

# Blue Carbon in Peazemerlannen

Blue Carbon potentie bij verkweldering van een  
zomerpolder



H.A. van der Jagt  
W.E. van Duin  
G. Hoefsloot



*Artemisia - kwelderonderzoek*



**Bureau Waardenburg**  
Ecologie & Landschap





## Blue Carbon in Peazemerlannen

### Blue Carbon potentie bij verkweldering van een zomerpolder

H.A. van der Jagt  
W.E. van Duin  
G. Hoefsloot

Status uitgave: eindrapport

Rapportnummer:	19-250
Projectnummer:	19-0784
Datum uitgave:	7 april 2020
Foto's omslag:	Foto's van werkzaamheden Peazemerlannen 2019
Projectleider:	ir. G. Hoefsloot
Naam en adres opdrachtgever:	It Fryske Gea Van Harinxmaweg 17 9246 TL Otterterp
Referentie opdrachtgever:	CRS/2019/134
Akkoord voor uitgave:	dr. W.E.A. Kardinaal

Paraaf:

*E. Kardinaal*

Graag citeren als: Jagt, van der H.A., W.E. van Duin & G. Hoefsloot, 2020. Blue Carbon in Peazemerlannen. Blue Carbon potentie bij verkweldering van een zomerpolder. Bureau Waardenburg Rapportnr.19-250. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Trefwoorden: Blue Carbon, kwelderherstel, Peazemerlannen.

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 / It Fryske Gea

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd 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, Varkensmarkt 9 4101 CK Culemborg, 0345 51 27 10, [info@buwa.nl](mailto:info@buwa.nl), [www.buwa.nl](http://www.buwa.nl)



## Voorwoord

It Fryske Gea is voornemens om een zomerpolder in het kweldergebied Peazemerlannen te laten verkwelleren. Dit gebeurt door de dagelijkse vloedstroom weer toegang te geven tot de polder. *Artemisia*-kwelderonderzoek en Bureau Waardenburg hebben opdracht gekregen de Blue Carbon potentie van het project te bepalen door middel van een nulmeting voorafgaand aan het inrichtingsproject en advies te geven over de inrichtings- en beheermaatregelen die bijdragen aan een natuurlijke verkwallering van de polder. In dit rapport zijn de resultaten van de opdracht beschreven. Het project vindt plaats in het kader van het projectvoorstel uit "Instrument Slimmer Landgebruik: Bos, Natuur, Hout pilots voorstel KE2019" projectnummer 5.3. Klimaatmodule herstel Peazemerlannen (Fr).

Het veldonderzoek is uitgevoerd door Willem van Duin (*Artemisia*) en Gerlof Hoefsloot (BuWa). De bodemmonsters zijn geanalyseerd door Helga van der Jagt (BuWa). De rapportage is opgesteld door de hierboven genoemde onderzoekers.

Wij danken Chris Bakker van It Fryske Gea en Paul Vertegaal van Natuurmonumenten voor de opdracht en waardevolle input, en Twiga van der Werf van Twiga Consultancy & Projectmanagement voor begeleiding van het project.

*Dit onderzoek is uitgevoerd door in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Klimaatvelop Klimaatslim Bos, Natuur en Hout'.*





## Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>4</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Methode</b>	<b>9</b>
2.1 Bepalen van huidige koolstofvoorraad	9
2.2 Analyse van opslibbingsgegevens	13
2.3 Bepalen huidige jaarlijkse opslagcapaciteit koolstof	16
2.4 Nulmeting hoogte m.b.v. SEB methode in verkwelderingsgebied	16
2.5 Voorspellen opslibbing en ontwikkeling in de te verkwelleren zomerpolder	17
<b>3 Resultaten</b>	<b>18</b>
3.1 Koolstofvoorraad Peazemerlannen	18
3.2 Opslibbingsnelheid in Peazemerlannen	20
3.3 Koolstofvastlegging in kwelder en zomerpolder	22
3.4 Additionele koolstofvastlegging	23
<b>4 Inrichting en beheer</b>	<b>25</b>
4.1 Inrichting	25
4.2 Beheer	26
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
5.1 Conclusie	27
5.2 Aanbevelingen	28
<b>Literatuur</b>	<b>30</b>
<b>Bijlage I Coördinaten monsterpunten bodem en slib</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage II Koolstofgehalte diepteprofiel in Peazemerlannen</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage III Kenmerken SEB-meetpunten</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage IV Berekenen van de koolstofvoorraad</b>	<b>36</b>



## Samenvatting

Blue Carbon ecosystemen zijn mariene systemen die koolstof vastleggen en voor langere tijd opslaan. In Nederland zijn kwelders de belangrijkste opslagplekken van Blue Carbon. Het creëren van meer kwelderareaal, het voorkomen van erosie of het veranderen van beheer zorgt ervoor dat dit ecosysteem koolstof vasthoudt of zelfs meer koolstof kan opslaan.

Het Noord-Friese Peazemerlannen is een buitendijks gebied aan de Waddenzee. Dit natuurgebied bestaat uit een kwelder en zomerpolder (gebied met lage dijk dat alleen overstroomt bij een hoog tij). Binnenkort vinden er herinrichtingswerkzaamheden plaats, waarbij een deel van de kwelder ingericht wordt voor beweiding en een deel van de zomerpolder wordt verkwelderd. Eigenaar en beheerder van het gebied, It Fryske Gea, wil weten of door de geplande verkweldering additioneel koolstof wordt vastgelegd, en welke inrichtings- en beheermaatregelen kunnen bijdragen aan een succesvolle verkweldering en koolstofvastlegging in Peazemerlannen. Om dit te bepalen zijn in het gebied 16 bodemonsters verzameld, waarmee de koolstofvoorraad in het gebied is bepaald. Daarnaast zijn meerjarige opslibbingsgegevens met de Sedimentatie-Erosie-Balk gebruikt om de huidige en verwachte opslibbing te bepalen. Op basis hiervan kan de huidige en de te verwachten jaarlijkse koolstofvastlegging in de kwelder en de te verkwelderen zomerpolder ingeschat worden.

De bemonsterde locaties in de kwelder bestonden uit gebieden met pioniervegetatie, lage kweldervegetatie en middelhoge kweldervegetatie. Gebieden met pioniervegetatie hadden de laagste koolstofvoorraad, omdat hier nog weinig vegetatie aanwezig is geweest. Locaties met middelhoge kweldervegetatie bevatten de hoogste koolstofvoorraad, waarschijnlijk als gevolg van dichte vegetatiebegroeiing over meerdere jaren. In de zomerpolder was geen groot verschil in de koolstofvoorraad tussen deze ecotopen. De opslibbingsnelheid was echter substantieel hoger in de kwelder in vergelijking met de zomerpolder, waardoor de jaarlijkse koolstofvastlegging in de kwelder hoger was. Het verkwelderen van de zomerpolder zal waarschijnlijk met name zorgen voor een verhoogde opslibbing, waardoor jaarlijks potentieel circa 3,2 ton CO<sub>2</sub>/ha additioneel wordt vastgelegd.

Aanpassingen in de inrichting van het gebied kunnen ervoor zorgen dat er betere ontwatering plaatsvindt en verhoogde opslibbing. Door de geul in de kwelder door te graven tot in de zomerpolder kunnen natte delen beter ontwateren, waardoor vegetatie als gewoon kweldergras zich kan vestigen en opslibbing en koolstofvastlegging toeneemt. Dit kan in de toekomst mogelijk minder gunstig zijn voor de biodiversiteit van het systeem.

Extensief beweiden kan mogelijk zorgen voor extra koolstofvastlegging, maar dit is niet met zekerheid te zeggen. Een nadelig effect van beweiding is dat door compactie de drainagecapaciteit vermindert, waardoor secundaire pioniervegetatie zich ontwikkelt.

Dit onderzoek laat zien dat het van belang is voor inrichting en beheer om het doel en streefbeeld duidelijk en toetsbaar te omschrijven en te monitoren, zodat de effecten ervan geëvalueerd kunnen worden.



# 1 Inleiding

De Peazemerlannen is een buitendijks natuurgebied aan de Waddenzee ter hoogte van het dorp Paesens direct ten westen van het Lauwersmeer (figuur 1.1). Het gebied bestaat uit een zomerpolder, kwelder en slikken. De eigenaar en beheerder van het gebied It Fryske Gea gaat werkzaamheden uitvoeren in de Peazemerlannen. Deze werkzaamheden vinden plaats in het kader van het project “Wij en Wadvogels” dat wordt ontwikkeld door Vogelbescherming Nederland en diverse andere organisaties waaronder It Fryske Gea.



Figuur 1.1. Natuurgebied Peazemerlannen. Bron: itfryskegea.nl.



Figuur 1.2. Beoogde aanpassingen in de Peazemerlannen op kaart. Bron: projectplan Wij en Wadvogels, project 1.3.



De werkzaamheden bestaan onder andere uit het inrichten ten behoeve van beweiding van een deel van de kwelder en het verkwelderen van een deel van de zomerpolder. Dit deel van de zomerpolder bevindt zich in het oosten van het natuurgebied (figuur 1.2 geel omlijnd vlak). De zee heeft in de huidige situatie alleen toegang tot deze polder via betonnen duikers met drempel. Door de verbinding van de zee met de polder te verbreden tot een 'natuurlijke kreek' zal er meer sediment het gebied binnen stromen en achterblijven en kan er een volwaardige kwelder ontstaan. Dit proces van opslibbing draagt bij aan dijkbescherming (meegroeien voorland met de zeespiegelstijging, golfbreking) en zorgt voor koolstofvastlegging in een marien systeem (Blue Carbon).

De voornaamste doelstellingen voor dit project zijn:

- Bepalen van de huidige koolstofvoorraad in de Peazemerlanden.
- Bepalen van de potentiële additionele koolstofvastlegging in de zomerpolder als gevolg van opslibbing en kwelderontwikkeling. Dit gebeurt op basis van opslibbingsgegevens, gemeten over meerdere jaren m.b.v. de Sedimentatie-Erosie-Balk (SEB), en het huidige koolstof-gehalte van het natuurgebied.
- Bepalen van inrichtings- en beheermaatregelen die bijdragen aan de optimalisatie van de verkweldering en koolstofvastlegging in de Peazemerlanden.

Het project draagt bovendien bij aan het extra kennis vergaren over koolstofgehalten in mariene systemen in Nederland. Deze kennis is vervolgens gebruikt voor het rapport "Blue Carbon in Nederlandse kwelders, Kansen voor extra CO<sub>2</sub>-vastlegging in kwelders" (Hoefsloot *et al.* 2020; project 5.1 in KE2019). De resultaten van het project worden daarnaast gebruikt voor de gereedschapskist Klimaatslim Bos- en Natuurbeheer (project 0.2 in het totaalpakket KE2019 BBN) voor onderbouwing van maatregelen in het Klimaatakkoord c.q. nationale klimaatbeleid.





## 2 Methode

Het project bestaat uit de volgende stappen:

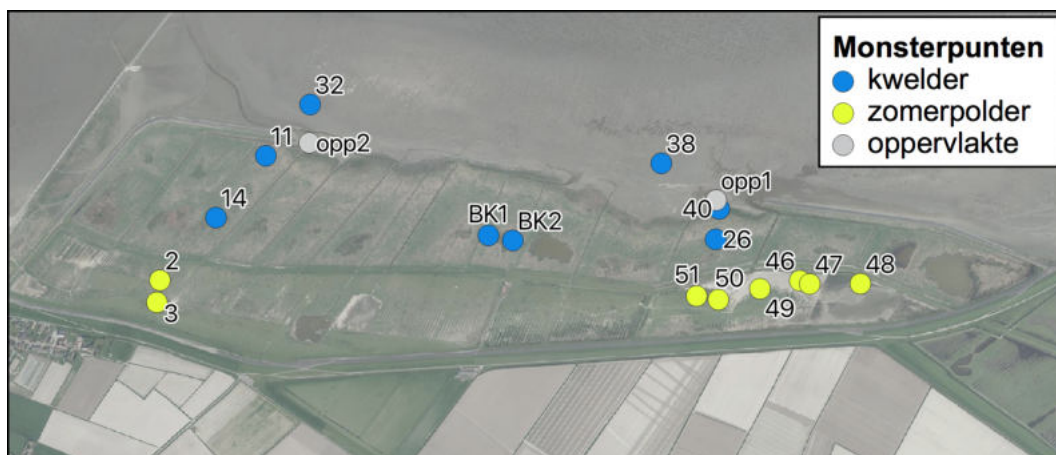
- bepalen van huidige koolstofvoorraad in de kwelder en zomerpolder (waar mogelijk per kwelderzone)
- analyse van bestaande opslibbingsgegevens
- bepalen huidige jaarlijkse koolstofopslagcapaciteit
- 0-meting opslibbing m.b.v. SEB-methode in verkwelderingsgebied
- op basis van deze data voorspellen van opslibbing en de kwelderontwikkeling in het te verkwelderen deel van de zomerpolder en het benoemen van de voor dit proces gunstige maatregelen
- bepalen netto koolstofvastlegging in het te verkwelderen deel van de zomerpolder per hectare komende 50 jaar.

In onderstaande tekst is de methode per stap toegelicht.

### 2.1 Bepalen van huidige koolstofvoorraad

#### 2.1.1 Verzamelen bodemmonsters

Om de potentie van het Blue Carbon project in de Peazemerlannen te bepalen dient bepaald te worden hoeveel koolstof door het project 'Wij en Wadvogels' aanvullend opgeslagen wordt in het systeem. Daartoe is het van belang om eerst te bepalen wat de huidige opslagcapaciteit (koolstofvoorraad en de jaarlijkse koolstofopslag) in het systeem is: de baseline. In de kwelder en zomerpolder van de Peazemerlannen zijn op 29 oktober 2019 16 bodemmonsters verzameld en twee oppervlakte slibmonsters. In figuur 2.1 zijn de locaties van de monsterlocaties aangegeven op kaart.



*Figuur 2.1* Locaties van 16 bodemmonsters, 14 SEB locaties en twee locaties in beoogd begrazingsgebied (BK 1 & 2). De gele locaties liggen in de zomerpolder ten zuiden van de zomerkade, de blauwe locaties liggen in de kwelder. De locaties van de twee slibmonsters zijn aangegeven met grijze stippen (opp 1 en opp 2).



In tabel 2.1 zijn de details van de locaties van de bodemmonsters en slibmonsters weergegeven. Om de huidige koolstofvoorraad per kwelderzone (pionierzone, lage kwelder, middenhoge of hoge kwelder) te bepalen zijn per zone twee bodemmonsters verzameld (totaal zes bodemmonsters; blauwe stippen in figuur 2.1). In de zomerpolder zijn acht bodemmonsters verzameld om de huidige koolstofvoorraad te bepalen (gele stippen in figuur 2.1). Hiervan zijn er zes genomen in het te verkwelderden deel van de zomerpolder als 0-meting voor de ingreep. Er zijn op twee locaties oppervlaktemonsters slib verzameld om te bepalen wat het koolstofgehalte is in vers slib (zie figuur 2.1; grijze stippen). Daarnaast zijn in het beoogde begrazingsgebied in de kwelder 2 bodemmonsters verzameld als 0-meting voor de ingreep 'begrazen' (zie figuur 1.2: 10 en 11 guts).

De bodemmonsters bij de vaste SEB-meetpunten zijn steeds op dezelfde afstand van de SEB-meetpunten verzameld (zie tabel 2.1). Op deze locaties worden sinds 2007 (en sommige punten minimaal sinds 1996) opslibingsmeting gedaan op de kwelder in opdracht van de NAM in het kader van bodemdalingsmonitoring. Met deze SEB-data is voor de toplaag van de kwelder tot ongeveer 15 cm diep nauwkeurig de leeftijd vastgesteld (zie paragraaf 2.2). Met de gegevens over C-gehalte en leeftijd is de jaarlijkse opslagsnelheid bepaald in het natuurgebied per kwelderzone (pionierzone, lage kwelder, middenhoge kwelder en hoge kwelder/zomerpolder). Op basis hiervan is de baseline en de potentie van het blue carbon project bepaald (zie paragraaf 2.3). De 16 bodemmonsters zijn met een gutsboor verzameld (werkzame lengte 100 cm, diameter 30 mm; Eijkelkamp Soil & Water). Figuur 2.2 is een foto van de monsternamen op 29 oktober 2019. Van elk bodemmonster zijn submonsters genomen op vijf dieptes. Deze submonsters zijn nodig voor de bepaling van de C-gradiënt in de bodem vanaf het maaiveld tot dieper gelegen grondlagen. De submonsters van 1 cm dikte zijn genomen op de volgende dieptes: 5, 10, 20, 50 en 75 of 90 cm (zie bijlage 1). De twee oppervlaktemonsters met vers slib zijn verzameld met een plastic schepje (figuur 2.3).

Tabel 2.1 Overzicht met locaties van 16 koolstofmonsters en 2 oppervlakte monsters.

Bemonsterde locaties en ecotopen	SEB-meetpunten	Opname vanaf
Te verkwelderden zomerpolder: drie bestaande punten in lage deel en toevoeging drie punten in hoge deel	46, 47, 48 en 49, 50, 51*	2007 2019
Zomerpolder (referentie)	2, 3	1996
Midden/hoge kwelder (Km)	11, 26	1996
Lage kwelder (Kl)	14, 40	1996, 2007
Pionierzone (Kp)	32, 38	2007
Beoogd begrazingsgebied	BK1, BK2	-
Oppervlakte slibmonsters	opp1, opp2	-
Te verkwelderden zomerpolder: drie bestaande punten in lage deel en toevoeging drie punten in hoge deel	46, 47, 48 en 49, 50, 51	2007 2019

\*nieuwe SEB- meetpunten 49 t/m 51 zijn op 7 november 2019 geplaatst.



*Figuur 2.2      Monstername met guts op locatie SEB 47 op 29 oktober 2019.*

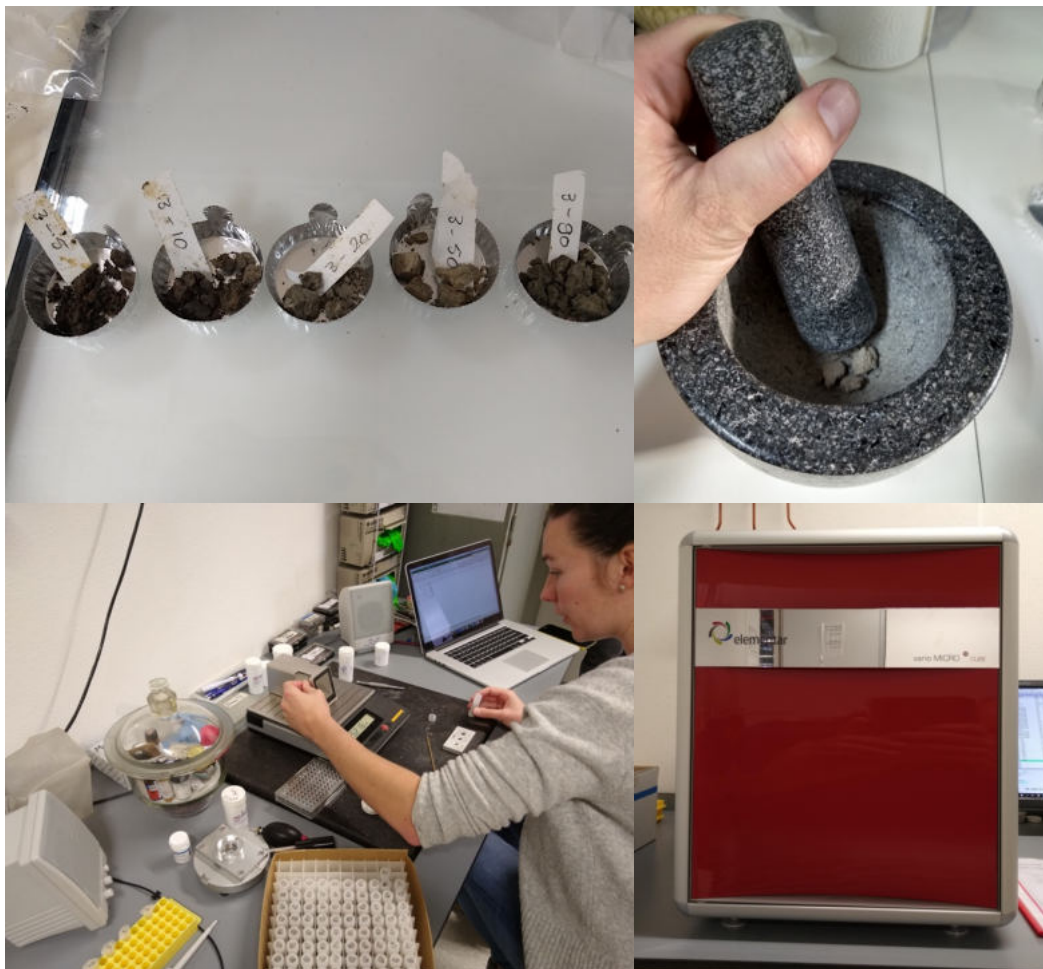


*Figuur 2.3      Monstername oppervlakte slib op locatie 'opp 2' op 29 oktober 2019.*



### 2.1.2 Koolstofmetingen

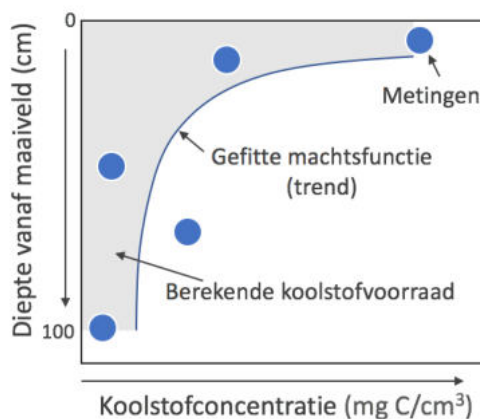
In totaal zijn er 82 monsters geanalyseerd (16 gutsboringen elk bestaande uit vijf submonsters, en twee oppervlakte monsters). Bij aankomst in het laboratorium zijn de monsters 60 uur gedroogd op 60 graden Celsius, waarna drooggewicht per  $\text{cm}^3$  (dichtheid) is bepaald. Vervolgens zijn de monsters fijngemalen met een vijzel om het materiaal goed te mengen en klaar te maken voor analyse (figuur 2.4). Het totaalgehalte organisch koolstof is bepaald met een elementenanalyse (Vario Micro Cube, Elementar). Hierbij wordt het monster eerst met zoutzuur (HCl) behandeld om anorganisch koolstof (o.a. kalk) op te lossen. Vervolgens wordt het monster in het apparaat op  $1800^\circ\text{C}$  verbrandt, waarbij het aanwezige koolstof wordt omgezet tot  $\text{CO}_2$ . De vrijgekomen gassen worden door een speciale kolom geleid, die een elektrisch signaal afgeeft evenredig met de hoeveelheid koolstof. Deze waarden zijn vervolgens gebruikt om te berekenen hoeveel koolstof er in een monster zit, uitgedrukt in percentage organisch koolstof van drooggewicht. Dit percentage koolstof is vervolgens vermenigvuldigd met de dichtheid om tot een concentratie organisch koolstof per  $\text{cm}^3$  te komen. Dit gedeelte van de methode is hetzelfde als tijdens het onderzoek van Teunis & Didderen (2018).



Figuur 2.4 De genomen gutsmonsters worden gedroogd en gewogen (in dit geval SEB3), fijn gemalen met een vijzel, in kleine zilveren cupjes gewogen voor verzuring en analyse, en gemeten met de Elementar Vario Cube.



De hoeveelheid organisch koolstof in de kwelderbodem is vervolgens geschat door een machtsfunctie te fitten op de hoeveelheid koolstof per submonster per guts (figuur 2.5). Deze manier van berekenen wijkt af van het eerdere onderzoek van Teunis & Dideren (2018), waarbij een gemiddelde van vijf submonsters per guts is berekend. Bij het gebruiken van een machtsfunctie wordt ervan uitgegaan dat de bovenste laag van het sediment de hoogste concentratie koolstof bevat, en dat de concentratie koolstof afneemt over de diepte. Dezelfde rekenmethode wordt ook gebruikt in de oceanografie (Martin *et al.*, 1987) en heeft als voordeel dat het niet uitmaakt op welke diepte gemonsterd wordt en dat uitbijters een minder sterk effect hebben op het uiteindelijke resultaat. De aanname dat de concentratie organisch koolstof afneemt over diepte klopt grotendeels voor de genomen monsters in Peazemerlanden (zie Bijlage IV). Om te berekenen wat de koolstofvoorraad is, wordt aangenomen dat de dikte van de kwelderbodem 1 meter is (Teunis & Dideren, 2018). In werkelijkheid is de kwelderbodem niet overal 1 meter dik maar nauwkeurige gegevens over de dikte van de kwelderbodem in Peazemerlanden ontbreken. Door de gefitte machtsfunctie te integreren over de eerste meter kan de hoeveelheid koolstof per hectare berekend worden.



Figuur 2.5 Schematische voorstelling van de methode om de koolstofvoorraad te bepalen. Door een trend (machtsfunctie) te fitten door de metingen (blauwe bollen) en deze trend te integreren (grijs vlak) kan de koolstofvoorraad in de eerste meter berekend worden.

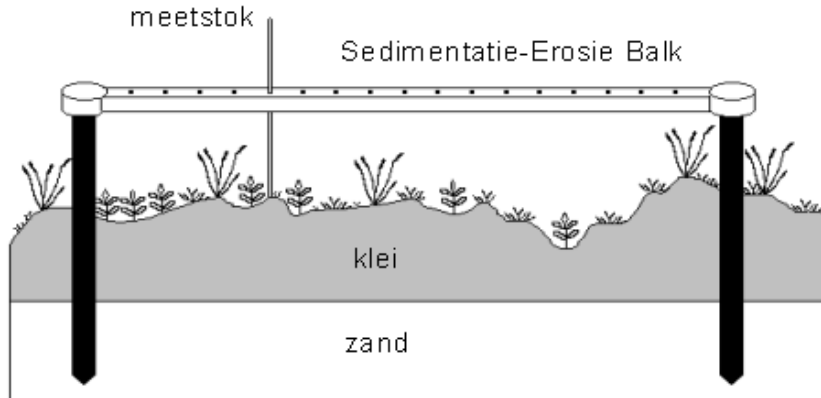
## 2.2 Analyse van opslibbingsgegevens

Om een koppeling te kunnen maken tussen (recente) opslibbing en de hoeveelheid koolstof in de bodem zijn de gutsboringen gekoppeld aan een selectie van elf bestaande meetpunten in verschillende vegetatiezones uit het monitoringonderzoek in de Peazemerlanden (zie figuur 2.1 en tabel 2.1). Dit monitoringonderzoek vindt plaats in het kader van de gaswinning bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Afhankelijk van het meetpunt worden sinds 1995 of 2007 opslibbingsmetingen uitgevoerd m.b.v. de Sedimentatie-Erosie Balk (SEB). Daaraan gekoppeld is een vegetatiemeting in een permanent kwadraat (PQ).

Voor het meten van de opslibbing zijn op verschillende locaties in de diverse vegetatiezones twee kunststof palen (doorsnee ca. 7 cm) tot in de zandondergrond geplaatst, die als permanente referentiepunten dienen (hoogte t.o.v. NAP is bepaald). De



2 meter lange draagbare aluminium SEB met 17 gaatjes wordt op deze palen gelegd, waarna de afstand tussen het maaiveld en de bovenkant van de balk (en daarmee de koppen van de palen) wordt gemeten op de 17 punten (figuur 2.6). Dit gebeurt tweemaal per jaar, eenmaal in maart en eenmaal in augustus/september. De vegetatie bij elk SEB-meetpunt wordt jaarlijks in augustus/september vastgelegd in een aangrenzende PQ van 2x2 meter (figuur 2.8). De bedekking van alle aanwezige plantensoorten wordt geschat volgens de schaal van Londo (Londo, 1975).

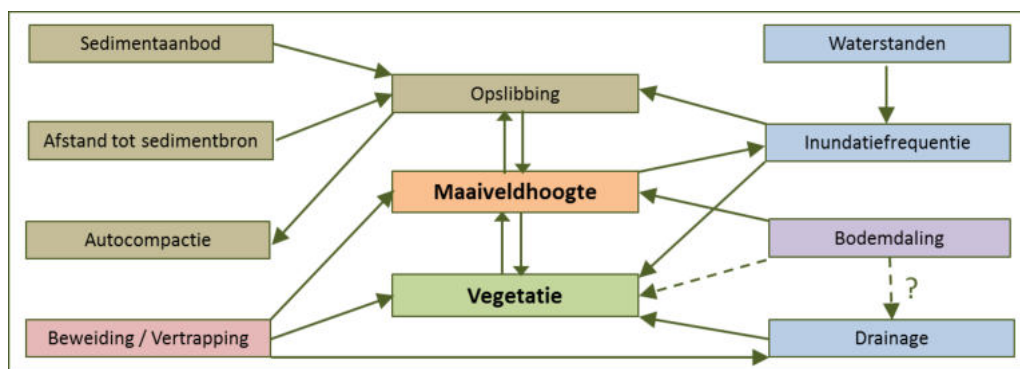


Figuur 2.6 Schematische voorstelling van een SEB-meting.

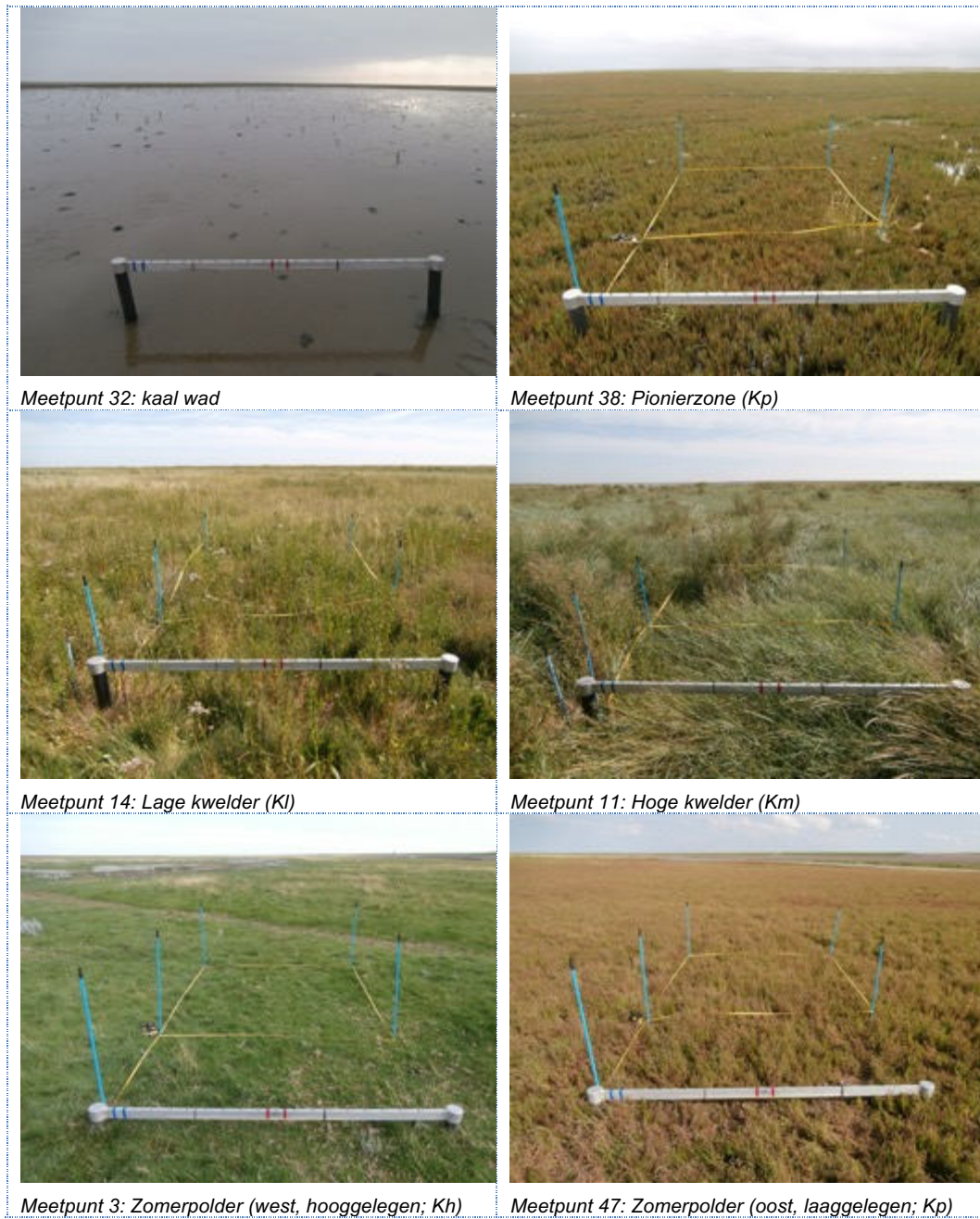
Volgens het vaste monitoringschema in het kader van het bodemdalingsonderzoek zijn door *Artemisia* in september 2018 SEB-metingen uitgevoerd en vegetatieopnames bij de PQ's gemaakt in de Peazemerlannen. Deze gegevens waarover gerapporteerd is in Van Duin (2019) zijn in de voorliggende rapportage gebruikt voor nadere analyse.

Van de voor het Blue Carbon-project geselecteerde meetpunten is de gemiddelde opslibbing per jaar berekend. Dit is de resultante van diverse processen, zoals bv. opslibbing en compactie van de kleilaag, inclusief organisch materiaal (figuur 2.7). Eventuele diepe daling van de ondergrond door gaswinning wordt met deze methode niet gemeten, omdat de palen mee zakken met de bodemdaling.

Door deze opslibbingswaarde te koppelen aan de gemeten hoeveelheid koolstof op verschillende dieptes bij deze SEB-meetpunten kan worden nagegaan welke hoeveelheid koolstof (recent) is afgezet en wat daarvan in diepere lagen wordt vastgelegd.



Figuur 2.7 Factoren die een rol spelen bij de maaiveldhoogte- en vegetatie-ontwikkeling op vastelandskwelders (uit: Van Duin, 2019).



**Figuur 2.8** Foto's van SEB metingen en vegetatieopnamen uit 2018 voor een selectie van SEB-meetpunten waar in 2019 bodemmonsters zijn genomen. NB: De verschillende vegetatiezones Kp t/m Kh kunnen zowel in de kwelder als zomerpolder voorkomen en worden niet per se door de hoogteligging bepaald, maar wel door bijvoorbeeld de ontwatering.



### 2.3 Bepalen huidige jaarlijkse opslagcapaciteit koolstof

De jaarlijkse opslagsnelheid is berekend aan de hand van de huidige koolstofvoorraad en de opslibbingsdata. Hierbij is er van uit gegaan dat opslibbing noodzakelijk is om additioneel koolstof op te slaan in de kwelderbodem, omdat koolstofvastlegging door planten en bentische algen, en afbraak door micro-organismen en dieren in balans zijn. Dit is een aanname, die eventueel getoetst kan worden door het dateren van koolstof (met bijvoorbeeld  $^{14}\text{C}$ ) of door meerdere malen op dezelfde locaties te meten. Opslibbingsdata zijn een nauwkeurige manier om de verticale (hoogte-)groei van een kwelder te bepalen. Horizontale groei kan bepaald worden door het vergelijken van VEGWAD-karteringen of historische kaarten met de huidige situatie. Omdat dit onderzoek gaat over het effect van het verkweldden van de zomerpolder, is in deze studie enkel gekeken naar verticale groei, omdat de zomerpolder door de ingreep niet horizontaal zal groeien en dus dezelfde oppervlakte behoudt.

De hoeveelheid koolstof per millimeter bodem is berekend door de berekende koolstofvoorraad (zie 2.1.2) te delen door 1000 mm. Dit getal wordt vervolgens vermenigvuldigd met de jaarlijkse opslibbing, waarbij hetzelfde gemiddelde is aangehouden als over de afgelopen tien jaar (2007-2018). Door zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning neemt de overvloedingsfrequentie in principe toe en daardoor ook de opslibbing. Opslibbing is echter vooral afhankelijk van stormen. Sommige jaren zijn er geen stormen, andere jaren wel. Omdat er naar een relatief korte periode wordt gekeken, is daarom de aanname gedaan dat de gemiddelde opslibbing waarschijnlijk ongeveer vergelijkbaar is met de periode 2007-2018.

### 2.4 Nulmeting hoogte m.b.v. SEB methode in verkwelderingsgebied

In de beoogde verkweldering (figuur 1.2 geel omlijnd vlak) lagen drie SEB-meetpunten in het lage deel (46-48 in figuur 2.1). Deze punten zijn uitgebreid met drie punten in het hoge deel van de beoogde verkweldering. Daartoe zijn drie sets SEB-palen geplaatst (zie 49-51 in figuur 2.1). Bij de nieuwe punten is direct na plaatsing van de palen een 0-meting betreffende de maaiveldhoogte uitgevoerd, zowel een SEB-meting (figuur 2.9) als een hoogtemeting t.o.v. NAP, die als uitgangspunt kan dienen bij vervolgmonitoring van de opslibbing.





Figuur 2.8 SEB-meting bij nieuw meetpunt in de zomerpolder op 7 november 2019.

## 2.5 Voorspellen opslibbing en ontwikkeling in de te verkwelleren zomerpolder

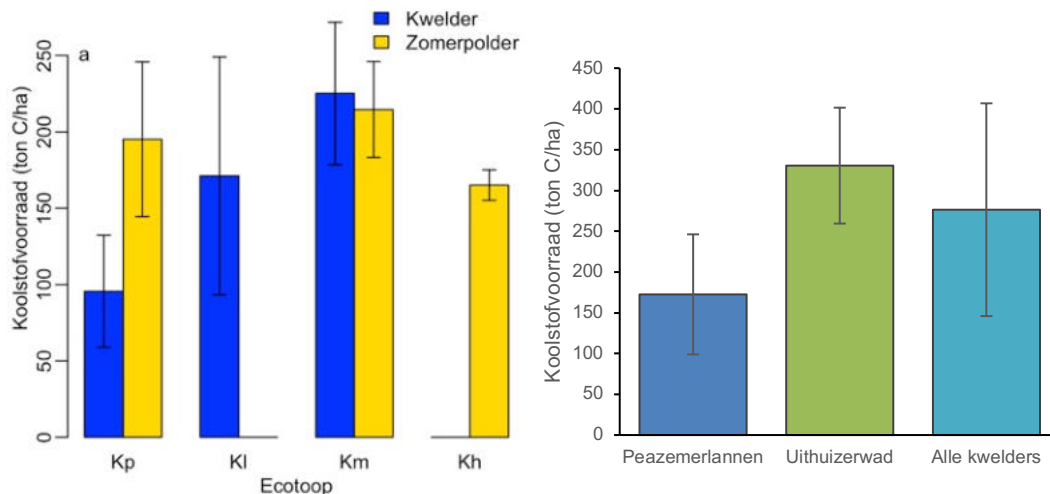
Als de toegang van de zee tot de zomerpolder wordt verbreed verandert de opslibbingsdynamiek en koolstofvastlegging. Aangenomen wordt dat de zee meer sediment in het verkwelleringsgebied gaat afzetten. Lage delen met pionierszone begroeid met schorrenkruid (figuur 2.2) kunnen gaan veranderen in lage kwelder door de toenemende sedimentatie. Op basis van de beoogde inrichting en bekende waarden van opslibbing van Peazemerlannen is een inschatting gemaakt van de te verwachten ontwikkelingen. Hierbij is aangenomen dat de helft van het te verkwelleren gedeelte laaggelegen is en de helft hooggelegen.



## 3 Resultaten

### 3.1 Koolstofvoorraad Peazemerlannen

Er zijn in totaal twee locaties in de pionierzone bemonsterd (kaal en begroeid met Langarige zeekraal), drie in de lage kwelder (o.a. Kweldergras en Gewoon schorrenkruid), en drie in middelhoge kweldervegetatie (Zeekweek). De locaties in de zomerpolder bestonden uit drie monsters met secundaire pioniervegetatie (Gewoon schorrenkruid en Kortarige zeekraal; zie figuur 2.2), drie met middelhoge kweldervegetatie (Rood zwenkgras, Fioringras; zie figuur 2.2) en twee met hoge kweldervegetatie (Rood zwenkgras, Fioringras en Veldgerst). In Bijlage III staan de kenmerken van de meetpunten. Tussen de vegetatiezones in kwelder en zomerpolder zitten grote verschillen in koolstofvoorraad (figuur 3.1a). De pionierzone (Kp) langs de wadzijde in het kweldergebied bevat minder koolstof per hectare dan de secundaire pioniervegetatie in de zomerpolder. De verklaring hiervoor is dat bodem van de zomerpolder meer koolstof bevat vergeleken met de pionierzone als gevolg van jarenlange opslibbing.



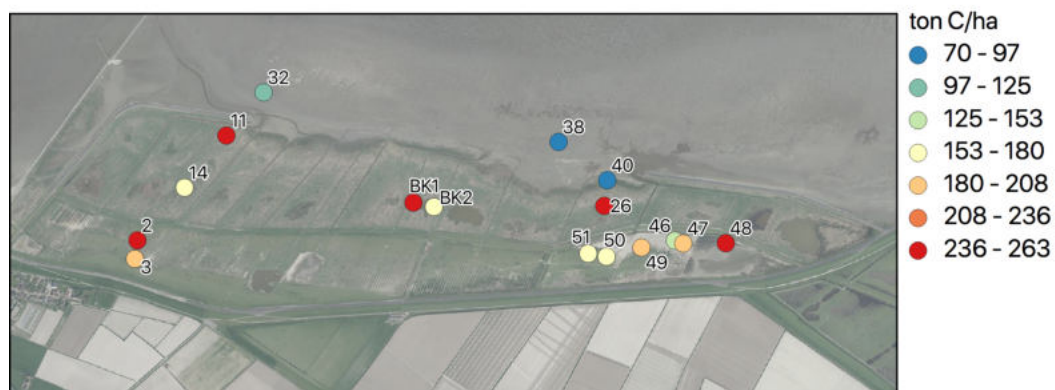
Figuur 3.1 a. Gemiddelde koolstofvoorraad  $\pm$  sd in de bovenste meter per vegetatiezone in kwelder en zomerpolder van Peazemerlannen. b. Gemiddelde koolstofvoorraad  $\pm$  sd in de bovenste meter in de kwelder van Peazemerlannen (deze studie), het Groningse Uithuizerwad (uit Teunis en Didderen, 2018) en alle bemonsterde kwelders in Nederland (Hoefsloot et al., 2020).

Een locatie met lage kweldervegetatie (Kl) is enkel in het kweldergebied bemonsterd. De koolstofvoorraad in de lage kwelder is hoger dan in de pionierzone. Er is sterke variatie tussen de drie bemonsterde Kl locaties (SEB 14 en 40, en extra locatie BK2). De kwelder met middelhoge kweldervegetatie (Km) bevat de grootste koolstofvoorraad per hectare. De koolstofvoorraad in de zomerpolder met middelhoge kweldervegetatie (Km) is vergelijkbaar met die in de kwelder. De zomerpolder met hoge kweldervegetatie (Kh) daarentegen bevat minder koolstof dan de middelhoge zomerpolder. Deze twee locaties liggen in het westelijk gedeelte van de Peazemerlannen en staan zeer weinig onder water, waardoor de bodem



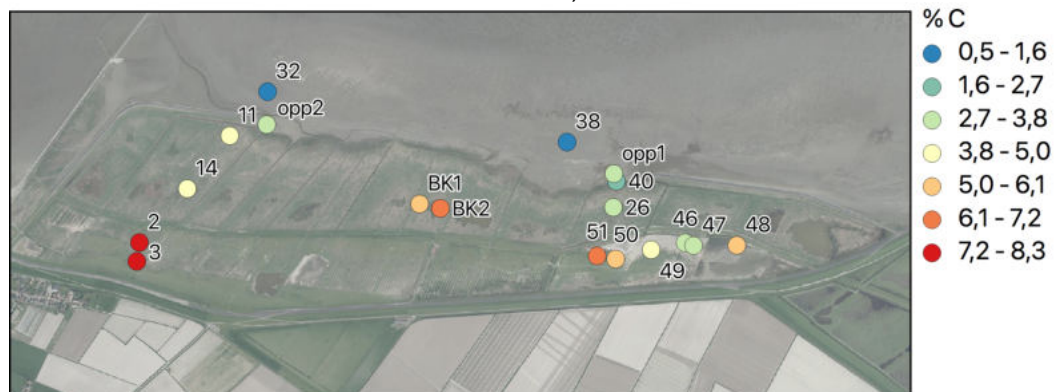
mogelijk meer zuurstof bevat en hierdoor afbraak van organisch materiaal sneller is dan in de middelhoge zomerpolder. De koolstofvoorraad in de kwelder van de Peazemerlannen is lager dan gemeten voor het Uithuizerwad en lager dan het berekende gemiddelde voor alle kwelders in Nederland (figuur 3.1b, Teunis en Didderen 2018, Hoefsloot *et al.*, 2020).

Er is geen sterke ruimtelijke gradiënt in koolstofvoorraad in de Peazemerlannen (figuur 3.2). De locaties in het verkwelderingsgebied (46 t/m 51) bevatten een vergelijkbare koolstofvoorraad. De koolstofvoorraad van de meetpunten in de kwelder heeft een grote variatie (overige meetpunten). De koolstofvoorraad is met name hoog in het westelijk gedeelte van de Peazemerlannen (2, 3, 11, 14 en 32), zowel in de hoge zomerpolder (2 & 3) als in de kwelder.



Figuur 3.2 Koolstofvoorraad in de bovenste meter bodem per bemonsterde locatie (alleen guts bemonsteringen).

Er is een ruimtelijke gradiënt in de fractie organisch koolstof in de bovenste laag van de bodem (figuur 3.3). In het westelijke transect is de fractie organisch koolstof in de bovenste laag tussen de 7 en 8,5% bij de dijk (2 & 3; zomerpolder met middelhoge kweldervegetatie), en slechts 0,5% in de pionierzone (locatie 32). De oppervlaktemonsters bevatten 3% organisch koolstof. Dit verschil tussen oppervlaktemonsters en koolstof in de pionierzone op 5 cm diepte kan een resultaat zijn van de groei van benthische algen aan de oppervlakte (figuur 2.3), en relatief hoge afbraaksnelheid van deze algen waardoor weinig organisch materiaal afkomstig van algen wordt opgeslagen in kwelderbodems (Pomeroy *et al.*, 1981; Boschker *et al.*, 1999; van de Broek *et al.*, 2018).



Figuur 3.3 Fractie organisch koolstof van drooggewicht bodem in de bovenste laag. Dit is 5 cm voor de gutsmonsters en maaiveldhoogte voor de twee oppervlaktemonsters.



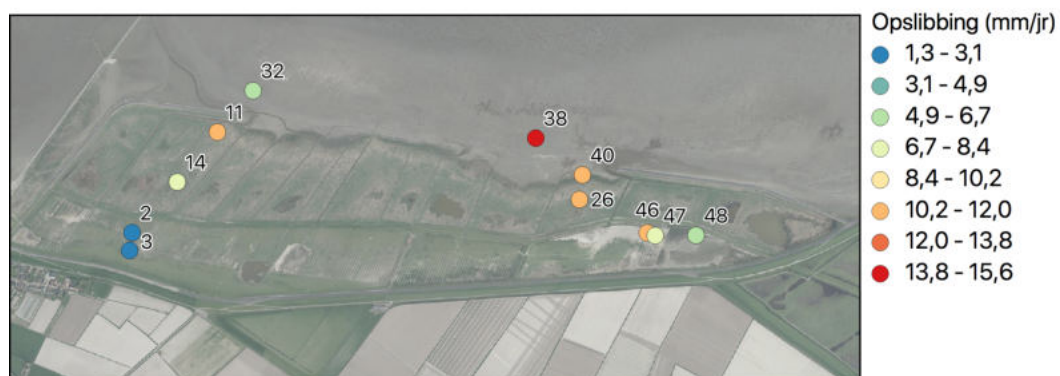
### 3.2 Opslibbingssnelheid in Peazemerlannen

Om de opslibbing in de Peazemerlannen te begrijpen is het nuttig meer van de ontstaansgeschiedenis te weten. De Peazemerlannen liggen grotendeels ingesloten tussen een in 1974-1976 aangelegde deltadijk in het zuiden en een gedeeltelijk weggeslagen bitumen zomerkade (ca. 3,10 m +NAP) in het noorden. Hier evenwijdig aan en er tussenin liggend loopt een groene zomerkade (ca. 2,25 m +NAP). Net zoals de overige kwelders en zomerpolders langs de Friese en Groninger kust is het gebied voornamelijk via landaanwinningstechnieken ontstaan. Op kaarten van het gebied uit 1861 is al te zien dat er drainagegreppels op het wad waren gegraven en een strekdam was gebouwd op de plaats waar deze nu nog te vinden is. Op een kaart uit 1927-1930 zijn al duidelijk de ontstane akkers waar te nemen, maar er ligt dan nog geen zomerkade om het gebied. Deze stamt dus in ieder geval van na deze periode. De hoogtij-jaren voor de landaanwinning, met een grootschalige aanpak bestaande uit rijshoutdammenbouw en grootschalig greppelen, waren ongeveer van 1954 tot 1964. Vanaf 1970 is men met de actieve landaanwinning gestopt (De Raad, 1993).

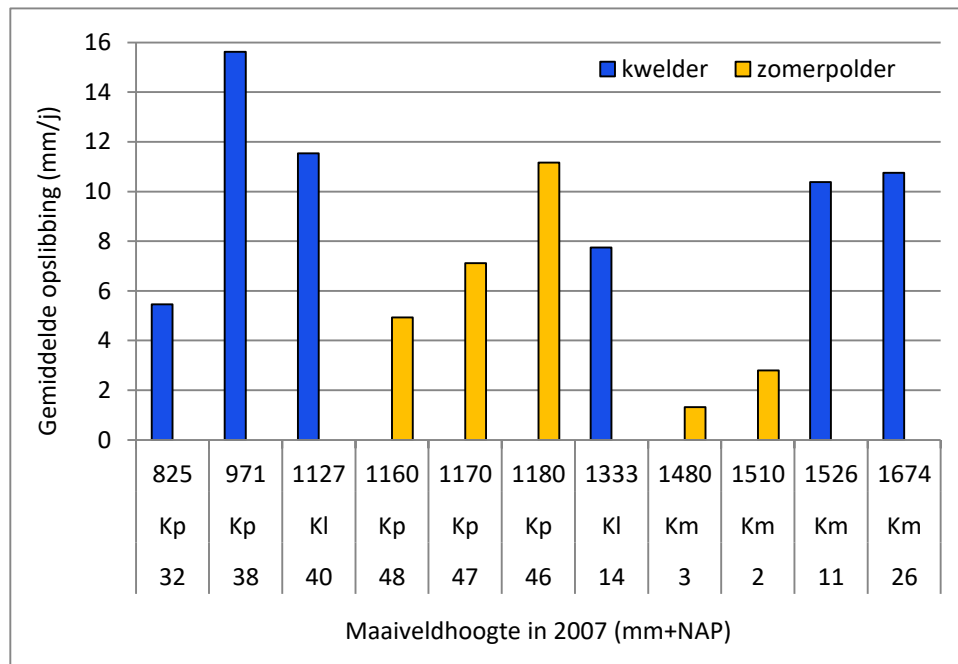
Tijdens een storm in april 1973 heeft er in het midden van de bitumen zomerkade een doorbraak plaatsgevonden. Vanaf dat moment kon er weer sedimentuitwisseling plaatsvinden tussen de Waddenzee en de noordelijke zomerpolder. In het winterseizoen daarop heeft een groot aantal stormvloedten plaatsgevonden waarna herstelpogingen werden gestaakt. In 1979 is een deel van de zomerkade in het westen weggeslagen waarna zich in de noordelijke zomerpolder nog sneller een kwelder kon ontwikkelen.

Deze ontstaansgeschiedenis en de aanwezigheid van zomerkades zijn mede bepalend voor de opslibbing in het gebied.

De meeste SEB-meetpunten liggen binnen de grenzen van het oorspronkelijke gebied, behalve de twee meetpunten in de pionierzone (32 en 38). Bijzonderheid van meetpunt 40 in de lage kwelderzone is dat deze ligt op een locatie waar na het wegslaan van een deel van de bitumen kade eerst erosie heeft plaatsgevonden, maar daarna nieuwe kweldervorming.



Figuur 3.4 Gemiddelde jaarlijkse opslibbing (mm/jaar) tussen 2007 en 2018 op de SEB-meetpunten (meetpunten 49 t/m 51 ontbreken omdat deze punten nieuw zijn).



Figuur 3.5 Gemiddelde opslibbing (2007-2018) en maaiveldhoogte (2007) bij de SEB-meetpunten in de verschillende vegetatiezones in kwelder en zomerpolder waarbij bodemmonsters zijn genomen (zie ook bijlage III).

De opslibbing bij de meetpunten 2 en 3 in het westelijke deel van de zomerpolder is laag en wordt duidelijk beperkt door de zomerkade die het water en sediment van de meeste hoge tijen tegenhoudt (figuur 3.4 en 3.5). Daarnaast vindt er ook beweiding plaats in de zomerpolder waardoor compactie door betreding door vee op kan treden.

De meetpunten in de zomerpolder aan de oostkant (46-48) liggen lager t.o.v. NAP en er vindt minder beweiding plaats. Daarnaast liggen de punten redelijk dichtbij de greppel die het water, dat via de kleine opening door de zomerkade komt, aan en afvoert. Hierdoor wordt er bij deze meetpunten ook meer sediment aangevoerd, waardoor de opslibbing hoger is.

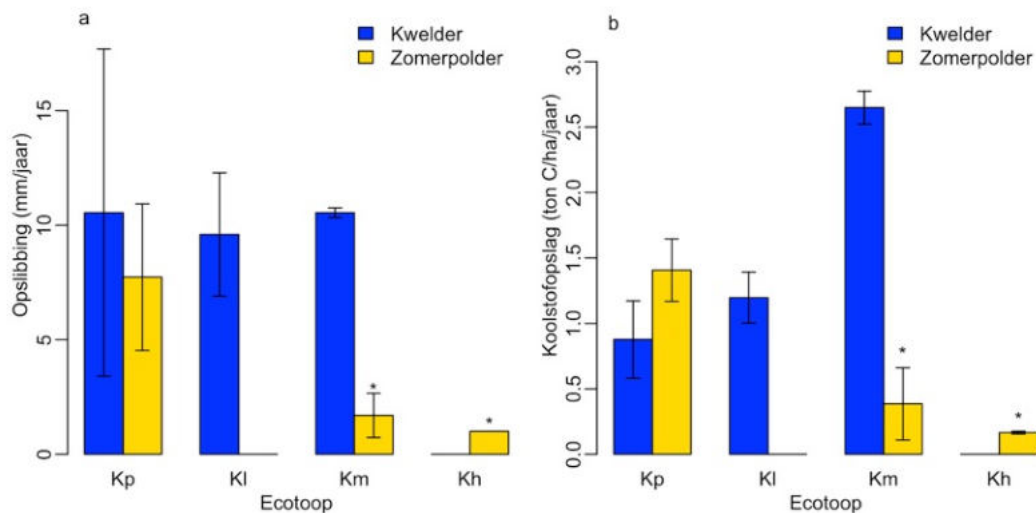
Bij de kweldermeetpunten ligt de gemiddelde opslibbing over de afgelopen 11 jaar bijna overal boven de 10 mm/j. Met name punt 32 op het vrijwel kale wad blijft hierbij iets achter, omdat op deze dynamische locatie vooral in de beginjaren ook wel erosie optrad.



### 3.3 Koolstofvastlegging in kwelder en zomerpolder

Als wordt aangenomen dat opslibbing zorgt voor extra kwelderbodembodem, kan aan de hand van de opslibbingsdata worden berekend hoeveel koolstof per jaar wordt vastgelegd door de gemiddelde opslibbing per jaar te vermenigvuldigen met de gemiddelde hoeveelheid koolstof per millimeter bodem.

Opslibbing was het hoogst in de pionierzone van de kwelder en laagst in de hoge zomerpolder (figuur 3.6a). Op basis van expert judgement is aangenomen dat de opslibbing in het hoge gedeelte van de te verkwelleren zomerpolder 1 mm per jaar was (SEB 49-51 zijn in het najaar van 2019 voor het eerst gemeten, zodat daar nog geen opslibbingsgegevens van bekend zijn). Voor de locaties BK1 en BK2 is geen inschatting gemaakt, dus deze locaties zijn buiten beschouwing gelaten. Als de opslibbingsdata worden vermenigvuldigd met de gemiddelde hoeveelheid koolstof per millimeter bodem, komt naar voren dat de jaarlijkse koolstofvastlegging per hectare het hoogst is in de middelhoge kwelder en het laagst in de hoge zomerpolder (figuur 3.6b).

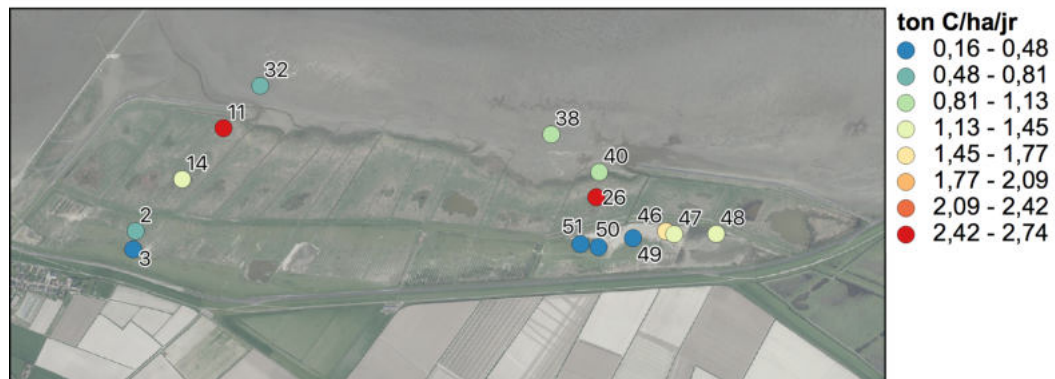


Figuur 3.6 a. Opslibbing per vegetatiezone in de kwelder en in de zomerpolder. De balken waarbij opslibbing is aangenomen zijn gemarkeerd met een asterisk (\*). b. Koolstofopslag per vegetatiezone in de kwelder en de zomerpolder, gemiddelde  $\pm$  sd. Hierbij is uitgegaan van de gemiddelde opslibbing over de afgelopen 10 jaar, en gemiddelde koolstofvoorraad per millimeter. De balken waarbij opslibbing is aangenomen zijn gemarkeerd met een asterisk (\*).

In tegenstelling tot de koolstofvoorraad per locatie (figuur 3.2) lijkt er een ruimtelijke trend te zijn in de gemiddelde koolstofopslag per locatie (figuur 3.7). Locaties met hoge kweldervegetatie (3, 49-51) hadden de laagste berekende koolstofvastlegging. Hoewel bij deze locaties de koolstofconcentraties in de bovenste laag van de bodem hoog was (figuur 3.3), was de opslibbing laag, waardoor er netto jaarlijks weinig koolstof bij komt. De locaties die zich in de pionierzone bevonden (32 en 38) hadden relatief lage koolstofvastlegging. Doordat er weinig begroeiing is in de pionierzone van de kwelder, is de koolstofconcentratie in de bodem laag, waardoor de jaarlijkse koolstofopslag relatief



laag is. De hoogste koolstofopslag is berekend voor de locaties 11 en 26. Dit zijn beide locaties met middelhoge kweldervegetatie en vrij hoge opslibbing (figuur 3.5).



*Figuur 3.7 Potentiele koolstofopslag op basis van jaarlijkse gemiddelde opslibbing per bemonsterde locatie. De drie locaties in het middelhoge gedeelte van de te verkwelderden polder (49 t/m 51) zijn berekend met de aanname dat opslibbing daar 1 mm/jaar is.*

In de te verkwelderden zomerpolder in het oosten is de koolstofopslag hoger in het deel met secundaire pioniervegetatie dan in het hoger gelegen midden tot hoge kwelder gedeelte, waarbij aangenomen is dat de opslibbing hier 1 mm/jaar is vanwege het ontbreken van actuele opslibbingsdata. Dit komt overeen met de waarden voor koolstofopslag van de middelhoge zomerpolder in het westelijk gedeelte. Deze twee locaties hebben door zeer lage opslibbingssnelheden ook een lage jaarlijkse koolstofopslag.

### 3.4 Additionele koolstofvastlegging

Als we er van uit gaan dat opslibbing in het verkwelderingsgebied vergelijkbaar zal zijn met opslibbing in de huidige kwelder, zal de opslibbing sterk toenemen (Tabel 3.1). Opslibbing zorgt ervoor dat de dikte van de kwelder groeit, waardoor er extra koolstof wordt opgeslagen. Er komt immers een nieuwe laag met sediment, planten- en algenmateriaal bovenop. De jaarlijkse koolstofopslag zal als gevolg van deze verhoogde opslibbing toenemen in het verkwelderingsgebied, waardoor er gemiddeld 0,86 ton C/ha/jaar extra zal worden vastgelegd (Tabel 3.1). Het gebied bestaat uit ongeveer 20 hectare, waardoor het verkwelderden van dit gebied tot 17 ton C per jaar extra koolstofvastlegging zal leiden. Dit komt overeen met 63 ton CO<sub>2</sub>, evenveel als 3150 bomen in een jaar kunnen vastleggen.

In werkelijkheid zal de opslibbing in de te verkwelderden zomerpolder waarschijnlijk lager liggen, doordat het water en sediment via een (relatief smalle) opening in de zomerkade het gebied gaat binnenstromen. Het sediment zal daardoor vooral via de kreek komen, waardoor opslibbing beperkt wordt en mogelijk wel 50% lager ligt dan in de kwelder. Hierdoor zal ook de toekomstige koolstofvastlegging in dit gebied waarschijnlijk lager liggen dan in de rest van de kwelder. Bij de proefverkweldering in het Noarderleegh bleek na 10 jaar dat de gemiddelde opslibbing in de verkweldering ongeveer 30% betrof van die in de voorliggende kwelder (Esselink *et al.*, 2015). De kwelder is daar echter veel breder dan in



de Peazemerlannen, waardoor veel sediment al bezonken is voor het bij de verkwallering is aangekomen.

*Tabel 3.1 Gebruikte informatie voor het voorspellen van de koolstofvastlegging in de te verkwalleren zomerpolder. Dit zijn gemiddeldes van alle locaties in de kwelder en zomerpolder.*

<b>Deelgebied</b>	<b>Opslibbing (mm/jr)</b>	<b>Koolstofopslag (ton C/ha/jr)</b>	<b>Koolstofopslag (ton CO<sub>2</sub>-eq /ha/jr)</b>
Kwelder	10,2 ± 3,4	1,57 ± 0,86	5,77 ± 3,16
Zomerpolder	3,8 ± 3,7	0,71 ± 0,63	2,61 ± 2,25
<b>Extra vastlegging in zomerpolder</b>	<b>6,4</b>	<b>0,86</b>	<b>3,16</b>





## 4 Inrichting en beheer

### 4.1 Inrichting

De zee krijgt toegang tot het te verkwelderden gebied door het open maken van de zomerkade. Hoe groter de instroomopening in de zomerkade hoe meer water en sediment de zomerpolder binnen kan stromen. In de lage delen wordt de meeste opslibbing verwacht, omdat die het vaakst door water met sediment overstroomd worden. Als de ontwatering van de lage delen beperkt is, kan er water blijven staan waardoor een secundaire pioniervegetatie met dominantie van schorrenkruid ontstaat (figuur 2.2). Dit gebeurt nu al in de zomerpolder, locaties 46-48 worden gekenmerkt door secundaire pioniervegetatie. De laagste delen kunnen een onbegroeide bodem hebben. Indien daar permanent water staat (regen- en/of zeewater) kan de bovenste sedimentlaag 'verweken' en tijdens een hoog tij makkelijk verplaatst worden binnen het systeem. Bij opdrogen van een poel kan de kale grond sterk uitdrogen en inklinken.

Als de ontwatering via krekken beter is, kan gewoon kweldergras zich vestigen. Kweldergras houdt het sediment goed vast omdat er het gehele jaar levende wortels in de kwelderbodem groeien. De hoogtegroei van het verkwelderingsgebied kan dan verder toenemen. De hoge delen van de zomerpolder worden weliswaar minder vaak overstroomd, maar als dat wel gebeurt wordt het sediment ook meteen vastgelegd door de aanwezige grazige vegetatie. Kanttekening hierbij is dat als de opslibbing snel(ler) gaat ook de vegetatiesuccessie sneller gaat en er op korte termijn een dominantie van zeekweek kan ontstaan.

De water- en sedimenttoevoer in het verkwelderingsgebied kan beïnvloed worden door de geul in de kwelder door te graven tot in de zomerpolder. De in de huidige situatie slecht ontwaterende delen kunnen dan beter ontwateren, waardoor gewoon kweldergras zich kan vestigen en de opslibbing toeneemt. Dit is gunstig voor de vastlegging van koolstof, maar kan op termijn minder gunstig zijn voor de biodiversiteit van het verkwelderingsgebied vanwege de daaraan gekoppelde vegetatiesuccessie. Verder kan door de aanleg van een (brede) geul in het te verkwelderden deel van de zomerpolder een oeverwal ontstaan, wat ruimtelijke variatie geeft. Daarnaast zal, afhankelijk van de dimensies bij aanleg, enige erosie of dichtslibbing plaatsvinden tot er een evenwicht is bereikt. Dit was de ervaring in de proefverkweldering Noard-Fryslân Bûtendyks (Esselink *et al.*, 2015). Daar werd ook geconstateerd dat het (gedeeltelijk) dichtgooien van detailontwatering kan leiden tot vernatting en secundaire pioniervegetatie. Dit kan daarom beter achterwege worden gelaten en bovendien zal er op termijn een schifting plaatsvinden tussen functionele en overbodige afwateringsstructuren. De eerste zullen dieper en smaller worden en de tweede categorie zal dichtslibben. Het overdimensioneren van geulen bij aanleg is niet erg omdat ze door natuurlijke processen vanzelf dichtslibben en smaller en soms dieper worden, zoals ook bij de proefverkweldering in het Noarderleegh het geval was.

Op het voorliggende wad ligt op dit moment geen (diepe) natuurlijke kreek dichtbij waar een nieuwe gegraven geul makkelijk op aan zou kunnen takken. Priel- en kreekvorming op



het kale wad gaat normaal gesproken echter vrij makkelijk, wat een voordeel is ten opzichte van een begroeide kwelder of zomerpolder, waar het een zeer langdurig proces kan zijn voor water om een kreek uit te slijten (Van Duin *et al.*, 2019). Daarnaast ontstaat er na de verkweldering ca. 20 ha extra komberging, waardoor er meer water door de geul aan- en afgevoerd wordt. Of met name het stuk van de geul van wad naar zomerpolder aan de wadzijde open zal blijven of snel zal dichtslibben, omdat op het uitgestrekte voorliggende wad niet aangetakt kan worden bij een kreek is echter moeilijk te voorspellen.

Het graven van geulen op het kale wad heeft meestal niet veel zin, want als ze niet al aanwezig waren was er ook geen functie voor ze. Daarom slibben gegraven geulen op het wad over het algemeen snel dicht.

## 4.2 Beheer

Omdat successie het meest voorkomende beeld is op de Nederlandse kwelders wordt beweiding ingezet om de biodiversiteit te behouden of te verbeteren (Davidson *et al.*, 2017). Hierbij wordt een variabel beweidingsregime waarbij langere periodes (5-10 jaar) met extensieve en intensieve beweiding worden afgewisseld als meest gunstig gezien om dominantie van zeekweek tegen te gaan en biodiversiteit optimaal te houden (Esselink *et al.*, 2019).

Beweiding van kwelders heeft mogelijk ook een effect op de koolstofvoorraad en -opslag in de kwelderbodem. Grote grazers als koeien verwijderen bovengrondse vegetatie, waardoor een relatief groter gedeelte van de biomassa ondergronds is. Daarnaast wordt door beweiding de bodem aangedrukt (compactie), wat de zuurstofloze omstandigheden in de bodem verhoogt. In de momenteel grotendeels onbeweide kwelder van de Peazemerlannen is de bodemdichtheid van de eerste 20 cm relatief laag (0,6-0,8 g/cm<sup>3</sup>), wat betekent dat aanstamping door vee zal zorgen voor compactie van de bovenste twintig cm bodem. Hierdoor kunnen afbraakprocessen in de bodem langzamer verlopen, waardoor netto meer organisch koolstof in de bodem behouden blijft. Compactie van de bodem door beweiding verlaagt niet alleen de beschikbaarheid van zuurstof in de bodem, maar ook de drainagecapaciteit. Zowel de vernatting die daardoor kan optreden als de zuurstofloosheid zijn zeer nadelig voor de bodemfauna (Schrama *et al.*, 2013ab; Van Klink *et al.*, 2015ab) en in sommige gevallen ook voor de vegetatie als er water blijft staan (Nolte *et al.*, 2013, 2015; Esselink *et al.*, 2019). Compactie is grotendeels irreversibel en als een gebied eenmaal beweid is geweest, ook al was dat tijdelijk, blijven de gevolgen permanent aanwezig.

Op Schiermonnikoogse kwelders is aangetoond dat beweiding door koeien zorgt voor meer koolstofvastlegging dan begrazing door enkel kleine grazers als hazen en ganzen (Elschot *et al.* 2015). Harvey *et al.* (2019) vonden echter dat het effect van begrazing op koolstofvoorraad in kwelders in Engeland minimaal is vergeleken met andere processen die organisch bodemkoolstof beïnvloeden, zoals opslibbing.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusie

#### *Huidige koolstofvoorraad in de Peazemerlanden:*

De gemeten koolstofvoorraad is het hoogst in het kweldergebied met middelhoge kweldervegetatie, en het laagst in de pionierzone van de kwelder (tabel 5.1). Deze lage koolstofvoorraad in de pionierzone komt omdat er weinig vegetatie groeit, waardoor er weinig koolstofvastlegging plaatsvindt. In de zomerpolder zijn de verschillen in koolstofvoorraad lager, met name omdat de pionierzone een secundair pioniergebied is, waardoor de koolstofvoorraad hoger is. De gemiddelde koolstofvoorraad in de kwelder is 173 ton C/ha en in de zomerpolder 195 ton C/ha.

Tabel 5.1 Gemiddelde koolstofwaarden van kwelder en zomerpolder.

Deelgebied	C voorraad kwelder (ton C/ha)	C voorraad zomerpolder (ton C/ha)
Pionierzone	96	195
Lage kwelder	171	-
Middelhoge kwelder	225	215
Hoge kwelder	-	165
<b>Gemiddeld</b>	<b>173</b>	<b>195</b>

#### *Potentiele additionele koolstofvastlegging in de zomerpolder als gevolg van opslibbing en kwelderontwikkeling:*

- In het te verkwelder gebied van 20 ha zal jaarlijks 63 ton CO<sub>2</sub> extra worden vastgelegd, bovenop de huidige jaarlijkse vastlegging van 52 ton CO<sub>2</sub> per jaar. De verwachte extra koolstofvastlegging door verkweldering van de zomerpolder komt overeen met de jaarlijkse koolstofvastlegging van 9,5 hectare gemengd bos in Nederland (Coenen *et al.* 2016), of met de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 281.000 km autorijden of 441 keer naar Parijs vliegen (Climate Neutral Group, 2018).
- De grootste koolstofvoorraad gemeten is in de middelhoge kwelder. Dit betekent dat de grootste potentiële opslagmogelijkheden zitten in de laagste delen van het verkweldingsgebied. Deze zal immers door opslibbing doorontwikkelen naar middelhoge kwelder.
- De opslibbing zorgt voor een toenemende hoogteligging. Naarmate de kwelder groeit neemt de opslibbingssnelheid en dus ook de koolstofvastlegging af.
- Door kliferosie (een natuurlijk proces dat hoort bij de dynamische kwelder) kan koolstof weer uit de kleilaag vrijkomen.
- De potentiële koolstofvastlegging is het hoogst bij nieuwe kweldervorming vanuit de wadsituatie.



*Inrichtings- en beheermaatregelen die bijdragen aan de verkweldering en koolstofvastlegging in de Peazemerlannen:*

- Door de verkweldering zal de opslibbing naar verwachting toenemen. De mate waarin zal afhangen van de water- en sedimentuitwisseling en daardoor (deels) van het uiteindelijke ontwerp van kreek en opening in de zomerkade.
- Wat gunstig is voor de koolstofopslag is niet per se goed voor de biodiversiteit van het verkweldingsgebied. De hoogtegroeï zorgt voor veel koolstofvastlegging maar ook voor een minder dynamische situatie met dominantie van zeekweek.
- De beoogde beweiding is gericht op de zeekweekzone met als doel de vegetatiesuccessie terug te dringen en een groter oppervlak jonge successiestadia te krijgen. Het effect van beweiding op de koolstofvoorraad in de bodem en de koolstofopslag is op basis van de huidige kennis niet goed te bepalen.

## 5.2 Aanbevelingen

Er kunnen op dit moment alleen algemene aanbevelingen worden gedaan voor inrichting en beheer omdat er nog geen definitief ontwerp is.

- Graafwerk in begroeid kweldergebied kan zorgen voor vrijkomen van de huidige koolstofvoorraad. Aanbevolen wordt de hoeveelheid graafwerk zo beperkt mogelijk houden.
- Beweiding heeft irreversibele compactie tot gevolg met onbekend effect op koolstofvoorraad en opslag. Aanbevolen wordt om de effecten van beweiding op de koolstofbalans te monitoren door het uitvoeren van hoogte- en koolstofmetingen.
- Het kan zeer lang kan duren voordat een kreek zich door de nu aanwezige vegetatie in de te verkwelleren zomerpolder op natuurlijke wijze een weg heeft uitgesleten naar de laaggelegen delen. Daarom wordt aanbevolen een geul te graven tot in de poelen (en eventueel andere laagtes). Hiermee wordt voorkomen dat de in de huidige situatie aanwezige ondiepe poelen (met name die in de oostpunt) moeilijk bereikbaar zijn voor sediment. Tevens wordt voorkomen dat de poelen die achter in het gebied liggen geïsoleerd raken en niet meer kunnen ontwateren. De ontwatering en opslibbing die na het graven van een geul zullen optreden zijn waarschijnlijk gunstig voor de aanvullende koolstofvastlegging.
- De in dit rapport uitgewerkte koolstof-metingen hebben betrekking op de nulsituatie (vóór het uitvoeren van de verkweldering). Aanbevolen wordt om over 5 jaar een herhalingsmeting te doen om zo een eventueel effect van de ingreep te kunnen bepalen. De opslibbingsmetingen met behulp van de Sedimentatie-Erosie-Balk vallen momenteel onder de jaarlijkse monitoring in het kader van het bodemdalingsonderzoek naar aanleiding van de gaswinning bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, en zullen dus gebruikt kunnen worden voor de evaluatie.
- Er zijn verschillen tussen de gemeten koolstofvoorraad en -vastlegging in Peazemerlannen en het Uithuizerwad, waardoor de huidige waarden geen eenduidig beeld geven voor alle vastelandskwelders in de Waddenzee. Om een beter beeld te krijgen van de hoeveelheid koolstof die in de kwelders langs de Waddenzee is opgeslagen zouden aanvullende metingen kunnen worden verricht



in enkele vastelandskwelders waar ook opslibbingsgegevens van bekend zijn, bv, Holwerd-oost en Noord-Friesland Buitendijks.

- Tot slot wordt aanbevolen om het doel en streefbeeld van het project 'Wij en Wadvogels' (in ieder geval) met betrekking tot beweiding, de verkweldering en additionele koolstofopslag duidelijk en toetsbaar te omschrijven en te monitoren, zodat de effecten van het aangepaste beheer en inrichting zinvol geëvalueerd kunnen worden.



## Literatuur

- Boschker, H.T.S, J.F.C de Brouwer & T.E. Cappenberg, 1999. The contribution of macrophyte-derived organic matter to microbial biomass in salt-marsh sediments: Stable carbon isotope analysis of microbial biomarkers. *Limnology & Oceanography* 44(2), pp 309-319.
- Van de Broek, M, S. Temmerman, R. Merckx & G. Govers, 2016. Controls on soil organic carbon stocks in tidal marshes along an estuarine salinity gradient. *Biogeosciences* 13, pp 6611-6624.
- Climate Neutral Group, 2018. Review Emissiefactoren 2018. <https://www.climateneutralgroup.com/wp-content/uploads/2018/04/20180202-CNG-Review-emissiefactoren-2017-2018-toelichting-DEF.pdf>
- Coenen, P.W. H.G., C.W.M. van der Maas, P.J. Zijlema, E.J.M.M. Arets, K. Baas, A.C.W.M. van den Berghe, M.M. Nijkamp, E.P. van Huis, G. Geilenkirchen, C.W. Versluijs, R. te Molder, R. Dröge, J.A. Montfoort, C.J. Peek, J. Vonk & S. Oude Voshaar, 2016. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2014. National Inventory Report 2016. RIVM Report 2016-0047, 349 p.
- Davidson K.E., M.S. Fowler, M.W. Skov, S.H. Doerr, N. Beaumont & J.N. Griffin, 2017. Livestock grazing alters multiple ecosystem properties and services in salt marshes: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 54: pp 1395-1405.
- Van Duin, W.E., 2019. Kweldermonitoring in de Peazemerlannen en het refetentiegebied West-Groningen: Evaluatierapport 2007-2018. *Artemisia-rapport 2019-02. Artemisia-kwelderonderzoek, Den Helder.* 79 p.
- Van Duin, W.E., K.S. Dijkema & P.-W. van Leeuwen, 2008. Jaarrapportage 2007: Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en referentiegebied west-Groningen. Rapport Wageningen Imares, Texel. 26 p.
- Van Duin, W.E., P. Esselink & K. Elschot, 2019. Vastelandskwelders Waddenzee: dynamiek en diversiteit door beheer en inrichting. *Artemisia-rapport 2018-01, Artemisia-kwelderonderzoek, Den Helder.* 70 p.
- Elschot K, J.P. Bakker, S. Temmerman, J. van de Koppel & T.J. Bouma, 2015. Ecosystem engineering by large grazers enhances carbon stocks in a tidal salt marsh. *Marine Ecology Progress Series* 537: pp 9-21.
- Esselink, P., D. Bos, P. Daniels, W.E. van Duin & R.M. Veeneklaas, 2015. Van polder naar kwelder: tien jaar kwelderherstel Noorderleech. Puccimar-rapport 06, Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries, A&W-rapport 1901, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden. 158 p. + bijlagen.
- Esselink, P., W.E. van Duin & A. Wielemaker, 2019. Variatie op de kwelder door beweiding: een handreiking aan natuurbeheerders. Puccimar rapport 15, Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 83 p.
- Hoefsloot, G., H.A. van der Jagt & W.E. van Duin, 2020. Blue Carbon in Nederlandse kwelders. Kansen voor extra CO2 vastlegging in kwelders. Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-028. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Harvey, R.J., A. Garbut, S.J. Hawkins & M.W. Skov, 2019. No detectable broad-scale effect of livestock grazing on soil blue carbon stock in salt marshes. *Front. Ecol. Evol.* 7:151. Doi: 10.3389/fevo.2019.00151.
- Instrument Slimmer Landgebruik: Bos, Natuur, Hout pilots voorstel KE2019. Projectenportfolio in reactie op het Klimaatakkoord 2017 met daarin 'Landbouw en Landgebruik'.



- Van Klink, R., M. Schrama, S. Nolte, J.P. Bakker, M.F. WallisDeVries & M.P. Berg, 2015a. Defoliation and soil compaction jointly drive large-herbivore grazing effects on plants and soil arthropods on clay soil. *Ecosystems* 18: 671–685.
- Van Klink, R., F. van der Plas, C.G.E. van Noordwijk, M.F. WallisDeVries & H. Olf, 2015b. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biological Reviews* 90: 347–366.
- Londo, G., 1975. Decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. *Gorteria* 7: 101-106.
- Martin, J.H., G.A. Knauer, D.M. Karl & W.W. Broenkow, 1987. VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. *Deep-Sea Research* 34 (2): 267-285
- Nolte, S., F. Müller, M. Schuerch, A. Wanner, P. Esselink, J.P. Bakker & K. Jensen, 2013. Does livestock grazing effect sediment deposition and accretion rates in saltmarshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135: 296-305.
- Nolte, S., P. Esselink, J.P. Bakker & C. Smit, C., 2015. Effects of livestock species and stocking density on accretion rates in grazed salt marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 152: 109-115.
- Pomeroy, L. R., W. M. Darley, E.L. Dunn, J.L. Gallagher, E.B. Haines & D.M. Whitney, 1981. Primary Production. In: Pomeroy L.R., Wiegert R.G. (eds) *The Ecology of a Salt Marsh. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol 38. Springer, New York, NY.
- De Raad, H., 1993. *De dijk op hoogte*. Waterschap Fryslân, Harlingen. 143 p.
- Schrama, M., P. Heijning, J.P. Bakker, H.J. van Wijnen, M.P. Berg & H. Olf, 2013a. Herbivore trampling as an alternative pathway for explaining differences in nitrogen mineralization in moist grasslands. *Oecologia* 172: 231–243.
- Schrama, M., G.F. Veen, E.S. Bakker, J.L. Ruifrok, J.P. Bakker & H. Olf, 2013b. An integrated perspective to explain nitrogen mineralization in grazed ecosystems. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15: 32– 44.
- Teunis, M. & K. Didderen, 2018. *Blue Carbon in Nederlandse kwelders. Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten*. Bureau Waardenburg Rapportnr. 18-301. Bureau Waardenburg, Culemborg.



## Bijlage I Coördinaten monsterpunten bodem en slib

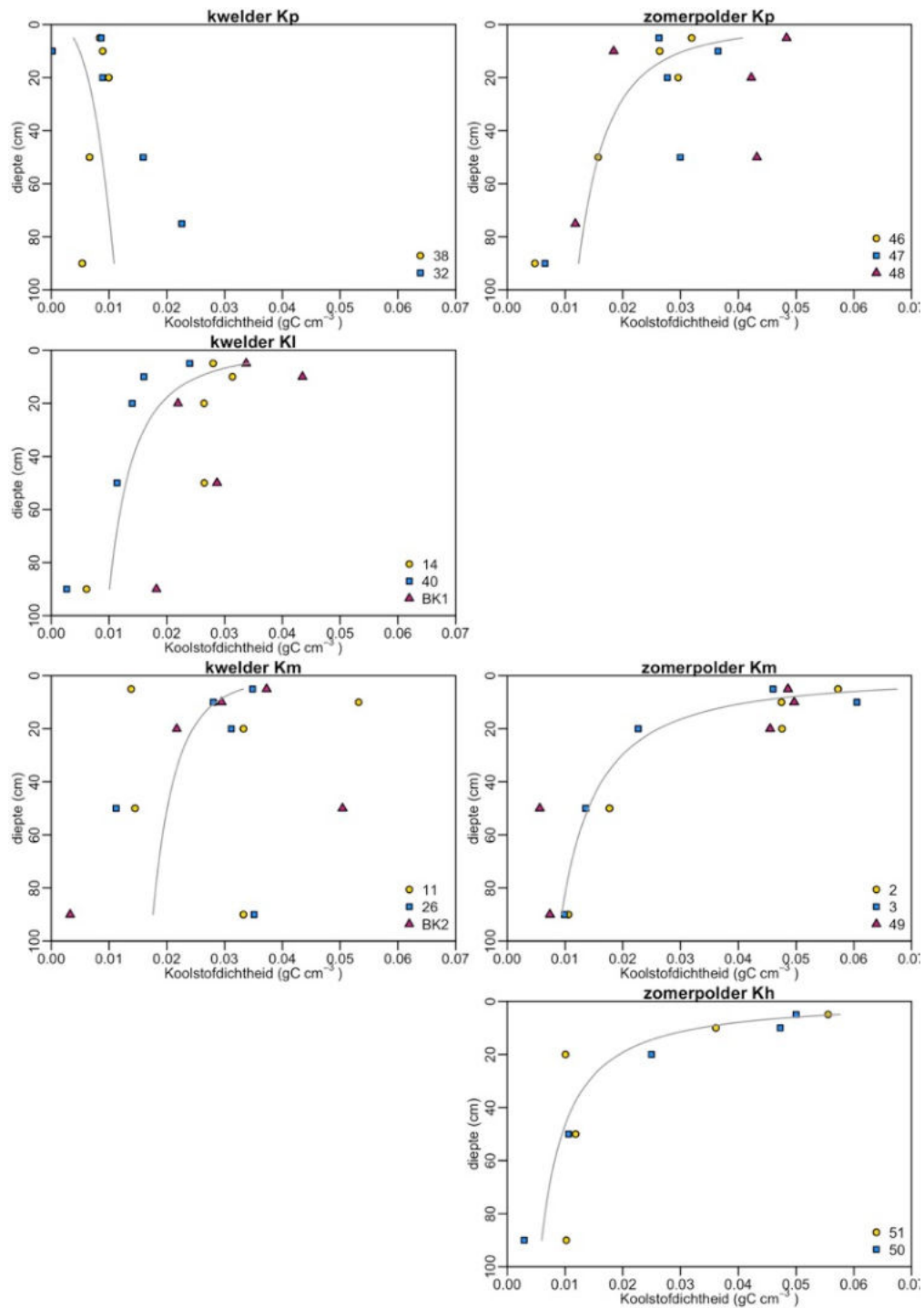
X c	Y c	SEB nr	Diepte totaal cm	5cm	10cm	20cm	50cm	xxcm
204325	602095	48	90	v	v	v	v	75
204157	602094	47	95	v	v	v	v	90
204124	602105	46	95	v	v	v	v	90
203992	602078	49	95	v	v	v	v	90
203854	602042	50	95	v	v	v	v	90
203782	602054	51	100	v	v	v	v	90
203845	602242	26	90	v	v	v	v	90
203857	602343	40	100	v	v	v	v	90
203665	602494	38	100	v	v	v	v	90
203092	602255	BK1	100	v	v	v	v	75
203173	602238	BK2	100	v	v	v	v	90
202501	602689	32	80	v	v	v	v	75
202354	602519	11	90	v	v	v	v	90
202189	602314	14	100	v	v	v	v	90
202003	602106	2	100	v	v	v	v	90
201993	602033	3	100	v	v	v	v	90
203847	602372	opp1	0					0
202498	602562	opp2	0					0





## Bijlage II Koolstofgehalte diepteprofiel in Peazemerlannen

Overzicht van de koolstofgehalte diepteprofielen van de bemonsterde ecotopen op de kwelder (links) en in de zomerpolder (rechts).





## Bijlage III Kenmerken SEB-meetpunten

Meetpunt	Vegetatiezone 2018	Vegetatie code 2018	Hoofdsort(en) 2018/*2019	Maaiveldhoogte 2007/2019* (mm NAP)	Opslibbing 2007-2018 (mm/jaar) <sup>a</sup>	Opslibbing 1996-2007 (mm/jaar) <sup>b</sup>
32	Pionierzone	Kp	Kaal	825	5.5	-
38	Pionierzone	Kp	Zeekraal	971	15.6	-
14	Lage kwelder	Kl	Kweldergras, Zoutmelde, Zeeaster, Gewoon schorrenkruid	1333	7.7	12.1
40	Lage kwelder	Kl	Zeekraal, Engels slijkgras, Kweldergras, Lamsoor, Schorrenzoutgras	1127	11.5	-
-	Lage kwelder	Kl	* Kweldergras (c)	-	-	-
11	Hoge kwelder	Km	Zeekweek, Strandmelde	1526	10.4	14.0
26	Hoge kwelder	Km	Zeekweek	1674	10.7	17.9
-	Hoge kwelder	Km	* Zeekweek (c)	-	-	-
46	Zomerpolder	Kp	Gewoon schorrenkruid	1180	11.2	-
47	Zomerpolder	Kp	Gewoon schorrenkruid, Zeekraal	1170	7.1	-
48	Zomerpolder	Kp	Gewoon schorrenkruid, Zeekraal	1160	4.9	-
2	Zomerpolder	Km	Rood zwenkgras, Fioringras, Zeealsem	1510	2.8	0.6
3	Zomerpolder	Km	Fioringras, Rood zwenkgras, Zilte rus	1480	1.3	1.8



49	Zomerpolder	Km	* Kweldergras, Fioringras, Rood zwenkgras	1542 *	-	-
50	Zomerpolder	Kh	* Rood zwenkgras, Fioringras, Veldgerst	1520 *	-	-
51	Zomerpolder	Kh	* Rood zwenkgras, Fioringras, Veldgerst	1783 *	-	-

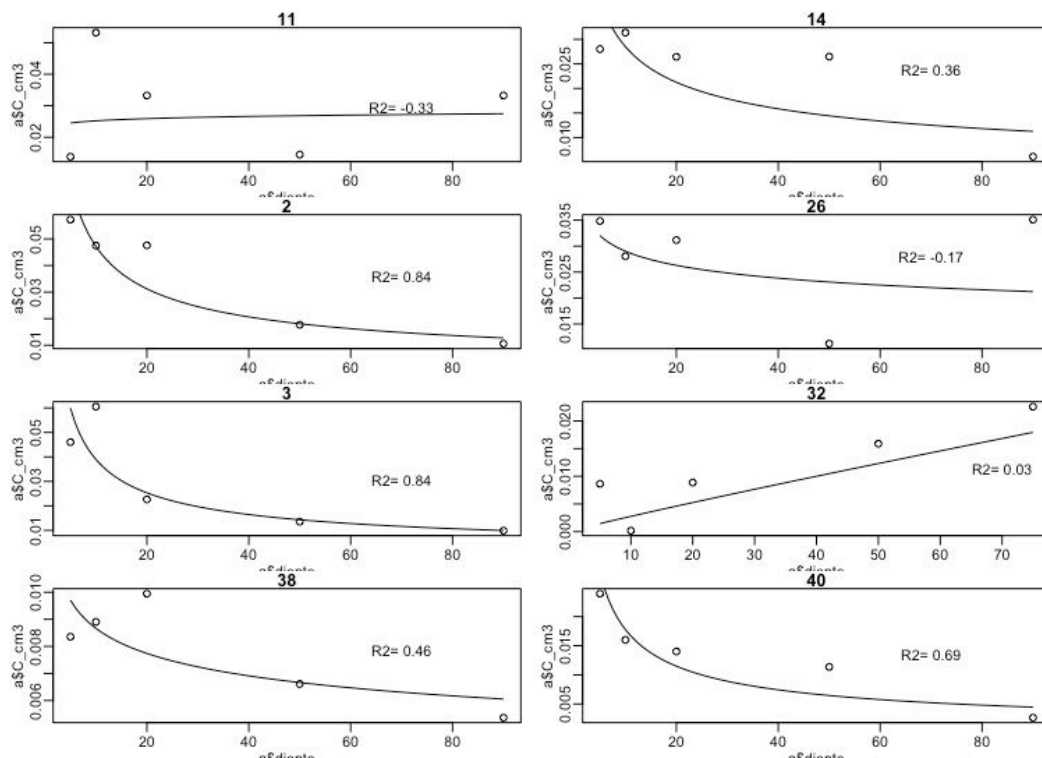
(<sup>a</sup> Van Duin, 2019; <sup>b</sup> Van Duin *et al.*, 2008).

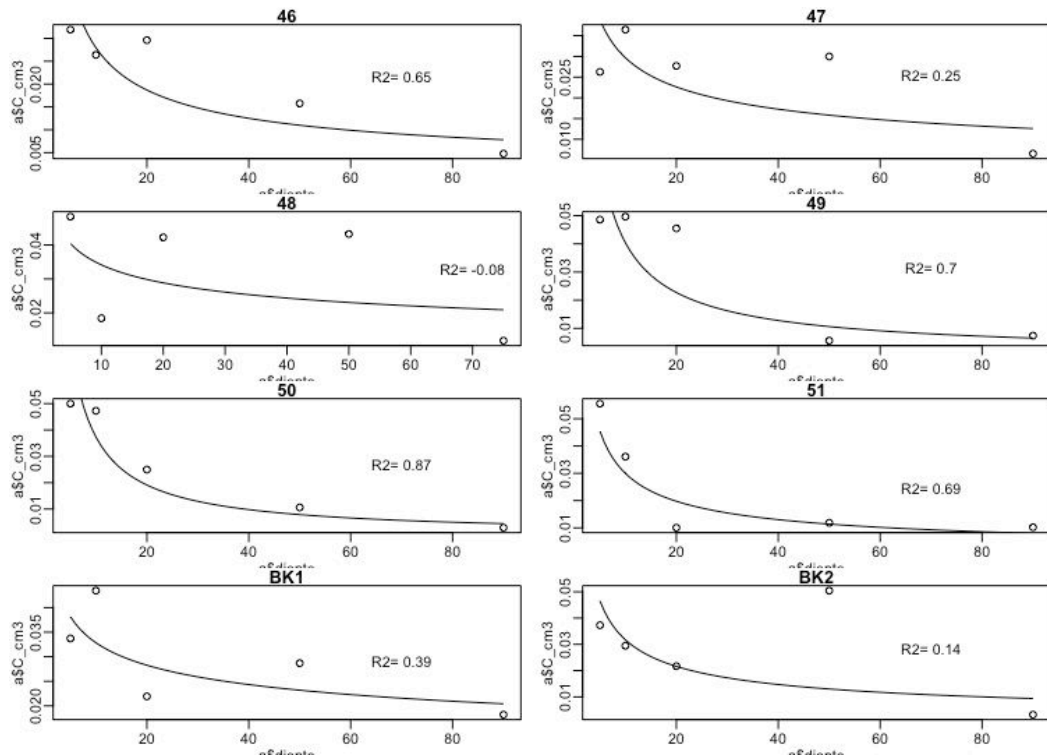
(c) Meetpunten in beoogde te beweiden kwelder. Hier zijn geen SEB-meetpunten, maar is wel een bodemmonster genomen.



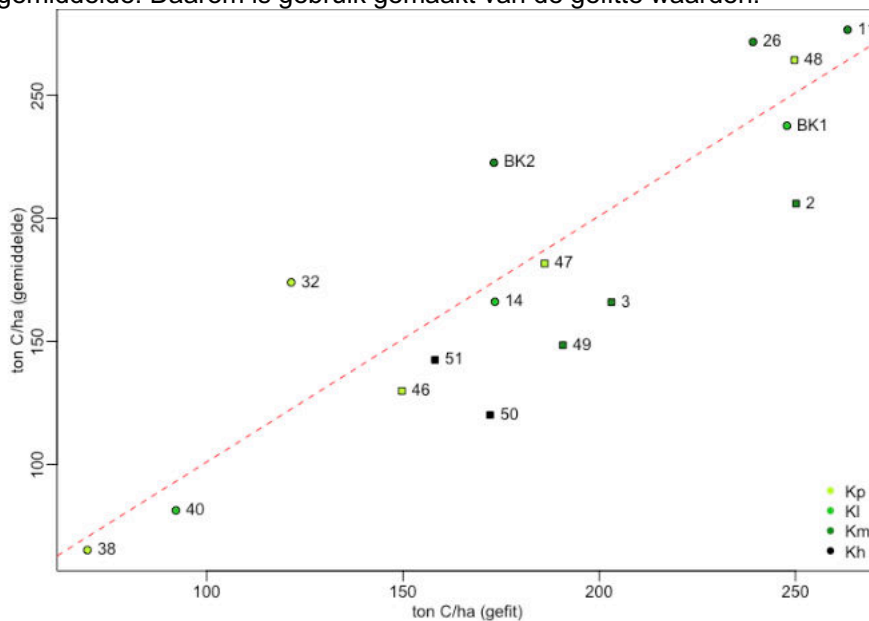
## Bijlage IV Berekenen van de koolstofvoorraad

De koolstofvoorraad van Peazemerlannen is berekend aan de hand van de dichtheid van de monsters (gram drooggewicht per  $\text{cm}^3$ ), de fractie organisch koolstof van de droge stof (%C) en het fitten van een curve door het aantal gram koolstof per  $\text{cm}^3$  bodem over de diepte. Deze methode wordt veel gebruikt om koolstofexport in de oceaan te berekenen (de zogenaamde Martin's Curve, zie Martin *et al.* 1987). In deze methode wordt aangenomen dat de bovenste laag veel koolstof bevat dat snel wordt afgebroken en dat zowel de hoeveelheid koolstof en de afbraaksnelheid afneemt met de diepte. In het geval van kwelderbodems is het waarschijnlijk dat de hoeveelheid koolstof het hoogst is in de bovenste laag en dat hier ook de hoogste afbraaksnelheden zijn vanwege de beschikbaarheid van zuurstof. In de Peazemerlannen geldt dit voor een groot deel van de locaties, maar een aantal locaties hebben een afwijkend profiel (11 & 32). Deze locaties zijn afwijkend omdat er ofwel een lage koolstofconcentratie op 5 cm diepte is gevonden (SEB 11, Km), ofwel een hoge concentratie op 50 en 80 cm (SEB32, Kp).





Een andere manier om de hoeveelheid koolstof in de bodem te bepalen is door het gemiddelde te berekenen, en dit vervolgens te vermenigvuldigen over de diepte (1 m). Tijdens onze monitoring hebben we echter de monsters niet evenredig over de diepte verdeeld. Daarom zou gebruik gemaakt kunnen worden van een gewogen gemiddelde. Hiervan is echter het nadeel dat diepe monsters (waarbij het interval dus groot is) met hoge koolstofconcentraties een onevenredig groot effect hebben op het gemiddelde. Daarnaast is er geen sterk verschil tussen de koolstofschatting op basis van fitten of van een gewogen gemiddelde. Daarom is gebruik gemaakt van de gefitte waarden.





Bureau Waardenburg bv  
Onderzoek en advies voor ecologie en landschap  
Varkensmarkt 9, 4101 CK Culemborg  
Telefoon 0345-512710  
E-mail [info@buwa.nl](mailto:info@buwa.nl), [www.buwa.nl](http://www.buwa.nl)