

Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2):

vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, opslibbing en vegetatie (2021)

PUCCIMAR-rapport 22

in opdracht van


WATERSCHAP
Hunze en Aa's

SWECO 

Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2):

vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, opslibbing en vegetatie (2021)

PUCCIMAR rapport 22

P. Esselink
K. Elschot
M.E. Tolman
W. Veenstra

Voorplaat

Verlandende hoofdduitwatering tussen de Kleirijperij en Klutenplas, 13 september 2021
(foto: Peter Esselink)

P. Esselink^{*)}, K. Elschoot^{#)}, M. Tolman^{s)} & W. Veenstra^{†)} 2022

Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringssysteem, opslibbing en vegetatie (2021). PUCCIMAR rapport 22.

PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries

Opdrachtgevers

SWECO Nederland bv
Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen

Waterschap Hunze & Aa's
Postbus 195
9640 AD Veendam

Uitvoerders

^{*)}PUCCIMAR

Ecologisch Onderzoek &

Advies

Boermark 35

9481 HD Vries

Telefoon 0592 544172

peter.puccimar@gmail.com

^{#)}Wageningen Marine Research

Postbus 57

1780 AG Den Helder

Telefoon 0317 480900

marine-research@wur.nl

www.wur.nl/marine-research

^{s)}EGG Consult

Pranger & Tolman ecologen

Kleine Roozenstraat 11

9912 TL Groningen

Telefoon 050 3181337

PenT.ecologen@eggconsult.nl

^{†)}G2 Surveys

Potklei 22A

9351 VS Leek

Telefoon 0594 280145

info@g2surveys.nl

www.gtwee.nl

Projectnummer

2021/03

Projectleider

P. Esselink

Status

Definitief

Datum

22 april 2022

© PUCCIMAR Ecologisch onderzoek en advies

Overname van gegevens uit dit rapport is toegestaan met bronvermelding.

PUCCIMAR is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede schade welke voortvloeit uit toepassingen van resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van PUCCIMAR; opdrachtgever vrijwaart PUCCIMAR voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Inhoud

Voorwoord	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Inrichting en fasering van het project	10
1.3 Doelstelling monitoringsplan	12
1.4 Leeswijzer	15
2 Beschrijving studiegebied	16
2.1 Kwelder	16
2.2 Klutenplas	17
2.3 Overstromingsregime studiegebied	19
3 Methoden	22
3.1 Ontwateringsstelsel	22
3.2 Slibinvang Klutenplas	23
3.2.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas	23
3.2.2 Sedimentbemonstering Klutenplas	25
3.2.3 Referentiemetingen kwelder	29
3.3 Vegetatie	29
3.3.1 Vegetatiemonitoring beheerexperiment broedeiland	29
4 Bespreking resultaten	31
4.1 Ontwateringsstelsel	31
4.1.1 Ontwatering Klutenplas	31
4.1.2 Effecten ontwatering Kleirijperij	34
4.2 Opslibbing	37
4.2.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas	37
4.2.2 Sedimentatie en slibinvang	44
4.2.3 Kwelder	47
4.3 Vegetatieontwikkeling broedeiland	49
5 Conclusies en aanbevelingen	52
5.1 Conclusies	52
5.2 Aanbevelingen	54
6 Literatuur	56
Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten	59
Bijlage II Invloed bemonsteringsapparatuur op slibmetingen	62

Voorwoord

Meerdere dijkvakken van de primaire waterkering moeten worden versterkt. Dat geldt ook voor de dijk rond de Dollard. In het Demonstratieproject Brede Groene Dijk – deel uitmakend van de zgn. *Project Overstijgende Verkenning Waddenzeedijken* – wordt door het Waterschap Hunze en Aa's onderzocht of de klei die voor de Brede Groene Dijk nodig is uit lokale bronnen kan worden gewonnen (kwelder, slib uit Polder Breebaart en baggerslib uit de haven van Delfzijl). In het demonstratieproject wordt in drie stappen of fases bijna één kilometer van de bestaande Dollarddijk omgevormd tot een brede groene dijk. De eerste fase betrof het onttrekken van klei uit de kwelder door middel van de aanleg van een plas met een broedeiland. Deze klei is benut voor de aanleg van de kades van een tijdelijk slibdepot aan de buitenzijde van de bestaande zeedijk (begin fase 2). In dit depot wordt slib uit Polder Breebaart in een periode van twee tot drie jaar tijd door rijping omgezet in klei die geschikt is om verwerkt te worden in de nieuwe zeedijk. Daarna zal worden overgegaan tot de aanleg van de brede groene dijk (fase 3) waarbij het slibdepot weer wordt ontmanteld.

Om de mogelijke effecten van de beoogde ingrepen op de natuur en op het gebruik van de kwelder te meten, en om in de toekomst te kunnen beoordelen in hoeverre herstel optreedt van de aanwezige natuurwaarden, is een monitoringsplan opgesteld. Volgens dat plan worden tijdens de voortgang van het project verschillende ontwikkelingen in het gebied gevolgd door middel van een uitgebreid meetprogramma. In 2017 is dit monitoringsprogramma opgestart met de documentatie van de uitgangssituatie in een zgn. nulmeting. In de jaren hierna is een vervolgmonitoring uitgevoerd. Dit rapport geeft voor de volgende aspecten een overzicht van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2021: *i)* de ontwikkeling van het ontwateringsstelsel van de kwelder, *ii)* de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder en *iii)* de vegetatieontwikkeling op het broedeiland met de eerste resultaten van een in 2021 gestarte beheerproef. Naar aanleiding complicaties die zich in 2020 voordeden bij de bemonstering van het sediment in de Klutenplas in 2020, is in 2021 tevens een vergelijkend onderzoek gedaan naar het gebruik van verschillende boortypen bij de bemonstering van dit type sediment.

Op deze plek willen we graag een aantal personen en organisaties bedanken voor hun medewerking of ondersteuning bij de uitvoering van verschillende werkzaamheden. De Maatschappij tot Exploitatie van het onverdeelde Munnikeveen en de heer Huisman verleenden toestemming voor het betreden van hun terreinen voor de uitvoering van het veldwerk. Daan Bos (Bureau Altenburg & Wymenga), Harry Hovekamp en Hidde Zijlstra (beide van Wiertsema & Partners), Sjoerd Gardien (Kruisbestuiving), Germ Zeephat (SWECO), Piet-Wim van Leeuwen en Joan Looijen verleenden allen assistentie bij de uitvoering van het veldwerk. Martijn Keur (WMR) hielp ons bij de verwerking van sedimentmonsters in het laboratorium.

de auteurs

Vries

april 2022

Samenvatting

Dit rapport is onderdeel van de monitoring van fase 1 en 2 van het *Demonstratieproject Brede Groene Dijk* (BGD). In het kader van deze monitoring is in 2017 de uitgangssituatie vastgelegd door middel van een zogenaamde nulmeting. Voor de volgende aspecten wordt in dit rapport een overzicht gegeven van de in 2021 uitgevoerde monitoring, alsmede van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2021: *i)* het ontwateringsstelsel van de kwelder, *ii)* de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder, *iii)* de vegetatieontwikkeling op het broedeiland nadat hier begin 2021 een beheerproef is opgestart waarin de effecten van twee beheervormen met elkaar worden vergeleken en geëvalueerd. Naar aanleiding van complicaties die zich in 2020 voordeden bij de bemonstering van de afgezette sliblaag in de Klutenplas, is in 2021 tevens een vergelijkend onderzoek uitgevoerd met vier verschillende boor typen.

Dit rapport heeft twee functies. Aan de ene kant is dit rapport bedoeld als datarapport, dat wil zeggen dat een inzicht en verantwoording wordt gegeven over de in 2021 verzamelde gegevens. Om echter ook tegemoet te komen aan het adaptieve karakter van het monitoringsplan, wordt bij zoveel mogelijke onderwerpen ook een analyse van de gegevens gepresenteerd.

Bij de opzet van de monitoring is ervoor gekozen dat in de loop van het monitoringsonderzoek een vergelijking kan worden gemaakt tussen ontwikkelingen binnen en buiten het werkgebied van het demonstratieproject BGD. Meetpunten buiten het werkgebied dienen aan de ene kant als referentie of controle om het herstelproces van de kwelder in het werkgebied te kunnen evalueren; aan de andere kant vormen deze extra meetpunten een hulpmiddel om een verandering aan te kunnen merken als zijnde een effect van het demonstratieproject, dan wel als een verandering door een andere oorzaak.

Ontwateringsstelsel

De verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard lijkt min of meer zijn evenwichtsdimensies te hebben bereikt. In de eerste periode nadat de Klutenplas werd blootgesteld aan de dagelijkse invloed van het getij trad als gevolg van erosie een duidelijke verdieping op. Sinds 2019 is de diepte echter nauwelijks nog veranderd. Via de verdieping van de gemeenschappelijke monding is mogelijk wel sprake van een uitstralingseffect naar een tweede hoofduitwatering. Ten opzichte van de nulmeting in 2017, is de diepte hier ondertussen met meer dan 0.2 meter toegenomen.

Het bovenstroomse deel van de zwet die door de Klutenplas loopt, heeft door de aanleg van de Kleirijperij geen verbinding meer met de dijsloot. Als gevolg hiervan is dit bovenstroomse deel geleidelijk aan het verlanden.

Opslibbing Klutenplas

In bijna 3½ jaar tijd is de bodemhoogte van de Klutenplas met gemiddeld 77 cm toegenomen; In het laatste jaar bedroeg de stijging ‘slechts’ 7 cm en was sprake van een duidelijke afvlakking. Deze afvlakking laat zich verklaren door de gevonden relaties tussen opslibbingssnelheid (of hoogteverandering per tijdseenheid) met zowel de overstromingsfrequentie als met de gesommeerde hoogte van de waterkolom van alle tijen per seizoen boven het bodemoppervlak.

Op basis van de relaties tussen opslibbingssnelheid en getijdynamiek wordt geconcludeerd dat de in de eerste twee jaar aanwezige drempel in de in- en uitstroomopening van de Klutenplas in deze periode heeft geleid tot een vertraging in de opslibbing van de Klutenplas.

Sedimentatie en slibinvang

In het vergelijkende onderzoek naar het gebruik van verschillende typen boren bij de bemonstering van de natte en droge bulkdichtheid van het sediment in de Klutenplas was sprake van significante verschillen in de resultaten met de verschillende boren. Tot een bemonsteringsdiepte van 40 cm bleven de verschillen relatief gering. Bij grotere dieptes (>50 cm) bleek dat bij de Beekersampler ernstige vervorming van het bemonsterde sediment kan optreden. Hierop is besloten om in de rapportage over de sedimentbemonstering van 2021 alleen gebruik te maken van de resultaten verkregen met een gutsboor.

Op het moment van de sedimentbemonstering had de afgezette sliblaag bij de meetbrug een dikte van 98 cm. In deze laag was de droge bulkdichtheid (DBD) positief gerelateerd met diepte. Gemiddeld was hierbij sprake van een toename van 448 kg/m³ op 10 cm diepte naar 530 kg/m³ op 90 cm diepte. Deze toename wordt verklaard door autocompactie. De gemiddelde DBD van het afgezette slib bedroeg 487 kg/m³. Dit is de hoogst gemeten waarde in de afgelopen vier jaar, wat een indicatie is voor de geleidelijke toename van de DBD bij een toenemende hoogte van het afgezette sediment in de Klutenplas.

De geleidelijke toename van DBD in de afgezette sliblaag kan niet voorkomen dat in het mogelijke herstel van de Klutenplas naar oorspronkelijke kwelder de sedimentbalans een grote vertraging laat zien ten opzichte van de volumeontwikkeling. Naar schatting was de Klutenplas op 1 september 2021 qua volume weer voor 47% gevuld, maar op gewichtsbasis bedroeg de aanvulling van het sediment op dat moment naar schatting niet meer dan 26%.

Opslibbing kwelder

De referentiemetingen op de kwelder rond de Klutenplas lieten over een periode van drie jaar een gemiddelde opslibbing zien van 3.3 millimeter per jaar. Hoewel de waarneemperiode nog maar kort, is dit voorlopig een opvallend lage waarde in vergelijking tot de opslibbing in andere vastelandskwelders in de Nederlandse Waddenzee. Een kwelder met een lage opslibbing zal bij eventuele kleiwinning meer tijd nodig hebben om zich van die ingreep te herstellen.

Vegetatie broedeiland

In het eerste jaar van de proef met twee verschillende beheerregimes op het eiland was er geen duidelijk verschil in vegetatiesamenstelling onder de twee regimes. Als gevolg van het gevoerde beheer bleef de vegetatie in de afgelopen vier gedomineerd door eenjarige zouttolerante plantensoorten. Hierbij deed zich wel een opvallende verschuiving in de dominantie van de betrokken soorten voor van achtereenvolgens: Klein schorrenkruid (jaar 1 en 2), Spiesmelde (jaar 3) en Reukloze kamille (jaar 4).

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Meerdere dijkvakken van de primaire waterkering moeten worden versterkt. Dat geldt ook voor de dijken rond de Dollard. In het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) – deel uitmakend van de zgn. *Project Overstijgende Verkenning Waddenzeedijken* – onderzoekt het Waterschap Hunze en Aa's of de klei die voor een brede groene dijk nodig is uit lokale bronnen kan worden gewonnen (kwelder, slib uit Polder Breebaart en baggerslib uit de haven van Delfzijl). In het demonstratieproject wordt een 600 meter tot één kilometer lang traject van de bestaande Dollarddijk omgevormd tot een brede groene dijk. Het project bestaat uit verschillende onderdelen die nauw met elkaar samenhangen. In 2018 is met de uitvoering begonnen en enkele onderdelen zijn ondertussen afgerond, zoals de aanleg van de Klutenplas op de voor de dijk gelegen kwelder in april 2018 en de aanleg van een tijdelijk buitendijks slibdepot (de zgn. Kleirijperij) in de zomer van 2018. Hierbij is gebruik gemaakt van de gewonnen klei uit de Klutenplas. In de eerste maanden van 2020 is het slibdepot gevuld met slib uit Polder Breebaart. Dit slib moet in een periode van twee tot drie jaar door rijping geschikt worden gemaakt voor verwerking in de brede groene dijk. Als het rijpingsproces klaar is wordt het slibdepot opgeheven en zal ook de 45 000 m³ klei uit de Klutenplas in de nieuwe zeedijk worden verwerkt.

Behalve de vraag of het slib in de Kleirijperij succesvol kan worden omgezet in dijkenglei, moet in het demonstratieproject ook de vraag worden beantwoord of de aanleg van een brede groene dijk mogelijk is zonder negatieve effecten op de natuurlijke omgeving. De Dollardkwelders zijn namelijk onderdeel van het Natura 2000-gebied Waddenzee. Het slagen van het demonstratieproject is daarom mede afhankelijk van de mate waarin significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelen en natuurkwaliteiten van het gebied kunnen worden voorkomen, of dat zelfs een positieve bijdrage hieraan kan worden geleverd. Het demonstratieproject BGD richt zich daarom in het bijzonder ook op onderzoek naar mogelijke effecten van het project op het Natura 2000-gebied en de kwelder. Het werkgebied is tegelijkertijd particulier eigendom en het is ook van belang dat aan de eigenaren kan worden gerapporteerd over mogelijke effecten op hun bezittingen en het herstel hiervan.

Een bijkomend aspect is dat door een verhoogde troebelheid de waterkwaliteit in de Eems-Dollard de laatste decennia sterk is afgenomen (van Maren *et al.* 2016), waardoor het ecologisch functioneren van het estuarium sterk onder druk is komen te staan (de Jonge & Schückel 2019). Belangrijke factoren die verantwoordelijk worden gehouden voor de hoge troebelheid zijn vooral de verdieping van vaargeulen en afname van de bezink- of accommodatieruimte voor slib in het estuarium (Smit & Duimel 2020). Volgens de verwachtingen in het programmaplan ED2050 kan door het treffen van verschillende inrichtings- en beheermaatregelen de troebelheid belangrijk worden verlaagd (Dankers & Leuven 2020; van Es 2021). Eén van de eventuele maatregelen is om de capaciteit voor slibinvang langs de randen van het estuarium te verhogen. Dit kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld extra kweldervorming te stimuleren, uitdijking of de slibinvang op de bestaande kwelder te verhogen door deze gedeeltelijk af te graven. Voor deze laatste maatregel kan de Klutenplas als voorbeeldproject dienen.

Een eerste inschatting van de effecten van de ingrepen op (kwalificerende) natuurwaarden van het Natura 2000-gebied is uitgevoerd in een zogenaamde *Passende Beoordeling* (Brenninkmeijer *et al.* 2017). Het meten van de werkelijke effecten wordt echter als cruciaal beschouwd om tussentijds te kunnen bijsturen en om, bij een eventuele toekomstige opschaling van het dijkconcept langs de gehele

Dollard, een betere inschatting van de effecten te kunnen maken. Om deze reden is een uitgebreid monitoringsplan opgesteld met een adaptief karakter, zodat het monitoringsonderzoek eventueel tussentijds kan worden bijgesteld (Riemersma 2018). Met de geplande monitoring wordt tegelijkertijd invulling gegeven aan de voorwaarden uit de vergunningverlening voor het project in het kader van de wet natuurbescherming (Wnb).

1.2 Inrichting en fasering van het project

Voor de aanleg van de Kleirijperij is in het voorjaar van 2018 *ca.* 45 000 m³ klei gewonnen op de voor de dijk liggende kwelder. Om een positieve bijdrage te leveren aan de instandhoudingsdoelstelling van het Natura 2000-gebied is deze kleiwinning gecombineerd met de aanleg van een tijdelijke "natuurplas" met in het midden een broedeiland voor Kluten (Riemersma & Esselink 2017; Fig. 1.1). Dit verklaart de naamgeving Klutenplas voor de kleiwinning. Het woord tijdelijk is hier gebruikt omdat de plas in de loop van de tijd zal dichtslibben en zich hierdoor op de plek van de plas op een gegeven moment weer een kweldervegetatie zal vestigen. De aanleg van de Klutenplas vormde fase 1 van het demonstratieproject BGD. De plas is ruim 4 ha groot; dit is inclusief het broedeiland van ongeveer 1 ha. Om het overstromingsrisico van nesten te beperken is het eiland gedeeltelijk opgehoogd. Hiervoor is een ontwerphoogte gehanteerd van NAP +2.3 m; ruim 0.4 meter boven de maaiveldhoogte van de kwelder in de uitgangssituatie (Esselink *et al.* 2018). Om de foerageermogelijkheden voor de Kluut te vergroten heeft het eiland een flauw aflopende oever gekregen. De plas is uitgegraven tot een gemiddelde diepte van NAP +0.27 m met een maximum van NAP -0.13 m. De gemiddelde diepte lag 1.6 meter onder de ingemeten hoogte van het maaiveld van de kwelder tijdens de nulmeting in 2017. Om de nesten op het broedeiland te beschermen tegen predatie door grondpredatoren, speciaal de Vos, is rond het eiland een voswerend raster aangebracht. Om dezelfde reden is in de monding van de plas een drempel aangebracht om te voorkomen dat de plas tijdens laagwater droog zou vallen. De drempel bestond uit met stenen verzwaarde zinkstukken. De bovenkant van de drempel lag aanvankelijk op een niveau van NAP + *ca.* 1.0 m. Om de getijdeninvloed in de Klutenplas te vergroten is de drempel echter op 29 november 2018 met ongeveer een decimeter verlaagd.

Door de aanleg van de Klutenplas is de komberging van de aangetakte hoofdduitwatering (zwet) vergroot. Doordat hierdoor elke getijcyclus meer water door deze zwet stroomt is de verwachting dat deze zwet dieper wordt uitgeslepen en zich zal verbreden. Rond de monding kan dit van invloed zijn op de al bestaande langjarige ontwikkeling van een geleidelijk eroderende en terugschrijdende kwelderrand (vgl. Esselink *et al.* 2011). De Dollardkwelders zijn in het verleden uit landaanwinningswerken ontstaan. Nadat deze werken in 1953 werden stopgezet, neemt door afslag de omvang van de kwelders geleidelijk af (Esselink 2000; Esselink *et al.* 2011).

Fase 2 van het project omvat de aanleg van de Kleirijperij in de zomer van 2018 en de rijping van het slib uit Polder Breebaart in de jaren erna. Bij het graven van de Klutenplas in het voorjaar is de gewonnen klei eerst tijdelijk opgeslagen in een zogenaamd droogbed op de kwelder op de geplande locatie van de Kleirijperij. Hieraan voorafgaand is hier eerst de ongeveer 5 centimeter dikke toplaag of zode van de kwelder verwijderd. De aangelegde kade rond de slibdepots heeft een hoogte van ongeveer NAP +4.7 m wat ongeveer gelijk is aan een hoogte van 2.8 meter boven het maaiveld van de kwelder. Met enige vertraging zijn de slibdepots van de Kleirijperij uiteindelijk in de periode januari – maart 2020 gevuld met baggerspecie uit Polder Breebaart. In 2022 wordt de ingedroogde baggerspecie als bouwstof verwerkt in de aanleg van de brede groene dijk (fase 3). Hierbij wordt de

Kleirijperij weer van de kwelder verwijderd waarbij de oorspronkelijke maaiveldhoogte, de begreppeling en overige oorspronkelijk aanwezige infrastructuur weer zullen worden hersteld.



Figuur 1.1 Het demonstratieproject BGD: (A) globale ligging in de zuidelijke Dollard en (B) overzicht van de inrichtingsmaatregelen en activiteiten in het demonstratieproject BGD (naar Riemersma 2018).

De verwachting is dat na verwijdering van de slibdepots zich vrij snel een kweldervegetatie zal vestigen en ontwikkelen. De vraag is echter of deze vegetatie dezelfde soortensamenstelling zal hebben als de vegetatie in de uitgangssituatie (Brenninkmeijer *et al.* 2017). Door het gewicht van het slibdepot kan verdichting van de kwelderbodem optreden (Elschot & Baptist 2016). Dit kan effect hebben op de plantengroei en soortensamenstelling van de vegetatie.

Pilot Kleirijperij

Eén van de vragen waar het demonstratieproject BGD antwoord op moet geven is de vraag of een brede groene dijk kan worden gebouwd met lokaal aanwezig en te winnen slib en klei en waarbij kan worden voldaan aan de veiligheidseisen. De pilot Kleirijperij vormt hierbij een apart deelproject met als doel het onderzoeken met welke innovatieve methoden slib op het land nuttig en rendabel kan worden omgezet in geschikte klei voor dijken. Hiermee zou een economische basis kunnen worden gelegd onder de gewenste slibonttrekking uit de Eems-Dollard. Dit onderzoek maakt geen deel uit van het monitoringsplan Demonstratieproject Brede Groene Dijk, maar wordt uitgevoerd door *Ecoshape*, een consortium van publieke en private partijen (zie voor meer informatie:

<https://www.ecoshape.org/nl/projecten/kleirijperij/>). Ook worden de effecten van de aanleg en het gebruik van de kleirijperij op de omgeving en de natuur gemeten.

1.3 Doelstelling monitoringsplan

Het doel van de monitoring is om als onderdeel van de uitvoering van het demonstratieproject BGD “het op gestructureerde wijze meten en verzamelen van gegevens waarmee de effecten en herstel van de binnen het demonstratieproject uit te voeren maatregelen en activiteiten meetbaar worden, en op basis waarvan:

- a) tussentijds kan worden ingegrepen en waar nodig bijgestuurd, en
- b) aan het einde van de planperiode het project kan worden geëvalueerd en conclusies en aanbevelingen kunnen worden getrokken over de mogelijkheden voor verdere opschaling”

(Riemersma 2018). Hiertoe is een inventarisatie van de informatiebehoefte uitgevoerd en zijn gerelateerd aan de inrichtingsmaatregelen, een groot aantal meetvragen geformuleerd (Tekstkader 1.1). Voor de beantwoording van een groot deel van deze vragen is in 2017 de uitgangssituatie vastgelegd door middel van de zgn. nulmeting (Bos *et al.* 2018a; Esselink *et al.* 2018). In 2018 is de nulmeting aangevuld met de aanleg en opname van meetpunten voor monitoring van de opslibbing in verband met beantwoording van vragen die betrekking hebben op de slibinvang door de Klutenplas en de vergelijking met de slibinvang door de kwelder (Esselink *et al.* 2019).

Om het broedeiland geschikt te houden voor de Kluut wordt elk voorjaar de overgebleven vegetatie verwijderd. In 2019 werd hierbij ook de bovengrond bewerkt, terwijl in 2020 de vegetatie alleen kort werd afgemaaid. Om de vraag te beantwoorden of bewerking van de bovengrond voor de Kluut een toegevoegde waarde heeft, is in 2021 een praktijkproef opgezet waarbij op één helft van het eiland de verwijdering van de vegetatie werd gecombineerd met een grondbewerking terwijl op de andere helft van het eiland alleen de vegetatie kort werd afgemaaid en verwijderd. Om de vraag te onderzoeken wat voor invloed de twee beheervormen hebben op de vegetatieontwikkeling van het broedeiland, is besloten de vegetatie op het eiland te blijven monitoren. De vragen naar de invloed van de grondopwerking op zowel de Kluut als de vegetatieontwikkeling zijn in de loop van het project

ontstaan en ontbreken daarom in het oorspronkelijke monitoringsplan en worden derhalve niet genoemd in Tekstkader 1.1.

Voor de volgende aspecten wordt in dit rapport een overzicht gegeven van de in 2021 uitgevoerde monitoring, alsmede van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2021:

- het ontwateringsstelsel van de kwelder
- de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder
- vegetatieontwikkeling op het broedeiland in de Klutenplas

In van de monitoring van de kwelderrand is in de eerste drie jaar na aanleg van de Klutenplas geen effect gevonden van de aanleg van de plas op de afslag van de kwelder (vraag K12). Hierop is besloten om de positie van de kwelderrand met ingang van 2021 niet meer jaarlijks te monitoren. Om deze reden wordt de kwelderafslag in dit rapport niet verder besproken.

Voor de beantwoording van de vraag hoeveel sediment er wordt afgezet in de Klutenplas, is behalve de monitoring van de hoogteontwikkeling, ook kennis vereist over de dichtheid van het afgezette sediment en zo mogelijk ook de verandering in dichtheid in de loop van de tijd. Hierbij moet onder andere worden gedacht aan compactie in de onderste eerst afgezette lagen door het gewicht of de sedimentlast van het er bovenop liggende nieuw afgezette sediment. Hiervoor is het noodzakelijk om ongestoorde sedimentmonsters te verzamelen. Met een ongestoord monster wordt bedoeld een monster waarin het sediment zo weinig mogelijk is vervormd en de verticale en horizontale opbouw is behouden (Beeker 1989). Enige vervorming hoeft echter geen probleem te zijn zolang kan worden gemeten hoe groot deze is (Beeker 1989). In het opslibbingsonderzoek in de Klutenplas is hierop geanticipeerd door in de uitgangssituatie bij het gereedkomen van de Klutenplas meetveldjes aan te leggen met een markeerhorizont in combinatie met sedimentatieplaten. Bij een sedimentbemonstering kan de eventueel opgetreden vervorming in het monster worden gecontroleerd door een vergelijking van de diepte waarop de markeerhorizont in het monster wordt aangetroffen en de gemeten hoogte van de sedimentlaag boven de sedimentatieplaat.

In 2019 en 2020 is bij de sedimentbemonstering van de Klutenplas gebruik gemaakt van een “sediment steekmonsternemer, type Beeker” (kortweg Beekersampler), een boortype speciaal ontwikkeld voor het verkrijgen van ongestoorde monsters uit slappe waterbodems (de Jong *et al.* 1989; Anonymus 2002). Het gebruik van de Beekersampler leidde echter niet altijd tot een bevredigend resultaat met ernstige aanwijzingen voor toch een grote mate van vervorming van bemonsterde sediment. Het duidelijkste was dit het geval in 2020, toen op het moment van bemonstering het nieuw afgezette sediment ondertussen een hoogte van bijna 80 centimeter boven de sedimentatieplaten had bereikt (Esselink *et al.* 2021). Om tot betere resultaten te komen, is in 2021 extra aandacht besteed aan de bemonsteringsapparatuur waarbij vier boor typen met elkaar zijn vergeleken.

In voorgaande jaren was er van jaar op jaar sprake van grote verschillen in het beheer van de kwelder rond de Klutenplas. Dit bemoeilijkt de beantwoording van de vraag of de aanleg van de Klutenplas invloed heeft op de vegetatie van de omliggende kwelder te beantwoorden (vraag K10). In 2021 is om deze reden geen aandacht besteed aan de monitoring van de vegetatiesamenstelling rond de Klutenplas.

De monitoring van het ontwateringsstelsel heeft betrekking op mogelijke effecten van de aanleg van zowel de Klutenplas als de kleirijperij. Na realisatie van de bijna 1-km lange pilotdijk zullen de komende jaren ook de effecten van de aanleg van de Brede Groene Dijk in de monitoring worden meegenomen. Voortzetting van het monitoringsonderzoek naar mogelijke effecten van de Kleirijperij

op het herstel van de kweldervegetatie is pas aan de orde op het moment als de Kleirijperij weer van de kwelder is verwijderd (dat is na 2022). Het aan vogels gerelateerde monitoringsonderzoek wordt uitgevoerd door Bureau Altenburg & Wymenga, en hierover wordt apart gerapporteerd (Bos *et al.* 2018ab, 2020).

Tekstkader 1.1 Overzicht van de meetvragen zoals geformuleerd in het monitoringsplan

Vragen gerelateerd aan de aanleg van de Klutenplas

- K1) Wordt door de Klutenplas slib ingevangen en in welke mate?
- K2) Neemt de slibinvang in de loop der jaren af?
- K3) Hoelang duurt het voordat de plas weer geheel is dichtgeslibd en wat is de invloed van storm en seizoen op de slibhuishouding van de Klutenplas?
- K4) Vindt ook aanslibbing plaats van de verbindingen met zee en heeft de aanleg invloed op het afwateringspatroon van de kwelder (en in welke mate)?
- K5) Wordt er door koloniebroeders (Kluut) gebruik gemaakt van het broedeiland (en in welke mate)?
- K6) Wat is het broedsucces en wat zijn de oorzaken van verlies (bijv. predatie of overstroming)?
- K7) Welke bijdrage levert het broedeiland aan de instandhoudingsdoelstelling Natura2000 voor de Kluut?
- K8) Hoelang duurt het voor de isolatie van het eiland door aanslibbing weer is opgeheven (en deze weer bereikbaar is voor grondpredatoren)?
- K9) In hoeverre treedt gedurende de uitvoering verstoring op van broedvogels en zijn de te treffen voorzorgs- en mitigerende maatregelen effectief?
- K10) Heeft de aanleg van de plas invloed op de vegetatie op de omliggende kwelder?
- K11) Hoe verloopt de vegetatieontwikkeling van plas en eiland en treedt na verloop van tijd weer volledig herstel op van de oorspronkelijk aanwezige vegetatie/habitattypen?
- K12) In hoeverre leidt de aanleg en het gebruik van de Klutenplas tot een wijziging in het afwateringspatroon en verhoogde afslag van kwelders?
- K13) In hoeverre kan de beweiding en veeveiligheid worden gewaarborgd tijdens en na de aanleg?

Vragen gerelateerd aan de aanleg en het gebruik van het tijdelijk slibdepot (kleirijperij)

- S1) Vindt er tijdelijke verstoring plaats van broedvogels tijdens de bouw en het gebruik van het depot en neemt de druk van ganzen binnendijks toe?
- S2) Helpen de mitigerende maatregelen om effecten te voorkomen dan wel te verkleinen tot een acceptabel niveau te krijgen (incl. vervangend broedgebied in Polder Breebaart)?
- S3) In hoeverre vindt na realisatie en gebruik van zowel het droogbed als het tijdelijk slibdepot herstel plaats van de oorspronkelijk aanwezige vegetatie (en hoe verloopt de vegetatieontwikkeling in de tijd en hoelang duurt het herstelproces)?
- S4) In hoeverre maken vogels gebruik van het tijdelijk droogbed en het slibdepot (incl. kaden) als broedgebied (en wat is hiervan het succes)?
- S5) Wat is het effect van het dempen op de petsloot langs de buitenteen van de dijk op
 - a) het broedresultaat van vogels op de kwelder (neemt hierdoor de kans op predatie toe) en
 - b) de vegetatie (neemt hierdoor de kwaliteit van de vegetatie toe of af)?
- S6) Wat is het effect van de aanleg en gebruik van het depot op het foerageergedrag van ganzen?
- S7) In hoeverre leidt de aanleg en het gebruik van het depot tot een wijziging in het afwateringspatroon en verhoogde afslag van kwelders?
- S8) Heeft de aanleg en gebruik van het depot invloed op de vegetatieontwikkeling van de omringende kwelder?
- S9) Vindt er compactie en spoorvorming plaats als gevolg van de aanleg en het gebruik van het depot (en heeft deze invloed op het herstel)?
- S10) Is er sprake van uitspoeling van contaminanten vanuit het depotwater en treedt verandering op in de chemische samenstelling van de ondergrond?

- S11) In hoeverre kan de beweiding en veeveiligheid worden gewaarborgd tijdens en na de aanleg (incl. drinkwatervoorziening voor vee)?
- S12) Heeft de inrichting en het gebruik van het depot invloed op de verzilting van het binnendijks gelegen landbouwpercelen.

Vragen gerelateerd aan de aanleg en het testen van de pilotdijk (fase 3)

- D1) Vindt er verstoring plaats van broedvogels tijdens de bouw en het gebruik van de dijk en neemt de druk van ganzen binnendijks toe?
- D2) Helpen de mitigerende maatregelen om effecten te voorkomen dan wel te verkleinen tot een acceptabel niveau?
- D3a) Heeft het al dan niet dempen van de petsloot effect op (een toename van de kwaliteit) van de kweldervegetatie?
- D3b) Heeft het al dan niet dempen van de petsloot effect op het broedvogelsucces op de kwelder (neemt hierdoor de kans op predatie toe)?
- D4) In hoeverre leidt de aanleg van de pilotdijk tot een wijziging in
- het afwateringspatroon van kwelders?
 - een verhoogde afslag van de kwelder?
- D5) Leidt het al dan niet dempen van de petsloot tot meer natte plekken op de kwelder als gevolg waarvan de gewasproductie wordt verminderd^{#)}?
- D6) Leidt de aanleg van de pilotdijk tot
- meer onveilige situaties voor het vee en
 - mogelijk verzilting binnendijks?

^{#)} Deze vraag is op voorhand lastig te beantwoorden aangezien de locatie waar de petsloot mogelijk wordt gedempt ook de locatie is waar de bodemdichtheid zal toenemen als gevolg van het depot. Beide kunnen een tegengesteld of juist versterkend effect hebben. Om de vraag te kunnen beantwoorden is meer dan 1 km aan petsloot dempen noodzakelijk (om een controle te hebben). Hiervoor is echter de toestemming en medewerking van de betreffende eigenaar noodzakelijk. Op basis van het definitieve ontwerp van de dijk zal binnen de adviesgroep kwelders de noodzaak hiervan te zijner tijd opnieuw worden bekeken en zal het gesprek met de eigenaren hierover worden gevoerd.

1.4 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt eerst een korte beschrijving gegeven van het studiegebied, waarna in hoofdstuk 3 een verantwoording wordt gegeven van de gebruikte methoden. In hoofdstuk 4 volgt een presentatie van de in 2021 verzamelde gegevens met, voor zover mogelijk een bespreking van de veranderingen ten opzichte van de nulmeting en de vegetatiemonitoring van het beheerexperiment op het broedeiland. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken en geëvalueerd hoever het staat met de eventuele beantwoording van de meetvragen uit het monitoringsplan. Hoofdstuk 5 wordt afgesloten met aanbevelingen voor het vervolg van het monitoringsonderzoek.

Het verzamelen van een volkomen niet-verstoord (of ongeroerd) monster uit een ongeconsolideerde bodem geldt als een bijna onmogelijke opgave. In Bijlage II worden de resultaten van vier bemonsteringsprocedures besproken en met elkaar vergeleken.

2 Beschrijving studiegebied

2.1 Kwelder

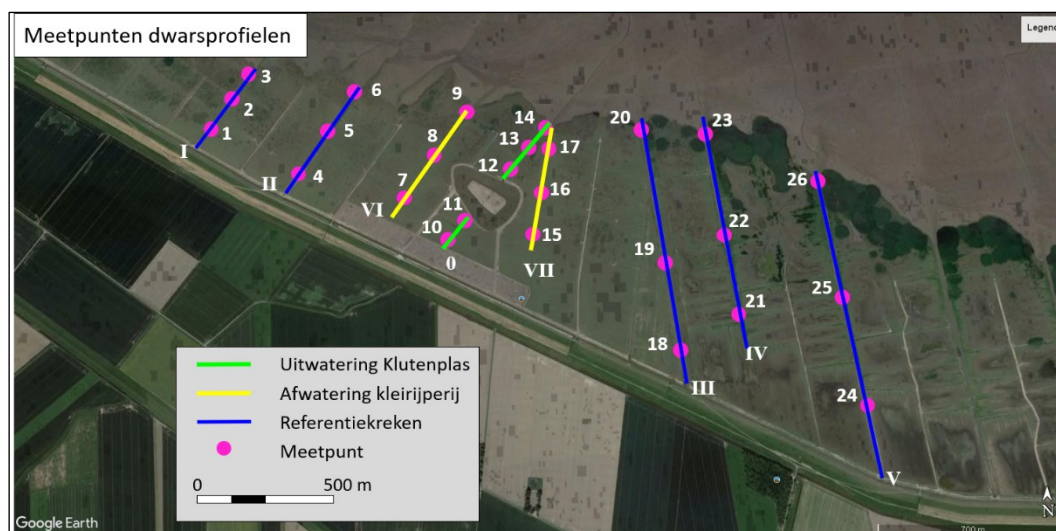
Het proeftracé van de brede groene dijk ligt globaal tussen de hectometerpalen 5.4 en 6.4 van de Dollarddijk (Fig. 1.1). Dit geeft ook meteen de locatie aan van de Kleirijperij, terwijl de Klutenplas op de voorgelegen kwelder is uitgegraven. Omdat voor het beschrijven van de effecten van de inrichtingsmaatregelen ook gebruik wordt gemaakt van controlemeetpunten buiten het werkgebied, is het studiegebied groter dan het werkgebied en beslaat dit min of meer het gebied tussen hectometerpalen 4.9 en 7.0. Niet elke verandering in het werkgebied hoeft gerelateerd te zijn aan de inrichtingsmaatregelen of activiteiten van het demonstratieproject en controlemeetpunten kunnen een hulpmiddel zijn om een verandering aan te kunnen merken als zijnde een effect van het demonstratieproject, dan wel als gevolg van een andere oorzaak.

Voor de in dit rapport opgenomen onderwerpen is het studiegebied beperkt tot de kwelder (114 ha). De zeedijk ter plekke is in 1924 aangelegd toen de Carel Coenraadpolder werd ingepolderd. Bij deze inpoldering bleef er buitendijks nauwelijks kwelder over. De huidige kwelder is grotendeels ontstaan na 1945 (einde WOII), toen de landwinningswerken in de Dollard weer werden opgestart en in westelijke richting werden uitgebreid (Esselink 1998, 2000). Sinds de landaanwinningswerken in 1953 zijn verlaten, is er door afslag sprake van een geleidelijke afname van de kwelder. In de periode 1981 – 2009 bedroeg de totale afslag in de zuidelijke Dollard netto 26 ha (Esselink *et al.* 2011). Ook in het studiegebied nam de omvang van de kwelder in deze periode af. Alleen in de nauwelijks geëxponeerde ZW-hoek van de Dollard (ten westen van het studiegebied) was in deze jaren sprake van een netto aangroei van de kwelder.

Als overblijfsel van de vroegere landaanwinning wordt de kwelder doorsneden door hoofdduitwateringen (of zwetten) die met een onderlinge afstand van 400 meter van elkaar, loodrecht van de zeedijk naar het wad lopen. Midden tussen twee zwetten loopt een laan (vroegere dam) van de zeedijk in de richting van het wad. De kwelder is in de zomermaanden (ongeveer van half mei tot begin oktober) in gebruik als weidegrond (vroeger met schapen en rundvee, tegenwoordig overwegend met rundvee). In verband met de beweiding vindt er regelmatig onderhoud plaats aan het ontwateringsstelsel. Over bijna de gehele kwelder ligt een patroon van greppels met onderlinge afstand van ongeveer 10 meter. Deze greppels worden tegenwoordig eens per drie jaar geschoond (pers. meded. W. Huisman). Dit geldt op veel plaatsen niet voor het meest zeewaarts gelegen gedeelte van de kwelder waar geen onderhoud meer plaatsvindt.

Kwelderbeheer tijdens de uitvoering van het demonstratieproject BGD

In verband met de aanleg en exploitatie van de Kleirijperij is op een deel van de kwelder de jaarlijkse beweiding met rundvee tijdelijk onderbroken. Het gaat om het stuk kwelder tussen de Kleirijperij en het wad en tussen de zwetten II en VII in figuur 2.1. In 2018 en 2019 werd dit deel van de kwelder niet beweide. In 2019 is het westelijk deel (gelegen tussen de zwetten II en 0) van het onbeweide gebied gemaaid (Esselink *et al.* 2020). In 2020 en 2021 vond in het gebied tussen de zwetten II en VII, met wisselende dichtheden, een geparcelleerde beweiding met schapen plaats.



Figuur 2.1 Kaart van het studiegebied met opnamelocaties van de dwarsprofielen. De zwetten zijn met Romeinse cijfers genummerd met uitzondering van de zwet door de Klutenplas die het cijfer 0 heeft gekregen. De luchtfoto is genomen op 21 mei 2018 (© Google Earth). De Klutenplas is uitgegraven tussen punten 11 en 12; ten zuiden van punt 10 is de kleirijperij in aanleg te zien.

2.2 Klutenplas

In hoofdstuk 1 (§ 1.2) is al een korte beschrijving van de Klutenplas gegeven. Door het weggraven van een tijdelijk dam werd de Klutenplas op 23 april 2018 onder invloed van het dagelijkse getij gebracht. Tabel 2.1 geeft een samenvatting van de belangrijkste ingrepen en gebeurtenissen die na aanleg van de Klutenplas hebben plaatsgevonden. Zoals in § 1.2 al is genoemd, moest een drempel in de in- en uitstroomopening ervoor zorgen dat het eiland ook bij laagwater door water werd omringd. Na installatie van een peilbuis op 31 augustus 2018 bleek dat deze drempel hoger was dan in de ontwerpfase van de Klutenplas was beoogd (niveau van de zwetbodem in de nulmeting: NAP + ca. 0.8 m). Naar aanleiding hiervan is de drempel op 29 november 2018 aangepast en met ongeveer een decimeter verlaagd. Bijna een jaar later (21 aug 2019) werd opgemerkt dat de drempel beschadigd was, of dat zich een natuurlijk verval van de drempel had ingezet (Esselink *et al.* 2020). Figuur 2.3 laat zien dat als gevolg van onderloopsheid het verval van de drempel zich daarna heeft voortgezet. In augustus 2020 had de drempel op het laagste punt nog een hoogte van NAP +0.27 m; een hoogte die de drempel in maart 2020 al bijna had bereikt (Esselink *et al.* 2020). In september 2021 was de hoogte van de drempel verder afgenomen tot NAP +0.13 m. Door het verval van de drempel begonnen in het najaar van 2019 de laagwaterstanden in de plas geleidelijk terug te lopen totdat de plas rond eind oktober, anderhalf jaar na aanleg, bij laagwater begon droog te vallen (Esselink *et al.* 2020).

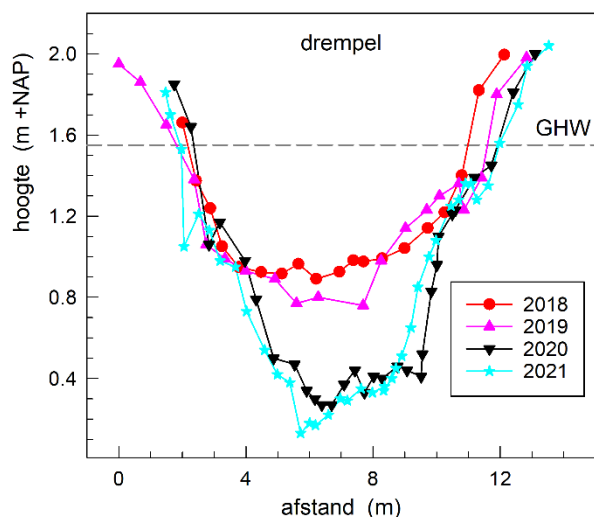
Om het broedeiland geschikt te houden voor de Kluut is het noodzakelijk om het eiland schaars begroeid te houden en de vegetatieontwikkeling af te remmen. In 2021 is een proef van start gegaan om de effecten van twee beheervormen met elkaar te vergelijken. Op de westelijke helft van het eiland is de aanwezige vegetatie in het vroege voorjaar kort afgemaaid en afgevoerd (ondergewerkt in de voormalige zwet in het midden van het eiland). Op de oostelijke helft is na deze behandeling de bovengrond omgewerkt met een kraantje.

Ten behoeve van het monitoringsonderzoek naar de opslibbing van de Klutenplas is in de NO-hoek van de plas een 30 meter lange meetbrug van steigerbuis gebouwd, die tot ongeveer halverwege

het eiland reikt. De uitgangsposities van de hier aangebrachte sedimentatieplaten en meetveldjes zijn in het monitoringsrapport over 2018 gedocumenteerd (Esselink *et al.* 2019).

Tabel 2.1 Tijdlijn van aanleg, beheermaatregelen en overige gebeurtenissen in de Klutenplas van aanleg tot eind 2021.

Datum	Omschrijving
mrt/april 2018	Aanleg Klutenplas
19-apr-2018	Bouw meetbrug; aanbrengen sedimentatieplaten en markeerhorizonten
23-apr-2018	Blootstelling aan dagelijks getijdenregime
31-aug-2018	Installatie peilbuis met datalogger aan meetbrug (Fugro)
29-nov-2018	Verlaging drempel tot <i>ca.</i> NAP +0.9 m
27-mrt-2019	Beheer broedeiland: maaien vegetatie gevolgd grondbewerking (grondfrees)
21-aug-2019	Drempel beschadigd dan wel sporen van beginnend verval
eind okt 2019	Droogvallen peilbuis bij meetbrug tijdens laagwater
15-mrt-2020	Beheer broedeiland: maaien vegetatie; reparatie vossenraster en aanbrengen stroomdraad
27-mrt-2020	Aanpassing meetbrug en verplaatsing peilbuis naar de in- en uitstroombopening
9-sep-2020	Aanbrengen tweede markeerhorizont met kaolienklei
febr. 2021	Meetbrug II met peilbuis door ijsgang scheefgedrukt
22-24/febr/2021	Onderhoud broedeiland: start twee beheervormen
1/mrt/2021	Aanpassing meetbrug Elzingagroep vanaf meetbrug
3/mrt/2021	Verstoring kaolienveldjes geconstateerd
14/mrt/2021	Meetbrug II met peilbuis na storm onder water verdwenen
2/sept/2021	Herstel tweede markeerhorizont met kaolien na verstoring begin maart 2021
27/okt/2021	Herbouw meetbrug II
19/nov/2021	Installatie nieuw peilbuis aan meetbrug II



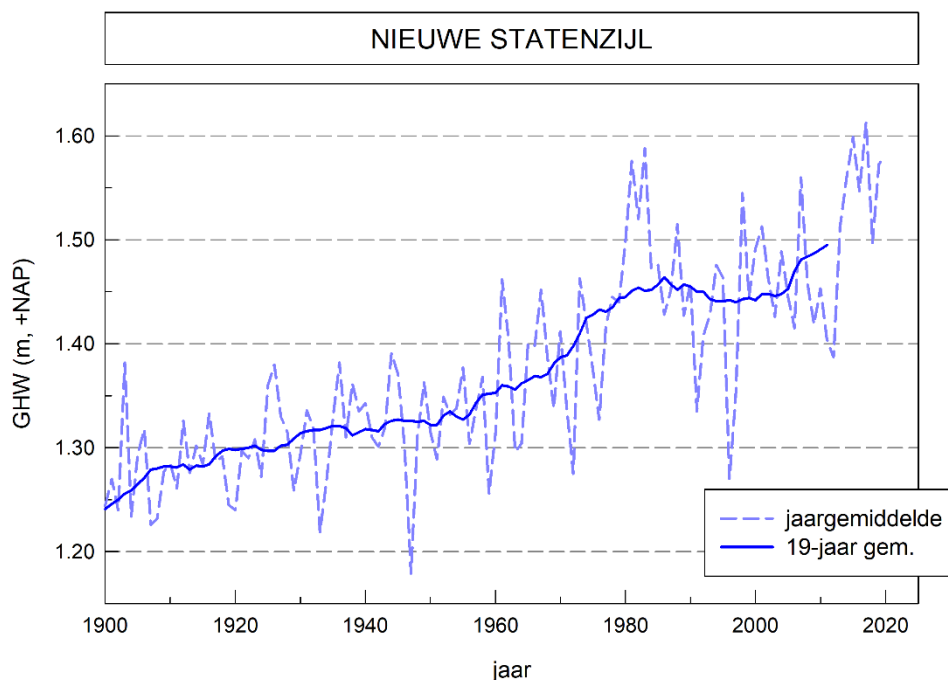
Figuur 2.2 Ontwikkeling van het dwarsprofiel boven over de drempel in de monding van de Klutenplas in de eerste vier jaar na aanleg. De drie profielen zijn niet elk jaar langs precies dezelfde lijn opgenomen. De foto rechtsboven is van 23 mei 2018, een maand nadat de Klutenplas werd blootgesteld aan de invloed van het getij. De foto rechtsonder is van 8 januari 2022 bij opkomend water en laat zien hoe de drempel door onderloopsheid buiten functie is geraakt.



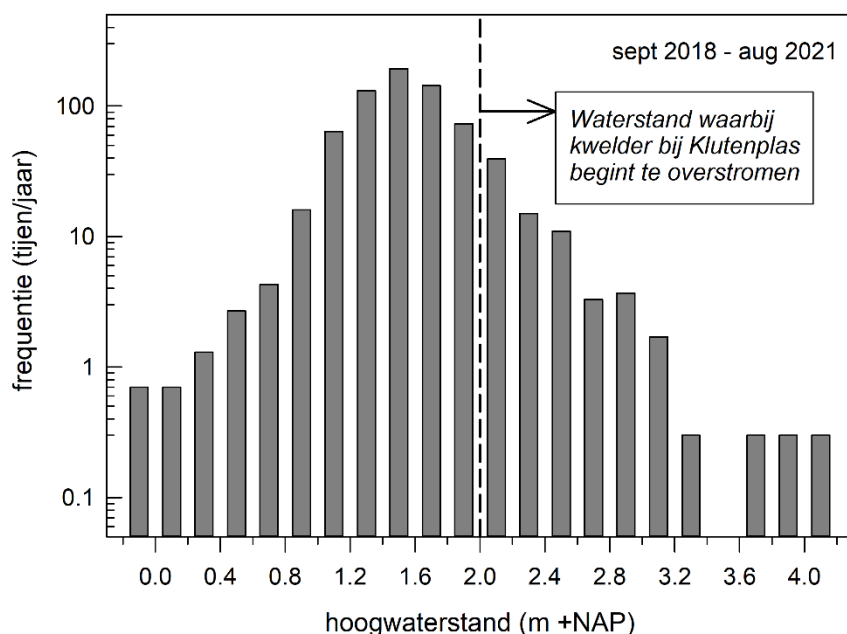
2.3 Overstromingsregime studiegebied

In de Dollard bedraagt het gemiddelde getijverschil of de getijslag ongeveer 3 meter. De jaargemiddelde hoogwaterstand (GHW) in Nieuwe Statenzijl (6.5 km ten O van het studiegebied) is vanaf 1900 gestegen met gemiddeld 2.2 mm per jaar (Esselink *et al.* 2011). Deze stijging had een onregelmatig verloop. Na 1983 vertoonde het GHW bijna 20 jaar lang nauwelijks een opgaande trend met een gemiddeld niveau van rond NAP+1.45 m (Fig. 2.3). De laatste jaren lag het jaargemiddelde GHW elk jaar echter ruim boven dit niveau. In de laatste zes jaar (2015–2020) bedroeg het GHW NAP +1.57 m.

Uit een vergelijking van de hoogwaterstanden in de Klutenplas met die van Nieuwe Statenzijl bleek dat de hoogwaterstand in de Klutenplas over het algemeen iets lager uitvalt dan de peilschaal van Rijkswaterstaat bij Nieuwe Statenzijl (Esselink *et al.* 2020). Bij de meest voorkomende hoogwaterstanden bedroeg het verschil 6 – 7 centimeter. Bij hogere waterstanden – waterstanden waarbij de kwelder overstroomt – loopt het verschil op tot 10 centimeter of meer. Waterstandregistraties in de Klutenplas zijn verre van compleet, waardoor voor een beschrijving van het overstromingsregime van de Klutenplas en de omliggende kwelder moet worden teruggevallen op de waterstanden van Rijkswaterstaat bij Nieuwe Statenzijl. In het studiegebied ligt het maaiveld van de kwelder, met uitzondering van de hogere ruggen of oeverwallen langs de hoofdduitwateringen, op ongeveer een hoogte van NAP+ 1.9 m (Esselink *et al.* 2018). Dit betekent dat de kwelder onder begint te lopen wanneer de vloed in Nieuwe Statenzijl het niveau van NAP+ 2.0 m overschrijdt (Fig. 2.4). In de periode september 2018 – augustus 2021 gebeurde dit gemiddeld 75 keer per jaar (Tabel 2.2).



Figuur 2.3 Ontwikkeling van het jaarlijks gemiddeld hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de periode 1900 – 2020. Het 19-jarig lopend gemiddeld is uitgezet om te corrigeren voor een mogelijk effect van de Saros cyclus (een 18.6-jarige cyclus in de afstanden van de Maan en de Zon ten opzichte van de Aarde die van invloed zijn op het getij).



Figuur 2.4 De frequentieverdeling van hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl en de waterstanden waarbij de kwelder rond de Klutenplas overstroomt in de eerste drie stormjaren (september 2018 – augustus 2021) na aanleg van de Klutenplas. Om visuele redenen is op de verticale as voor een logaritmische schaalverdeling gekozen. Het gemiddelde aantal hoogwaters per jaar bedroeg 706 (de hoogte van alle staafjes bij elkaar opgeteld). Tabel 2.2 geeft een specificatie van de hoogwaterstanden waarbij de kwelder rond de Klutenplas overstroomt.

Tabel 2.2 De frequentie van hoogwaterstanden ≥ 2.0 m +NAP bij Nieuwe Statenzijl per stormjaar (periode 1 sept – 31 aug), *i.e.* waterstanden in de Dollard waarbij de kwelder rond de Klutenplas begint te overstroomen. De tabel geeft een specificatie van de rechterstaart van de frequentieverdeling in Fig. 2.2. De onderste regel geeft per stormjaar de som van alle waterstanden boven het niveau van 2.0 m +NAP uitgedrukt in de hoogte van een denkbeeldige waterkolom boven dit niveau.

Hoogwater (m +NAP)	Frequentie per stormjaar			
	2018/19	2019/20	2020/21	Gemiddeld
2.1	35	54	29	39.3
2.3	15	19	11	15.0
2.5	16	11	6	11.0
2.7	3	5	2	3.3
2.9	5	5	1	3.7
3.1	2	2	1	1.7
3.3	0	1	0	0.3
3.7	0	1	0	0.3
3.9	0	1	0	0.3
4.1	1	0	0	0.3
Totaal	77	99	50	75.3
Gesommeerde hoogte waterkolom (m/jr)	26.9	31.7	12.6	23.7

In tabel 2.2 wordt een schatting gegeven van de overstromingsfrequentie per stormjaar, waarbij een stormjaar wordt gedefinieerd als de periode van 1 september t/m 31 augustus een jaar later. Een dergelijke periode sluit beter aan op zowel de monitoring van de opslibbing als de seizoensfluctuatie

in hoogwaterstanden in vergelijking tot het gebruik van kalenderjaren (zie ook Esselink *et al.* 2015; Koppenaal *et al.* 2022).

Bij een grotere diepte van het overstromingswater boven de kwelder kan er in theorie een grotere hoeveelheid sediment worden afgezet. Om te beschrijven of een jaar een gunstig of minder gunstig opslibbingsjaar was, zijn in tabel 2.2 per jaar de berekende waterdieptes bij een kwelderhoogte van NAP +1.9 m bij elkaar opgeteld. De hoogte van deze denkbeeldige waterkolom boven de kwelder varieerde van 12.6 meter in het stormjaar 2020/21 tot 31.7 meter in 2019/20 (Tabel 2.2).

3 Methoden

3.1 Ontwateringsstelsel

De monitoring van het ontwateringsstelsel richt zich op de ontwikkeling van doorstroom- of dwarsprofielen van de zwetten. De detailontwatering door de greppels wordt sterk beïnvloed door het onderhoudsbeheer (zie § 2.1) en wordt op basis van foto's enkel kwalitatief gemonitord. Bij de monitoring van de vegetatieontwikkeling worden mede hiertoe de permanente kwadraten jaarlijks gefotografeerd, waarbij eventueel extra foto's van de greppels worden genomen.

Bij het opnemen van de dwarsprofielen zijn in 2021 dezelfde methodes gebruikt als in de voorgaande jaren. Tijdens laagwater zijn de dwarsprofielen ingemeten met behulp van een Total Station zonder prisma. Hierbij is vanaf een van de oevers op basis van het reflectiesignaal de hoogte ingemeten van de drooggevalle bodem. Op plekken waar de bodem niet volledig was drooggevalle is in het veld de waterdiepte met het blote oog geschat (meestal een smalle reststroom van maximaal enkele centimeters diep). Bij elk dwarsprofiel is aan beide zijden van de zwet de begroeide oever en de hoogte van het maaiveld ingemeten met een behulp van een Total Station of een RTK GPS. Op meetpunten waar nog van een flinke ebstroom sprake was, is het diepste deel van het profiel eveneens met een Total Station opgenomen. In 2021 was dit het geval op de meetpunten in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard.

Meetnet Klutenplas

De Klutenplas staat via één uitwatering in verbinding met de Dollard. In deze verbinding zijn op drie locaties meetpunten voor een dwarsprofiel ingericht: Meetpunten 12, 13 en 14 in figuur 2.1. Om het effect van de aanleg van de Klutenplas te kunnen beoordelen zijn langs vijf zwetten controlemeetpunten ingericht: meetpunten 1 t/m 6 en 18 t/m 26 (drie per zwet; Fig. 2.2). Omdat de dwarsprofielen op deze meetpunten de afgelopen jaren weinig verandering lieten zien, zijn deze profielen in 2021 niet opgenomen.

Meetnet Kleirijperij

Door de aanleg van een droogbed voor de klei uit de Klutenplas gevolgd door de aanleg van de Kleirijperij staat de zwet die door de Klutenplas heenloopt sinds het voorjaar van 2018 niet meer in verbinding met de dijksloot. Door het wegvallen van deze verbinding is het tussen de zeedijk en de Klutenplas gelegen deel van deze zwet overgedimensioneerd geraakt. De verwachting is dat als gevolg hiervan dit gedeelte van de zwet, in elk geval gedeeltelijk, zal dichtslibben. Om dit proces te volgen worden de dwarsprofielen op Meetpunten 10 en 11 gemonitord.

Ook de zwetten VI en VII kunnen door de aanleg van de Kleirijperij zijn beïnvloed. Weliswaar stonden deze zwetten voor de aanleg van de Kleirijperij niet in verbinding met de dijksloot, maar door de aanleg van de Kleirijperij is hun kombergingsgebied aan de voet van de dijk verkleind. Analooq aan de zwet door de Klutenplas kunnen deze zwetten door de aanleg van Kleirijperij landwaarts overgedimensioneerd zijn en de neiging vertonen om hier dicht te slibben. Van beide uitwateringen is op drie punten het dwarsprofiel opgenomen, resp. punten 7 – 9 en 15 – 17 (Fig. 2.2). De controlemeetpunten van de Klutenplas kunnen ook hier als referentiepunten worden gebruikt.

3.2 Slibinvang Klutenplas

Waterstanden Klutenplas

Op 27 maart 2020 werd een peilbuis met CTD-diver in de in- en uitstroomopening van de Klutenplas geplaatst. Het geheugen van de diver is voor de laatste maal uitgelezen op 22 december 2020, voordat de meetbrug met peilbuis later in winter van 2020/21 door ijsgang werd scheef gedrukt en uiteindelijk onder water verdween (Tabel 2.1). Dit betekent dat er in 2021 geen waterstanden in de Klutenplas zijn geregistreerd anders dan de benadering hiervan via de waterstandregistraties in Nieuwe Statenzijl (§ 2.3).

3.2.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas

Vragen uit het monitoringsplan rond de slibhuishouding van de Klutenplas hebben ten minste twee aspecten, namelijk:

- a) veranderingen in bodemhoogte, die bijv. kan worden uitgedrukt in centimeters per jaar en
- b) de hoeveelheid ingevangen sediment en die bijv. kan worden uitgedrukt in kg/m²/jaar of ton droge stof per jaar.

Vlak voor dat in april 2018 de Klutenplas werd aangesloten op de Dollard is voor de monitoring van zowel de bodemhoogte als de sedimentatie een meetbrug gebouwd waarlangs op vijf plekken een sedimentatieplaat (0.3 × 0.3 m) en een markeerhorizont van kaolienklei (in veldjes van 0.5 × 1.0 m) zijn aangebracht (Tabel 2.1; Esselink *et al.* 2019). Om te kunnen verifiëren of de situatie bij de meetbrug representatief is voor de hele plas wordt ook de bodemhoogte in de hele plas gemonitord.

Bodemhoogte Klutenplas

Door de veranderende omstandigheden in de Klutenplas is voor de monitoring van de bodemhoogte van de Klutenplas noodgedwongen een aantal keer op een andere methode overgestapt. Hierbij is in de eerste drie jaar de bodemhoogte van de plas twee keer per jaar gebied dekkend opgenomen. In 2021 is deze opnamefrequentie verminderd naar eenmaal per jaar. In totaal zijn tot nu toe dus zeven gebied dekkende metingen uitgevoerd.

De eerste meting betreft de zogenaamde uitmeting van de aannemer opgenomen met een Total Station in april 2018 voordat de Klutenplas werd blootgesteld aan de dagelijkse invloed van het getij. Hierna bleef de Klutenplas door de aanwezigheid van de drempel anderhalf jaar lang een permanent waterlichaam. In deze periode is de bodemhoogte driemaal in kaart gebracht door middel van een *single-beam* echoloding (sept 2018, mrt 2019 en sept 2019). Deze echolodingen werden uitgevoerd door tijdens hoogwater vanuit een vlet 28 vaste raaien in te meten (Esselink *et al.* 2020). In 2020 was de Klutenplas zover opgeslibd dat de waterdiepte tijdens hoogwater onvoldoende was om deze methode nog langer toe te kunnen passen. Doordat de bodem inmiddels tijdens laagwater droogviel, vormde dit in maart 2020 aanleiding om de bodemhoogte op dezelfde wijze in te meten als de bodemhoogte van de dwarsprofielen, namelijk via het reflectiesignaal van een Total Station zonder prisma (§ 3.1). Deze metingen bleken veel meer tijd te vragen dan begroot waardoor niet alle raaien konden worden opgenomen (Esselink *et al.* 2021). Naar aanleiding van deze ervaring is de keuze gemaakt om de metingen in de nazomer van 2020 uit te voeren met behulp van een RTK-drone. Deze opname leek wel succesvol, waarna is besloten om ook in 2021 gebruik te maken van een drone.

Evenals in 2020, is tegelijkertijd met de dronenvlucht met behulp van een Total Station de hoogte ingemeten van een aantal referentiepunten op de kwelder, zodat de hoogtes geverifieerd en

gecorrigeerd konden worden. Tevens is in het deel van de Klutenplas dat tijdens de dronevlucht nog bedekt was met water (de erosiegeul in het verlengde van de in- en uitstroomopening) op een aantal aanvullende punten de bodemhoogte ingemeten, eveneens met een Total Station.

De uitgevoerde analyse van de bodemverandering is beperkt tot het deel van de plas met een min of meer vlakke bodem, *i.e.* het gedeelte tussen de onderinsteek van de buitenrand van de plas tot aan het vossenraster (de onderinsteek is gedefinieerd als de knik tussen de vlakke bodem en het schuinoplopende deel van de oever of het talud).

Voor de analyse van de verandering in bodemhoogte is gebruik gemaakt van het softwarepakket ET Surface 7.0 (<https://www.ian-ko.com/ETSurface.html>).

Slibhoogte Meetbrug

Sinds eind 2019 valt de Klutenplas praktisch elke laagwaterperiode droog. Dit maakt het relatief eenvoudig om de hoogte van het afgezette sediment boven de sedimentatieplaten te meten door de platen met een gekalibreerde meetstok aan te prikken en de lengte van het in het slib verdwenen deel van de stok af te lezen. In 2021 zijn deze metingen voortgezet met dezelfde frequentie als in 2020 (ongeveer eenmaal per twee maanden). Voor eind 2019 was het door de troebelheid van het water en de hoogte van de waterkolom boven het sedimentoppervlak niet mogelijk om deze metingen uit te voeren en is de hoogte van de sedimentlaag boven de platen slechts tweemaal gemeten met behulp van een zgn. slibschijf (Esselink *et al.* 2020).

Analyse relatie hoogteontwikkeling – getijdynamiek

Voor beantwoording van de vraag uit het monitoringsplan wat de invloed is van storm en seizoen op de slibhuishouding in de Klutenplas (meetvraag K3 in tekstkader 1.1) is de relatie onderzocht tussen de hoogteontwikkeling van de Klutenplas en de overstromingsfrequentie en opgetreden waterdieptes. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl, op 6 km ten oosten van de Klutenplas. Om rekening te houden met het gegeven dat hoogwaters ter hoogte van de Klutenplas in vergelijking met Nieuwe Statenzijl gemiddeld een lager niveau bereiken zijn hierbij de volgende correcties gebruikt (zie Fig. 4.12 in Esselink *et al.* 2021):

Voor hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl lager dan NAP+2.0 m:

$$HW_{KLUTENPLAS} = HW_{NWSZL} - 0.05 \text{ m}$$

Voor de hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl gelijk aan of hoger dan NAP+2.0 m:

$$HW_{KLUTENPLAS} = HW_{NWSZL} - 0.10 \text{ m}$$

Omdat gedurende de eerste anderhalf jaar in de Klutenplas alleen sprake was van sedimentaanvoer als de vloed over de drempel de plas kon binnendringen, is voor deze periode niet de bodemhoogte in de plas als uitgangspunt in de berekeningen genomen, maar de hoogte van de drempel. Zo zijn bijvoorbeeld voor de zomer van 2018 inclusief de bovenstaande correctie, alleen hoogwaters in de analyse opgenomen met een waterpeil hoger dan NAP+1.05 m in Nieuwe Statenzijl. Ook de opgetreden waterdieptes zijn tot het moment dat de Klutenplas bij laagwater droogviel, berekend ten opzichte van de hoogte van de drempel in de in- en uitstroomopening. Per tijdsinterval zijn de opgetreden waterdieptes bij elkaar opgeteld tot een gesommeerde waterdiepte of – hoogte van de waterkolom. Evenals bij de overstromingsfrequentie, is steeds voor een zo kort mogelijk tijdsinterval gekozen om op deze manier rekening te houden met veranderingen in drempelhoogte en toename in

bodemhoogte. In de analyse zijn de tijdsintervallen vervolgens samengenomen tot de volgende drie periodes of seizoenen:

- *winterhalfjaar*: periode september t/m februari
- *zomerhalfjaar*: periode maart t/m augustus
- *stormjaar*: periode september t/m augustus (zie ook § 2.3)

Om de relatie tussen hoogteontwikkeling en getijdynamiek te onderzoeken is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd tussen de opslibbingssnelheid en overstromingsfrequentie, en opslibbingssnelheid en de gesommeerde hoogte van de waterkolom per seizoen en stormjaar. De analyse is zowel uitgevoerd op basis van de gemiddelde hoogteverandering van de plasbodem als op basis van de dikte van de sliblaag bij de meetbrug.

3.2.2 Sedimentbemonstering Klutenplas

Bij de sedimentbemonstering van de Klutenplas in 2021 is het gebruik van vier verschillende bemonsteringsinstrumenten onderzocht en met elkaar vergeleken, nl.: de Beekersampler, een gutsboor, een veenboor en een Vrijwitboor. De veenboor en de gebruikte versie van de Vrijwitboor hadden een relatief geringe werklengte van respectievelijk 50 en 40 centimeter, terwijl de Beekersampler en de gutsboor een werklengte hadden van respectievelijk 1.5 - en 2.0 meter. Dit betekent dat tot een bemonsteringsdiepte van 40 centimeter de resultaten van vier bemonsteringsinstrumenten met elkaar kunnen worden vergeleken; voor een dikker sedimentpakket alleen de resultaten van de Beekersampler en de gutsboor.

Het veldwerk is uitgevoerd op 1 september. De verzamelde monsters zijn binnen een termijn 6–8 dagen in het laboratorium verwerkt. Tussentijds werden de monsters gekoeld of ingevroren bewaard.

In bijlage II worden de resultaten van de vier bemonsteringsinstrumenten met elkaar vergeleken en besproken.

Beschrijving bemonsteringsapparatuur en werkwijze

- i) *Beekersampler*. Met dit instrument is de sedimentbemonstering in 2019 en 2020 uitgevoerd. Een Beekersampler kan worden omschreven als een soort zuigerboor. Het instrument bestaat uit in een frame geplaatste monsterbuis met een lengte van 1.0 of 1.5 meter en uitgerust met een steekkop. Met behulp van verlengstangen wordt de monsterbuis in de bodem gedreven. Een zuiger in de monsterbuis zorgt voor onderdruk, zodat het monster gemakkelijker de monsterbuis inschuift. Zodra de steekbuis op diepte is kan een rubberband in de snijkop worden opgeblazen, zodat de onderkant wordt afgesloten waarna het apparaat kan worden opgehaald. Naar keuze kan de monsterbuis door het opheffen van de onderafsluiting worden geleegd, of worden losgekoppeld en worden afgesloten voor transport. De monsterbuizen ($\varnothing 57 \times 63$ mm) zijn van helder transparant pvc zodat het monster eventueel kan worden beschreven terwijl het nog in de buis zit. In 2019 kon zodoende de positie van de markeerhorizont ten opzichte van het oppervlak in het veld worden bepaald. Langs de wand van de monsterbuizen trad in 2020 en 2021 echter zodanige versmering op dat de markeerhorizonten niet meer door de buiswand heen konden worden herkend. In 2021 is vanaf de meetbrug uit elk meetveldje één monster gestoken met een 1.5 meter lange monsterbuis. Hierbij is er op gelet dat de boor voldoende diep in het sediment werd gestoken om er verzekerd van te zijn dat door de markeerhorizont heen werd geprikt. Deze monsters zijn in de afgesloten monsterbuizen nagenoeg rechtop naar het laboratorium vervoerd om daar verder te worden verwerkt. Door evenals in 2020 het monster eerst in te vriezen en daarna in bevroren toestand uit de monsterbuis te duwen, kon alsnog de kaolienhorizont worden opgespoord door

voorzichtig wat sediment van de bevroren boorkern weg te schrapen (Esselink *et al.* 2021). Daarna kon het slib boven de horizont worden gescheiden van de kaolien en de rest van de inhoud van de monsterbuis.

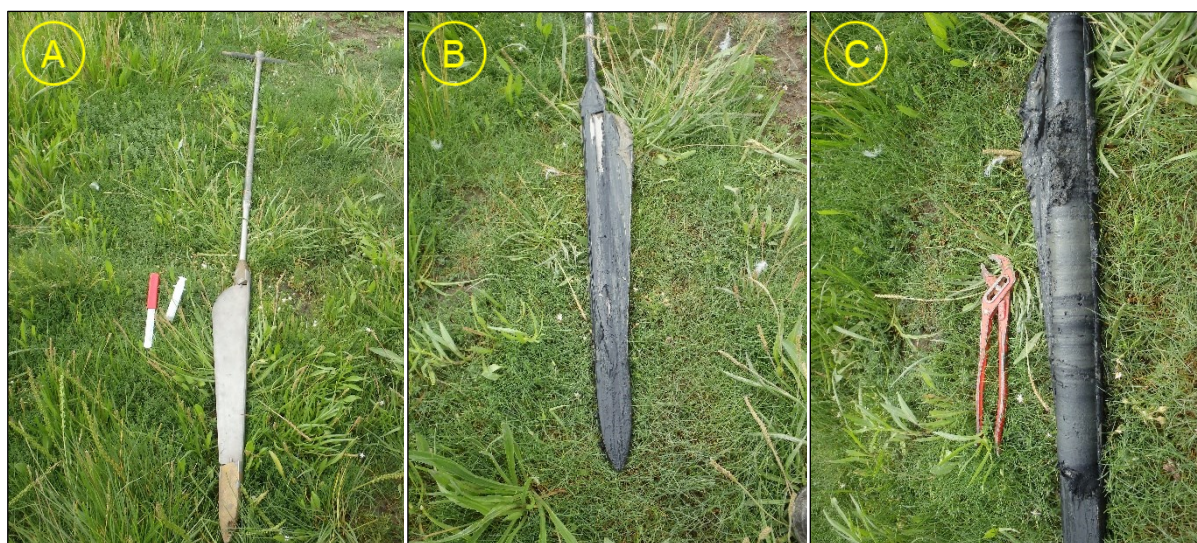
Aan de andere zijde van de meetbrug zijn met even lange monsterbuizen vier extra monsters gestoken. Ook deze boorkernen zijn in de afgesloten monsterbuizen rechttop naar het laboratorium vervoerd. Deze monsters zijn gekoeld bewaard voordat ze verder zijn verwerkt. Met behulp van een voor de Beekersampler ontwikkeld los- en verdeelsysteem zijn deze monsters tijdens de verdere verwerking gesplitst in deelmonsters met een hoogte van de sedimentkern van 9 centimeter (voor beschrijving zie Esselink *et al.* 2021). Van de deelmonsters is vervolgens het nat- en drooggewicht bepaald (zie boven).

ii) Gutsboor. Met de gutsboor zijn in totaal 10 monsters verzameld: één per veldje en vijf extra monsters aan de andere zijde van de meetbrug. De monsters werden gestoken tot een diepte van ten minste 1.2 meter onder het oppervlak. Doordat een gutsboor halfopen is kon met het blote oog worden gecontroleerd of er vervorming (samendrukking) van het sediment optrad, of dat er sprake was van uitloop van het monster uit de boor. Beide verschijnselen deden zich niet voor. Het risico op uitloop van het monster uit de boor werd de eerste twee jaar – toen de Klutenplas nog permanent onder water stond – zo hoog ingeschat dat de inzet van een gutsboor niet eerder is overwogen. Na het steken van een monster werd de guts horizontaal op de kwelder gelegd en werd bij de monsters uit de meetveldjes eerst de markeerhorizont opgezocht en de afstand tot het oppervlak gemeten (Fig. 3.1). Vervolgens werden op een onderlinge afstand van 20 cm deelmonsters uit de boor verzameld. Hiervoor werd gebruik gemaakt van 20 ml grote medische injectiespuiten (Ø 20×22 mm) waarvan de onderkant met luer aansluiting was verwijderd (afgezaagd op de 1 ml maatstreep). Terwijl een spuitje voorzichtig tot aan de achterwand van de gutsboor het monster in werd geduwd, werd tegelijkertijd de zuiger even ver naar boven getrokken om te voorkomen dat het monster werd vervormd. De spuitjes hadden een maatverdeling van 1 ml. Het volume van het deelmonster werd op basis hiervan geschat op 0.1 ml nauwkeurig. Vervolgens werden de spuitjes afgesloten met PVC omsteekdoppen en werden de monsters in de spuitjes naar het laboratorium vervoerd en in afwachting van verdere verwerking, gekoeld bewaard.

iii) Veenboor. Met de veenboor zijn drie monsters buiten de meetveldjes verzameld. Met een veenboor wordt een half geroerd (verstoord) monster verkregen. Een veenboor heeft een boorlichaam dat bestaat uit een half-cilindrisch bemonsteringsgedeelte met aan de onderzijde een massieve punt (Fig. 3.2A). Het bemonsteringsgedeelte of gutsgedeelte heeft één snijdende rand en wordt afgesloten door een om de booras scharnierende gehoekte vin. Het in de bodem duwen gebeurt zonder een draaibeweging te maken. De massieve punt dient daarbij om het sediment opzij te duwen, terwijl de vin tegelijkertijd het gutsgedeelte afgesloten houdt. Aangekomen op de gewenste bemonsteringsdiepte wordt de boor een halve slag om zijn as gedraaid om het gutsgedeelte te vullen. De vin verandert door zijn weerstand in het sediment daarbij niet van positie en sluit na de halve slag het gevulde gutsgedeelte weer af. Na het ophalen van de boor is deze horizontaal op de kwelder gelegd. Bij het openklappen van de vin wordt het monster uit de guts geduwd en komt het bovenop de vin te liggen (Fig. 3.2BC). Vervolgens zijn op precies dezelfde wijze als hierboven is beschreven bij de gutsboor met behulp van medische injectiespuiten deelmonsters genomen, ook weer op een onderlinge afstand van 20 cm (op 10, 30 en 50 cm diepte).



Figuur 3.1 Gutsboor met boorkern uit de Klutenplas gestoken op 1 september 2021 in kaolienveldje nr. 1. De gele pijl geeft op een diepte van 82.5 cm de bovengrens van de markeerhorizont van kaolienklei die de overgang markeert tussen de oorspronkelijke bodem van de Klutenplas en het nieuw afgezette slib na de blootstelling van de plas aan de dagelijkse getijinvloed.



Figuur 3.2 (A) Veenboor met door de dichtgeklapte vin afgesloten gutsgedeelte. (B) Gesloten veenboor na monsternamen en (C) opengeklapte boor waarbij het sedimentmonster uit de guts is geduwd en bovenop de vin ligt.

- iv) Vrijwitboor. Met de Vrijwitboor zijn vijf monsters verzameld. Een Vrijwitboor is een rechthoekige steekbuis met een kegervormige uitloop (onderaan smal, bovenaan breder). Een Vrijwitboor bestaat uit twee roestvrijstalen delen, namelijk: (a) het kegervormige deel met een oplopend U-profiel (langzaam oplopende zijwanden) en (b) een schuif waarmee het U-vormige deel wordt gesloten (Fig. 3.3). Het boortype heeft verschillende uitvoeringen gekend met werklengtes oplopend tot 1.5 meter (de Jong *et al.* 1989). De boor die beschikbaar was voor de test in de Klutenplas had een werklengte van 40 centimeter met als binnenmaten 12×5 cm voor het smalle uiteinde onderaan

de boor en 12×10 cm bovenaan. De Vrijwitboor wordt door de Jong *et al.* (1989) als zeer geschikt beschouwd voor bemonstering van slib- of zand-slibbodems.

Bij het steken van het monster wordt eerst de boorhelft met het U-vormige profiel de bodem ingeduwd. Daarna wordt de boor met de schuif gesloten. Na het ophalen van de boor wordt de boor met de schuif naar boven horizontaal op de kwelder gelegd. Na het verwijderen van de schuif zijn op 10 en 30 cm diepte deelmonsters uit de boor verzameld. Door de grotere maatvoering van de Vrijwitboor hoefde hierbij geen gebruik te worden gemaakt van hierboven beschreven medische injectiespuiten, maar werd gebruik gemaakt van pF-ringen (RVS-steekringen met een vast volume van 100 cc: Ø 5.05 cm en 5 cm hoog).



Figuur 3.3 De Vrijwitboor bestaat uit een kegervormig gedeelte en een losse achterwand waarmee de boor kan worden gesloten.

Voor de berekening van de natte en droge bulkdichtheid van het sediment is van alle monsters het nat- en drooggewicht bepaald. Voor de bepaling van het drooggewicht zijn de monsters 24 uur lang bij 105°C gedroogd. Bij het drogen van grote boorkernen is na nog eens enkele uren drogen een tweede weging uitgevoerd om te controleren of het drogingsproces was voltooid. Bij het wegen van de relatief kleine deelmonsters uit de medische injectiespuitjes is een nauwkeurigheid van een milligram gehanteerd; bij de overige monsters is een nauwkeurigheid van 0.1 gram gebruikt.

3.2.3 Referentiemetingen kwelder

Om de slibbalans van de Klutenplas te kunnen vergelijken met die van de kwelder zijn in 2018 ook meetpunten ingericht op de kwelder. Hierbij zijn op 10 locaties sedimentatieplaten ingegraven en is de uitgangsdiepte ingemeten (Esselink *et al.* 2019). De opslibbing op de kwelder kan worden geanalyseerd door het monitoren van de diepte van de platen onder het maaiveld (Nolte *et al.* 2013). In 2021 is de diepte van de platen tweemaal opgenomen, namelijk op 10 maart en 25 augustus, zodat de invloed van het seizoen kan worden geanalyseerd en het resultaat kan worden vergeleken met het opslibbingspatroon in de Klutenplas.

Het meten van de diepte van een plaat gebeurde door deze in een denkbeeldig raster negen keer met een dunne ijzeren pen aan te prikken om vervolgens de lengte van het in de bodem verdwenen deel van de pen langs een liniaal tot op één millimeter nauwkeurig te meten.

3.3 Vegetatie

In 2017 is in het kader van de nulmeting een vegetatiekaart van het studiegebied gemaakt (Esselink *et al.* 2018). In het monitoringsplan staat een volgende vegetatiekartering gepland voor 2024. Om de effecten van de verschillende ingrepen op de vegetatie te monitoren voorzag het monitoringsplan daarnaast in een meer frequente monitoring van de vegetatie in permanente kwadraten (pq's). De pq's kunnen worden opgedeeld in drie groepen van elk 10 pq's (Esselink *et al.* 2018):

- a) pq's op het broedeiland in het midden van de plas
- b) pq's in de uitgegraven plas
- c) controle pq's op de kwelder welke niet door de inrichtingsmaatregelen beïnvloed zouden moeten worden.

Omdat de pq's in de plas in 2021 nog geheel onbegroeid waren, zijn deze in 2021 niet opgenomen. De controle pq's rond de Klutenplas stonden in de periode 2017 – 2020 onder invloed van een bijna jaarlijks wisselend beheer. Om deze reden is de monitoring van deze pq's in 2021 onderbroken.

3.3.1 Vegetatiemonitoring beheerexperiment broedeiland

Om te onderzoeken wat de invloed is van de twee beheervormen op het eiland, is gebruik gemaakt van de tien pq's die in 2017 zijn aangelegd en sindsdien zijn gemonitord. Doordat de pq's gelijkmatig over het eiland verdeeld liggen, kan bij beide beheervormen de vegetatieontwikkeling op basis van vijf pq's worden gevolgd. Van deze vijf pq's lagen in de uitgangssituatie er twee op de oeverwal van de aanwezige zwet, en drie in het lagergelegen vlakke deel van de kwelder (Esselink *et al.* 2018). Voor de monitoring van de pq's wordt de vegetatie in de pq's beschreven op basis van de bedekking en abundantie van de aanwezige soorten. Hierbij is gebruik gemaakt van de decimale schaal van Londo (Tabel 3.1; Londo 1976), waarbij de bedekking van de aanwezige plantensoorten op het oog wordt geschat. In 2021 zijn de pq's opgenomen op 18 augustus. De vegetatieopnamen zijn met het programma TURBOVEG (Hennekes 1995) toegevoegd aan de database met de opnamen van de voorgaande jaren.

Tabel 3.1 De decimale schaal van Londo (Londo 1976) waarmee de vegetatie van de pq's is opgenomen. Bij een bedekking van < 5% staat de decimale punt voor één van de aanvullende codes r, p, a of m. De grenzen die hierbij gehanteerd worden kunnen worden beïnvloed door de grootte van het pq. De laatste kolom geeft de grenzen die gehanteerd zijn voor de pq's van 4 × 4 m bij dit project.

Code	Bedekking (%)	Aanvullende code		Aantal exemplaren
. 1	< 1	r (<i>raro</i>)	zeldzaam	= < 5
. 2	1 – 3	p (<i>paululum</i>)	schaars	6 – 20
. 4	3 – 5	a (<i>amplus</i>)	veel, talrijk	21 – 100
		m (<i>multum</i>)	erg talrijk	> 100
1–	5 – 10			
1+	10 – 15			
2	15 – 25			
3	25 – 35			
4	35 – 45			
5	45 – 55			
6	55 – 65			
7	65 – 75			
8	75 – 85			
9	85 – 95			
10	> 95			

4 Bespreking resultaten

4.1 Ontwateringsstelsel

4.1.1 Ontwatering Klutenplas

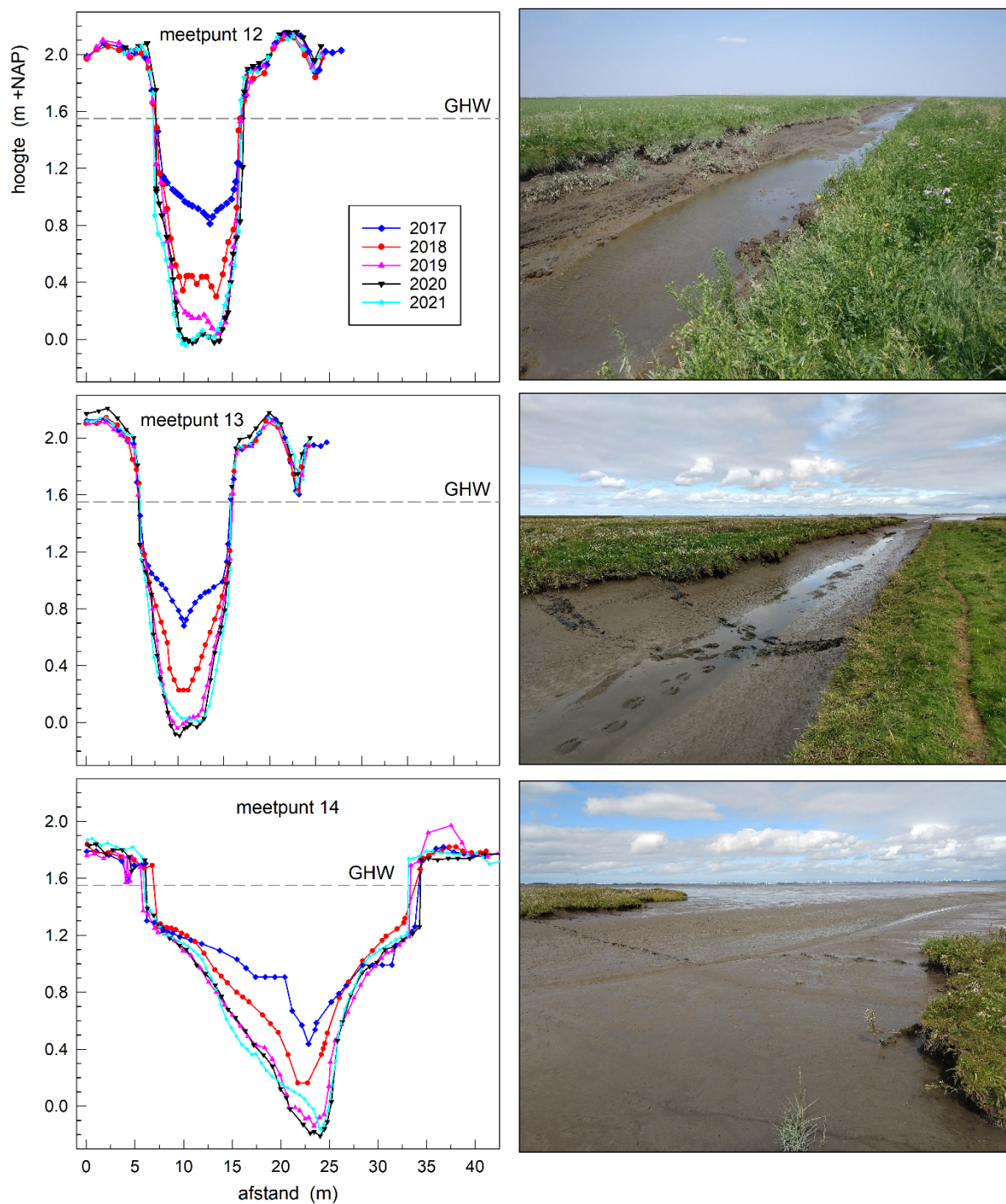
Als gevolg van de blootstelling van de Klutenplas aan de dagelijkse getijdeninvloed heeft de uitwatering (of zwet) die de verbinding vormt tussen de Klutenplas en de Dollard zich aanzienlijk verdiept (Fig. 4.1, 4.2A; Tabel 4.1). De grootste veranderingen deden zich voor in de eerste anderhalf jaar na de aansluiting van de Klutenplas op de Dollard. Vanaf 2019 lijkt de diepte min of meer te zijn gestabiliseerd op een ruwweg 0.7 meter lager niveau in vergelijking tot de Ausgangssituatie.

In vergelijking met de diepte bleef de breedte van de uitwatering opmerkelijk constant (Fig. 4.1). Tabel 4.1 laat zelfs gemiddeld een geringe afname in breedte zien. Zoals in eerdere rapportages al is aangegeven (Esselink *et al.* 2020, 2021), had hier een toename, of in ieder geval een constante waarde verwacht mogen worden. Het resultaat kan worden verklaard door een gebrek aan nauwkeurigheid in de bepaling van de breedte. In de eerste plaats is de breedte alleen goed te vergelijken wanneer een profiel elk jaar over exact dezelfde lijn is ingemeten. Dit is niet elk jaar gelukt. Verder is de breedte gevoelig voor interpretatie bij de keuze welk punt precies als bovenrand van de zwet wordt gekozen. Foto's van de Meetpunten 12 en 13 laten zien dat er wel sprake was van ondermijning van de oevers. Als dit proces zich voortzet zullen de oevers instorten en is op korte termijn alsnog een verbreding te verwachten.

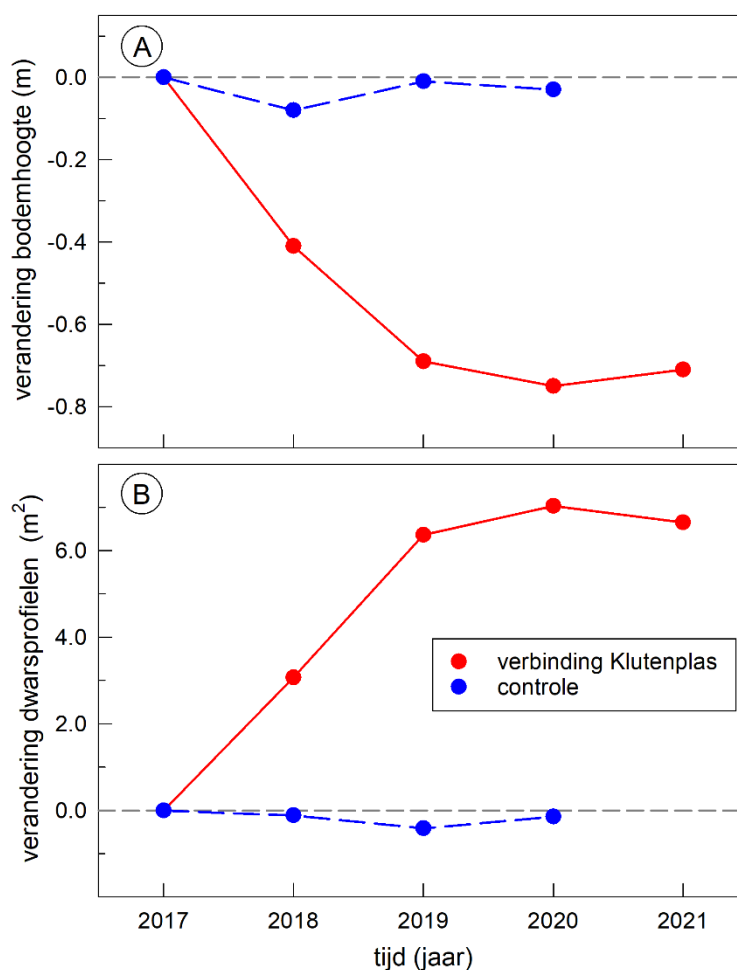
Om de veranderingen in de grootte van de dwarsdoorsnede (oppervlakte van het dwarsprofiel) minder gevoelig te maken voor de onnauwkeurigheid in de breedte op maaiveldhoogte, is in lijn met de voorgaande rapportages ervoor gekozen om de veranderingen in de grootte van de dwarsdoorsnede te berekenen ten opzichte van het lagere niveau van GHW. Hiervoor is de hoogte van NAP +1.55 m aangehouden, overeenkomend met het niveau van GHW van Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 (Esselink *et al.* 2019; zie ook Fig. 4.1). De ontwikkeling in de grootte van de dwarsprofielen komt in grote mate overeen met die van de diepte. Na een vergroting van de drie dwarsprofielen met gemiddeld meer dan 6 m² in de eerste anderhalf jaar na aansluiting van de Klutenplas op de Dollard (april 2018 – augustus 2019), was in de twee daaropvolgende jaren sprake van een duidelijke afvlakking (Fig. 4.2B).

Tabel 4.1 Veranderingen in de dwarsprofielen in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard tussen september 2021 en de nulmeting in 2017. Een positieve waarde geeft een toename van de betreffende dimensie, een negatieve waarde een afname. De dwarsdoorsnede geeft de verandering van het dwarsprofiel onder het niveau van GHW aan. Zie ook figuur 4.1.

Meetpunt	Breedte (m)	Diepte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
			(m ²)	(%)
12	-0.5	0.85	6.0	130
13	0.4	0.67	6.0	102
14	-1.1	0.61	7.9	51
Gemiddeld	-0.4	0.71	6.6	94



Figuur 4.1 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 12 – 14 in de verbinding van de Klutenplas met de Dollard van de nulmeting in 2017 (voor aanleg van de plas) tot vier jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. Met uitzondering van Meetpunt 12 geven de foto's rechts een beeld van de meetlocaties in september 2021. De foto van Meetpunt 12 is van 11 augustus 2020. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.



Figuur 4.2 De cumulatieve veranderingen van (A) de bodemhoogte en (B) de grootte van de dwarsprofielen onder het niveau van GHW ten opzichte van de uitgangssituatie in de verbindingsswetten tussen Klutenplas en Dollard (gemiddelde van de meetpunten 12 – 14) in de periode 2017 – 2021 en in de controlezwetten (gemiddelde van alle meetpunten langs de zwetten I – V in Fig. 2.2) in de periode 2017 – 2020.

De erosie in de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard zal in belangrijke mate zijn veroorzaakt door een versterkte ebstroom. Over het algemeen is de maximum stroomsnelheid van de ebstroom groter dan van de vloedstroom (Allen 2000). In de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard zal de vergrote komberging dit verschil nog hebben versterkt. Door het extra water in de Klutenplas bleef er tijdens de laagwaterfase lange tijd een relatief krachtige ebstroom staan, terwijl de controlezwetten tijdens laagwater minder water voeren en vaak voor langere tijd nagenoeg droogvallen. De ontwikkeling van de profieldimensies van de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard verschilt dan ook sterk met die van de controlezwetten waar geen belangrijke ingrepen in de kombergingsgebieden hebben plaats gevonden (Fig. 4.2).

De afvlakking van de veranderingen in de verbinding tussen Klutenplas kan door verschillende factoren (of combinatie daarvan) worden verklaard, zoals een afgenomen stroomsnelheid als gevolg van de toegenomen kreekdimensies, een minder lange blootstelling aan hoge stroomsnelheden van de ebstroom door de afnemende wateruitwisseling tussen de Klutenplas en de Dollard als gevolg van het weer geleidelijk dichtslibben van de Klutenplas. In elk geval is de verwachting dat door de laatstgenoemde factor de opgetreden verandering in de verbindingsswet (Fig. 4.2) zich uiteindelijk weer zal ombuigen in de richting van de lijn van de controlezwetten en de verbindingsswet zo geleidelijk weer dezelfde dimensies zal aannemen als in de uitgangssituatie. Omdat de controlezwetten

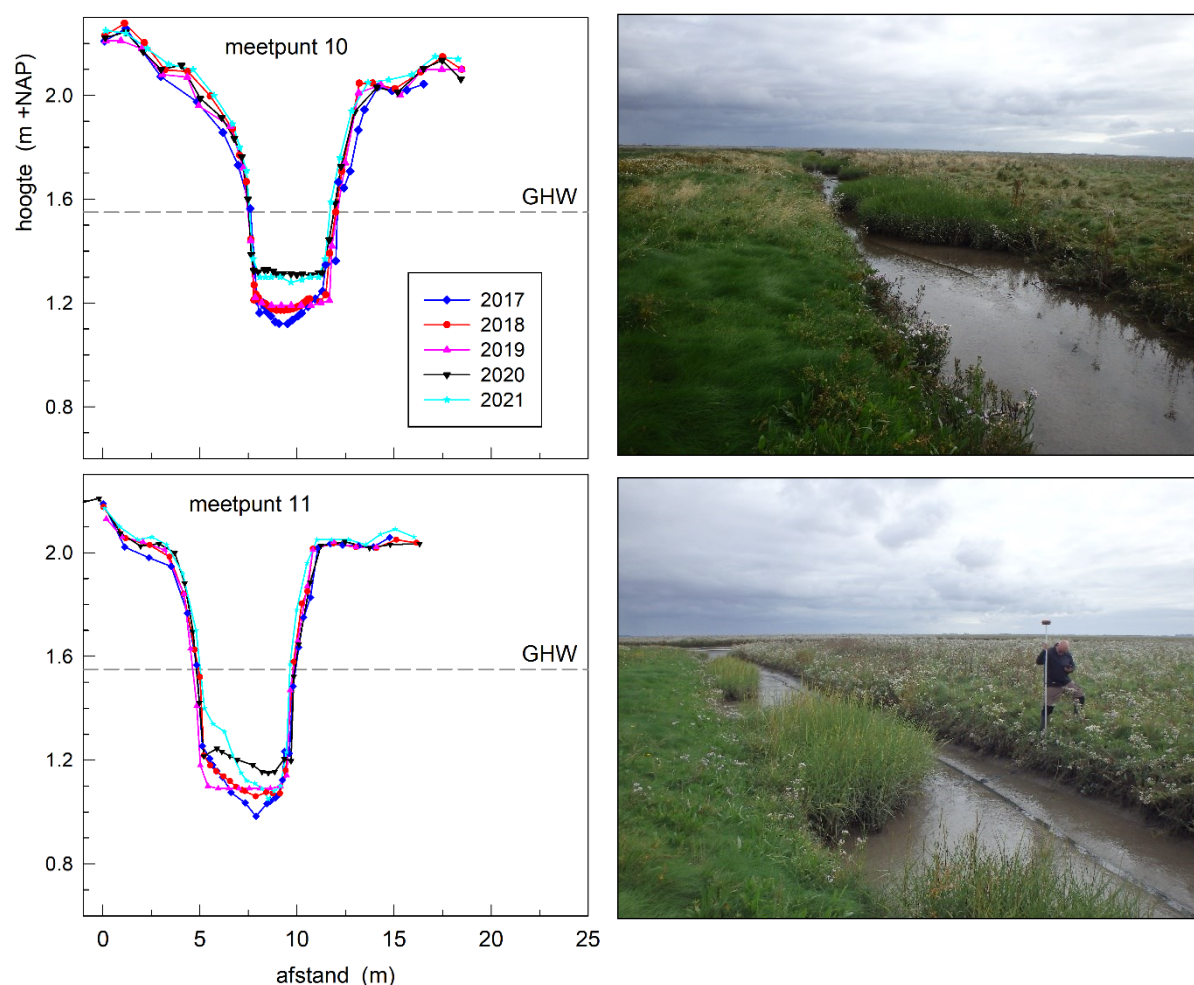
zo weinig verandering lieten zien, zijn deze in 2021 niet opgenomen. Het blijft van belang om de ontwikkeling van de controlezwetten met een lagere frequentie te blijven volgen.

4.1.2 Effecten ontwatering Kleirijperij

Door de aanleg van de Kleirijperij in 2018 inclusief de hieraan voorafgaande tijdelijke opslag van de klei uit de Klutenplas in een droogbed verloor het bovenstroomse deel van de zwet door de Klutenplas de aansluiting op de dijksloot. Tegelijkertijd zijn door deze werkzaamheden de kombergingsgebieden van twee andere zwetten aan de voet van de dijk verkleind (zwetten VI en VII in Fig. 2.2). Door deze veranderingen zijn deze watergangen in meer of mindere mate overgedimensioneerd. Als gevolg hiervan mag worden verwacht dat deze zwetten een trend laten zien om dicht te slibben, te beginnen in de landwaartse uiteinden. Door de toenemende invloed van stroomsnelheden (vooral die van de ebstroom) zal de opvulling in zeewaartse richting veel langzamer verlopen.

De zwet tussen de Klutenplas en de kleirijperij liet t/m 2020 inderdaad een geleidelijke verondieping zien, maar deze ontwikkeling heeft zich in 2021 niet voortgezet (Fig. 4.3, Fig. 4.4). In 2021 bedroeg de verondieping van deze zwet op het meest richting dijk gelegen meetpunt nog 16 cm ten opzichte van de nulmeting in 2017; op het tweede meetpunt was deze waarde teruggelopen tot 7 cm (zwet 0 in Tabel 4.2). Een visuele vergelijking van de situatie in 2018 en 2021 laat duidelijk zien dat in de tussenliggende periode de zwet meer begroeid is geraakt en aan het verlanden is (Fig. 4.5). De vegetatie speelt in de opname van de dwarsprofielen nauwelijks een rol. Wel beperkt de vegetatie de waterbewegingen tot een smaller deel van de zwet waardoor hier iets hogere stroomsnelheden zullen optreden wat de opgetreden verdieping kan verklaren. In lijn met de bovengenoemde verwachting heeft zwet VI vanaf de nulmeting in 2017 over de gehele lengte een verondieping laten zien, variërend van in totaal 6 cm bij de monding tot 10 – 13 cm op de andere twee punten (Fig. 4.4; Tabel 4.2).

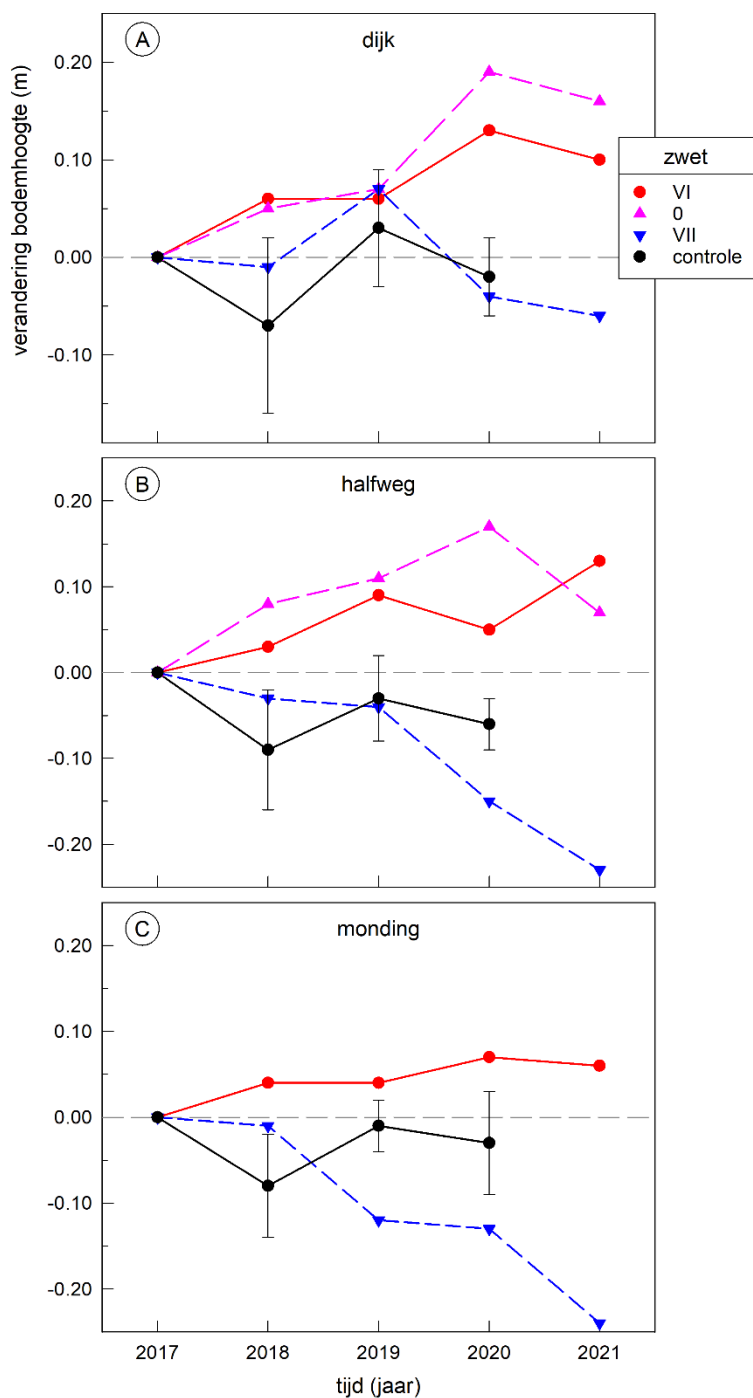
In vergelijking met de twee voorgaande zwetten liet de derde zwet (nr. VII) een sterk afwijkende ontwikkeling zien. In 2021 was deze zwet op alle drie meetpunten dieper dan tijdens de nulmeting in 2017 (Fig. 4.4; Tabel 4.2). Op het dichtst bij de dijk gelegen Meetpunt 15 was het verschil niet groot en liet de ontwikkeling van de bodemhoogte de afgelopen jaren een onregelmatig patroon zien (Fig. 4.4A). Op de twee meer zeewaarts gelegen meetpunten lijkt zich langzamerhand een trendmatige verdieping af te tekenen: de zwet was hier meer dan 20 cm dieper ten opzichte van de nulmeting in 2017 (Fig. 4.4BC). Dat in deze zwet sprake is van erosie wordt bevestigd door de vergroting van het dwarsprofiel met *ca.* 1 m² (Tabel 4.2). De veranderingen in Zwet VII kunnen gerelateerd zijn met de aanleg van Klutenplas. Zwet VII mondt namelijk uit in de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard en de veel grotere verdieping in deze verbinding kan een sterkere ebstroom in Zwet VII hebben veroorzaakt wat het eroderende gedrag van Zwet VII zou kunnen verklaren.



Figuur 4.3 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 10 en 11 tussen de Klutenplas en de kleirijperij van 2017 (het jaar voor de aanleg van de kleirijperij en de Klutenplas) tot vier jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. De foto's rechts geven een beeld van de meetlocaties in september 2021. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.

Tabel 4.2 Het verschil tussen september 2021 en de nulmeting in 2017 in de dimensies van de dwarsprofielen van de zwetten die door de aanleg van de kleirijperij de verbinding met de dijksloot hebben verloren (Zwet 0) of waarvan het kombergingsgebied bij de voet dijk is verkleind. Een positieve waarde geeft een toename van de betreffende dimensie, een negatieve waarde een afname. De dwarsdoorsnede geeft de verandering van het dwarsprofiel onder het niveau van GHW aan. Bijlage I geeft de ontwikkeling van de profielen in de loop van de tijd met een foto van elk meetpunt in 2021. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van alle meetpunten.

Zwet	Meetpunt	Breedte (m)	Diepte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
				(m ²)	(%)
0	10	-0.3	-0.16	-0.6	-38
0	11	-1.1	-0.07	-0.2	-12
VI	7	-1.6	-0.10	0.0	
VI	8	-1.7	-0.13	0.0	6
VI	9	-0.2	-0.06	-0.4	-17
VII	15	-0.8	0.06	0.7	25
VII	16	-0.5	0.23	1.1	19
VII	17	-0.2	0.24	0.9	12



Figuur 4.4 Vergelijking van de cumulatieve verandering in bodemhoogte van de drie zwetten die door aanleg van de kleirijperij de verbinding met de dijksloot hebben verloren (zwet 0 in Fig. 2.2) of waarvan het kombergingsgebied bij de voet van de dijk door deze ingreep is verkleind (zwetten VI en VII) met de ontwikkeling van de bodemhoogte in de controlezwetten (gem. $\pm$ standaardfout) voor (A) bij de dijk gelegen meetpunten, (B) ongeveer halverwege de kwelder gelegen meetpunten en (C) nabij de monding gelegen meetpunten. In 2021 zijn de profielen van de controlezwetten niet opgenomen.



Figuur 4.5 Verlandingsproces van de zwet tussen de Kleirijperij en de Klutenplas. (A) Foto september 2018 en (B) situatie in september 2021.

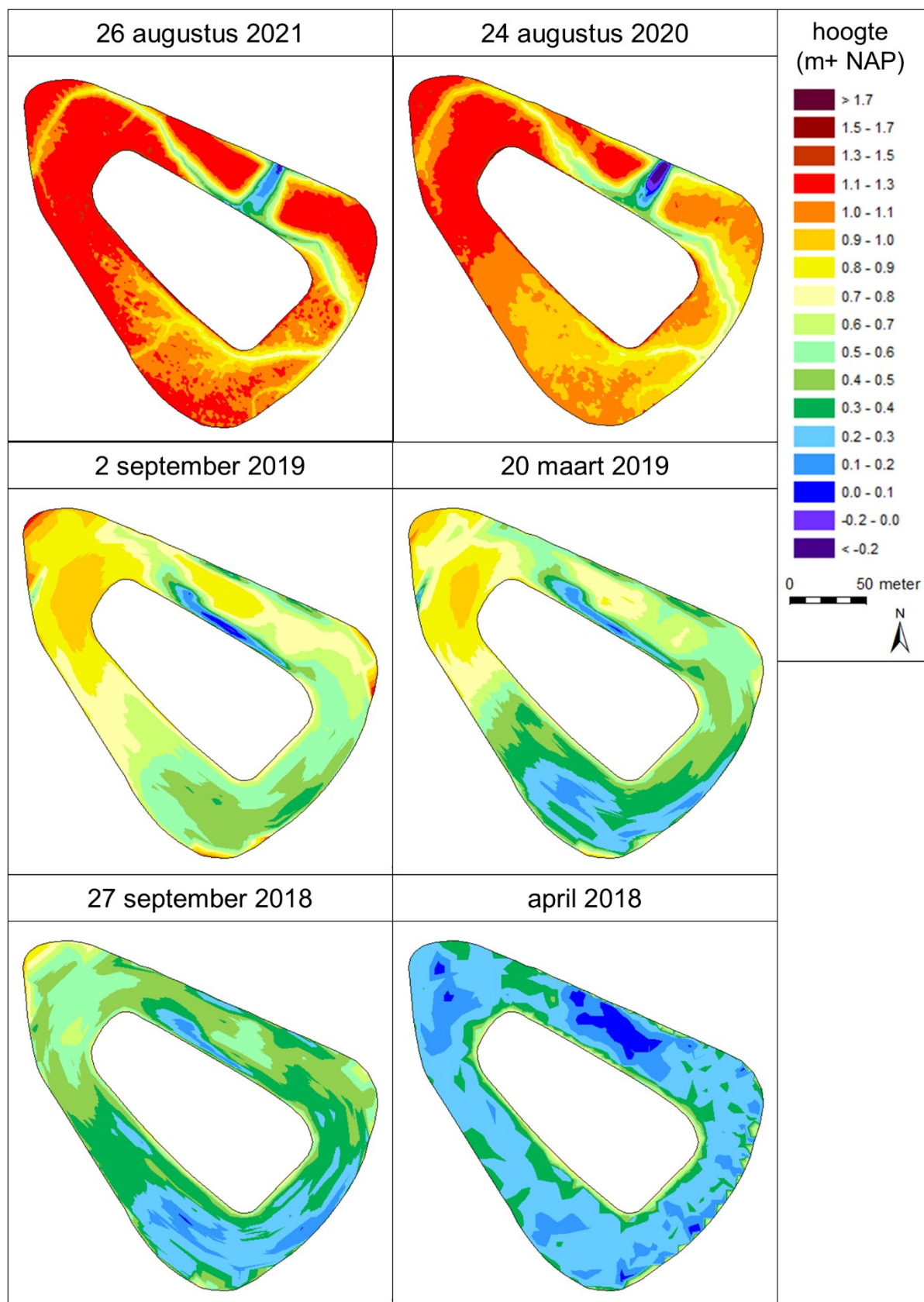
4.2 Opslibbing

4.2.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas

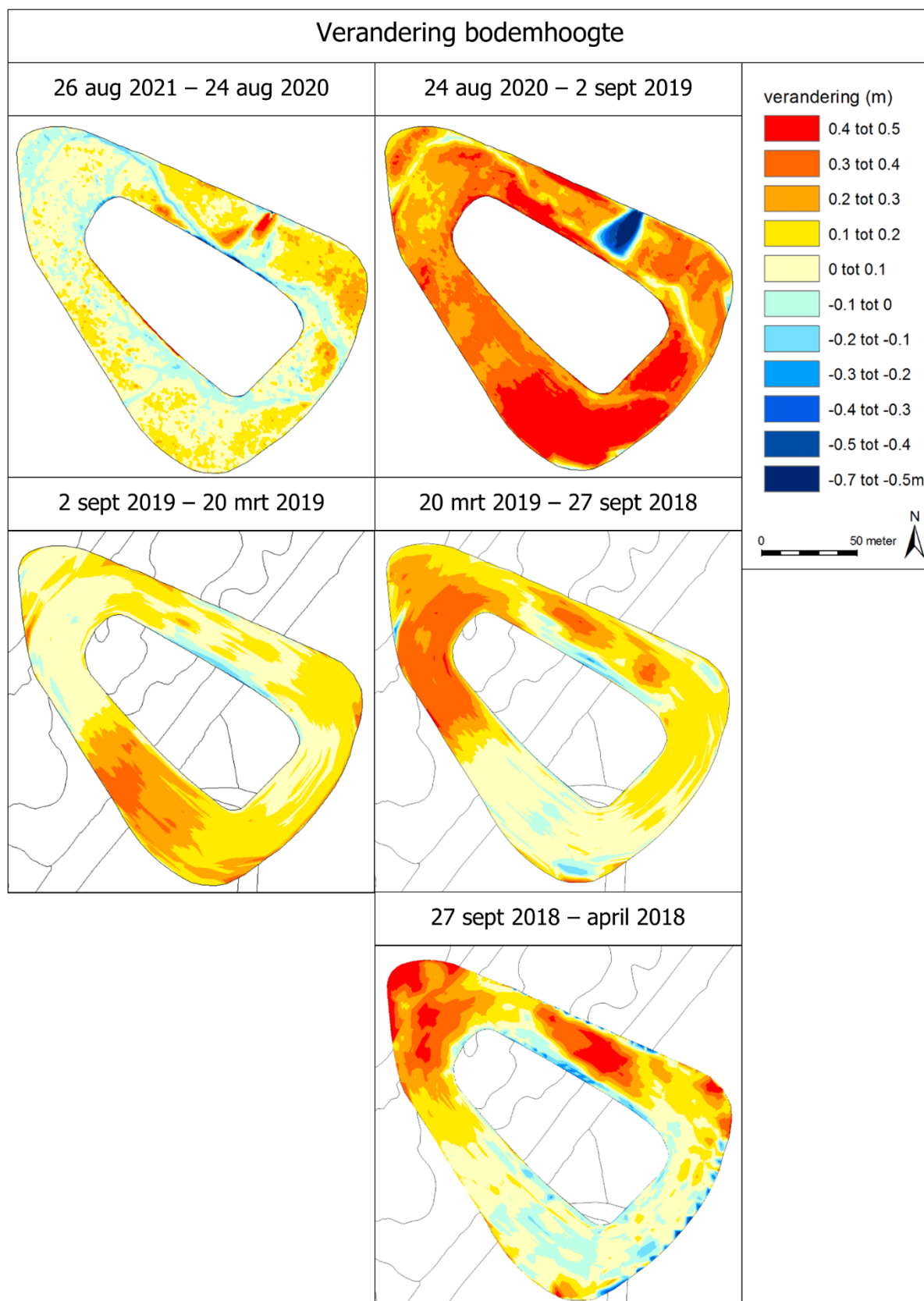
Hoogteontwikkeling bodem

In de eerste 3½ jaar na blootstelling van de Klutenplas aan de dagelijkse invloed van het getij is de bodemhoogte van de plas met gemiddeld 0.77 meter toegenomen (Fig. 4.6 – Fig. 4.8). In het laatste jaar (aug 2020 – aug 2021) was de toename slechts 7 cm, wat een duidelijke vertraging in de hoogteontwikkeling aangeeft. In figuren 4.6 en 4.7 kan de ontwikkeling op basis van hoogte- en verschilkaarten tot 2 sept 2019 in stappen van ongeveer 6 maanden worden gevolgd; daarna in stappen van een jaar. Zoals in voorgaande rapportages al is opgemerkt, is in de loop van de tijd sprake geweest van een steeds opschuivend sedimentatiefront, waarbij het gebied met de hoogste opslibbing zich geleidelijk tegen de wijzers van de klok in door de plas heeft verplaatst. Ook bij de grotere tijdstappen van de laatste twee jaar tekent zich dit patroon af. In de zomer van 2018 (27 sept 2018 – april 2018) lag het gebied met de hoogste opslibbing vlak achter de in- en uitstroomopening en in de noordelijke punt van de plas (Fig. 4.7 rechtsonder). Hierna is het gebied met de hoogste opslibbing via de westelijke helft in de periode 2 sept 2019 – 24 aug 2020 geleidelijk opgeschoven naar de zuidelijk deel van de plas (Fig. 4.7 rechtsboven). Bij een minder uitgesproken toename van de bodemhoogte, lijkt in het laatste jaar het gebied met de hoogste opslibbing verder te zijn opgeschoven naar de oostpunt van de plas (Fig. 4.7 linksboven).

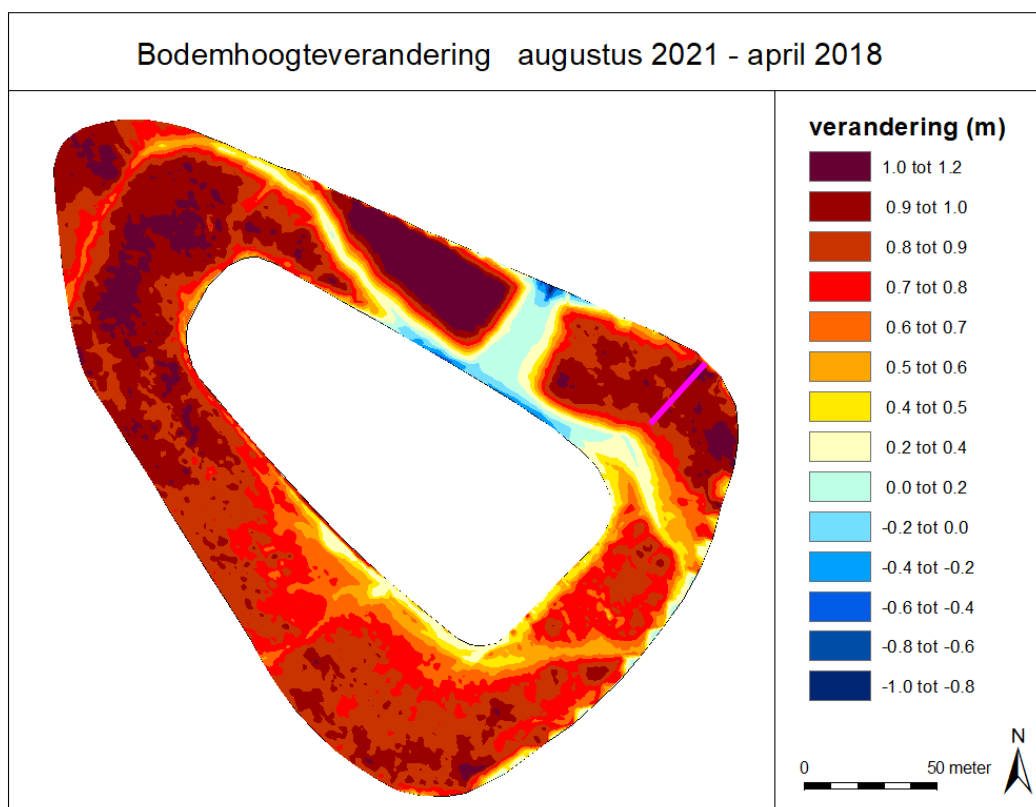
Langs de noordoost rand van het eiland, tegenover de in- en uitstroomopening, was de eerste anderhalf jaar sprake van lichte erosie. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door het in de Klutenplas binnenstromende water dat hier door het eiland werd gekeerd. De sterke erosie tussen 2 sept 2019 en 24 aug 2020 direct achter (of ten zuiden van) de in- en uitstroomopening hangt waarschijnlijk samen met het sterke verval van de drempel in deze periode (Esselink *et al.* 2021). Het laatste jaar lijkt het diepste deel weer gedeeltelijk te zijn opgevuld (Fig. 4.7 linksboven).



Figuur 4.6 Ontwikkeling van de bodemhoogte in de Klutenplas vanaf de oplevering in april 2018 (rechtsonder) tot 26 augustus 2021. De buitengrens van de hoogtekaartjes wordt gevormd door de onderinsteek van de buitenoever bij aanleg; de binnengrens door het vossenraster van het broedeiland (§ 3.2.1).



Figuur 4.7 Verandering in bodemhoogte van de Klutenplas sinds de oplevering in april 2018 uitgesplitst over drie periodes van een half jaar (april 2018 – sept 2019) en twee periodes van een jaar (sept 2019 – aug 2021).



Figuur 4.8 Verandering in bodemhoogte van de Klutenplas in de eerste 40 maanden na blootstelling van de plas aan het getij (periode 23 april 2018 – 26 augustus 2021). De magenta lijn geeft de positie van de meetbrug

Bij het vergelijken van de twee meeste recente hoogtekarten (aug 2020 en aug 2021) valt de uitbreiding op van het gebied met een hoogte van 1.1 – 1.3 m +NAP (Fig. 4.6). Tegelijkertijd heeft geen enkel deel van de Klutenplas al een hoogte bereikt van meer dan 1.3 m +NAP. Deze laatstgenoemde hoogte ligt ongeveer 0.2 meter onder het lokale niveau van GHW. Op deze hoogte mag vestiging van een pioniervegetatie worden verwacht. In 2020 werden langs de randen van de plas al wel enkele solitaire planten aangetroffen maar zonder dat van een vegetatie kon worden gesproken (Esselink *et al.* 2021). In 2021 bleef dit beeld vrijwel ongewijzigd. Een gebrekkige ontwatering zou een beperkende factor kunnen zijn geweest, waardoor een massale vestiging van planten tot nu toe is uitgebleven. De krekken die de laatste twee jaar zijn gevormd, kunnen op korte termijn van grote invloed blijken te zijn op de vegetatieontwikkeling in de Klutenplas.

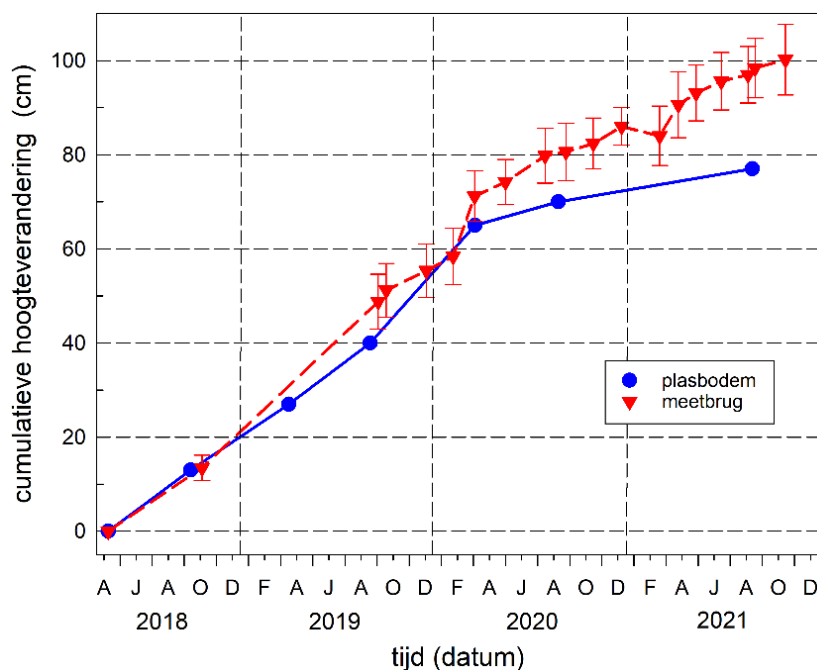
In de Klutenplas is een tijdsbestek van bijna 3½ jaar op sommige plaatsen 1.2 meter sediment afgezet (Fig. 4.8). Plekken waar veel sediment is afgezet zijn onder meer direct ten westen en ten oosten van de in- en uitstroomopening en de gehele noordelijke punt van de plas.

Dikte sliblaag meetbrug

De opbouw van de sliblaag boven de sedimentatieplaten bij de meetbrug verliep de eerste twee jaar (tot half mrt 2020) vrijwel even snel als de gemiddelde hoogtetoeename van de hele plasbodem (71 cm *versus* 65 cm; Fig. 4.9). Hoewel hierna zowel de opbouw van de sliblaag bij de meetbrug als de gemiddelde hoogteverandering van de plasbodem een afvlakking lieten zien, nam het verschil tussen beide opslibbingscijfers toe. Terwijl op 1 sept 2021 boven de sedimentatieplaten een slibhoogte werd gemeten van gemiddeld 98 cm, bedroeg de totale hoogtetoeename van de plasbodem op dat moment “slechts” 77 cm. Een verdere analyse moet een verklaring geven voor het verschil tussen de twee

meetreeksen. Eén van de mogelijke verklaringen is dat in de berekening van de hoogte van de plasbodem geen onderscheid is gemaakt tussen de vlakke delen en de zich ontwikkelende kreekstelsels. De kreekstelsels hebben een drukkend effect op de gemiddelde hoogte van de plasbodem. De veel sterkere afvlakking in hoogteontwikkeling van de plasbodem in vergelijking tot de meetbrug valt ook precies samen met de overstap in methode van *single-beam* en Total Station naar hoogteopnames met behulp van dronevluchten. Dat het genoemde verschil eventueel veroorzaakt kan zijn door een verschil in methoden willen we in de toekomst kunnen uitsluiten. Als naar de veranderingskaart van de bodemhoogte over de gehele periode wordt gekeken (Fig. 4.8), blijkt de meetbrug in een gedeelte van de Klutenplas te liggen met een bovengemiddelde hoogteverandering. Verder ligt op deze kaart de hoogteverandering van de plasbodem rond de meetbrug ongeveer in dezelfde orde van grootte als de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten. Dit betekent dat we er voorlopig van kunnen uitgaan dat de verschillen tussen meetbrug en plasbodem in figuur 4.9 een juiste weergave vormen van de situatie in het veld.

De sliblaag boven de sedimentatieplaten had in 2021 eind oktober een dikte van 100 cm bereikt.



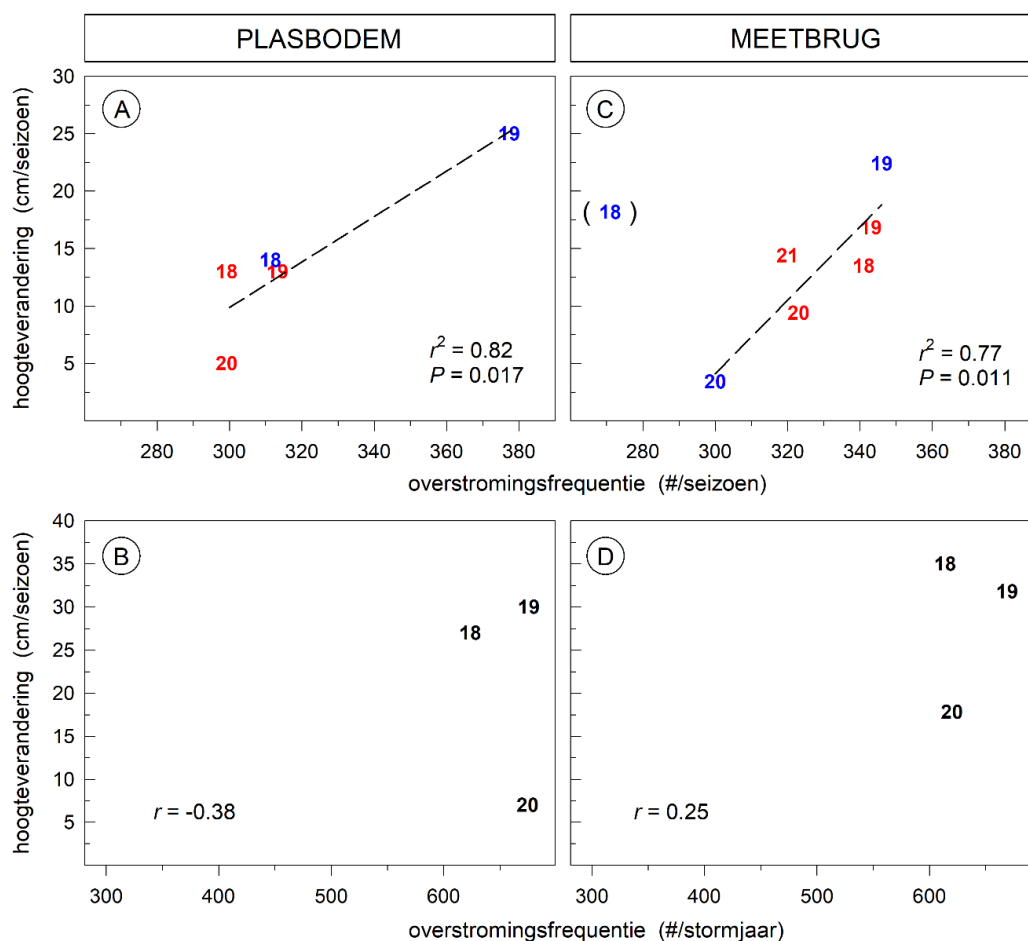
Figuur 4.9 De cumulatieve hoogteverandering in de Klutenplas van april 2018 tot eind 2021. De blauwe lijn geeft de gemiddelde verandering in de hele plas; de rode lijn geeft de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten langs de meetbrug (gem. $\pm$ standaarddeviatie).

Relatie hoogteontwikkeling – getijdynamiek

Voor beantwoording van de vraag uit het monitoringsplan wat de invloed is storm en seizoenen op de slibhuishouding in de Klutenplas (meetvraag K3 in tekstkader 1.1) is de opgebouwde meetreeks nog relatief kort. Daarnaast speelt de aanwezigheid van de drempel gedurende de eerste anderhalf jaar mogelijk een complicerende factor (zie § 3.2.1). Hieronder volgt een bespreking van een eerste voorlopige analyse van de hoogteveranderingen.

Wanneer zomer- en winterwaarden worden gecombineerd in dezelfde grafiek, laat de opslibbing (in cm per seizoen) zowel op basis van de hoogteverandering van de plasbodem als op basis van de verandering in de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten een nauw positief verband zien met de overstromingsfrequentie (Fig. 4.10AC). Om eenzelfde type relatie op basis van stormjaren te

onderzoeken, is een meetreeks van drie jaar nog erg kort (Fig. 4.10BD). Omdat de keuze is gemaakt om de hoogte van de plasbodem niet meer halfjaarlijks op te nemen, ontbreken in figuur 4.10A de winter van 2020/2021 en de zomer van 2021. Bij de meetbrug vormt de opslibbing in de winter van 2018/2019 een sterk afwijkende waarde in vergelijking tot de overige waarden en is dit punt daarom niet meegenomen in de uitgevoerde regressieanalyse.

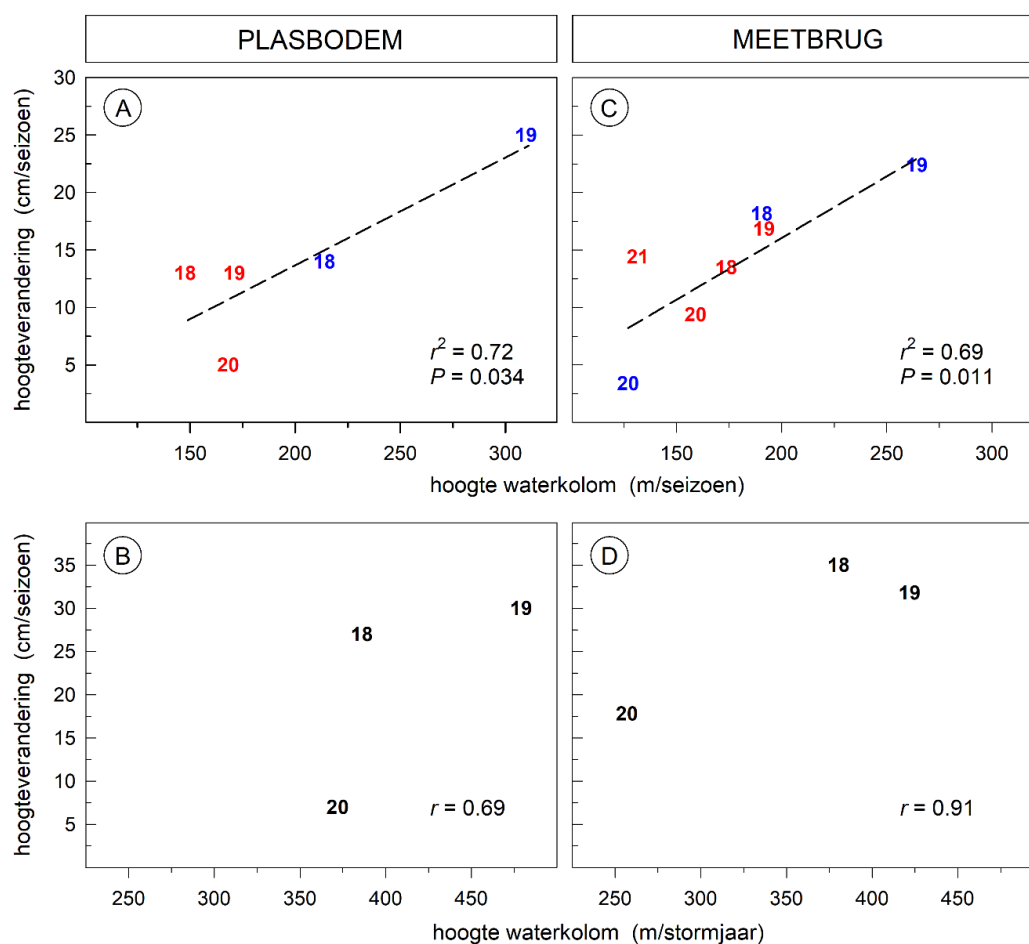


Figuur 4.10 De hoogteverandering in de Klutenplas in relatie met de overstromingsfrequentie (A) in de hele plas in zomer- (rood) en winterhalfjaar (blauw) gecombineerd en (B) per stormjaar; (C) bij de meetbrug op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten in zomer en winter en (D) per stormjaar. Via de labels kunnen de veranderingen door de tijd worden gevolgd: Afhankelijk van de kleur geeft '18' de periode mrt 2018 t/m aug 2018, sept 2018 t/m febr 2019 of sept 2018 t/m aug 2019 voor respectievelijk zomerhalfjaar, winterhalfjaar en stormjaar, etc. r = lineaire correlatiecoëfficiënt; P = kritische waarde van r bij een éézijdige toets. Bij de meetbrug is de hoogteverandering in de winter van 2018 als uitbijter beschouwd en buiten de regressieanalyse gehouden (paneel C). Zie tekst voor verdere toelichting.

Opvallend is dat de opslibbing per zomer- of winterhalfjaar voor de verschillende jaren rond dezelfde lijn lijken te liggen. Dit betekent dat afgezien van een seizoen effect op de overstromingsfrequentie, het niet aannemelijk lijkt dat een tweede factor een grote rol speelt in de invloed van seizoen op de opslibbing. Bij de seizoensinvloed op de overstromingsfrequentie van de Klutenplas moet hierbij de kanttekening worden gemaakt dat (i.t.t. tot de kwelder) als gevolg van de lage positie van de plasbodem (en drempel) in het getijdenvenster, een zeer hoog percentage van de hoogwaters resulteerde in een overstroming van de Klutenplas. Dit vormt tevens de verklaring voor de geringe variatie van de overstromingsfrequentie in de verschillende jaren langs de horizontale as.

De opslibbing laat – opnieuw bij het combineren van de zomer en winterwaarden in dezelfde analyse – eveneens een nauwe, positieve relatie zien met de gesommeerde hoogte van de waterkolom per seizoen (Fig. 4.11AC). Tot en met het winterhalfjaar 2019/2020 werd de hoogte van de waterkolom negatief beïnvloed door de drempel. Voor de zomer van 2018 zou de hoogte van de waterkolom bij afwezigheid van de drempel bijvoorbeeld meer dan tweemaal zo hoog zijn geweest. Dit geeft aan dat in de begin periode de opslibbing sterk negatief beïnvloed is door de drempel.

In figuren 4.10 en 4.11 zijn de gebruikte tijdsintervallen afhankelijk van de data waarop de metingen in het veld zijn uitgevoerd. Dit betekent dat niet alle punten op exact een evenlange periode zijn gebaseerd. Om hiervoor te corrigeren hadden zowel de waarden langs zowel de X-as als Y-as moeten worden gestandaardiseerd. Deze correctie leidde vooral tot een verhoging van de correlaties van de opslibbing met de overstromingsfrequentie en gesommeerde hoogte van de waterkolom per stormjaar. In het correlatiediagram van de opslibbing bij de meetbrug tegen de overstromingsfrequentie (Fig. 4.10C) was na de correctie de waarde van de winter 2018/2019 niet langer sterk afwijkend van de overige waarden.



Figuur 4.11 De hoogteverandering in de Klutenplas in relatie met de gesommeerde hoogte van de waterkolom van de getijden boven het niveau van de drempel dan wel boven de bodem van de plas na het verval van de drempel in het najaar van 2019 (A) per zomer- (rood) en winterhalfjaar (blauw) in de hele plas (B) per stormjaar in de hele plas; (C) langs de meetbrug op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten in zomer en winter en (D) per stormjaar. Zie figuur 4.10 voor verdere toelichting.

4.2.2 Sedimentatie en slibinvang

Bulkdichtheid van het sediment

De sliblaag die is afgezet in de veldjes met markeerhorizont is in 2021 zowel bemonsterd met de Beekersampler als met een gutsboor. In de evaluatie van de slibbemonstering in de Klutenplas met vier verschillende typen boren wordt geconcludeerd dat bij de monsternamen met de Beekersampler in de diepere lagen (> 50 cm diep) een ernstige vervorming van het gemonsterde sediment kan optreden (Bijlage II). Om deze reden is besloten om hier de resultaten van de monsternamen met de Beekersampler buiten beschouwing te laten en alleen de resultaten verkregen met de gutsboor te presenteren.

Tijdens de bemonstering werd een verschil gemeten van gemiddeld 5 cm tussen de dikte (of hoogte) van de afgezette sliblaag in de monsters in de gutsboor en de afgezette sliblaag boven de sedimentatieplaten (Tabel 4.3). Bij de meting in de gutsboor is de bovenkant van de markeerhorizont opgenomen, terwijl de dikte van de markeerhorizont 2 – 3 cm bedroeg. Als dit laatste gegeven in Tabel 4.3 zou worden verwerkt, dan neemt het verschil tussen de hoogtes van de sliblaag in de monsters en boven de sedimentatieplaten met de helft af en kan dan eigenlijk worden verwaarloosd. Dit vormt een cijfermatige onderbouwing van de claim in hoofdstuk 3 (§ 3.2.2) dat er bij het gebruik van de gutsboor geen zichtbare vervorming van het monster optrad.

In de meetveldjes had de geaccumuleerde sliblaag gemiddeld een natte en droge bulkdichtheid van resp. 1339 kg/m³ en 483 kg/m³. Deze waarden liggen gemiddelde iets hoger in vergelijking tot de dichtheden in voorgaande jaren. Om een wat grotere steekproef te verkrijgen voor 2021 kunnen de resultaten van de vijf extra gestoken monsters worden toegevoegd. In deze monsters was geen zichtbare grens aanwezig tussen de afgezette sliblaag en de oorspronkelijke bodem. Om deze extra monsters toe te kunnen voegen aan de resultaten van de meetveldjes is daarom aangenomen dat de genomen deelmonsters tot een diepte van 90 cm uitsluitend materiaal uit de geaccumuleerde sliblaag bevatten. De toevoeging leidde nauwelijks tot verandering in de schatting van de bulkdichtheden van de geaccumuleerde sliblaag (Tabel 4.4). De gegevens van de extra monsters zijn wel van waarde voor de analyse van de autocompactie (zie verder). Om deze reden wordt voor een schatting van de dichtheden van het geaccumuleerde slib in de hele plas de gemiddelde waarde van alle tien monsters aangehouden (zie Tabel 4.4). In vergelijking met de drie voorgaande jaren lijkt sprake van een lichte, maar gestage toename van de bulkdichtheden (Tabel 4.5).

Tabel 4.3 Resultaten van de bemonstering van de geaccumuleerde sliblaag boven de kaolienveldjes bij de meetbrug op 1 september 2021. Onder de slibhoogte wordt de gemeten diepte (van de bovenkant) van de kaolienhorizont in de gutsboor vergeleken met de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaat naast het bemonsterde kaolienveldje. Onder de bulkdichtheid wordt de gemiddelde waarde en de standaarddeviatie (*SD*) van de deelmonsters per boring (1 per veldje) gegeven. De kolom vocht geeft het watergehalte van het slib (gewichtspercentage). *N* = aantal deelmonsters.

Veldje (nr.)	Slibhoogte (cm)		Bulkdichtheid (kg/m³)				Vocht (%)	<i>N</i>
			nat		droog			
	monster	plaat	gem.	<i>SD</i>	gem.	<i>SD</i>		
1	82.5	89.5	1379	124	487	50	64.7	4
2	100.0	102.0	1290	37	472	43	63.3	5
3	101.0	103.0	1328	74	501	82	62.4	5
4	94.7	103.5	1374	134	475	37	65.3	5
5	89.0	94.0	1333	103	480	70	64.1	5
Gemiddeld	93.4	98.4	1339	96	483	55	63.9	24
<i>SD</i>	7.8	6.3	36		12		1.1	

Tabel 4.4 Resultaten van de bemonstering van de geaccumuleerde sliblaag rond de meetbrug buiten de vijf meetveldjes met markeerhorizont uitgevoerd met de gutsboor (vgl. rechterkolom van Fig. II.2). Aangenomen is dat deelmonsters tot op een diepte van 90 cm volledig afkomstig waren uit de geaccumuleerde sliblaag. Het gemiddelde en de standaarddeviatie in de onderste twee regels zijn berekend op basis van alle 10 monsters binnen en buiten de meetveldjes met markeerhorizont. Zie tabel 4.3 voor verdere toelichting.

Plek (nr.)	Bulkdichtheid (kg/m³)				Vocht (%)	N
	nat		droog			
	gem.	SD	gem.	SD		
6	1358	81	502	60	63.2	5
7	1392	130	531	103	62.1	4
8	1307	41	485	38	62.9	5
9	1370	114	487	48	64.4	5
10	1302	59	462	62	64.5	5
Gemiddeld	1341	91	487	58	63.7	48
SD	36		19		1.1	

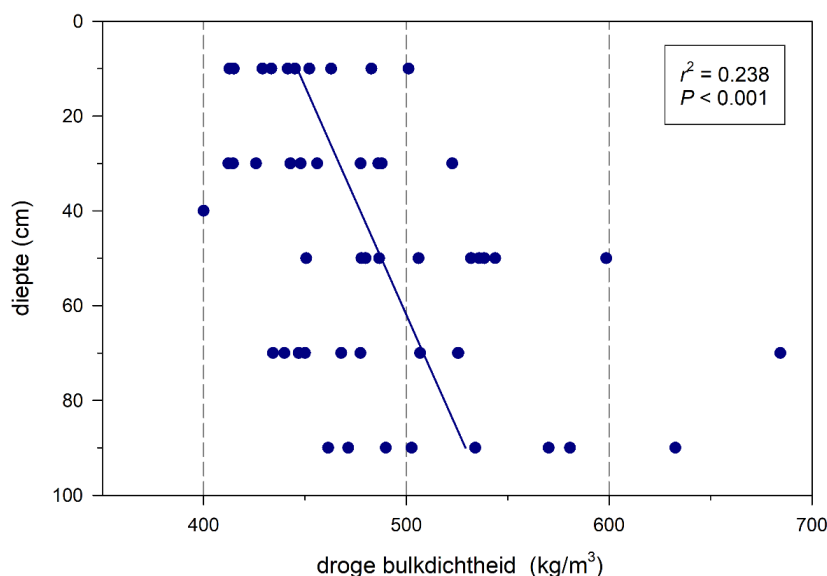
Tabel 4.5 De ontwikkeling van de hoogte en de natte en droge bulkdichtheid (gemiddelde en standaarddeviatie (SD)) van het afgezette slib nabij de meetbrug in de eerste vier jaar na aanleg van de Klutenplas. Voor een verantwoording van gevolgde methoden in de voorgaande jaren wordt verwezen naar de betreffende jaarrapporten (Esselink *et al.* 2019, 2020, 2021).

Jaar	Monster- apparatuur	Slib- hoogte (cm)	Bulkdichtheid (kg/m ³)				N	Opmerking
			nat		droog			
			gem.	SD	gem.	SD		
2018	vacuüm cilinder	13.0	1086	23	354	9	3	onderwaterbodem
2019	Beekersampler	48.7	1229	35	442	16	3	gecorrigeerde waarden
2020	Beekersampler	80.6	1158	40	420	19	5	
2021	gutsboor	98.4	1343	36	487	19	10	

Compactie

In de sliblaag kan een toename van de bulkdichtheid worden verwacht door compactie in de diepere lagen als gevolg van de druk van het bovenliggende sediment. Figuur 4.12 laat inderdaad zien dat er in de sliblaag een positief verband bestaat tussen de DBD en de diepte. De DBD liet een toename zien van gemiddeld 448 kg/m³ op een diepte van 10 cm naar 530 kg/m³ op 90 cm diepte. In 2020 werd ook een positief verband gevonden tussen DBD en diepte, maar dit was op basis van een bemonstering met de Beekersampler met aanwijsbare vervorming van de monsters (Esselink *et al.* 2021).

In het relatief kleine gebied rond de meetbrug waar gemonsterd is, zullen vrijwel overal dezelfde omstandigheden heersen. Toch laat de DBD in figuur 4.12 op elke diepte een vrij grote variatie zien. Aangenomen wordt dat de verklaring hiervoor gezocht moet worden in de kleine volumes van de deelmonsters en het doorwerken van meetfouten bij het aflezen van de volumes en onnauwkeurigheden bij het openzagen van de injectiespuiten, of mogelijke vervorming van het bemonsterde sediment bij het nemen van deelmonsters met de medische injectiespuitjes (Bijlage II). De verwachting is dat bij een methode waarbij deelmonsters met een groter volume kunnen worden verkregen de relatie tussen DBD en diepte een minder grote spreiding zal laten zien. Een minder grote spreiding is van belang om een eventuele verandering in de relatie tussen DBD en diepte in de loop van de tijd te kunnen beschrijven. Dit zou kunnen worden gerealiseerd met de inzet van een Vrijwitboor met een grote werk lengte en het nemen van 100 cc grote deelmonsters met behulp van pF-steekringen zoals is beschreven in § 3.2.2.



Figuur 4.12 De relatie tussen de droge bulkdichtheid (DBD) in de afgezette sliblaag van de Klutenplas en de bemonsteringsdiepte in 2021. De figuur is gebaseerd op de deelmonsters uit de gutsboor. NB: Om grafische redenen is diepte als onafhankelijke variabele uitgezet langs de verticale as, terwijl de DBD als afhankelijke variabele is uitgezet langs de horizontale as. r = lineaire correlatiecoëfficiënt; P = kritische waarde van r .

Een tweede aanvullende methode om het proces van autocompactie te monitoren is het aanbrengen van een tweede kaolien-markeerhorizont en vervolgens de afstand tussen de twee horizonten te meten een zekere regelmaat vast te leggen. Hiervoor is in 2020 een tweede horizont bovenop de meetveldjes aangebracht. Bij werkzaamheden aan de meetbrug is deze tweede horizont in een deel van de veldjes verstoord. Hierop is besloten om in 2021 deze proef opnieuw op te starten door een derde horizont bovenop de meetveldjes aan te brengen.

Een min of meer vergelijkbare relatie tussen de DBD en diepte als in figuur 4.12 werd gevonden in het relatief jonge sediment in een kleiwinput op een Duitse kwelder (Karle & Bartholomä 2008). Door uitdroging van de bovenste sedimentlaag vond in deze kleiwinput na vier jaar echter geleidelijk een omkering plaats van de relatie met een hogere DBD in de bovenste laag en een lagere DBD-waarde in de diepere lagen. Deze omkering vond plaats nadat de bodem van de kleiwinput door opslibbing boven het niveau van GHW kwam te liggen. In de Klutenplas is dit punt nog niet bereikt. Eind augustus 2021 bedroeg de gemiddelde hoogte van de Klutenplas NAP + 1.04 m; boven de sedimentatieplaten bij de meetbrug had het oppervlak een hoogte van NAP + 1.21 m (vgl. Fig. 4.9). Deze waarden lagen respectievelijk nog meer dan 0.5 en 0.3 meter onder het niveau van GHW. De snellere ontwikkeling in de Duitse kleiwinput kan worden verklaard doordat deze bij aanleg minder diep is uitgegraven dan de Klutenplas.

De DBD in de Klutenplas ligt ongeveer een factor twee lager dan die van de afgegraven en omringende kwelder. In kader van de voorbereiding van de kleiwinning uit de Klutenplas is een waterbodem-onderzoek op de kwelder verricht (Wiertsema & Partners 2016; van Zoest & de Vries 2018). Op basis van de onderzochte monsters dit onderzoek is door Richard Marijnissen de DBD van de omringende kwelder geschat op 873 kg/m³ (Marijnissen *et al.* 2020). In 2018 is in het kader van de nulmeting de DBD van de bovenste 10 cm van de kwelder bepaald (Esselink *et al.* 2019). In dit onderzoek varieerde de DBD tussen gemiddeld 776 kg/m³ in het vlakke deel van de kwelder tot 900 kg/m³ op de hoge ruggen langs de zwetten. Karle & Bartholomä (2008) kwamen in hun onderzoek tot de conclusie dat de DBD in de door hen onderzochte voormalige kleiwinputten zelfs na enkele

tientallen jaren nog steeds onder het niveau van de omringende kwelders lag. Voor de kwelder rond de Klutenplas ontbreekt vooralsnog een goede referentiemeting over het gehele bodemprofiel.

Slibinvang

Uit de gecombineerde resultaten van de hoogteontwikkeling van de Klutenplas en de sedimentbemonsteringen kan een ruwe schatting worden gemaakt van de hoeveelheid sediment dat er sinds de opening per jaar en in totaal is afgezet (Tabel 4.6). Afgerond was er tot de nazomer van 2021 22 000 m³ sediment afgezet. Op basis van een gemiddelde DBD van 487 kg/m³ (Tabel 4.4) zou dit neerkomen op 10 700 ton ingevangen sediment. In de uitgangssituatie had de omringende kwelder een hoogte van NAP + 1.9 m. Hieruit kan worden berekend dat er bij de aanleg 46 500 m³ klei is afgegraven. Dit volume was in 2021 weer voor 47% opgevuld. Door de lage dichtheid van de afgezette sliblaag loopt het herstel van de hoeveelheid sediment hier ver bij achter. Uit de schatting van 873 kg/m³ voor de DBD van de afgegraven klei (Marijnissen *et al.* 2020) volgt dat er 40 600 ton sediment aan de Klutenplas is onttrokken. Dit sediment was in 2021 voor (maar) 26% weer aangevuld. Dat de aanvulling van de hoeveelheid sediment achterblijft bij de hoogte- of volumeontwikkeling komt overeen met resultaten van het eerder genoemde onderzoek naar de natuurlijke opvulling van kleiwinputten op Duitse kwelders (Karle & Bartholomä 2008) en met modelvoorspellingen (Marijnissen *et al.* 2020).

Als de zomermaanden van 2018 buiten beschouwing worden gelaten, omvat tabel 4.6 (pas) drie volledige jaren. Hiervan laat het meest recente jaar voor alle variabelen (hoogteontwikkeling, volumeverandering, ingevangen hoeveelheid sediment en sedimentatie) de laagste waarde zien. Dit is waarschijnlijk geen toeval. Door de snelle hoogtetoename van de plasbodem is ook sprake van een snelle verandering in het overstromingsregime, waardoor de randvoorwaarden voor een hoge sedimentatie snel minder gunstig worden en de sedimentatie een dalende trend zal inzetten.

Tabel 4.6 De hoogteontwikkeling van de Klutenplas en een schatting van de hoeveelheid sediment dat de eerste vier jaar in de plas is afgezet, uitgedrukt in de netto volumeverandering per jaar en in ton droge stof per jaar. De schattingen voor de droge stof zijn gebaseerd op de gemiddelde DBD in de vier bemonsteringen (Tabel 4.5). De sedimentatie geeft de hoeveelheid sediment afgezet sediment per vierkante meter. Het stormjaar 2017/18 omvat alleen vijf zomermaanden van 2018 en is om die reden grijs gearceerd. De onderste regel geeft voor alle variabelen de totalen over de gehele periode sinds de blootstelling van de Klutenplas aan de dagelijkse getijdeninvloed (23 apr 2018 – 1 sept 2021).

Stormjaar	Hoogte- verandering (cm)	Slibinvang		Sedimentatie (kg/m ² /jr)
		(m ³ /jr)	(ton/jr)	
2017/18	13	3749	1329	47
2018/19	27	7812	3781	132
2019/20	30	8544	3325	116
2020/21	7	1902	2312	81
Totaal	77	22007	10746	376

4.2.3 Kwelder

Tussen september 2020 en augustus 2021 is de diepte van de sedimentatieplaten op de kwelder toegenomen met gemiddeld 1.4 mm (Fig. 4.13). Dit is laagste toename in een jaar tijd sinds het begin van de metingen in 2018. Van de drie meetjaren is het stormjaar 2020/21 ook het jaar met de laagste overstromingsfrequentie en de laagste waterstanden boven de kwelder (Tabel 2.2).

In de Waddenzee laat de hoogteontwikkeling van kwelders in de meeste gevallen een typisch seizoenspatroon zien (Erchinger *et al.* 1996; Elschot *et al.* 2020). Dit geldt ook voor de diepte van sedimentatieplaten (Nolte *et al.* 2015). In het winterhalfjaar overstromen de kwelders vaker dan in het zomerhalfjaar. Met een overstroming wordt sediment aangevoerd dat op de kwelder tot bezinking kan komen waarmee de kwelder wordt opgehoogd (of de diepte van ingegraven sedimentatieplaten toeneemt). In het zomerhalfjaar wordt door het lagere aantal overstromingen minder sediment afgezet en door invloeden van verdamping, krimp en beweiding kan compactie een belangrijke factor worden of zelfs overheersen waardoor de kwelderhoogte (of diepte van sedimentatieplaten) afneemt. Figuur 4.13 laat zien dat de opslibbing in het winterhalfjaar van 2020/21 onvoldoende was om de zomerse krimp van 2020 te compenseren. Na de droge en zeer warme zomers van 2019 en 2020 was de zomer van 2021 relatief nat met een vrijwel normale temperatuur (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2021/zomer>). In vergelijking tot de zomer van 2020 bleef hierdoor de afname in plaatdiepte in de zomer van 2021 beperkt.

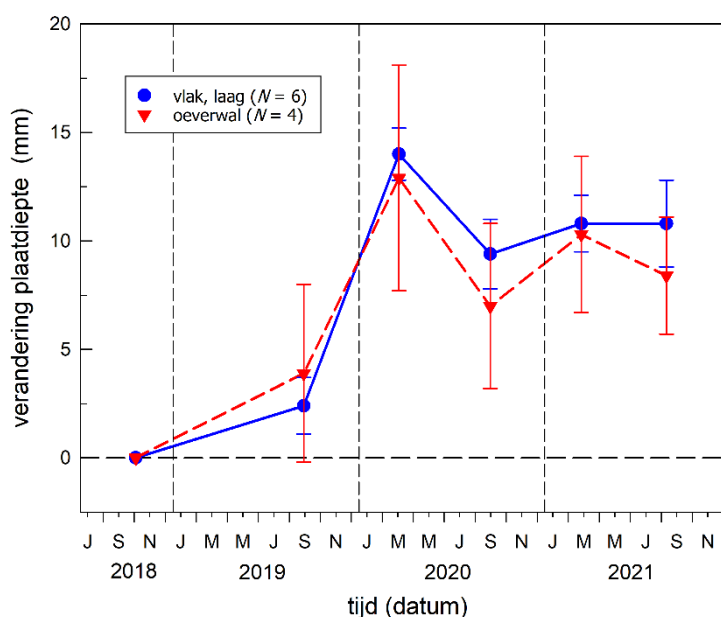
De gemiddelde opslibbing van gemiddeld 3.3 mm/jaar over een periode van drie jaar (Tabel 4.7) is een relatief lage waarde in vergelijking met de hoogteontwikkeling van andere vastelandskwelders in de Nederlandse Waddenzee (Elschot *et al.* 2020). De opslibbing is ook lager dan de hoogteveranderingen tussen 1984 en 2012 op de oostelijker gelegen kwelders van Het Groninger Landschap in de Dollard (Esselink *et al.* 1998, 2013; Esselink 2007). Wel liet de hoogteverandering hier een opmerkelijke afname zien van gemiddeld ruim 8 mm/jaar in de periode 1984 – 2003 naar nauwelijks 2 mm/jaar tussen 2003 en 2012. Deze afname laat zich vooralsnog niet verklaren. De hoogteverandering tussen 1980 en 2008 in een kweldervak iets ten westen van de Klutenplas zoals beschreven door Esselink *et al.* (2011) is met een sterk afwijkende methode tot stand gekomen en is hierdoor minder goed vergelijkbaar met de hier genoemde cijfers. In een kwelder met een lage opslibbing zal bij kleionttrekking zoals bij de Klutenplas het geval was, het herstelproces naar een situatie vergelijkbaar met de uitgangssituatie meer tijd vergen.

Dat de opslibbing rond de Klutenplas als relatief laag moet worden beoordeeld wordt bevestigd als een vergelijking met andere kwelders wordt gemaakt op basis van het overstromingsregime. Op basis van een 10-jarige studie worden door Koppenaal *et al.* (2022) voor een kweldergebied aan de Friese noordkust de relaties beschreven tussen a) opslibbing en overstromingsfrequentie en b) opslibbing en de gesommeerde waterhoogte per stormjaar, *i.e.* dezelfde cijfers als in tabellen 2.2 en 4.7. In deze relaties wordt bij een overstromingsfrequentie van 75 keer per jaar (de gemiddelde waarde voor de drie meetjaren op de kwelder rond Klutenplas) een opslibbing voorspeld van 31 mm/jaar; bij een gesommeerde waterhoogte in een stormjaar van bijna 24 meter een opslibbing van 39 mm/jaar. Deze vergelijking laat zien dat bij eenzelfde overstromingsregime de opslibbing op de kwelder rond de Klutenplas bijna een factor 10 lager lijkt te liggen dan op deze Friese kwelder.

Een factor die grote invloed kan hebben op de opslibbing van kwelders is het sedimentaanbod in het water (o.a. Kirwan *et al.* 2010, 2016). Op basis van een vergelijking van zwevend stofconcentraties zoals gemonitord op dichtsbijgelegen vaste meetlocaties van Rijkswaterstaat, lijkt het sedimentaanbod in de Dollard ruwweg tweemaal zo hoog als het geval was bij de Friese kwelder in de studie van Koppenaal *et al.* (2022). In deze vergelijking is de zwevend stofconcentratie op de meetlocatie Groote Gat-Noord in de Dollard vergeleken met de meetlocatie Dantziggat in de Westelijke Waddenzee (vgl. Fig. 2 in de Vries *et al.* 2018). Met andere woorden: ook op basis van het sedimentaanbod lijkt de opslibbing van de kwelder rond de Klutenplas tot nu toe opmerkelijk laag. Gezien de korte meetreeks van drie jaar moet deze conclusie als zeer voorlopig worden beschouwd.

Tabel 4.7 De gemiddelde opslibbing van de kwelder rond de Klutenplas over een periode van drie jaar (oktober 2018 – augustus 2021) op basis van de toegenomen diepte van de aangebrachte sedimentatieplaten (Esselink *et al.* 2019). *SD* = standaarddeviatie, *N* = aantal platen.

Kwelderdeel	Verandering plaatdiepte (mm/jaar)		<i>N</i>
	Gemiddelde	<i>SD</i>	
Vlak, laag	3.6	1.6	6
Oeverwal	2.8	1.8	4
Totaal	3.3	1.6	10



Figuur 4.13 De cumulatieve diepteverandering (gem. $\pm$ standaardfout) van de sedimentatieplaten in de kwelderbodem rond de Klutenplas ten opzichte van de ingraafdiepte in oktober 2018, opgesplitst in het vlakke lagere deel van de kwelder en de oeverwallen langs de zwet.

4.3 Vegetatieontwikkeling broedeiland

Sinds de aanleg van het broedeiland wordt de vegetatie er vooral gedomineerd door éénjarige plantensoorten en Zulte (Esselink *et al.* 2021; Tabel 4.8). Dit is het resultaat van het beheer dat erop gericht is om het eiland geschikt te houden voor de Kluut. Bij de dominantie van eenjarige zoutplanten moet worden opgemerkt dat op het broedeiland ook Zulte tot de groep van eenjarige planten moet worden gerekend. Zulte geldt in het algemeen als tweejarige tot overblijvende soort, maar onder gunstige omstandigheden kan de soort ook als eenjarige optreden (Weeda *et al.* 1991; Duistermaat 2020). Dit laatste is op het broedeiland ook het geval, waar na een uitbundige bloei in de nazomer het merendeel van de planten elk jaar afsterft. In het eerste jaar en tweede jaar was het eiland als gevolg van grondbewerking aan het begin van het broedseizoen vrijwel onbegroeid, terwijl in het derde jaar (2020) geen grondbewerking is uitgevoerd, maar in het voorjaar de vegetatie alleen kort werd afgemaaid en afgevoerd (Tabel 2.1, 4.8). Het achterwege laten van de grondbewerking heeft er mogelijk toe geleid dat in 2020 voor het eerst sinds de aanleg weer een overblijvende en zodenovormende soort (Gewoon kweldergras) co-dominant werd en een hoge bedekking bereikte

(Tabel 4.8). Deze ontwikkeling heeft zich in 2021 niet voortgezet. In tegenstelling tot 2020 werd Gewoon kweldergras in 2021 niet in alle pq's aangetroffen en bereikte de soort ook geen hoge bedekking meer, zeker niet in de pq's waar geen grondbewerking in het beheer was toegepast.

De gedachte dat bij een beheer van maaien en afvoeren zonder grondbewerking overblijvende soorten minder in toom gehouden zouden worden, werd in 2021 niet bevestigd. Eén pq vormde hierop een uitzondering: hier bereikte Kweek een bedekking van 50%. Bij de eenjarige soorten lieten Spiesmelde en Reukloze kamille de grootste verschillen tussen de twee beheerregimes zien (Tabel 4.8). Om de effecten van de twee beheervormen uiteindelijk te kunnen evalueren zal het beheerexperiment meerdere jaren moeten worden volgehouden.

Tabel 4.8 De vegetatiesamenstelling in de pq's op het broedeiland onder de twee beheerregimes in het eerste jaar van de beheerproef (2021) in het jaar voordat de proef werd ingevoerd (2020). De presentie geeft het percentage van de pq's waarin een soort werd aangetroffen; de volgende twee kolommen geven per soort de gemiddelde bedekking (gem.) met standaarddeviatie (SD). De onderste regel geeft de gemiddelde soortenrijkdom per pq. Eénjarige soorten zijn cursief gedrukt. Vetgedrukt zijn de soorten die bij eenzelfde beheerregime in alle pq's aanwezig waren en daar een relatief hoog aandeel in de vegetatie hadden (*i.e.* > 10% bedekking).

Soort	2020			2021					
	Maaien en afvoeren (N=10)			Maaien en afvoeren (N=6)			Maaien & grondbewerking (N=4)		
	Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)	
	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD
<i>Spiesmelde s.l.</i>	100	68	29	100	35	30	100	2.3	1.3
<i>Zulte</i>	100	34	15	100	30	10	100	24	19
Gewoon kweldergras	100	34	26	50	1.3	1.0	75	14	18
<i>Reukloze kamille</i>	100	2.8	2.4	100	36	22	100	60	14
Fioringras	80	4.0	6.0	83	1.3	1.0	100	10	3
Zeewegbree	70	1.3	1.3	67	1.0	0.6	100	1.5	0.6
<i>Klein schorrenkruid</i>	60	3.9	3.5	33	0.5	0.0	-	-	-
Gerande schijnsparrie	50	0.5	0.5	50	0.5	0.6	100	1.0	0.0
Rood zwenkgras	40	0.5	0.7	33	0.3	0.0	25	0.5	1.0
Melkkruid	40	0.4	0.5	83	1.0	0.5	50	0.8	1.0
Kweek	20	0.6	1.3	50	9	25	-	-	-
Akkermelkdistel <i>s.l.</i>	20	0.5	1.3	67	4.3	9.7	25	5	10
Zeekweek	20	0.2	0.4	-	-	-	50	1.0	1.2
Engels slijkgras	10	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-
Schorrenzoutgras	10	0.1	0.3	-	-	-	25	0.3	0.5
<i>Gewoon varkensgras</i>	10	0.1	0.3	17	0.2	0.5	-	-	-
Zilver schoon	-	-	-	17	0.2	0.5	25	0.3	0.5
Aantal soorten / pq		8.3	1.6		8.5	2.2		8.8	1.7

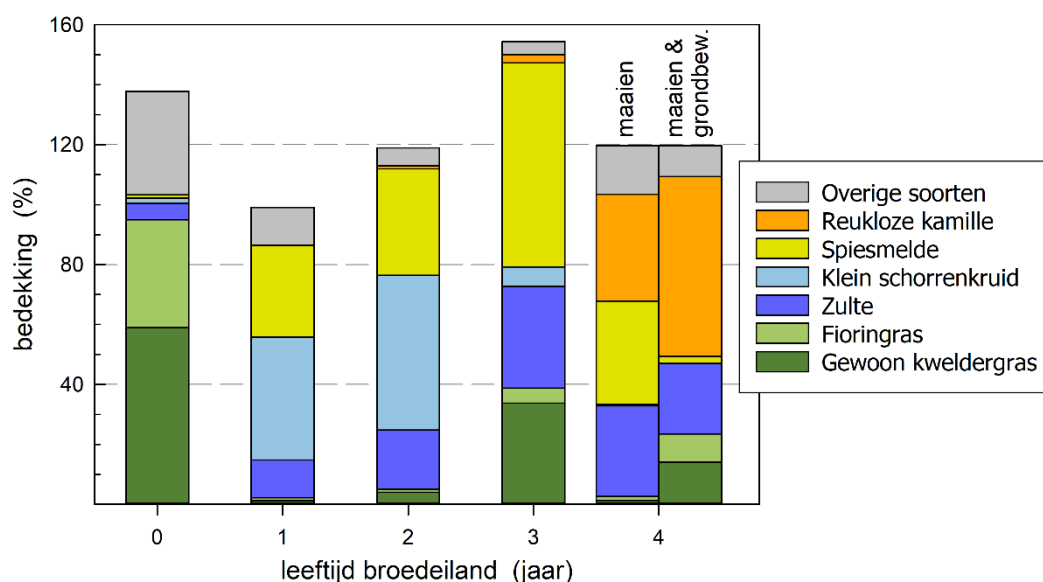
In vergelijking tot de uitgangssituatie is het aantal plantensoorten per pq op het broedeiland als vrij constant te beschouwen (Fig. 4.14). Een uitzondering hierop vormen de pq's op de hoge ruggen of voormalige oeverwallen langs de zwet in het jaar van aanleg van het eiland (jaar 1 in de grafiek), waar het aantal soorten per pq toen een piek vertoonde van gemiddeld 10.8 soorten per pq. In de overige jaren varieerde het aantal soorten hier tussen gemiddeld 7.0 en 8.5 soorten per pq. In het vlakke lage deel van de kwelder lag het aantal soorten per pq in de meeste jaren een fractie hoger en vertoonde een minder sterke fluctuatie. Als op basis van aan- en afwezigheid van soorten het verschil in vegetatiesamenstelling van de pq's wordt berekend ten opzichte van de uitgangssituatie, lijkt in de loop van de jaren sprake van een geleidelijk oplopend verschil (op basis van Jaccard's dissimilariteit index, D_j). De vegetatie op de oeverwallen liet het grootste verschil zien ($D_j = 72\%$), terwijl de

vegetatie in het voormalige vlakke lage deel van de kwelder de sterkste toename in het verschil met de uitgangssituatie liet zien (D_j van 41% naar 57%).

Ook wanneer wordt gekeken naar het optreden van de meest voorkomende soorten, lijkt er sprake van een geleidelijke verandering en opeenvolging van soorten (Fig. 4.15). In de eerste twee jaar van het eiland was Klein schorrenkruid er de soort met de hoogste bedekking, terwijl de soort in het laatste jaar nog maar met een lage bedekking in twee pq's werd aangetroffen (Tabel 4.8). De achteruitgang van Klein schorrenkruid ging in eerste instantie gepaard met een sterke toename van Spiesmelde, een soort waarvan de gemiddelde bedekking in het derde jaar een voorlopige piek bereikte van bijna 70% (Tabel 4.8). In het vierde jaar tenslotte, nam Reukloze kamille de plaats in van de meest voorkomende soort. Deze soort liet een opmerkelijke toename zien. In het eerste jaar werd Reukloze kamille in nog geen enkel pq op het eiland aangetroffen, maar in het derde jaar was de soort plotseling in elk pq aanwezig om in het vierde jaar uit te groeien tot de meest abundante soort (Fig. 4.15).

In tabel 4.8 en figuur 4.15 is de geschatte bedekking van de afzonderlijke planten bij elkaar opgeteld. Doordat de ene plantensoort laag blijft en een andere soort hoog daarboven uitgroeit, kan de totale bedekking van de afzonderlijke soorten hierbij oplopen tot meer dan 100%. Er is gekozen om hier niet voor te corrigeren.

De vraag hoe de opgetreden vegetatieverandering op het broedeiland kan worden verklaard, en of er sprake is van een trendmatige verandering is vooralsnog niet te beantwoorden. Het is aannemelijk dat de dominantieverhoudingen tussen de betrokken eenjarige soorten ten dele kunnen worden toegeschreven aan "toevallige" factoren zoals het weer en het tijdstip van het beheer van het eiland. Zo kan Reukloze kamille als brakke soort met een matige zouttolerantie (Scherfse 1987) hebben geprofiteerd van de relatief natte zomer van 2021.



Figuur 4.15 De vegetatieontwikkeling op het broedeiland op basis van de bedekking van de zes belangrijkste plantensoorten van het jaar voor de aanleg (jaar 0) t/m het eerste jaar van het beheerexperiment in het vierde jaar na aanleg (2021). De zes geselecteerde soorten bereikten in minimaal één jaar een gemiddelde bedekking van >10%; overige soorten voldeden niet aan dit criterium.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Per onderwerp wordt de hieronder de relatie aangegeven met de opgestelde meetvragen uit het monitoringsplan (Tekstkader 1.1 in § 1.3). Onderwerpen en meetvragen waarvoor in 2021 geen veldwerk blijven hieronder ongenoemd.

Ontwateringstelsel (Meetvragen K4, S7, D4a)

- Als gevolg van onderloopsheid is de drempel in de in- en uitstroomopening van de Klutenplas vanaf de zomer van 2019 in verval geraakt. In 2021 lag het laagste punt van de drempel op bijna NAP + 0.1 m (Fig. 2.2); ongeveer 0.8 meter lager dan de aanleghoogte van november 2018 (Tabel 2.1).
- De verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard lijkt min of meer zijn evenwichtsdimensies te hebben bereikt. In de eerste twee jaar na de blootstelling van de Klutenplas aan het getij liet deze verbinding als gevolg van erosie een duidelijk verruiming zien met een verdieping van gemiddeld 0.7 meter (Fig. 4.1, 4.2). De afname in bodemhoogte lijkt gestopt. In 2021 was de bodemhoogte in de verbinding nagenoeg gelijk aan die van 2019.
- De toegenomen diepte van de verbinding Klutenplas – Dollard heeft mogelijk een uitstralingseffect in een tweede hoofduitwatering of zwet. Nabij de monding van de verbinding Klutenplas – Dollard mondt namelijk een tweede zwet uit op deze verbinding (zwet VII in Fig. 2.1). In 2021 was de bodemhoogte in deze zwet op de twee dichtst bijgelegen meetpunten meer dan 0.2 meter lager dan tijdens de nulmeting van 2017 (Tabel 4.2; Fig. 4.4BC).
- Het bovenstroomse deel van de zwet door de Klutenplas is aan het verlanden. Dit kan worden beschouwd als een effect van de aanleg van de Kleirijperij waardoor dit deel van de zwet geen verbinding meer heeft met de dijksloot. Tot 2020 was de diepte hier met gemiddeld 0.18 meter afgenomen ten opzichte van de uitgangssituatie in 2017. De toegenomen begroeiing in de zwet is alleen fotografisch gemonitord, maar kan een verklaring vormen voor de licht toegenomen diepte in 2021.
- Door de aanleg van de Kleirijperij is het landwaartse deel van het kombergingsgebied van nog twee andere zwetten verkleind. Een van deze zwetten liet over de gehele lengte een lichte verondieping zien ten opzichte van de nulmeting in 2017; de andere zwet mondt uit in de verbinding Klutenplas – Dollard en leek beïnvloed te worden door de daarin opgetreden verdieping (zie hierboven).

Opslibbing Klutenplas (Meetvragen K1, K2, K3, K8)

- In bijna 3½ jaar tijd is de bodemhoogte van de Klutenplas met gemiddeld 77 cm toegenomen (Fig. 4.9). Dit is inclusief de krekens die zich in de Klutenplas hebben gevormd. In de eerste 16 maanden verliep de toename met nagenoeg een constante snelheid van omgerekend 29.4 cm per jaar. In deze periode functioneerde de drempel in de in- en uitstroomopening nog waardoor bij laagwater water in de Klutenplas achter bleef. Na deze eerste periode begon het verval van de drempel, waardoor de Klutenplas een natuurlijker overstromingsregime kreeg. Tegelijkertijd ontstond de mogelijkheid om bij meetbrug de hoogteontwikkeling intensiever te monitoren op basis van de hoogte van de sliblaag boven de in april 2018 aangebrachte sedimentatieplaten

(Fig. 4.9). In deze tweede periode verliep de hoogteontwikkeling minder constant, waarbij in het laatste jaar sprake was van een afvlakking.

- De opslibingssnelheid (of verandering in bodemhoogte per tijdseenheid) in de Klutenplas vertoonde een nauwe relatie met zowel de overstromingsfrequentie als de gesommeerde hoogte van de waterkolom boven de bodem per zomer- en winterhalfjaar (Fig. 4.10AC, 4.11AC). Deze relaties vormen de verklaring voor de afvlakking in de hoogteontwikkeling van de Klutenplas.
- De aanwezigheid van de drempel in de in- en uitstroomopening heeft in de eerste twee jaar geleid tot een vertraging van de hoogteontwikkeling van de Klutenplas. Deze conclusie is gebaseerd op de analyse van de relaties van de opslibingssnelheid met de gesommeerde waterhoogte per seizoen boven het bodemoppervlak, waarbij voor de periode dat de drempel existeerde, in plaats van de bodemhoogte het niveau van de drempel is aangehouden.

Sedimentatie en slibinvang Klutenplas (Meetvragen K1, K2, K3, K8)

- Bij de bemonstering van de natte en droge bulkdichtheid van het nieuw afgezette sediment in de Klutenplas bleek sprake van significante verschillen in de resultaten verkregen met verschillende bemonsteringsapparatuur (Bijlage II). Tot een bemonsteringsdiepte van 40 cm bleven de verschillen beperkt. Op grotere dieptes (>50 cm) bleek dat bij de inzet van de Beekersampler ernstige vervorming van het gemonsterde sediment kan optreden. Dit vormt een bevestiging van de resultaten van 2020. Hierom is besloten om voor de rapportage over de bemonstering van 2021 over te schakelen naar de resultaten verkregen met een gutsboor.
- In de sinds 2018 afgezette sliblaag is sprake van autocompactie, ofwel een toename van de DBD met toenemende diepte onder het oppervlak (Fig. 4.12).
- Op het moment van de sedimentbemonstering had de afgezette sliblaag rond de meetbrug een hoogte bereikt van 98 cm. De gemiddelde DBD van deze laag bedroeg 487 kg/m^3 (Tabel 4.4). Dit is de hoogst gemeten waarde in de afgelopen vier jaar wat een aanwijzing vormt voor een geleidelijke toename van de DBD (Tabel 4.5). Deze toename moet in elk geval ten dele worden toegeschreven aan het hierboven genoemde proces van autocompactie.
- De relatief lage dichtheid van het afgezette sediment betekent dat in het herstelproces van de Klutenplas naar oorspronkelijke kwelder de sedimentbalans een vertraging laat zien ten opzichte van de volumeontwikkeling. De gemiddelde toename van de bodemhoogte in Klutenplas met in totaal 77 centimeter begin september 2021 staat gelijk aan een sedimentvolume van afgerond 22 000 kubieke meter (Tabel 4.6). Dit is gelijk aan 47% van het volume van de afgegraven hoeveelheid kweldersediment. In vergelijking hiermee is de hoeveelheid sediment in de Klutenplas op gewichtsbasis (droge stof) naar schatting pas voor 26% weer aangevuld.

Opslibbing kwelder

- Gebaseerd op een beschikbare meetreeks van drie jaar, lijkt de jaarlijkse opslibbing van de kwelder rond de Klutenplas opvallend laag in vergelijking tot andere vastelandskwelders in de Nederlandse Waddenzee. In deze vergelijking is rekening gehouden met de overstromingsfrequentie van de kwelder en de hoeveelheid water die per jaar boven de kwelder staat.
- In het laatste meetjaar (aug 2020 – aug 2021) werd de laagste opslibbing tot nu gemeten (1.4 mm). Deze lage opslibbing viel samen met de laagste overstromingsfrequentie uit de monitoringsperiode. De meetreeks is nog te kort om analoog aan de analyse voor de Klutenplas het verband te onderzoeken tussen opslibbingssnelheid en overstromingsfrequentie.

Vegetatie broedeiland (Meetvragen K10, K11)

- In het eerste jaar van de proef met twee verschillende beheerregimes op het eiland was er geen duidelijk verschil in vegetatiesamenstelling tussen de twee regimes.
- De vegetatie op het broedeiland is de afgelopen vier jaar gedomineerd door eenjarige (zouttolerante) plantensoorten. Dit is het resultaat van het beheer dat als doelstelling heeft het eiland geschikt te houden voor de Kluut om er te broeden.
- In deze eerste vier jaar is een opvallende verschuiving opgetreden in de dominantie van de betrokken soorten van achtereenvolgens: Klein schorrenkruid (jaar 1 en 2), Spiesmelde (jaar 3) en Reukloze kamille (jaar 4).

5.2 Aanbevelingen

Het volledig kunnen beantwoorden van veel van de meetvragen uit het monitoringsplan (Tekstkader 1.1) is afhankelijk van het opbouwen van tijdreeksen. Op basis van de resultaten van de monitoring tot en met 2020 is geconcludeerd dat het voor de beantwoording van de meetvragen uit het monitoringsplan echter niet noodzakelijk was om alle opgebouwde tijdreeksen jaarlijks vast te leggen (Esselink *et al.* 2021; Riemersma 2021). Op grond hiervan is besloten om in 2021 geen aandacht te besteden aan de vraag of de aanleg van de Klutenplas heeft geleid tot een verhoogde afslag van de kwelder (Meetvraag K12). In de monitoring van het ontwateringssysteem waren de dwarsprofielen van de controlezwellen aan zo weinig verandering onderhevig dat besloten is de opnamefrequentie hiervan te verlagen naar eenmaal per twee jaar. Een consequentie hiervan is dat de ontwikkeling van de ontwatering van de Klutenplas voor 2021 niet kan worden vergeleken met de ontwikkeling van de controlezwellen (Fig. 4.2). Aanbevolen wordt om de nieuw uitgezette lijn te volgen en in 2022 zowel de positie van de kwelderrand als de dwarsprofielen van controlezwellen opnieuw op te nemen.

Hieronder wordt kort stilgestaan bij de voorlopige stand van zaken en welke punten in 2022 extra aandacht vragen.

Saliniteit en waterstanden Klutenplas

- Waterstanden in de Klutenplas zijn verre van compleet en de hoogwaterstanden bereiken er gemiddeld een wat lager niveau dan in Nieuwe Statenzijl. Om de beschikking te hebben over een volledige reeks hoogwaterstanden voor de Klutenplas is in dit rapport een erg eenvoudige correctie toegepast op de hoogwaterstanden van Nieuwe Statenzijl (§ 3.2.1). Om de toegepaste correctie te verifiëren en zo mogelijk te verbeteren wordt aanbevolen om nog eenmaal een jaar lang de waterstanden in de Klutenplas vast te leggen. Het ligt voor de hand om daarbij dezelfde procedure te volgen als is toegepast in 2020, waarbij de waterstanden op basis van watertemperatuur en het elektrisch geleidingsvermogen van het water via saliniteit zijn gecorrigeerd voor de dichtheid van het water (Esselink *et al.* 2021).

Opslibbing Klutenplas

- Als gevolg van de veranderende omstandigheden in de Klutenplas is in de monitoring van verschillende parameters een of meerdere keren van methode gewisseld of heeft een aanpassing van methoden plaats gevonden. Ook de komende jaren zal naar verwachting een dergelijke flexibele en adaptieve benadering soms nog nodig zijn.
- Voor de hoogteontwikkeling van de plasbodem wordt aanbevolen om onderscheid te maken tussen de min of meer vlakke delen en het zich ontwikkelende krekensysteem in de plas. Dit leidt tot een

betere vergelijkbaarheid tussen de ontwikkeling van de bodemhoogte in de hele plas met die rond de meetbrug (§ 4.2.1). Ook de vergelijkbaarheid met een analoge studie van de opslibbing in een kleiput op een Duitse kwelder (Karle & Bartholomä 2008) neemt hierdoor toe.

- In de monitoring van de slibbalans van de Klutenplas speelt de ontwikkeling van de dichtheid van het afgezette sediment een belangrijke rol (zie ook § 5.1). Na de succesvolle inzet van de Beekersampler bij de bemonstering van de dichtheid in 2019, bleek bij het dikker worden van de sliblaag bij het gebruik van deze sampler in zowel 2020 als in 2021 een verstoring of verdichting van het bemonsterde sediment op te treden (Fig. II.4 in Bijlage II). De inzet van een lange guts gecombineerd met het nemen van deelmonsters met behulp van afgezaagde medische injectiespuitjes levert geloofwaardige resultaten op, maar laat tegelijkertijd een grote spreiding zien in de relatie tussen de DBD en diepte (Fig. 4.12). De kleine volumina van de deelmonsters en de hiermee gepaard gaande toenemende invloed van de relatieve fout worden gezien als belangrijke oorzaak voor de grote spreiding die een handicap vormt voor het waarnemen van veranderingen in de relatie tussen DBD en diepte. Om deze reden wordt aanbevolen om voor de bemonstering van het sediment in de Klutenplas zo mogelijk over te stappen op een Vrijwitboor met een grote werk lengte waaruit met behulp van pF-steekringen ongeroerde deelmonsters kunnen worden gestoken.
- In 2021 zou een begin worden gemaakt met het monitoren van de autocompactie door het volgen van de afstand tussen twee markeerhorizonten in de vijf meetveldjes. In plaats daarvan moesten in 2021 herstelwerkzaamheden aan de meetveldjes worden uitgevoerd nadat deze waren verstoord. Aanbevolen wordt om met ingang van 2022 de afstand tussen de in 2018 en 2021 aangebrachte kaolienhorizonten jaarlijks te volgen.

Beheerexperiment broedeiland

- De invloed van beheer op de vegetatieontwikkeling komt vaak pas in de loop van meerdere jaren tot expressie. Het verdient daarom aanbeveling om het ingezette beheerexperiment zo lang mogelijk vol te houden en te blijven monitoren.

6 Literatuur

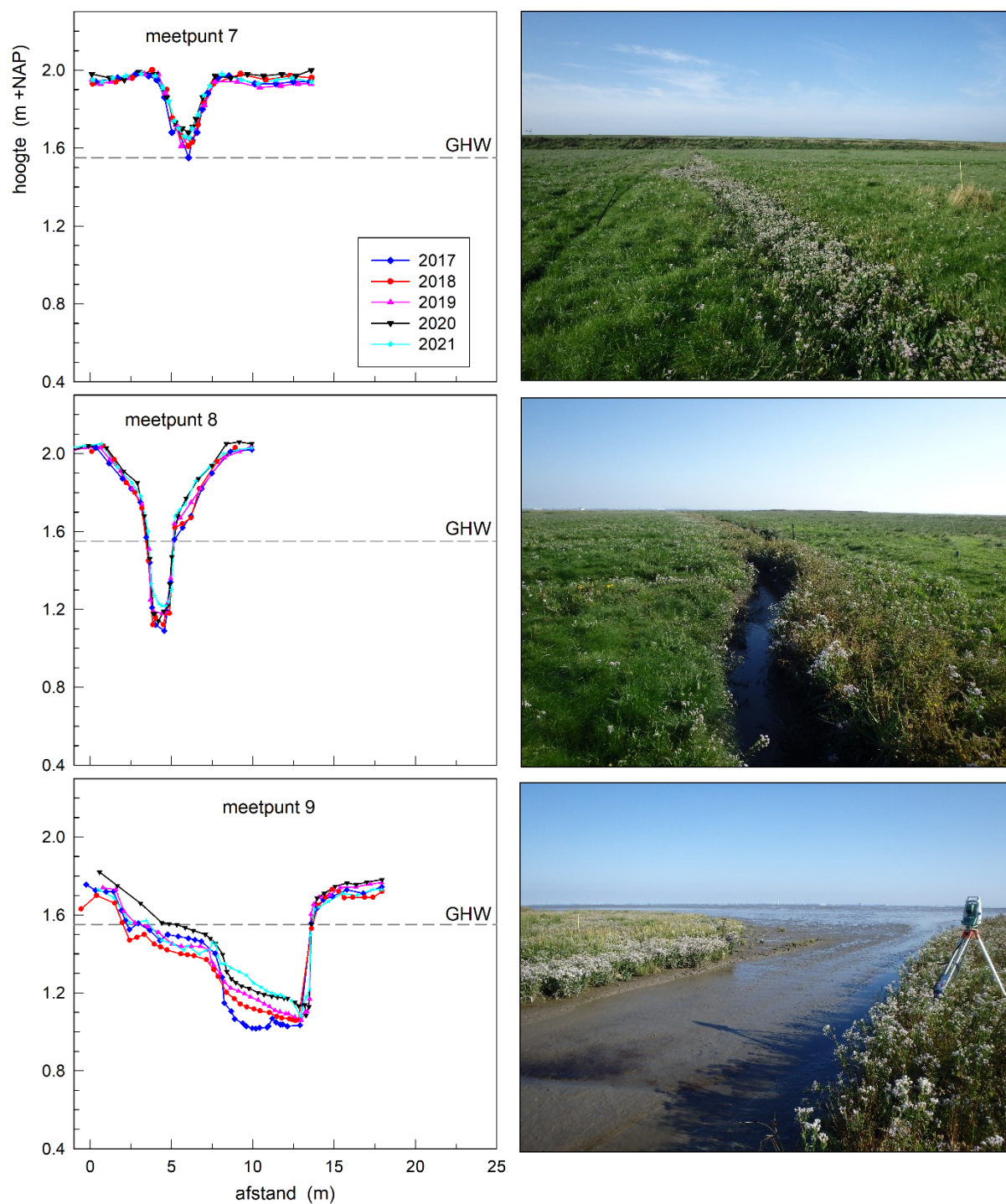
- Anonymus. 2002. Onderwaterbodem onderzoek met de Beekersampler. *Geijkt Nieuws* 9: 2-2. Nieuwsbrief Eijkelkamp Agrisearch Equipment.
- Anonymus. 2016. Werkplan programma ‘Vitale kust Eems-Dollard’ 2016 – 2017. Eerste fase kustontwikkeling Eems-Dollard. 67 pp.
- Beeker, A.E.R. 1989. Nieuwe waterbodemsteker en de beoordeling van bodemmonsters. *H2O* 22: 264–268.
- Bartholdy, J., J.B.T. Pedersen & A.T. Bartholdy. 2010. Autocompaction of shallow silty salt marsh clay. *Sedimentary Geology* 223: 310–319.
- Bos, D., R. Kleefstra, F. Hoekema & K. Koffijberg. 2018a. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2017. Nulmonitoring in 2017 i.r.t. de Brede Groene Dijk. *A&W-rapport 2415*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 23 pp.
- Bos, D., L. Bruinzeel, R. Kleefstra & K. Koffijberg. 2018b. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2018. Eerste jaar met Kleirijperij en broedeiland. *A&W-rapport 2506*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 31 pp.
- Bos, D., M. Pot, R. Kleefstra, K. Koffijberg & M. Bekkema. 2020. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2020. Derde jaar met kleirijperij en broedeiland. *A&W-rapport 20-039*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 37 pp.
- Brenninkmeijer, A., W. Bijkerk, E. van der Zee, M. Kersten, L. Bruinzeel, E. van der Heijden & D. Bos. 2017. Ecologische Beoordeling Vitale Kust - Dollard. *A&W-rapport 2258*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 146 pp.
- Dankers, P. & J. Leuven. 2020. Kennisprogramma Hydromorfologie en Ecologie ED2050. ED2050 2021–2026. *rapport*. Royal HaskoningDHV Nederland B.V., Nijmegen. 26 pp.
- de Jong, J.E.A., W. Visser, J. Mol, A.J.A. Schipperen, J. Provoost, C. van Belzen, F.J. Keuper & T.J.M. Kos. 1989. Algemene richtlijnen voor bemonstering van de waterbodem. Project: Goede meet praktijk. *Nota nr. 89.056*. Rijkswaterstaat.
- de Jonge, V.N. & U. Schückel. 2019. Exploring effects of dredging and organic waste on the functioning and the quantitative biomass structure of the Ems estuary food web by applying Input Method Balancing in Ecological Network Analysis. *Ocean and Coastal Management* 174: 38–55.
- de Vries, B., P. Dankers & J. Vroom. 2018. Slib in de Waddenzee. Een analyse en verklaring van de langjarige fluctuaties van sedimentconcentraties in water en bodem i.h.k.v. project KRW slib. *rapport*. Royal HaskoningDHV, Nijmegen. 56 pp.
- Duistermaat, H. 2020. *Heukels' flora van Nederland*. 24^e druk. Noordhoff Uitgevers, Groningen. 841 pp.
- Elschot, K. & M.J. Baptist. 2016. Pilot kleirijperij en klutenplas in de Dollardkwelders. Een verkenning van de lokale natuurwaarden, dimensies van de klutenplas en verwachte korte- en lange termijn effecten. *Rapport C101/16*. Wageningen Marine Research, Wageningen UR. 22 pp.
- Elschot, K., M.E.B. van Puijenbroek, D.D.G. Lagendijk, J.T. van der Wal & C. Sonneveld. 2020. Lange-termijnonwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, *WOt-technical report 182 / Wageningen Marine Research rapport C023/20*.

- Erchinger, H.F., H.G. Coldewey & C. Meyer. 1996. Interdisciplinäre Erforschung des Deichvorlandes im Forschungsvorhaben Erosionsfestigkeit von Hellern. *Die Küste* 58: 1–45.
- Esselink, P. 2000. Nature management of coastal salt marshes. interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. *Proefschrift*, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen. 256 pp.
- Esselink, P. 2007. Hoogteontwikkeling verwaarloosde landaanwinningskwelder. Opslibbing van de Dollardkwelders in de periode 1991 – 2003 met een vergelijking over de periode 1984 – 1991. *rapport 2007-009*, Koeman en Bijkerk bv, Haren. 36 pp.
- Esselink, P., K.S. Dijkema, S. Reents & G. Hageman. 1998. Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Dollard estuary, the Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14: 570–582.
- Esselink, P., D. Bos, A.P. Oost, K.S. Dijkema, R. Bakker & R. de Jong. 2011. Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. *Puccimar rapport 02 / A&W rapport 1574*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek. Vries, Veenwouden. 75 pp.
- Esselink, P., P. Daniels & P. Weerstand. 2013. De hoogte van de Dollardkwelders in 2012: Beschrijving van de uitgangssituatie in het kader van het Kwelderherstelprogramma Groningen. *Datarapport*. Puccimar rapport 10. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 31 pp.
- Esselink, P., P. Daniels & W. Veenstra. 2018. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): nulmeting ontwateringsstelsel, kwelderafslag en vegetatie (2017). *Datarapport*. Puccimar rapport 16. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 44 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2019. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2018). *Puccimar rapport 18*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 55 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2020. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2019). *Puccimar rapport 19*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 55 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2021. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2020). *Puccimar rapport 21*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 72 pp.
- Hennekes, S.M. 1995. TURBO(VEG). Programmatuur voor invoer, verwerking en presentatie van vegetatiekundige gegevens. *Gebruikershandleiding*. IBN-DLO/Giesen en Geurts, Wageningen.
- Karle, M. & A. Bartholomä. 2008. Salt marsh sediments as natural resources for dike construction - sediment recycling in clay pits. *Senckenbergiana maritima* 38: 83–92.
- Kirwan, M.L., G.R. Guntenspergen, A. D'Alpaos, J.T. Morris, S.M. Mudd & S. Temmerman 2010. Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. *Geophysical Research Letters* 37: L23401.
- Kirwan, M.L., S. Temmerman, E.E. Skeehan, and G.R. Guntenspergen. 2016. Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. *Nature Climate Change* 6: 253–260.
- Koppenaar, E.C., P. Esselink, W.E. van Duin & J.P. Bakker. 2022. Temporal and spatial accretion patterns and the impact of livestock grazing in a restored coastal salt marsh. *Estuaries and Coasts* 45: 510–512.
- Londo, G. 1976. The decimal scale for releves of permanent quadrats. *Vegetatio* 33: 61–64.
- Marijnissen, R., P. Esselink, M. Kok, C. Kroeze, J. van Loon-Steensma. 2020. How natural processes contribute to flood protection - a sustainable adaptation scheme for a wide green dike. *Science of the Total Environment* 739: 139698.

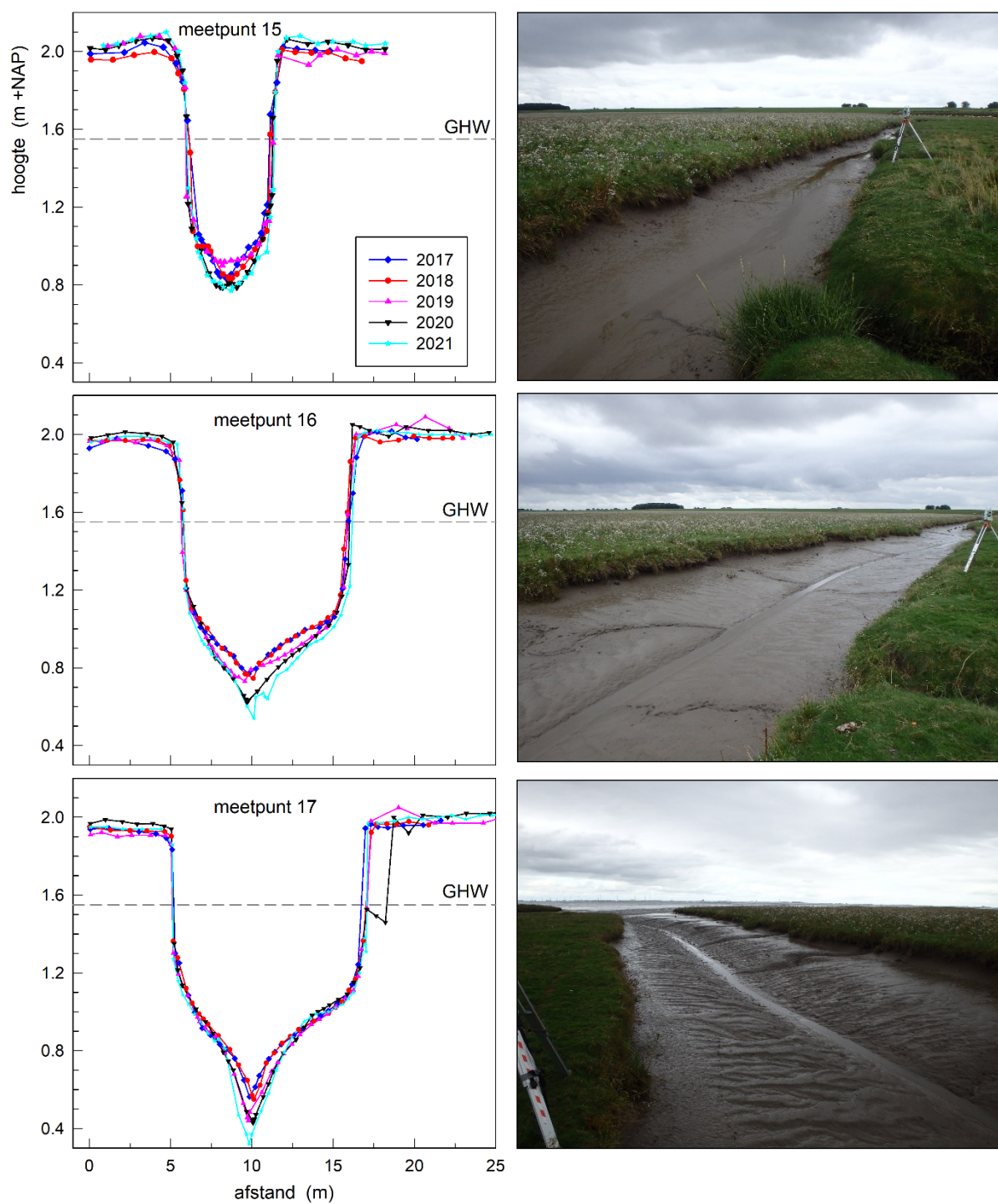
- Nolte, S., E.C. Koppelaar, P. Esselink, K.S. Dijkema, M. Schürch, A.V. de Groot, J.P. Bakker & S. Temmerman. 2013. Measuring sedimentation in tidal marshes: a review on methods and their applicability in bio-geomorphological studies. *Journal of Coastal Conservation* 17: 301–325.
- Nolte, S., P. Esselink, J.P. Bakker & C. Smit. 2015. Effects of livestock species and stocking density on accretion rates in grazed salt marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 152: 109–115.
- Riemersma, P. 2018. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (2017 – 2024); Monitoringsplan natuur en kwelder. *rapport*. SWECO / Waterschap Hunze & Aa's, Veendam.
- Riemersma, P. 2021. Demonstratieproject Brede Groene Dijk. Tussentijdse evaluatie monitoringsplan natuur en kwelder. *rapport*. SWECO / Waterschap Hunze en Aa's, Veendam. 25 pp.
- Riemersma, P. & P. Esselink. 2017. Ontwerp Slibvang Klutenplas. Ontwerp van een slibvang en natuurplan (incl. broedeiland) als onderdeel van het demonstratieproject Brede Groene Dijk. Fase 1 en 2. *rapport*. SWECO / Waterschap Hunze en Aa's, Veendam.
- Scherfse, V. 1987. Salz-Zeigerwerte von Gefässpflanzen der Salzmarschen, Tideröhrichte und Salzwassertümpel an der deutschen Nord- und Ostseeküste. *Jahresberichte Forschungsstelle Küste* 39: 31–82.
- Smit, H. & E. Duimel. 2020. Actuele inzichten hydromorfologie en ecologie Eems-Dollard, met doorkijk naar strategieën en streefbeeld. Wing, Groningen.
- van Es, K. 2021. Programmaplan Programma Eems-Dollard 2050 2021-2026. *rapport*. Programma ED2050, Groningen. 52pp.
- van Maren, D.S., A.P. Oost, Z.B. Wang & P.C. Vos. 2016. The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems Estuary. *Marine Geology* 376: 147–157.
- van Zoest, R. & M. de Vries. 2018. Grondstromenplan demonstratieproject Brede Groene Dijk. Fase 1 en 2. *rapport*. SWECO / Waterschap Hunze en Aa's, Veendam.
- Weeda, E.J., R. Westra, C. Westra & T. Westra. 1991. *Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relaties dl. 4*. IVN, Amsterdam. 317 pp.
- Wiertsema & Partners. 2016. Onderzoek naar de samenstelling van klei te Nieuwe Statenzijl en de mogelijkheden voor de toepassing in een dijk. *rapport*. Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V., Tolbert. 37 pp.

Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten

De ontwikkeling van de dwarsprofielen van de zwet door de Klutenplas wordt gepresenteerd in hdst. 4 (§ 4.1). Deze bijlage geeft van west naar oost een grafische weergave van de ontwikkeling van de overige in 2021 opgenomen profielen.



Figuur 1.1 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 7 – 9 langs zwet VI waarvan het landwaartse deel van het kombergingsgebied door de aanleg van de kleirijperij is verkleind van het jaar voor de aanleg van de kleirijperij en de Klutenplas (nulmeting 2017) tot de eerste vier jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten in september 2021. Figuur 3.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.



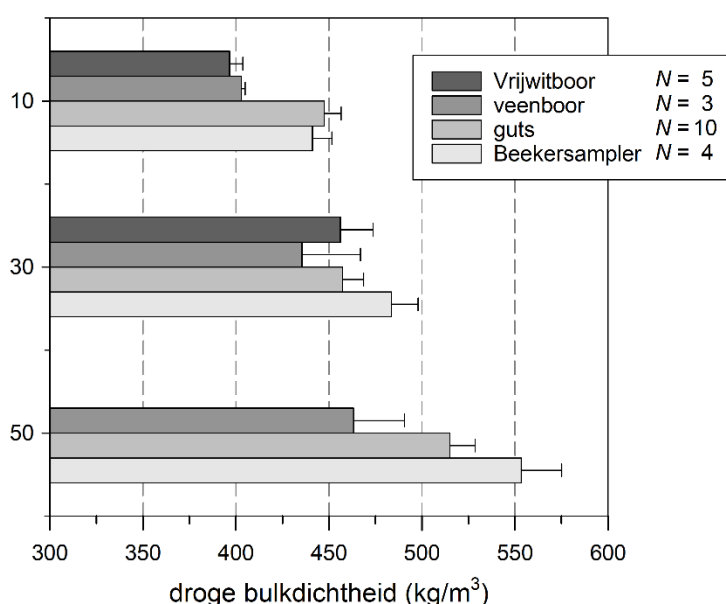
Figuur I.2 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 15 – 17 langs zwet VII waarvan het landwaartse deel van het kombergingsgebied door de aanleg van de kleirijperij is verkleind van het jaar voor de aanleg van de kleirijperij en de Klutenplas (2017) tot de eerste vier jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.

Bijlage II Invloed bemonsteringsapparatuur op slibmetingen

In deze bijlage worden de resultaten van de vier gebruikte bemonsteringsinstrumenten besproken en met elkaar vergeleken. Deze bespreking is beperkt tot de resultaten van de droge bulkdichtheid (DBD) van het sediment. Alleen in het overzicht van tabel II.1 wordt naast de DBD ook de dichtheden gegeven op basis van de natgewichten van de monsters.

Een vergelijking van de resultaten van alle vier bemonsteringsinstrumenten was alleen mogelijk tot op een diepte van 40 cm door de beperkte werkdiepte van de Vrijwitboor. Op 10 - en 30 cm diepte was sprake van een significant effect van zowel de bemonsteringsapparatuur als van de bemonsteringsdiepte op de DBD (Fig. II.1; Tabel II.2). In totaal bleef op deze dieptes het maximale verschil tussen twee boren beperkt tot iets meer dan 10%. Gemiddeld werden in de monsters uit de veenboor de laagste waarde gemeten, terwijl in monsters uit de Beekersampler gemiddeld de hoogste waarde werd gevonden (419 *versus* 462 kg/m³). Gemiddeld had de DBD op 30 cm diepte een 9% hogere waarde dan op 10 cm diepte.

De geringe steekproefgroottes maken het vrijwel onmogelijk om verschillen meer in detail te analyseren. Dit geldt ook als de vergelijking wordt uitgebreid tot een bemonsteringsdiepte van 50 cm, waar dan de Vrijwitboor niet langer mee kan doen (zie Fig. II.1). Op deze diepte is sprake van een verdere toename van de DBD, terwijl opnieuw in monsters uit de veenboor gemiddeld de laagste – en in monsters uit de Beekersampler gemiddeld de hoogste waarden werden gemeten.



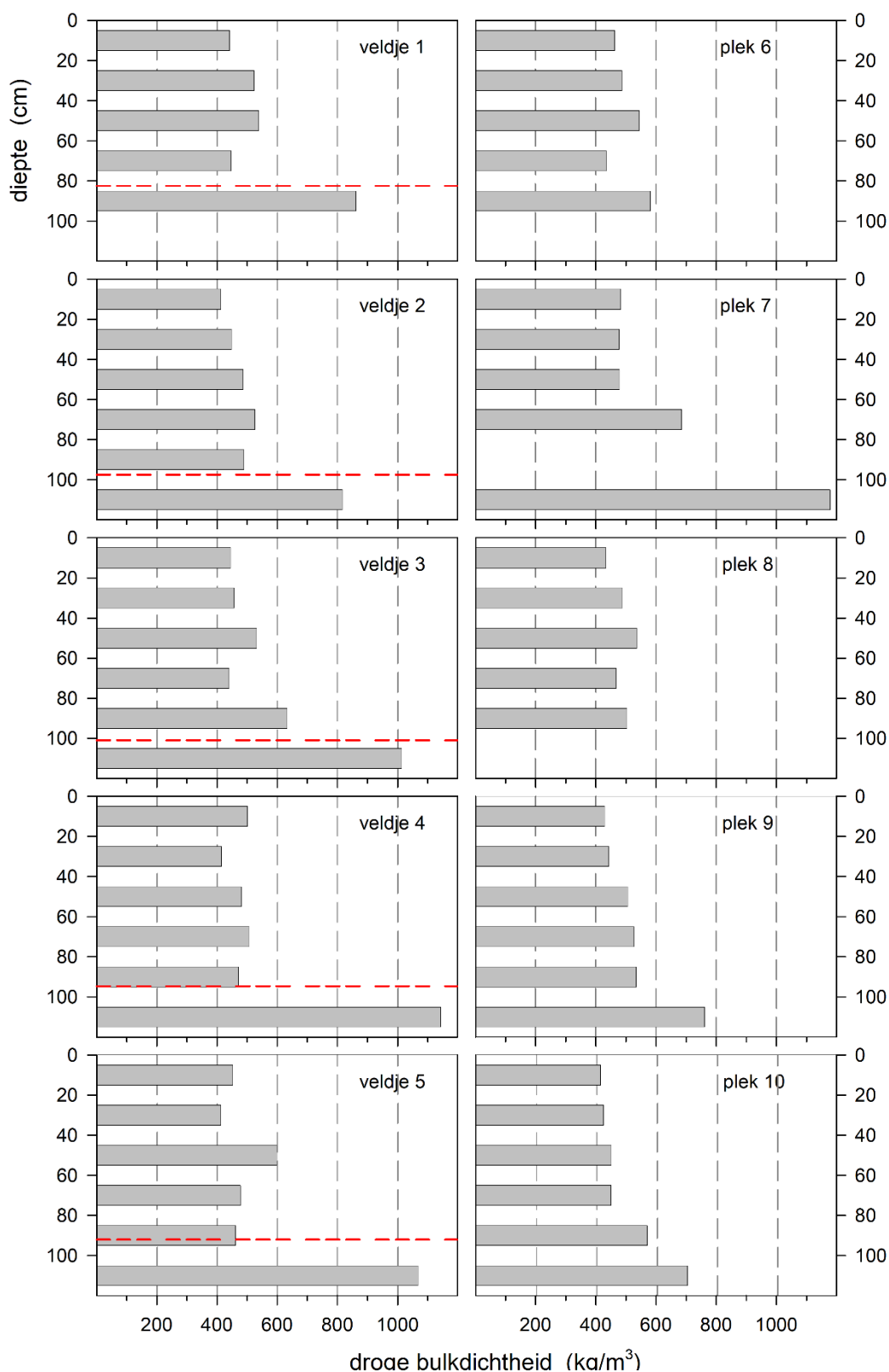
Figuur II.1 Vergelijking van de droge bulkdichtheid (DBD; gemiddelde met standaardfout) in de bovenste 60 cm van het sediment in de Klutenplas op 1 september 2021 bemonsterd met vier verschillende bemonsteringsinstrumenten. De Vrijwitboor had een werkdiepte van 40 cm, waardoor op 50 cm diepte resultaten met deze boor ontbreken. De waarde van de Beekersampler op 10 cm diepte is verkregen door per monster het gemiddelde te berekenen van de deelmonsters van 0 – 9 en 9 – 18 cm diepte. Voor de overige waarden geeft de grafiek dezelfde resultaten als Tabel II.1. Boortype en bemonsteringsdiepte hebben beide een significant effect op de DBD (2-weg variantieanalyse (Tabel II.2)).

Tabel II.1 De natte en droge bulkdichtheid (gemiddelde en standaarddeviatie (*SD*)) van het sediment op verschillende diepte in de Klutenplas zoals bemonsterd met vier verschillende bemonsteringsinstrumenten (§ 3.2.2).

Boor type	Diepte (cm)	Bulkdichtheid (kg/m ³)				Aantal monsters
		vers (nat)		droog		
		Gem.	<i>SD</i>	Gem.	<i>SD</i>	
Vrijwitboor	10	1229	28	397	16	5
	30	1271	38	456	39	5
Veenboor	10	1241	42	403	4	3
	30	1232	87	436	54	3
	50	1285	79	463	47	3
Gutsboor	10	1330	83	448	28	10
	30	1316	71	457	36	10
	50	1363	75	515	43	10
	70	1342	140	496	75	10
	90	1377	88	567	124	9
	110	1560	115	955	192	7
Beekersampler	5	1251	49	418	30	4
	14	1289	18	464	12	4
	23	1260	11	421	6	4
	32	1303	12	484	29	4
	41	1311	20	505	37	4
	50	1350	30	553	43	4
	59	1540	139	854	211	4
	68	1589	62	942	99	4
	77	1609	129	968	195	4
	86	1537	154	863	210	3
	95	1560	-	896	-	1
	104	1516	-	816	-	1

Tabel II.2 Resultaten van een 2-weg variantieanalyse om de effecten van bemonsteringsapparatuur (boortype) en bemonsteringsdiepte tot een diepte van 30 cm op de droge bulkdichtheid te toetsen (Zie figuur II.1 voor een grafische weergave). Omdat met de Vrijwitboor geen monsters op 50 cm diepte konden worden genomen, zijn de monsters van deze diepte niet opgenomen in onderstaande analyse. SS = kwadratensom, vg = aantal vrijheidsgraden, MS = gemiddelde kwadraat; *F* = toetsgrootheid, *P* = overschrijdingskans.

Bron van variatie	SS	vg	MS	<i>F</i>	<i>P</i>
Hoofdeffecten					
Boortype	10915	3	3638.4	3.663	0.021
Diepte	11798	1	11797.8	11.878	0.001
2-weg interactie	4532	3	1510.6	1.521	0.226
Residuals	35756	36	993.2		



Figuur II.2 De droge bulkdichtheid (DBD) van de bodem in de Klutenplas in deelmonsters tot een diepte van 120 cm onder het oppervlak gestoken met een gutsboor: links in monsters uit de vijf kaolienveldjes en rechts in vijf extra gestoken monsters aan de andere zijde van de meetbrug op 1 september 2021 (§ 3.2.2). De onderbroken rode lijn in de linker panelen geeft de diepte van de in 2018 aangebrachte markeerhorizont van kaolienklei in de gutsboor (vgl. Fig. 3.1).

Tot de monsternamen van 1 september 2021 was bij de meetbrug een sedimentlaag van bijna 1 meter afgezet (Fig. 4.9). Alleen van de gutsboor en de Beekersampler was de werklengete in theorie voldoende om deze sedimentlaag volledig te bemonsteren. Met de gutsboor is uit elk meetveldje met kaolienhorizont één monster gestoken waaruit op 5 of 6 verschillende dieptes deelmonsters zijn verzameld, waarvan steeds één deelmonster afkomstig was uit de oorspronkelijke bodem van de Klutenplas, d.w.z. van een diepte onder de in 2018 aangebrachte markeerhorizont (Fig. II.2 linker kolom). Gemiddeld was de DBD in de nieuw afgezette sedimentlaag 50% lager in vergelijking tot het oorspronkelijke bodemmateriaal van de Klutenplas onder de markeerhorizonten. In boorkernen uit enkele veldjes (zoals veldjes 2 en 3) liet de DBD in het nieuw afgezette sediment weliswaar een lichte toename zien met de bemonsteringsdiepte, maar dit liet het grote contrast met de DBD van het bodemmateriaal onder de markeerhorizonten onaangetast.

De vijf extra gestoken monsters laten min of meer eenzelfde beeld zien. Om uitputting van de markeerhorizonten te voorkomen, zijn deze monsters buiten de meetveldjes gestoken. In de resultaten ontbreekt daardoor de positie van de markeerhorizonten als houvast voor de interpretatie (Fig. II.2 rechter kolom). Op plekken 6 en 8 lijkt een deelmonster van de oorspronkelijke bodem te ontbreken. Op plek 7 ontbreekt het deelmonster van de diepte van 90 cm.

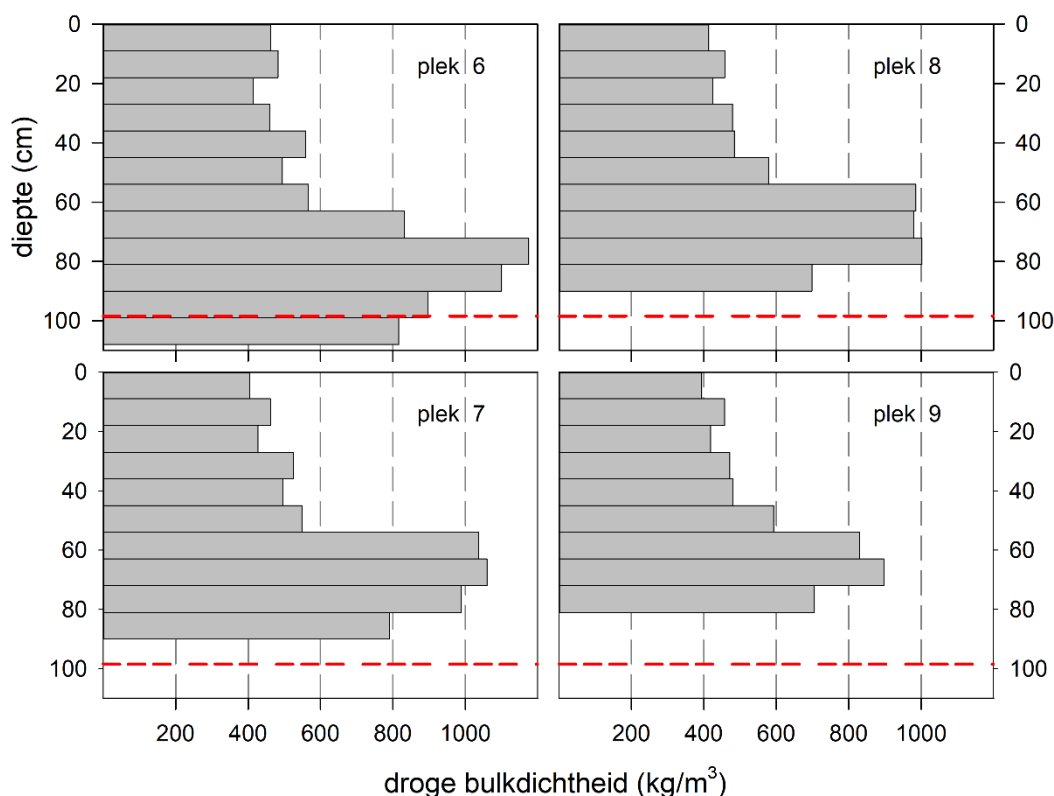
In de monsters gestoken met de Beekersampler lijkt sprake van een sterke vervorming (samendrukking) van het sediment (Fig. II.3). In vergelijking tot de lichte toename van de DBD met toenemende diepte in monsters uit de gutsboor liet de DBD in de monsters gestoken met de Beekersampler op een diepte van 50 – 60 cm een scherp omslagpunt zien waar de DBD toenam van $<600 \text{ kg/m}^3$ naar waarden van 800 – 1000 kg/m^3 . Het omslagpunt lag 30 – 40 cm boven de oorspronkelijke bodem van de plas (het niveau van de sedimentatieplaten of de kaolien markeerhorizonten in figuur II.2), zodat eventuele vermenging met oorspronkelijk bodemmateriaal volledig kan worden uitgesloten.

De sterke vervorming in de monsters met de Beekersampler in vergelijking tot monsters gestoken met de gutsboor wordt nog een keer onderstreept wanneer deelmonsters uit de Beekersampler worden geselecteerd die afkomstig zijn van precies dezelfde diepte als de deelmonsters uit de gutsboor (Fig. II.4). Ook de statistische significantie van de interactie term in de 2-weg variantieanalyse van het effect van boortype en diepte wijst op een verschil in patroon van de DBD in monsters gestoken met beide apparaten.

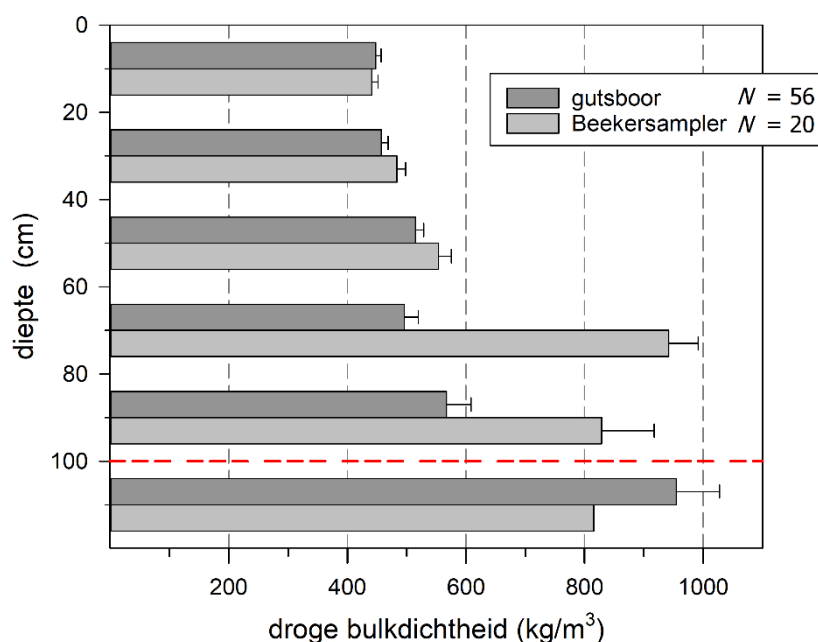
De conclusie dat er bij het gebruik van de Beekersampler aangenomen moet worden dat bij een diepte vanaf ongeveer 50 cm ernstige vervorming van het sediment kan optreden, sluiten goed aan op de ervaringen in twee voorgaande jaren. Bij de eerste bemonstering van de Beekersampler in 2019 lag de kaolienhorizont op een diepte van 42 cm en was deze in alle drie monsters door de transparante monsterbuis heen goed zichtbaar en was de positie ervan eenvoudig in het veld in te meten. Bij de tweede bemonstering in 2020 was de sliblaag bij de meetbrug aangegroeid tot bijna 80 cm, maar kon door versmering in geen enkel van de vijf monsters nog een markeerhorizont door de monsterbuis heen worden herkend. Indirect wijst deze versmering eveneens op de opgetreden vervorming van het sediment in de monsters.

Voor de monitoring van de slibinvang in de Klutenplas betekent dit met ingang van 2022 voor een andere monsternamen moet worden gekozen. De gutsboor aangevuld met het nemen van deelmonsters met de halfopen medische injectiespuiten vormen een goed alternatief. Niet in elk afzonderlijk monster gestoken met de gutsboor liet de DBD een duidelijk verband met diepte zien (Fig. II.2). Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het geringe volume van de deelmonsters (gem. 5.8 ml) en de invloed van meetfouten zowel bij het handmatig inkorten van de spuitjes als bij de bepaling van het volume van het deelmonster. Door het gemiddelde over meerdere monsters te berekenen lijken deze

problemen voldoende opgelost. Een voordeel van een gutsboor is dat door de geringe diameter, de bemonstering van de meetveldjes minder destructief is en daarmee de levensduur van de markeerhorizonten wordt verlengd. Een eventueel voordeel van een Vrijwitboor (met een voldoende lange werk lengte) is dat met een grote nauwkeurigheid grotere deelmonsters (100 ml) kunnen worden genomen en de variatie tussen monsters beter kan worden beschreven.



Figuur II.3 De droge bulkdichtheid (DBD) van de bodem van de Klutenplas in vier monsters gestoken met een Beekersampler op 1 september 2021 en onderverdeeld in deelmonsters met elk een 9-cm hoge sedimentkern. De pleknummering komt overeen met die in figuur II.2. Als referentie is middels een onderbroken rode lijn de gemiddelde diepte van de sedimentatieplaten op de datum van de bemonstering aangegeven.



Figuur II.4 Vergelijking van de droge bulkdichtheid (DBD; gemiddelde met standaardfout) van het sediment in de Klutenplas tot een diepte van 120 cm onder het oppervlak bemonsterd met de gutsboor en de Beekersampler. Van de Beekersampler zijn alleen deelmonsters in de vergelijking opgenomen die (in theorie) van dezelfde diepte afkomstig waren als de deelmonsters uit de monsters verkregen met de gutsboor. Als referentie is middels een onderbroken rode lijn de diepte van de sedimentatieplaten op de datum van de bemonstering aangegeven.

Tabel II.3 Resultaten van een 2-weg variantieanalyse om de effecten van bemonsteringsapparatuur (gutsboor *versus* Beekersampler) en bemonsteringsdiepte tot een diepte van 90 cm op de droge bulkdichtheid (DBD) te toetsen (Zie fig. II.4 voor een grafische weergave). Om te voldoen aan de voorwaarden van de analyse is de DBD ln-getransformeerd. Zie tabel II.2 voor verdere toelichting.

Bron van variatie	SS	vg	MS	F	P
Hoofdeffecten					
Boortype	0.716	1	0.716	55.028	<0.001
Diepte	1.711	4	0.428	32.861	<0.001
2-weg interactie	0.875	4	0.219	16.798	<0.001
Residuals	0.755	58	0.013		