



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

*vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en
vegetatie (2020)*

PUCCIMAR-rapport 21

in opdracht van


WATERSCHAP
Hunze en Aa's

SWECO 

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

*vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en
vegetatie (2020)*

PUCCIMAR rapport 21

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

Voorplaat

[Aanbrengen van tweede markeerhorizont in de Klutenplas, 9 september 2020
(foto: Peter Esselink)

P. Esselink^{*)}, K. Elschot^{#)}, M. Tolman^{s)} & W. Veenstra^{†)} 2021

Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringssysteem, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2020). PUCCIMAR rapport 21.
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

2020/03

Projectleider

P. Esselink

Status

Definitief

Datum

22 april 2021

© 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	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Inrichting en fasering van het project	12
1.3 Doelstelling monitoringsplan	14
1.4 Leeswijzer	16
2 Beschrijving studiegebied	17
2.1 Kwelder	17
2.2 Klutenplas	18
3 Methoden	21
3.1 Ontwateringsstelsel	21
3.2 Kwelderafslag	22
3.3 Slibinvang Klutenplas	23
3.3.1 Waterstanden Klutenplas	23
3.3.2 Slibinvang Klutenplas	24
3.3.3 Referentiemetingen kwelder	28
3.4 Vegetatie	28
3.4.1 Permanente kwadraten (pq's)	28
3.4.2 Hoogtezoning pioniervegetatie	29
4 Bespreking resultaten	30
4.1 Ontwateringsstelsel	30
4.1.1 Ontwatering Klutenplas	30
4.1.2 Effecten ontwatering Kleirijperij	34
4.2 Kwelderafslag	37
4.3 Getijdendynamiek Klutenplas	40
4.3.1 Elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en saliniteit	40
4.3.2 Waterstanden Klutenplas	42
4.4 Opslibbing	44
4.4.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas	44
4.4.2 Sedimentatie en slibinvang	48
4.4.3 Kwelder	51
4.5 Vegetatie	52
4.5.1 Vegetatieontwikkeling broedeiland	52
4.5.2 Vegetatieontwikkeling controle pq's	54
4.5.3 Vegetatieherstel in de Klutenplas	56
5 Conclusies en aanbevelingen	57
5.1 Conclusies	57
5.2 Aanbevelingen	59
6 Literatuur	61
Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten	65

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 kades van een tijdelijk slibdepot aan de buitenzijde van de bestaande dijk (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 zullen tijdens de voortgang van het project verschillende ontwikkelingen in het gebied worden gevolgd door middel van een uitgebreid meetprogramma. In 2017 is dit monitoringsprogramma opgestart met de vastlegging 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 2020: *i*) ontwikkeling van het ontwateringsstelsel van de kwelder, *ii*) de kwelderafslag, *iii*) de waterstanden en de getijdendynamiek in de Klutenplas, *iv*) de opslibbing in de Klutenplas met analoge metingen op de kwelder, *v*) vegetatieontwikkeling op het broedeiland en rond de Klutenplas op basis van permanente kwadraten en *vi*) een klein pilotonderzoek in 2020 naar de ondergrens van de kweldebegroeiing als referentie voor het vegetatieherstel in de Klutenplas.

Op deze plek willen we graag een aantal personen en organisaties bedanken voor hun medewerking of ondersteuning bij de uitvoering van de werkzaamheden. De Maatschappij tot Exploitatie van het onverdeelde Munnekeveen en de heer Huisman verleenden toestemming voor het betreden van hun terreinen voor de uitvoering van het veldwerk. De Stichting Het Groninger Landschap verleende vergunning voor het opnemen van controleprofielen van uitwateringen in haar kwelder. Jelle Aitink (Buro Bakker), Harry Hovekamp en Teunis van der Sluijs (beide van Wiertsema & Partners) en Sjoerd Gardien (Kruisbestuiving) verleenden assistentie bij het veldwerk. Jannes Donker (Fugro) verzorgde het beheer van de peilbuis in de Klutenplas en leverde de data van de waterstanden in de plas aan.

de auteurs

Vries
april 2021

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 2020 uitgevoerde monitoring, alsmede van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2020: *i*) het ontwateringsstelsel van de kwelder, *ii*) de kwelderafslag, *iii*) de waterstanden en de getijdendynamiek in de Klutenplas, *iv*) de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder, *v*) vegetatieontwikkeling op het broedeiland en rond de Klutenplas en *vi*) een klein pilotonderzoek naar de ondergrens van de kwelderbegroeiing als referentie voor het vegetatieherstel in de Klutenplas.

Dit rapport heeft twee functies. Aan de ene kant is dit rapport bedoeld als datarapport, dat wil zeggen dat primair een overzicht wordt gegeven van de verzamelde gegevens. Om echter ook tegemoet te komen aan het adaptieve karakter van het monitoringsplan, wordt bij zoveel mogelijke onderwerpen ook een eerste 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

Nadat de Klutenplas in april 2018 werd blootgesteld aan de dagelijkse invloed van het getij, nam de diepte van de uitwatering (zwet) die de verbinding vormt tussen de Klutenplas en Dollard gedurende de eerste bijna 1½ jaar toe met in totaal 0.7 m. Van 2019 op 2020 was sprake van een duidelijke afvlakking met een verdere uitdieping van maar enkele centimeters. In 2020 was het dwarsprofiel (gemeten onder het niveau van gemiddeld hoogwater (GHW)) dubbel zo groot als tijdens de nulmeting in 2017, een vergroting van 7 m². Dergelijke grote veranderingen deden zich niet voor bij meetpunten langs de referentie-uitwateringen of -zwetten.

Het bovenstroomse deel van de zwet die door de Klutenplas loopt heeft door de aanleg van de Kleirijperij geen verbinding meer met de dijksloot. Als gevolg hiervan lijkt dit bovenstroomse gedeelte geleidelijk dicht te slibben. Sinds de nulmeting in 2017 nam de diepte er t/m 2020 met 0.18 meter af.

Kwelderafslag

De omvang van de aanwezige kwelder in het werkgebied van het Demonstratieproject vertoont als gevolg van erosie al enkele tientallen jaren een achteruitgang. Voor beantwoording van de vraag of de aanleg van de Klutenplas tot een verhoogde afslag leidt is de periode 2009 – 2017, kort voorafgaande aan het Demonstratieproject, als referentieperiode gekozen. In deze periode is de kwelder in het werkgebied met 1.14 ha afgenomen waarbij de kwelderrand gemiddeld 1.1 meter per jaar landwaarts is opgeschoven. Van 2017 t/m 2020 is de kwelderrand jaarlijks gekarteerd. In deze periode bleek de afslag jaarlijks te variëren, maar bleef elk jaar onder het niveau van de referentieperiode. Dit betekent dat de aanleg van de Klutenplas tot nu toe dus niet heeft geleid tot een hogere afslag van de kwelder in het werkgebied. De afslag rond de monding van de Klutenplas verschilde hierbij evenmin met de rest van het werkgebied.

Getijdendynamiek Klutenplas

De saliniteit van het water in de Klutenplas bedroeg 15.1 g/kg, gemeten over een periode van negen maanden. Door het nog ontbreken van drie wintermaanden zal de jaargemiddelde waarde in de Klutenplas lager uitvallen. De Klutenplas ligt daarmee in de mesohaliene of gematigd brakke zone van de estuariene zoutgradiënt van de Eems-Dollard.

De Klutenplas is aangelegd met een drempel in de in- en uitstroomopening met een hoogte van NAP + 1.0 meter. In 2018 is de drempel met 0.1 meter verlaagd. Daarna is de drempel door onderloopsheid verder in verval geraakt. Hierdoor is de laagwaterstand in de Klutenplas in de loop der tijd met bijna 0.9 meter gedaald en heeft de Klutenplas een meer natuurlijke afwatering gekregen.

Op basis van de hogere dichtheid van het brakke Dollardwater is een herberekening uitgevoerd van in 2020 geregistreerde hoogwaterstanden in de Klutenplas. De hoogwaterstanden in de Klutenplas liggen onder het niveau van Nieuwe Statenzijl en deze verschillen nemen bij hogere standen toe. Bij waterstanden waarbij de kwelder overstroomt ($> \text{NAP} + 2.0 \text{ m}$) bedraagt het verschil ten minste 0.1 meter.

Opslibbing Klutenplas

In de eerste 2½ jaar na de openstelling van de Klutenplas voor het getij is de bodemhoogte door sedimentatie met 70 centimeter toegenomen. In de eerste 1½ jaar verliep de toename met een bijna constante snelheid; in het laatste jaar daarentegen leek er sprake van een seizoenspatroon met een veel snellere stijging van de bodemhoogte in het winterhalfjaar en een meer gematigde stijging in de zomer. De overgang van een bijna constant verloop naar een seizoensgebonden verloop van de opslibbing leek samen te vallen met het moment waarop de Klutenplas door het verval van de drempel bij laagwater begon droog te vallen.

Bij de aanleg van de Klutenplas zijn langs een meetbrug vijf veldjes met een markeerhorizont aangebracht met naast elk veldje ook een sedimentatieplaat. Hierdoor is het mogelijk onderscheid te maken tussen het nieuw afgezette sediment in de Klutenplas en de oorspronkelijke bodem. Uit de koppeling tussen de diepte van de markeerhorizonten in de verzamelde boorkernen en de diepte van de sedimentatieplaten bleek dat de in 2020 verzamelde boorkernen onvolledig waren. Gecorrigeerd voor de gemiste fractie bedroeg de droge bulkdichtheid (DBD) van de nieuw afgezette sedimentlaag in de Klutenplas 456 gr/m^3 . Dit zou een lichte toename betekenen ten opzichte van 2019 die kan worden verklaard door autocompactie van het afgezette sediment. Autocompactie werd bevestigd door een toename van de DBD met diepte in de nieuw afgezette laag.

De ophoging van de plasbodem met 70 centimeter komt overeen met een sediment volume van afgerond 20 100 kubieke meter. Op jaarbasis werd in de eerste 2½ jaar in de Klutenplas 8 590 kubieke meter slib per jaar of 3 925 ton slib (droge stof) per jaar vastgelegd.

Opslibbing kwelder

De referentiemetingen op de kwelder lieten in de eerste twee jaar een gemiddelde opslibbing zien van 4.2 millimeter per jaar.

Vegetatie

Op het broedeiland leek het achterwege laten van de grondbewerking in het voorjaar van 2020 meteen effect te hebben op de vegetatieontwikkeling. In vergelijking met de twee voorgaande jaren waarin wel een grondbewerking plaats vond, nam de bedekking van meerjarige plantensoorten fors toe, met

name van Gewoon kweldergras. Verder was er een opmerkelijke afname van het eenjarige Klein schorrenkruid met een dito toename van Spiesmelde.

Rondom de Klutenplas liet de samenstelling van de vegetatie geen grote veranderingen zien ten opzichte van de uitgangssituatie.

Op de hoogtetradiënt lijkt de ondergrens van de kweldebegroeiing in het werkgebied te liggen rond het niveau van NAP +1.2 m, overeenkomend met ongeveer 0.3 meter onder het lokale gemiddelde hoogwaterniveau. Enkele delen van de Klutenplas hadden in de zomer van 2020 deze ondergrens bereikt en werden hier ook meteen de eerste planten aangetroffen die zich in de Klutenplas hadden gevestigd.

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* – gaat het Waterschap Hunze en Aa's onderzoeken 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 à 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 dijkklei, 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 verschillende ontwikkelingen de waterkwaliteit in de Eems-Dollard de laatste decennia sterk is afgenomen door een verhoging van het zwevend stofgehalte (van Maren *et al.* 2016; de Jonge & Schückel 2019). In het programma ED 2050 wordt ervan uitgegaan dat hierin een verbetering kan worden bereikt als langs de randen van het estuarium de capaciteit voor slibinvang wordt verhoogd (Anonymus 2016). Door de kleiwinning op de kwelder in de vorm van de aanleg van de Klutenplas wordt de capaciteit van de kwelder om slib in te vangen verhoogd en is het in principe mogelijk dat het slibgehalte in het estuarium door projecten als het demonstratieproject BGD kan worden verlaagd.

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 een broedeiland voor Kluten (Riemersma & Esselink 2017; Fig. 1.1). Dit verklaart de naamgeving Klutenplas voor de kleiwinput. Het woord tijdelijk is hier gebruikt omdat de plas in de loop van de tijd zal dichtslibben en hierdoor zich op de plek van de plas op een gegeven moment weer een kweldervegetatie kan vestigen. De aanleg van de Klutenplas vormt fase 1 van het demonstratieproject BGD. De plas is ongeveer 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 gemeten 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 maximale diepte van NAP -0.13 m. De gemiddelde diepte lag 1.6 meter onder de ingemeten maaiveldhoogte 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 bestaat uit met stenen verzwaarde zinkstukken. De bovenkant van de drempel lag op een niveau van NAP + *ca.* 1.0 m. Om de getijdeninvloed in de Klutenplas te vergroten is de drempel 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 terugschreidende 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. Voorafgaande hieraan is de ongeveer 5 centimeter dikke toplaag of zode van de kwelder hier verwijderd. De aangelegde kade rond de slibdepots heeft een hoogte van ongeveer NAP +4.7 m wat neerkomt op een hoogte van 2.8 m boven het maaiveld van de kwelder. Naar verwachting zal het rijpingsproces twee of drie jaar duren. Daarna kan naar verwachting de klei worden verwerkt in de brede groene dijk (fase 3) en wordt de Kleirijperij weer van de kwelder verwijderd. Hierbij zal de oorspronkelijke maaiveldhoogte worden hersteld.

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 zetting van de kwelderbodem optreden. De kwelderbodem wordt hierbij verdicht

(gecompacteerd; Elschot & Baptist 2016). Nadat het slibdepot is verwijderd kan dit effect hebben op de plantengroei en soortensamenstelling van de vegetatie.



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).

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).

Voor de volgende aspecten wordt in dit rapport een overzicht gegeven van de in 2020 uitgevoerde monitoring, alsmede van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2020:

- het ontwateringsstelsel van de kwelder
- de kwelderafslag
- de waterstanden en de getijdendynamiek in de Klutenplas
- de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder
- vegetatieontwikkeling op het broedeiland en rond de Klutenplas

De monitoring van het ontwateringsstelsel heeft betrekking op mogelijke effecten van de aanleg van zowel de Klutenplas als de kleirijperij. Afhankelijk van het definitieve ontwerp van de bijna 1-km lange pilotdijk zal daarbij in latere jaren ook de effecten van de aanleg van de Brede Groene Dijk in 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. 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 binnendijs 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 binnendijs 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
 - a) het afwateringspatroon van kwelders?
 - b) 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
 - a) meer onveilige situaties voor het vee en
 - b) 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 2 een verantwoording wordt gegeven van de gebruikte methoden. In hoofdstuk 4 volgt een presentatie van de in 2020 verzamelde gegevens met, voor zover mogelijk een bespreking van de veranderingen ten opzichte van de nulmeting. 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.

2 Beschrijving studiegebied

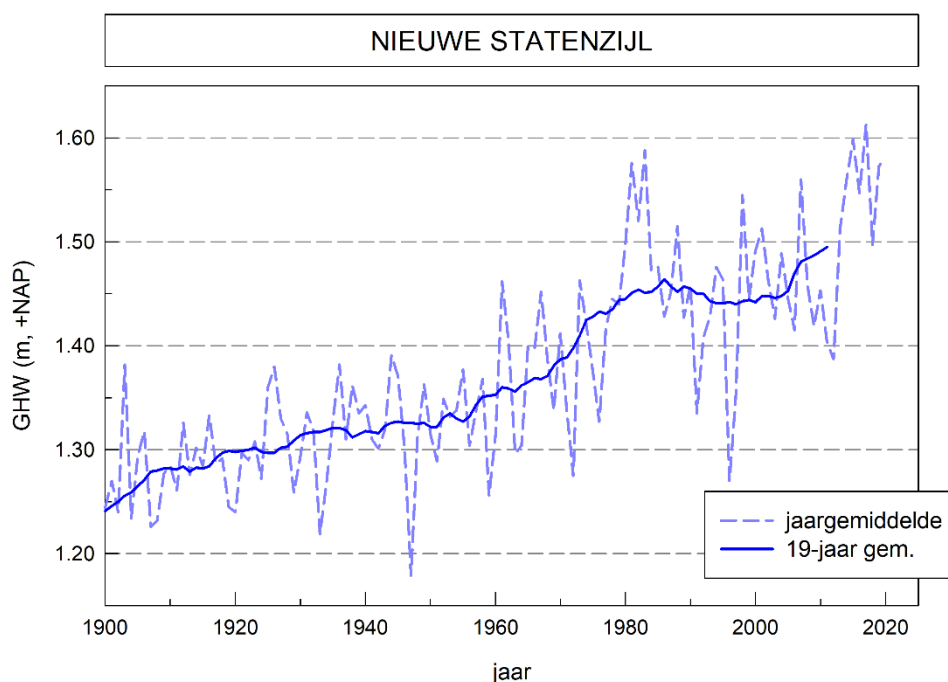
2.1 Kwelder

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 een verandering door 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 alleen nog 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), met uitzondering van de meest zeewaarts gelegen zone van de kwelder waar geen onderhoud meer plaatsvindt.

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. 2.1). De laatste jaren lag het jaargemiddelde GHW hier elk jaar ruim boven. Over de laatste zes jaar (2015–2020) bedroeg het GHW NAP +1.57 m.



Figuur 2.1 Ontwikkeling van het jaarlijks gemiddeld hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de periode 1900 – 2020. De waarde van 2020 is gebaseerd op een voorlopige waarde. 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).

Kwelderbeheer tijdens de uitvoering van het demonstratieproject BGD

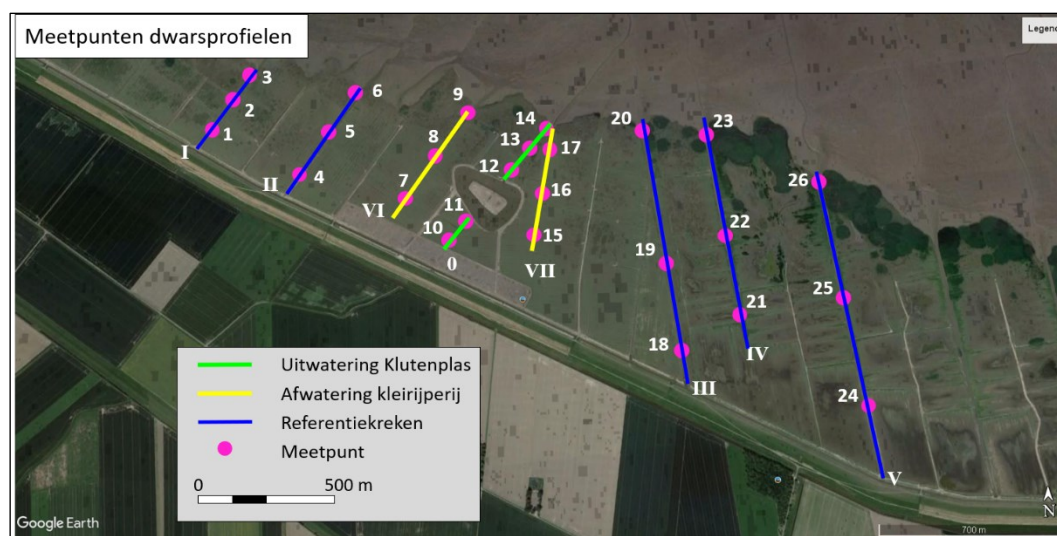
In verband met de aanleg en exploitatie van de Kleirijperij is op een deel van de kwelder de jaarlijkse beweiding met rundvee tijdelijk onderbroken. Het gaat om het stuk kwelder tussen de Kleirijperij en het wad en tussen de zwetten II en VII in figuur 2.2. In 2018 en 2019 werd dit deel van de kwelder niet beweide. In 2019 is het westelijk deel van het onbeweide gebied gemaaid (Esselink *et al.* 2020). In 2020 is het gebied tussen de zwetten II en VII met schapen beweide, het westelijk deel vroeger in het seizoen en intensiever in vergelijking tot het oostelijke deel.

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. Na installatie van een peilbuis op 31 augustus 2018 bleek dat drempel hoger was dan in de ontwerpfase van de Klutenplas was beoogd (niveau van de zwetbodemp 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. Op 21 augustus 2019 werd opgemerkt dat de drempel was beschadigd, dan wel aan natuurlijk verval onderhevig was en dat één van de wiepen niet meer met stenen was bedekt (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 het dwarsprofiel over de drempel op het laagste gedeelte nog een hoogte van NAP +0.27 m (Fig. 2.2); een hoogte die de drempel in maart 2020 al bijna had bereikt (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. Evenals in 2019, is om deze reden voorafgaand aan het broedseizoen de vegetatie op het eiland kort afgemaaid en is het maaisel in de voormalige uitwatering (zwet) in het midden van eiland gestort. In tegenstelling tot 2019, is in 2020 na het maaien geen grondbewerking uitgevoerd.

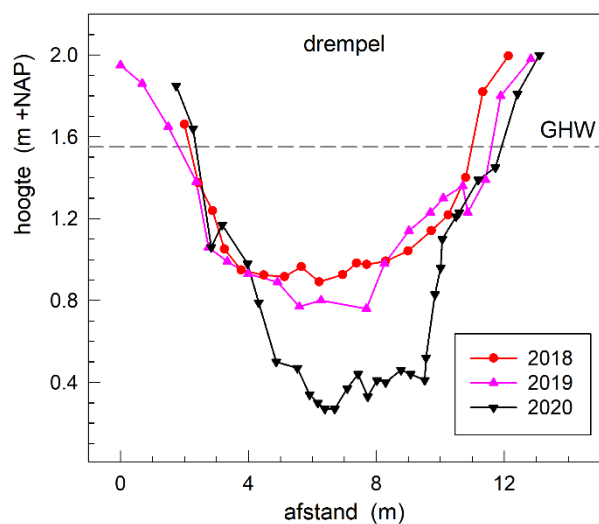
Ten behoeve van het monitoringsonderzoek naar de opslibbing van de Klutenplas is in de NO-hoek van de plas een 30 meter lange meetbrug van steigerbuis gebouwd, die tot ongeveer halverwege het eiland reikt. De uitgangspunten van de hier aangebrachte sedimentatieplaten en meetveldjes zijn in het monitoringsrapport over 2018 gedocumenteerd (Esselink *et al.* 2019).



Figuur 2.2 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.

Tabel 2.1 Tijdlijn van aanleg, beheermaatregelen en overige gebeurtenissen in de Klutenplas van aanleg tot eind 2020.

Datum	Omschrijving
mrt/apr 2018	Aanleg Klutenplas
19-apr-2018	Bouw meetbrug; aanbrengen sedimentatieplaten en markeerhorizonten
23-apr-2018	Blootstelling aan dagelijks getijdenregime
31-aug-2018	Installatie peilbuis CTD-diver met datalogger aan meetbrug (Fugro)
29-nov-2018	Verlaging drempel tot ca. NAP +0.9 m
27-mrt-2019	Beheer broedeiland: maaien vegetatie gevolgd grondbewerking (grondfrees)
21-aug-2019	Drempel beschadigd met sporen van beginnend verval
eind okt 2020	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 uitstroomopening
9-sep-2020	Aanbrengen tweede markeerhorizont met kaolienklei



Figuur 2.3 Ontwikkeling van het dwarsprofiel boven over de drempel in de monding van de Klutenplas in de eerste drie 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 9 november 2020 en laat zien hoe de drempel door onderloopsheid is aangetast.



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 hierboven) en zal meer kwalitatief met behulp van foto's worden 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 2020 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 2020 was dit vooral 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 2.2. Als gevolg van eerst de aanleg van het kleidroogbed en later van de Kleirijperij staat het gedeelte van de zwet tussen de zeedijk en de Klutenplas sinds het voorjaar van 2018 niet meer in verbinding met de dijksloot. Van dit gedeelte zijn dwarsprofielen opgenomen op Meetpunten 10 en 11. Om in de toekomst 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).

Meetnet Kleirijperij

Door de aanleg van de Kleirijperij voorafgegaan door het gebruik van dezelfde locatie als droogbed voor de klei uit de Klutenplas, staat het tussen de zeedijk en de Klutenplas gelegen deel van de zwet door de Klutenplas sinds het voorjaar van 2018 niet meer in verbinding met de dijksloot. Door het wegvallen van deze verbinding is de zwet in de nieuw ontstane situatie overgedimensioneerd. 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. Analoog 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.

De hier gegeven beschrijving van zwetten VI en VII vormen een correctie op de beschrijvingen in de eerdere voortgangsrapportages, waar abusievelijk wordt beweerd dat beide zwetten voor de aanleg van de Kleirijperij een verbinding hadden met de dijksloot.

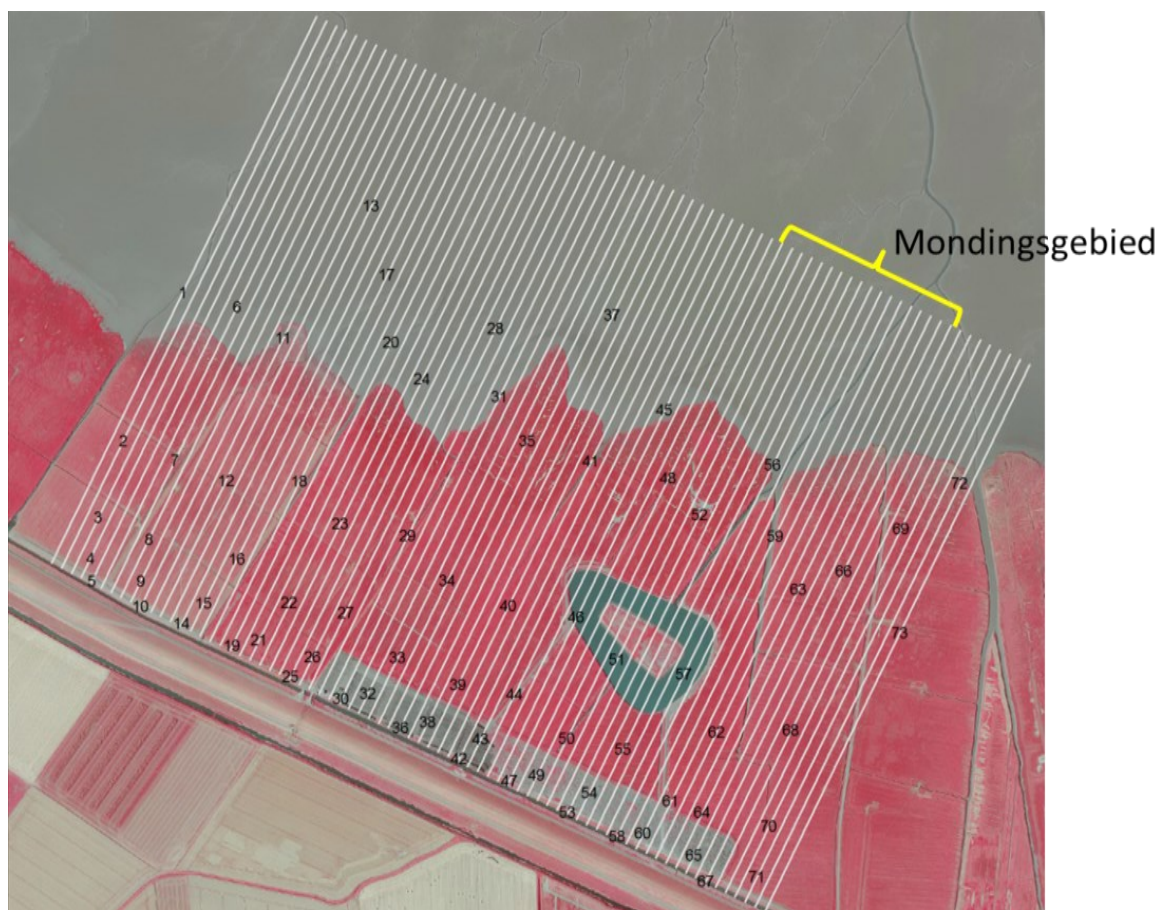
3.2 Kwelderafslag

Om de omvang van de kwelder te volgen, is op 27 en 28 augustus 2020 opnieuw in het hele studiegebied de positie van de kwelderrand ingemeten met behulp van een DGPS (met een nauwkeurigheid van 0.1 m). Hierbij is de grens van aanwezige overjarige begroeiing als grens van de kwelder beschouwd. Langs het grootste deel van de kwelder werd deze grens gevormd door de bovenkant van de afslagrand (klif) van de kwelder. De begrenzing van eventueel aanwezige pioniervegetatie buiten de kweldergrens is afzonderlijk gekarteerd. Hierbij zijn alle begroeiingen die ogenschijnlijk het verder onbegroeide slik voor de kwelderrand koloniseerden als pioniervegetatie aangemerkt. In 2019 ging het hierbij om begroeiingen van zeekraal, uitstoelende eerstejaars planten van Engels slijkgras en ijl Riet dat door middel van zowel ondergrondse - als bovengrondse uitlopers (zgn. *Legehalmen*) vanuit een pol op de kwelder het wad opgroeide. Dit laatste was op één plek het geval.

De mogelijke invloed van de aanleg van de Klutenplas kan worden geëvalueerd door de verandering in de positie van de kwelderrand te vergelijken tussen a) voor – en na aanleg van de Klutenplas en b) vlakbij - en op grotere afstand van de Klutenplas (Esselink *et al.* 2019). Als referentieperiode voor de aanleg van de Klutenplas is gekozen voor de periode 2009–2017 (Esselink *et al.* 2018). In 2017 is de positie van de kwelderrand in het kader van de nulmeting ingemeten en deze kon worden vergeleken met gegevens van 2009 uit eerder uitgevoerde onderzoek (Esselink *et al.* 2011). Naast de omvang (oppervlakte) van de kwelder, is ook de afstand waarover de kwelderrand is opgeschoven onderzocht.

Om de kwelderontwikkeling in het studiegebied te analyseren zijn dezelfde methoden gekozen als in het laatstgenoemde onderzoek (Esselink *et al.* 2019). Voor de omvang van de kwelder is uitgegaan van de oppervlakte van het gehele voorland tussen de teen van de dijk en de kwelderrand inclusief de inliggende watergangen (zwetten of krekken). Om te onderzoeken over welke afstand de kwelderrand eventueel is verschoven, zijn loodrecht op de dijk op een onderlinge afstand van 20 meter in totaal 73 raaien over het studiegebied geprojecteerd (Fig. 3.1). Op elke raai is de afslag of aangroei van de kwelder tussen twee tijdstippen gemeten als het verschil in positie van de kwelderrand op beide tijdstippen.

Om de eventuele invloed van de aanleg van de Klutenplas te onderzoeken zijn de raaien opgedeeld in twee deelgebieden, namelijk: het mondingsgebied met raaien op relatief korte afstand van de monding (< 200 m) en een controle-of referentiegebied met raaien die verder van de monding lagen (Fig. 3.1). Drie raaien die min of meer over de monding van een zwet liepen zijn buiten beschouwing gelaten, zodat uiteindelijk 70 raaien overbleven voor een analyse.



Figuur 3.1 Kaart met de over het studiegebied geprojecteerde loodrecht op de dijk staande raaien ten behoeve van de monitoring van de kwelderrand. De raainummers 48 t/m 65 liggen op < 200 m van de monding van de Klutenplas en zijn aangegeven als mondingsgebied. De achtergrond is een false-colour luchtfoto van 2018.

3.3 Slibinvang Klutenplas

3.3.1 Waterstanden Klutenplas

Door middel van een peilbuis met CTD-diver (Tabel 2.1) vindt elke 10 minuten een registratie van de waterstand in de Klutenplas plaats. De diver bestaat onder meer uit een drukmeter, een geheugen om de metingen op te slaan en een batterij. De meetwaarden zijn afhankelijk van de druk van de waterkolom boven de diver plus de luchtdruk. Door koppeling van de meetresultaten aan die van een baro-diver is de invloed van de luchtdruk op de metingen verwijderd.

In de berekening van de tot nu toe gerapporteerde waterstanden is uitgegaan de dichtheid van zoet water (pers. meded. Jannes Donker). Doordat zout water een hogere dichtheid heeft betekent dit dat de tot nu toe gerapporteerde waterstanden een lichte overschatting zullen zijn van de werkelijk opgetreden waterstanden (Esselink *et al.* 2020). Om hiervoor eventueel te kunnen corrigeren kan gebruik gemaakt van de watertemperatuur en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het water. Deze gegevens kunnen ook door de CTD-diver worden vastgelegd. Voor representatieve metingen is het noodzakelijk dat er voldoende verversing optreedt van het water in de peilbuis. Tot de verplaatsing van de peilbuis naar de in- en uitstroomopening op 27 maart 2020 was hiervan geen sprake, waardoor deze gegevens van voor deze datum niet zijn vastgelegd.

Om inzicht te verkrijgen of een eventuele correctie van toegevoegde waarde is, zijn de beschikbare temperatuur- en EGV-gegevens van 2020 (*i.e.* periode 27 maart – 22 december) gebruikt om in twee stappen een schatting op te stellen van de dichtheid van het water in de Klutenplas. In de eerste stap wordt op basis het EGV (mS/cm) en de temperatuur T (°C) de saliniteit S (g/kg) berekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende formule (De Boeck *et al.* 2014):

$$S = A \times EGV^2 + B \times EGV - 0.1219$$

A en B zijn hierbij functie van de temperatuur:

$$B = 10^{-5} \times (36 \times T^2 - 2874 \times T) + 1.06171$$

$$\begin{aligned} \text{en voor: } T < 10^\circ\text{C} \quad A &= 10^{-5} \times (20.8 \times T + 488) \\ T \geq 10^\circ\text{C} \quad A &= 10^{-6} \times (65 \times T + 3492) \end{aligned}$$

De dichtheid van water is een functie van de saliniteit, temperatuur en de druk. Tot een diepte van 100 meter is de invloed van de druk echter te verwaarlozen (Swart 1982), zodat in de tweede stap de dichtheid ρ (in kg/m³) kan worden benaderd met de formule (Swart 1982):

$$\rho = 1000 + c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3 + d_1 \cdot S + d_2 \cdot S^2 + d_3 \cdot S^3 + e_1 \cdot S \cdot T + e_2 \cdot S \cdot T^2 + e_3 \cdot S \cdot T^3$$

waarin

$$\begin{aligned} c_0 &= 8.00969062 \times 10^{-2} \\ c_1 &= 5.88194023 \times 10^{-2} \\ c_2 &= -8.11465413 \times 10^{-3} \\ c_3 &= 4.76600414 \times 10^{-5} \\ d_1 &= 7.97018644 \times 10^{-1} \\ d_2 &= 1.31710842 \times 10^{-4} \\ d_3 &= -6.11831499 \times 10^{-8} \\ e_1 &= -3.25310441 \times 10^{-3} \\ e_2 &= 3.89187483 \times 10^{-5} \\ e_3 &= 2.87971530 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

De resultaten zijn voor de hoogste en laagste temperaturen en hoogste en laagste saliniteitswaarden ter controle vergeleken met de in Elzerman (1953) getabelleerde relatie van de dichtheid van water met temperatuur en saliniteit. Hierbij werden geen noemenswaardige verschillen gevonden (afwijking in alle gevallen < 0.1%).

3.3.2 Slibinvang Klutenplas

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

- veranderingen in bodemhoogte, die bijv. kan worden uitgedrukt in centimeters per jaar en
- 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.

Slibhoogte Klutenplas

Voor de monitoring van de bodemhoogte van de Klutenplas kan de zogenaamde uitmeting van de aannemer in april 2018 als nulmeting worden beschouwd (Esselink *et al.* 2020). Hierna is de bodemhoogte in de nazomer van 2018 en in 2019 in totaal driemaal in kaart gebracht door middel van een *single-beam* echoloding. Deze echolodgingen 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. Mede door de teruglopende conditie van de drempel, valt de Klutenplas sinds november 2019 bij laagwater droog. Dit was aanleiding om in maart 2020 de bodemhoogte van de Klutenplas 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, waarna de keuze is gemaakt om de meting in de nazomer uit te voeren met behulp van een RTK-drone. Dit was op 24 augustus 2020.

Tegelijkertijd met de dronevlucht is 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.

Tijdens de opname met de Total Station op 18 maart 2020 zijn 12 van de 28 vaste raaien ingemeten. De afstand tussen twee opgenomen raaien was hierdoor te groot om een vlakdekkende interpolatie uit te voeren. Om toch een hoogtekaart voor maart 2020 te verkrijgen, is uitgegaan van de de drone-opname in augustus en is deze gecorrigeerd voor de toename in bodemhoogte tussen maart en augustus. Voor deze correctie is de Klutenplas langs de in maart opgenomen raaien opgedeeld in 12 deelgebieden en is per deelgebied een correctie uitgevoerd. Hierbij is per deelgebied het gemiddelde verschil in hoogte tussen augustus en maart berekend op basis van de hoogtes op de twee raaien op de grens van elk deelgebied. Dit hoogteverschil per deelgebied is afgetrokken van de hoogtes in augustus. Deze databewerkingen zijn uitgevoerd nadat de resolutie van de augustus-opname was teruggebracht naar pixels van 0.5×0.5 meter.

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 sedimentatieplaten aan te prikken met een gekalibreerde meetstok en de lengte van het in het slib verdwenen deel van de stok af te lezen. Deze metingen zijn in 2020 ongeveer eenmaal per twee

maanden uitgevoerd. 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. slibschiif (Esselink *et al.* 2020).

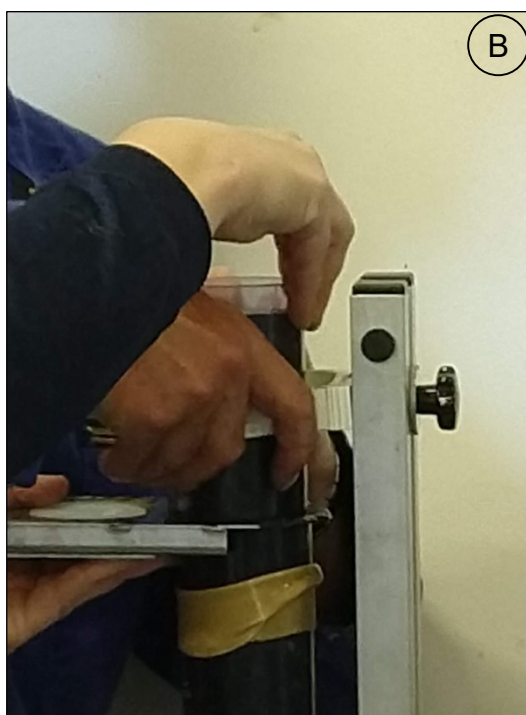
Sedimentatie Meetbrug

Om te bepalen hoeveel slib er in de Klutenplas is afgezet is op 8 september 2020 een bemonstering uitgevoerd van het sediment in de vijf meetveldjes met een markeerhorizont. Hierbij is gebruik gemaakt van een “sediment steekmonsternemer, type Beeker” (kortweg Beekersampler) van de firma Eijkelkamp. Een Beekersampler kan worden omschreven als een soort zuigerboor waarmee met behulp van 1.0 m – of 1.5 m lange monsterbuizen ongestoorde of ongeroerde monsters van onderwaterbodems kunnen worden genomen (Anonymus 2002). Bij de bemonstering is erop toegezien dat de bemonsteringsdiepte voldoende was om door de markeerhorizont heen te prikken. Omdat de bemonsteringsbuizen (met een binnendiameter van 57 mm) een heldere doorzichtige kunststofwand hebben, zou de markeerhorizont zichtbaar moeten zijn in de bemonsteringbuis, zodat ook de dikte van de sedimentlaag kan worden gemeten. In tegenstelling tot de ervaringen in 2019, bleek de kaolienhorizont in 2020 niet zichtbaar in het verse monster in het veld. De monsters zijn in de afgesloten monsterbuizen rechttop naar het laboratorium vervoerd om daar verder te worden verwerkt. Door 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 (Fig. 3.2). Daarna kon het slib boven de horizont worden gescheiden van de kaolien en de rest van het monster. Van het slib boven de kaolienklei is zowel het nat- als het drooggewicht bepaald. Voor de bepaling van het drooggewicht zijn de monsters 24 uur lang gedroogd bij 105°C waarbij na nog eens 24 uur een tweede weging is uitgevoerd om te controleren of het drogingsproces was voltooid. Voor een berekening van de bulkdichtheid van het slib (zowel nat als droog) is het volume van het slibmonsters berekend op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaat naast elk veldje gecorrigeerd voor het eventuele hoogteverschil gemeten na het aanbrengen van de kaolienhorizonten en de platen in april 2018.

De verwachting is dat onder invloed van het gewicht van het bovenop liggende slib, de dichtheid onderin het nieuw afgezette slib zal toenemen. Om de dichtheid van het slib op verschillende diepte te meten zijn buiten de meetveldjes drie extra boorkernen met de Beekersampler gestoken. Ook deze boorkernen zijn in afgesloten monsterbuizen rechttop naar het laboratorium vervoerd. Hier zijn de monsters 21 dagen gekoeld bewaard voordat ze verder zijn verwerkt. Bij de verdere verwerking zijn de monsters opgesplitst in deelmonsters met een hoogte van de sedimentkern van 9 centimeter. Hierbij is gebruik gemaakt van een voor de Beekersampler ontwikkeld los- en verdeelsysteem waarbij de monsterbuis op de kop in een frame wordt geplaatst en de boorkern met een hydraulisch uitdrukstelsel voorzichtig naar boven wordt geduwd en opgevangen wordt in korte 10-cm hoge buisjes van dezelfde diameter (Fig. 3.3). Van de deelmonsters is vervolgens het nat- en drooggewicht bepaald (zie boven).



Figuur 3.2 Ingevroren boorkern uit de Klutenplas gestoken op 8 september 2020 in kaolienveldje nr. 5. De gele pijl geeft de positie aan van de gedeeltelijk uitgerepareerde markeerhorizont van kaolienklei die de grens markeert tussen de oorspronkelijke bodem van de Klutenplas en het nieuw afgezette slib na de aansluiting van de plas op de Dollard.



Figuur 3.3 (A) Opstelling van het los- en verdeelsysteem van de Beekersampler waarmee een boorkern in 9-centimeter hoge deelmonsters kan worden gesplitst. Op de foto is met een rubberen manchet een 10-cm hoog buisje aangesloten op de bemonsteringsbuis om het eerste deelmonster op te vangen. (B) Met een afdopspatel wordt het deelmonster gescheiden van de boorkern.

3.3.3 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 2020 is de diepte van de platen tweemaal opgenomen, namelijk op 17 maart en 14 september, zodat de invloed van het seizoen kan worden onderscheiden en dit 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 op te meten.

3.4 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 voorziet het monitoringsplan daarnaast in een meer frequente monitoring van de vegetatie in permanente kwadraten (pq's).

Om de vraag te kunnen beantwoorden bij welke hoogte de eerste pionierplanten zich in de Klutenplas zouden kunnen vestigen is in 2020 verkennend onderzoek gedaan naar bij welke hoogte karakteristieke pionierplanten in de kwelder voorkomen.

3.4.1 Permanente kwadraten (pq's)

Voor onderzoek naar mogelijke effecten van de aanleg van zowel de Kleirijperij als de Klutenplas zijn in 2017 pq's van 4×4 m uitgezet en voor het eerst opgenomen. Voortzetting van de monitoring van de pq's van de Kleirijperij is pas mogelijk als de depots van de Kleirijperij weer van de kwelder zijn verwijderd. Evenals in 2018 en 2019, zijn daarom in 2020 alleen de pq's van de Klutenplas opnieuw opgenomen. Hierbij gaat het om 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.

Bij het uitzetten van de pq's in 2017 is onderscheid gemaakt tussen de twee oeverwallen van de aanwezige zwet (4 pq's per groep) en het lagergelegen vlakke deel van de kwelder (6 pq's per groep). Omdat de pq's in de plas in 2020 nog geheel onbegroeid waren, zijn in 2020 alleen de pq's op het broedeiland en de controle pq's opgenomen. Bij een opname wordt de vegetatie 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). In 2020 zijn de vegetatieopnames uitgevoerd tussen 20 juli en 29 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>amplius</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			

3.4.2 Hoogtezonerings pioniervegetatie

Om de vraag te kunnen beantwoorden bij welke hoogte de eerste kweldervegetatie zich in de Klutenplas zou kunnen vestigen, is in 2020 een klein verkennend onderzoekje gedaan naar bij welke hoogte karakteristieke pionierplanten in de kwelder voorkomen. Hierbij zijn selectief twee typen laaggelegen plekken opgezocht langs de ondergrens van de begroeiing, namelijk:

- klonen van Engels slijkgras op de bodem van de zwetten ($N = 2$)
- klonen van Engels slijkgras langs de kwelderrand onderaan de voet van het kwelderklijf ($N = 6$)

Het verschil tussen de twee typen plekken is dat de zwetten een beschutte omgeving vormen met bijvoorbeeld weinig golfslag en de plekken langs de kwelderrand een meer geëxponeerde ligging hebben. Daarnaast is de hoogte van de standplaats ingemeten van enkele solitair voorkomende planten onderaan het talud van de Klutenplas, ogenschijnlijk gevestigd in het nieuw afgezette slib.

4 Bespreking resultaten

4.1 Ontwateringsstelsel

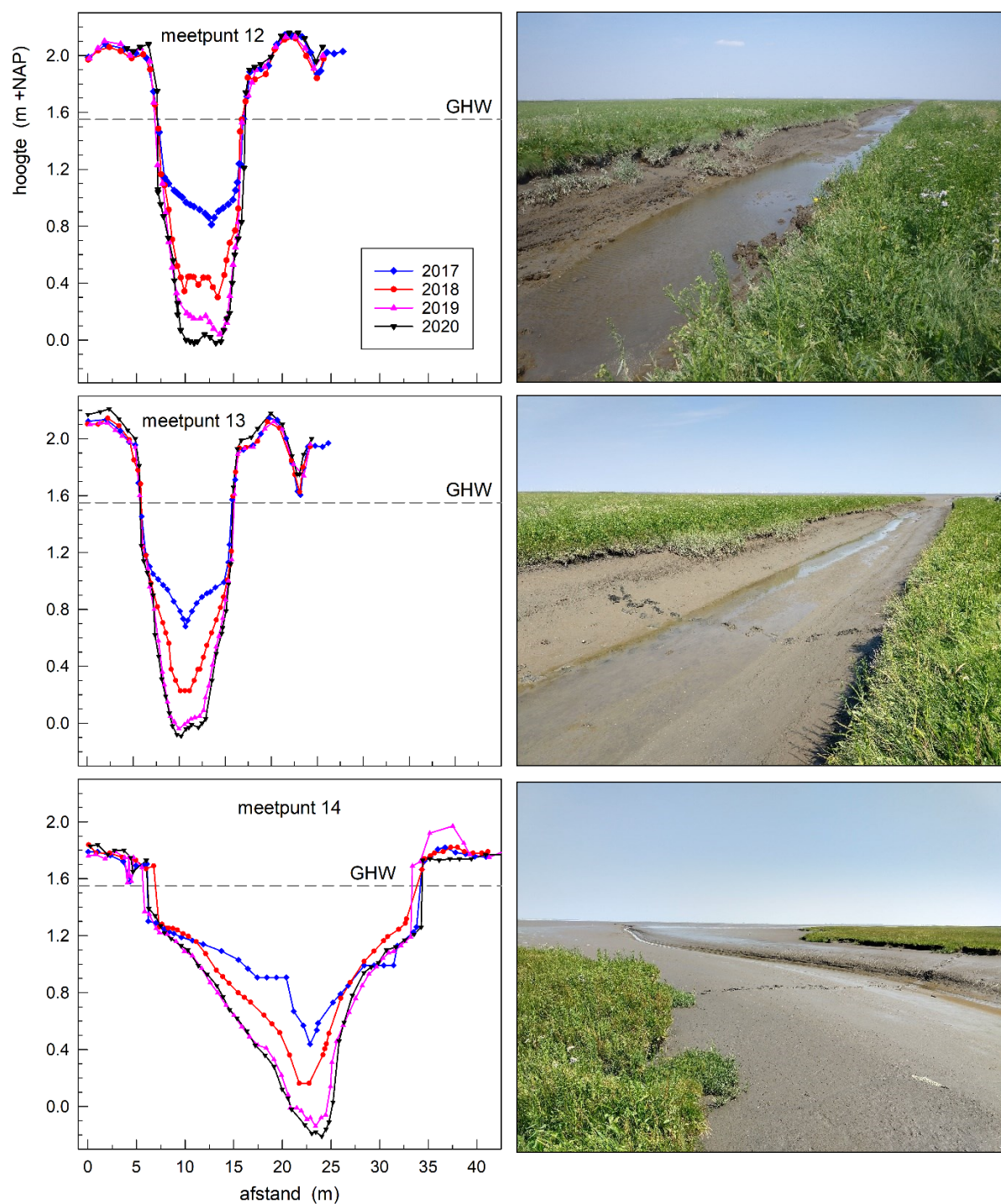
4.1.1 Ontwatering Klutenplas

Als gevolg van de aansluiting van de Klutenplas op de Dollard is de uitwatering of zwet die de verbinding vormt tussen de Klutenplas en Dollard aanzienlijk verdiept (Fig. 4.1; Tabel 4.1). Deze ontwikkeling deed zich vooral voor in de eerste 16 maanden na de aansluiting. Van 2019 op 2020 waren de veranderingen relatief gering (Fig. 4.2A): op de drie meetpunten tussen de Klutenplas en de Dollard nam de diepte het laatste jaar gemiddeld met nog 6 centimeter toe in vergelijking met bijna 70 centimeter in de eerste 16 maanden na de aansluiting (het verschil in bodemhoogte tussen de opname van 2019 en de nulmeting in 2017).

In vergelijking met de diepte bleef de breedte van de zwet opmerkelijk constant (Fig. 4.1; Tabel 4.1). In tabel 4.1 laat de breedte zelfs een geringe afname zien, terwijl op grond van de ontwikkeling van de diepte eerder een toename, of ten minste een constante waarde van de breedte verwacht had mogen worden. De afgenomen breedte in tabel 4.1 kan worden verklaard met de mate van nauwkeurigheid waarmee de breedte op maaiveldniveau is bepaald. De breedte is afhankelijk van welk punt precies als bovenrand van de zwet wordt gekozen. Verder is de breedte alleen goed te vergelijken wanneer een profiel elk jaar over exact dezelfde lijn is ingemeten. Dit is niet altijd gerealiseerd en dit vormt dan ook de verklaring voor de gerapporteerde (geringe) afname van de breedte op de drie meetpunten (Tabel 4.1). De foto's van de Meetpunten 12 en 13 laten zien dat er in 2020 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 de voorgaande jaren ervoor gekozen om de veranderingen van de dwarsdoorsnede niet te beschrijven ten opzichte van het maaiveld, maar ten opzichte van het lagere niveau van GHW. Deze keuze is ook in dit rapport gevolgd. Hierbij is het niveau 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 dwarsdoorsnede van de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard liet parallel aan de ontwikkeling van de diepte van 2019 op 2020 nog wel een verdere toename zien, maar tegelijkertijd was er ook sprake van een duidelijke afvlakking (Fig. 4.2B). In totaal waren de dwarsdoorsnedes met een toename van 7 m² gemiddeld dubbel zo groot als tijdens de nulmeting in 2017 (Tabel 4.1).

De afvlakking van de veranderingen in de profieldimensies van de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard is opmerkelijk als deze wordt vergeleken met de ontwikkeling van de drempel in de monding van de Klutenplas (Fig. 2.3). Van 2019 op 2020 verloor de drempel door onderloopsheid veel meer in hoogte (afgerond 50 cm) dan in de periode hiervoor. Het grote technische verval van de drempel heeft dus niet geleid tot een versterkte erosie in de verbindingszwet tussen Klutenplas en de Dollard.



Figuur 4.1 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 12 – 14 in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard van de nulmeting in 2017 voor aanleg van de plas tot de eerste drie 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 augustus 2020. Figuur 2.2 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.

Tabel 4.1 Veranderingen in de dwarsprofielen in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard tussen augustus 2020 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.

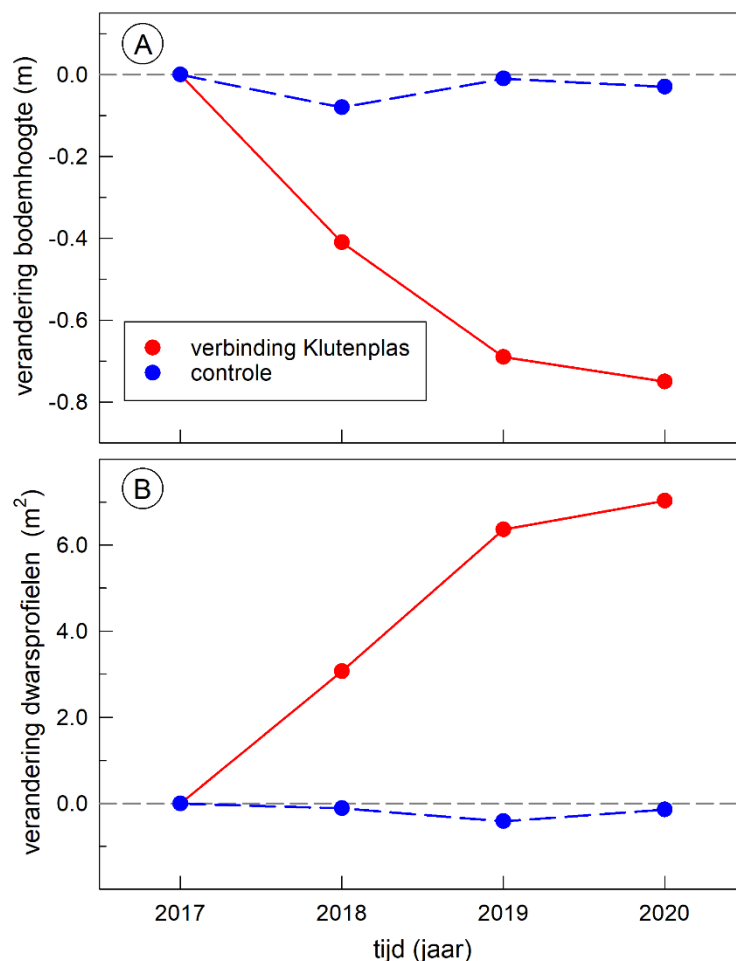
Meetpunt	Breedte (m)	Diepte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
			(m ²)	(%)
12	-0.3	0.83	6.6	144
13	-0.1	0.77	5.8	98
14	-0.1	0.65	8.7	55
Gemiddeld	-0.2	0.75	7.0	99

Tabel 4.2 Veranderingen in de dwarsprofielen van de controlezwetten tussen augustus 2020 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. Bijlage I geeft de ontwikkeling van de profielen in de loop van de tijd met een foto van elk meetpunt in 2020. Figuur 2.2 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.

Zwet	Meetpunt	Breedte (m)	Diepte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
				(m ²)	(%)
I	1	-0.2	-0.03	0.2	9
I	2	0.8	0.00	-0.2	-5
I	3	-0.5	-0.15	-0.4	-10
II	4	0.1	-0.09	-0.8	-63
II	5	2.2	0.03	0.1	6
II	6	0.3	-0.06	-0.5	-19
III	18	-0.9	0.12	-0.8	-19
III	19	1.1	0.02	-1.0	-15
III	20	1.2	0.03	-0.4	-2
IV	21	-0.8	0.06	-0.1	-1
IV	22	0.8	0.20	0.0	0
IV	23	-0.5	0.14	-2.2	-11
V	24	0.5	0.03	0.6	14
V	25	-0.2	0.05	1.2	9
V	26	0.8	0.17	2.2	12
Gemiddeld	dijkwaarts	-0.3	0.02	-0.2	-12
	midden	0.9	0.06	0.0	-1
	monding	0.2	0.03	-0.3	-6

De erosie van de verbinding tussen Klutenplas en de Dollard zal voornamelijk zijn veroorzaakt door de ebstroom. In kwelderkreken is over het algemeen 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 watervolume in de Klutenplas bleef tijdens laagwater in de zwet gedurende langere tijd een relatief krachtige ebstroom staan, terwijl de controlezwetten tijdens laagwater nauwelijks water voeren en vaak nagenoeg droogvallen. Dit verklaart mede het verschil in ontwikkeling van verbindingsswet tussen Klutenplas en Dollard en de controlezwetten (Fig. 4.2). In de controlezwetten bleven de dimensies van de dwarsprofielen in de afgelopen jaren gemiddeld genomen bijna onveranderd (Fig. 4.2; Tabel 4.2). Als de Klutenplas in de loop van de tijd dichtslibt, zou de ontwikkeling van de dimensies van de verbindingsswet zich weer moeten ombuigen in de richting van de lijn van de controlezwetten en geleidelijk terugkeren naar de uitgangssituatie.

In de groep van controlezwetten was in 2020 bij de stuw tussen zwet III en de dijksloot sprake van achterloopsheid (Fig. 4.3). Deze achterloopsheid werd in 2019 ook al opgemerkt. Dit zou via deze zwet kunnen leiden tot een verhoogde wateruitwisseling tussen dijksloot en de Dollard. Vooralsnog lijkt geen sprake van erg grote veranderingen in de dimensies van de dwarsprofielen in deze zwet (Tabel 4.2; Fig. I.3 in Bijlage I), met uitzondering van het dichtstbijzijnde meetpunt (Meetpunt 18). Sinds 2018 is de diepte op het laatstgenoemde meetpunt met 0.30 meter toegenomen, een veel groter verschil dan het verschil met de nulmeting in 2017 (Tabel 4.2).



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 Ausgangssituatie in 2017 in de verbindingsswet tussen Klutenplas en Dollard (gemiddelde van de meetpunten 12 – 14) en de controlezwetten (gemiddelde van alle meetpunten langs de zwetten I – V in fig. 2.2).



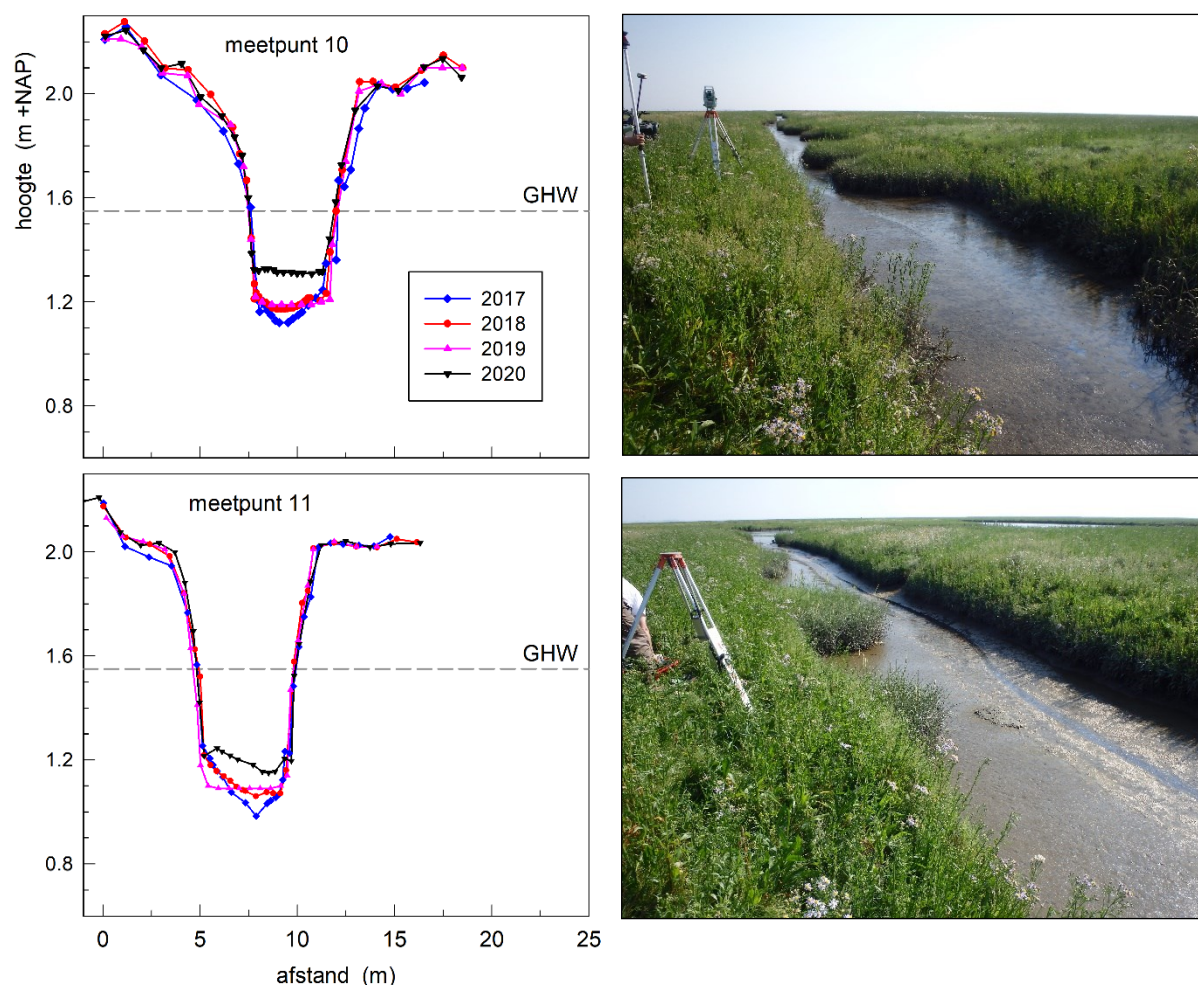
Figuur 4.3 Achterloopsheid bij de stuw tussen de aansluiting van de dijksloot met zwet III. Foto 14 augustus 2020.

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 Klutenplas en de kleirijperij laat inderdaad een geleidelijke verondieping zien die in 2020 op beide meetpunten was opgelopen tot 17 – 19 centimeter ten opzichte van de uitgangssituatie in 2017 (Fig. 4.4, 4.5AB; Tabel 4.3). Zwet VI liet op het dichtst bij de dijk gelegen meetpunt (Meetpunt 7) ook een geleidelijk verondieping zien, in 2020 oplopend tot 13 centimeter ten opzichte van de uitgangssituatie. Op de twee andere meetpunten liet deze zwet geen consistente profielontwikkeling zien; in 2020 was de zwet hier 5 – 7 centimeter minder diep dan tijdens de nulmeting in 2017 (Fig. 4.5BC; Tabel 4.3).

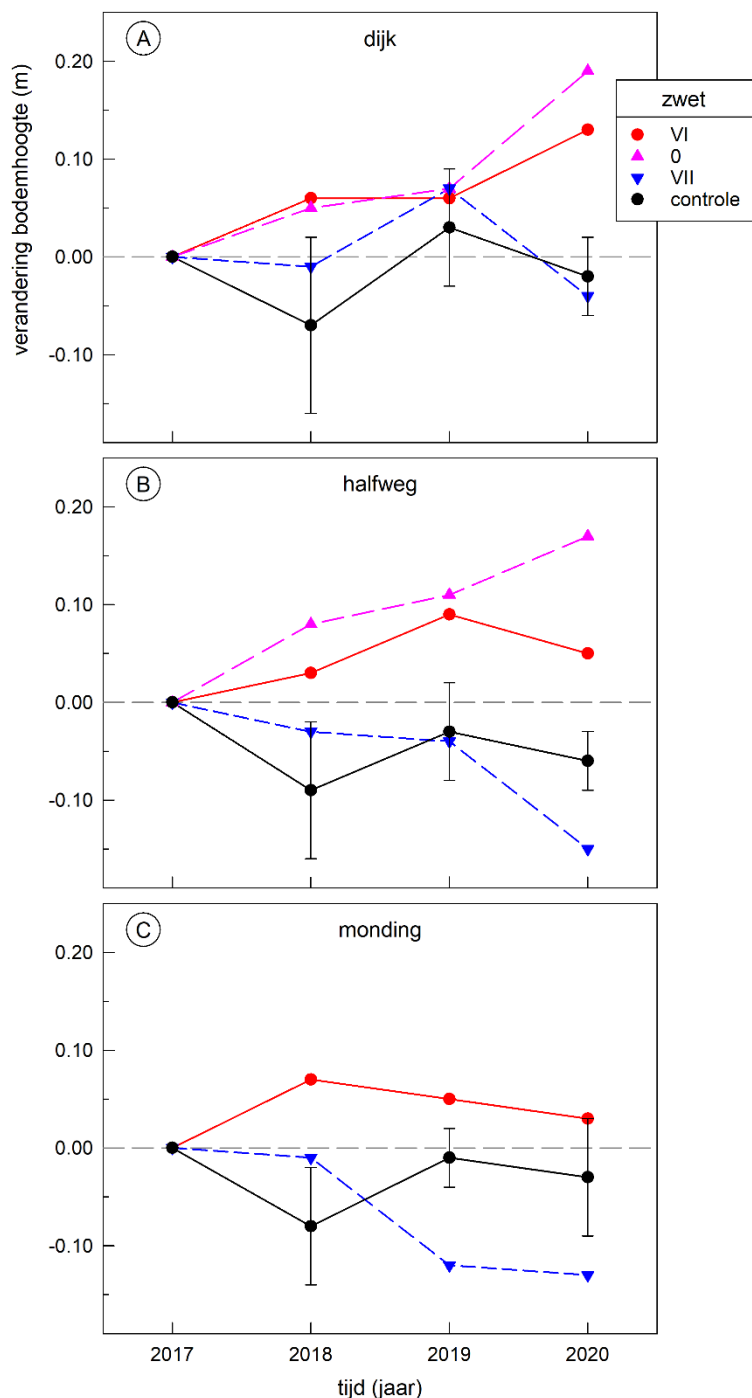
De ontwikkeling van zwet VII kwam niet overeen met de bovengenoemde verwachting. Bij deze zwet was de afname van het kombergingsgebied bij de dijk kleiner dan bij zwet VI, en tegelijkertijd lag ook het dichtst bij de dijk gelegen meetpunt ook wat verder op de kwelder. Op dit meetpunt (Meetpunt 15) was de diepte in 2020 ongeveer gelijk aan die van de uitgangssituatie. Op de twee andere meetpunten was de diepte van de zwet in 2020 gemiddeld met bijna 15 centimeter toegenomen ten opzichte van de uitgangssituatie in 2017.



Figuur 4.4 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 10 en 11 tussen de Klutenplas en de kleirijperij vanaf 2017, het jaar voor aanleg van de kleirijperij en de Klutenplas tot de eerste drie jaar erna. Zie figuur 4.1 voor verdere toelichting.

Tabel 4.3 Het verschil tussen augustus 2020 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 dijkslot 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 2020. Figuur 2.2 geeft een kaartje met de ligging van alle meetpunten.

Zwet	Meetpunt	Breedte (m)	Diepte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
				(m ²)	(%)
0	10	-0.1	-0.19	-0.6	-38
0	11	0.0	-0.17	-0.2	-10
VI	7	-0.1	-0.13	0.0	
VI	8	-0.8	-0.05	0.0	1
VI	9	-1.6	-0.07	-0.6	-23
VII	15	-0.4	0.04	0.3	10
VII	16	-0.6	0.15	0.8	13
VII	17	1.4	0.13	0.5	7



Figuur 4.5 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 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.

4.2 Kwelderafslag

Omvang pionierzone in 2020

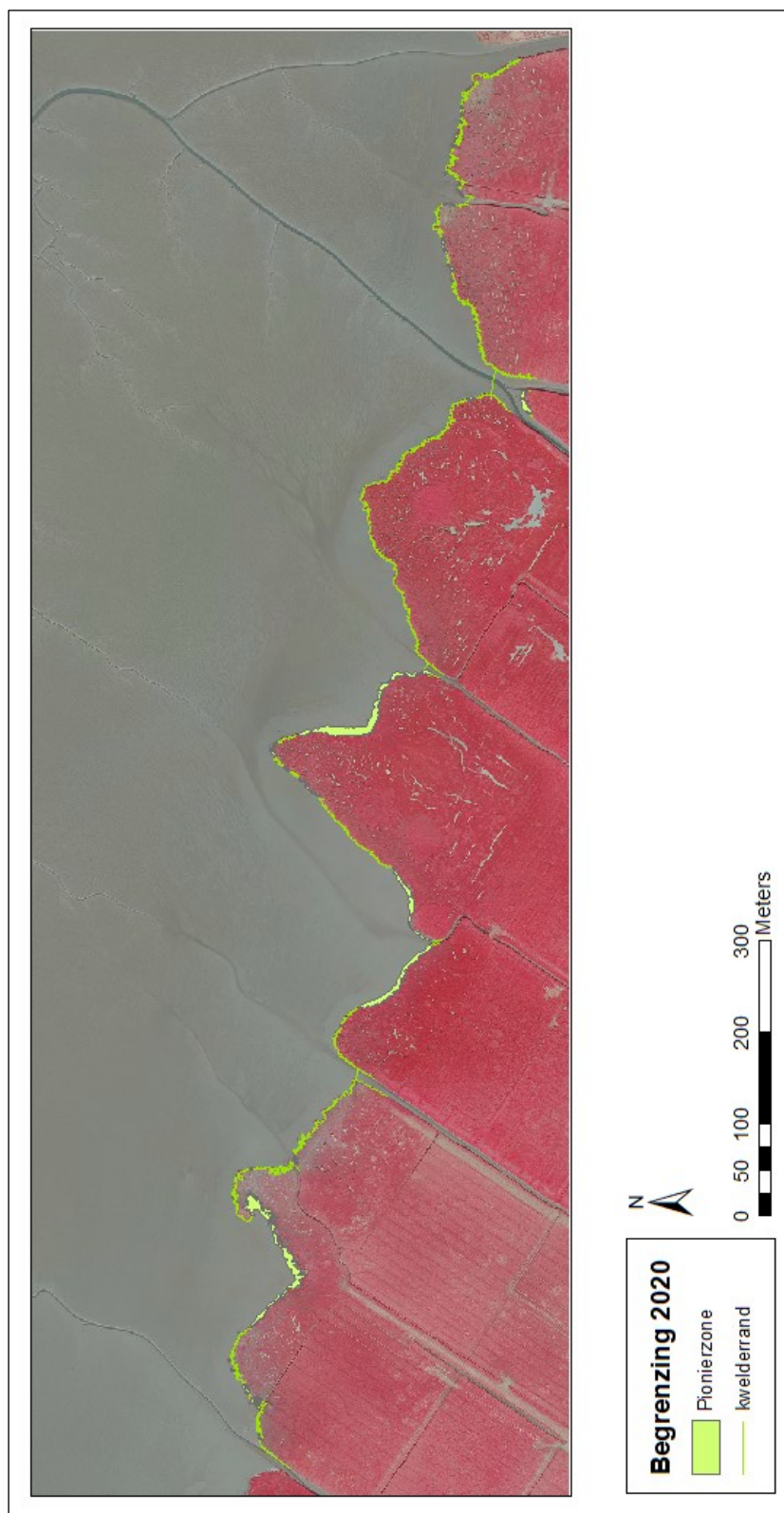
Evenals in 2018 en 2019 het geval was, was ook in 2020 langs een deel van de kwelderrand een smalle pionierzone aanwezig (Fig. 4.6). In 2020 bedroeg de totale oppervlakte hiervan 0.34 ha, ongeveer dezelfde oppervlakte als in 2019, maar de helft minder als in 2018 (Esselink *et al.* 2020). Tijdens de nulmeting in 2017 was nauwelijks een pionierzone aanwezig en deze is toen niet gekarteerd. Conform de benadering in 2018 is bij het classificeren van de pioniervegetatie niet uitgegaan van de soortensamenstelling van de vegetatie, maar meer van de vegetatiestructuur, *i.e.* een ijle begroeiing met een lage bedekking op het verder onbegroeide wad (zie § 3.2). Net als in 2018 werd een belangrijk deel van de pionierzone gevormd door een ijle vegetatie van jonge planten van Engels slijkgras. Zoals besproken in het voorgaande monitoringsrapport is de inschatting dat deze begroeiing doorgaans in de loop van de herfst door ganzenvraat verdwijnt (Esselink *et al.* 2019). Voor het overige deel bestond de pionierzone uit een éénjarige begroeiing van zeekraal, terwijl op één plek ook een ijle Rietbegroeiing, die door middel van zowel ondergrondse - als bovengrondse uitlopers vanuit een rietveldje op de kwelderrand het wad opgroeide tot de pionierzone is gerekend.

Afslag

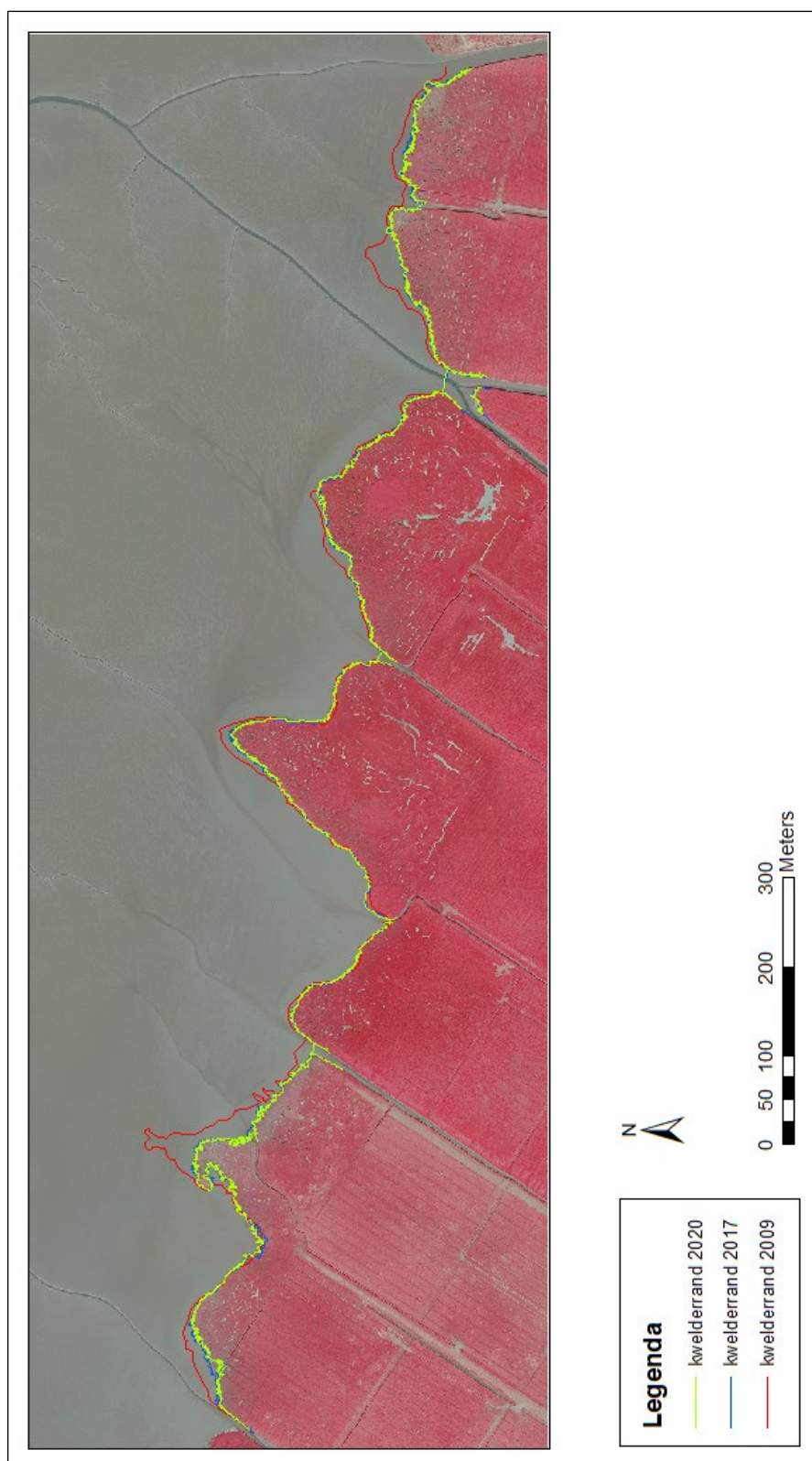
In tegenstelling tot de lange termijnontwikkeling was er van 2019 op 2020 sprake van een geringe netto aangroei van de kwelder in het studiegebied (Tabel 4.4). De aangroei laat zich verklaren doordat de kwelderrand niet over de volledige lengte afslag vertoont, maar een afwisseling vormt van plekken waar: (a) de afslagrand direct overgaat op het onbegroeide wad, (b) zich onder aan het klif bijvoorbeeld een kloon Engels slijkgras bevindt die zich onder gunstige omstandigheden vegetatief kan uitbreiden over het wad en (c) een scherpe afslagrand ontbreekt en eerder sprake is van een geleidelijke overgang tussen kwelder en wad en waar eveneens aangroei mogelijk is. De kaart in Figuur 4.7 met de positie van de kwelderrand in 2009, 2017 en 2020 bevestigt de ruimtelijke afwisseling in ontwikkeling met stukken kwelderrand die na 2009 over een aanzienlijke lengte dijkwaarts zijn opgeschoven en andere stukken kwelderrand die sinds 2009 niet veel van positie zijn veranderd.

In principe past een jaar waarin de kwelder een kleine netto aanwas vertoont bij de conclusie van vorig jaar dat de kwelderafslag jaarlijkse fluctuaties kan laten zien. Dit lijkt in tegenspraak met elders uitgevoerd onderzoek waarin geconcludeerd wordt dat erosie van kwelders over het algemeen weinig variatie van jaar op jaar vertoont (Leonardi *et al.* 2016ab, Fagherazzi *et al.* 2020). De verklaring die hiervoor wordt gegeven is dat de meeste erosie optreedt als gevolg van het effect van windgolven bij relatief gematigde en vaak voorkomende windsnelheden (windkracht 3–5; Leonardi *et al.* 2016a). De rol van hogere windsnelheden zou volgens deze en andere auteurs (bijv. Tonelli *et al.* 2010) beperkt zijn omdat deze minder vaak optreden en bij deze windsnelheden de kwelder vaak volledig overstroomt waardoor de golven de kwelderrand passeren zonder veel kracht uit te oefenen op het klif. Dit betekent dat er vooralsnog geen eenvoudige verklaring kan worden gegeven voor de variatie in de snelheid waarmee de kwelderrand zich terugtrekt.

De aanleg en de aanwezigheid van de Klutenplas lijken tot nu toe geen invloed te hebben op de verschuivingen van de kwelderrand (Fig. 4.8). In alle drie monitoringsjaren is de achteruitgang van de kwelder onder het niveau van de referentieperiode van 2009–2017 gebleven. Tegelijkertijd is er geen significant verschil gevonden tussen de verschuiving van de kwelderrand op de 17 raaien in het mondingsgebied en de overige raaien in het controlegebied. In de laatste twee jaar was er netto nauwelijks sprake van een verplaatsing van de kwelderrand.



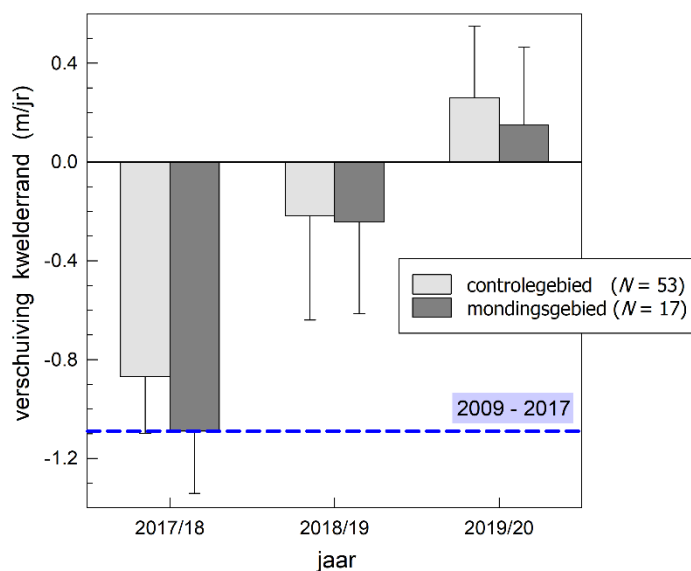
Figuur 4.6 Het voorkomen van pioniervegetatie voorlangs de kwelderrand in 2020. De achtergrond is een false-colour luchtfoto uit 2018.



Figuur 4.7 De ligging van de kwelderrand in 2009, 2017 en 2020. De achtergrond is een false-colour luchtfoto uit 2018. Uit visuele overwegingen is de kwelderrand van 2018 en 2019 niet weergegeven.

Tabel 4.4 Verandering in de omvang van de kwelder (excl. pionierzone) in het studiegebied in een periode voorafgaande aan de aanleg van de Klutenplas (2009 – 2017), het jaar van aanleg (2017 – 2018) en de eerste twee jaar erna (2018 – 2020).

Periode	Aanwas (ha)	Afslag (ha)	Netto verandering	
			totaal (ha)	per jaar (ha/jr)
2009 – 2017	0.07	1.21	-1.14	-0.14
2017 – 2018	0.02	0.11	-0.09	-0.09
2018 – 2019	0.07	0.07	-0.00	-0.00
2019 – 2020	0.10	0.08	0.02	0.02



Figuur 4.8 De verschuiving (gemiddelde met standaardfout) van de kwelderrand op vaste raaien loodrecht op de dijk in het controle- en het mondingsgebied van de Klutenplas in de eerste drie jaar na de nulmeting. De onderbroken blauwe lijn geeft de gemiddelde afslag in het studiegebied over de periode 2009 – 2017. Het mondingsgebied is omschreven als het gebied tot 200 m ten westen en ten oosten van de monding van de klutenplas (raaien 48 – 65 in Fig. 3.1); het controlegebied omvat de rest van het studiegebied. De verschillen tussen de twee deelgebieden zijn statistisch niet significant. N = aantal raaien per deelgebied.

4.3 Getijdendynamiek Klutenplas

4.3.1 Elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en saliniteit

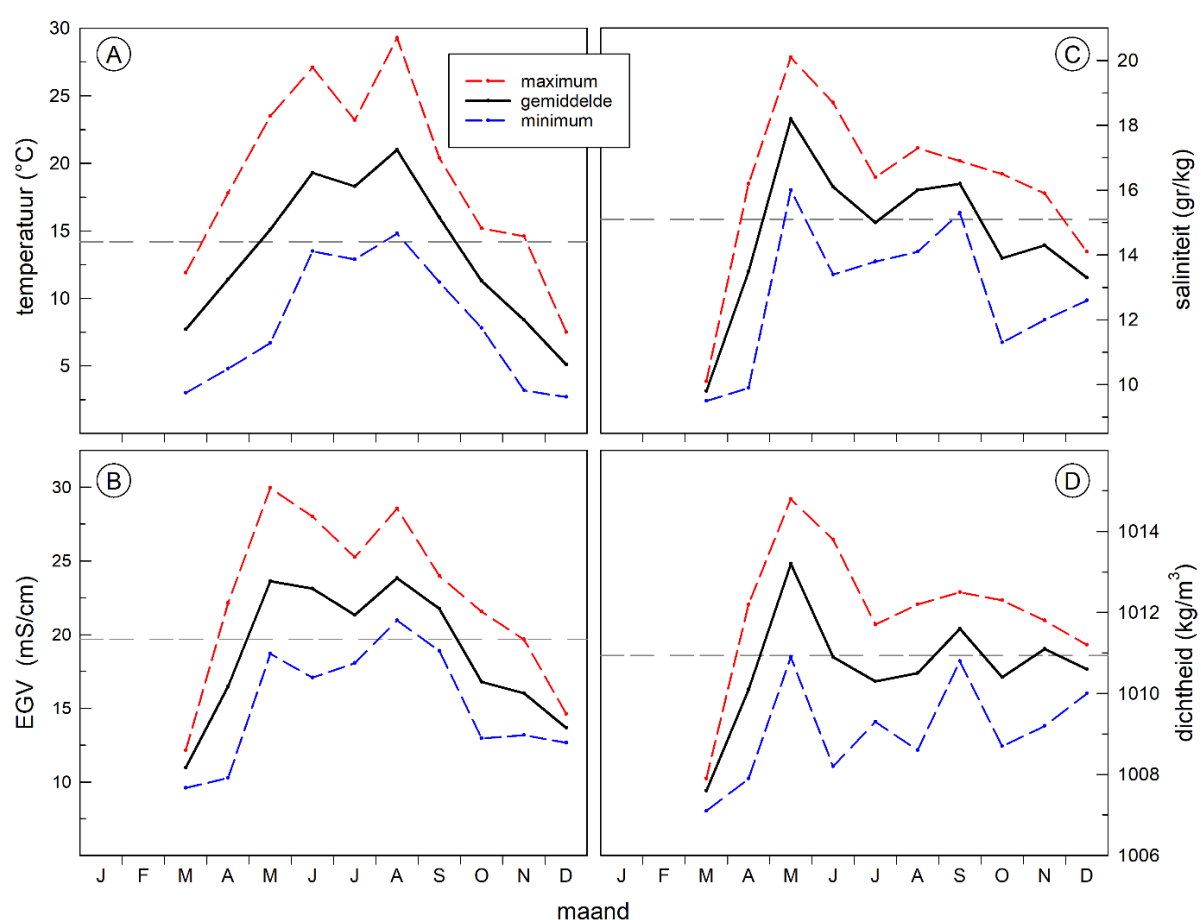
Figuur 4.9 geeft een samenvatting van de in 2020 verkregen temperatuur- en EGV-metingen in de Klutenplas met de daaruit afgeleide saliniteit en dichtheid van het water tijdens hoogwater. De extreem hoge maximumtemperatuur van 29.3 °C in augustus zal het resultaat zijn van de opgetreden hittegolf die maand. Het EGV is temperatuur afhankelijk en de diver kan worden ingesteld op het meten van de *specifieke* geleidbaarheid bij een vaste temperatuur (25°C). Hiervoor is niet gekozen. Figuur 4.9C geeft daarentegen het verloop van de EGV-waarden die zijn gebruikt om de saliniteit te berekenen.

De saliniteit laat een duidelijk seizoenspatroon met de hoogste waarden in het zomerhalfjaar (Fig. 4.9C). Dit patroon wordt verklaard doordat de saliniteit in de Dollard het resultaat is van menging van het zoute zeewater met het zoete afvoerwater van vooral de Eems en mindere mate van de Westerwoldsche Aa (de Jonge & Essink 1992). Door de hoge rivierafvoer in het winterhalfjaar is de

saliniteit die periode lager. In het voorjaar van 2020 was blijkbaar sprake van een lage rivierafvoer resulterend in een relatief vroeg maximum in de gemiddelde maandsaliniteit in de maand mei.

De gemiddelde saliniteit in de Klutenplas bedroeg 15.1 g/kg. Dit is het gemiddelde over een periode van negen maanden. Ter vergelijking: de saliniteit van zeewater is ongeveer 35 g/kg. Door het nog ontbreken van drie wintermaanden zal het jaargemiddelde in de Klutenplas nog lager uitvallen. De Klutenplas ligt daarmee in de mesohaliene of gematigd brakke zone van de estuariene zoutgradiënt van de Eems-Dollard.

De dichtheid (ρ) vertoont grafisch gezien min of meer eenzelfde verloop als de saliniteit met ook de hoogste waarden in mei. In de meetperiode van 27 maart tot 22 december bedroeg de gemiddelde dichtheid van het water in de Klutenplas 1011 kg/m³. Door de lagere saliniteit in de ontbrekende wintermaanden zal de jaargemiddelde dichtheid van het water naar verwachting lager uitvallen dan de gemiddelde waarde van de nu beschikbare gegevens.



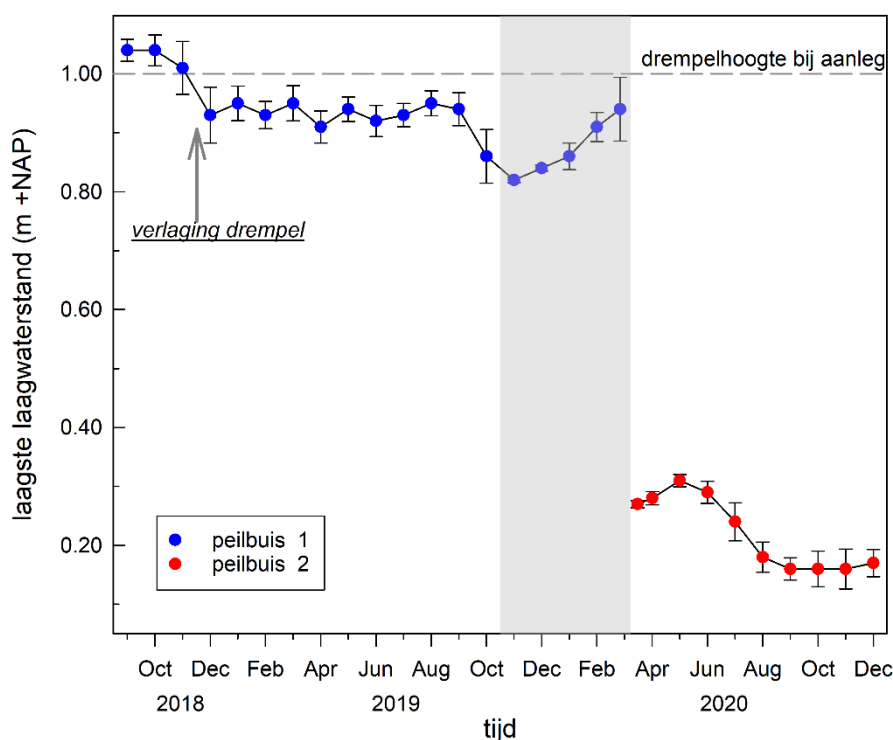
Figuur 4.9 De in 2020 gemeten (A) watertemperatuur en (B) de elektrische geleidbaarheid in de Klutenplas tijdens het moment van hoogwater en de hieruit berekende (C) saliniteit en (D) dichtheid van het water. De grafieken geven voor de periode 27 mrt – 22 dec 2020 het gemiddelde, de minimum- en maximumwaarde per maand. De onderbroken lijn in de vier grafieken geeft de gemiddelde waarde over de gehele meetperiode (27 mrt – 22 dec).

4.3.2 Waterstanden Klutenplas

Laagwaterstanden

Figuur 4.10 laat de ontwikkeling zien van de laagwaterstand in de Klutenplas vanaf het moment van plaatsing van de peilbuis eind augustus 2018 tot december 2020. Door de aanwezigheid van de drempel in de in- en uitstroomopening bleef de Klutenplas tijdens laagwater aanvankelijk met water bedekt. Ook na de verlaging van de drempel van ongeveer 1.0 m naar 0.9 m +NAP op 29 november 2018, bleef er bij eb een laag water in de Klutenplas staan. Dit was tot oktober 2019 het geval, waarna de laagwaterstand in de Klutenplas als gevolg van het verval van de drempel plotseling begon af te nemen. Tot dat moment liet de laagwaterstand enige variatie zien. Deze variatie werd veroorzaakt doordat het water in de plas alweer werd aangevuld met water van de volgende vloedgolf vóór dat tijdens afgaand water de laagst mogelijke waterstand werd bereikt (Esselink *et al.* 2020). In november 2019 viel deze variatie nagenoeg weg (standaarddeviatie < 1 cm in Fig. 4.10). De verklaring hiervoor is dat de peilbuis vanaf dat moment bij laagwater droogviel en er geen laagwaterstand meer kon worden geregistreerd. De toename van het geregistreerde peil in de periode november 2019 – maart 2020 (grijs gearceerde periode in Fig. 4.10) met 0.12 meter is een afspiegeling van de toename van de bodemhoogte in de Klutenplas door opslibbing.

Na de verplaatsing van de peilbuis van de meetbrug naar voor de in- en uitstroomopening eind maart 2020, bleek de werkelijke laagwaterstand sinds oktober 2019 met 0.6 meter te zijn afgenomen. Door het verdergaande verval van de drempel is de laagwaterstand in de loop van 2020 met nog eens 0.1 meter afgenomen. Sinds de plaatsing van de peilbuis is hierdoor de laagwaterstand in de Klutenplas met bijna 0.9 meter gedaald.

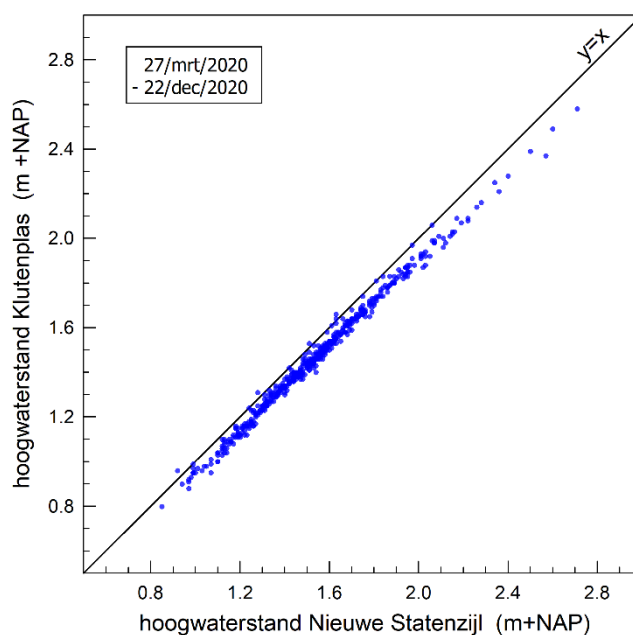


Figuur 4.10 Verloop van de dagelijkse laagste laagwaterstand (gem. per maand $\pm$ standaarddeviatie) vanaf de start van de registratie van de waterstanden tot eind 2020. De grijze arcering geeft de periode waarin de bodem van de Klutenplas rond de peilbuis droogviel (peilbuis 1) naar aanleiding waarvan de peilbuis eind maart 2020 is verplaatst naar een positie voor de in- en uitstroomopening (peilbuis 2).

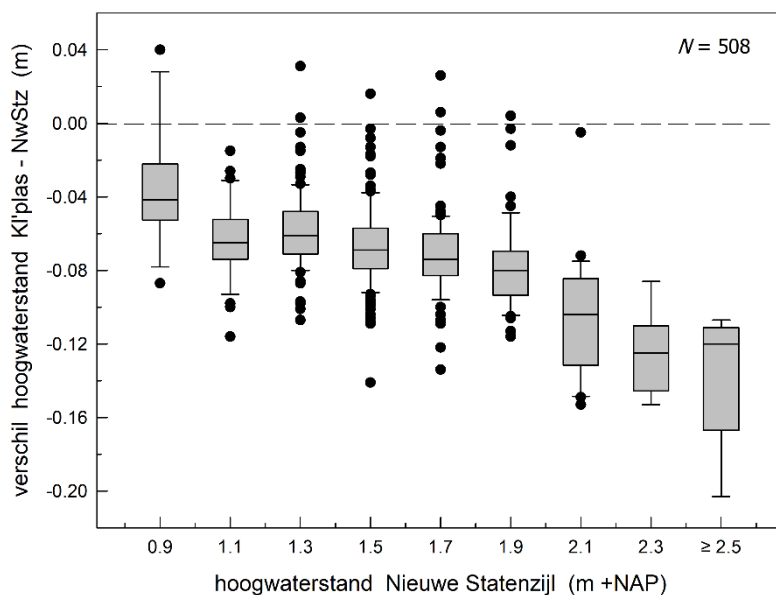
Hoogwaterstanden

Wanneer de hoogwaterstanden in de Klutenplas gelijk zouden zijn aan die van Nieuwe Statenzijl, zouden alle punten in figuur 4.11 op de lijn $y = x$ liggen. Vrijwel alle punten liggen echter onder deze lijn, wat aangeeft dat de hoogwaterstanden in de Klutenplas systematisch onder het niveau van Nieuwe Statenzijl liggen. Deze conclusie werd al eerder getrokken op basis van een vergelijking van de waterstanden in 2018 en 2019 (Esselink *et al.* 2019, 2020). In deze jaren werd in de berekening van de waterstanden in de Klutenplas voor de dichtheid van water de waarde van 1000 kg/m^3 gehanteerd. Dit is de dichtheid van zuiver water (bij 4°C). In plaats daarvan zijn, overeenkomstig de aanbeveling in de rapportage over 2019, in de berekening van de waterstanden van 2020 de hogere dichtheden gehanteerd die berekend zijn uit de geregistreerde temperatuur en EGV-waarden (Fig. 4.9). Het effect van het gebruik van de laatstgenoemde dichtheden was in absolute zin gering: bij de lagere waterstanden leidde het tot een correctie van minder dan 2 cm naar beneden; bij de hogere waterstanden was dit 3 – 4 cm. Het gebruik van de uit de temperatuur en het EGV afgeleide dichtheid leidt dus wel tot een toename van het verschil in waterstanden tussen Nieuwe Statenzijl en Klutenplas en dit zal een betere afspiegeling van de werkelijkheid zijn.

Bij hogere hoogwaters blijft het niveau in de Klutenplas steeds verder onder het niveau van Nieuwe Statenzijl (Fig. 4.12). Bij waterstanden tot ongeveer het maaiveldniveau van de kwelder (NAP +1.9 m) ging het in 2020 om gemiddeld bijna 7 cm; bij hogere waterstanden was het verschil gemiddeld meer dan 10 centimeter. Dit zijn relatief forse verschillen die bijvoorbeeld van invloed kunnen zijn op de toekomstige analyse van de relatie tussen overstromingsfrequentie en de opslibbing zowel voor de Klutenplas als voor de kwelder.



Figuur 4.11 Vergelijking tussen de hoogwaterstanden in de Klutenplas en bij Nieuwe Statenzijl tussen 27 maart 2020 (verplaatsing peilbuis naar de in- en uitstroomopening) en 22 december 2020. De waterstand in de Klutenplas is herberekend op basis van de uit de temperatuur en het EGV afgeleide dichtheid van het water (Fig. 4.9). De grafiek laat zien dat het hoogwater in de Klutenplas vrijwel altijd onder het niveau van Nieuwe Statenzijl blijft.



Figuur 4.12 Boxplot van het verschil in de hoogwaterstand in de Klutenplas en bij Nieuwe Statenzijl als functie van de hoogwaterstanden bij Nieuwe Statenzijl in de periode 27 mrt 2020 – 22 dec 2020 (zelfde gegevens als Fig. 4.11). De grafiek geeft middels de grijs gearceerde balken per 20 cm klasse de 25- en 75 percentielen met daar tussenin de mediane waarde terwijl de balk van de standaardfout de 10- en 90 percentielen aangeeft. De punten geven alle waarden buiten het laatstgenoemde gebied.

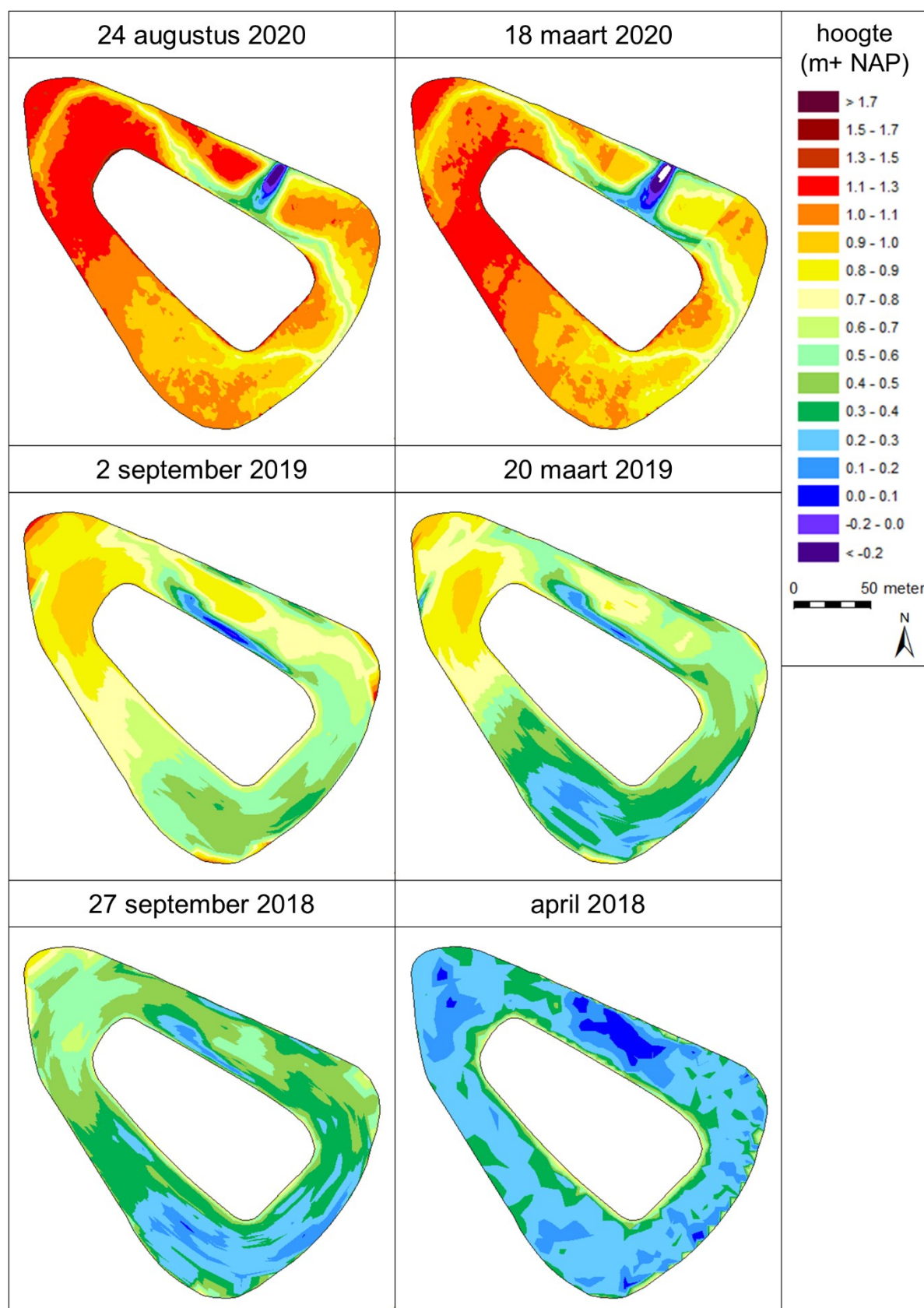
4.4 Opslibbing

4.4.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas

Hoogteontwikkeling bodem

In de eerste bijna 2½ jaar (april 2018 – aug 2020) dat het getij toegang had tot de Klutenplas is de bodemhoogte van de plas als gevolg van de afzetting van sediment met gemiddeld 0.70 meter gestegen (Fig. 4.13 – 4.15). In figuren 4.13 en 4.14 kan deze ontwikkeling via hoogte- en verschilkaarten in stappen van ongeveer 6 maanden worden gevolgd met uitzondering van de verschilkaart voor de periode 2 sept 2019 – 24 aug 2020. De hoogtekaart van 18 maart 2020 is in belangrijke mate afgeleid van de hoogtekaart van 24 aug 2020 (§ 3.3.2). Om deze reden is afgezien van het presenteren van verschilkaarten voor de twee meest recente halfjaarperiodes in figuur 4.14 (2 sept 2019 – 18 mrt 2020 en 18 mrt 2020 – 24 aug 2020). Tot september 2019 was sprake van een opschuivend sedimentatiefront waarbij het gebied met de hoogste opslibbing zich geleidelijk verplaatste van de noordelijke punt naar het westelijk deel van de plas (Fig. 4.14; Esselink *et al.* 2020). In het laatste jaar is het gebied met de hoogste opslibbing verder opgeschoven naar het zuidelijk deel van de plas (Fig. 4.14 linksboven).

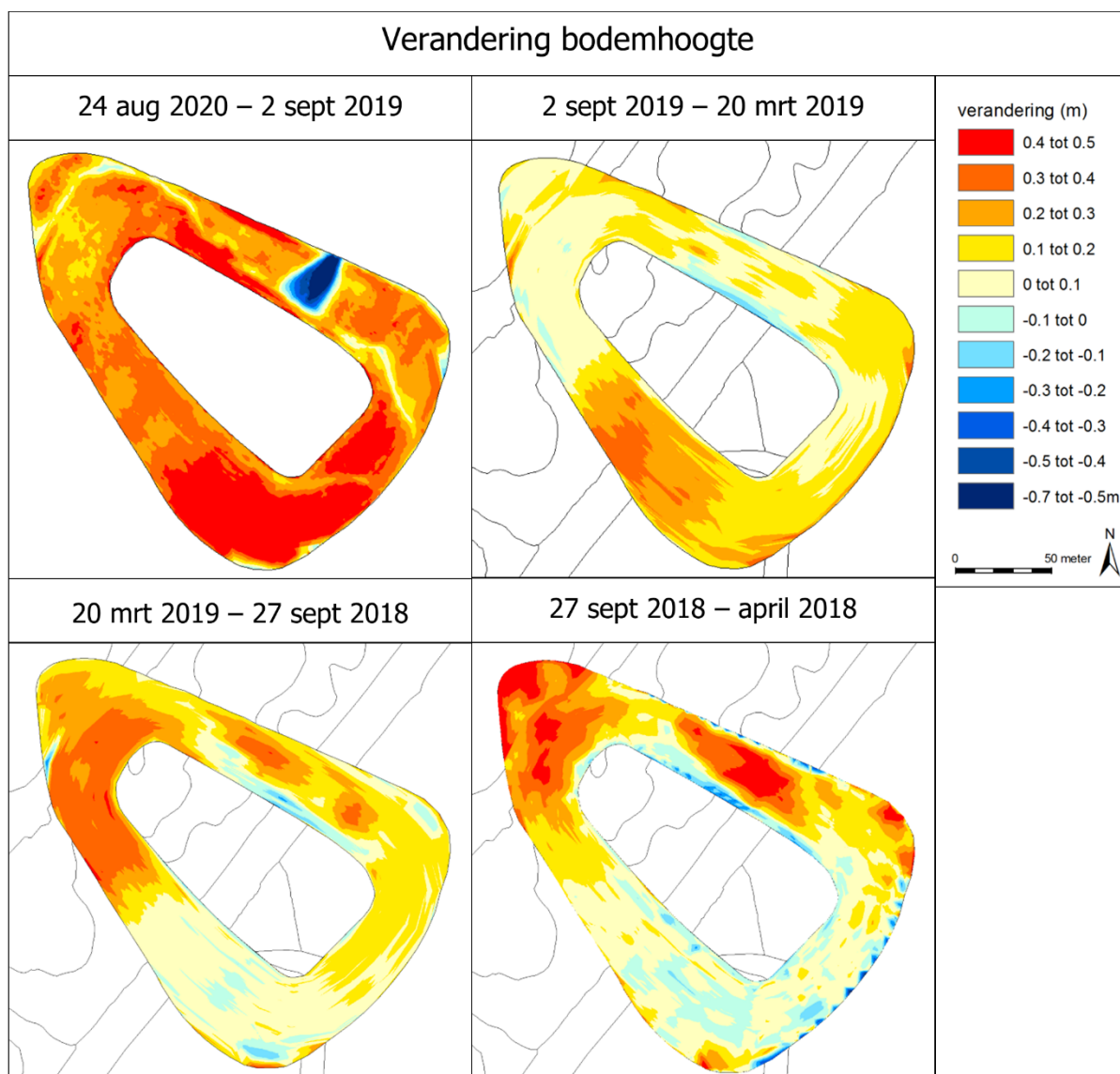
Langs de noordostrand van het eiland en in de in- en uitstroombopening was sprake van erosie (Fig. 4.14). Van de sterke uitdieping die in het laatste jaar in de in- en uitstroombopening zichtbaar werd, leek in 2019 nog geen sprake te zijn. Hoewel het niet helemaal kan worden uitgesloten dat deze verdieping in de interpolatie van de single-beam echolodgingen is gemist, lijkt dit met het oog op de ligging van de meettraaien van de echolodgingen minder waarschijnlijk. Een andere mogelijke verklaring is dat de erosie in de in- en uitstroombopening hand in hand is gegaan met het verval van de drempel (Fig. 2.3). De drempel liet namelijk het laatste jaar pas het grootste verval zien.



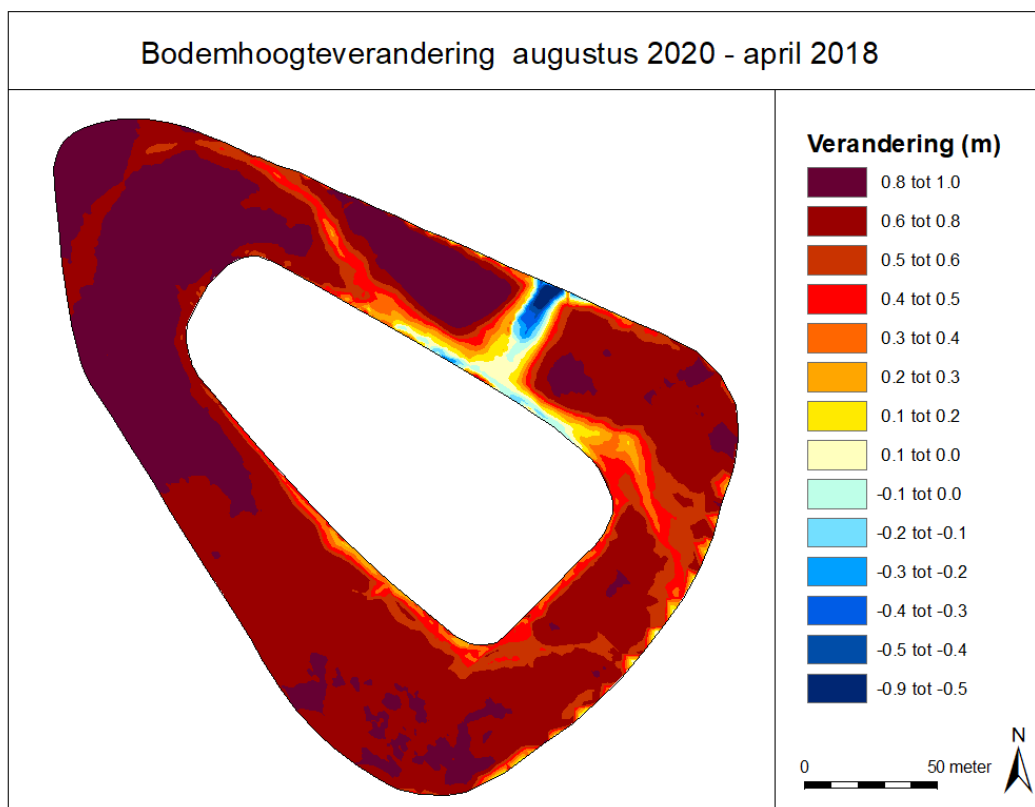
Figuur 4.13 Ontwikkeling van de bodemhoogte in de Klutenplas van oplevering in april 2018 (rechtsonder) tot 24 augustus 2020. De buitengrens van de hoogtekaartjes wordt gevormd door de onderinsteek van de buitenoever bij aanleg; de binnengrens door het vossenraster van het broedeiland.

De plek langs de noordostrand van het eiland waar in 2018 en 2019 erosie optrad ligt tegenover de in- en uitstroomopening van de plas. De instromende vloedstroom wordt hier door het eiland gekeerd en noordwestelijke en zuidoostelijke richting afgebogen. De beide hoogtekaarten van 2020 laten in beide richtingen een zich ontwikkelende kreek zien (Fig. 4.13). Opvallend detail is dat in de meest recente verschilkaart (2 sept 2019 – 24 aug 2020) de erosie hier lijkt te zijn gestopt en er sedimentatie is opgetreden.

In een tijd van bijna 2½ jaar is plaatselijk een laag van 0.8 – 1.0 meter slib afgezet (Fig. 4.15). In de noordelijke punt van de Klutenplas had de bodem eind augustus een hoogte bereikt van NAP + 1.1 – 1.3 m (Fig. 4.13). Dit komt ongeveer overeen met 0.4 – 0.2 m onder het lokale niveau van GHW. Dit is een hoogte waarbij de eerste planten zich kunnen vestigen en de Klutenplas verder kunnen koloniseren (zie verder § 4.5.3).



Figuur 4.14 Verandering van de bodemhoogte in de Klutenplas over de periode sept 2019 – aug 2020 (linksboven) en in de periode hiervoor opgesplitst periodes van ongeveer een halfjaar.



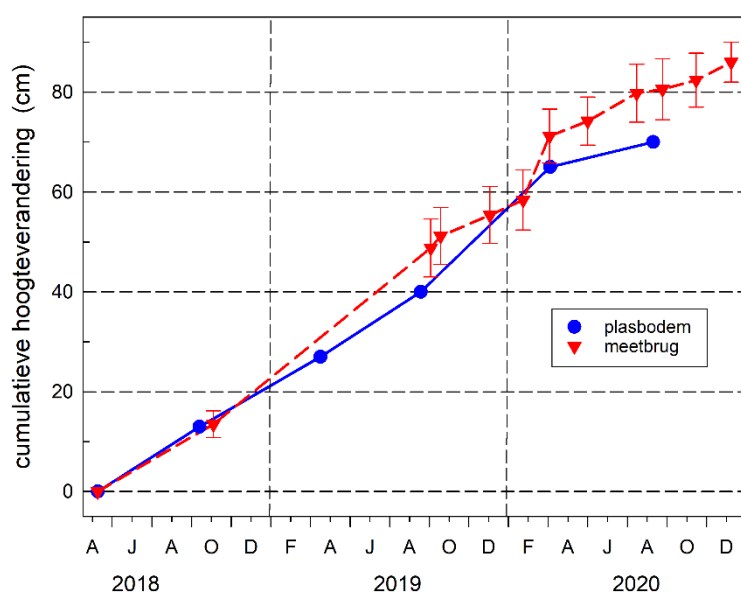
Figuur 4.15 Verandering in de bodemhoogte van de Klutenplas in de eerste 28 maanden na blootstelling van de plas aan het getij (periode 23 april 2018 – 24 augustus 2020).

Dikte sliblaag meetbrug

De dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten bij de meetbrug liet een overeenkomstige ontwikkeling zien als de gemiddelde hoogteverandering in de hele plas (Fig. 4.16). Omdat bij de openstelling van de Klutenplas voor het getij de gemiddelde hoogte van de plasbodem en platen niet hetzelfde waren is in figuur 4.16 voor beide meetseries de uitgangshoogte op nul gezet, zodat beide meetseries direct te vergelijken zijn. Sinds eind 2019 valt de bodem van de Klutenplas rond de meetbrug droog en is het eenvoudig geworden om regelmatig de dikte van de afgezette sliblaag boven de platen te meten. In de eerste anderhalf jaar toen de Klutenplas bij laagwater nog niet droogviel, liet de bodemhoogte van de plas een bijna lineaire toename zien van omgerekend 29 cm per jaar (8.0 cm/100 dagen; Esselink *et al.* 2020). Hierna is sprake van een meer onregelmatig verloop met een toename van 25 cm tussen september 2019 en maart 2020 (12.6 cm/100 dagen), gevolgd door een toename van slechts 5 cm in het zomerhalfjaar van 2020 (3.1 cm/100 dagen). In de eerste anderhalf jaar is de dikte van sliblaag boven de platen niet vaak genoeg opgenomen om vast te kunnen stellen dat deze eveneens een lineaire opbouw liet zien in deze periode. Vanaf het moment dat de Klutenplas bij laagwater droogviel en meer metingen mogelijk waren is bij de dikte van de sliblaag boven de platen sprake van een onregelmatig verloop dat parallel loopt aan de hoogteontwikkeling van de plasbodem (Fig. 4.16). De toename van de dikte van de sliblaag boven de platen in het winterhalfjaar van 2019/20 (sept 2019 – mrt 2020) bedroeg 22.4 cm (12.3 cm/100 dagen) waarvan meer dan de helft viel in de periode 7 februari – 17 maart 2020. In het zomerhalfjaar hierna (tot 8 september) nam de dikte van de sliblaag toe met 9.4 cm (5.4 cm/100 dagen).

Het onregelmatige verloop van de hoogteontwikkeling in het laatste jaar lijkt seizoensgebonden. Het gaat hierbij pas om één waarnemingsjaar en het beeld zal de komende jaren via een voortzetting

van de meetreeks moeten worden bevestigd. Een seizoensgebonden hoogteontwikkeling, met een relatief hoge toename door sedimentatie in de winter en een veel lagere of zelfs negatieve waarde in de zomer, is ook op kwelders elders in de Waddenzee gevonden (Erchinger *et al.* 1996; Nolte *et al.* 2015; Elschot *et al.* 2020). De hogere opslibbing in de winter is daarbij gerelateerd aan de hogere overstromingsfrequentie en hogere waterstanden. Voor de hoogteontwikkeling van de Klutenplas kan dit nu nader worden onderzocht. Door de hoogteontwikkeling en waterstanden van verschillende jaren met elkaar te vergelijken kan ook worden onderzocht of het ontbreken van een seizoensfluctuatie in de eerste anderhalf jaar verklaard kan worden vanuit de opgetreden waterstanden in de Dollard, of moet worden toegeschreven aan de aanwezigheid van de drempel en de permanente inundatie van de Klutenplas in die periode.



Figuur 4.16 De cumulatieve hoogteverandering in de Klutenplas van april 2018 tot eind 2020. 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).

4.4.2 Sedimentatie en slibinvang

Bulkdichtheid van het sediment

Tot de bemonstering van het afgezette slib in de Klutenplas op 8 september 2020 was er een laag van gemiddeld 79 cm boven de sedimentatieplaten afgezet (Tabel 4.5). Dit is veel hogere waarde dan de gemiddelde diepte van bijna 68 cm waarop de kaolienhorizont in de boorkernen werd aangetroffen. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen te geven. In de eerste plaats kan bij het in het sediment duwen van de sampler het monster binnen in de bemonsteringsbuis door de wrijving van de wand van de buis worden samengedrukt. Een tweede verklaring is dat tijdens in het sediment duwen van de sampler materiaal voor de kop van de steekbuis opzij is geduwd en op deze wijze een onvolledig monster is verkregen. Op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten werd voor drie van de vijf monsters een natte bulkdichtheid berekend van minder dan 1000 kg/m^3 , een waarde die theoretisch onmogelijk is. Dit wijst erop dat in elk geval bij deze drie monsters sprake was van een onvolledig monster. Hierop is besloten om voor alle monsters het booreffect op te vatten als een gemiste fractie bij het monstern en hiervoor te corrigeren. De natte en droge bulkdichtheid (DBD)

Tabel 4.5 Samenvatting van de bemonstering van de afgezette sliblaag bij de meetbrug op 8 september 2020. Onder de slibhoogte wordt de diepte waarop de kaolienhorizont in de monsterbuis is aangetroffen vergeleken met de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaat naast het bemonsterde kaolienveldje gecorrigeerd voor het eventuele hoogteverschil bij het aanbrengen van de kaolienhorizonten en de platen in 2018. Het booreffect geeft het verlies in dikte van de sliblaag in de monsterbuis. De bulkdichtheid geeft de voor het booreffect gecorrigeerde – en niet gecorrigeerde waarden. De grijs gearceerde waarden zijn buiten beschouwing gelaten in de berekening van het gemiddelde en standaarddeviatie. De laatste kolom geeft het watergehalte van het slib (gewichtsperscentage).

Monster (plaatnr.)	Slibhoogte (cm)		Booreffect (%)	Bulkdichtheid (kg/m³)				Vocht (%)
	(cm)			niet gecorrigeerd		gecorrigeerd		
	monster	plaat		nat	droog	nat	droog	
1	63.5	72	12.3	961	348	1096	397	63.8
2	61.5	84	26.8	844	297	1153	405	64.9
3	66.5	81	17.6	950	345	1153	419	63.7
4	79.0	84	6.0	1131	408	1203	434	63.9
5	68.5	74	7.4	1095	410	1183	443	62.6
Gem.	67.8	79	6.7	1113	409	1158	420	63.8
SD	6.8	5.5	1.0	25	1	14	6	0.8

komen dan uit op waarden van respectievelijk 1158 en 420 kg/m³. Deze waarden zijn vrijwel identiek aan die van 2019, toen een natte bulkdichtheid van 1169 kg/m³ en een DBD van ook 420 kg/m³ werd gevonden (Esselink *et al.* 2019).

De gevolgde berekeningswijze wijkt wel af van die van 2019, toen in het veld de diepte van de kaolienklei bij alle monsters in het veld kon worden bepaald. Andere verschillen met 2019 waren dat a) de afgezette sliblaag nog minder dik was en b) in 2019 kortere (1 m - in plaats van 1.5 m lange) monsterbuizen werden gebruikt. Een onderschat probleem is wellicht dat voor het uitvoeren van een goede bemonstering met de Beekersampler een stabiele standplaats een vereiste is en dat de meetbrug hier niet voldoende in voorzag.

Bij vier van de vijf monsters is de diepte van de kaolienhorizont bepaald in een *bevroren* boorkern (§ 3.3.2). Met de uitzetting van de boorkern door ijsvorming is in de bovenstaande correctie geen rekening gehouden. Als een boorkern het volledige monster had omvat, had de sliblaag in de boorkern boven de kaolienklei als gevolg van het invriezen dikker moeten zijn dan de sliblaag boven de platen. Op basis van de hoeveelheid vocht in de monsters kan de opgetreden uitzetting van de boorkernen als gevolg van het invriezen worden ingeschat op 4.0 – 5.5 centimeter. Als deze waarden in de vier betreffende monsters worden opgeteld bij de gemiste fractie, komen de gecorrigeerde bulkdichtheden 7 % hoger uit, namelijk op 1258 kg/m³ voor de natte bulkdichtheid en 456 kg/m³ voor de DBD. In het monster afkomstig uit veldje naast plaatnummer 1 is de dikte van de sliblaag boven de kaolienhorizont in het veld gemeten en is een correctie voor de uitzetting van het monster door ijsvorming niet nodig. Een eventuele controle voor de uitzetting door het invriezen was niet mogelijk bij dit monster omdat de positie van de kaolienklei in de bevroren boorkern niet is bepaald.

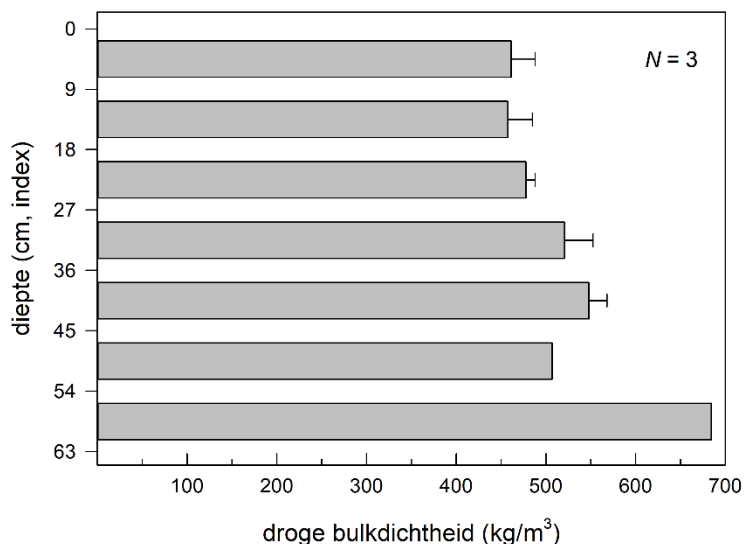
In kader van de voorbereiding van de kleiwinning uit de Klutenplas is een waterbodem-onderzoek op de kwelder verricht (Wiertsema & Partners 2016; van Zoest & de Vries 2018). Op basis van de onderzochte monsters uit dit onderzoek is door Richard Marijnissen een schatting gemaakt van de DBD (Marijnissen *et al.* 2020). De DBD van kweldersediment varieerde in deze schatting ongeveer van 700 – 1200 kg/m³. Bij de onderzochte monsters zaten ook enkele monsters van ongeconsolideerd sediment afkomstig uit de zwetten en de dijksloot. De DBD van de monsters uit de Klutenplas was van dezelfde orde van grootte als de lagere waarden uit de laatstgenoemde groep monsters.

De ontwikkeling van de DBD is ook gemonitord in een kleiwininput in de Jadebusen in Duitsland (Karle & Bartholomä 2008). De gevonden waarde voor de DBD in de Klutenplas is vergelijkbaar met de DBD van de bovenste sedimentlaag in de eerste vier jaren van deze kleiwininput ($400 - 500 \text{ kg/m}^3$).

Compactie

Als aangenomen wordt dat de bovengenoemde correcties gerechtvaardigd zijn, dan is mogelijk sprake van een toename van de DBD van het slib in de Klutenplas van 420 kg/m^3 in 2019 naar 456 kg/m^3 in 2020. Dit kan alleen als er compactie optreedt in de diepere lagen als gevolg van de druk van de bovenliggende lagen (Bartholdy *et al.* 2010). De monsters die niet zijn ingevroren, maar vers zijn verwerkt en verdeeld in 9-cm hoge deelmonsters lieten inderdaad met oplopende diepte een toename in DBD zien (Fig. 4.17). Deze monsters zijn niet afkomstig uit de veldjes met kaolienhorizont, waardoor niet kan worden gecontroleerd of bij deze monsters ook een deel van het sediment is gemist, of dat sediment eventueel is samengedrukt. De waarde van bijna 700 kg/m^3 in de diepste laag betreft zeer waarschijnlijk geheel of gedeeltelijk sediment van de oorspronkelijke bodem van de Klutenplas. Op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten (Tabel 4.5), had de oorspronkelijke bodem ten minste 10 centimeter dieper moeten liggen. Dit betekent dat deze monsters evenmin een helemaal correct een-op-een beeld geven van de DBD. Niettemin kan geconcludeerd worden in de onderste lagen van het slib sprake lijkt van een lichte autocompactie.

Een vergelijkbare relatie tussen de DBD en diepte werd gevonden in het relatief jonge sediment in een kleiwininput op een Duitse kwelder (Karle & Bartholomä 2008). Door uitdroging van de bovenste sedimentlaag vond in deze kleiwininput 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. Karle & Bartholomä (2008) vergelijken ook de DBD in een 40-jaar oude kleiwininput met de DBD in de aangrenzende kwelder. Na 40 jaar lag de DBD in de voormalige kleiwininput nog steeds onder het niveau van de kwelder.



Figuur 4.17 De droge bulkdichtheid (gem. $\pm$ standaardfout) op verschillende dieptes in het slib van de Klutenplas. De waarde van de diepste laag betreft zeer waarschijnlijk de oorspronkelijke bodem van de Klutenplas.

Slibinvang

Uit de gecombineerde resultaten van de hoogteontwikkeling van de Klutenplas en de sedimentbemonstering kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid slib die tussen april 2018 en augustus 2020 in de Klutenplas is afgezet (Fig. 4.14 – 4.16; Tabel 4.5). In deze periode is afgerond 20 100 m³ slib afgezet. Bij een DBD van 420 kg/m³ zou dit neerkomen op 8 440 ton slib (op droge stof basis); bij een gecorrigeerde dichtheid van 456 kg/m³ (zie hierboven) zou dit 9 170 ton zijn. Omgerekend naar jaarbasis bedragen deze getallen afgerond respectievelijk 8 590 m³ slib en 3615 – 3925 ton slib per jaar zijn.

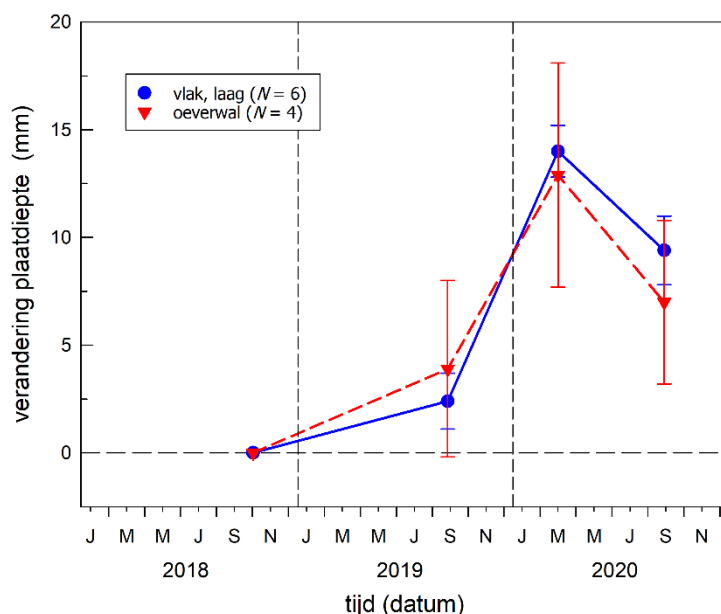
4.4.3 Kwelder

Op basis van de verandering in diepte van de sedimentatieplaten op de kwelder bedroeg de opslibbing tussen september 2019 en september 2020 hier gemiddeld 5.4 millimeter en was daarmee bijna twee keer zo hoog als in het eerste jaar van de referentiemetingen op de kwelder (Fig. 4.18). Bij de bespreking van de ontwikkeling van de bodemhoogte in de Klutenplas is al genoemd dat de normaal gesproken de hoogteontwikkeling van kwelders in de Waddenzee een seizoensgebonden patroon laat zien. De verandering in de diepte van de sedimentatieplaten is daarmee vergelijkbaar (Fig. 4.18): in het winterhalfjaar neemt de diepte van de platen toe als gevolg van sedimentatie, terwijl in het zomerhalfjaar door het lagere aantal overstromingen minder sediment wordt afgezet en door invloeden als verdamping, krimp en beweiding compactie de dominante factor is en de plaatdiepte afneemt. In het voorjaar van 2019 is de plaatdiepte niet gemeten, waardoor de voorjaarspiek van 2019 in figuur 4.18 ontbreekt.

De gemiddelde opslibbing van ruim 4 mm/jaar over een periode van twee jaar (Tabel 4.6) is een relatief lage waarde in vergelijking met de hoogteontwikkeling van andere vastelandskwelders in de Nederlandse Waddenzee (Elschot *et al.* 2020). De verschillen tussen het vlakke lage deel van de kwelder en de oeverwal langs de zwet zijn nu nog te gering om veel betekenis aan te hechten of verder uit te werken.

Tabel 4.6 De gemiddelde opslibbing van de kwelder rond de Klutenplas over een periode van twee jaar (oktober 2018 – september 2020) 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	4.7	1.9	6
Oeverwal	3.5	3.8	4
Totaal	4.2	2.7	10



Figuur 4.18 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.

4.5 Vegetatie

4.5.1 Vegetatieontwikkeling broedeiland

Het in 2020 achterwege laten van een grondbewerkingsslag in het beheer van het broedeiland lijkt meteen in hetzelfde jaar al effect te hebben gehad op de vegetatieontwikkeling. Verreweg het grootste deel van het eiland wordt vertegenwoordigd door de zes pq's die tijdens de nulmeting in 2017 zijn uitgezet in het vlakke lagergelegen deel van de kwelder (Tabel 4.7). In 2018 en 2019 hadden Gewoon kweldergras en andere meerjarige soorten zoals Fioringras, Zeewegbree een lage abundantie en lage bedekking in deze pq's. Gesommeerd over alle soorten bleef de bedekking aan meerjarige soorten beperkt tot maximaal 10%. In 2020 bereikte Gewoon kweldergras echter meteen een bedekking van meer dan 50%. Een ander opmerkelijke ontwikkeling was de vestiging van Zeekweek in twee van de zes pq's. Bij de eenjarige soorten was de wisseling in dominantie van Klein schorrenkruid en Spiesmelde opvallend. Klein schorrenkruid was zowel in 2018 als in 2019 met een gemiddelde bedekking van meer dan 50% de meest dominante soort, maar kwam in 2020 uit op een gemiddelde bedekking van maar 7%. Bij Spiesmelde deed zich bijna het omgekeerde voor (Tabel 4.7). Ook Zulte bereikte als een- of tweejarige soort in 2020 een aanmerkelijk hogere bedekking in vergelijking tot de twee voorgaande jaren.

In de andere groep pq's, die in de uitgangssituatie voor de aanleg van de Klutenplas waren uitgezet op de hogere ruggen langs de zwet, lieten een analoge maar minder uitgesproken ontwikkeling zien (Tabel 4.8). Fioringras en Gewoon kweldergras lieten in 2020 een duidelijke toename zien, maar de bedekking van beide soorten bleef met een gemiddelde van 7% nog relatief laag. Onder de eenjarige soorten nam de bedekking van Spiesmelde toe tot meer dan 90% waardoor de pq's geheel door deze soort werden overgroeid. Klein schorrenkruid, co-dominant in 2018 en 2019, werd mogelijk hierdoor niet meer gevonden in 2020.

Tabel 4.7 De vegetatiesamenstelling in een deel van de pq's op het broedeiland in de eerste drie jaar na aanleg van het eiland in vergelijking met de vegetatiesamenstelling van dezelfde pq's in de uitgangssituatie. De tabel geeft de pq's die voor de aanleg van het eiland in het vlakke (lagere) deel van de kwelder lagen ($N=6$). De presentie geeft het percentage van de pq's waarin een soort is aangetroffen; de volgende twee kolommen geven per soort de gemiddelde bedekking (gem.) met standaarddeviatie (*SD*). De onderste regel geeft de gemiddelde soortenrijkdom per PQ. Vetgedrukt zijn de soorten die in alle pq's aanwezig waren en een relatief hoog aandeel in de vegetatie hadden (*i.e.* > 10% bedekking).

Soort	Uitgangssituatie (2017)			2018			2019			2020		
	Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)	
	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>
Gewoon kweldergras	100	77	12	100	1.0	0.0	100	5	3	100	52	14
Schorrenzoutgras	100	21	13	17	0.2	0.4	-	-	-	17	0.2	0.4
Fioringras	100	18	21	17	0.2	0.4	50	0.5	0.5	67	2.3	2.8
Zeeweegebree	100	10	6	100	1.0	0.0	100	1.0	-	100	2.0	1.2
Zulte	100	7	4	100	13	15	100	16	9	100	40	15
Kortarige zeekraal	100	2.7	2.4	100	10	3	67	0.7	0.5	-	-	-
Klein schorrenkruid	100	1.7	0.5	100	55	18	100	72	10	100	7	1
Gerande schijnspurrie	100	1.2	0.4	83	2.0	2.5	100	2.5	2.3	83	0.8	0.4
Melkkruid	17	0.5	0.5	33	0.3	0.5	83	0.8	0.4	67	0.7	0.5
Rood zwenkgras <i>s.l.</i>	50	5	12	-	-	-	-	-	-	33	0.5	0.9
Engels slijkgras	33	0.3	0.5	33	0.3	0.5	33	0.3	0.5	17	0.2	0.4
Zilte schijnspurrie	33	0.3	0.5	100	2.3	1.4	33	1.0	1.7	-	-	-
Spiesmelde <i>s.l.</i>	33	0.2	0.4	100	6	12	100	11	5	100	52	22
Akkermelkdistel <i>s.l.</i>	17	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Langarige zeekraal	-	-	-	33	0.3	0.5	-	-	-	-	-	-
Reukloze kamille	-	-	-	-	-	-	33	0.3	0.5	100	2.7	2.5
Zeekweek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	0.3	0.5
Aantal soorten / pq		9.8	1.0		9.2	0.8		9.0	1.3		9.2	0.4

Tabel 4.8 De vegetatiesamenstelling in een deel van de pq's op het broedeiland in de eerste drie jaar na ophoging van het eiland in vergelijking met de vegetatiesamenstelling van dezelfde pq's in de uitgangssituatie. De tabel geeft de pq's die voor de ophoging van het eiland op de hogergelegen ruggen (oeverwallen) langs de zwet lagen ($N=4$). Zie Tabel 4.7 voor verdere toelichting.

Soort	Uitgangssituatie (2017)			2018			2019			2020		
	Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)	
	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>	(%)	gem.	<i>SD</i>
Fioringras	100	63	26	75	0.8	0.5	100	1.0	0.0	100	7	9
Rood zwenkgras <i>s.l.</i>	100	14	14	25	0.3	0.5	25	0.3	0.5	50	0.5	0.6
Akkerdistel	100	6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akkermelkdistel <i>s.l.</i>	75	1.0	0.8	25	0.3	0.5	50	2.0	3.4	50	1.3	1.9
Gerande schijnspurrie	75	0.8	0.5	100	1.3	0.5	100	1.3	0.5	-	-	-
Gewoon kweldergras	50	2.8	3.4	100	1.5	0.6	75	1.0	0.8	100	7	9
Zeeweegebree	50	1.3	1.9	100	1.3	0.5	100	1.0	0.0	25	0.3	0.5
Zilte schijnspurrie	50	0.8	1.0	100	1.8	0.5	25	0.3	0.5	-	-	-
Zulte	50	0.5	0.6	100	13	5	100	25	6	100	25	6
Engels raaigras	50	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stomp kweldergras	50	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spiesmelde <i>s.l.</i>	25	0.3	0.5	100	68	22	100	73	29	100	93	9
Melkkruid	25	0.3	0.5	75	1.0	0.8	25	0.3	0.5	-	-	-
Grote weegbree <i>s.l.</i>	25	0.3	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klein schorrenkruid	-	-	-	100	20	15	100	22	27	-	-	-
Kortarige zeekraal	-	-	-	100	1.5	0.6	-	-	-	-	-	-
Schorrenzoutgras	-	-	-	75	0.8	0.5	-	-	-	-	-	-
Kweek	-	-	-	-	-	-	50	0.5	0.6	50	1.5	1.9
Reukloze kamille	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	3.0	2.7
Gewoon varkensgras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	0.3	0.5
Aantal soorten / pq		8.3	4.3		10.8	1.0		8.5	1.7		7.0	1.8

Grondbewerking (ploegen dan wel frezen), is als beheermaatregel voor het broedeiland geïntroduceerd om een geschikt broedhabitat – een pioniersituatie bestaande uit een spaarzame begroeiing en veel kale grond – zolang mogelijk in stand te houden. De vraag is of deze instandhouding ook kan worden gerealiseerd met enkel het maaien van de vegetatie met de verwijdering van het maaisel. De verschuivingen in de vegetatiesamenstelling op het eiland in 2020 lieten in elk geval een snelle toename in de bedekking van meerjarige soorten zien bij het achterwege laten van een grondbewerking. Deze vegetatieontwikkeling weg uit de pionierfase kan op termijn een bedreiging vormen voor de instandhoudingsdoelstelling van geschikt broedhabitat voor de Kluut. In 2021 wordt een beheerexperiment op het broedeiland uitgevoerd waarbij op de ene helft van eiland enkel de vegetatie wordt gemaaid en verwijderd en op de andere helft dit wordt gedaan in combinatie met een grondbewerking. Om de effecten van de twee beheervormen te kunnen beoordelen zal het beheerexperiment voor meerdere jaren moeten worden volgehouden.

4.5.2 Vegetatieontwikkeling controle pq's

In 2020 werd de kwelder rond de Klutenplas voor het eerst met schapen beweide. Aanvankelijk hadden de schapen toegang tot maar een deel van de kwelder, later in het seizoen werd het beweide gebied vergroot. Op het moment dat de pq's werden opgenomen waren deze nog niet door de schapen bezocht en was de vegetatie dus nog niet door de schapen beïnvloed. Ook in 2018 en 2019 waren er veranderingen in het beheer van de kwelder rond de Klutenplas. Hierbij moet worden gerealiseerd dat de invloed van beheer vaak pas in de loop van meerdere jaren tot expressie komt in de vegetatie (Bakker 2014).

De vegetatiesamenstelling in de pq's in het lage vlakke deel van de kwelder kwam in 2020 nog goed overeen met de vegetatie van de uitgangssituatie in 2017 (Tabel 4.9). Dezelfde drie soorten (Gewoon kweldergras, Schorrenzoutgras en Zulte) die in 2017 in alle zes pq's vegetatie domineerden, deden dat ook in 2020. Ook de soortenrijkdom van de pq's was in 2020 vrijwel even hoog als in 2017.

De vegetatie in de pq's op de oeverwallen langs de zwet die door de Klutenplas liet wel enkele veranderingen zien die mogelijk samenhangen met veranderingen in het beheer. Zowel Zulte als Spiesmelde konden door het wegvallen van de (runder)beweiding hoger uitgroeien en bereikten in 2019 en 2020 een aanmerkelijk hogere bedekking (Tabel 4.10). De toename van Roodzwenkgras en Kweek kunnen een indicatie vormen voor het opschuiven van de vegetatie in de successie door het wegvallen van de runderbeweiding. Al deze veranderingen gingen gepaard met een afname van Fioringras, Evenals in 2018 en 2019 het geval was, bleef het aantal soorten per pq licht boven het niveau van de uitgangssituatie. Dit zal slechts een tijdelijk effect zijn. Onderzoek op andere kwelders heeft namelijk laten zien dat op de iets langere termijn de soortenrijkdom per pq bij een maaibeheer of "niets doen" over het algemeen lager uitvalt dan bij beweiding (o.a. Bakker 2014; Lagendijk *et al.* 2017).

In alle vier jaren was het aantal soorten per pq op de oeverwallen hoger dan in het lage deel van de kwelder. Dit komt overeen met het algemene patroon dat (beweide) hoge kwelders soortenrijker zijn dan lage kwelders (Bakker 2014; Lagendijk *et al.* 2017).

Tabel 4.9 De vegetatiesamenstelling in de controle pq's in het vlakke (laaggelegen) deel van de kwelder rond de Klutenplas ($N=6$) tijdens de nulmeting in 2017 en de eerste jaar drie jaar na aanleg van de plas. Zie Tabel 4.7 voor verdere toelichting.

Soort	Uitgangssituatie (2017)			2018			2019			2020		
	Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)	
	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD
Gewoon kweldergras	100	82	20	100	78	8	100	44	26	100	52	9
Schorrenzoutgras	100	14	7	100	27	15	100	32	21	100	32	21
Zulte	100	11	5	100	19	7	100	35	15	100	28	8
Zeewegbree	100	8	6	100	19	13	100	3.2	1.3	100	10	4
Kortarige zeekraal	100	5	2	100	7	5	67	1.7	2.7	67	0.7	0.4
Klein schorrenkruid	100	2.3	2.3	100	4	2	83	12	14	100	15	10
Gerande schijnspurrie	100	1.2	0.4	100	1.5	0.5	100	2.8	2.0	100	1.5	0.5
Fioringras	67	11	20	83	4	5	83	22	30	67	21	21
Melkkruid	67	0.8	0.8	67	9	12	83	1.3	1.4	83	5	3
Engels slijkgras	50	0.8	1.0	50	0.5	0.5	33	0.3	0.5	17	0.2	0.4
Rood zwenkgras <i>s.l.</i>	33	0.8	1.6	17	0.2	0.4	17	0.3	0.8	17	0.2	0.4
Spiesmelde <i>s.l.</i>	17	0.2	0.4	67	6	12	100	1.0	0.0	100	1.5	0.5
Zilte schijnspurrie	17	0.2	0.4	50	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-
Langarige zeekraal	-	-	-	-	-	-	17	0.2	0.4	-	-	-
Kweek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	0.2	0.4
Aantal soorten / pq		9.5	1.8		10.3	0.8		9.8	1.0		9.7	0.8

Tabel 4.10 De vegetatiesamenstelling in de hogergelegen controle pq's op de oeverwallen van de zwet die door de Klutenplas loopt, in het jaar voor de aanleg van de plas (2017) en de eerste twee jaar na aanleg van de plas ($N=4$). Zie Tabel 4.7 voor verdere toelichting.

Soort	Uitgangssituatie (2017)			2018			2019			2020		
	Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)		Presentie	Bedekking (%)	
	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD	(%)	gem.	SD
Fioringras	100	86	18	100	70	22	100	48	33	100	43	34
Rood zwenkgras <i>s.l.</i>	100	8	3	100	16	5	100	31	28	100	28	14
Gewoon kweldergras	100	6	2	100	15	6	100	7	5	100	4.3	3.2
Akkerdistel	100	4.3	5.2	100	6	2	100	5	5	75	1.5	1.7
Zeewegbree	75	1.0	0.8	75	1.3	1.0	75	2.3	3.2	100	3.0	2.7
Gerande schijnspurrie	75	0.8	0.5	100	1.0	0.0	100	1.3	0.5	75	0.8	0.5
Zulte	75	0.8	0.5	75	0.8	0.5	100	12	7	100	14	8
Kweek	50	1.3	1.9	25	3.0	6.0	50	15	30	50	15	30
Zilte schijnspurrie	50	0.5	0.6	100	1.8	1.5	-	-	-	-	-	-
Spiesmelde <i>s.l.</i>	50	0.5	0.6	100	1.3	0.5	100	14	24	100	21	24
Melkkruid	50	0.5	0.6	75	1.5	1.7	25	0.5	1.0	75	2.3	3.2
Gekroesde melkdistel	50	0.5	0.6	50	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-
Gewoon varkensgras	50	0.5	0.6	25	0.5	1.0	25	3.0	6.0	25	0.3	0.5
Aktermelkdistel <i>s.l.</i>	25	0.3	0.5	100	1.0	0.0	100	1.3	0.5	100	4.3	2.1
Schorrenzoutgras	25	0.3	0.5	50	0.5	0.6	25	0.3	0.5	25	0.3	0.5
Engels raaigras	25	0.3	0.5	25	0.3	0.5	-	-	-	-	-	-
Stomp kweldergras	25	0.3	0.5	25	0.3	0.5	-	-	-	-	-	-
Gewone melkdistel	25	0.3	0.5	-	-	-	25	0.3	0.5	-	-	-
Kortarige zeekraal	-	-	-	50	0.5	0.6	25	0.3	0.5	-	-	-
Klein schorrenkruid	-	-	-	50	0.5	0.6	100	1.3	0.5	75	0.8	0.5
Reukloze kamille	-	-	-	25	0.3	0.5	50	0.8	1.0	75	6	10
Aantal soorten / pq		10.5	3.4		13.5	1.3		12.0	1.2		11.8	1.0

4.5.3 Vegetatieherstel in de Klutenplas

De ondergrens van de begroeiing van Engels slijkgras onderlangs de kwelderrand bevond zich op een hoogte van NAP +1.17 m (Tabel 4.11). Op de bodem van de zwetten werd ongeveer dezelfde ondergrens gevonden. Beide steekproeven zijn te klein om verschillen tussen klonen aan de kwelderrand en in de zwetten verder te onderzoeken; de metingen zijn meer uitgevoerd als een soort pilot. Van belang is dat het om een klonale groeivorm gaat, waarbij de groei van scheuten op de ondergrens van een kloon kan worden ondersteund vanuit de kloon zelf. In de Klutenplas is dit niet mogelijk en moeten planten zich als vestigen als zaailing of via het uitgroeien van ingespoelde plantfragmenten. Daar staat tegenover dat de Klutenplas extra luwte biedt, waardoor mag worden verwacht dat planten zich op een lagere hoogte kunnen vestigen en zich daar weten te handhaven (Bakker *et al.* 1997; Dijkema *et al.* 2001).

De ondergrens van NAP +1.17 m komt ongeveer overeen met een niveau van 0.3 m onder GHW. Hierbij is uitgegaan van het GHW in Nieuwe Statenzijl over de laatste zes jaar van NAP +1.57 m (§ 2.1) en een correctie naar beneden van ongeveer een decimeter voor het lokale GHW ter hoogte van de Klutenplas (§ 3.4.2). De ondergrens van 0.3 m onder GHW sluit goed aan op de resultaten van het onderzoek van Granse *et al.* (in prep.) naar de niche die Engels slijkgras in de Waddenzee inneemt op de hoogtegradiënt.

De eerste planten in de Klutenplas zouden zich dus bij een hoogte van ongeveer NAP + 1.2 m kunnen vestigen. Enkele delen van de Klutenplas (vooral de noordwesthoek) had deze hoogte in de loop van 2020 bereikt (Fig. 4.13). Hier werden in de nazomer van 2020 ook daadwerkelijk de eerste solitair groeiende planten aangetroffen (Tabel 4.12). Op basis hiervan wordt de kans groot geacht dat de vegetatie in de Klutenplas zich in 2021 explosief zal ontwikkelen.

Tabel 4.11 Standplaatskarakteristieken van klonen van Engels slijkgras onder aan de voet van het klif van de kwelderrand en op de bodem van de zwet tussen Klutenplas en de Kleirijperij. De klonen lagen op een hoogtegradiënt. De tabel geeft daarom een ondergrens en een bovengrens. *N* = aantal ingemeten klonen.

Kloongrens	Hoogte maaiveld (m +NAP)					
	Kwelderrand (<i>N</i> =6)			Zwet (<i>N</i> =2)		
	gemiddeld	minimum	maximum	gemiddeld	minimum	maximum
onder	1.17	1.09	1.24	1.18	1.14	1.22
boven	1.28	1.20	1.40	1.48	1.45	1.52

Tabel 4.12 De hoogte van de bodem van de Klutenplas (ingemeten op 28 okt 2020) waar in 2020 de eerste planten in de Klutenplas werden aangetroffen. *N* = aantal ingemeten planten.

Plantensoort	Hoogte plasbodem (m +NAP)			<i>N</i>
	gemiddeld	minimum	maximum	
Gewoon kweldergras	1.34	1.34	1.34	1
Zulte	1.25	1.23	1.27	3
Zeekraal	1.30	1.26	1.33	3
Engels slijkgras	1.31	1.28	1.33	4

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).

Ontwateringstelsel (Meetvragen K4, S7, D4a)

- Als gevolg van onderloopsheid is de drempel in de in-en uitstroomopening van de Klutenplas verder in verval geraakt. Hierdoor heeft de drempel van 2019 op 2020 ongeveer 0.5 meter aan hoogte verloren (Fig. 2.3).
- In het derde jaar na blootstelling van de Klutenplas aan de dagelijkse getijdeninvloed heeft de erosie in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard een duidelijke afvlakking laten zien. Verdere uitslijting in het derde jaar leidde tot een extra verdieping van 6 centimeter in vergelijking met een verdieping van bijna 70 centimeter in de eerste 16 maanden na de aansluiting van de Klutenplas op de Dollard (Fig. 4.2). De erosie heeft tot nu toe niet geleid tot een verbreding van de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard.
- Door de aanleg van de Kleirijperij heeft het bovenstroomse deel van de zwet door de Klutenplas zijn verbinding met de dijsloot verloren. Hierdoor is de diepte in dit gedeelte van de zwet met gemiddeld 18 centimeter afgenomen ten opzichte van de uitgangssituatie (Fig. 4.4; Tabel 4.3). Door de aanleg van de Kleirijperij is ook het landwaartse deel van het kombergingsgebied van twee andere zwetten verkleind. De dimensies van deze zwetten lieten hierop geen eenduidige verandering zien. Op slechts één meetpunt lijkt sprake van trendmatige verondieping.

Kwelderafslag (Meetvraag K12)

- In het studiegebied neemt de kwelder als gevolg van erosie bijna jaarlijks in omvang af. In de referentieperiode (2009 – 2017) voorafgaande aan de aanleg van de Klutenplas bedroeg de gemiddelde afname 0.14 ha per jaar met een verschuiving van de richting dijk met 1.1 m per jaar. Vergeleken met de referentieperiode is sinds de aanleg van de Klutenplas sprake van lagere afslag met in het laatste jaar zelfs een kleine netto aangroei. De aanleg van de Klutenplas heeft dan ook tot nu toe niet geleid tot een versnelling van de kwelderafslag in het studiegebied.
- In meetjaren 2018/2019 en 2019/2020 was er geen significant verschil in de veranderingen in de positie van de kwelderrand tussen de monding van de Klutenplas en de rest van het studiegebied.

Getijdendynamiek Klutenplas (Meetvraag K3)

- Op basis van metingen van het elektrisch geleidingsvermogen over een periode van minder dan een jaar blijkt de saliniteit van het water in de Klutenplas meer dan 50% onder de saliniteit van zeewater te liggen. De Klutenplas ligt daarmee in de mesohaliene zone van het Eems-Dollard estuarium.
- Hoogwaterstanden in de Klutenplas liggen systematisch onder het niveau van die in Nieuwe Statenzijl. Bij hogere waterstanden waarbij de kwelder overstroomt (NAP +2.0 m) loopt het verschil op tot meer dan 10 centimeter (Fig. 4.12).
- In ongeveer twee jaar tijd, *i.e.* sinds de installatie van een peilbuis aan de meetbrug in augustus 2018, is de laagwaterstand in de plas met 0.9 meter afgenomen, grotendeels als gevolg van het

verval van de drempel (Fig. 4.10). De Klutenplas heeft hierdoor een meer natuurlijke afwatering gekregen.

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

- In minder dan 2½ jaar na de blootstelling van de Klutenplas aan de dagelijkse getijdeninvloed is de bodemhoogte met gemiddeld 70 centimeter toegenomen (Fig. 4.14, 4.15). In de eerste anderhalf jaar toen de Klutenplas bij laagwater nog niet droogviel, had de toename een bijna lineair verloop. Daarna was sprake een onregelmatiger verloop met een toename van de bodemhoogte met 25 centimeter in het winterhalfjaar van 2019/2020 gevolgd door een stijging van 5 centimeter in het zomerhalfjaar van 2020.
- De bemonstering van de droge bulkdichtheid is in 2020 minder succesvol verlopen. Berekeningen wezen uit dat de boorkernen onvolledig waren en dat er tijdens de monstering dus sediment was gemist. Voor de vervolgmonitoring betekent dit dat een verbetering van de bemonsteringsprocedure noodzakelijk is en mogelijk naar een alternatieve bemonsteringsprocedure moet worden gezocht.
- Na correctie voor de gemiste fractie kwam de droge bulkdichtheid uit op een iets hogere waarde dan in 2019 (456 kg/m³ versus 420 kg/m³). Dit wijst op een lichte mate van autocompactie in het afgezette sediment. Dit laatste werd bevestigd door een toename van de DBD met toenemende diepte in het afgezette sediment zoals gemeten in apart daarvoor genomen monsters (Fig. 4.17).
- De ophoging van de plasbodem met 70 centimeter is gelijk aan een sediment volume van afgerond 20 100 kubieke meter. Op basis van de hierboven genoemde DBD van 456 kg/m³ is dit op droge stof basis gelijk aan 9 170 ton. Op jaarbasis komen deze getallen neer op een sedimentvolume van 8 590 m³/jaar en hoeveelheid sediment van 3 925 ton/jaar.

Opslibbing kwelder

- De opslibbing op de kwelder liet in het tweede meetjaar een duidelijk seizoenspatroon zien. De opslibbing werd hier gemeten door het monitoren van de verandering in diepte van ingegraven sedimentatieplaten. In het winterhalfjaar nam de plaatdiepte toe, terwijl in het zomerhalfjaar de plaatdiepte als gevolg van krimp of compactie afnam. Netto was er een toename van de plaatdiepte. Over de eerste twee jaar bedroeg deze gemiddeld 4.2 mm/jaar.

Vegetatie (Meetvragen K10, K11)

- Op het broedeiland leek het achterwege laten van de grondbewerking in het voorjaar van 2020 meteen in hetzelfde jaar effect te hebben op de vegetatieontwikkeling. In vergelijking met de twee voorgaande jaren nam bedekking van meerjarige plantensoorten fors toe, met name van Gewoon kweldergras. Verder was er opmerkelijke afname van het eenjarige Klein schorrenkruid en dito toename van Spiesmelde.
- In de controle pq's rondom de Klutenplas vertoonde de vegetatiesamenstelling nog een grote mate van gelijkenis met die van de uitgangssituatie.
- De vele veranderingen in het beheer van de kwelder rondom de Klutenplas maakt het beantwoorden van de meetvraag of de aanleg van de Klutenplas invloed heeft op de vegetatie van de omliggende kwelder (K10) tot een haast onmogelijke opgave. Na de nulmeting met runderbeweiding in 2017, geen actief vegetatiebeheer in 2018, het maaien van de vegetatie in 2019 vormde de introductie van schapen in 2020 voor een deel van de kwelder de vierde beheervorm in vier jaar tijd, terwijl de invloed van beheer op de vegetatie vaak pas in de loop van meerdere jaren tot expressie komt (Bakker 2014).

- Metingen aan de onderste grens van de kwelderbegroeiing in de omgeving van de Klutenplas lieten zien dat deze grens ligt bij 0.3 meter onder het niveau van GHW. Enkele delen van de Klutenplas hadden dit niveau in augustus 2020 bereikt. In deze delen werden op dat moment ook de eerste planten die zich in de Klutenplas hadden gevestigd gevonden.

5.2 Aanbevelingen

De beantwoording van veel van de meetvragen uit het monitoringsplan (Tekstkader 1.1) is afhankelijk van het opbouwen van tijdreeksen. Op basis van tussentijdse resultaten na vier jaar monitoring kan voor enkele tijdreeksen worden geconcludeerd dat een jaarlijkse vastlegging niet noodzakelijk is en de waarneemfrequentie kan worden verminderd. Dit geldt onder meer voor de kwelderafslag (Meetvraag K12). Bij de monitoring van het ontwateringsstelsel zijn de profielen van de referentiezetten aan zo weinig verandering onderhevig, dat het ook hier mogelijk moet zijn om de opnamefrequentie van deze profielen te verlagen zonder dat dit afbreuk zal doen aan de beantwoording van de meetvragen over het ontwateringsstelsel.

Hieronder wordt kort stilgestaan bij de voorlopige stand van zaken en welke punten het komende jaar extra aandacht vragen.

Saliniteit Klutenplas

- Op basis van de EGV-metingen in de peilbuis is voor een periode van negen maanden de saliniteit in de Klutenplas gemeten (Fig. 4.9). Zonder dat dit tot ander inzichten zal leiden verdient het aanbeveling deze metingen voorlopig nog voort te zetten, zodat de saliniteit over ten minste een periode van een volledig jaar kan worden berekend.

Opslibbing Klutenplas

- De volgende stap in de analyse van de gegevens is het onderzoeken van de relatie tussen opslibbing en sedimentatie aan de ene kant en opgetreden (hoog)waterstanden aan de andere kant, of althans een eerste stap daarin. Deze analyse staat centraal in de beantwoording van meetvraag K3. Omdat de waterstandgegevens van de Klutenplas niet geheel compleet zijn, is het meest voor de hand liggend om hierbij na correctie, de waterstanden van Nieuwe Statenzijl te gebruiken.
- In de vorige paragraaf is al geconcludeerd dat de bemonstering van de droge bulkdichtheid in 2020 minder succesvol is verlopen. Dit kan voortkomen uit het ontbreken van een voldoende stabiele standplaats voor de monsternemer op de meetbrug bij de bediening van de Beeker-sampler en het nemen van de monsters. Inmiddels is de constructie van de meetbrug aangepast zodat kort voor de bemonstering met behulp steigerplanken platvormen kunnen worden aangebracht. Tegelijkertijd verdient het aanbeveling om een alternatieve tweede bemonsteringsstrategie uit te proberen. De Beekersampler kwam in beeld en is 2019 succesvol toegepast in een periode dat de bodem van de Klutenplas permanent onder water stond. De Beeker-sampler is juist ontwikkeld voor het bemonsteren van waterbodems met een niet-geconsolideerde laag (Beeker 1989; Anonymus 2002). Door het nagenoeg wegvallen van de drempel valt de Klutenplas sinds oktober 2019 bijna bij elke laagwaterperiode droog, waardoor de eigenschappen van het sediment kunnen zijn veranderd. In maart 2021 bleek het mogelijk om een ogenschijnlijk ongeroerd sedimentmonster in de Klutenplas te nemen met een gutsboor zonder dat het sediment uit de boor liep. Dit lijkt een extra mogelijkheid te bieden voor het vervolgonderzoek naar de bulkdichtheid en autocompactie.

- Om het proces van autocompactie te monitoren is in september 2020 is een tweede markeerhorizont met kaolienklei bovenop de bestaande meetveldjes aangebracht (zie foto op de omslag), zodat de dikte van de sliblaag tussen de twee horizonten in de tijd kan worden gevolgd. Drie van de vijf veldjes zijn helaas bij onderhoud aan de meetbrug in maart 2021 verstoord. Het verdient aanbeveling de verstoorde meetveldjes te herstellen door opnieuw een markeerhorizont aan te brengen.

Beheerexperiment broedeiland

- In 2021 wordt een beheerexperiment op het broedeiland uitgevoerd waarbij op de ene helft van het eiland alleen de vegetatie wordt gemaaid en verwijderd terwijl op de andere helft dit wordt gecombineerd met een grondbewerking. Zoals ook is opgemerkt bij de bespreking van de vegetatieontwikkeling in de controle pq's (§ 4.5.2) is van belang om hierbij te realiseren dat de invloed van beheer vaak pas in de loop van meerdere jaren tot expressie komt. Het verdient daarom aanbeveling om van het beheerexperiment een meerjarige praktijkproef te maken en deze 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.
- Bakker, J.P. 2014. Ecology of salt marshes. 40 years of research in the Wadden Sea. *Lecture series* 5. Wadden Academy, Leeuwarden. 99 pp.
- Bakker, J.P., P. Esselink, R. van der Wal & K.S. Dijkema. 1997. Options for restoration and management of coastal salt marshes in Europe. In: K.M. Urbanska, N.R. Webb & P.J. Edwards (red.). *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 286–322.
- Beeker, A.E.R. 1989. Nieuwe waterbodemsteker en de beoordeling van bodemonsters. *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.
- De Boeck, K., T. Van Hoestenbergh, E. Vanlierde, M. Deschamps, T. Verwaest & F. Mostaert. 2014. Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit: Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. Versie 3.0. *WL Rapporten* 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen. 10 pp.
- de Jonge, V.N. & K. Essink. 1992. The Ems estuary: water circulation, sediment dynamics and nutrient enrichment. In: P.M.J. Herman (red.). *JEEP 92: Major biological processes in European tidal estuaries: report of the workshop held in Plymouth, January 29 - February 1, 1992*. pp. 23–38 / *rapport DGW-92.025*. Rijkswaterstaat – Dienst Getijdenwateren, Haren.
- 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.
- Dijkema, K.S., A. Nicolai, J. de Vlas, C.J. Smit, H. Jongerius & H. Nauta. 2001. *Van landaanwinning naar kwelderwerken*. Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland, Leeuwarden / Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Texel. 68 pp.

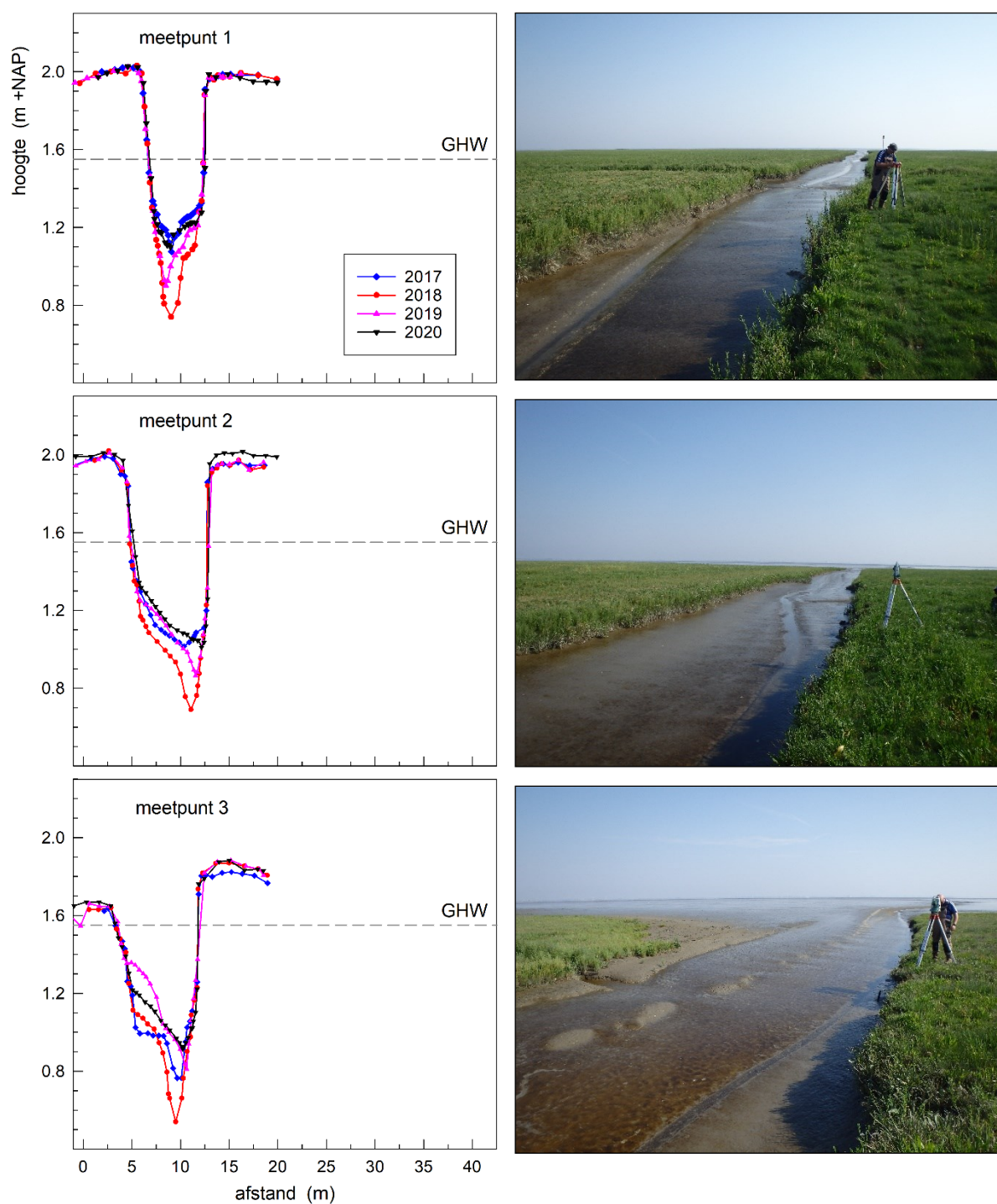
- Elschot, K. & M.J. Baptist. 2016. Pilot kleirijperij en klutenplas in de Dollardkwelders. Een verkenning van de lokale natuurwaarden, dimensies van de klutenplas en verwachte korte- en lange termijn effecten. *Rapport C101/16*. Wageningen Marine Research, Wageningen UR. 22 pp.
- Elschot, K., M.E.B. van Puijenbroek, D.D.G. Lagendijk, J.-T. van der Wal & C. Sonneveld. 2020. Lange-termijntontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 182 / Wageningen Marine Research rapport C023/20.
- Elzerman, J.J. 1953. Samenstelling en dichtheid van zeewater. Verband tussen de verschillende gebruikelijke grootheden ter aanduiding van het zoutgehalte. Methoden ter bepaling en berekening van deze grootheden. rapport. Rijkswaterstaat Studiedienst IJmuiden. 21 pp. + bijlagen.
- 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. 1998. Van landaanwinning naar natuurbeheer: Recente ontwikkelingen op de Dollardkwelders. In: K. Essink & P. Esselink (red.). Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. *Rapport RIKZ-98-020*. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, Haren. pp. 79–99.
- Esselink, P. 2000. Nature management of coastal salt marshes. interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. *Proefschrift*, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen. 256 pp.
- 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 & 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.
- Fagherazzi, S., G. Mariotti, N. Leonardi, A. Canestrelli, W. Nardin & W.S. Kearney. 2020. Salt marsh dynamics in a period of accelerated sea level rise. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 125 e2019JF005200.
- Granse, D., M.R. Motta, S. Suchrow, K. von Schwartzberg, A. Schnitter & K. Jensen (in prep). The overlooked hybrid: geographic distribution and ecological niche of *Spartina*-cytotypes (Poaceae) in Wadden Sea salt marshes.
- 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.
- Lagendijk, D.D.G., R.A. Howison, P. Esselink, R. Ubels & C. Smit. 2017. Rotation grazing as a conservation management tool: Vegetation changes after six years of application in a salt marsh ecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 246: 361–366.
- Leonardi, N., Z. Defne, N.K. Ganju & S. Fagherazzi. 2016a. Salt marsh erosion rates and boundary features in a shallow bay. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 121: 1861–1875.

- Leonardi, N., N.K. Ganju, & S. Fagherazzi. 2016b. A linear relationship between wave power and erosion determines salt-marsh resilience to violent storms and hurricanes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 113: 64–68.
- Londo, G. 1976. The decimal scale for relevés 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. Koppenaal, 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. & 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.
- Swart, J.P. 1982. Relatie geleidendheid-chloriniteit voor de Westerschelde. Rijkswaterstaat Directie waterhuishouding en waterbeweging, Adviesdienst Vlissingen. *Notitie WWKZ-82.V280*. 13 pp. + bijlagen
- Tonelli, M., S. Fagherazzi, & M. Petti. 2010. Modeling wave impact on salt marsh boundaries. *Journal of Geophysical Research* 115: C09028
- 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.
- 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.

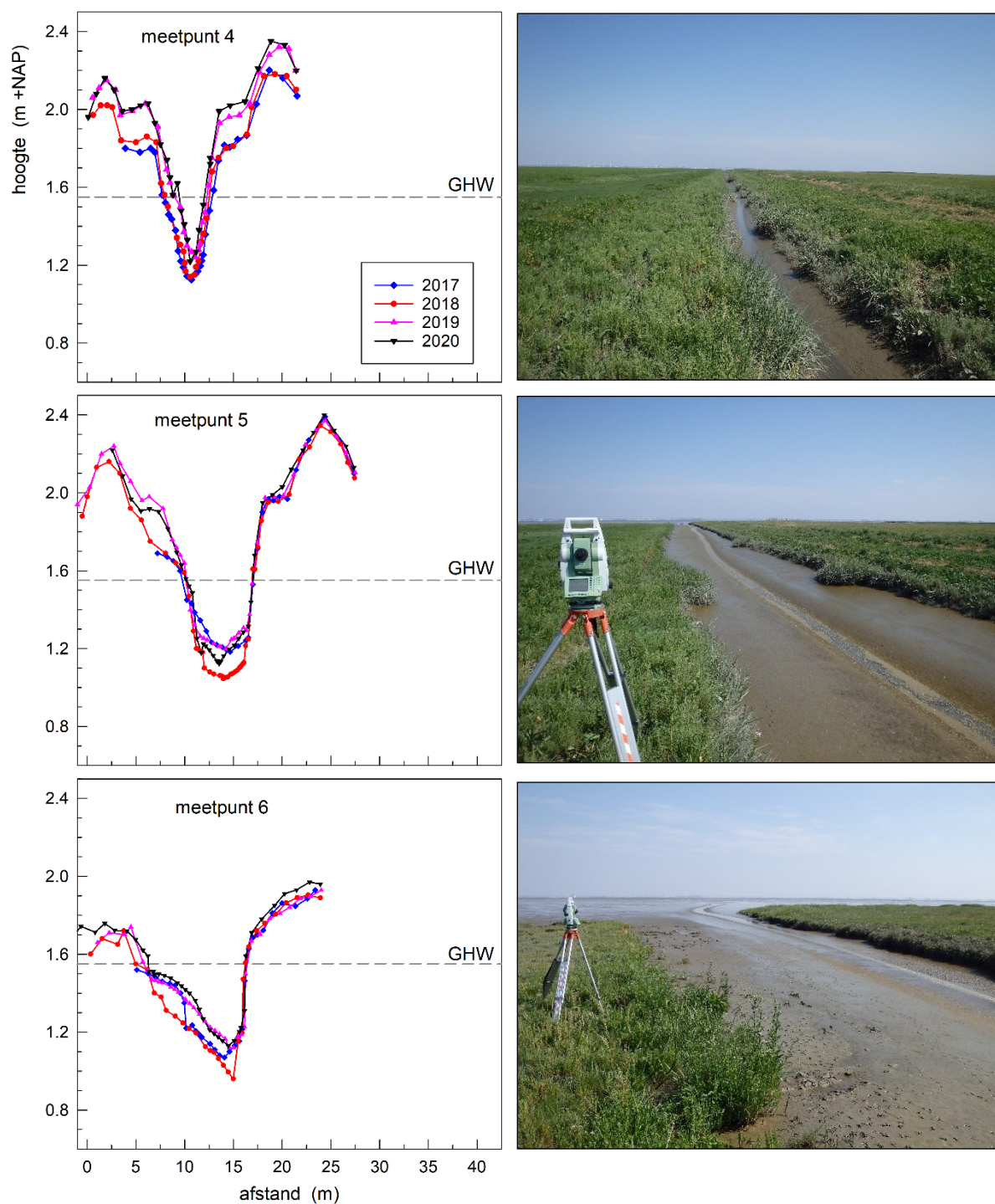
Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten

De ontwikkeling van de dwarsprofielen in de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard wordt besproken in hdst. 4 (§ 4.1.1). De eerste vijf figuren van deze bijlage geven een grafische weergave van de ontwikkeling van de dwarsprofielen langs de vijf controlezwetten (Fig. I.1 – I.5).

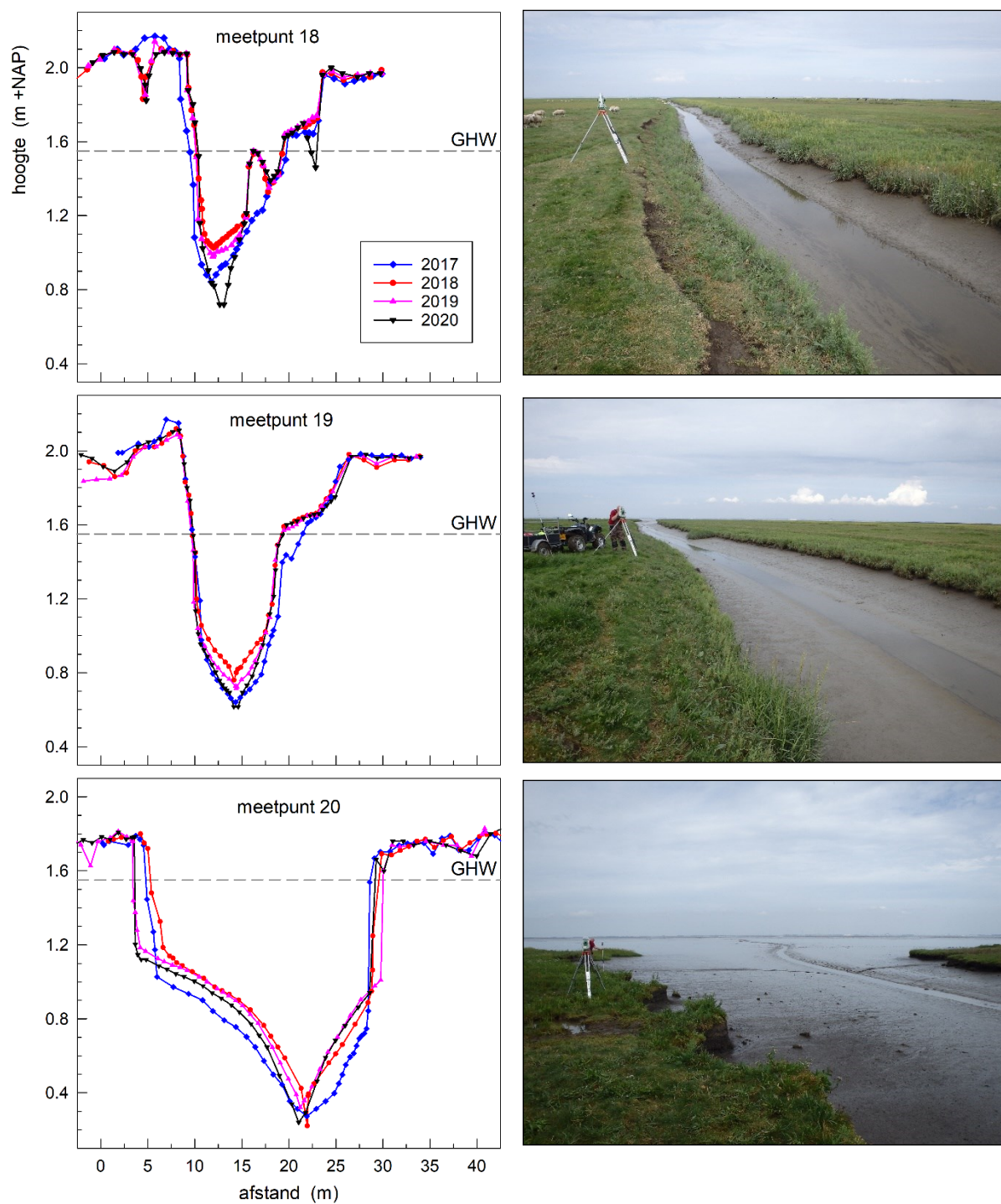
In § 4.1.2 wordt de ontwikkeling gepresenteerd van de dwarsprofielen in het bovenstroomse deel van de zwet door de Klutenplas, het gedeelte tussen de Klutenplas en de Kleirijperij. Dit gedeelte heeft door de aanleg van de Kleirijperij de verbinding met de dijksloot verloren. Figuren I.6 en I.7 van deze bijlage geven een grafische weergave van de ontwikkeling van de dwarsprofielen langs twee overige zwetten waarvan het kombergingsgebied door de aanleg van de Kleirijperij is verkleind.



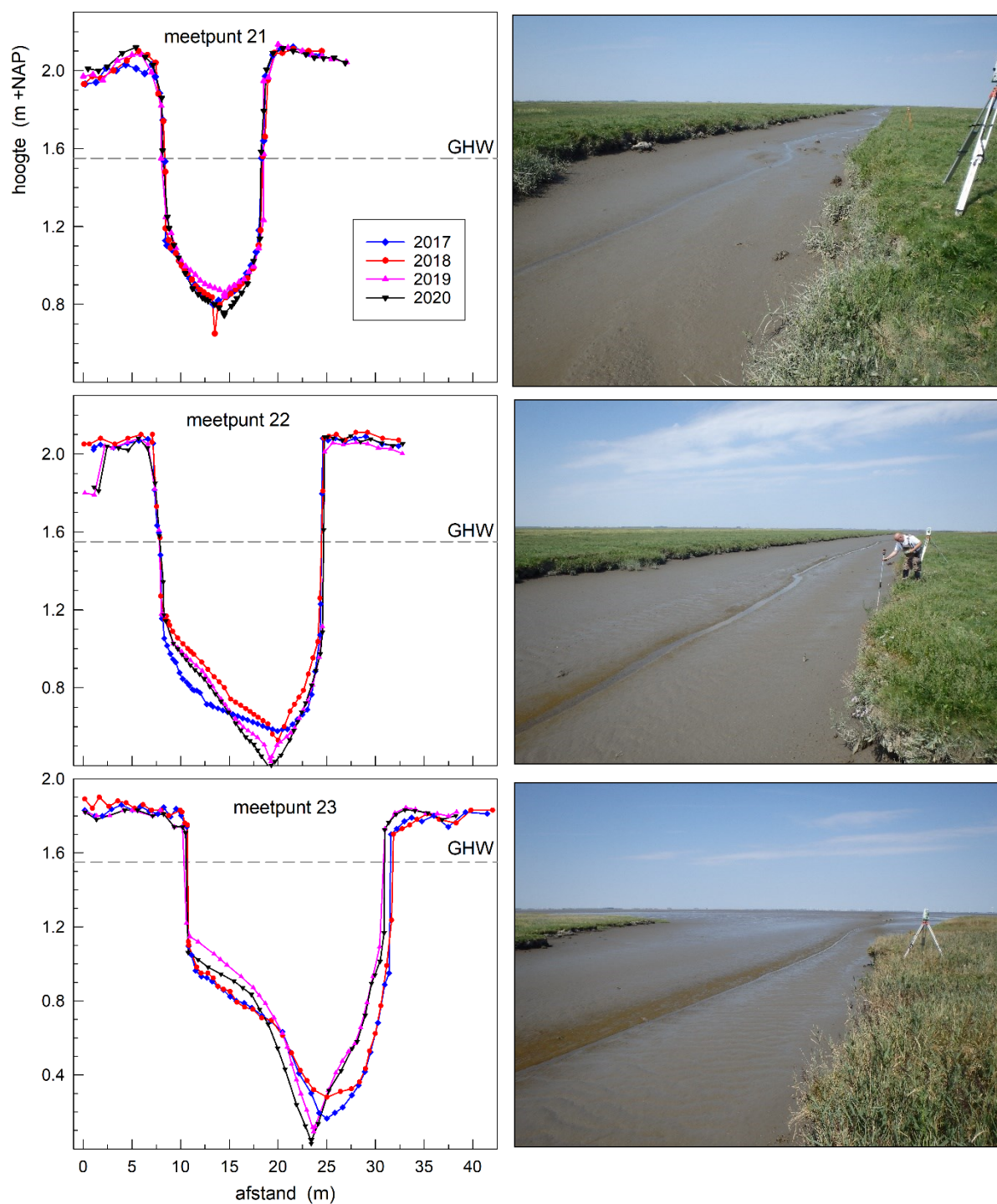
Figuur 1.1 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 1 – 3 langs controle zwet I van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot drie jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten in augustus 2020. Figuur 3.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.



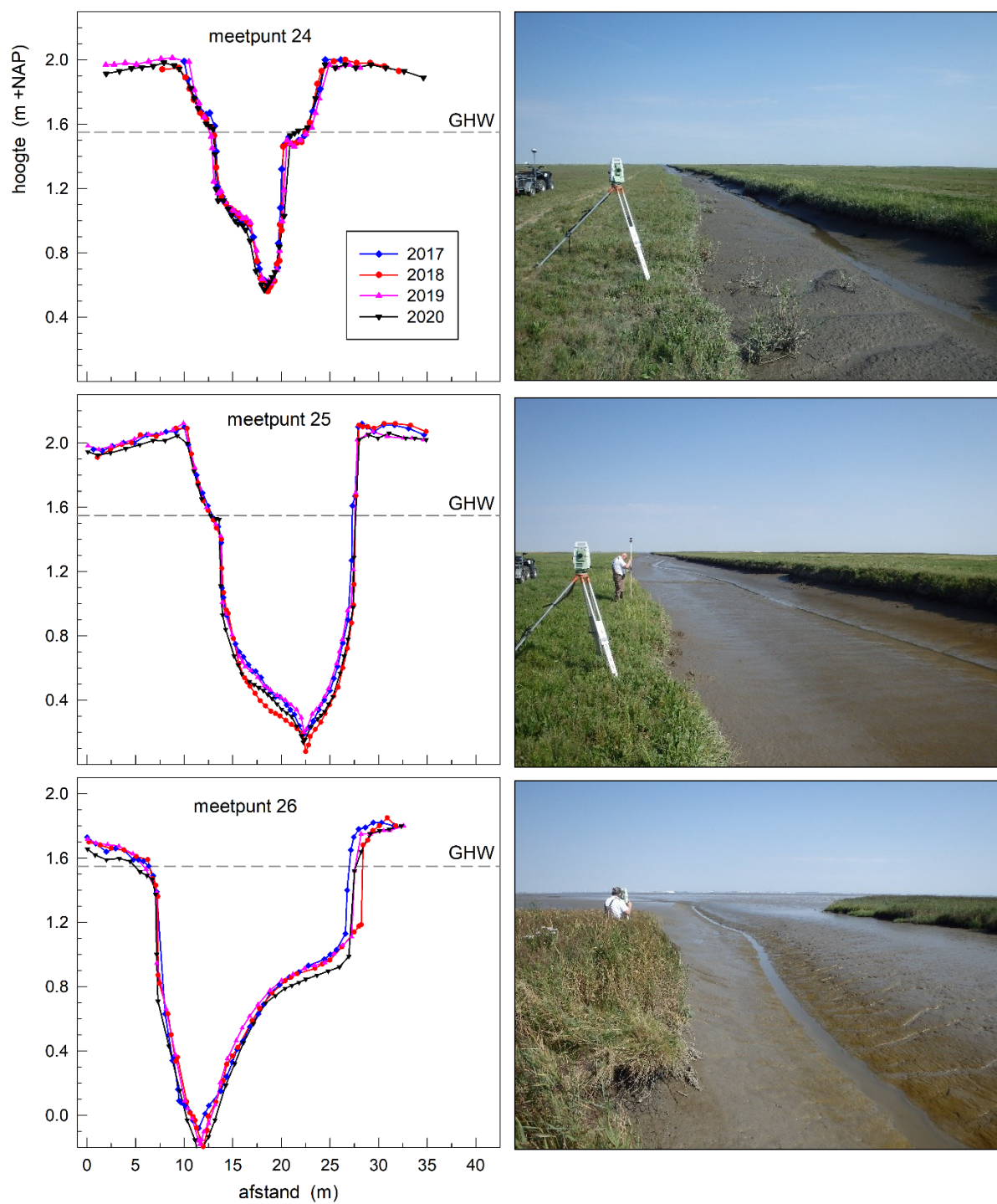
Figuur I.2 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 4 – 6 langs controle zwet II van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



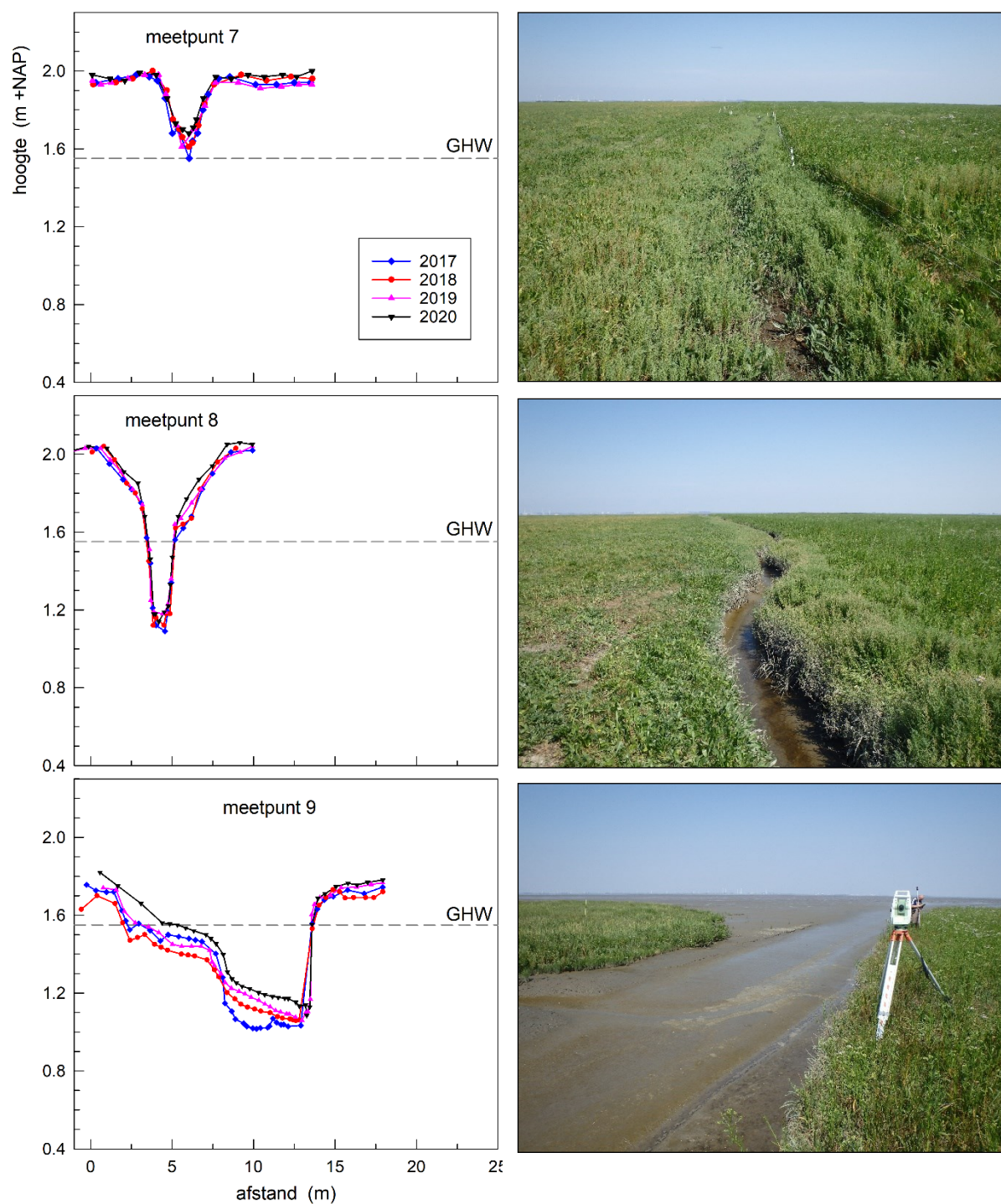
Figuur I.3 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 18 – 20 langs controle zwet III van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



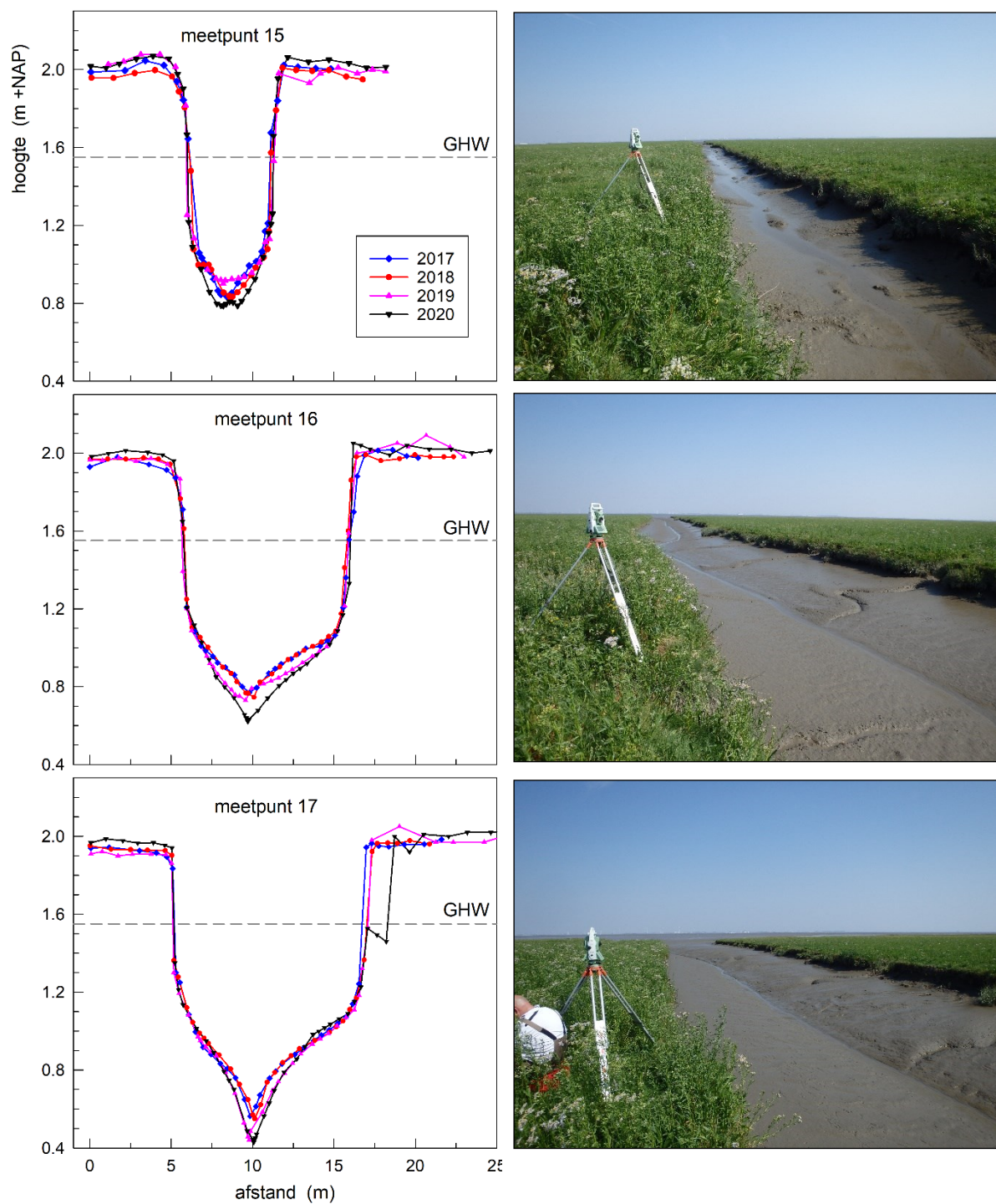
Figuur I.4 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 21 – 23 langs controle zwet IV van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



Figuur I.5 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 24 – 26 langs controle zwet V van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



Figuur I.6 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) en de eerste drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



Figuur I.7 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 7 – 9 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) en de eerste drie jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.