecosystemen leggen hierdoor jaarlijks per eenheid oppervlakte meer koolstof vast in vergelijking met gematigde en tropische bossen op het land (figuur 1.1, 1.2).



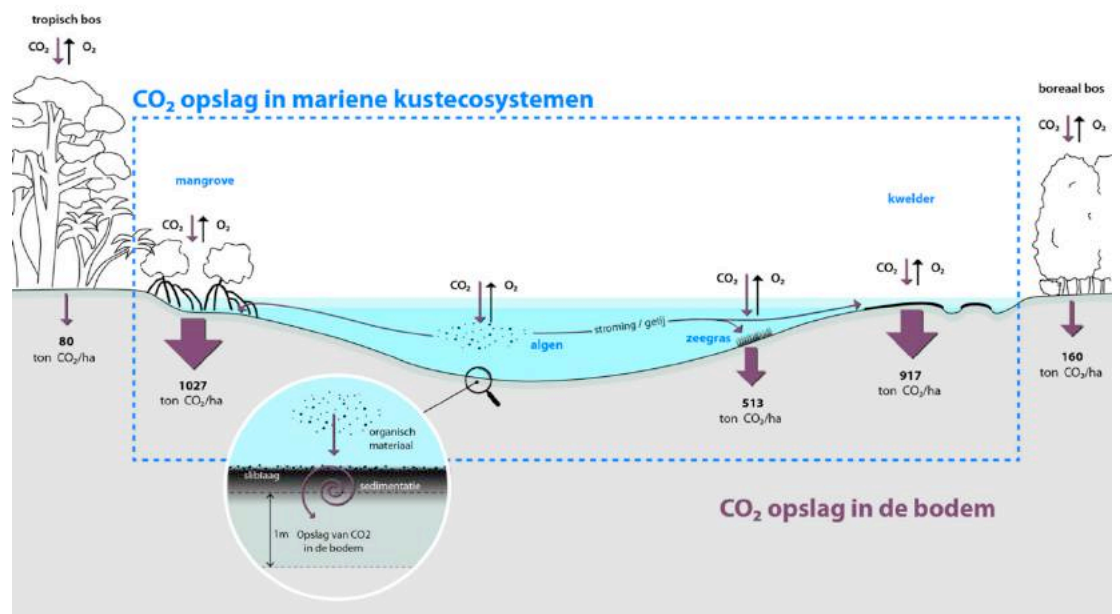
Figuur 1.1 Koolstofvastlegging per ecosysteemtype in ton C/ha uitgezet tegen het landoppervlak (CBS, koolstofvastlegging naar ecosysteem, 2017).

Ook stoten Blue Carbon ecosystemen niet of nauwelijks methaan uit, een broeikasgas dat 25 keer sterker is dan kooldioxide. In zoetwaterecosystemen, waaronder veengebieden, worden grote hoeveelheden methaan geproduceerd, terwijl kwelders en andere mariene ecosystemen door hun zoute karakter niet of nauwelijks methaan ontwikkelen (Nelleman *et al.* 2009).

Mariene ecosystemen in Nederland bieden daarom de mogelijkheid om grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> op te slaan in de bodem.

Naast dat Blue Carbon ecosystemen veel CO<sub>2</sub> opnemen, verzorgen zij ook ecosystemendiensten zoals natuurlijke kustverdediging, werkgelegenheid voor onder andere de visserijsector en een habitat voor specifieke planten- en diersoorten (Nelleman *et al.* 2009, Beaumont 2014).





Figuur 1.1 CO<sub>2</sub> opslag in Green en Blue Carbon gebieden ( aangepast naar Murray et al 2011).

In Nederland zijn kwelders het meest voorkomende Blue Carbon ecosysteem, en bestrijken ongeveer 10.000 ha (Tekstbox 1). Kwelders in Nederland vervullen een belangrijke rol als rust-, foerageer- en broedgebied voor trekvogels (Bakker et al. 2002, Nolte et al. 2013) en kustverdediging.

Kwelders in Nederland bestaan uit twee typen: natuurlijke kwelders en landaanwinningsswerken buitendijks. Het areaal aan kwelders in Nederland kent vanaf 1800 een sterk afnemende trend. Sinds 1980 is deze afname redelijk gestabiliseerd, maar natuurlijke aangroei van kwelders vindt nauwelijks plaats. (DAT-ICT Dienst van Rijkswaterstaat). Door bedijking en zeespiegelstijging hebben kwelders namelijk geen ruimte en/ of te weinig sedimentaanvoer om te groeien.

## 1.2 Klimaatmitigatie

Het IPCC heeft een schatting gemaakt dat in 2050 de wereldwijde CO<sub>2</sub>-emissies met 85% moeten zijn gedaald om onder de temperatuurstijging van 2 graden te blijven (IPCC 2007). Deze berekening gaat alleen uit van reductie van CO<sub>2</sub>-emissies. Een andere aanpak suggereert juist om niet alleen naar de CO<sub>2</sub> emissie reducties te kijken, maar deze strategie te combineren met CO<sub>2</sub>-opname en -opslag door het behouden van natuurgebieden met hoge koolstofvoorraad en opslagsnelheid (McLeod et al. 2011).

### **Tekstbox 1: Kwelders**

Kwelders zijn begroeide stukken land die direct, zonder duinenrij of dijken, aan zee grenzen. Ze liggen meestal langs ondiepe getijdengebieden zoals de Waddenzee. Bij storm of extra hoog water komt een kwelder onder water te staan. Ook in het deltagebied komen kwelders voor. Daar heten ze schorren. Met het zeewater meegevoerde zand- en slibdeeltjes komen tussen de planten terecht en spoelen niet meer weg. Door deze opslibbing worden kwelders geleidelijk steeds hoger (Beschrijving Ecomare).

In Nederland bestaan twee typen kwelders: natuurlijke kwelders en landaanwinningswerken buitendijks. Bij de natuurlijk ontstane kwelders wordt slib ingevangen tussen de luwte van de planten. Bij landaanwinningswerken worden de luwtes gecreëerd door rijshoutendammen. Het slib dat bezinkt tussen de planten of dammen bevat veel koolstof dat afkomstig is van algen, fytoplankton.

Als de aanvoer en ophoping van nieuw slib aanhoudt kunnen kwelders landinwaarts hoger worden en richting zee voortdurend blijven groeien en wordt het vastgelegde slib begraven door nieuwe lagen slib. Tegelijkertijd wordt daardoor ook koolstof (aanwezig in de algen) voor lange tijd vastgelegd in de bodem.

### **1.2.1 Vrijwillige koolstofmarkt**

De bovenstaande vorm van klimaatmitigatie kan ten dele gekoppeld worden aan CO<sub>2</sub>-doelstellingen van particulieren, zowel individuen als bedrijven/collectieven. Particulieren willen steeds vaker klimaatneutraal zijn. Ze kunnen dit niet altijd (effectief) met eigen maatregelen en zoeken (vrijwillig) compensatie voor hun resterende emissies. Het financieren van herstel of behoud van Blue Carbon gebieden kan deze resterende emissie compenseren wanneer daarvoor koolstofcertificaten worden verstrekt. Beheerders van Blue Carbon gebieden, zoals Natuurmonumenten, worden daarbij gezien als een potentiële leverancier van dergelijke koolstofcertificaten.

Deze vrijwillige koolstofmarkt lijkt in versnelling te komen door ontwikkelingen aan zowel de vraagkant (akkoorden van Parijs, Urgenda, klimaatbanken, Klimaatakkoord) als aan de aanbodzijde (kennisontwikkeling en pilots in kust- en veengebieden).

Tegen deze achtergrond is de Green Deal Nationale Koolstofmarkt tot stand gekomen (ondertekening mei 2017). De Green Deal, waaraan enkele tientallen belangrijke marktpartijen zich hebben verbonden, wil deze ontwikkeling faciliteren en de garantie bieden dat binnen enkele jaren vraag en aanbod bij elkaar komen, alsmede een breed gedragen en betrouwbare certificering tot stand komt. Dat is belangrijk om wildgroei en onverantwoorde financiering van (natuur)projecten door anderen te voorkomen.

## **1.3 Doel**

Het onderzoek beschreven in dit rapport heeft als doel de potentie voor vastlegging en behoud van Blue Carbon van vier verschillende kwelders binnen het beheergebied van Natuurmonumenten te analyseren en beschrijven. Daarnaast wordt een methode beschreven voor het vaststellen van de koolstofvastlegging van Blue Carbon projecten, overeenkomstig het format dat daarvoor binnen de Green Deal Nationale Koolstofmarkt wordt gehanteerd.

### **1.3.1 Leeswijzer**

Voorliggende rapportage beschrijft:

De methodologie; een duidelijke beschrijving van de wijze waarop de koolstofvastlegging van een Blue Carbon project dient te worden berekend, welke als leidraad kan dienen voor toekomstige certificering (Hoofdstuk 2).

Resultaten van de Blue Carbon potentie van 4 kwelders in beheer van Natuurmonumenten (Hoofdstuk 3). Inclusief:

- Projectbeschrijving van elke locatie. Hierbij wordt het gebied, de projectgrens en de mogelijk te treffen maatregelen omschreven. De haalbaarheidsstudie bevat verschillende gebieden en projecten, zodat deze vergeleken kunnen worden wat betreft de potentie voor Blue Carbon.
- Baseline koolstofopslag. Wat gebeurt er zonder dat er maatregelen worden getroffen. Hiervoor zijn veldmetingen gedaan op locatie en is een literatuurstudie uitgevoerd om de trend van de kwelder te bepalen (aanwas of afslag).
- Blue Carbon potentie. Na het vaststellen van de baseline is bepaald hoeveel koolstof het project extra opslaat (bovenop de baseline) en wordt het verdienmodel bepaald.

Tot slot is aan de hand van de veldmetingen en extrapolatie de Blue Carbon potentie in Nederland geanalyseerd (Hoofdstuk 4).





## 2 Blue Carbon Methodologie





## Blue Carbon Methodologie

### Stap 1 Blue Carbon Project bepalen (Toelichting paragraaf 2.2)

Welk project kan gerealiseerd worden:

1. Bescherming van huidige kwelder tegen erosie (afslag)
2. Uitbreiden areaal huidige kwelder.
3. Creëren Nieuw kwelder areaal
4. Optimalisaties in beheer en onderhoud.

*Is 1 van de bovenstaande opties mogelijk ga door naar stap 2.*

### Stap 2 Additionaliteit Blue Carbon project bepalen (Toelichting paragraaf 2.2.1)

Ga na of het Blue Carbon project additioneel is op het huidige beleid (o.a. Natura 2000) en beheer? Wanneer het project additioneel is op het huidige beleid kan het namelijk in aanmerking komen voor koolstofcertificaten (via de Green Deal)

*Na bepalen van de additionaliteit ga door naar stap 3*

### Stap 3 Baseline vaststellen (Toelichting paragraaf 2.3)

Hoeveel CO<sub>2</sub> ligt er opgeslagen en komt er jaarlijks bij in het scenario zonder Blue Carbon project; de baseline.

Baseline kan vastgesteld worden door het gebruik van standaardwaarden uit literatuur en door veldmetingen in combinatie met een literatuurstudie naar de ontwikkeling van het gebied (Paragraaf 2.3.1)

*Na het bepalen van de baseline ga door naar stap 4*

### Stap 4 CO<sub>2</sub> opslag vaststellen Blue Carbon projectscenario (Toelichting paragraaf 2.4)

Hoeveel CO<sub>2</sub> wordt er extra opgeslagen en komt er jaarlijks bij in het scenario met Blue Carbon project?

Blue Carbon projectscenario kan vastgesteld worden door het gebruik van de opslagwaarden (CO<sub>2</sub>/ha en CO<sub>2</sub>/ha/ja) uit de baseline toe te passen op het Blue Carbon projectscenario.

*Na het bepalen van de baseline ga door naar stap 5*

### Stap 5 Blue Carbon potentie bepalen (Toelichting paragraaf 2.4)

Is het Blue Carbon project haalbaar (wegen de aanlegkosten op tegen de opbrengsten in koolstofopslag en mogelijk koolstofcertificaten en is het technisch uitvoerbaar).

*Is het Blue Carbon haalbaar ga door naar stap 6*

### Stap 6 Monitoring Blue Carbon project (Toelichting paragraaf 2.5)

Bepaal de monitoringsinspanning gedurende het project. Waardoor officieel achterhaald wordt of de vooraf vastgestelde hoeveelheid CO<sub>2</sub> werkelijk door het Blue Carbon project wordt vastgelegd.

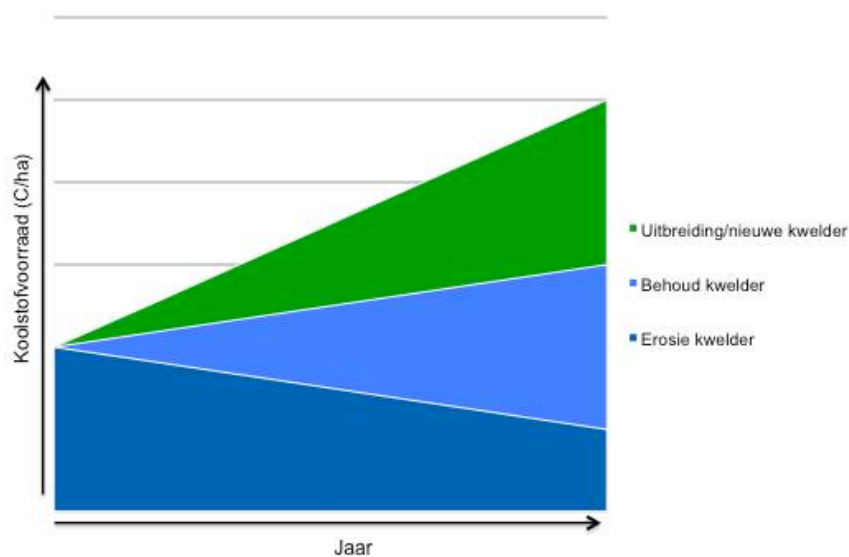
## 2.1 Blue Carbon Methodologie

De Green Deal Nationale Koolstofmarkt heeft als doel om zorg te dragen voor een eenduidige werkwijze bij het bepalen van de extra koolstofvastlegging en de daaraan gekoppelde koolstofcertificaten. Aanbieders en kopers van zulke certificaten mogen dan uitgaan van een goede kwaliteit en een accurate berekening van de hoeveelheid ervan. De methodologie bevat richtlijnen en voorwaarden die bijdragen aan de betrouwbaarheid en transparantie van projecten waarbij deze methodologie wordt gebruikt. De algemene methodologie wordt binnen de Green Deal voorgelegd aan een Commissie van Deskundigen voordat het een officiële status krijgt. Indien een specifieke methodologie is goedgekeurd, is er zekerheid van betrouwbaarheid en transparantie. Het huidige hoofdstuk beschrijft een eerste voorzet voor een methodologie voor het ontwikkelen van Blue Carbon projecten en de daaraan gerelateerde koolstofcertificaten.

### 2.1.1 Aanpak van de methodologie

#### *Baseline-scenario en Blue Carbon project scenario*

Voor het gebruik van de methodologie worden twee scenario's opgesteld voor de koolstofopslag en het bijbehorende CO<sub>2</sub>-effect: een baseline-scenario en een Blue Carbon project scenario. Deze twee scenario's geven weer wat er met een kweldergebied zou gebeuren als er niets wordt gedaan en het huidige beheer en onderhoud wordt voortgezet (baseline) en wat er zou gebeuren als een project wordt gestart en bijvoorbeeld de kwelder wordt uitgebreid of erosie van de kwelder wordt voorkomen (Blue Carbon project scenario). Hierbij wordt de jaarlijkse koolstofopslag van het gebied voor elk scenario voorspeld (figuur 2.1). Het verschil in koolstofopslag tussen het baseline-scenario en het Blue Carbon project scenario, geeft de additioneel opgeslagen CO<sub>2</sub> weer; de Blue Carbon potentie.



Figuur 2.1 Verschillende scenario's en het effect op de koolstofvoorraad in de kwelder over tijd.

## 2.2 Blue Carbon project scenario

Mariene ecosystemen wereldwijd zijn in staat grote hoeveelheden koolstof anoxisch op te slaan in de bodem, Blue Carbon (hoofdstuk 1). Ook de kwelders in Nederland slaan koolstof op in de bodem en in plantmateriaal.

Veel kwelders in Nederland eroderen op dit moment, waardoor de opgeslagen koolstof (in contact met zuurstof) deels weer vrijkomt als CO<sub>2</sub>. Het verbeteren van het beheer en onderhoud van kwelders kan de erosie in sommige situaties beperken, waardoor de bodem de opgeslagen koolstof blijft vasthouden. Ook is er in Nederland op verschillende plekken potentie voor het uitbreiden van kwelders waardoor extra koolstof kan worden vastgelegd. Deze bovenstaande vormen van het vasthouden en/of uitbreiden van de koolstofopslag zijn mogelijke Blue Carbon projecten. Ze dragen namelijk bij aan CO<sub>2</sub>-emissiereductie, voorkomen CO<sub>2</sub> uitstoot (in geval van behoud) of ze slaan extra koolstof - CO<sub>2</sub> op in de bodem (in geval van uitbreiding). Voor de vastgehouden of extra opgeslagen koolstof kunnen koolstofcertificaten worden vergeven (Tekstbox 2.1).

### **Tekstbox 2.1**

#### *De link tussen CO<sub>2</sub> handel en Blue Carbon*

Blue Carbon projecten kunnen koolstofcertificaten aanvragen voor het vasthouden of extra opslaan van koolstof in het ecosysteem. Een initiatiefnemer kan geen certificaten verkrijgen (en verkopen) voor projecten die hij sowieso op grond van een verplichting of afspraak met de overheid zou moeten uitvoeren. Het gaat dus om een vrijwillige markt en om additionele effecten. Certificaten kunnen dus ook niet verkocht worden aan deelnemers van het Europese handelssysteem dat immers verplicht is. De projecten worden opgezet om het Blue Carbon ecosysteem (kwelders) te herstellen of uit te breiden. Vervolgens wordt via strenge eisen de extra koolstofopslag berekend die door de projectwerkzaamheden verkregen wordt. Of voor de berekende CO<sub>2</sub>-emissiereductie koolstofcertificaten kunnen worden verkregen (die verkoopbaar zijn op de vrijwillige markt), wordt bepaald in de door te lopen procedure binnen de Green Deal Nationale Koolstofmarkt.

#### *Koolstofcertificaten*

Koolstofcertificaten zijn gebaseerd op de hoeveelheid koolstof die een Blue Carbon project vastlegt of vasthoudt; 1 koolstofcertificaat staat voor 1 ton CO<sub>2</sub>-emissiereductie. De koolstofcertificaten kunnen worden gekocht door bedrijven of instellingen die participeren in de vrijwillige koolstofmarkt om zo compensatie voor hun CO<sub>2</sub>-uitstoot te verkrijgen.

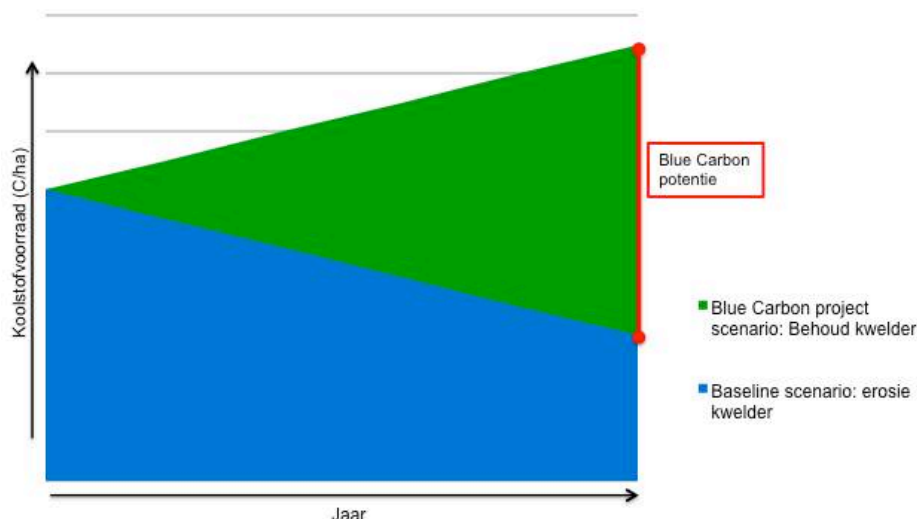
De potentiële Blue Carbon projecten die zorg dragen voor het vasthouden dan wel extra opslag van koolstof in kwelders, en mogelijk in aanmerking komen voor koolstofcertificaten zijn:

1. Bescherming van huidige kwelder tegen erosie (afslag).
2. Uitbreiden areaal huidige kwelder.

3. Creëren nieuw kwelder areaal.
4. Optimalisaties in beheer en onderhoud.

### Bescherming van huidige kwelder tegen erosie (afslag)

Het beschermen van een kwelder tegen erosie zorgt voor het behoud van de kwelderrand en de daarin opgeslagen koolstof (figuur 2.2). Het baseline scenario in dit geval is het eroderen van de kwelder. Het Blue Carbon project scenario is het beschermen van de kwelderrand tegen erosie, waardoor deze behouden blijft. Het beschermen van de kwelderrand tegen erosie kan bijvoorbeeld door het plaatsen van rijshouten dammen, een schelpdierenbank of het opwerpen van een klei/zand dam. Hierbij dient opgemerkt te worden dat kwelders een natuurlijke cyclus kennen van aangroei/sedimentatie en afbraak/erosie. Voordat een kwelder beschermd wordt tegen erosie dient daarom vastgesteld te worden of de kwelder uit balans is en het eroderen de overhand heeft. Wanneer het slechts tijdelijke erosie betreft en de kwelder na verloop van tijd op natuurlijke wijze weer aangroeit of zelfs uitbreidt is bescherming niet zinvol en tegennatuurlijk.



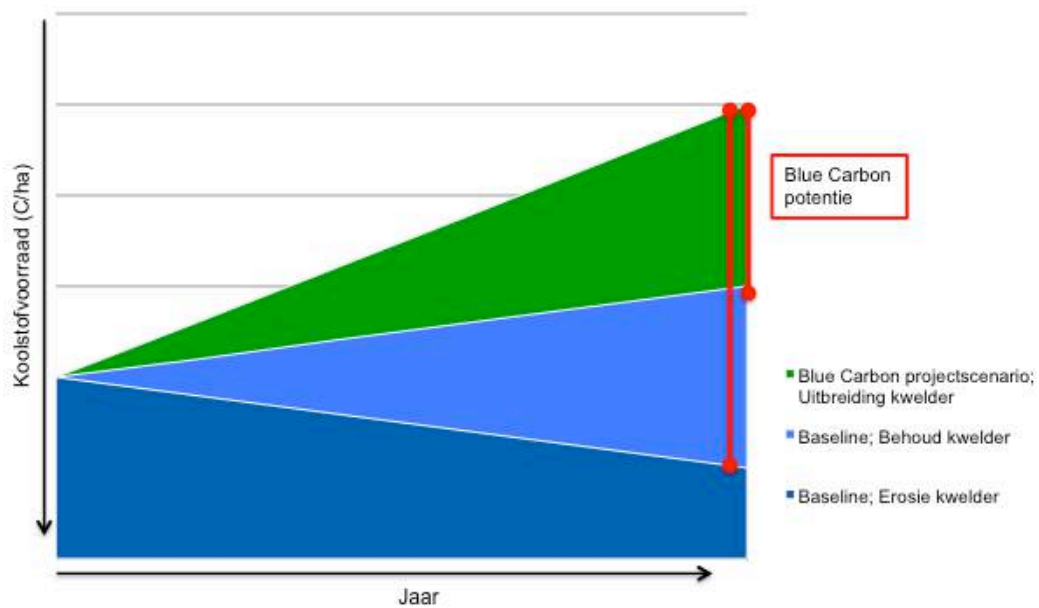
Figuur 2.2 Baseline en project scenario met betrekking tot de gemiddelde koolstofopslag. Het verschil in koolstofopslag tussen het baseline-scenario en het Blue Carbon project scenario, geeft de additioneel opgeslagen CO<sub>2</sub> weer; de Blue Carbon potentie.

### Uitbreiden areaal huidige kwelder

Het creëren van luwtes (zoals door het plaatsen van rijshouten dammen) zorgt voor (1) golfbreking en (2) het voor een langere tijd vasthouden van sediment, waardoor het kweldergebied beschermd wordt tegen afslag. Bij voldoende aanvoer van sediment kan de kwelder op deze manier langzaam aangroeien. Ook het ophogen van een gebied door het opspuiten van zand en klei kan kwelderareaal helpen ontwikkelen. Na opslibbing of opspuiting komt het gebied op de juiste hoogte, gekoppeld aan een bepaalde droogvalduur, in het intergetijdengebied te liggen. Op deze manier kunnen planten zich vestigen en tussen de luwtes van de planten kunnen algen bezinken. Bij kunstmatige ophoging moet zand en/of klei stabiel

gestort kunnen worden, zodat de geschikte hoogte voor plantengroei bewaard blijft en niet erodeert als gevolg van golfslag en stroming. Het uitbreiden van kwelderareaal zorgt voor de opslag van extra koolstof in de vorm van plantmateriaal en organisch materiaal (algen) dat in de kwelder bezinkt.

De Blue Carbon potentie van het uitbreiden van een kwelder hangt af van het baseline scenario (behoud of erosie) en de mate van uitbreiding (figuur 2.3).



Figuur 2.3 Baseline en project scenario voorbeeld bij uitbreiding van een kwelder. Het verschil in koolstofopslag tussen het baseline-scenario en het Blue Carbon project scenario, geeft de additioneel opgeslagen CO<sub>2</sub> weer; de Blue Carbon potentie.

### Nieuw kwelderareaal creëren

Vergelijkbaar met het uitbreiden van een kwelder kan ook een geheel nieuwe kwelder gecreëerd worden in een geschikt gebied. Ook dit kan gedaan worden door het plaatsen van rijshouten dammen en/of door het ophogen van een gebied met zand en klei. Een andere optie is het doorsteken van een dijk, waardoor binnendijks een gebied met getijdenwerking ontstaat waar zich een nieuwe kwelder kan ontwikkelen.

Het creëren van nieuw kwelderareaal zorgt vervolgens voor de opslag van koolstof in de vorm van algen die in de kwelder bezinken en plantmateriaal.

De Blue Carbon potentie van het creëren van een nieuwe kwelder is groot, aangezien in de baseline er geen kwelder aanwezig is (figuur 2.4).

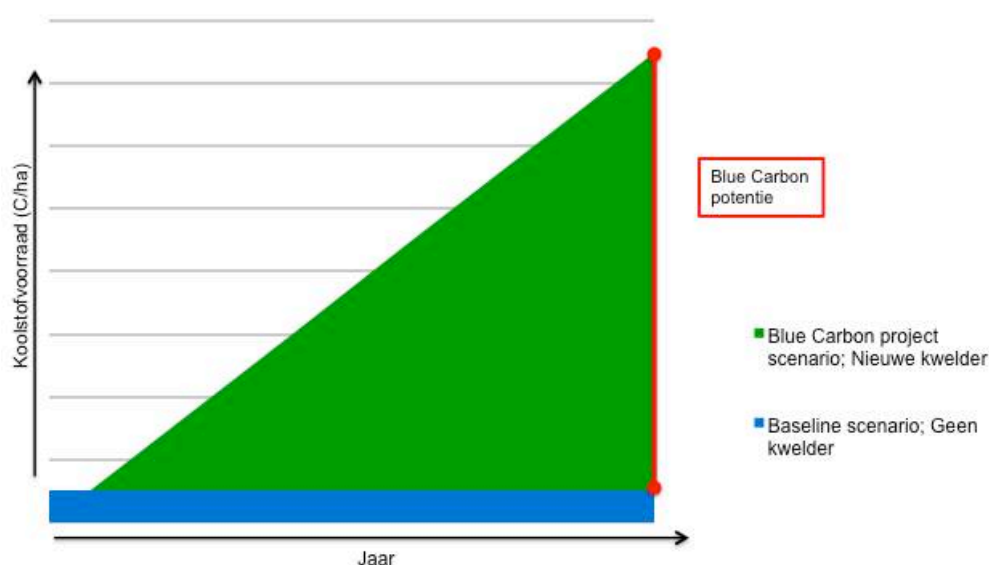
### Optimalisaties in beheer en onderhoud; begrazing

Begrazing van vee op een extensieve manier kan leiden tot een verhoogde compactheid van het sediment, waardoor anaerobe decompositie gestimuleerd wordt. Dit kan positieve effecten hebben op de koolstofopslag van de kwelders. Elschot *et al*



(2015) hebben aangetoond dat op de begraasde kwelders van Schiermonnikoog de koolstofopslag per hectare toeneemt als er extensieve begrazing plaatsvindt (0.6 ton C rund/ha corresponderend met 2,2 ton CO<sub>2</sub>/rund/ha), met name op de oudere kwelders vanaf 120 jaar (Elschot *et al.* 2015).

Op veel kwelders in Nederland is begrazing door de krekken direct langs de dijk en het relatief kleine areaal niet mogelijk. Waar begrazing wel een mogelijkheid is, onder andere langs de Friese en Groningse kust, wordt dit al toegepast en valt het onder de baseline. Het huidige rapport gaat daarom niet verder in op de extra opslag gecreëerd door begrazing.



Figuur 2.4 Baseline en project scenario voorbeeld bij uitbreiding van een kwelder. Het verschil in koolstofopslag tussen het baseline-scenario en het Blue Carbon project scenario, geeft de additioneel opgeslagen CO<sub>2</sub> weer; de Blue Carbon potentie.

## 2.2.2 Additionaliteit en huidige beleid

Belangrijk voor het vergeven van koolstofcertificaten voor een Blue Carbon project is dat het project additioneel moet zijn ten opzichte van het nul-scenario en het huidige beleid (baseline).

Bij kwelderontwikkeling of -behoud is pas sprake van additionaliteit als er meer wordt gedaan dan vanuit de natuurdoelstelling verplicht wordt gesteld. Voor deze doelen wordt immers al beheersubsidie verstrekt. Wanneer er bijvoorbeeld sprake is van maaibeheer dat vanuit de natuurdoelstellingen en verkregen beheersubsidie al wordt voorgeschreven, dan is dit beheer onderdeel van de baseline. Alles wat extra wordt gedaan, is additioneel en komt in aanmerking voor koolstofcertificaten.

## 2.3 Baseline Vaststellen

Het is van belang om eerst te bepalen wat de koolstofopslag in het systeem is zonder Blue Carbon project: de *baseline*. Om de baseline vast te stellen dient ten eerste bepaald te worden wat de projectgrens is; in welk gebied wordt koolstof opgeslagen. Vervolgens kan onderzocht worden hoeveel koolstof in de kwelder wordt opgeslagen of al opgeslagen ligt, de koolstofvoorraad.

*Waar wordt CO<sub>2</sub> vastgelegd?*

Om de baseline te bepalen dient ten eerste vastgesteld te worden wat de projectgrenzen zijn van het Blue Carbon project. Over het algemeen is dit het kweldergebied waar het Blue Carbon project zich afspeelt. Wanneer een kweldergebied een zeer groot areaal betreft kan ervoor gekozen worden een subareaal te nemen binnen het kweldergebied voor het Blue Carbon project. In Nederland zijn de kwelders niet van een dergelijke omvang dat dit nodig is. De projectgrens omvat dus in veel gevallen de grenzen van de kwelder.

*Hoeveel CO<sub>2</sub> wordt in de kwelder vastgelegd en/of vastgehouden?*

Om de potentie van een Blue Carbon project te bepalen dient voorspeld te worden hoeveel koolstof door het project extra opgeslagen wordt in het systeem. Daartoe is het van belang om eerst te bepalen wat de opslagcapaciteit (koolstofvoorraad en de jaarlijkse koolstofopslag) in het systeem is zonder Blue Carbon project: de *baseline*.

Er zijn 3 methoden om de baseline te bepalen:

1. Gebruik van IPCC standaardwaarden. Dit betreft een standaard voor de opslagcapaciteit van diverse ecosystemen (IPCC, 2013). De opslagcapaciteit is een gemiddelde, gebaseerd op wereldwijde data. De waarde heeft een grote range, voor kwelders ligt de waarde bijvoorbeeld rond 255 ton koolstof per hectare (corresponderend met 936 ton CO<sub>2</sub> per hectare) met een minimum van 16 ton koolstof per hectare en een maximum van 623 ton koolstof per hectare.
2. Gebruik van landspecifieke waarden. Wanneer voorgaand onderzoek is uitgevoerd naar de opslagcapaciteit van Blue Carbon ecosystemen in een land, kunnen deze gegevens gebruikt worden om een inschatting te maken van de Blue Carbon opslagcapaciteit in een nabijgelegen gebied.
3. Gebruik van locatiespecifieke waarden, d.w.z. door veldmetingen de opslagcapaciteit op de locatie bepalen. Deze methode levert gegevens die het meest accuraat zijn voor de betreffende locatie.

De eerste twee methoden maken gebruik van gegevens afkomstig uit literatuur. De derde methode maakt gebruik van locatiespecifieke waarden, aan de hand van meetwaarden. Omdat de koolstofopslagcapaciteit per kwelder sterk kan verschillen is deze laatste methode de voorkeursmethode om de baseline te bepalen. Onderstaande paragraaf licht deze methode verder toe.



### **2.3.1 Baseline Blue Carbon middels locatiespecifieke waarden**

Voor de locatiespecifieke waarden dienen veldmetingen verricht te worden, waarbij verschillende stappen doorlopen worden:

1. Gebiedsindeling achterhalen
2. Te meten koolstofbronnen bepalen
3. Aantal metingen en meetpunten bepalen
4. Uitvoeren metingen
5. Analyse meetgegevens

#### **1. Gebiedsindeling achterhalen**

Om het gebied waar het Blue Carbon project zich gaat afspelen beter in kaart te brengen is het van belang achtergrondinformatie te verzamelen:

- Waar bevindt zich de hoge en lage kwelder (ecotopen)?
- Waar is de kwelder onderhevig aan afslag?
- Waar groeit de kwelder aan?

Antwoorden op deze vragen vormen de basis voor het bepalen van de meetpunten voor een Blue Carbon baseline evaluatie in het veld. De Blue Carbon metingen moeten een representatief en gebiedsdekkend beeld geven van de hoeveelheid koolstof in de kwelder (figuur 2.5).

#### **2. Te meten koolstofbronnen**

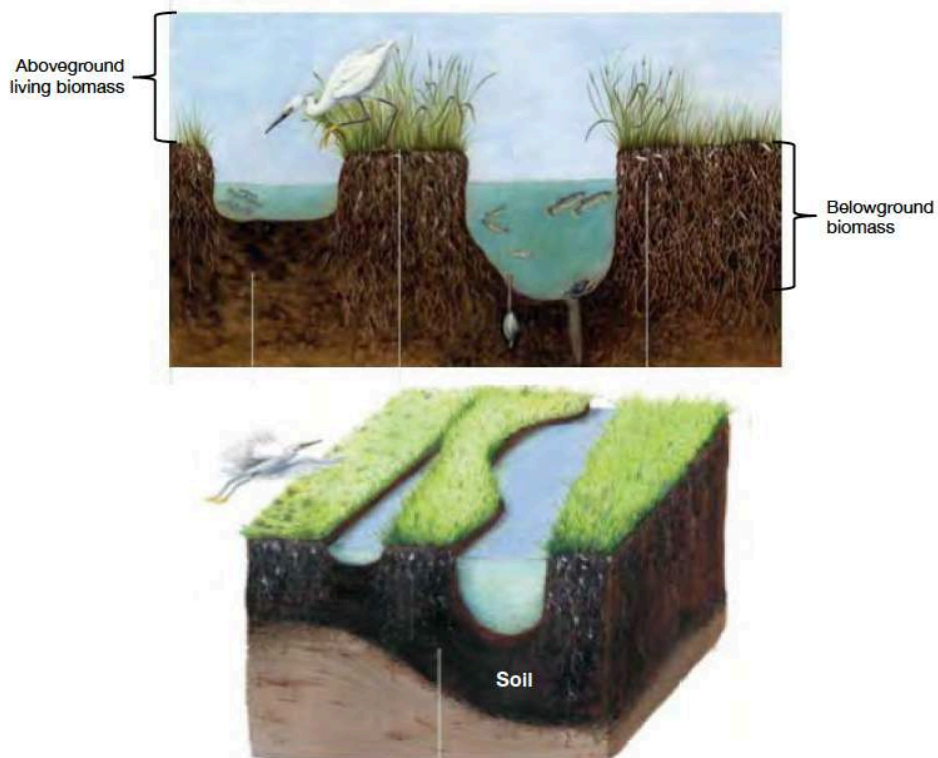
In kwelders zijn drie organische koolstofbronnen aanwezig:

- Levende biomassa bovengronds, planten.
- Levende biomassa ondergronds, plantwortels.
- Koolstofreservoir in de bodem (mogelijk in belangrijke mate ingevangen pelagisch koolstof, algen).

Met een wortel-scheut verhouding van 50-1.4 is het grootste gedeelte van de levende biomassa koolstof ondergronds aanwezig (figuur 2.6, Darby & Turner 2008a). Daarnaast blijkt uit de literatuur dat de meeste koolstof in kwelders bestaat uit ingevangen pelagisch koolstof in de bodem (Fourqurean et al., 2014). Zodoende kan worden aangenomen dat de bovengrondse biomassa minimaal bijdraagt aan de koolstofopslag. Voor het meten van de hoeveelheid koolstof voor een Blue Carbon project is het meten van het koolstofreservoir in de bodem en levende biomassa in de bodem (plantwortels) dus voldoende.



Figuur 2.5 Verdeling monsterpunten over verschillende ecotopen, Verdrunken Land van Zuid Beveland.



Figuur 2.6. Boven- en ondergrondse biomassa van een kwelder (Darby & Turner 2008).

### 3. Aantal metingen en meetpunten

Voor een optimale meting van de koolstofvoorraad en jaarlijkse opslag van de kwelder of schor zijn een aantal factoren van belang:

- Het **soort** meting; een initiële meting bij project aanvang en permanente metingen tijdens het Blue Carbon project
- De ligging van de meetpunten en het **aantal** meetpunten op de kwelder
- De **leeftijd** van de kwelder

#### *Het soort metingen*

Ten eerste wordt een **initiële meting** uitgevoerd op de kwelder. Dit zijn eenmalige koolstof metingen die de huidige koolstofvoorraad in de kwelder vaststellen. **Permanente metingen** worden uitgevoerd na realisatie van het Blue Carbon project en hebben als doel te controleren of de verstrekte koolstofcertificaten overeenkomen met de werkelijk vastgelegde en vastgehouden koolstof (zie permanente metingen § 2.5).

#### *Ligging en aantal meetpunten*

Het aantal meetpunten is afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid en de natuurlijke variatie tussen de meetpunten. Voor een representatief beeld van de kwelder is het wenselijk over de kwelder meerdere replica's te nemen. Zowel in lage, middelhoge en hoge kwelder en verspreid over het gebied dient men meerdere bodemonsters te nemen met een guts. Zo ontstaat een goed beeld van de hoeveelheid koolstof in de kwelder. Minimaal dienen in drie ecotopen (lage, middelhoge en hoge kwelder) vier replica's genomen te worden, verspreid over de kwelder (figuur 2.7). Van elk van deze meetpunten worden vervolgens submonsters genomen op vijf dieptes, dus vijf submonsters per replica.

De submonsters zijn nodig voor een accurate analyse, omdat de gradiënt in de bodem (diepte in het sediment) op deze manier ook wordt meegenomen.

#### *Bepalen leeftijd kwelder*

Om een idee te krijgen hoeveel koolstof er wordt vastgelegd per jaar is het belangrijk om de tijdsperiode waarin de opslag heeft plaatsgevonden in te schatten. Hiervoor zijn de leeftijd van de kwelder en de groei- of erosiesnelheid van de kwelder op het meetpunt van belang. Aan de hand van de leeftijd is namelijk te achterhalen hoe lang de hoeveelheid koolstof op het betreffende meetpunt erover gedaan heeft om op de locatie te accumuleren. Hieruit volgt tevens hoeveel er gemiddeld per jaar is vastgelegd. Een leeftijdsinschatting van de kwelder kan gemaakt worden:

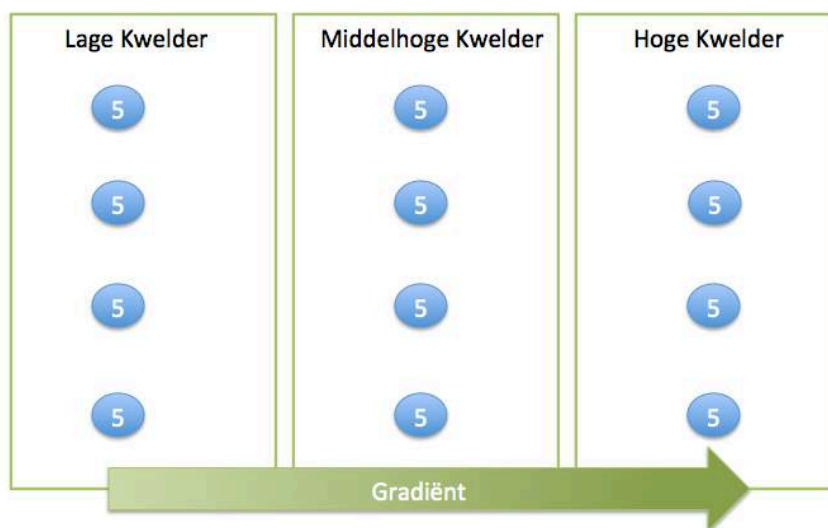
- Via een leeftijdsbepaling door een Cesiummeting (Tsjernobyl lijn bepaling).
- Door de groei en erosie te meten met specifieke meettechnieken, hiervoor zijn vaak meerdere jaren nodig.
- Afgeleid van historische kaarten en vegetatiekarteringen.

In Nederland is door een goed kaarten- en luchtfoto-archief vrij nauwkeurig te bepalen wanneer een kwelder ontstaan is. Bovendien zijn sommige kwelders door de mens aangelegd, waaronder de landaanwinningswerken in Friesland en Groningen, waardoor het beginjaartal (start van koolstofopslag) relatief makkelijk te bepalen is. In het voorliggende rapport is dan ook de laatste methode gebruikt, waarbij de leeftijd is afgeleid van historische kaarten.

#### 4. Metingen

Bij elk meetpunt wordt met een gutsboor een sedimentmonster gestoken vanaf de bovenste sli بلااغ tot 1 meter diep. Vervolgens worden er van elk sedimentmonster submonsters genomen, deze zijn verkregen door over de totale lengte van het sedimentmonster 5 plakjes uit te snijden van 1 cm dikte (verdeling submonsters is afhankelijk van de totale lengte van het sedimentmonster). In totaal worden er dus 12 gutsboringen verricht op een kwelder, die bestaan uit 5 submonsters (60 monsters per kwelder) (Figuur 2.4).

Bij bossen wordt vaak tot 0,3 m diep geboord, aangezien de organische laag beperkt is. Bij mariene ecosystemen worden voornamelijk boringen tot één meter diep gedaan. In de eerste meter bodem zit namelijk de meeste variatie in koolstofgehalte, op grotere diepte vlakt deze af. Bovendien zit in de bovenste lagen (tot 0,5 m) vaak het meeste organisch materiaal opgeslagen en is voornamelijk deze laag onderhevig aan afslag. Dieper gelegen lagen (>1m) worden niet of nauwelijks aangetast door erosie (Hoojoer et al. 2006; Pendleton et al. 2012).



*Figuur 2.7 Opzet koolstofmetingen kwelder, 4 replica's per zone met 5 submonsters per gutsboring om de dieptegradiënt mee te nemen.*

#### 5. Analyse van de metingen

Voor de analyse van de hoeveelheid organisch koolstof die is opgeslagen (koolstofbepaling) zijn er twee methoden voorhanden: 1) het verassen van monsters (verbranden van organisch materiaal) of 2) met massaspectroscopie

(isotopenanalyse). De laatste methode is het meest accuraat, bovendien kan hiermee onderscheid gemaakt worden tussen vegetatieve koolstof (afkomstig van plantmateriaal) en mariene koolstof (o.a. afkomstig van algen, fytoplankton). Isotopenanalyse is kostbaar vanwege de geavanceerde apparatuur die hiervoor nodig is. Aangeraden wordt deze methodiek ter referentie te gebruiken en de uitkomsten te vergelijken met de uitkomsten van de verassing. Wanneer de hoeveelheden op basis van de twee methodieken verschillen dan kan een standaard correctie worden toegepast.

#### *Bepalen gemiddelde koolstofopslag*

Na het bepalen van het C-gehalte per monster wordt de gemiddelde koolstofvoorraad per kwelderzone berekend (C/ha). Vooraf is al aan de hand van historische gegevens geanalyseerd hoe oud de kwelder is op de specifieke meetpunten. De resultaten van de veldstudie voor de koolstofopslag (ton C/ha) kunnen daardoor omgezet worden in de jaarlijkse koolstof opslag in ton C/ha/jaar, voor de lage, middelhoge en hoge kwelder en een gemiddelde voor de gehele kwelder (Bijlage 2).

In dit rapport zijn deze koolstofwaarden nog omgezet naar het CO<sub>2</sub> emissie equivalent (koolstofwaarden vermenigvuldigen met 3,67).

Meer informatie over de analyses:

Bijlage 1 Toelichting methode verassen en isotopenanalyse

Bijlage 2 Toelichting berekening gemiddeld C-gehalte per kwelder

## **2.4 Blue Carbon potentie bepalen**

Om te bepalen hoeveel certificaten (uitgedrukt in ton CO<sub>2</sub>) beschikbaar kunnen komen door het Blue Carbon project, dient vooraf een inschatting gemaakt te worden van de haalbaarheid en snelheid van opslibbing in geval van uitbreiding. Bij behoud dient nagegaan te worden of het haalbaar is en in welke mate de kwelder behouden blijft.

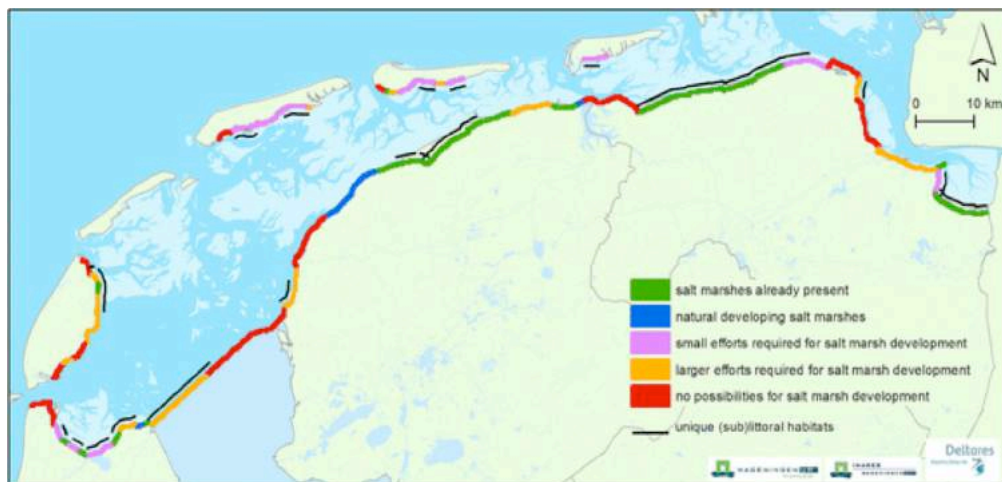
#### *Uitbreiden van een kwelder*

De hoeveelheid koolstof die opgeslagen wordt in een kwelder bij uitbreiding, is afhankelijk van het gebied en project. Voor sommige projecten is dit vrij gemakkelijk te bepalen doordat in naast gelegen gebieden al eenzelfde project is gerealiseerd. Dit project kan dan als voorbeeld fungeren voor de opslibsnelheid. Hierdoor zijn de te verstrekken koolstofcertificaten relatief eenvoudig te berekenen (voorbeeldcasus 1).

Bij andere Blue Carbon uitbreidingsprojecten dient vooraf aan realisatie een haalbaarheidsstudie uitgevoerd te worden om de mate en snelheid van opslibbing te bepalen. Hieruit kan vervolgens de hoeveelheid te verstrekken certificaten bepaald worden (voorbeeldcasus 2).

### Voorbeeldcasus 1

Bij het creëren van nieuwe kwelders op geschikte locaties (zie kanskaart) langs de Noord-Groningse kust, kan worden aangenomen dat de ontwikkeling en opslibbing van de kwelder op eenzelfde wijze verloopt als naastgelegen kwelders. Het Uithuizerwad slaat bijvoorbeeld 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar op. Bij het creëren van nieuw kwelderareaal langs de Groningse kust op dezelfde wijze als het Uithuizerwad (landaanwinningswerken), kan worden aangenomen dat in het nieuw ontwikkelde gebied naar alle waarschijnlijkheid ook 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar wordt vastgelegd (zie ook H3.3.4).



*Kansenkaart voor de ontwikkeling van kwelderareaal in de Waddenzee (van Loon-Steensma et al., 2015).*

### Voorbeeldcasus 2

Bij het uitbreiden van een kwelder in de Westerschelde door het plaatsen van rijshouten dammen is voorsnog onduidelijk in welke mate het gebied kan opslibben. Wel is duidelijk hoeveel in potentie opgeslagen kan worden in een kwelder in de Westerschelde door opslaggegevens van nabij gelegen kwelders. Een morfologische haalbaarheidsstudie zal moeten uitwijzen of het uitbreiden van de kwelder op de locatie haalbaar is en belangrijker, wat de mate van opslibbing is; hoe snel vormt de kwelder zich (zie ook H3.3.3 Westerschelde). Aan de hand van deze gegevens kunnen de te verstrekken koolstofcertificaten bepaald worden. Deze rechten worden uiteraard alleen verstrekt indien het betreffende project positief scoort op het criterium van additionaliteit. Deze beoordeling vindt plaats in de procedure binnen de Green Deal Nationale Koolstofmarkt.

#### *Het behoud van een kwelder.*

Het beschermen van een kwelder tegen afslag kan ook gezien worden als een Blue Carbon project, wanneer dit niet onder het baseline scenario valt. Bij behoud van een kwelder wordt afslag of erosie van de kwelderrand voorkomen. In wetenschappelijk onderzoek wordt aangenomen dat minimaal 15% van de koolstof opgeslagen in een

kwelder in de vorm van CO<sub>2</sub> vrijkomt (bij afslag of andere oorzaken waardoor een kwelder verloren gaat). De overige 85 % (of minder) bezinkt of herverdeelt zich waardoor deze niet bijdragen aan CO<sub>2</sub> emissie (Pendleton et al. 2012; McTigue et al., 2016).

Het bepalen van de hoeveelheid te verstrekken koolstofcertificaten bij bescherming van een kwelder omvat ten eerste het bepalen van het areaal onderhevig aan afslag. Vervolgens dient bepaald te worden hoeveel koolstof hierin opgeslagen ligt en ten slotte wordt hiervan 15% (verwachte emissie zonder bescherming) beschikbaar gesteld voor koolstofcertificaten. Immers zonder bescherming komt 15% van de opgeslagen koolstof weer vrij in de vorm van CO<sub>2</sub> (Voorbeeldcasus 3).

#### **Voorbeeldcasus 3**

Het Verdrunken Land van Zuid-Beveland (kwelder in de Oosterschelde) is onderhevig aan afslag. Elk jaar erodeert de niet beschermde kwelderrand 40-80 cm landinwaarts. Hierdoor gaat jaarlijks 0,2 hectare aan kwelderareaal verloren. Dit kwelderareaal bevat 1389 ton CO<sub>2</sub> per hectare; 277 ton CO<sub>2</sub> in 0,2 ha. Van deze 277 ton CO<sub>2</sub> komt minimaal 15 % weer vrij in de vorm van CO<sub>2</sub>. Omgerekend komt jaarlijks dus minimaal 40 ton CO<sub>2</sub> vrij bij erosie van het Verdrunken Land van Zuid Beveland (H3.3.2).

#### **Buffer en tijdsspanne project**

Voor Blue Carbon projecten kan worden uitgegaan van een projectduur van 50 jaar (zoals bij de methodiek voor Moorfutures; tegengaan veenoxidatie in Duitsland).

Elke 5 jaar vindt een evaluatie plaats waarbij de monitoringsgegevens uit de permanente metingen worden beoordeeld en wordt gekeken of de baseline moet worden aangepast. In dat geval wordt gekeken of het projectresultaat nog (volledig) additioneel is. Immers het overheidsbeleid kan voor het betreffende gebied in de loop van de tijd aangepast zijn. Daarnaast kunnen nieuw verkregen inzichten betekenen dat de berekening van de emissiereductie gewijzigd moet worden. Mocht de uitkomst zijn dat de emissiereductie voor de resterende projectduur moet worden verlaagd, dan zal dit tot gevolg hebben dat het aantal certificaten voor de volgende tranche van 5 jaar wordt verminderd. Het is echter ook mogelijk dat het aantal wordt verhoogd.

## **2.5 Permanente metingen**

Nadat de initiële metingen zijn gedaan en het project uitgevoerd is, is het van belang dat monitoring op reguliere basis wordt uitgevoerd. Dit om de effectiviteit van het project te meten. In de Blue Carbon Manual (Fourqurean et al. 2014) is de aanbeveling de monitoring om de 3 jaar te herhalen.

#### **Remote sensing methode**

Om de groei van areaal en vegetatie te monitoren wordt remote sensing voorgesteld. Deze methode maakt gebruik van satellieten om het aardoppervlak in kaart te

brenge. De langstlopende en meest gebruikte dataset voor kustgebieden is Landsat (<http://landsat.usgs.gov/>). Voor Blue Carbon doeleinden kunnen Landsat afbeeldingen worden gebruikt voor vegetatie data. Met deze vegetatie data kan de dichtheid aan vegetatie worden bepaald. Aan de hand van de dichtheid kan vervolgens bepaald worden in hoeverre kweldervegetatie aanwezig is (areaal) en welke kwelderzone aanwezig is. Met de gegeven koolstofopslag in de gebieden (ton C/ha) en de veranderingen in het kwelderareaal (in hectare) door het Blue Carbon project, kan de totale koolstofopslag van de gebieden worden geschat.

### **VegWad kartering**

Een tweede informatiebron over de ruimtelijke ontwikkeling van kwelders zijn de VegWad karteringen. Om de paar jaar worden de kwelders in Nederland gekarteerd en de aanwezige vegetatietypen/ecotopen op de kwelder bepaald. Deze karteringen kunnen ook uitgevoerd worden voor de kwelders waar een Blue Carbon project plaatsvindt waardoor de ontwikkeling van de kwelder gemonitord wordt. Aan de hand van de initiële metingen is bepaald hoeveel de lage, middel en hoge kwelderzone opslaan. De permanente metingen geven inzicht hoe de zones zich ontwikkelen en hoeveel extra koolstof hierin opgeslagen wordt ten opzichte van de initiële metingen.

### **Validatie**

Remote sensing of de VegWad karteringen kunnen worden gevalideerd aan de hand van veldmetingen. Deze validatiemetingen zijn minder frequent nodig dan de 3-jaarlijkse monitoring zelf. Validatie dient iedere 6 jaar uitgevoerd te worden (Fourqurean et al. 2014). De monsters ter validatie kunnen verwerkt worden met de verassingsmethode. Met deze data kunnen berekeningen uitgevoerd worden om de koolstofopslag (ton C/ha en gemiddeld voor de hele kwelder) te bepalen van de onderzoeksgebieden. Deze methode is vergelijkbaar met de initiële metingen voor de baseline.



### 3 Resultaten per gebied





# Blue Carbon Potentie in beheergebieden van Natuurmonumenten

Om de potentie voor Blue Carbon projecten in beheergebieden van Natuurmonumenten te bepalen is in afstemming met Natuurmonumenten ervoor gekozen om vier verschillende kwelders in Nederland hierop te onderzoeken:

1. De Schorren op Texel.
2. Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland in de Oosterschelde.
3. De Zuidgors in de Westerschelde.
4. Uithuizerwad, buitendijks gebied langs de Noordkust van Groningen.

Deze vier kwelders vallen onder beheer van Natuurmonumenten. De keuze voor deze kwelders is gebaseerd op het doel verschillende typen kwelders te onderzoeken (figuur 3.1).

De Schorren op Texel valt onder het type **strandwal kwelders**. Strandwal kwelders zijn ontstaan op zandplaten aan de beschutte zijde van een strandwal of duinenrij. De strandwal kwelders op de Waddeneilanden hebben een lagere sedimentatiesnelheid dan andere typen kwelders omdat de stroomsnelheid langs de Waddeneilanden hoger is dan dichterbij het vasteland of in de beschutte deltagebieden (Olf *et al* 1997; Bakker *et al* 2002; Natuurkennis 22/02/16).

Het Uithuizerwad valt onder het type **vasteland kwelder**. Vasteland kwelders ontwikkelen zich op opgeslibd sediment in beschutte gebieden of ondiepe baaien langs de kust. Vasteland kwelders hebben een hogere sedimentatiesnelheid dan strandwal kwelders omdat de stroomsnelheid van het water vanaf de Noordzee is afgenomen wanneer het de kust bereikt van Groningen en Friesland. Hierdoor is er een hogere opslibbing van de kwelder (en dus hogere sedimentafzet) dan bij strandwal kwelders.

De Zuidgors en in mindere mate ook het Verdrongen Land van Zuid-Beveland (Oosterschelde is nu helemaal zout vanwege gebrek aan rivier toevoer), vallen onder het type **estuariene kwelders**. Estuariene kwelders of schorren zijn half omsloten systemen met een open verbinding naar zee met een of meerdere rivieren die uitmonden in het systeem, waardoor het water brak (zoet en zout) wordt. De kwelders ontstaan hier met name op beschutte zandplaten of slikken (Bakker *et al* 2002). Bij estuariene systemen is sprake van een hoge sedimentatiesnelheid, er is veel sediment in de waterkolom aanwezig doordat sediment enerzijds wordt aangevoerd vanuit de rivieren en anderzijds door de zee, waarbij de getijdenwerking zorgt voor extra dynamiek (Mesel *et al* 2013). Daarnaast bevinden estuariene kwelders zich vaak vlakbij een vaargeul, die wanneer er wordt gebaggerd, extra sediment in de waterkolom brengt (Esselink *et al* 2010).



*Figuur 3.1. Kaart van Nederland met locaties waar kwelders voorkomen. Rood zijn strandwal kwelders, groen zijn vasteland kwelders en blauw zijn estuariene kwelders. Indeling in typen is gebaseerd op een combinatie van geografie en geomorfologische ontstaanswijze. Afgeleid van Ecomare 2016.*

### **3.1 De Schorren op Texel**

#### **3.1.1 Locatie en leeftijdsbepaling**

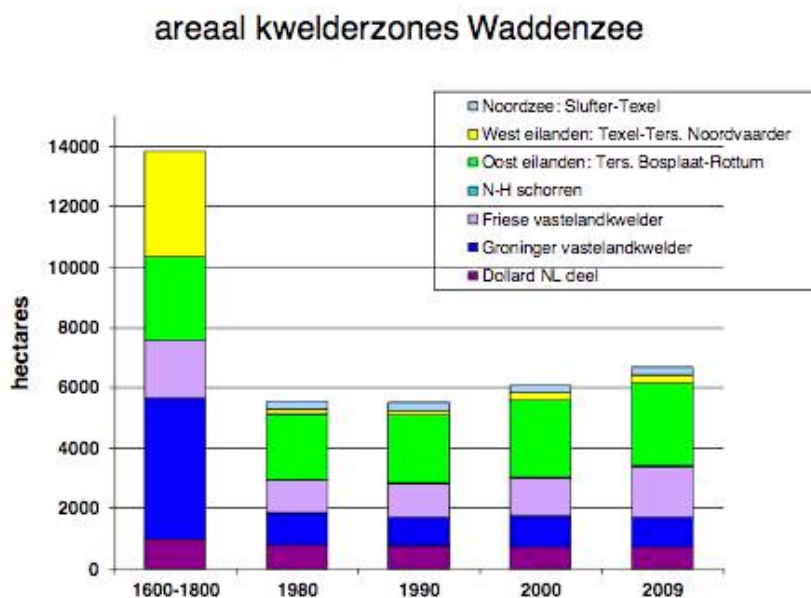


*Figuur 3.2. Huidige gebied van de Schorren in beheer van Natuurmonumenten*

De Schorren op Texel zijn ontstaan in de 19de eeuw, toen in het Noordoosten van Texel kwelderontwikkeling plaatsvond. Een groot deel van deze kwelder werd ingepolderd (Polder Eierland). Kaarten uit 1850 laten zien dat na deze inpoldering nog een smalle strook buitendijks kweldergebied aanwezig was. Omstreeks 1900 breidde het kweldergebied zich uit. Dit gebied staat nu bekend als De Schorren van Texel. De leeftijd van de oudste gedeeltes van De Schorren ligt rond de 130 – 170 jaar (Esselink *et al.* 2017, figuur 3.2).

Het totale areaal aan kwelders in de Waddenzee is sinds 1800 sterk afgenomen (figuur 3.3). Met name de kwelders op de Westelijke eilanden (Texel en Terschelling) zijn sterk afgenomen, mede door het aanleggen van de Afsluitdijk. Het areaal van De Schorren van Texel is over de laatste jaren vrij stabiel; circa 54 ha. Het voorkomen van afslag wordt voornamelijk bewerkstelligd door de bescherming van rijshouten en stortstenendammen aan de zuidrand en de natuurlijke strandwal aan de noordkant.

De verwachting is dat natuurlijke uitbreiding van De Schorren niet zal plaatsvinden (Esselink *et al.* 2017). Nabijgelegen kombergingsgebieden (Eierlandse Gat in het noorden en Zeegat in het zuiden) laten namelijk een sedimentatieverlies zien door de afsluiting van de Zuiderzee en verdieping van de vaargeulen. Natuurlijke sedimentatie/aangroei van de kwelder treedt dan ook niet of nauwelijks op. Ook is de hoogteligging van de wadplaten te laag door de opgetreden erosie. Hierdoor kan pioniervegetatie zich niet vestigen en aangroeiën (Esselink *et al.* 2017).



Figuur 3.3 Kwelderareaal Waddenzee door de tijd (Dijkema *et al.* 2010)

### 3.1.2 Huidig beleid

De Schorren van Texel vallen onder het Natura 2000-gebied Waddenzee. Het huidige beleid in de Waddenzee heeft de doelstellingen:

- Behoud van kwelderareaal
- Verbeterdoelstelling met betrekking tot de kwaliteit van het kwelderareaal (meer diversiteit in vegetatietypen).

De behoudsdoelstelling wordt onder andere gehaald door onderhoud van de rijshoutdammen. De kwaliteitsverbetering in vegetatietypen richt zich met name op het lokaal toepassen van grazers op de kwelder (Ministerie van IenM, 2016b).

### 3.1.3 Huidig beheer

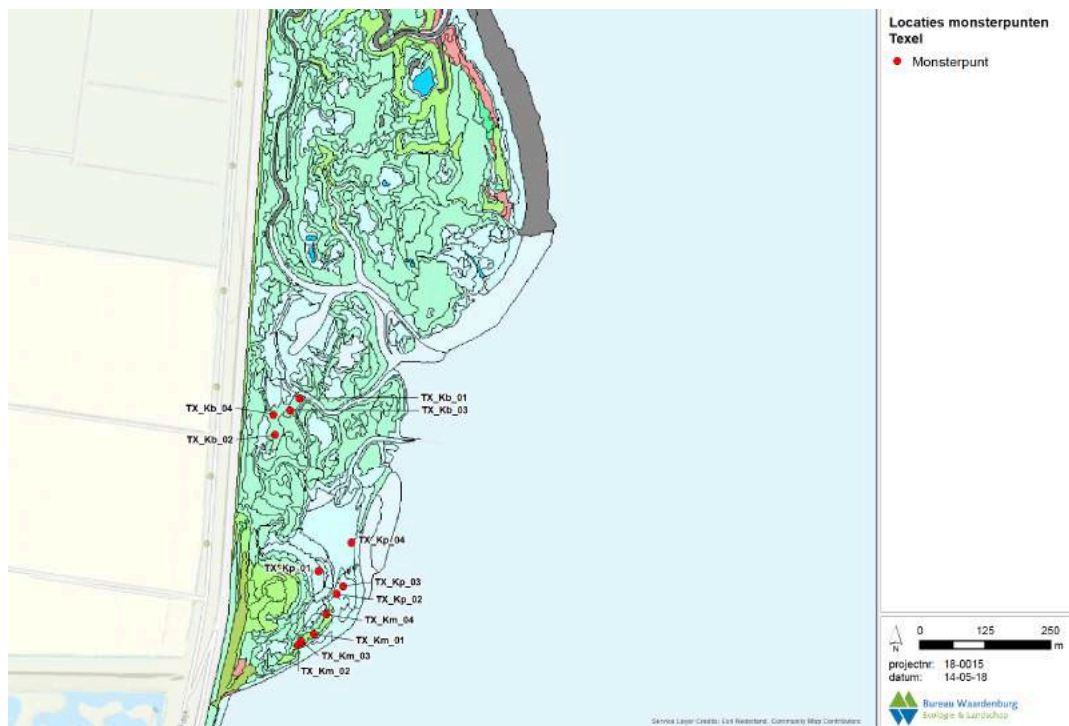
De rijshoutdammen loodrecht op de dijk worden door Natuurmonumenten onderhouden door middel van jaarlijkse vervanging van de wiepen. Een inspectie van de hoogte van de rijshoutdammen bij De Schorren via het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN2) wijst op een damhoogte van ongeveer 0,6 m +NAP, overeenkomend met een niveau van enkele centimeters onder het lokaal heersende niveau van GHW (Esselink *et al.* 2017).

Per jaar wordt 1/3de van de wiepen van de rijshoutdammen in het gebied vernieuwd. Op jaarbasis wordt er € 20.000,- gespendeerd aan de vervanging van de wiepen. Dit bedrag resulteert in 2.000 meter aan wiepen, waarmee dus 1/3de van de dammen vervangen kunnen worden.

Het vegetatiebeheer richt zich met name op het behouden en creëren van gunstig broedhabitat voor kolonievogels, waaronder de grote stern. Tot relatief recent werd dit beheer uitgevoerd door maaien en beweiding met schapen (Esselink *et al.* 2017). Aan de beweiding met schapen kwam een einde door de dijkverzwaring van 1981. Rond 2008 zijn in twee opeenvolgende jaren op het hoge deel van De Schorren delen gemaaid om toename van hoog opgaande vegetatie tegen te gaan en vegetatie van Engels gras (*Armeria maritima*) als broedhabitat voor de grote stern te behouden. Deze maatregel was niet succesvol en sindsdien wordt door Natuurmonumenten geen actief vegetatiebeheer meer gevoerd (van der Ploeg 2015).

### 3.1.4 Resultaten Koolstofmetingen

Op de Schorren van Texel zijn 12 meetpunten in het zuidelijke deel van de kwelder random geplaatst in 3 ecotooptypen (Pionier, Laag en Middelhoge kwelder, figuur 3.4). In de zomer van 2018 zijn deze punten bemonsterd tot een meter diep, of ondieper wanneer de guts op een klei of zandbodem stuitte (methodiek hoofdstuk 2).



Figuur 3.4 Monsterpunten Schorren van Texel

De monsters zijn vervolgens verast (Bijlage 1). Van elk ecotooptype is daarnaast 1 monsterpunt ook nog doorgemeten via een stabiele isotopen analyse om de precieze hoeveelheid organisch koolstof te bepalen. Vervolgens zijn de uitkomsten uit de stabiele isotopenanalyse vergeleken met de uitkomsten uit het verassen en zijn de verassingswaardes gecorrigeerd (bijlage 2). Na correctie is de hoeveelheid koolstof per hectare (ton C/ha) en het CO<sub>2</sub> equivalent berekend (ton CO<sub>2</sub>/ha) voor elk ecotooptype en gemiddeld voor het gehele gebied. Tot slot is ook een grove schatting gedaan van de opslag per jaar. Aangezien de Schorren van Texel tussen de 130 en 170 jaar oud zijn en het Zuidelijke deel, waar de bemonstering is uitgevoerd, het jongste gedeelte is, is aangenomen dat de gemeten koolstof zich over 130 jaar geaccumuleerd heeft. Dit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid omdat:

1. tot een meter diep gemeten is en niet altijd op een zand of kleibodem is gestuit. De werkelijke hoeveelheid koolstof opgeslagen in de bodem is mogelijk meer omdat ook in de diepe lagen nog koolstof opgeslagen ligt. Hoewel uit literatuur (Fourqurean et al. 2014) en uit de huidige metingen blijkt dat de hoeveelheid koolstof met de diepte afneemt (H4.1.4, figuur 4.5) en de eerste meter het meest ontvankelijk is voor erosie (en dus weer vrij kan komen), zijn alle gepresenteerde waarden een onderschatting van de werkelijke opslag in de bodem.

2. aangenomen is dat de zuidelijke kwelder zich over 130 jaar heeft gevormd, terwijl delen van de zuidelijke kwelder jonger zijn. Delen van de kwelder zijn pas aangegroeid na het plaatsen van de stortstenen en rijshoutdammen (omstreeks 1990).

In tabel 3.1 staan de resultaten weergegeven. De hoogste koolstofvoorraad is gemeten in de lage kwelderzone. Een verklaring hiervoor kan zijn dat dit deel van de kwelder veel aanvoer van sediment heeft via krekken.

Gemiddeld ligt de koolstofvoorraad van de Schorren van Texel rond de 255 ton C/ha, corresponderend met 938 ton CO<sub>2</sub>/ha, wat exact overeenkomt met de gemiddelde waarde van koolstofvoorraad in kwelders wereldwijd (IPCC 2013).

De jaarlijkse opslag (over een periode van 130 jaar) is gemiddeld 7,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja.

De Schorren van Texel (54 ha) bevat, in de eerste meter bodem, in totaal 13.800 ton koolstof, wat gelijk is aan 50.666 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 3.1 Resultaten koolstofmetingen op de Schorren van Texel

Ecotoop	Gram C per cm <sup>3</sup> sediment	ton C/ha	ton CO <sub>2</sub> /ha	ton CO <sub>2</sub> /ha/ja
Pionier (Kp)	0,0184	184	677	5,2
Laag (Kb)	0,0442	442	1624	12,5
Middelhoog (Km)	0,0140	140	514	4,0
<b>Totaal</b>	<b>0,0256</b>	<b>255</b>	<b>938</b>	<b>7,2</b>

### 3.1.5 Blue Carbon project

#### *Behoud van kwelderareaal*

Sinds de rijshoutdammen geplaatst zijn is erosie aan de zuidelijke rand van de Schorren van Texel gestopt. Het onderhoud aan de dammen heeft de laatste jaren ervoor gezorgd dat de kwelder nagenoeg stabiel in omvang is gebleven (Tekstbox 3.1, Esselink et al, 2017). Het voorzetten van het huidige onderhoud zorgt ook in de toekomst nog voor behoud van de kwelder (Esselink et al, 2017).

#### **Tekstbox 3.1**

Begin jaren tachtig van de vorige eeuw heeft onder andere de aanleg van 30 rijshoutdammen afslag van de Schorren voorkomen. In het noordelijke deel zijn deze rijshoutdammen aangelegd als strekdammetjes of kribben loodrecht op de kwelderrand (om zo ruimte voor een geleidelijke overgang tussen wad en kwelder te behouden). De langste hiervan zijn bijna 120 meter. In het zuiden zijn zogenaamde bezinkvakken aangelegd met rijshoutdammen loodrecht op – en parallel aan de kwelderrand (Esselink et al. 2017).

### *Het uitbreiden van kwelderareaal*

Het uitbreiden van kwelderareaal buiten de rijshoutdammen wordt momenteel niet overwogen, omdat hierdoor mogelijk waardevol litoraal habitat verloren gaat (Esselink et al. 2017). Uitbreiding van areaal is daardoor enkel kansrijk binnen de grenzen van de geplaatste rijshoutdammen..

#### 1. Ophogen rijshoutdammen

De aanwezige rijshoutdammen zijn bedoeld als oeververdediging en het beschermen van de kwelderrand tegen golfslag. Op dit moment is de hoogte van de rijshoutdammen rond het GHW. Langs de Friese en Groningse kust is aangetoond dat bij het verhogen van de rijshoutdammen loodrecht op de kust (tot ca. GHW – 50 cm zeewaarts) tot een damhoogte van GHW + 30 cm, de mate van opslibbing toeneemt en daarmee verhoging plaatsvindt van het achtergelegen gebied (Dijkema et al. 2011).

Het verhogen van de rijshoutdammen loodrecht op de dijk tot GHW +30 cm kan dus opslibbing van het achterliggende gebied tot gevolg hebben. Het areaal aan kwelder dat ontstaat als gevolg van het verhogen van de dammen is vooralsnog lastig in te schatten. Wel is uit koolstofmetingen duidelijk geworden dat per jaar in potentie 7,2 ton CO<sub>2</sub>/ha opgeslagen wordt (tabel 3.1).

Bovendien kan door het verhogen van de rijshoutdammen het al aanwezige kwelderareaal verder ophogen. Elke centimeter verhoging van de kwelder levert 0,0256 gram koolstof opslag per vierkante centimeter op (0,0938 gram CO<sub>2</sub>) (tabel 3.1). Morfodynamisch onderzoek moet uitwijzen of ophogen van de rijshoutdammen haalbaar is en welk kwelderareaal werkelijk aangroeit bij het verhogen van de dammen.

#### 2. Verhogen van de Schorren door het storten van zand/klei

Een groot deel van het gebied rondom de Schorren van Texel ligt te laag voor de groei van vegetatie. Door het ophogen van het gebied kan vegetatiegroei gestimuleerd worden en daarmee luwten, waar sediment kan bezinken. Opgemerkt moet worden dat dit enkel werkt wanneer het gebied laagdynamisch is en het gestorte materiaal stabiel blijft liggen. In het verleden zijn de stortstenendammen aan de zuidrand aangelegd in combinatie met de stort van zand en klei langs de dijk (Tekstbox 3.2).

#### **Tekstbox 3.2**

Als eerste maatregel tegen erosie van de zuidelijke kant van de Schorren van Texel werd in 1978 in het zuidelijke deel ongeveer 7 ha wad opgespoten met 100.000 m<sup>3</sup> zand en klei die vrijkwam bij de dijkverzwaring van de Bol. Om het sediment op zijn plaats te houden werd daarbij een stenen dam aangelegd die nu nog steeds zichtbaar is (Esselink et al. 2017).

De additionele opslag van koolstof is afhankelijk van de ontwikkeling van kwelderareaal (hectares) als gevolg van het storten. Opnieuw zal morfodynamisch



onderzoek moeten uitwijzen of deze maatregel haalbaar is en welk areaal nieuw gecreëerd wordt door ophoging.

#### *Creëren van nieuw kwelderareaal*

Direct ten zuiden van de Schorren van Texel, langs de dijk, ligt een mogelijkheid om een kwelder aan te leggen (binnen het beheergebied van Natuurmonumenten). Het creëren van luwte en daarmee het invangen van sediment kan het gebied voldoende ophogen om kwelderontwikkeling mogelijk te maken. Het kwelderareaal dat hiermee gecreëerd kan worden bedraagt enkele hectare langs de dijk. Aangenomen kan worden dat de opslagsnelheid van het gebied ten zuiden van de Schorren vergelijkbaar is als de gemiddelde opslagsnelheid op de Schorren van Texel zelf; 7,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja. Morfodynamisch onderzoek zal moeten uitwijzen of dit haalbaar is en hoeveel areaal aan kwelders hierdoor wordt gecreëerd en wat de opslagsnelheid is.

### **3.1.6 Conclusie**

Het onderhouden van de rijshoutdammen zorgt voor behoud aan kwelderareaal, waarbij de **50.666 ton CO<sub>2</sub>** opgeslagen blijft in de kwelder, de baseline.

Het uitbreiden van de kwelder binnen de geplaatste rijshoutdammen kan door het verhogen van dammen of het storten van zand/klei om het gebied op te hogen. Een combinatie van beide maatregelen is ook mogelijk. Morfodynamisch onderzoek zal moeten uitwijzen hoeveel areaal aan kwelders hierdoor wordt gecreëerd en wat de opslagsnelheid is. Gebaseerd op de huidige kwelder kan nieuw te ontwikkelen kwelderareaal op de Schorren van Texel in potentie 7,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja opslaan en is 2-5 hectare achter de rijshoutdammen nog onbegroeid en geschikt voor kwelderontwikkeling.

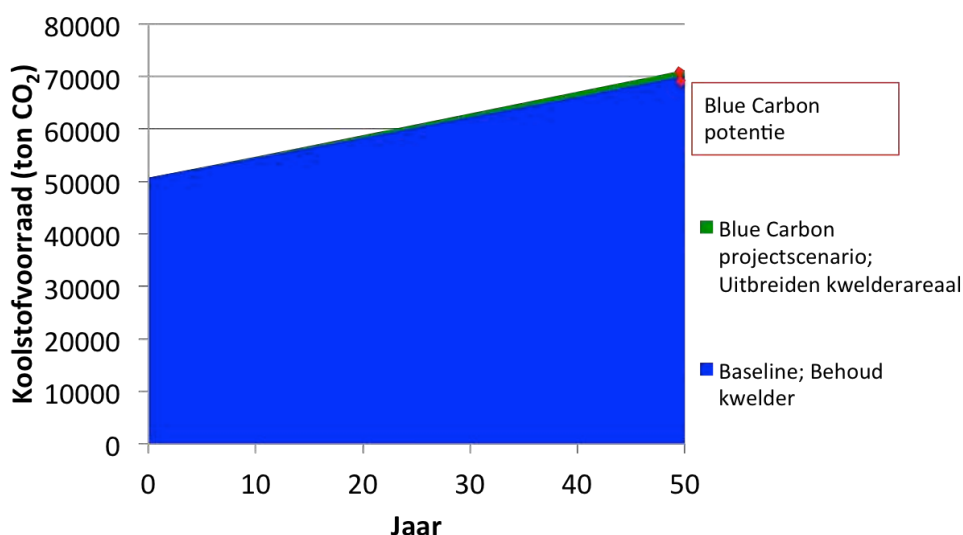
Daarnaast kan ten zuiden van de Schorren van Texel nieuw kwelderareaal gecreëerd worden. Binnen het beheergebied van Natuurmonumenten kunnen enkele hectare kwelder gecreëerd worden door het aanbrengen van luwten, mogelijk in combinatie met het ophogen van het gebied. Morfodynamisch onderzoek zal de haalbaarheid moeten achterhalen.

### **3.1.7 Blue Carbon potentie**

Een mogelijk Blue Carbon project op de Schorren van Texel is het verhogen van de rijshoutdammen naar een vergelijkbare hoogte (al dan niet in combinatie met het storten van zand of klei), zoals ook toegepast langs de Friese en Groningse kust.

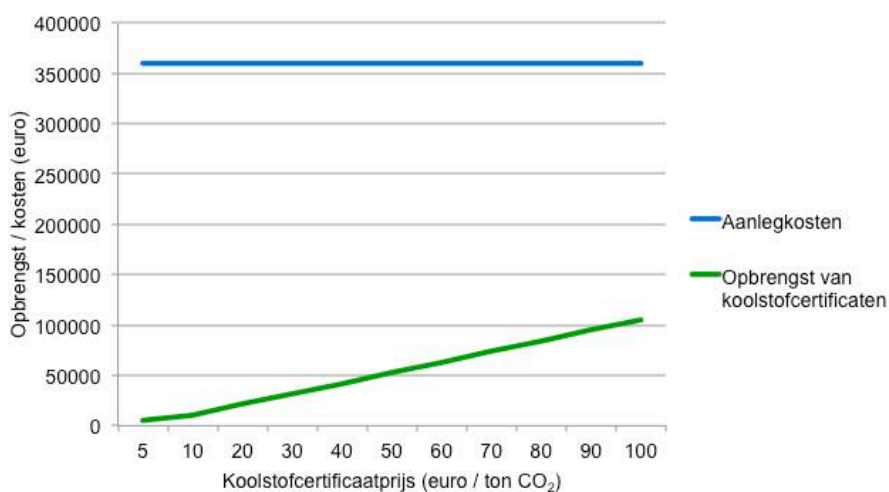
De kosten van rijshoutdammen liggen gemiddeld rond de 60 euro per strekkende meter (afhankelijk van de diepte en locatie). Wanneer aangenomen wordt dat het verhogen van de huidige rijshoutdammen eenzelfde prijs kost, zal het verhogen van alle rijshoutdammen in het gebied (6000 m) 360.000 Euro kosten.

Per jaar slaat een hectare aan kwelder op De Schorren van Texel ongeveer 7,2 ton CO<sub>2</sub> op. Een ontwikkeling van 2 of 3 hectare nieuwe kwelder door het verhogen van de rijshoutdammen is mogelijk haalbaar. De maximaal haalbare additionele opslag van CO<sub>2</sub> over 50 jaar voor 3 hectare is 1080 ton CO<sub>2</sub>, 21 ton CO<sub>2</sub>/jaar (figuur 3.5).



Figuur 3.5. Blue Carbon potentie van het uitbreiden van de Schorren van Texel door het verhogen van de rijshoutdammen, waarbij 3 hectare kwelder extra wordt gecreëerd.

De aanlegkosten voor het verhogen van alle rijshoutdammen kunnen niet terugverdiend worden met koolstofcertificaten alleen. Bij een koolstofcertificaat prijs van 100 euro en een projectduur van 50 jaar wordt 1/3 van de aanlegkosten terugverdiend.



Figuur 3.6 Blue Carbon Potentie van De Schorren van Texel bij verhogen rijshoutdammen. Zichtbaar is dat zelfs bij een koolstofcertificaatprijs van 100 euro de aanlegkosten slechts voor 30% terugverdiend kunnen worden

Wil een Blue Carbon project haalbaar zijn (sluitend verdienmodel) op de Schorren van Texel zal meer areaal aan kwelders gecreëerd moeten worden en/of de aanlegkosten gereduceerd moeten worden.

Naar verwachting vallen de totale kosten hoger uit, aangezien in de huidige berekening enkel rekening is gehouden met de aanlegkosten van rijshoutendammen. Overige projectkosten zijn niet meegerekend.

## 3.2 Verdronken Land van Zuid-Beveland

### 3.2.1 Locatie en leeftijdsbepaling

Het natuurgebied Verdronken Land van Zuid-Beveland ligt in het uiterste zuidoosten van de Oosterschelde en bestaat uit de gebieden Rattekaai en Roelshoek (ook wel bekend als schor Stroodorpepolder). Het gebied grenst in het oosten aan de Oesterdam, in het zuiden aan de dijk van de Oosterschelde en in het noorden aan de slikken van het Verdronken Land van Zuid-Beveland. Het Verdronken Land van Zuid-Beveland ligt tegen Zuid-Beveland aan en maakt deel uit van de gemeente Reimerswaal (figuur 3.7).



Figuur 3.7 Ligging en belangrijkste toponiemen Verdronken land van Zuid-Beveland (Verbeek et al. 2018).

Het Verdonken Land van Zuid-Beveland is ontstaan omstreeks 1900 (Topographisch Bureau 2015). Het huidige areaal aan kwelders in beheer van Natuurmonumenten bedraagt 150 ha.

Als gevolg van de zandhonger in de Oosterschelde is sprake van kweldererosie. Dit speelt vooral in het Rattekaai west en in Roelshoek. Op basis van een analyse van profielmetingen tussen 1985 en 2005 blijkt dat de schorrand bij Rattekaai met 40 centimeter per jaar erodeert. Bij Roelshoek verplaatst de kwelderrand zich met 80 cm per jaar richting de dijk (figuur 3.8). Op basis van modelresultaten blijkt dat de meeste kwelders van de Oosterschelde verdwenen zullen zijn in 2060 als het huidige beheer niet wordt aangepast. (Jacobse, Scholl, and van de Koppel 2008).



Figuur 3.8. Afname van kwelderareaal. Verschilkaart tussen 1978 en 2013 (Verbeek et al. 2018).

### 3.2.2 Huidig beleid

Het Verdonken Land van Zuid Beveland valt onder het Natura 2000-gebied Oosterschelde. Het huidige beleid in de Oosterschelde heeft de doelstellingen:

Behoud van kwelderareaal en; een verbetering met betrekking tot de kwaliteit van het kwelderareaal (meer diversiteit in vegetatietypen).

Op dit moment zijn er geen behoudsmaatregelen opgesteld voor Het Verdonken Land van Zuid-Beveland. Verwacht wordt dat dit op termijn wel nodig zal zijn door de Zandhonger (Ministerie van IenM, 2016a).

De kwaliteitsverbetering in vegetatietypen richt zich met name op het lokaal toepassen van grazers op de kwelder en maai-beheer (Ministerie van IenM, 2016a).

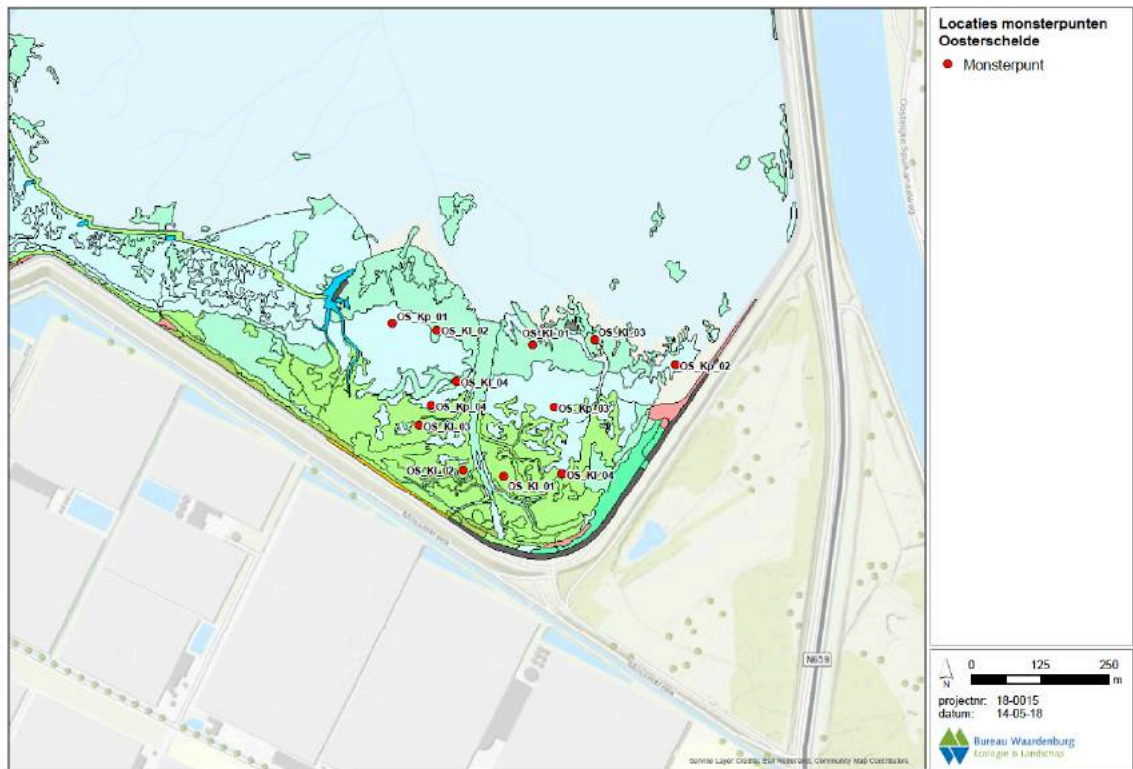
### 3.2.3 Huidig beheer

Op Het Verdonken land van Zuid-Beveland vindt geen actief beheer plaats en worden geen kosten gemaakt voor beheer en onderhoud. In het Beheerplan Natura 2000 is opgenomen dat eens per drie jaar de kwelders gemaaid worden indien deze te ruig worden geacht. Het maaisel wordt daarbij afgevoerd. In de praktijk zijn er geen plannen om dit op korte termijn uit te voeren.

### 3.2.4 Resultaten

Op Het Verdonken Land van Zuid-Beveland zijn 12 meetpunten op de schor van Rattekaai random geplaatst in 3 ecotooptypen (Pionier, Laag en Middelhoge kwelder). In de zomer van 2018 zijn deze punten bemonsterd tot een meter diep, of ondieper wanneer de guts op een klei of zandbodem stuitte (figuur 3.9).

De verzamelde monsters zijn vervolgens allemaal verast (bijlage 1). Van elk ecotooptype is daarnaast 1 monsterpunt ook nog doorgemeten via een stabiele isotopen analyse om de precieze hoeveelheid organisch koolstof te bepalen. Vervolgens zijn de uitkomsten uit de stabiele isotopenanalyse vergeleken met de uitkomsten uit het verassen en zijn de verassingswaardes gecorrigeerd (bijlage 2). Na correctie is de hoeveelheid koolstof per hectare (ton C/ha) en het CO<sub>2</sub> equivalent berekend (ton CO<sub>2</sub>/ha) voor elk ecotooptype en gemiddeld voor het gehele gebied. Tot slot is ook een grove schatting gedaan naar de opslag per jaar. Aangenomen is dat de gemeten koolstof zich over 120 jaar geaccumuleerd heeft (op basis van historisch kaartmateriaal). De koolstofopslagcapaciteit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid omdat tot een meter diep gemeten is en niet altijd op een zand of kleibodem is gestuit. De werkelijke hoeveelheid koolstof opgeslagen in de bodem is mogelijk meer omdat ook in de diepe lagen nog koolstof opgeslagen ligt. Hoewel uit literatuur (Fourqurean *et al.* 2014) en uit de huidige metingen blijkt dat de hoeveelheid koolstof met de diepte afneemt (H4.1.4, figuur 4.5) en de eerste meter het meest ontvankelijk is voor erosie (en dus weer vrij kan komen), zijn alle gepresenteerde waarden een onderschatting van de werkelijke opslag in de bodem.



Figuur 3.9. Monsterpunten Verdrongen Land van Zuid Beveland

In tabel 3.2 staan de resultaten van de veldmetingen samengevat weergegeven. De koolstofvoorraad van het Verdrongen Land van Zuid-Beveland is gemiddeld 378 ton C/ha, corresponderend met 1389 ton CO<sub>2</sub>/ha. Deze waarden liggen wat boven de gemiddelde waarden van opslag wereldwijd (IPCC).

De jaarlijkse opslag (over een periode van 120 jaar) is gemiddeld 11,6 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja.

Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland (150 ha) bevat, in de eerste meter bodem, totaal 56.775 ton koolstof, wat gelijk is aan 208.363 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 3.2 Resultaten uit koolstofmetingen op het Verdrongen land van Zuid Beveland

Ecotoop	Gram C per cm <sup>3</sup> sediment	ton C/ha	ton CO <sub>2</sub> /ha	ton CO <sub>2</sub> /ha/ja
Pionier (Kp)	0,0429	429	1575	13,1
Laag (Kb)	0,0321	321	1178	9,8
Middelhoog (Km)	0,0385	385	1414	11,7
<b>Totaal</b>	<b>0,0378</b>	<b>378</b>	<b>1389</b>	<b>11,6</b>



### 3.2.5 Blue Carbon project

#### *Behoud van kwelderareaal*

Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland is op dit moment langzaam aan het afslaan. Bij Rattekaai Oost is in 2008 een dam geplaatst om deze kweldererosie tegen te gaan. De lengte van deze kwelderrandverdediging beslaat ongeveer 1.300 meter, met elf in- en uitstroomopeningen. De hoogte is net boven gemiddeld hoogwater aangelegd. Na herstel van enkele constructiefouten functioneert deze dam; er is zelfs sprake van kwelderuitbreiding (figuur 3.10).

Om ook Roelshoek en Rattekaai West te beschermen tegen erosie kan een vergelijkbare dam geplaatst worden. Wanneer deze dam optimaal functioneert kan het elk jaar 0,4 meter kweldererosie voorkomen bij Rattekaai en 0,8 m bij Roelshoek.

De lengte van de kwelder bij Rattekaai West bedraagt ongeveer 2500 m. Elk jaar wordt, wanneer de kwelderrand behouden blijft,  $(2500 \times 0,40)$  1000 m<sup>2</sup> kwelder beschermd tegen erosie. Ongeveer 0,1 ha schor blijft dus behouden, die  $(378 \times 0,10)$  37,8 ton koolstof bevat wat gelijk staat aan 138,7 ton CO<sub>2</sub>.

Roelshoek heeft een kwelderrand van ongeveer 1500 m. Elk jaar wordt door behoud van de kwelderrand  $(1500 \times 0,8)$  1200m<sup>2</sup> aan kwelderareaal behouden. Ongeveer 0,1 ha kwelder blijft dus behouden, die  $(378 \times 0,10)$  37,8 ton koolstof bevat, wat gelijk staat aan 138,7 ton CO<sub>2</sub>.

In totaal wordt dus bij het actief behouden van Het Verdrongen land van Zuid-Beveland, door bijvoorbeeld het plaatsen van rijshoutdammen, jaarlijks 277 ton CO<sub>2</sub> behouden in de kwelder, die anders door erosie van de kwelder vrijgekomen was.

#### *Het uitbreiden van kwelderareaal*

Het beschermen van Rattekaai west en Roelshoek tegen kweldererosie met behulp van rijshoutdammen kan niet alleen zorgen voor het behoud van de kwelder, maar mogelijk ook de uitbreiding van de kwelder Bij het plaatsen van 1300m aan dammen is sinds 2008 ongeveer 7 ha kwelder ontwikkeld.

Als eenzelfde ontwikkeling plaatsvindt bij Roelshoek en Rattekaai West kan 0,2 ha aan kwelder beschermd worden tegen afslag en kan het kwelderareaal zich uitbreiden (ongeveer 7 ha).

#### *Het creëren van een nieuwe kwelder*

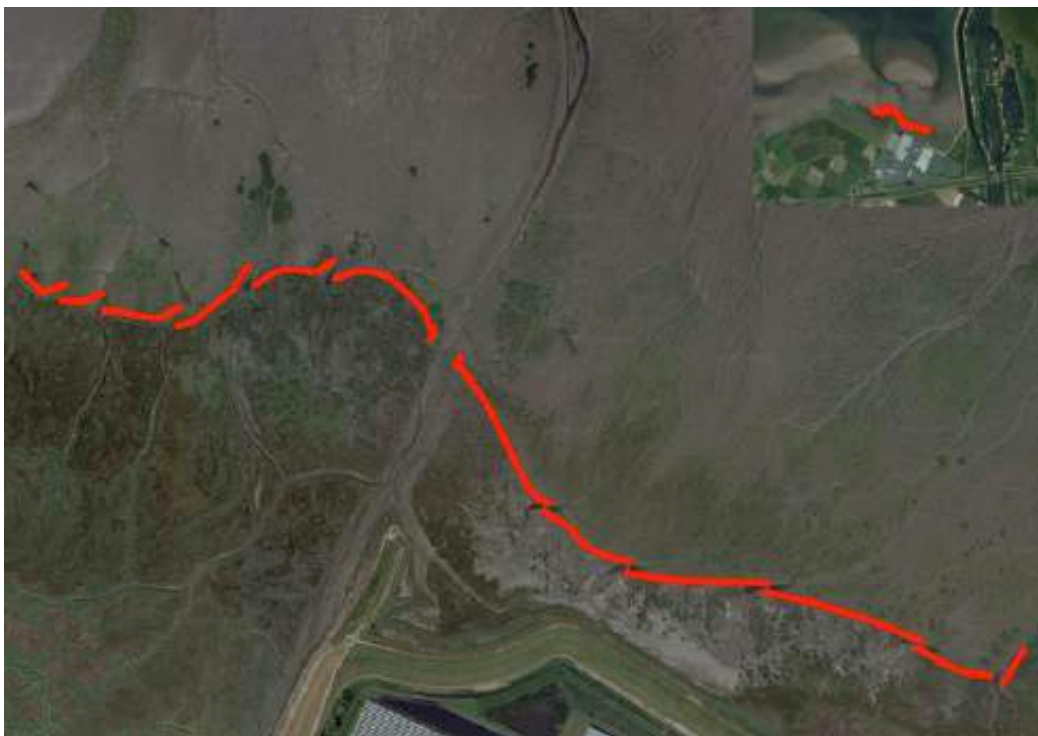
In de Oosterschelde is het ontwikkelen van een nieuwe kwelder niet of nauwelijks mogelijk, door de beperkte ruimte en de zandhongerproblematiek.

### 3.2.6 Conclusie

Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland (150 ha) bevat, in de eerste meter bodem, totaal 56.775 ton koolstof, wat gelijk is aan 208.363 ton CO<sub>2</sub>

Het Verdrongen Land van Zuid Beveland kan door actief behoud (bijv. door het plaatsen van rijshoutdammen) 0,2 hectare kwelderareaal jaarlijks beschermen tegen erosie. Hierdoor blijft 75 ton koolstof opgeslagen in de bodem, wat gelijk staat aan 277 ton CO<sub>2</sub>.

Door het plaatsen van rijshoutdammen kan mogelijk uitbreiding van de kwelder plaatsvinden. Op basis van de voorgaande ingreep in 2008, waar door het plaatsen van 1300 m dam, sinds 2008 7 ha schor is ontstaan.



*Figuur 3.10 Ligging van kwelderrandverdediging ter hoogte van haven Rattekaai. Ondergrond: Google Earth.*

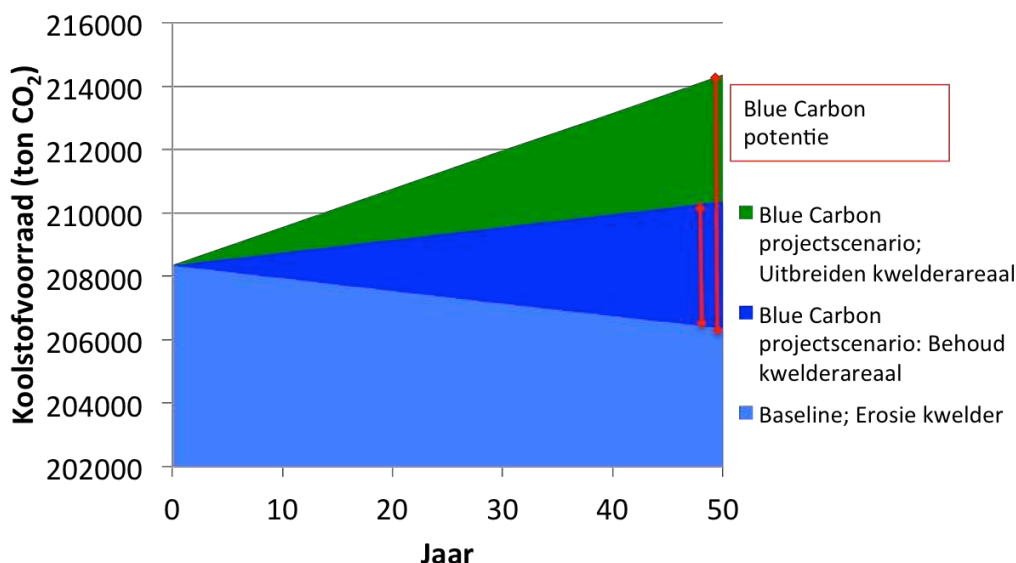
### 3.2.7 Blue Carbon potentie

Het Verdrongen Land van Zuid Beveland is onderhevig aan afslag. Elk jaar erodeert de niet beschermde kwelderrand 40-80 cm landinwaarts. Hierdoor gaat jaarlijks 0,2 hectare aan kwelderareaal verloren. Dit kwelderareaal bevat 1389 ton CO<sub>2</sub> per hectare; 277 ton CO<sub>2</sub> in 0,2 ha. Van deze 277 ton CO<sub>2</sub> komt minimaal 15 procent weer vrij in de vorm van CO<sub>2</sub> bij erosie (H2.4; Pendleton et al. 2012; McTigue et al., 2016).

Jaarlijks komt dus minimaal 40 ton CO<sub>2</sub> vrij bij erosie van het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. Het plaatsen van rijshoutdammen voor de kwelderrand kan erosie

voorkomen en bovendien uitbreiding van ongeveer 7 ha aan kwelder tot gevolg hebben, waar jaarlijks ( $7 \cdot 11,6$ ) 80 ton CO<sub>2</sub> in opgeslagen wordt.

Het plaatsen van rijshouten dammen zorgt dus voor het opslaan en deels vasthouden van 120 ton CO<sub>2</sub> per jaar; 40 ton CO<sub>2</sub> door het stoppen van de erosie en 80 ton CO<sub>2</sub> door het creëren van 7 ha 'nieuwe' kwelder (figuur 3.11).

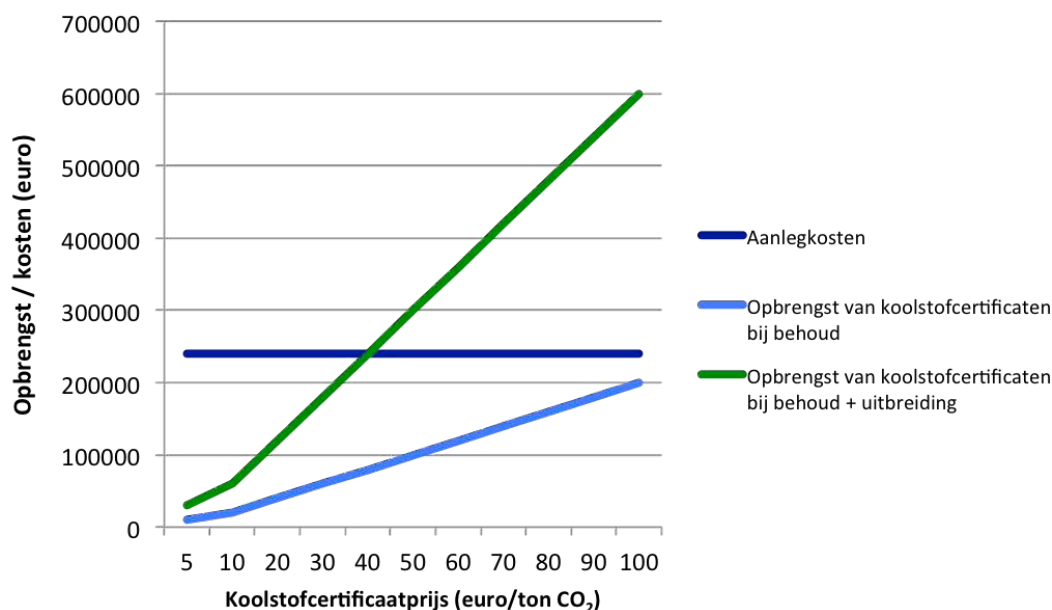


Figuur 3.11. Blue Carbon potentie van het beschermen van Het Verdrongen land van Zuid Beveland tegen erosie en de uitbreiding van de kwelder met 7 hectare.

Voor het beschermen van de kwelderrand zal ongeveer 4000 m aan rijshoutdam nodig zijn, uitgaande van een vergelijkbare maatregel als in 2008 uitgevoerd. Met de constructiekosten van 60 euro per meter aan rijshoutdam, kost dit in totaal ( $4000 \cdot 60$ ) 240.000 euro.

Om de aanlegkosten terug te verdienen is enkel behoud van de kwelder niet voldoende (figuur 3.10). Behoud in combinatie met uitbreiding van de kwelder is wel in staat de aanlegkosten terug te verdienen, al bij een koolstofcertificaatprijs van 40 euro is het breakeven punt bereikt (figuur 3.12).

Naar verwachting vallen de totale kosten hoger uit, aangezien in de huidige berekening enkel rekening is gehouden met de aanlegkosten van rijshoutendammen. Overige projectkosten zijn niet meegerekend.



Figuur 3.12 Blue Carbon Potentie van Het Verdronken Land van Zuid Beveland bij behoud van de kwelder en behoud + uitbreiding van de kwelder. Zichtbaar is dat pas bij behoud de aanlegkosten niet redelijkerwijs terugverdiend kunnen worden (koolstofcertificaatprijs > 100 euro). Bij behoud + uitbreiding kan het Blue Carbon project wel de aanlegkosten terugverdienen.

### 3.3 Zuidgors

#### 3.3.1 Locatie en leeftijdsbepaling

De kwelder 'Zuidgors' (figuur 3.13) bestond vroeger uit de Everingepolder en de huidige buitendijkse kwelder. Met de aanleg van de zeedijk in 1957 werd ca. 35 ha. ingepolderd (Everingepolder). Hierdoor heeft kwelderverlies plaats gevonden. Het kwelderverlies werd in eerste instantie verzacht door aangroei van de nog aanwezige kwelder (De Zuidgors), maar dit veranderde al snel in kwelderverlies/erosie (Berchum 2001). Vanaf de jaren 80 werd de erosie van De Zuidgors versneld (figuur 3.14). Momenteel is op delen van De Zuidgors nog steeds erosie gaande. Op andere plekken, voornamelijk het oostelijke deel van de kwelder, lijkt weer sprake van kwelderaangroei (figuur 3.15).

De Zuidgors is in het verleden versterkt met rijshoutdammen (Project Lamsoor). Dit was toen geen succes. De dammen waren binnen de kortste keren verdwenen. Restanten zijn nog steeds zichtbaar.

De Zuidgors in beheer van Natuurmonumenten omvat 42 ha aan kwelderareaal.



Figuur 3.13 Luchtfoto van de Zuidgors (Beeldbank Rijkswaterstaat)



Figuur 3.14 Oppervlakte verloop Zuidgors (Kwaliteitstoets Natuurmonumenten)

### 3.3.2 Huidig beleid

Het Zuidgors valt onder het Natura 2000-gebied de Westerschelde & Saeftinghe. De doelstelling geformuleerd voor het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe omvatten (Ministerie van IenM, 2016c):

- Behoud aan kwelderareaal en;
- een verbetering met betrekking tot de kwaliteit van het kwelderareaal (meer diversiteit in vegetatietypen).

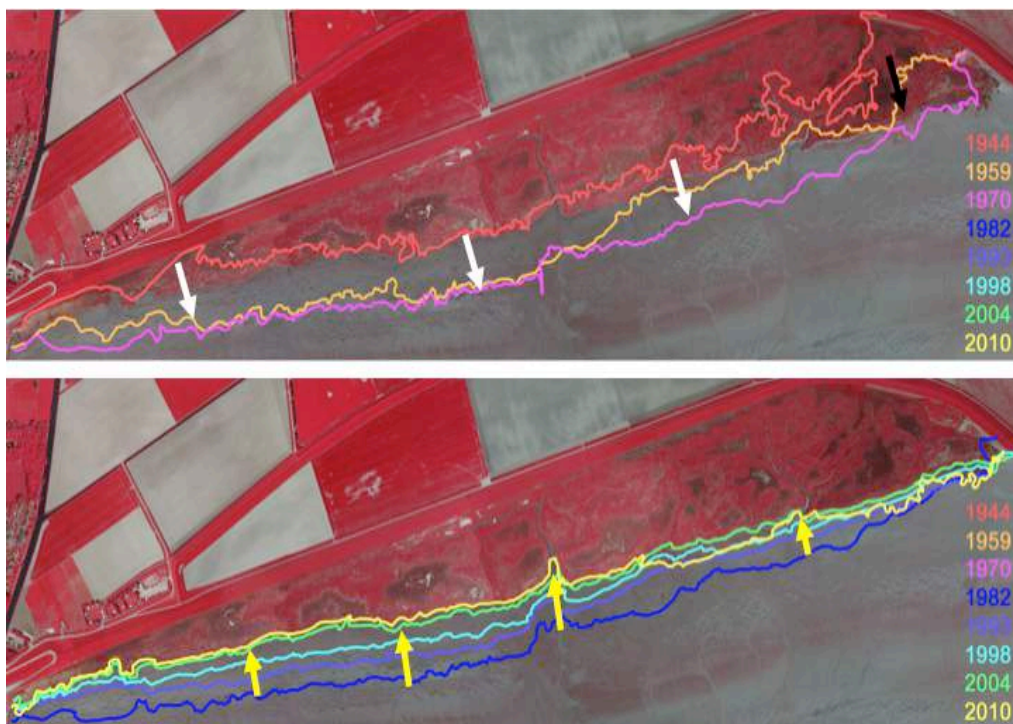
Op dit moment zijn geen specifieke behoudsmaatregelen opgesteld voor het Zuidgors. (Beheerplan 2016-2022). Aangenomen wordt dat in de planperiode 2016-2022 zich geen knelpunten voordoen.

De kwaliteitsverbetering in vegetatietypen richt zich met name op het lokaal toepassen van grazers op de kwelder en maaibeheer (Beheerplan 2016-2022).

### 3.3.3 Huidig beheer

De abiotische doelstelling geformuleerd in Doelen en Monitoring (Hannewijk 2006) is voor het Zuidgors het handhaven van de kwelder en onbegroeide slikken en de natuurlijke overgangen hiertussen. Daarnaast het overspoelen van het hoger gelegen kwelder bij springvloed. De nog steeds aanwezige erosie van de kwelderrand (voornamelijk aan de westelijke rand) lijkt niet te stoppen en dit proces laat Natuurmonumenten zijn gang gaan.

Tot in het begin van de vijftigerjaren is het Zuidgors beweid, grotendeels door schapen, een kleiner gedeelte door koeien. Tot op heden is geen begrazingsbeheer op de kwelder meer uitgevoerd. Wel wordt van de kwelder 3 ha. regulier verpacht. Een klein deel daarvan, ca. 0,3 ha. wordt samen met de zeedijk intensief begraasd met schapen. De vegetatie van het verpachte deel is zeer kort. Ook worden hier regelmatig uien gestort.



Figuur 3.15 Kwelder- aangroei en afslag door de tijd heen (NIOZ)

### 3.3.4 Resultaten

Op het Zuidgors zijn 12 meetpunten op het westelijke deel van de kwelder random geplaatst in 3 ecotooptypen (Pionier, Laag en Middelhoge kwelder). In de zomer van



2018 zijn deze punten bemonsterd tot een meter diep, of ondieper wanneer de guts op een klei of zandbodem stuitte (figuur 3.16).

De verzamelde monsters zijn vervolgens allemaal verast (bijlage 1). Van elk ecotooptype is daarnaast 1 monsterpunt ook nog doorgemeten via een stabiele isotopen analyse om de precieze hoeveelheid organisch koolstof te bepalen. Vervolgens zijn de uitkomsten uit de stabiele isotopenanalyse vergeleken met de uitkomsten uit het verassen en zijn de verassingswaardes gecorrigeerd (bijlage 2). Na correctie is de hoeveelheid koolstof per hectare (ton C/ha) en het CO<sub>2</sub> effect berekend (ton CO<sub>2</sub>/ha) voor elk ecotooptype en gemiddeld voor het gehele gebied. Tot slot is ook een grove schatting gedaan naar de opslag per jaar. Aangenomen is dat de gemeten koolstof zich over 170 jaar geaccumuleerd heeft (op basis van historisch kaartmateriaal). De koolstofopslagcapaciteit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid omdat:

1. Tot een meter diep gemeten is en niet altijd op een zand of kleibodem is gestuit. De werkelijke hoeveelheid koolstof opgeslagen in de bodem is mogelijk meer omdat ook in de diepe lagen nog koolstof opgeslagen ligt. Hoewel uit literatuur (Fourqurean *et al.* 2014) en uit de huidige metingen blijkt dat de hoeveelheid koolstof met de diepte afneemt (H4.1.4, figuur 4.5) en de eerste meter het meest ontvankelijk is voor erosie (en dus weer vrij kan komen). Zijn alle gepresenteerde waarden een onderschatting van de werkelijke opslag in de bodem.
2. Aangenomen wordt dat het westelijke deel zich over 170 jaar heeft gevormd terwijl delen van de zuidelijke kwelder veel jonger zijn. Deze zijn namelijk pas aangegroeid na 1944 (figuur 3.15).

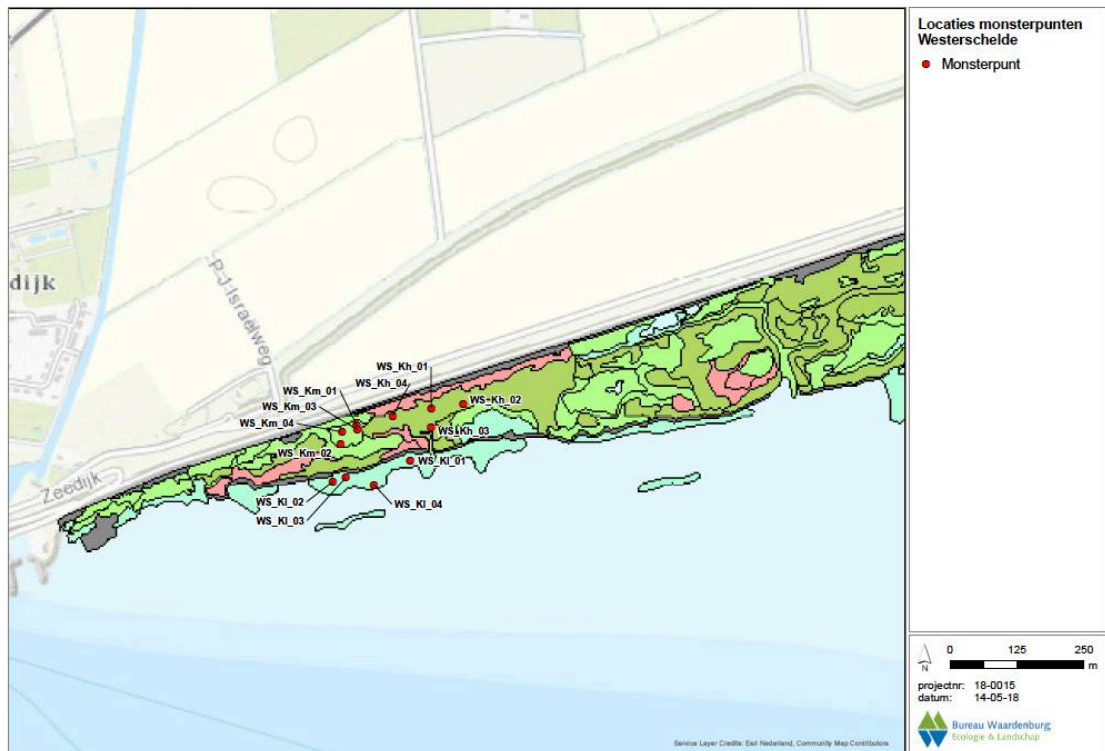
In tabel 3.3 staan de resultaten van de veldmetingen samengevat weergegeven. De koolstofvoorraad van de Zuidgors ligt rond de 237 ton C/ha, corresponderend met 870 ton CO<sub>2</sub>/ha. Deze waarden liggen net onder de gemiddelde waarde van opslag wereldwijd (IPCC).

De jaarlijkse opslag (over een periode van 170 jaar) is gemiddeld 5,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja.

De Zuidgors (42 ha) bevat, in de eerste meter bodem, totaal 9.955 ton koolstof wat gelijk is aan 36.534 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 3.3 Resultaten uit koolstofmetingen op het Zuidgors

Ecotoop	Gram C per cm <sup>3</sup> sediment	ton C/ha	ton CO <sub>2</sub> /ha	ton CO <sub>2</sub> /ha/ja
Pionier (Kp)	0,0228	228	773	4,9
Laag (Kb)	0,0272	272	999	5,9
Middelhoog (Km)	0,0211	210	838	4,5
<b>Totaal</b>	<b>0,0237</b>	<b>237</b>	<b>870</b>	<b>5,1</b>



Figuur 3.16 Monsterpunten Zuidgors

### 3.3.5 Blue Carbon project

#### *Behoud van kwelderareaal*

Aangezien het Zuidgors momenteel erodeert zal het beschermen tegen verdere afslag koolstof vasthouden; 15 % van de opgeslagen koolstof per hectare komt immers vrij als CO<sub>2</sub> bij erosie van een kwelder (122 ton CO<sub>2</sub>/ha voor De Zuidgors). Dit geldt specifiek voor het westelijke deel van het Zuidgors. Het Oostelijke deel van het Zuidgors erodeert niet en laat de laatste jaren zelfs lichte aangroei zien, wat veroorzaakt wordt door het storten van baggerspecie uit de vaargeul nabij het Zuidgors. De stroming zorgt vervolgens voor het transport van deze baggerspecie het Zuidgors op, waardoor het Zuidgors verhoogt en pioniersvegetatie zich kan ontwikkelen.

#### *Het uitbreiden van kwelderareaal*

Het Zuidgors kan mogelijk uitgebreid worden door het plaatsen van rijshoutdammen en het verhogen van het slik door het storten van zand en klei (vergelijkbaar met genoemde Blue Carbon projecten op De Schorren van Texel en Het Verdrongen Land van Zuid Beveland). In potentie kan per hectare nieuw kwelderareaal op de Zuidgors per jaar 5,1 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen worden.

Morfodynamisch onderzoek zal moeten uitwijzen of dit haalbaar is en de ingreep werkelijk het gewenste effect heeft.

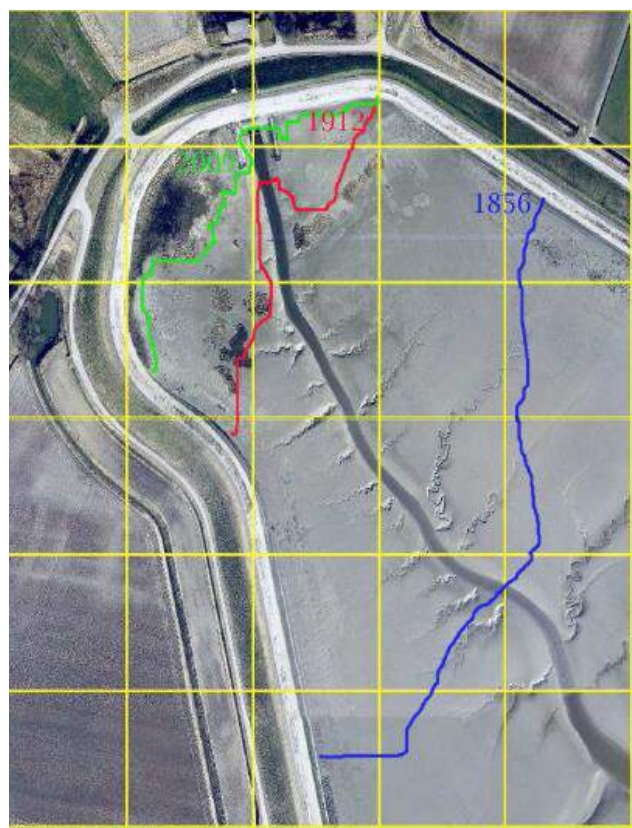
### Blue Carbon project scenario 'Biezelingse ham'

Een andere optie voor een Blue Carbon project in de Westerschelde is het behouden en uitbreiden van de kwelder de Biezelingse ham (0,59 ha), ook in beheer van Natuurmonumenten. Het gebied ligt ten zuidoosten van 's-Gravenpolder. In 1856 was deze kwelder nog een stuk groter, ca. 20 ha. In de periode 1975 tot 1985 is het oostelijk deel van de kwelder sterk in oppervlakte achteruitgegaan door erosie (Van Schaik *et al.*, 1988). Door het slikgedeelte heen is in de jaren zeventig van de vorige eeuw een diepe afwateringsgeul gegraven de Westerschelde in, vanwaar het gemaal Maelstede Dekker, gelegen aan de binnenkant van de dijk ter hoogte van de Biezelingse ham, het polderwater de Westerschelde in perst (figuur 3.17).

Aangenomen dat het gebied nagenoeg de zelfde opslagcapaciteit heeft als het Zuidgors kan bij het uitbreiden van de kwelder van 0,6 ha naar 20 ha, extra koolstof opgeslagen worden. Het uitbreiden van de Biezelingse ham kan door het plaatsen van rijshoutdammen, mogelijk in combinatie met het opspuiten van zand/klei om het gebied te verhogen en de vestiging van kweldervegetatie mogelijk te maken.

In potentie kan de koolstofvoorraad in het gebied 870 ton CO<sub>2</sub> per hectare bevatten, met een snelheid van 5,1 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. In totaal wordt hierdoor (19\*5,1) 97 ton CO<sub>2</sub> per jaar extra opgeslagen in de Biezelingse ham.

Morfodynamisch onderzoek zal moeten uitwijzen of het uitbreiden van de Biezelingse ham haalbaar is en met welke snelheid het gebied opslibt.



Figuur 3.17 Biezelingse ham omvang 1850 (blauw), 1915 (rood) en 2014 (groen) (Natuurmonumenten, 2011)

#### Creëren van nieuw kwelderareaal

De Westerschelde biedt ook mogelijkheden voor het creëren van nieuw kwelderareaal. Voorbeelden hiervan zijn het uitpolderen van de Hatthumpolder, Everingepolder en de Boonepolder.

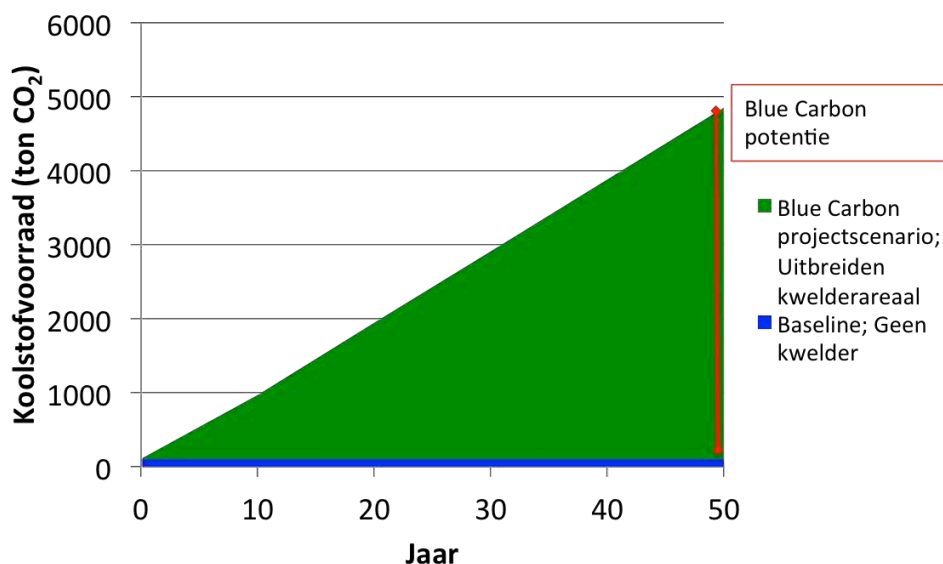
### 3.3.6 Conclusie

Het behoud van de Zuidgors aan de westkant en uitbreiding aan de oostkant heeft mogelijk extra koolstofopslag tot gevolg. Morfodynamisch onderzoek zal moeten uitwijzen of dit haalbaar en wenselijk is. In potentie kan per hectare nieuw kwelderareaal op de Zuidgors per jaar 5,1 ton CO<sub>2eq</sub> opgeslagen worden. Bovendien zorgt elke hectare kwelder die behouden wordt voor afslag ervoor dat 122 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen blijft in de bodem.

Het uitbreiden van de Biezelingse ham naar de voormalige omvang (20 ha) zorgt voor de opslag van 97 ton CO<sub>2</sub> per jaar. Onduidelijk vooralsnog is of deze uitbreiding haalbaar is, morfodynamisch onderzoek zal dit moeten uitwijzen.

### 3.3.7 Blue Carbon potentie

Aangezien er voor De Zuidgors te veel onduidelijkheden zijn met betrekking tot de mogelijkheden en mate van koolstofopslag, wordt bij de Blue Carbon potentie bepaling enkel gekeken naar de Biezelingse ham. Het uitbreiden van de Biezelingse ham naar de voormalige omvang (20 ha) zorgt voor de opslag van 97 ton CO<sub>2</sub> per jaar (3.18).

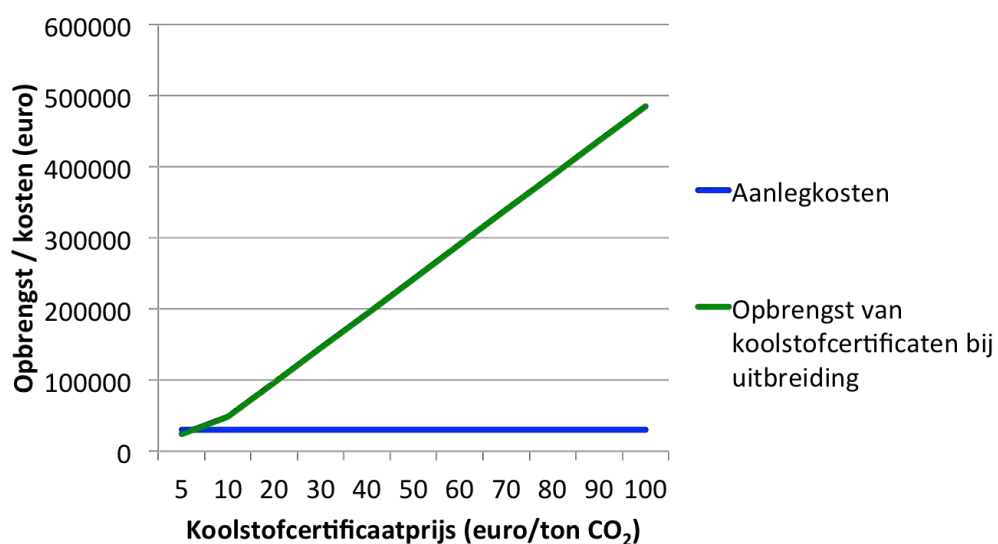


Figuur 3.18. Blue Carbon potentie van het uitbreiden van de Biezelingse ham naar 20 hectare.

Dit uitbreiden kan mogelijk gedaan worden door het plaatsen van rijshoutdammen. Om dammen over de gehele lengte te plaatsen is ongeveer 500 meter aan dam nodig, kosten hiervoor zijn (500\*60) 30.000 Euro.

Om de aanlegkosten terug te verdienen is een koolstofcertificaatprijs van 10 euro al voldoende, uitgaande van een projectduur van 50 jaar (figuur 3.19).

Naar verwachting vallen de totale kosten hoger uit, aangezien in de huidige berekening enkel rekening is gehouden met de aanlegkosten van rijshoutendammen. Overige projectkosten zijn niet meegerekend.



Figuur 3.19 Blue Carbon Potentie van de Biezelingse ham. Zichtbaar is dat bij een koolstofcertificaatprijs van 10 euro de aanlegkosten terugverdiend kunnen worden.

## 3.4 Uithuizerwad

### 3.4.1 Locatie en leeftijdsbepaling

Het kweldergebied Uithuizerwad aan de noordkust van Groningen is ontstaan vanuit landwinningswerken vanaf 1930, met als doel om sedimentatie te verhogen en daarmee kwelder uitbreiding te stimuleren (Arcadis 2006). In de jaren zeventig werd de ontwikkeling van het kweldergebied stilgelegd, en werd het doel om het huidige kwelderareaal te behouden. Natuurlijke kwelderaanwas komt niet meer voor in het gebied. Dit is een gevolg van de verhoogde stroomsnelheden door versmalling van de Waddenzee, en door afname van gebieden die beschutting bieden van golven (e.g. inhammen) (Arcadis 2006).



Figuur 3.20 Het Uithuizerwad in geel de beheergebieden van Natuurmonumenten.

Het kwelderareaal van het Uithuizerwad in beheer van Natuurmonumenten bedraagt 31 ha (figuur 3.20).

### 3.4.2 Huidig beleid

Uithuizerwad valt onder het Natura 2000-gebied Waddenzee. Het huidige beleid in de Waddenzee heeft de doelstellingen:

- Behoud van kwelderareaal en;
- Het verbeteren van de kwaliteit van het kwelderareaal (meer diversiteit in vegetatietypen).



De behoudsdoelstelling wordt onder andere gehaald door onderhoud van de rijshoutdammen. De kwaliteitsverbetering in vegetatietypen richt zich met name op het lokaal toepassen van grazers op de kwelder (Ministerie van IenM, 2016b).

Het uitbreiden van het kwelderareaal in de Waddenzee is dus geen onderdeel van het huidige beleid en kan als additioneel gezien worden op het Natura 2000 beleid.

### **3.4.3 Huidig beheer**

Het algemeen onderhoud van de rijshoutdammen wordt niet door Natuurmonumenten zelf uitgevoerd maar door de Provincie Groningen.

Vegetatiebeheer gebeurt door het inzetten van begrazing en plaatselijk maaien en eventueel branden van sterk verruigde stukken kwelder. Voor het verruimen van de begrazingsmogelijkheden zijn in 2011 en 2012 herinrichtingsmaatregelen genomen. Momenteel lopen er regelmatig schapen op de percelen in beheer van Natuurmonumenten. Het is de bedoeling dat ook de Groninger blaarkoppen in de toekomst op de kwelders gaan lopen.

### **3.4.4 Resultaten**

Op het Uithuizerwad zijn 12 meetpunten random geplaatst in 3 ecotootypen (Pionier, Laag en Middelhoge kwelder). In de zomer van 2018 zijn deze punten bemonsterd tot een meter diep, of ondieper wanneer de guts op een klei of zandbodem stuitte (figuur 3.21).

De verzamelde monsters zijn vervolgens allemaal verast (bijlage 1). Van elk ecotootype is daarnaast 1 monsterpunt ook nog doorgemeten via een stabiele isotopen analyse om de precieze hoeveelheid organisch koolstof te bepalen. Vervolgens zijn de uitkomsten uit de stabiele isotopenanalyse vergeleken met de uitkomsten uit het verassen en zijn de verassingswaarden gecorrigeerd (bijlage 2). Na correctie is de hoeveelheid koolstof per hectare (ton C/ha) en het CO<sub>2</sub> equivalent berekend (ton CO<sub>2</sub>/ha) voor elk ecotootype en gemiddeld voor het gehele gebied. Tot slot is ook een grove schatting gedaan naar de opslag per jaar.

Aangenomen is dat de gemeten koolstof zich over 90 jaar geaccumuleerd heeft (op basis van historisch kaartmateriaal/plaatsen landaanwinningswerken). De koolstofopslagcapaciteit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid omdat:

1. Tot een meter diep gemeten is en niet altijd op een zand of kleibodem is gestuit. De werkelijke hoeveelheid koolstof opgeslagen in de bodem is mogelijk meer omdat ook in de diepe lagen nog koolstof opgeslagen ligt. Hoewel uit literatuur (Fourqurean *et al.* 2014) en uit de huidige metingen blijkt dat de hoeveelheid koolstof met de diepte afneemt (H4.1.4, figuur 4.5) en de eerste meter het meest ontvankelijk is voor erosie (en de koolstof dus weer

vrij kan komen in de vorm van CO<sub>2</sub>), zijn alle gepresenteerde waarden een onderschatting van de werkelijke opslag in de bodem.

2. Aangenomen wordt dat het westelijke deel zich over 90 jaar heeft gevormd terwijl delen van de kwelder aan de zeezijde veel jonger zijn. Deze zijn namelijk pas aangegroeid na het uitbreiden van de landaanwinningsswerken rond 1960.



Figuur 3.21 Monsterpunten Uithuizerwad

In tabel 3.4 staan de resultaten van de veldmetingen samengevat weergegeven. De koolstofvoorraad van het Uithuizerwad ligt rond de 330 ton C/ha, corresponderend met 1213 ton CO<sub>2</sub>/ha, waarden die ruim boven de gemiddelde waarde van opslag wereldwijd liggen (IPCC).

De jaarlijkse opslag (over een periode van 90 jaar) aan koolstof komt overeen met gemiddeld 13,5 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja.

Het Uithuizerwad (31 ha) bevat, in de eerste meter bodem, totaal 10.244 ton koolstof, wat gelijk is aan 37.597 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 3.4 Resultaten uit koolstofmetingen op het Uithuizerwad

Ecotoop	Gram C per cm <sup>3</sup> sediment	ton C/ha	ton CO <sub>2</sub> /ha	ton CO <sub>2</sub> /ha/ja
Pionier (Kp)	0,0306	306	1123	12,5
Laag (Kb)	0,0338	338	1240	13,8
Middelhoog (Km)	0,0347	347	1275	14,2
<b>Totaal</b>	<b>0,0334</b>	<b>330</b>	<b>1213</b>	<b>13,5</b>

### 3.4.5 Blue Carbon project

#### *Behoud van kwelderareaal*

Door regulier onderhoud aan de dammen (door de provincie) blijft het kwelderareaal van het Uithuizerwad (31 ha) nagenoeg stabiel, waarbij koolstof overeenkomend met 37.597 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen blijft in de kwelder.

#### *Uitbreiden van kwelderareaal*

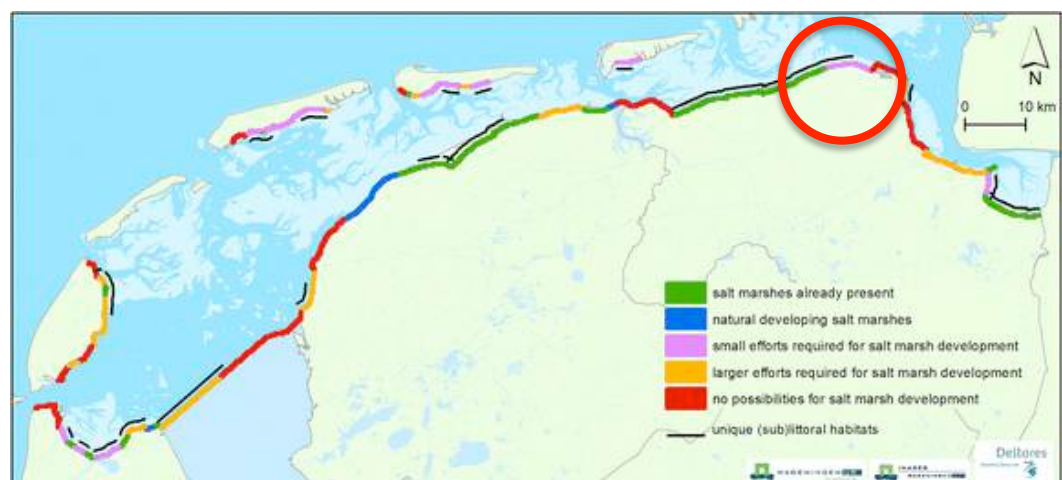
Het kwelderareaal kan niet verder uitbreiden richting de wadkant, aangezien hierdoor waardevol litoraal habitat (wadplaten) verloren zou gaan en bovendien is hier de stroomsnelheid in veel gevallen te hoog. Ook is het verhogen van de rijshoutdammen geen optie omdat deze al op de optimale hoogte staan.

#### *Creëren van nieuw kwelderareaal*

Het is wel mogelijk om andere delen langs de Groningse kust die nu nog geen landaanwinningswerken hebben te ontwikkelen tot kweldergebieden door het plaatsen van rijshoutdammen in een vergelijkbare opstelling als bij het Uithuizerwad. Dit zijn gebieden gelegen buiten het beheergebied van Natuurmonumenten.

Het buitendijkse gebied bij de Ruidhorn waar nu nog geen landaanwinningswerken liggen kan bijvoorbeeld over een afstand van 5 km langs de dijk uitgebreid worden met zulke werken. De landaanwinningswerken kunnen tot ongeveer 800 meter uit de dijk kwelderareaal bewerkstelligen (uitgaande van het Uithuizerwad). In totaal zou dit neerkomen op (600\*5000) 3.000.0000 m<sup>2</sup> aan nieuw te ontwikkelen kwelderareaal (300 ha). Per jaar slaat dit nieuwe kweldergebied (wanneer goed onderhouden en de huidige ontwikkeling van kweldergebieden zich op een vergelijkbare wijze doorzet) een hoeveelheid koolstof op die overeenkomt met 4050 ton CO<sub>2</sub> (13,5 ton CO<sub>2</sub>/ha/ja).

Onderzoek laat ook zien dat in dit gebied relatief makkelijk kwelderareaal ontwikkeld kan worden (figuur 3.22, van Loon-Steensma *et al.*, 2015).



Figuur 3.22 Potentiekartaar voor de ontwikkeling van kwelderareaal in de Waddenzee (van Loon-Steensma *et al.*, 2015). Rood omcirkeld het geschikte buitendijkse gebied.

### 3.4.6 Conclusie

Het behouden van het Uithuizerwad omvat het onderhouden van de rijshoutdammen, wat nu al op regelmatige wijze plaatsvindt. Ook wordt de kwelder deels begraasd door schapen en runderen. Door dit reguliere onderhoud blijft 37.597 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen in de kwelder, de baseline.

Het uitbreiden van de kwelder kan over een afstand van 5 km langs de dijk (niet in beheer bij Natuurmonumenten) resulteren in een hoeveelheid opgeslagen koolstof die overeenkomt met 4050 ton CO<sub>2</sub> per jaar, uitgaande van eenzelfde opslagsnelheid als op het Uithuizerwad gemeten is.

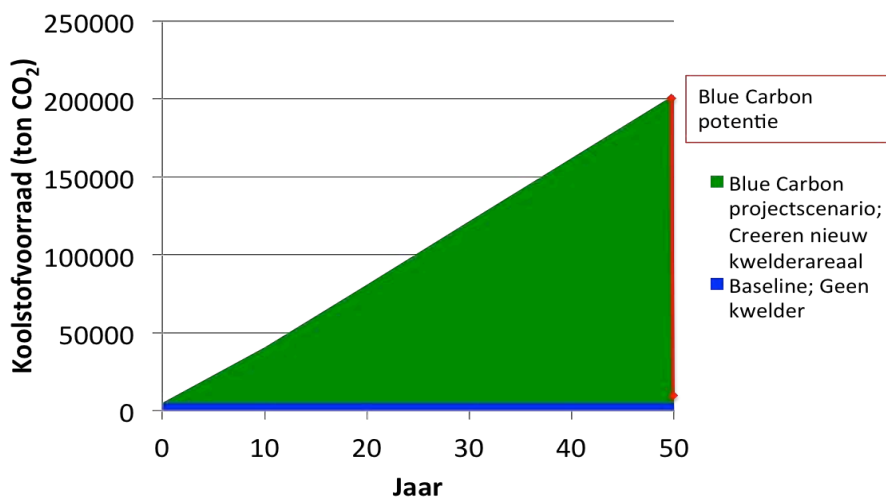
### 3.4.7 Blue Carbon potentie

Het uitbreiden van de vastelandkwelder langs de Noord-Groningse kust kan over een afstand van 5 km langs de dijk 4050 ton CO<sub>2</sub> per jaar opslaan (figuur 3.23).

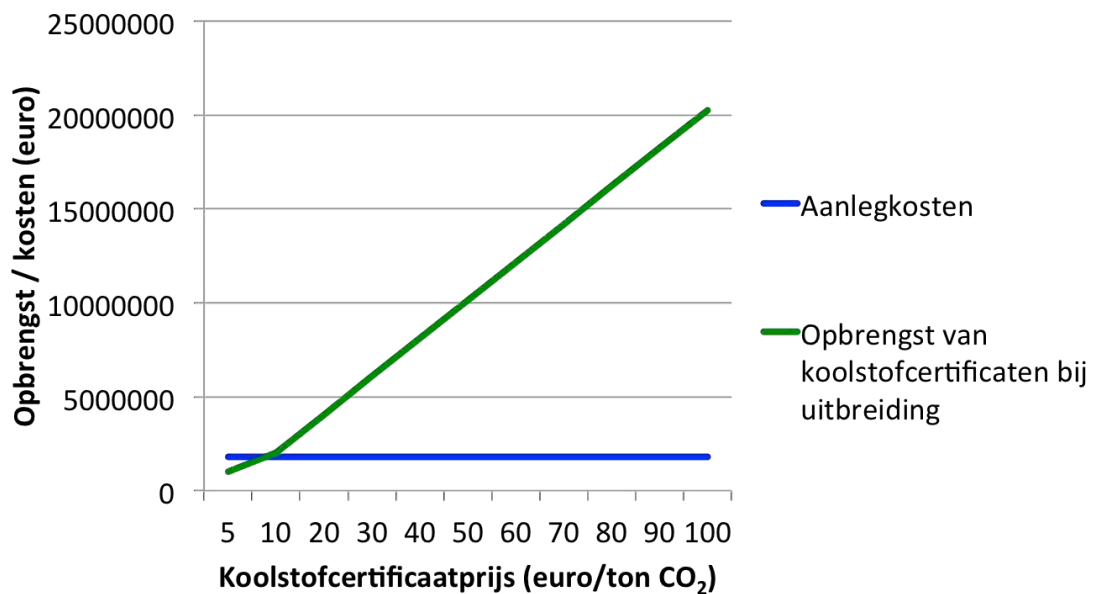
Wanneer over een afstand van 5 km landaanwinningsswerken geplaatst worden (op eenzelfde wijze als op het Uithuizerwad), dient 30.000 m aan rijshoutdam aangelegd te worden (1200 m aan rijshoutdam per bezinkvak, van 200 meter in lengte). De kosten hiervoor bedragen ongeveer 1,8 miljoen euro (60 euro per meter).

Om de aanlegkosten terug te verdienen is een koolstofcertificaatprijs van 10 euro al voldoende, bij een projectduur van 50 jaar (figuur 3.24).

Naar verwachting vallen de totale kosten hoger uit, aangezien in de huidige berekening enkel rekening is gehouden met de aanlegkosten van rijshoutendammen. Overige projectkosten zijn niet meegerekend.



Figuur 3.23. Blue Carbon potentie van creëren van een nieuwe kwelder langs 5 km van de Groningse kust (300 ha).



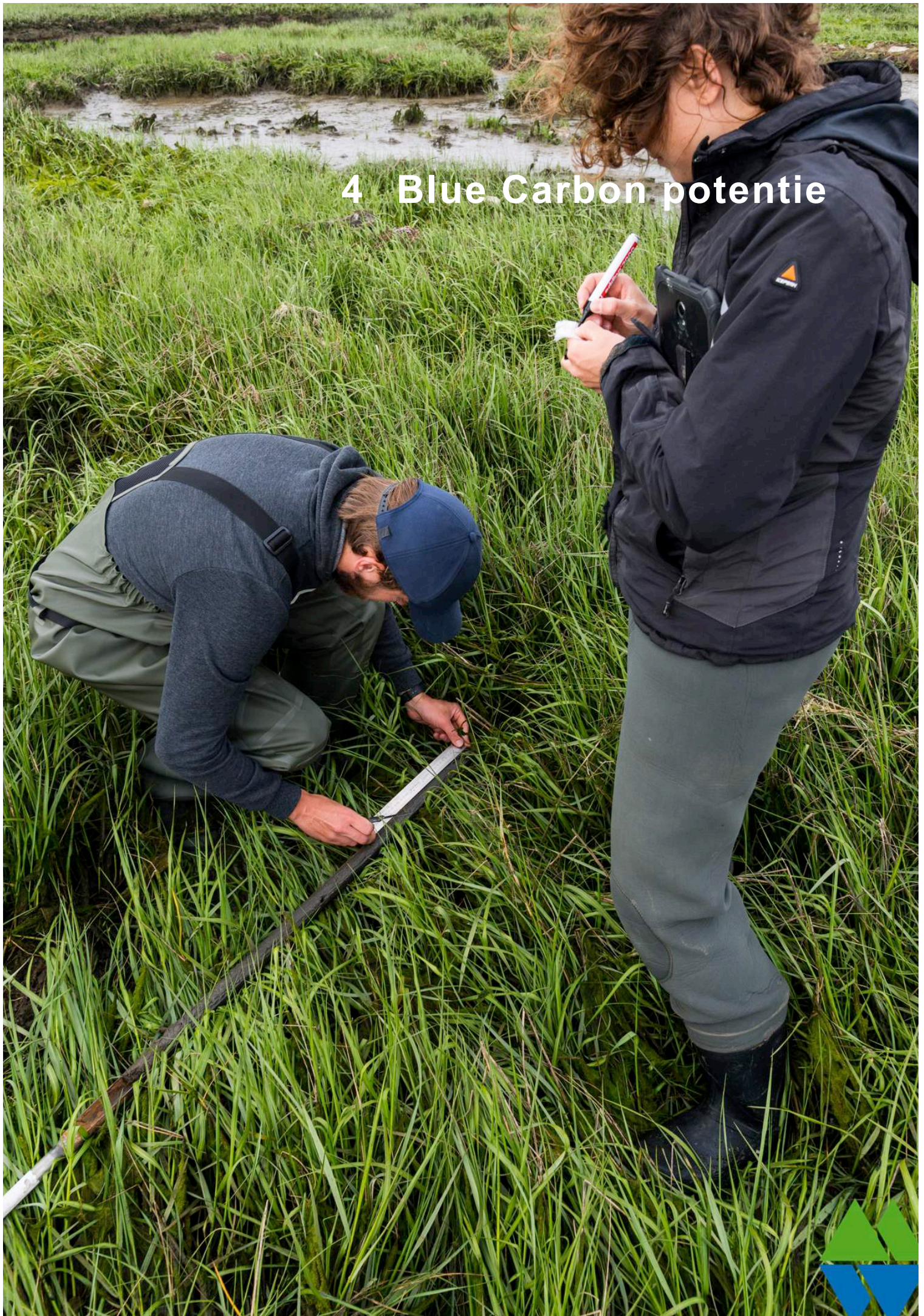
Figuur 3.24 Blue Carbon Potentie van de Groningse kust. Zichtbaar is dat bij een koolstofcertificaatprijs van 15 euro de aanlegkosten terugverdiend kunnen worden.







## 4 Blue Carbon potentie





## 4.1 Blue Carbon per gebied

De onderstaande tabel geeft een kort overzicht van:

- De gemiddelde koolstofvoorraad per hectare (CO<sub>2</sub>/ha) voor vier kweldergebieden en in Nederland totaal, in de eerste meter bodem.
- De gemiddelde opslagsnelheid (CO<sub>2</sub>/ha/ja).
- De koolstofvoorraad in het gehele gebied in de eerste meter bodem. Voor Nederland is het totaal exclusief de kwelders in de oostelijke Waddenzee.
- De opslagsnelheid per kweldergebied. Opnieuw geldt dat voor Nederland enkel gekeken is naar de vier genoemde gebieden in de tabel (exclusief oostelijke Waddenzee).

De getallen zijn gebaseerd op de metingen gedaan in de vier kweldergebieden in beheer van Natuurmonumenten. Onderstaande paragrafen lichten de getallen uit tabel 4.1 verder toe.

Tabel 4.1 Koolstofvoorraad en opslagsnelheden per hectare en per gebied.

Gebied	Koolstofvoorraad (CO <sub>2</sub> /ha)	Opslagsnelheid (CO <sub>2</sub> /ha/ja)	Koolstofvoorraad in gebied totaal (CO <sub>2</sub> )	Opslagsnelheid per gebied (CO <sub>2</sub> /ja)
Westelijke Waddenzee (De Schorren van Texel)	938	7,2	295.470	2.200
Oosterschelde (Het Verdrongen Land van Zuid Beveland)	1389	11,6	740.337	13.719
Westerschelde (De Zuidgors)	870	5,1	2.300.000	6.183
Friese en Groningse kust (Het Uithuizerwad)	1212	13,5	3.200.000	36.000
Nederland	1102	9,3	7.000.000	58.000

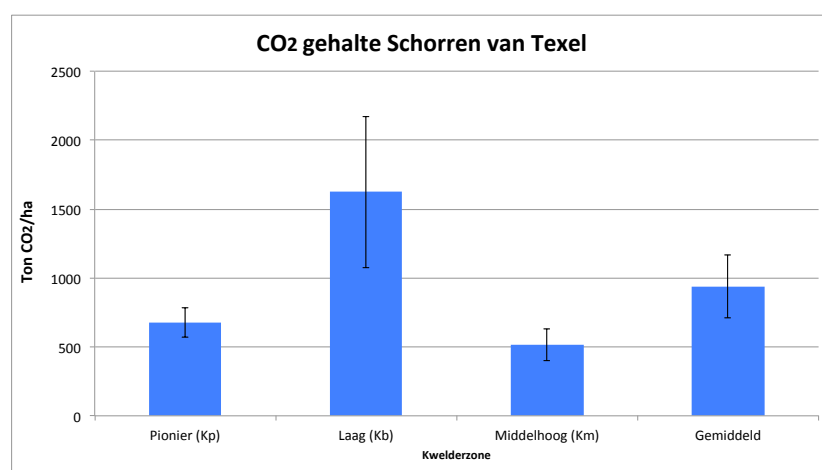
### 4.1.1 Eilandkwelders; wadkant van de Westelijke Waddeneilanden

Uit koolstofmetingen blijkt dat de Schorren van Texel een *hoeveelheid* koolstof bevatten overeenkomend met 938 ton CO<sub>2</sub> (SE ± 227) per hectare (figuur 4.1).

Totaal heeft Nederland 315 ha aan kwelders op de Westelijke eilanden. Aangenomen dat de hoeveelheid koolstof opgeslagen in deze kwelders gemiddeld genomen gelijk is aan die op de Schorren van Texel, dan komt de totale koolstofvoorraad in de kwelders langs de Westelijke Waddeneilanden overeen met 295.470 ton CO<sub>2</sub>.

De opslagsnelheid van koolstof in de Schorren van Texel komt overeen met 7,2 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Voor alle kwelders op de westelijke Waddeneilanden tezamen is dat 2.200 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

De koolstofvoorraad van boreaal bos ligt rond de 160 ton CO<sub>2</sub> per hectare en die van tropisch bos met rond de 90 ton CO<sub>2</sub> per hectare (Murray *et al.* 2011). Dit is respectievelijk 6 en 10 keer zo klein als de koolstofvoorraad in kwelders van de Westelijke Waddeneilanden. Het areaal aan bossen dat zodoende nodig is voor een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-prestatie als van alle kwelders langs de westelijke Waddeneilanden, is ongeveer 1800 hectare, ofwel circa 6 keer zo groot.



Figuur 4.1 Koolstofvoorraad (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> gehalte per hectare) in De Schorren van Texel (2018)

In de huidige rapportage worden de kwelders langs de Oostelijke Waddeneilanden niet meegenomen. Waarnemingen uit het veld lieten zien dat de Schorren een zandiger sediment leken te hebben met een hoger organisch stofgehalte, dan Oostelijke eilandkwelders (Schiermonnikoog, Ameland) met dezelfde vegetatie (Esselink *et al.* 2017). Koolstofmetingen op de hoge kwelder op Schiermonnikoog onderschrijven dit. In 2017 is op de hoge kwelder (120 jaar oud) een opslag snelheid van 1,3 ton CO<sub>2</sub>/ ha / ja en een huidige opslag van 100 ton CO<sub>2</sub>/ha gemeten (Elschot *et al.*, 2013; van der Snoek, 2017). Deze waarden liggen een stuk lager dan wat op de Schorren is vastgesteld. De opslagsnelheid die op de Schorren van Texel gemeten wordt is dus alleen toepasbaar op de kwelders van de Westelijke Waddeneilanden.

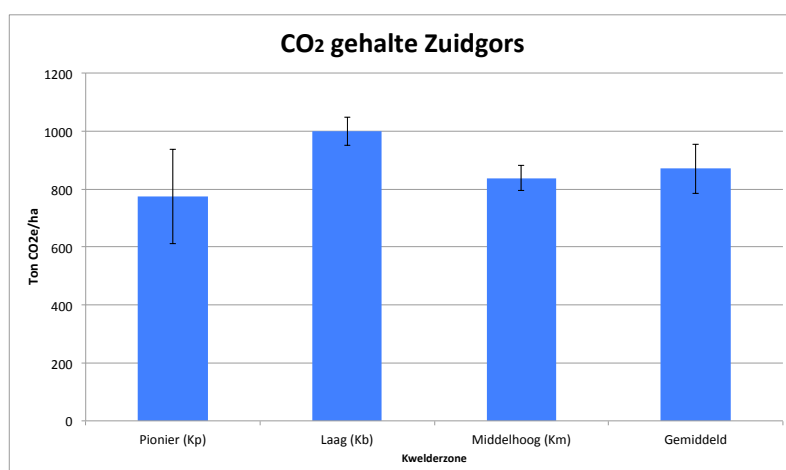
#### 4.1.2 Estuariene kwelders; Westerschelde

De Zuidgors in de Westerschelde bevat een hoeveelheid koolstof die overeenkomt met gemiddeld 870 ton CO<sub>2</sub> (+/- 85) per hectare (figuur 4.2).

Totaal heeft Nederland 2690 ha aan estuariene kwelders in de Westerschelde (CBS, 2012). Aangenomen dat de hoeveelheid koolstof opgeslagen in deze kwelders nagenoeg gelijk is, bevatten de estuariene kwelders een hoeveelheid koolstof die correspondeert met 2,3 miljoen ton CO<sub>2</sub>.

De opslagsnelheid van koolstof in de Zuidgors komt overeen met 5,1 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Voor alle kwelders in de Westerschelde tezamen is dat 13.719 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

De koolstofvoorraad van boreaal bos ligt rond de 160 ton CO<sub>2</sub> per hectare en die van tropisch bos rond de 90 ton CO<sub>2</sub> per hectare. (Murray *et al.* 2011). Dit is respectievelijk 5 en 10 keer zo klein als de koolstofvoorraad in kwelders langs de Westerschelde. Het areaal aan bossen dat zodoende nodig is voor een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-prestatie als van alle kwelders in de Westerschelde is ongeveer 13.000 hectare, ofwel circa 5 keer zo groot



Figuur 4.2 Koolstofvoorraad (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> gehalte per hectare) in De Zuidgors (2018)

#### 4.1.3 Estuariene kwelders; Oosterschelde

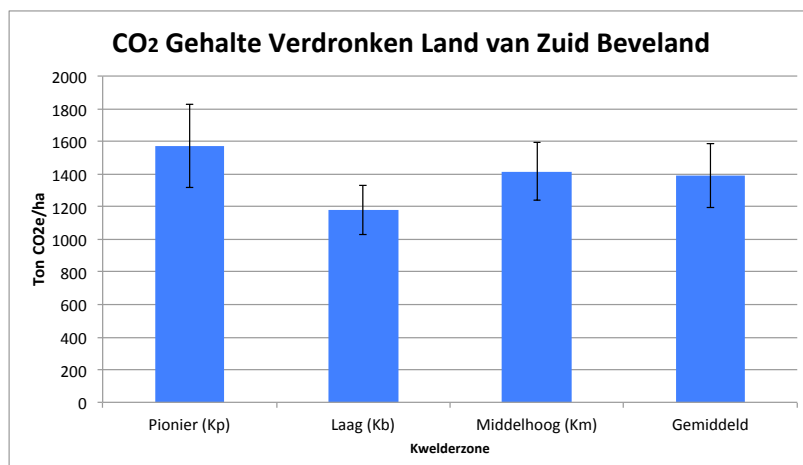
Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland gemiddeld 1389 ton bevat CO<sub>2eq</sub> per hectare (figuur 4.3).

Totaal heeft Nederland 533 ha aan kwelders in de Oosterschelde (CBS, 2012). Aangenomen dat de hoeveelheid koolstof opgeslagen in deze kwelders nagenoeg gelijk is, bevatten deze estuariene kwelders een hoeveelheid koolstof die correspondeert met 740.337 ton CO<sub>2</sub>.

De opslagsnelheid van het Verdrongen Land van Zuid-Beveland komt overeen met 11,6 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Voor alle kwelders in de Oosterschelde tezamen is dit 6.183 ton CO<sub>2</sub> per jaar.



De koolstofvoorraad van boreaal ligt rond de 160 ton CO<sub>2</sub> per hectare en die van tropisch bos rond de 90 ton CO<sub>2</sub> per hectare (Murray *et al.* 2011). Dit is respectievelijk 9 en 15 keer zo klein als de koolstofvoorraad in kwelders langs de Oosterschelde. Het areaal aan bossen dat zodoende nodig is voor een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-prestatie als die van alle kwelders in de Oosterschelde is ongeveer 5.800 hectare, ofwel circa 11 keer zo groot.



Figuur 4.3 Koolstofvoorraad (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> gehalte per hectare) in Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland (2018)

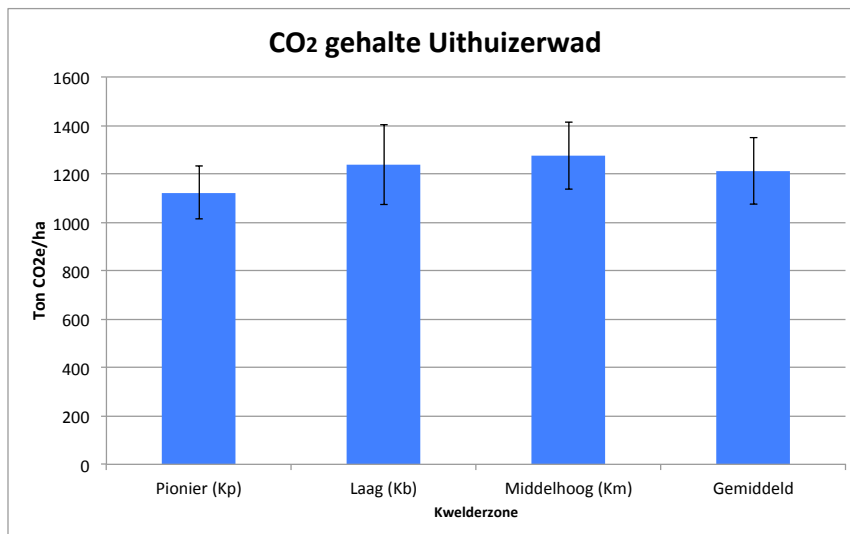
#### 4.1.4 Vastelandkwelders; Friese en Groningse kust

De kwelders langs de Friese en Groningse kust bevatten gemiddeld een hoeveelheid koolstof die overeenkomt met 1212 ton CO<sub>2</sub> per hectare (figuur 4.4).

Totaal heeft Nederland 2669 ha aan kwelders langs de Friese en Groningse kust (CBS, 2012). Aangenomen dat de hoeveelheid koolstof opgeslagen in deze kwelders nagenoeg gelijk is, bevatten deze vastelandkwelders een hoeveelheid koolstof die correspondeert met 3.2 miljoen ton CO<sub>2</sub>.

De opslagsnelheid van koolstof in het Uithuizerwad komt overeen met 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Voor alle kwelders langs de Friese en Groningse kust tezamen is dit 36.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

De koolstofvoorraad van boreaal bos ligt rond de 160 ton CO<sub>2</sub> per hectare en die van tropisch bos rond de 90 ton CO<sub>2</sub> per hectare.(Murray *et al.* 2011). Dit is respectievelijk 7 en 13 keer zo klein als de koolstofvoorraad in kwelders langs de Friese en Groningse kust. Het areaal aan bossen dat zodoende nodig is voor een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-prestatie als van alle kwelders langs de Friese en Groningse kust is ongeveer 27.000 hectare, ofwel circa 10 keer zo groot.



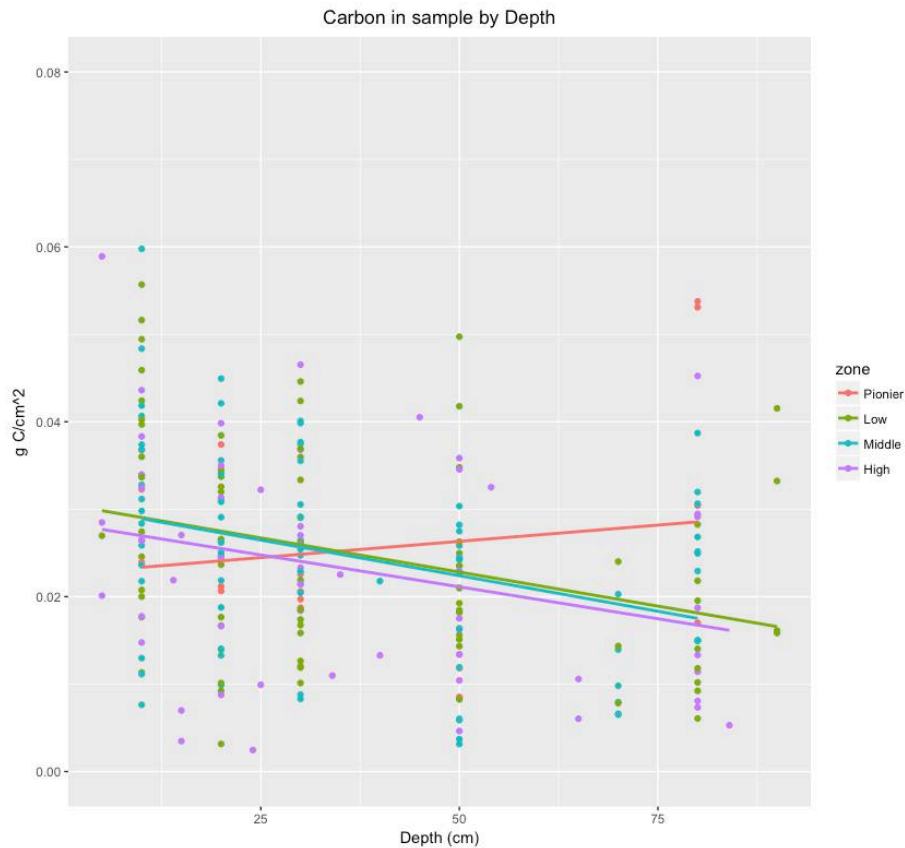
Figuur 4.4 Koolstofvoorraad (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> gehalte per hectare) in Het Uithuizerwad (2018)

## 4.2 Blue Carbon in Nederland

De Nederlandse kwelders dragen in belangrijke mate bij aan koolstofopslag. Zo slaan de kwelders in Nederland een hoeveelheid koolstof op die correspondeert met 58.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar en bevatten de kwelders in de bovenste meter bodem een hoeveelheid koolstof die overeenkomt met 7 miljoen ton CO<sub>2</sub>. Het oppervlak dat deze kwelders innemen is ongeveer 6200 ha, 12.000 voetbalvelden. Eenzelfde CO<sub>2</sub>-prestatie leveren met bossen kost 50.600 ha, wat gelijk staat aan een 100.000 voetbalvelden.

## 4.3 Blue Carbon in relatie tot omgevingsfactoren

Naast het in kaart brengen van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> per kwelder en in heel Nederland, is ook gekeken naar de verschillende ecotopen en mate van opslagsnelheid of aanwezig koolstofgehalte. Gekeken is of het koolstofgehalte in de bodem afweek tussen locaties (ligging), gradiëntzones (ecotooptypen pionier-laag-middel-hoog) en diepte (diepte monster in de bodem in cm). Resultaten wijzen uit dat er geen correlatie is tussen het koolstofgehalte en locatie of gradiëntzone ( $p > 0,05$ ). Zowel de locatie als gradiëntzone waren dus niet onderscheidend voor het koolstof gehalte in de bodem ( $p < 0,01$ ). De verschillen waren daarvoor te klein en hadden hoge standaard fouten. Wel bleek de diepte bepalend te zijn voor het koolstofgehalte in de bodem, met een afname in koolstof gehalte bij dieper gelegen punten (figuur 4.5). Enkel in de pionierszone is deze trend niet waarneembaar. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat de pionierszone nog nauwelijks vegetatie bevat en dus enkel sediment invangt. Terwijl de hoger gelegen zones een hogere bedekking aan vegetatie hebben en daarmee in de toplaag zowel vegetatieve koolstof als mariene (ingevangen) koolstof bevatten.



Figuur 4.5 Analyse koolstofgehalte en diepte voor de verschillende gradientzones / ecotootypen (van Deelen et al., 2018)

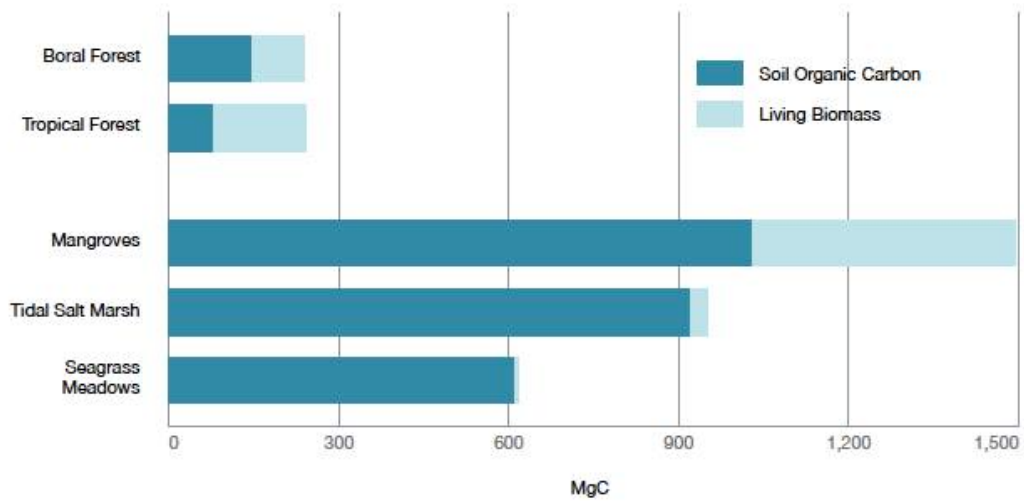
#### 4.4 Blue Carbon wereldwijd

Mariene ecosystemen wereldwijd bevatten grote hoeveelheden opgeslagen koolstof en zijn daarmee belangrijk voor de klimaatproblematiek (figuur 4.6). De huidige studie laat zien dat waarden gemeten in Nederland overeenkomen met internationale gemiddelde waarden voor koolstof opslag in kwelders.

In totaal is het areaal kwelders wereldwijd rond de 2.2-40 miljoen ha (figuur 4.7). Deze schatting is grof aangezien veel kwelders niet gekarteerd zijn. In de afgelopen decennia is 50% van de kwelders wereldwijd verloren gegaan. Met name het ontwikkelen van de kustlijn en het aanleggen van dijken heeft ervoor gezorgd dat kwelderareaal en daarmee opslagcapaciteit voor koolstof verloren is gegaan. Het heeft daarbij ook geresulteerd in een flinke extra emissie van CO<sub>2</sub>.

Naast het opslagvermogen van kwelders spelen mangrove en zeegrasvelden ook een rol in de opslag van koolstof in mariene ecosystemen. In Nederland is enkel zeegras een mogelijkheid voor Blue Carbon. Het areaal zeegras in Nederland is sterk afgenomen na de aanleg van de Afsluitdijk. Bovendien blijkt het herstel van sublitoraal

zeegras niet eenvoudig en weet men niet hoe deze ondergedoken zeegrasvelden in de Waddenzee succesvol hersteld kunnen worden.



Figuur 4.6 Gemiddeld koolstofgehalte in MG C (gelijk aan ton koolstof) in mariene en terrestrische ecosystemen (Pan et al. 2011; Fourqurean et al. 2012a; Pendleton et al. 2012)



Figuur 4.7 Kwelderareaal wereldwijd in oranje aangegeven. Kwelders komen voornamelijk voor in de gematigde zones. UNEP-WCMC, 2015

## 5 Conclusie en aanbevelingen





## 5.1 Conclusie

De Nederlandse kwelders slaan per jaar ongeveer 60.000 ton CO<sub>2</sub> op (exclusief de kwelders in de oostelijke Waddenzee), waarvan meer dan de helft opgeslagen wordt in de vasteland kwelders aan de Friese en Groningse kust (circa 36.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar).

De estuariene kwelder in de Oosterschelde bevat per hectare in de bovenste meter bodem het meeste koolstof (1389 ton CO<sub>2</sub>) en een accumulatie snelheid van 11,6 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. De vasteland kwelder langs de Groningse kust bevat daarna per hectare het meeste koolstof in de eerste meter bodem (1212 ton CO<sub>2</sub>), met een opslagsnelheid van 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Gevolgd door de eilandkwelder met een opslagcapaciteit van 938 ton CO<sub>2</sub> en een opslagsnelheid van 7,2 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Tot slot bevat de kwelder in de Westerschelde 870 ton CO<sub>2</sub> per hectare, met een opslagsnelheid van 5,1 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar.

In het verleden zijn schattingen van de hoeveelheid koolstof in Nederlandse kwelders enkel uitgevoerd voor de Oosterschelde en gaven aan dat dit rond de 1203 ton CO<sub>2</sub> per hectare ligt (Tamis & Foekema 2015; Sifleet, Pendleton and Murray 2011; Chmura et al. 2003). De resultaten op basis van veldmetingen in 2018 laten een hogere opslagcapaciteit zien voor de Oosterschelde en laten bovendien zien dat overige kweldergebieden een lagere hoeveelheid koolstof bevatten.

Vergeleken met het wereldwijde gemiddelde van 935 ton CO<sub>2</sub> per hectare, bevatten de Nederlandse kwelders bovengemiddeld veel koolstof (schatting op basis van conservatief gemiddeld 1102 ton CO<sub>2</sub> per hectare). De gemiddelde opslagsnelheid van 9,3 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar ligt net iets lager dan het Europese gemiddelde van 11,4 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. De hoge mate van koolstof kan deels worden verklaard doordat Nederland in de optimale zone ligt voor koolstofaccumulatie, tussen 48.5 – 58.5° N (Ouyang and Lee 2014). De lagere opslagsnelheid per jaar is mogelijk te verklaren omdat voor de huidige studie gekozen is de opslagsnelheid conservatief in te schatten.

### 5.1.1 Locatie specifiek

De Schorren van Texel worden momenteel behouden door jaarlijks onderhoud aan de rijshoutdammen. Het ophogen van bestaande dammen, tot een vergelijkbare hoogte als de landaanwinningswerken langs de Friese en Groningse kust, en het verhogen van gebieden door het storten van zand of klei, kan potentieel nieuw kwelder areaal creëren. Ruimte voor uitbreiding bij de Schorren van Texel is beperkt. Bij het verhogen van de rijshoutdammen zullen zich dus slechts enkele hectare kwelder extra kunnen ontwikkelen. De kosten van de ingreep, het verhogen van de dammen, zijn hoog met een relatief beperkte opbrengst in areaal. De opbrengst van koolstofopslag is gekoppeld aan het areaal dat gecreëerd wordt. Elke hectare kwelder op de Schorren van Texel zorgt voor een jaarlijkse koolstofopslag van 7.2 ton CO<sub>2</sub>. Het creëren van enkele (2 a 3) hectare kwelder zal de opslag verhogen met 20 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland erodeert onder het huidige beheerbeleid (0,2 ha/jaar). Het plaatsen van rijshouten dammen kan mogelijk erosie voorkomen en kwelderontwikkeling bevorderen. Een ingreep in 2008 heeft laten zien, dat door het plaatsen van een 1300 meter lange rijshoutdam langs de kwelderrand, 7 ha schor is ontstaan. Het tegengaan van de erosie en een eventuele uitbreiding van de kwelder zorgen respectievelijk voor het vasthouden van koolstof (behoud huidig areaal) en de mogelijkheid tot extra opslag van koolstof (uitbreiding areaal). Hierdoor blijft jaarlijks 75 ton koolstof opgeslagen in de bodem, wat gelijk staat aan 277 ton CO<sub>2</sub> en kan het nieuw gecreëerde areaal 11.6 ton CO<sub>2</sub> per hectare opslaan. De kosten voor de aanleg zijn relatief hoog, maar de opbrengst in areaal en daarmee koolstofopslag ook. Bij alleen al behoud van de huidige kwelder kan jaarlijks 277 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen blijven in de bodem.

De Zuidgors erodeert ten dele onder het huidige beleid. In de omgeving ligt ook een andere kwelder, de Biezelingse Ham, die sterk in omvang is afgenomen. Het behoud van de Zuidgors aan de westkant en uitbreiding aan de oostkant heeft mogelijk extra koolstofopslag tot gevolg. In potentie kan per hectare nieuw kwelderareaal op de Zuidgors per jaar 5,1 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen worden. Bovendien zorgt elke hectare kwelder die behoud wordt voor afslag op de Zuidgors ervoor dat 122 ton CO<sub>2</sub> opgeslagen blijft in de bodem. Het uitbreiden van de Biezelingse Ham naar de voormalige omvang (20 ha) zorgt voor de opslag van 97 ton CO<sub>2</sub> per jaar. De kosten van aanleg zijn relatief hoog, maar de opbrengst in areaal en daarmee koolstofopslag ook.

Het Uithuizerwad wordt onder het huidige beheer behouden. Uitbreiding van het areaal is niet mogelijk omdat hierdoor waardevolle wadplaten met unieke ecosystemen verloren zouden gaan, en het zeewater in dit gebied een hoge stroomsnelheid heeft. Wel kunnen nieuwe kwelders langs de Waddenzeedijken van Groningen en Friesland gerealiseerd worden, die een koolstofopslag van 13,5 ton CO<sub>2</sub> per hectare nieuwe kwelder per jaar kunnen creëren. Het aanleggen van een vastelandkwelder met behulp van landaanwinningswerken, over een afstand van 5 km langs de dijk ten oosten van het Uithuizerwad, kan resulteren in een hoeveelheid opgeslagen koolstof die overeenkomt met 4050 ton CO<sub>2</sub> per jaar, uitgaande van eenzelfde opslagsnelheid als op het Uithuizerwad gemeten is. De kosten van aanleg zijn relatief hoog, maar de opbrengst in areaal en daarmee koolstofopslag ook, wat een verdienmodel mogelijk maakt.

## **5.2 Aanbevelingen**

Het huidig onderzoek geeft een overzicht van de koolstofvoorraad en koolstof opslagsnelheid in Nederlandse kwelders. Voor vervolgonderzoek is het van belang te kijken naar:

- De haalbaarheid van kwelderbehoud en/of uitbreiding. Veel van de gesuggereerde Blue Carbon projectscenario's zijn gebaseerd op voorgaande, vergelijkbare projecten. Onduidelijk is vooralsnog of het projectscenario ook

werkelijk toepasbaar is in het projectgebied. Morfodynamisch onderzoek (gericht op o.a. sedimentatiesnelheden en stroomsnelheden in het projectgebied) kunnen hier meer duidelijkheid over geven.

- Uit de koolstofdata kwam duidelijk naar voren dat enkel het verassen van monsters een overschatting geeft van de hoeveelheid koolstof. De werkelijke hoeveelheid organisch koolstof gemeten via de isotopenanalyse viel vaak een factor 2 - 4 lager uit. Bij Blue Carbon projecten in de toekomst wordt dus sterk aangeraden een deel van de monsters via isotopenonderzoek te analyseren ter referentie.
- Bij het opstarten van een eerste Blue Carbon project is het raadzaam om extra tijd uit te trekken voor voldoende monitoring, waarbij onder andere een validatie plaatsvindt van de mate van CO<sub>2</sub> opslag per jaar.
- Een Blue Carbon project dient rekening te houden met de zeespiegelstijging. Bij behoud van een kwelder moet dus zorg gedragen worden dat de kwelder voor de komende vijftig jaar stabiel blijft en kan meegroeien met de zeespiegel. Andersom kan door de zeespiegelstijging het baseline scenario ook veranderen; kwelders lopen onder water. In de huidige rapportage is dit niet meegenomen.

## 6 Literatuur

- Abblas, W.F.G. 2013. "Kwaliteitstoets Uithuizerwad 2013."
- Bakker, J.P. 2014. "Ecology of Salt Marshes - 40 Years of Research in the Wadden Sea," 99. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-2255-6>.
- Bakker, J.P., A.C.W. Baas, J. Bartholdy, L. Jones, G. Ruessink, S. Temmerman, and M. van de Pol. 2016. "Environmental Impacts—Coastal Ecosystems." In , 275–314. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0_9).13/09/2018 | 13
- Bakker, J.P., P. Esselink, K.S. Dijkema, W.E. van Duin, and D.J. de Jong. 2002. "Restoration of Salt Marshes in the Netherlands." *Hydrobiologia*, no. 478:29–51.
- Beaumont, N.J. 2014. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats. *Coastal and shelf science* 137 32-40
- Berchum, A.M. 2001. Gewikt en Gewogen. Afwegingsdocument voor de bescherming van Zuidgors en Baarland. Opgesteld in het kader van het Natuurcompensatieprogramma Westerschelde buitendijkse projecten. Rijkswaterstaat directie Zeeland, afdeling Integraal Waterbeheer. Nota AXW-2001-01
- CBS, PBL, RIVM, and WUR. 2012. "Kwelders En Schorren, circa 1800 - 2009 (Indicator 1230, Versie 03 , 10 Juli 2012 )." 2012. <http://www.clo.nl/indicatoren/nl1230-kwelders-en-schorren>.
- Chen, G., G.L. Chmura, S. Crooks, J.G. Kairo, B. Liao, and G. Lin. 2014. "Chapter 4 Coastal Wetlands, in '2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.'" Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan, no. June.
- Chmura, G.L., S.C. Anisfeld, D.R. Cahoon, and J.C. Lynch. 2003. "Global Carbon Sequestration in Tidal, Saline Wetland Soils." *Global Biogeochemical Cycles* 17 (4):n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2002GB001917>.
- Darby, F.A. & Turner, R.E. 2008. Below-and aboveground *Spartina alterniflora* production in a Louisiana salt marsh. *Estuaries and Coasts*,31, 223–231.
- Dijkema, K., W.E. van Duin, E.M. Dijkman, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, L. Van Egmond, H .J. Venema, and J.J. Jongsma. 2010. "Vijftig Jaar Monitoring En Beheer van de Friese En Groninger Kwelderwerken: 1960-2009." Wettelijk Onderzoekstaken Natuur & Milieu WOt-werkdo:96.
- Dijkema, KS, WE Van Duin, EM Dijkman, and PW van Leeuwen. 2007. "Monitoring van Kwelders in de Waddenzee." Rapport in Het Kader ..., 1–66. [http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Natuur\\_en\\_Landschap/pdf/Alterra\\_Kwelder\\_WOT\\_Rapport1574.pdf](http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Natuur_en_Landschap/pdf/Alterra_Kwelder_WOT_Rapport1574.pdf).
- Duarte, C. M., J. J. Middelburg, and N. Caraco. 2004. "Major Role of Marine Vegetation on the Oceanic Carbon Cycle." *Biogeosciences Discussions* 1 (1):659–79. <https://doi.org/10.5194/bgd-1-659-2004>.
- Elschot, K., T.J. Bouma, S. Temmerman, and J.P. Bakker. 2013. "Effects of Long-Term Grazing on Sediment Deposition and Salt-Marsh Accretion Rates." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 133 (November):109–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.08.021>.
- Elschot, K., T.J. Bouma, S. Temmerman and J.P. Bakker, 2015. Effects of long term grazing on sediment deposition and salt marsh accretion rates.

- Esselaar, J. 2017. "Kwaliteitstoets de Schorren En de Volharding 2017."
- Esselink, P., D. Bos, A.P. Oost, K.S. Dijkema, R. Bakker and R. de Jong, R. 2011 Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. PUCCIMAR rapport 02, A&W rapport 1574 PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek. Vries, Feanwâlden
- Esselink, P. 1998. Van landaanwinning naar natuurbeheer: Recente ontwikkelingen op de Dollardkwelders. In: K. Essink & P. Esselink (red.). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rapport RIKZ-98-020. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, Haren. pp. 79-99.
- Esselink, P. 2000. Nature management of coastal salt marshes – Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. PhD- Dissertation, University of Groningen
- Fourqurean, J.W., B. Johnson, J.B. Kauffman, H. Kennedy, C.E. Lovelock, J.P. Megonigal, A.F. Rahman, N. Saintilan, and M. Simard. 2014. "Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses." Arlington, Virginia, USA.
- Hannewijk, A. 2016. "Kwaliteitstoets Westerschelde 2015 Zuidgors En Biezelingse Ham." Rotterdam. 2016b. "Kwaliteitstoets Westerschelde 2015 Zuidgors En Biezelingse Ham."
- Hoojoer, A., M. Silvius,, H. Wosten and S. page, 2006. Assessment of CO2 emissions from drained peatlands in SE Asia. A technical Report. Wetlands International Netherlands.
- IPCC, 2013. Coastal Wetlands. In: 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (eds. Alongi, D, Karim, A, Kennedy, H, Chen, G, Chmura, G, Crooks, S et al.).
- Jacobse, S, O Scholl and J van de Koppel, 2008. "Prognose van Schor- En Slikontwikkelingen in de Oosterschelde. Een Analyse Naar de Te Verwachten Ontwikkelingen Tot 2060," no. november 2006.
- McLeod, E., G.L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C.M. Duarte, C.E. Lovelock, W.H. Schlesinger and B.R. Silliman, 2011. "A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO2." *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (10):552–60. <https://doi.org/10.1890/110004>.
- McTigue, N., Q. Walker, R. Giannelli and C. Currin, 2016. Revisiting the blueprints for blue carbon: is salt marsh sediment organic carbon a source of emissions after wetland loss? National Centers for Coastal Ocean Science, National Oceanic and Atmospheric Administration, Beaufort, NC
- Mesel, De, I., T. Ysebaert, and P. Kamermans (2013) Klimaatbestendige dijken het concept wisselpolders. IMARES Wageningen UR. Rapportnummer C072/13
- Mikkelsen, J. H., J. Dillen, A. Van Braeckel, G. Genouw, and E. Van de Bergh. 2011. "Tidal Marsh and Mudflat Soils in the Inner Scheldt Estuary : Technical Report." INBO Report 2011 (INBO.R.2011.46). Research Institute for Nature and Forest, Brussels, Belgium 32 (0).
- Ministerie van IenM. 2016a. Natura 2000-beheerplan Oosterschelde. Periode 2016–2022.
- Ministerie van IenM. 2016b. Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Periode 2016–2022.
- Ministerie van IenM. 2016c. Natura 2000-beheerplan Westerschelde. Periode 2016–2022.

- Murray, B.C., L. Pendleton, W.A. Jenkins, and S. Sifleet. 2011. "Green Payments for Blue Carbon: Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats." *Nicholas Institute for Environmental ...*, no. April:52. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Green+Payments+for+Blue+Carbon+Economic+Incentives+for+Protecting+Threatened+Coastal+Habitats#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Green+payments+for+blue+carbon:+Ec.13/09/2018> | 15
- Nellemann, C, E Corcoran, C M Duarte, L Valdés, C De Young, L Fonseca, and G Grimsditch. 2009. *Blue Carbon: A Rapid Response Assessment*. Environment. [http://www.grida.no/files/publications/blue-carbon/BlueCarbon\\_screen.pdf](http://www.grida.no/files/publications/blue-carbon/BlueCarbon_screen.pdf).
- Nolte, S., F. Müller, M. Schuerch, A. Wannier, P. Esselink, P.J. Bakker and K. Jensen, 2013. Does livestock grazing affect sediment deposition and accretion rates in salt marshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135 (2013) 296-305
- Oenema, O., and R. D. DeLaune. 1988. "Accretion Rates in Salt Marshes in the Eastern Scheldt, South-West Netherlands." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 26 (4):379–94. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(88\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0272-7714(88)90019-4).
- Ofori, K. 2009. "Investigating the Long-Term Sediment Import-Export Trends of the Western Scheldt Estuary."
- Olf H., J. de Leeuw, J.P., Bakker, R. Platerink and H.J. van Wijnen 1997. Vegetation Succession and Herbivory in a Salt Marsh: Changes Induced by Sea Level Rise and Silt Deposition Along an Elevational Gradient. *Journal of Ecology* (1997) 85, 799-814
- Ouyang, X., and S. Y. Lee. 2014. "Updated Estimates of Carbon Accumulation Rates in Coastal Marsh Sediments." *Biogeosciences* 11 (18):5057–71. <https://doi.org/10.5194/bg-11-5057-2014>.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333, 988–993.
- Pendleton, L., D.C. Donato, B.C. Murray, S. Crooks, W.A, Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, 2012. "Estimating Global 'Blue Carbon' Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems." Edited by Simon Thrush. *PLoS ONE* 7 (9):e43542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>.
- R Core Team. 2018. "R: An Integrated Suite of Software Facilities for Data Manipulation, Calculation and Graphical Display."
- RStudio Team. 2018. "RStudio Desktop."
- Sifleet, S., L. Pendleton, and B.C. Murray. 2011. "State of the Science on Coastal Blue Carbon A Summary for Policy Makers." *Nicholas Institute Report*. NI, no. May2011:43. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:State+of+the+Science+on+Coastal+Blue+Carbon+A+Summary+for+Policy+Makers#0>.
- Tamis, J.E., and E.M. Foekema. 2015. "A Review of Blue Carbon in the Netherlands." Den Helder, NL.
- Temmerman, S., G. Govers, S. Wartel, and P. Meire. 2003. "Spatial and Temporal Factors Controlling Short-Term Sedimentation in a Salt and Freshwater Tidal Marsh, Scheldt Estuary, Belgium, SW Netherlands." *Earth Surface Processes and Landforms* 28 (7):739–55. <https://doi.org/10.1002/esp.495>.
- Topographisch Bureau. 2015. "TopoTijdreis." 2015. <https://www.topotijdreis.nl>.



- Van Deelen, W. 2018. Potential of Dutch saltmarshes as deposits of blue carbon. In opdracht van de Univeriteit van Utrecht en Bureau Waardenburg
- Van der Ploeg, N. 2015. Een rijk wad bij Texel – Natuurvisie De Schorren en Vlake van Kerken 2015-2033. Natuurmonumenten, 's-Graveland. 53 pp.
- Van der Snoek, M. 2017. Blue Carbon Kansen voor herstel en behoud van kwelders in Nederland. In opdracht van de Rijksuniveriteit van Groningen en Bureau Waardenburg
- Van Schaik, A.W.J., D.J. de Jong, A.M. van der Pluijm Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. Nota GWAO-88.1003
- Verbeek, R., and N. Altena. 2018. “Kwaliteitstoets Oosterschelde (Verdronken Land van Zuid-Beveland, Katse Plaat) 2017.”
- Wylie, L., Sutton-Grier, E., Moore, A. 2016. “Keys to Successful Blue Carbon projects: Lessons Learned from Global Case Studies.” Marine Policy 65 (March):76–84. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.020>.
- Yu, O.T., and G.L. Chmura. 2009. “Soil Carbon May Be Maintained under Grazing in a St Lawrence Estuary Tidal Marsh.” Environmental

## Websites

### **Ecomare**

<https://www.ecomare.nl/verdiep/leesvoer/landschappen/kwelders-schorren/>

### **Moorfutures.**

<http://www.moorfutures.de/>

### **Natuurkennis.**

<http://www.natuurkennis.nl/>

### **Verified Carbon Standard**

<https://verra.org/>

