



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

*vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en
vegetatie (2022)*

PUCCIMAR-rapport 24

in opdracht van


WATERSCHAP
Hunze en Aa's

SWECO 

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

*vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en
vegetatie (2022)*

PUCCIMAR rapport 24

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

Voorplaat

Aan het einde van het weideseizoen door rundvee vertrapte kwelderrand noordwestelijk van de Klutenplas, 4 oktober 2022 (foto: Peter Esselink)

P. Esselink^{*)}, K. Elschoot^{#)}, M.E. Tolman^{S)} & W. Veenstra^{†)} 2023

Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag opslibbing en vegetatie (2022). PUCCIMAR rapport 24.
PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries

Oprichters

SWECO Nederland bv
Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen

Waterschap Hunze & Aa's
Postbus 195
9640 AD Veendam

Uitvoerders

^{*)}PUCCIMAR

Ecologisch Onderzoek & Advies
Boermarke 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

2022/03

Projectleider

P. Esselink

Status

Definitief

Datum

21 april 2023

© PUCCIMAR Ecologisch onderzoek en advies

Overname van gegevens uit dit rapport is toegestaan met bronvermelding.

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

Inhoud

Voorwoord	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Inrichting en fasering van het project	10
1.3 Doelstelling monitoringsplan	12
1.4 Leeswijzer	15
2 Beschrijving studiegebied	16
2.1 Kwelder	16
2.2 Klutenplas	17
2.3 Overstromingsregime studiegebied	19
3 Methoden	22
3.1 Ontwateringsstelsel	22
3.2 Kwelderafslag	22
3.3 Slibinvang Klutenplas	23
3.3.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas	23
3.3.2 Sedimentbemonstering Klutenplas	24
3.3.3 Zetting	25
3.3.4 Referentiemetingen kwelder	25
3.4 Vegetatie	25
4 Resultaten	27
4.1 Ontwateringsstelsel	27
4.1.1 Ontwatering Klutenplas	27
4.1.2 Effecten ontwatering Kleirijperij	29
4.2 Kwelderafslag	32
4.3 Opslibbing	35
4.3.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas	35
4.3.2 Sedimentatie en slibinvang	40
4.3.3 Kwelder	43
4.4 Vegetatieontwikkeling broedeiland	44
5 Literatuur	46
Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten	49

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 is in drie stappen of fases bijna één kilometer van de bestaande Dollarddijk omgevormd tot een brede groene dijk. De eerste fase betrof het ontgraven van klei uit de voorliggende kwelder waarbij een plas met een broedeiland werd aangelegd. Deze klei is gebruikt voor de aanleg van de kades van een tijdelijk slibdepot aan de buitenzijde van de bestaande zeedijk (begin fase 2). In dit depot is slib uit Polder Breebaart in een periode van twee tot drie jaar tijd door rijping omgevormd tot klei die geschikt was om verwerkt te worden in de nieuwe zeedijk. Bij de aanleg van de brede groene dijk (fase 3, in 2022) is het slibdepot weer ontmanteld en is de klei uit zowel Polder Breebaart als uit de kwelder verwerkt in de nieuwe dijk.

Om de mogelijke effecten van de beoogde ingrepen op de natuur en op het gebruik van de kwelder te meten, en om in de toekomst te kunnen beoordelen in hoeverre herstel optreedt van de aanwezige natuurwaarden, is een monitoringsplan opgesteld. Volgens dat plan worden tijdens de voortgang van het project verschillende ontwikkelingen in het gebied gevolgd door middel van een uitgebreid meetprogramma. In 2017 is dit monitoringsprogramma opgestart met de documentatie van de uitgangssituatie in een zgn. nulmeting. In de jaren hierna is een vervolgmonitoring uitgevoerd.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2022:

- i) de ontwikkeling van het ontwateringsstelsel van de kwelder
- ii) de ontwikkeling van de kwelderrand
- iii) de opslibbing van de Klutenplas en analoge referentiemetingen op de kwelder en
- iv) de vegetatieontwikkeling op het broedeiland met de vervolgresultaten van de in 2021 gestarte beheerproef.

Op deze plek willen we graag een aantal personen en organisaties bedanken voor hun medewerking of ondersteuning bij de uitvoering van verschillende werkzaamheden. De Maatschappij tot Exploitatie van het onverdeelde Munnikeveen en de heer Huisman verleenden toestemming voor het betreden van hun terreinen voor de uitvoering van het veldwerk. Hidde Zijlstra (Wiertsema & Partners), Bregje van Wesenbeeck en Valeria Prando (beide Deltares), Sjoerd Gardien (Kruisbestuiving) en Joan Looijen verleenden assistentie bij de uitvoering van het veldwerk. Martijn Keur en André Meijboom (beide WMR) hielpen ons bij de verwerking van sedimentmonsters in het laboratorium.

de auteurs

Vries

februari 2023

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 2022 uitgevoerde monitoring, inclusief de resultaten en ontwikkelingen t/m 2022:

i) het ontwateringsstelsel van de kwelder, *ii*) de mogelijke kwelderafslag, *iii*) de opslibbing van de Klutenplas en de kwelder, *iv*) de vegetatieontwikkeling op het broedeiland nadat hier in 2021 een beheerproef is opgestart waarin de effecten van twee beheervormen met elkaar worden vergeleken en geëvalueerd.

Dit rapport is primair bedoeld als datarapport. De in 2022 verzamelde gegevens zijn bewerkt tot het niveau dat ze konden worden opgenomen in de voorgaande jaren opgezette tijdreeksen. Voor een duiding van de resultaten wordt verwezen naar de jaarrapporten van voorgaande jaren en de geplande eindrapportage van het project in 2025.

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) onderzoekt het Waterschap Hunze en Aa's of de klei die voor een brede groene dijk nodig is uit lokale bronnen kan worden gewonnen (kwelder, slib uit Polder Breebaart en baggerslib uit de haven van Delfzijl). In het demonstratieproject wordt een 750 meter lang traject van de bestaande Dollarddijk omgevormd tot een brede groene dijk. Het project bestaat uit verschillende onderdelen die nauw met elkaar samenhangen. In 2018 is met de uitvoering begonnen en enkele onderdelen zijn ondertussen afgerond, zoals de aanleg van de Klutenplas op de voor de dijk gelegen kwelder in april 2018 en de aanleg van een tijdelijk buitendijks slibdepot (de zgn. Kleirijperij) in de zomer van 2018. Hierbij is gebruik gemaakt van de gewonnen klei uit de Klutenplas. In de eerste maanden van 2020 is het slibdepot gevuld met slib uit Polder Breebaart. Dit slib moet in een periode van twee tot drie jaar door rijping geschikt worden gemaakt voor verwerking in de brede groene dijk. Als het rijpingsproces klaar is wordt het slibdepot opgeheven en zal ook de 45 000 m³ klei uit de Klutenplas in de nieuwe zeedijk worden verwerkt.

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

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

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

1.2 Inrichting en fasering van het project

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

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

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

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

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 (Riemersma 2018):

- 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”

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 slibvangst door de Klutenplas en de vergelijking met de slibvangst door de kwelder (Esselink *et al.* 2019).

Om het broedeiland geschikt te houden voor de Kluut wordt elk voorjaar de overgebleven vegetatie verwijderd. In 2019 werd daarbij ook de bovengrond bewerkt, terwijl in 2020 de vegetatie alleen werd gemaaid en verwijderd. Om de vraag te beantwoorden of bewerking van de bovengrond voor de Kluut een toegevoegde waarde heeft, is in 2021 een praktijkproef opgezet waarbij op één helft van het eiland de verwijdering van de vegetatie werd gecombineerd met een grondbewerking terwijl op de andere helft van het eiland alleen de vegetatie kort werd afgemaaid en verwijderd. Om de vraag te onderzoeken wat voor invloed de twee beheervormen hebben op de vegetatieontwikkeling van het broedeiland, is besloten de vegetatie op het eiland te blijven monitoren. De vragen naar de invloed van de grondopwerking op zowel de Kluut als de vegetatieontwikkeling zijn in de loop van het project ontstaan en ontbreken daarom in het oorspronkelijke monitoringsplan en worden derhalve niet genoemd in Tekstkader 1.1.

Voor de volgende aspecten wordt in dit rapport een overzicht gegeven van de resultaten en ontwikkelingen t/m 2022 van:

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

In de monitoring van de kwelderrand is in de eerste drie jaar na aanleg van de Klutenplas geen effect gevonden van de aanleg van de plas op de afslag van de kwelder (vraag K12). Hierop is besloten om

de positie van de kwelderrand met ingang van 2021 niet meer jaarlijks te monitoren, maar eens in de twee jaar.

Voor de beantwoording van de vraag hoeveel sediment er wordt afgezet in de Klutenplas, is behalve de monitoring van de hoogteontwikkeling, ook kennis vereist over de dichtheid van het afgezette sediment en zo mogelijk ook de verandering in dichtheid in de loop van de tijd. De in de loop van de tijd veranderende omstandigheden kan niet jaarlijks worden vastgehouden aan dezelfde bemonsteringsapparatuur. Op basis van vergelijkend onderzoek in 2021 (Esselink *et al.* 2022), is er voor gekozen om voor de bemonstering van 2022 gebruik te maken van een Vrijwitboor met een voldoende werk lengte.

De monitoring van het ontwateringsstelsel heeft betrekking op mogelijke effecten van de aanleg van zowel de Klutenplas als de kleirijperij. Na realisatie van de 750 meter lange pilotdijk zullen de komende jaren ook de effecten van de aanleg van de Brede Groene Dijk in de monitoring worden meegenomen. Voortzetting van het monitoringsonderzoek naar mogelijke effecten van de Kleirijperij op het herstel van de kweldervegetatie is pas in 2023 aan de orde 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; Loonstra *et al.* 2021).

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

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

- S1) Vindt er tijdelijke verstoring plaats van broedvogels tijdens de bouw en het gebruik van het depot en neemt de druk van ganzen binnendijks toe?
- S2) Helpen de mitigerende maatregelen om effecten te voorkomen dan wel te verkleinen tot een acceptabel niveau te krijgen (incl. vervangend broedgebied in Polder Breebaart)?

- S3) In hoeverre vindt na realisatie en gebruik van zowel het droogbed als het tijdelijk slibdepot herstel plaats van de oorspronkelijk aanwezige vegetatie (en hoe verloopt de vegetatieontwikkeling in de tijd en hoelang duurt het herstelproces)?
- S4) In hoeverre maken vogels gebruik van het tijdelijk droogbed en het slibdepot (incl. kaden) als broedgebied (en wat is hiervan het succes)?
- S5) Wat is het effect van het dempen op de petsloot langs de buitenteen van de dijk op
a) het broedresultaat van vogels op de kwelder (neemt hierdoor de kans op predatie toe) en
b) de vegetatie (neemt hierdoor de kwaliteit van de vegetatie toe of af)?
- S6) Wat is het effect van de aanleg en gebruik van het depot op het foerageergedrag van ganzen?
- S7) In hoeverre leidt de aanleg en het gebruik van het depot tot een wijziging in het afwateringspatroon en verhoogde afslag van kwelders?
- S8) Heeft de aanleg en gebruik van het depot invloed op de vegetatieontwikkeling van de omringende kwelder?
- S9) Vindt er compactie en spoorvorming plaats als gevolg van de aanleg en het gebruik van het depot (en heeft deze invloed op het herstel)?
- S10) Is er sprake van uitspoeling van contaminanten vanuit het depotwater en treedt verandering op in de chemische samenstelling van de ondergrond?
- S11) In hoeverre kan de beweiding en veeveiligheid worden gewaarborgd tijdens en na de aanleg (incl. drinkwatervoorziening voor vee)?
- S12) Heeft de inrichting en het gebruik van het depot invloed op de verzilting van het 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 binnendijs 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 binnendijs?

^{#)} 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

Dit rapport heeft als opzet om in tabellen en grafieken in het kort een overzicht te geven van de resultaten en ontwikkelingen in het monitoringsonderzoek t/m 2022. Dit rapport is hierbij bedoeld als datarapport. Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar voorgaande rapportages (Esselink *et al.* 2018 – 2022) en naar het toekomstige eindrapport.

In het volgende hoofdstuk wordt eerst een korte beschrijving gegeven van het studiegebied, waarna in hoofdstuk 3 een verantwoording wordt gegeven van de gebruikte methoden. In hoofdstuk 4 volgt een presentatie van de in 2022 verzamelde gegevens.

2 Beschrijving studiegebied

2.1 Kwelder

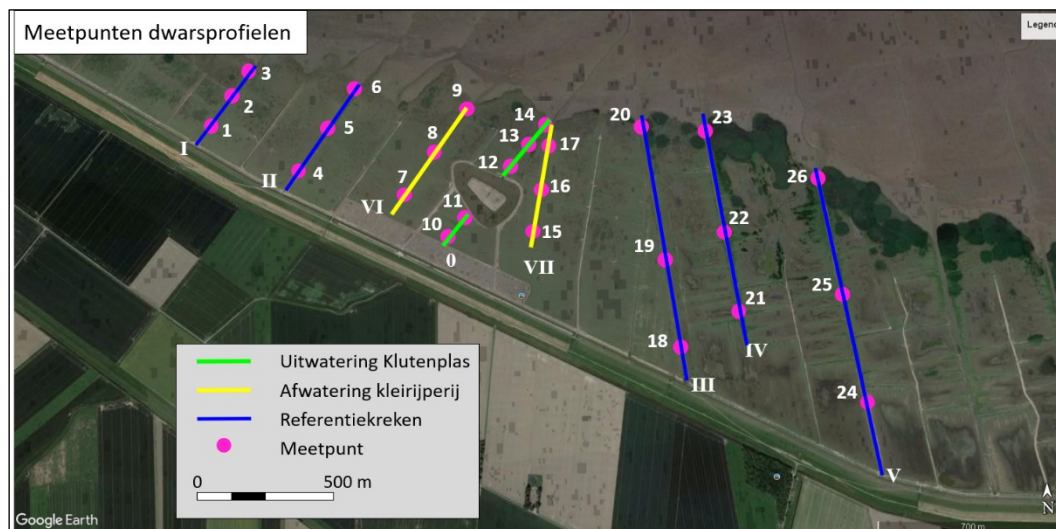
Het proeftracé van de brede groene dijk ligt globaal tussen de hectometerpalen 5.4 en 6.4 van de Dollarddijk (Fig. 1.1). Dit geeft ook meteen de locatie aan van de Kleirijperij, terwijl de Klutenplas op de voorgelegen kwelder is uitgegraven. Omdat voor het beschrijven van de effecten van de inrichtingsmaatregelen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

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

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

Kwelderbeheer tijdens de uitvoering van het demonstratieproject BGD

In verband met de aanleg en exploitatie van de Kleirijperij is op een deel van de kwelder de jaarlijkse beweiding met rundvee tijdelijk onderbroken. Het gaat om het stuk kwelder tussen de Kleirijperij en het wad en tussen de zwetten II en VII in figuur 2.1. In 2018 en 2019 werd dit deel van de kwelder niet beweid. In 2019 is het westelijk deel (gelegen tussen de zwetten II en 0) van het onbeweide gebied gemaaid (Esselink *et al.* 2020). In 2020 en 2021 vond in het gebied tussen de zwetten II en VII, met wisselende dichtheden, een geparcelleerde beweiding met schapen plaats. In 2022 werd het gebied tussen zwet II en het pad naar de ZO-punt van de Klutenplas nauwelijks beweid, terwijl het gebied ten oosten van dit pad tot aan de dam tussen zwet VII en zwet III met schapen werd beweid.



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

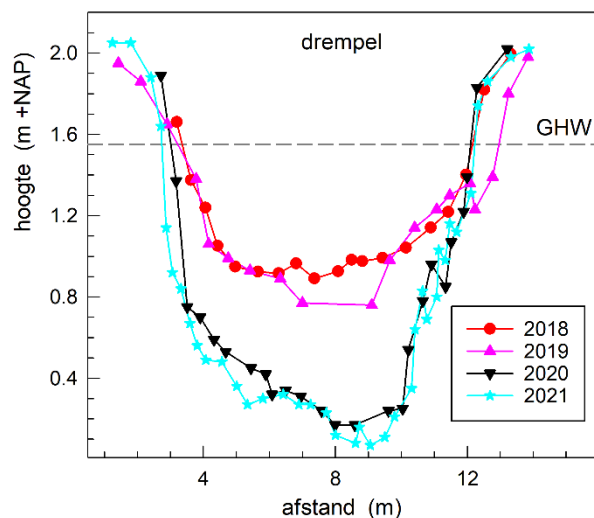
2.2 Klutenplas

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

Om het broedeiland geschikt te houden voor de Kluut is het noodzakelijk om het eiland schaars begroeid te houden en de vegetatieontwikkeling af te remmen. In 2021 is een beheerproef van start gegaan om de effecten van twee beheervormen met elkaar te vergelijken. Op de westelijke helft van het eiland is de aanwezige vegetatie in het vroege voorjaar alleen kort afgemaaid en afgevoerd (ondergewerkt in de voormalige zwet in het midden van het eiland); op de oostelijke helft is na de verwijdering van de vegetatie de bovengrond omgewerkt met een kraantje. In 2022 is de beheerproef op het eiland ongewijzigd voortgezet.

Tabel 2.1 Tijdslijn van aanleg, beheermaatregelen en overige gebeurtenissen in de Klutenplas van aanleg tot eind 2022.

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 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 dan wel sporen van beginnend verval
eind okt 2019	Droogvallen peilbuis bij meetbrug tijdens laagwater
15/mrt/2020	Beheer broedeiland: maaien vegetatie; reparatie vossenraster en aanbrengen stroomdraad
27/mrt/2020	Aanpassing meetbrug en verplaatsing peilbuis naar de in/ en uitstroomopening
9/sept/2020	Aanbrengen tweede markeerhorizont met kaolienklei
febr/2021	Meetbrug II met peilbuis door ijsgang scheefgedrukt
22-24/febr/2021	Onderhoud broedeiland: start twee beheervormen
1/mrt/2021	Aanpassing meetbrug Elzingagroep vanaf meetbrug
3/mrt/2021	Verstoring kaolienveldjes geconstateerd
14/mrt/2021	Meetbrug II met peilbuis na storm onder water verdwenen
2/sept/2021	Herstel tweede markeerhorizont met kaolien na verstoring begin maart 2021
27/okt/2021	Herbouw meetbrug II
23/nov/2021	Installatie nieuw peilbuis aan meetbrug II
14-16/mrt/2022	onderhoud broedeiland
8/dec/2022	Laatste uitlezing en ontmanteling peilbuis meetbrug II



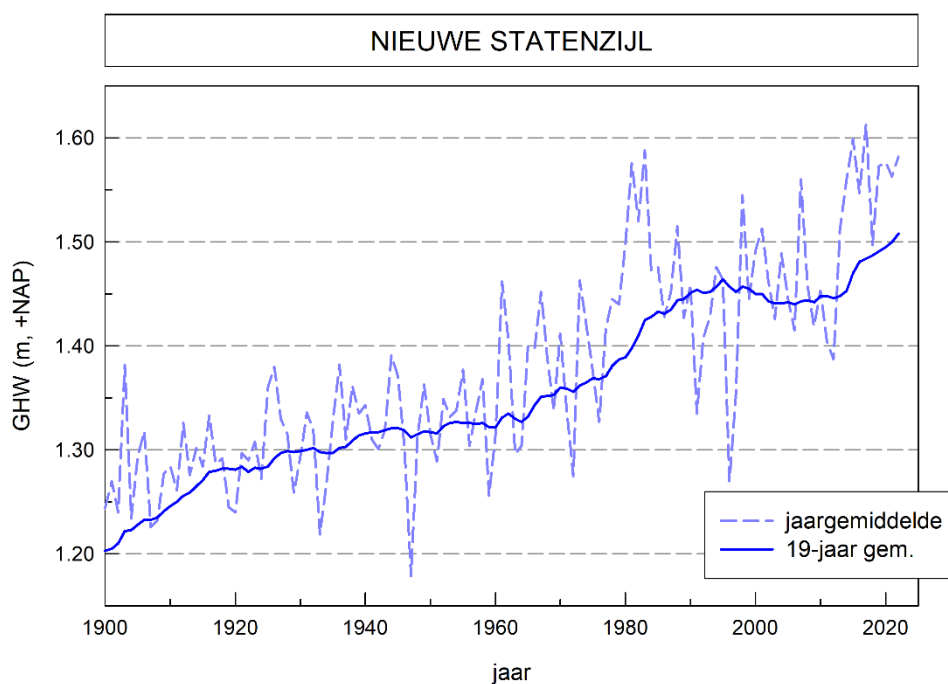
Figuur 2.2 Ontwikkeling van het dwarsprofiel boven over de drempel in de monding van de Klutenplas in de eerste vier jaar na aanleg. De vier profielen zijn niet elk jaar langs precies dezelfde lijn opgenomen. In 2022 is de inmeting van het profiel niet succesvol verlopen. De foto rechtsboven is van 23 mei 2018, een maand nadat de Klutenplas werd blootgesteld aan de invloed van het getij. De foto rechtsonder is van 8 januari 2022 en laat zien hoe de drempel in de loop der tijd door onderloopsheid is aangetast.



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

2.3 Overstromingsregime studiegebied

In de Dollard bedraagt het gemiddelde getijverschil of de getijslag ongeveer 3 meter. De jaargemiddelde hoogwaterstand (GHW) in Nieuwe Statenzijl (6.5 km ten O van het studiegebied) is vanaf 1900 gestegen met gemiddeld 2.2 mm per jaar (Esselink *et al.* 2011). Deze stijging had een onregelmatig verloop. Na 1983 vertoonde het GHW bijna 20 jaar lang nauwelijks een opgaande trend met een gemiddeld niveau van rond NAP+1.45 m (Fig. 2.3). De laatste jaren lag het jaargemiddelde GHW echter ruim boven dit niveau. In de laatste acht jaar (2015–2022) bedroeg het GHW NAP +1.57 m.



Figuur 2.3 Ontwikkeling van het jaarlijks gemiddeld hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de periode 1900 – 2022. 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).

Uit een vergelijking van de hoogwaterstanden in de Klutenplas met die van Nieuwe Statenzijl bleek dat de hoogwaterstand in de Klutenplas over het algemeen iets lager uitvalt dan de peilschaal van Rijkswaterstaat bij Nieuwe Statenzijl (Esselink *et al.* 2021). Bij de meest voorkomende hoogwaterstanden bedroeg het verschil 6 – 7 centimeter; bij hogere waterstanden (waterstanden waarbij de kwelder overstroomt) liep het verschil verder op tot 10 centimeter of meer. In 2022 zijn opnieuw de waterstanden in de Klutenplas gemonitord middels een peilbuis met CTD-diver. Deze gegevens zijn echter nog niet bewerkt. Daarom is voor het overstromingsregime van het studiegebied in 2022 gebruik gemaakt van de hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl. Om rekening te houden met

de lagere waterstanden in het studiegebied zijn op de waterstanden van Nieuwe Statenzijl dezelfde correcties toegepast als voor eerdere jaren door Esselink *et al.* (2022):

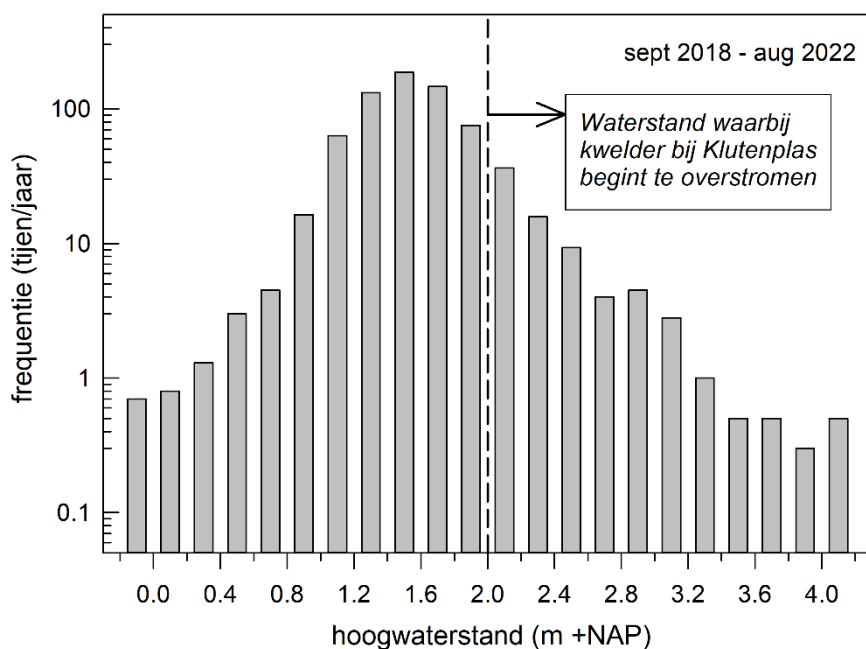
Voor hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl lager dan NAP+2.0 m:

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

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

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

In het studiegebied ligt het maaiveld van de kwelder, met uitzondering van de hogere ruggen of oeverwallen langs de hoofdduitwateringen, op ongeveer een hoogte van NAP+ 1.9 m (Esselink *et al.* 2018). Dit betekent dat de kwelder begint onder te lopen wanneer de vloed in Nieuwe Statenzijl het niveau van NAP+ 2.0 m overschrijdt (Fig. 2.4). In de periode september 2018 – augustus 2022 gebeurde dit gemiddeld 75 keer per jaar (Tabel 2.2).



Figuur 2.4 De frequentieverdeling van hoogwaterstanden in Nieuwe Statenzijl en de waterstanden waarbij de kwelder rond de Klutenplas overstroomt in de eerste vier stormjaren (september 2018 – augustus 2022) na aanleg van de Klutenplas. Om visuele redenen is op de verticale as voor een logaritmische schaalverdeling gekozen. Het gemiddelde aantal hoogwaters per jaar bedroeg 706 (de hoogte van alle staafjes bij elkaar opgeteld). Tabel 2.2 geeft een specificatie van de hoogwaterstanden waarbij de kwelder rond de Klutenplas overstroomt.

In tabel 2.2 wordt een schatting gegeven van de overstromingsfrequentie per stormjaar, waarbij een stormjaar wordt gedefinieerd als de periode van 1 september t/m 31 augustus een jaar later. Een dergelijke periode sluit beter aan op zowel de monitoring van de opslibbing als de seizoensfluctuatie in hoogwaterstanden in vergelijking tot het gebruik van kalenderjaren (zie ook Esselink *et al.* 2015; Koppenaal *et al.* 2022).

Bij een grotere diepte van het overstromingswater boven de kwelder kan er in theorie een grotere hoeveelheid sediment worden afgezet. Om te beschrijven of een jaar een gunstig of minder gunstig

opslibbingsjaar was, zijn in tabel 2.2 per jaar de berekende waterdieptes bij een kwelderhoogte van NAP +1.9 m bij elkaar opgeteld. In de onderzoeksperiode varieerde de hoogte van deze denkbeeldige waterkolom boven de kwelder varieerde van 12.6 meter in het stormjaar 2020/21 tot 38.0 meter in het stormjaar 2021/22 (Tabel 2.2).

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

Hoogwater (m +NAP)	Frequentie per stormjaar				Gemiddeld
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	
2.1	35	54	29	28	36.5
2.3	15	19	11	18	15.8
2.5	16	11	6	4	9.3
2.7	3	5	2	6	4.0
2.9	5	5	1	7	4.5
3.1	2	2	1	6	2.8
3.3	0	1	0	3	1.0
3.5	0	0	0	2	0.5
3.7	0	1	0	1	0.5
3.9	0	1	0	0	0.3
4.1	1	0	0	1	0.5
Totaal	77	99	50	76	75.5
Gesommeerde hoogte waterkolom (m/jr)	26.9	31.7	12.6	38.0	27.3

3 Methodes

3.1 Ontwateringsstelsel

De monitoring van het ontwateringsstelsel richt zich op de ontwikkeling van doorstroom- of dwarsprofielen van de zwetten. Bij het opnemen van de dwarsprofielen zijn in 2022 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 drooggevalen bodem. Op plekken waar de bodem niet volledig was drooggevalen 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.

Meetnet Klutenplas

De Klutenplas staat via één uitwatering in verbinding met de Dollard. In deze verbinding zijn op drie locaties meetpunten voor een dwarsprofiel ingericht: Meetpunten 12, 13 en 14 in figuur 2.1. Om het effect van de aanleg van de Klutenplas te kunnen beoordelen zijn langs vijf zwetten controlemeetpunten ingericht: meetpunten 1 t/m 6 en 18 t/m 26 (drie per zwet; Fig. 2.2). Omdat de dwarsprofielen op deze meetpunten de afgelopen jaren weinig verandering lieten zien, is de opnamefrequentie van deze profielen na 2020 verlaagd naar eenmaal per twee jaar.

Meetnet Kleirijperij

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

Ook de zwetten VI en VII kunnen door de aanleg van de Kleirijperij zijn beïnvloed. Weliswaar stonden deze zwetten voor de aanleg van de Kleirijperij niet in verbinding met de dijksloot, maar door de aanleg van de Kleirijperij is hun kombergingsgebied aan de voet van de dijk verkleind. 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.

3.2 Kwelderafslag

Om te onderzoeken of de aanleg van de Klutenplas eventueel een effect heeft op de ontwikkeling van de kwelderrand is, na eerdere karteringen in 2017–2020, met dezelfde methode in 2022 als in deze jaren de positie van de kwelderrand opnieuw gekarteerd (DGPS met een nauwkeurigheid van 0.1 m). Het veldwerk is uitgevoerd op 18 en 19 augustus 2022.

3.3 Slibvangst Klutenplas

3.3.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas

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

- a) veranderingen in bodemhoogte, die bijv. kan worden uitgedrukt in centimeters per jaar en
- b) de hoeveelheid ingevangen sediment en die bijv. kan worden uitgedrukt in $\text{kg/m}^2/\text{jaar}$ of ton droge stof per jaar.

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

Bodemhoogte Klutenplas

Door de veranderende omstandigheden in de Klutenplas is voor de monitoring van de bodemhoogte van de Klutenplas noodgedwongen een aantal keer op een andere methode overgestapt (Esselink *et al.* 2022). Hierbij is in de eerste drie jaar de bodemhoogte van de plas twee keer per jaar gebiedsdekkend opgenomen. Daarna is de opnamefrequentie verlaagd naar eenmaal per jaar. In 2022 is net als in 2020 en 2021 met behulp van een rtk-drone een gebiedsdekkende hoogteopname uitgevoerd. Evenals tijdens twee voorgaande metingen is tegelijkertijd met de dronevlucht met behulp van een Total Station de hoogte ingemeten van een aantal referentiepunten op de kwelder, zodat de hoogtes geverifieerd en gecorrigeerd konden worden. Door de afgenomen waterbedekking in de Klutenplas ontbrak in 2022 de noodzaak voor het inmeten van aanvullende punten in de plas met behulp van een Total Station.

Conform de voorgaande jaren, is de analyse van de bodemverandering beperkt tot het deel van de plas met een min of meer vlakke bodem, *i.e.* het gedeelte tussen de onderinsteek van de buitenrand van de plas tot aan het vossenraster (de onderinsteek is gedefinieerd als de knik tussen de vlakke bodem en het schuinoplopende deel van de oever of het talud). Voor de analyse van de verandering in bodemhoogte is gebruik gemaakt van het softwarepakket ET Surface 7.0 (<https://www.ian-ko.com/ETSurface.html>).

Slibhoogte Meetbrug

Sinds eind 2019 valt de Klutenplas praktisch elke laagwaterperiode droog. Dit maakt het relatief eenvoudig om de hoogte van het afgezette sediment boven de sedimentatieplaten te meten door de platen met een gekalibreerde meetstok aan te prikken en de lengte van het in het slib verdwenen deel van de stok af te lezen. In 2022 zijn deze metingen voortgezet met dezelfde frequentie als in 2020 en 2021 (ongeveer eenmaal per twee maanden).

Analyse relatie hoogteontwikkeling – getijdynamiek

Voor beantwoording van de vraag uit het monitoringsplan wat de invloed is van storm en seizoen op de slibhuishouding in de Klutenplas (meetvraag K3 in tekstkader 1.1) zijn op basis van gegevens t/m augustus 2021 door Esselink *et al.* (2022) de relaties onderzocht tussen de hoogteontwikkeling van de Klutenplas en de overstromingsfrequentie en opgetreden waterdieptes. Aangevuld met de gegevens

t/m augustus 2022 zijn deze analyses herhaald, zowel op basis van de gemiddelde verandering van de bodemhoogte in de plas als op basis van de dikte van de geaccumuleerde sliblaag boven de sedimentatieplaten bij de meetbrug.

3.3.2 Sedimentbemonstering Klutenplas

In 2022 is, op basis van het in 2021 uitgevoerde onderzoek met vier verschillende bemonsteringsinstrumenten, de procedure van de sedimentbemonstering in de Klutenplas opnieuw aangepast. Er is gebruik gemaakt van een Vrijwitboor met een werk lengte van 1.75 meter (Fig. 3.1A). Een Vrijwitboor is een rechthoekige steekbuis met een kegervormige uitloop (onderaan smal, bovenaan breder). Een Vrijwitboor bestaat uit twee roestvrijstalen delen: (a) een kegervormige deel met een oplopend U-profiel (langzaam oplopende zijwanden) en (b) een schuif waarmee het U-vormige deel wordt gesloten. De gebruikte boor had een binnenmaat van 8.8×4.0 cm aan het smalle uiteinde en 8.8×7.8 cm bovenaan de boor.

Tijdens de bemonstering (5 sept 2022) had de sliblaag boven de sedimentatieplaten een gemiddelde dikte van bijna 115 centimeter bereikt. Dit is bij het nemen van de monsters als gewenste steekdiepte gehanteerd. Na het ophalen en openen van een volle boor zijn vanaf een diepte van 10 cm onder het oppervlak, met een h.o.h. afstand van 20 centimeter met behulp van pF ringen (RVS-steekringen met een vast volume van 100 cc: $\text{Ø } 5.05$ cm en 5 cm hoog) deelmonsters verzameld (Fig. 3.1B). Onderaan de boor waren de pF-ringen te hoog en is met kleinere RVS-steekringen gewerkt met een inhoud van 62.92 cc ($\text{Ø } 4.84$ cm en 3.42 cm hoog). Langs de zuidzijde van de meetbrug zijn vijf boringen verricht; per boring zijn zes deelmonsters verzameld.



Figuur 3.1 (A) Vrijwitboor met ongestoorde boorkern van 115 centimeter uit de Klutenplas na het verwijderen van de afsluitende schuif. (B) het nemen van deelmonsters met behulp van RVS-steekringen.

De monsters zijn in de steekringen naar het laboratorium vervoerd en daar binnen twee dagen verder verwerkt. Voor de berekening van de natte en droge bulkdichtheid van het sediment is van alle monsters het nat- en drooggewicht bepaald met een nauwkeurigheid van 0.01 gram. Voor de bepaling van het drooggewicht zijn de monsters 24 uur lang gedroogd bij 105°C.

3.3.3 Zetting

Op 2 september 2021 is voor een tweede maal een extra markeerhorizont aangebracht in de meetveldjes langs de meetbrug (Tabel 2.1). Op 5 september 2022 is de diepte van deze horizont bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van een gutsboor met een werklengte van twee meter (één boring per veldje). Van alle drie horizonten is de diepte van zowel de boven- als de ondergrens onder het oppervlakte gemeten, zodat ook de onderlinge afstanden tussen de horizonten zijn vastgelegd. In 2021 is dit minder goed vastgelegd. Op basis van de dikte van de sedimentlaag boven de sedimentatieplaten en de ingemeten hoogte van de platen in de uitgangssituatie, is de bodemhoogte van de veldjes berekend en daaruit de positie van de markeerhorizonten ten opzichte van NAP als vast referentievlak.

De opgetreden zetting tussen september 2021 en september 2022 in de tot september 2021 afgezette sedimentlaag is geschat op basis van de bodemhoogte in 2021 en de positie van de tweede markeerhorizont in 2022.

3.3.4 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 2022 is de diepte van de platen tweemaal opgenomen, namelijk op 11 maart en 24 augustus.

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

3.4 Vegetatie

Voor het monitoringsonderzoek naar de effecten van de verschillende ingrepen op de vegetatie zijn in en rond de Klutenplas drie groepen van elk tien pq's uitgezet (Esselink *et al.* 2018):

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

Omdat de plas in 2022 nog geheel onbegroeid bleef, zijn deze pq's in 2022 niet opgenomen. Door de wisselingen in het kwelderbeheer rondom de Klutenplas (zie § 2.1) zijn in 2022 de controle pq's rond de plas evenmin opgenomen.

In 2022 was op het broedeiland het tweede jaar van een beheerexperiment. Het effect van de twee beheervormen (maaien en afvoeren *versus* maaien en afvoeren gevolgd door een grondbewerking) op de vegetatie is gevolgd op basis van de tien op het eiland gelegen pq's (vijf per beheerregime). Hierbij wordt de vegetatie in de pq's beschreven is op basis van de bedekking en abundantie van de aanwezige soorten. Hiervoor is gebruik gemaakt van de decimale schaal van Londo (1976; Tabel 3.1),

en waarbij de bedekking van de aanwezige plantensoorten op het oog wordt geschat. 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		

4 Resultaten

4.1 Ontwateringsstelsel

4.1.1 Ontwatering Klutenplas

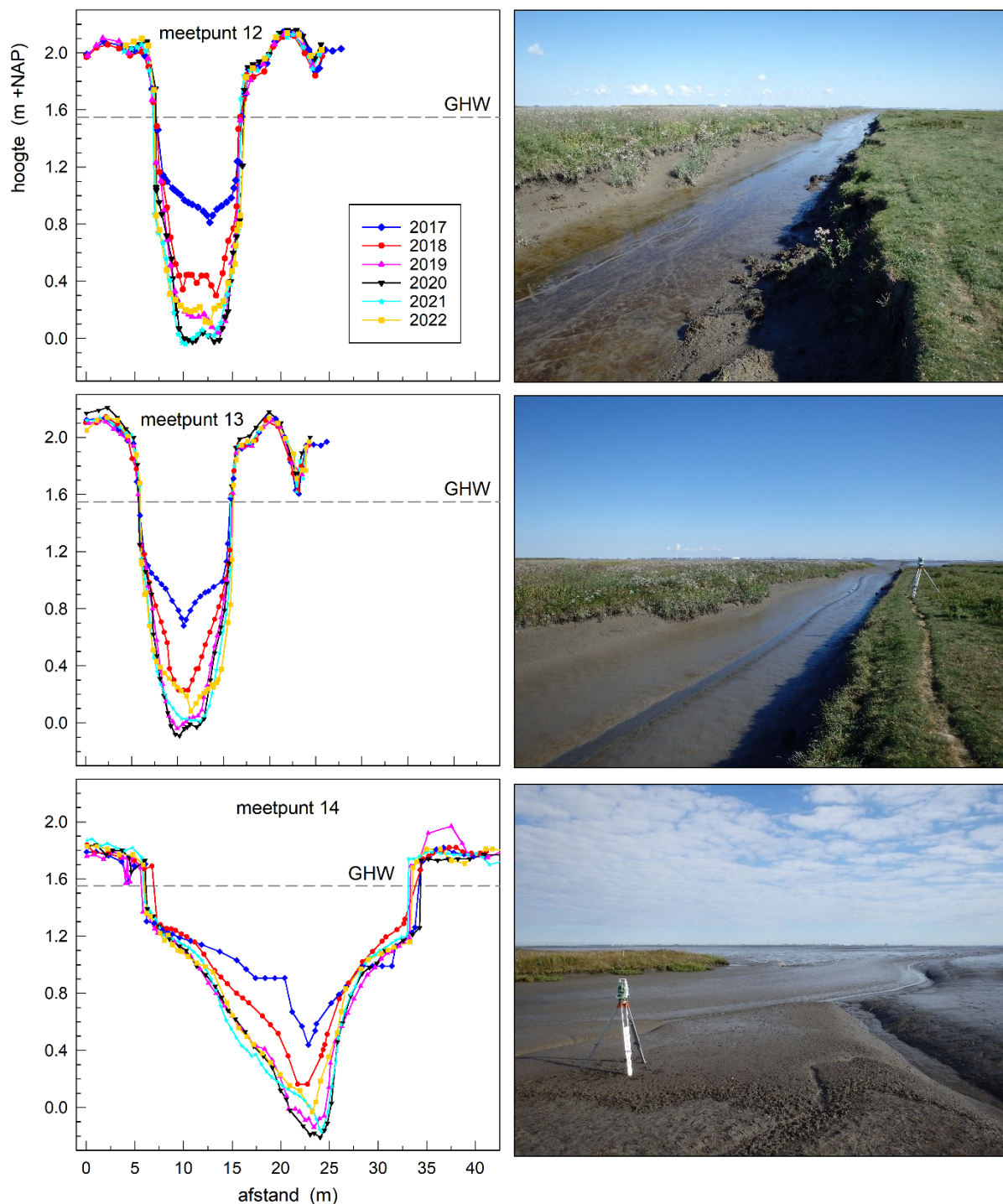
Figuur 4.1 geeft de ontwikkeling van de dwarsprofielen in de verbinding van de Klutenplas met de Dollard van de nulmeting in 2017 tot en met 2022; tabel 4.1 geeft de verschillen ten opzichte van de 2017. Figuur 4.2 geeft een vergelijking van de ontwikkeling van de bodemhoogte en de grootte van de dwarsprofielen in de verbinding van de Klutenplas met de Dollard met de controlezwetten. Bijlage I geeft de ontwikkeling van de dwarsprofielen in de controlezwetten. Tabel 4.2 geeft voor de dwarsprofielen van de controlezwetten de verschillen tussen 2022 en de nulmeting van 2017.

Tabel 4.1 Verschillen in de dwarsprofielen van de verbinding tussen de Klutenplas en de Dollard tussen september 2022 en de nulmeting in oktober 2017. De dwarsdoorsnede geeft de verandering van het dwarsprofiel onder het niveau van GHW aan. Zie ook figuur 4.1.

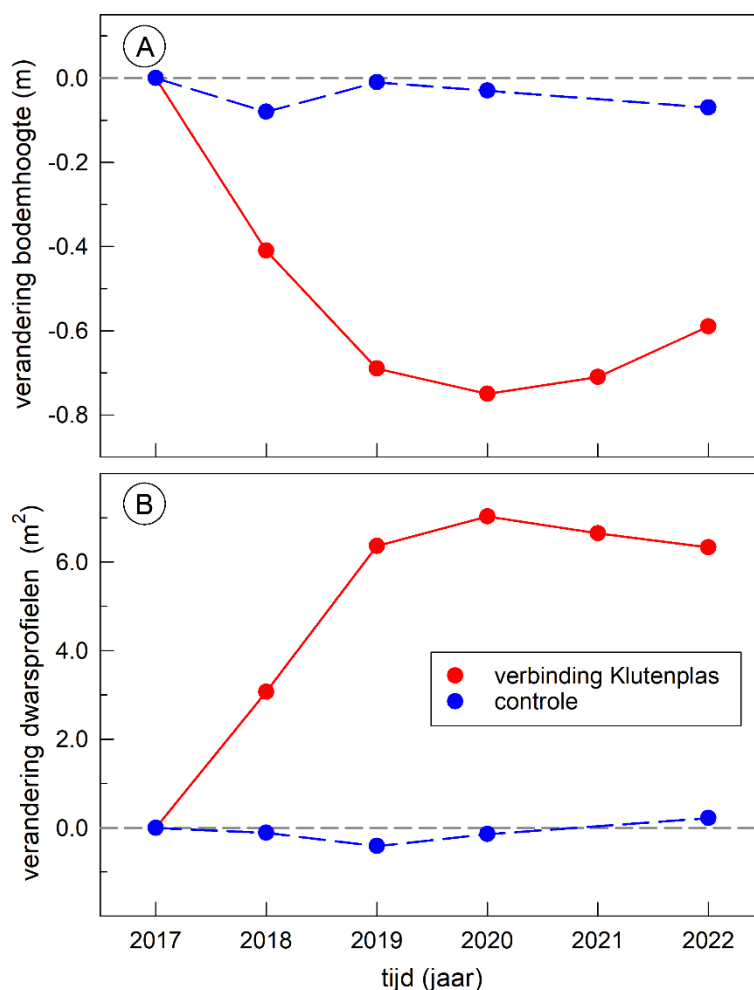
Meetpunt	Breedte (m)	Bodemhoogte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
			(m ²)	(%)
12	-0.6	-0.70	6.4	139
13	0.2	-0.59	5.8	98
14	-0.8	-0.47	6.8	43
Gemiddeld	-0.4	-0.59	6.3	93

Tabel 4.2 Verschillen tussen 2022 en de nulmeting in 2017 in de dimensies van de dwarsprofielen in de controlezwetten tussen 2022 en de nulmeting in 2017. 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 2022. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.

Zwet	Meetpunt	Breedte (m)	Bodemhoogte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
				(m ²)	(%)
I	1	-0.1	0.09	-0.3	-15
I	2	0.2	0.02	-0.4	-12
I	3	-0.8	0.20	-0.8	-22
II	4	-0.6	-0.08	-0.4	-36
II	5	1.8	-0.15	-0.1	-7
II	6	0.5	-0.02	-0.2	-7
III	18	-0.3	0.03	-0.9	-21
III	19	-0.1	-0.05	-0.4	-6
III	20	2.1	-0.18	1.0	5
IV	21	-1.3	-0.09	0.8	13
IV	22	0.3	-0.29	1.7	13
IV	23	-0.1	-0.24	-0.6	-3
V	24	-0.8	-0.01	0.2	5
V	25	-0.5	-0.07	1.4	10
V	26	2.1	-0.17	2.2	12
Gemiddeld	dijkwaarts	-0.6	-0.01	-0.1	-11
	midden	0.4	-0.11	0.5	0
	monding	0.7	-0.08	0.3	-3



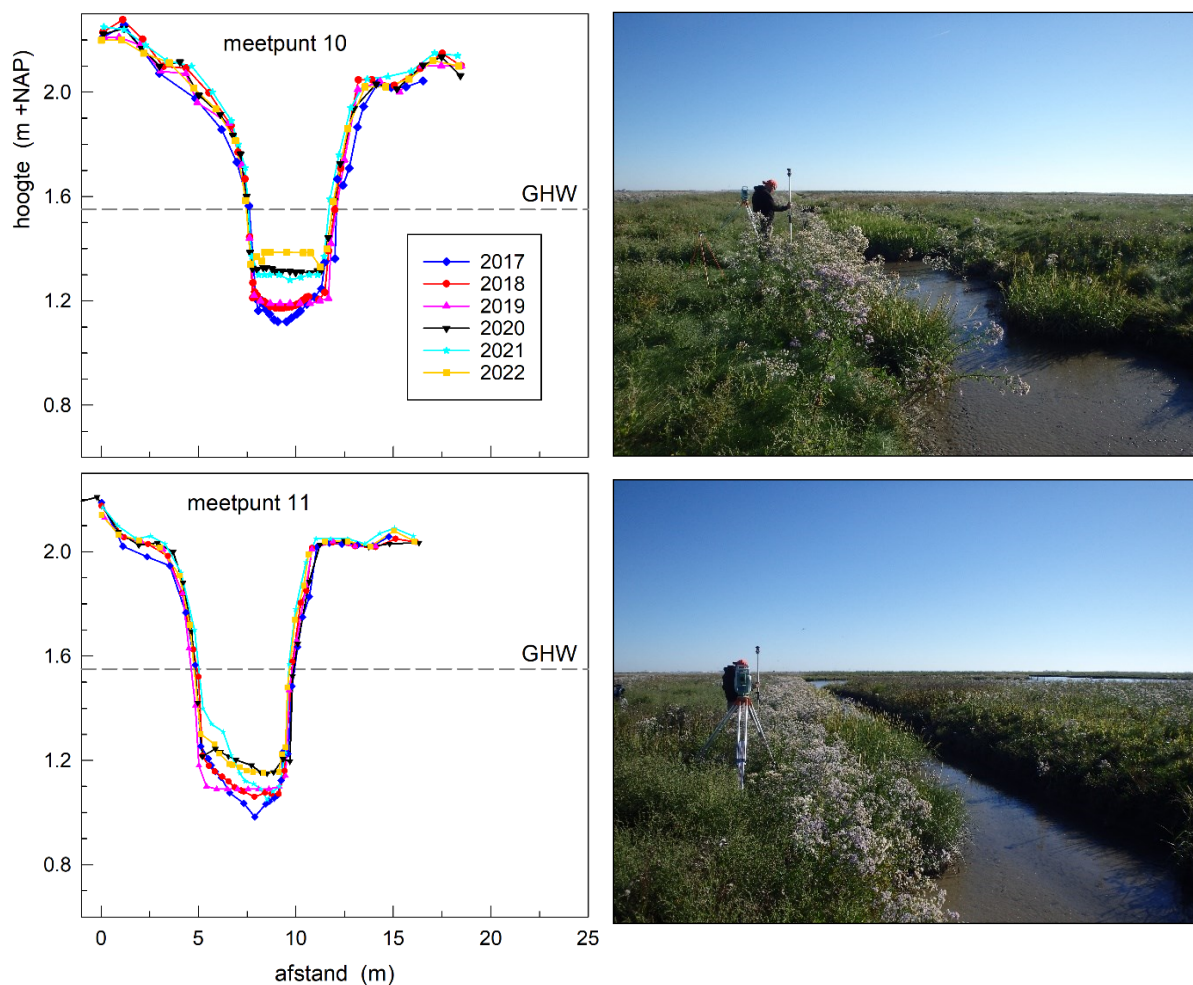
Figuur 4.1 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 12 – 14 in de verbinding van de Klutenplas met de Dollard van voor aanleg van de plas (2017) tot vijf jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater (GHW) in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. De foto's rechts geven een beeld van de meetlocaties in de nazomer van 2022. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.



Figuur 4.2 De cumulatieve veranderingen van (A) de bodemhoogte en (B) de grootte van de dwarsprofielen onder het niveau van GHW ten opzichte van de Ausgangssituatie in de verbinding tussen Klutenplas en Dollard (gemiddelde van de meetpunten 12 – 14) in de periode 2017 – 2022 en in de controlezwetten (gemiddelde van alle meetpunten langs de zwetten I – V in fig. 2.2). In 2021 zijn de profielen van de controlezwetten niet opgenomen.

4.1.2 Effecten ontwatering Kleirijperij

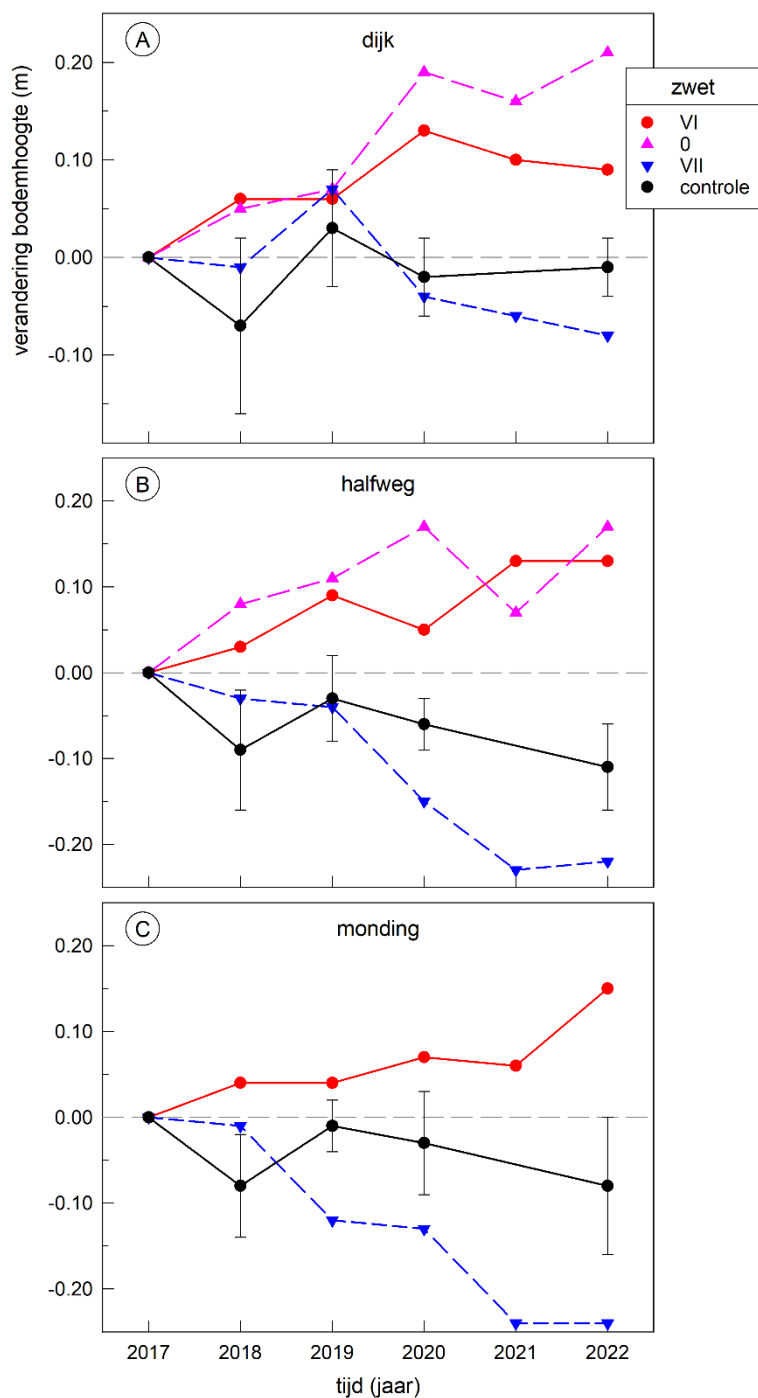
Figuur 4.3 geeft de ontwikkeling van de dwarsprofielen in het bovenstroomse deel van de zwet door de Klutenplas en de kleirijperij. Tabel 4.3 voor deze profielen de verschillen in dimensies tussen 2022 en 2017, alsmede voor de twee zwetten die mogelijk eveneens door de aanleg van kleirijperij zijn beïnvloed. Figuur 4.4 vergelijkt de verandering in bodemhoogte sinds de nulmeting in deze drie zwetten met de verandering in bodemhoogte van de controlezwetten.



Figuur 4.3 Ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 10 en 11 tussen de Klutenplas en de kleirijperij van het jaar voor de aanleg van de Klutenplas en kleirijperij (2017) tot vijf 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 de nazomer van 2022. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.

Tabel 4.3 Verschillen tussen 2022 en de nulmeting in 2017 in de dimensies van de dwarsprofielen in de zwetten die door de aanleg van de kleirijperij de verbinding met de dijksloot hebben verloren (Zwet 0) of waarvan het kombergingsgebied bij de dijkvoet is verkleind. De dwarsdoorsnede geeft de verandering van het dwarsprofiel onder het niveau van GHW aan. Bijlage I geeft voor zwetten VI en VII de ontwikkeling van de opgenomen profielen in de loop van de tijd met een foto van elk meetpunt in 2022. Figuur 2.1 geeft een kaartje met de ligging van alle meetpunten.

Zwet	Meetpunt	Breedte (m)	Bodemhoogte (m)	Dwarsdoorsnede (<GHW)	
				(m ²)	(%)
0	10	-1.2	0.21	-0.8	-56
0	11	-0.9	0.17	-0.3	-18
VI	7	-1.4	0.09	0.0	
VI	8	-1.3	0.13	-0.1	-13
VI	9	3.4	0.15	-0.7	-26
VII	15	-0.3	-0.08	0.6	20
VII	16	-0.7	-0.22	0.9	16
VII	17	-0.2	-0.24	0.9	12



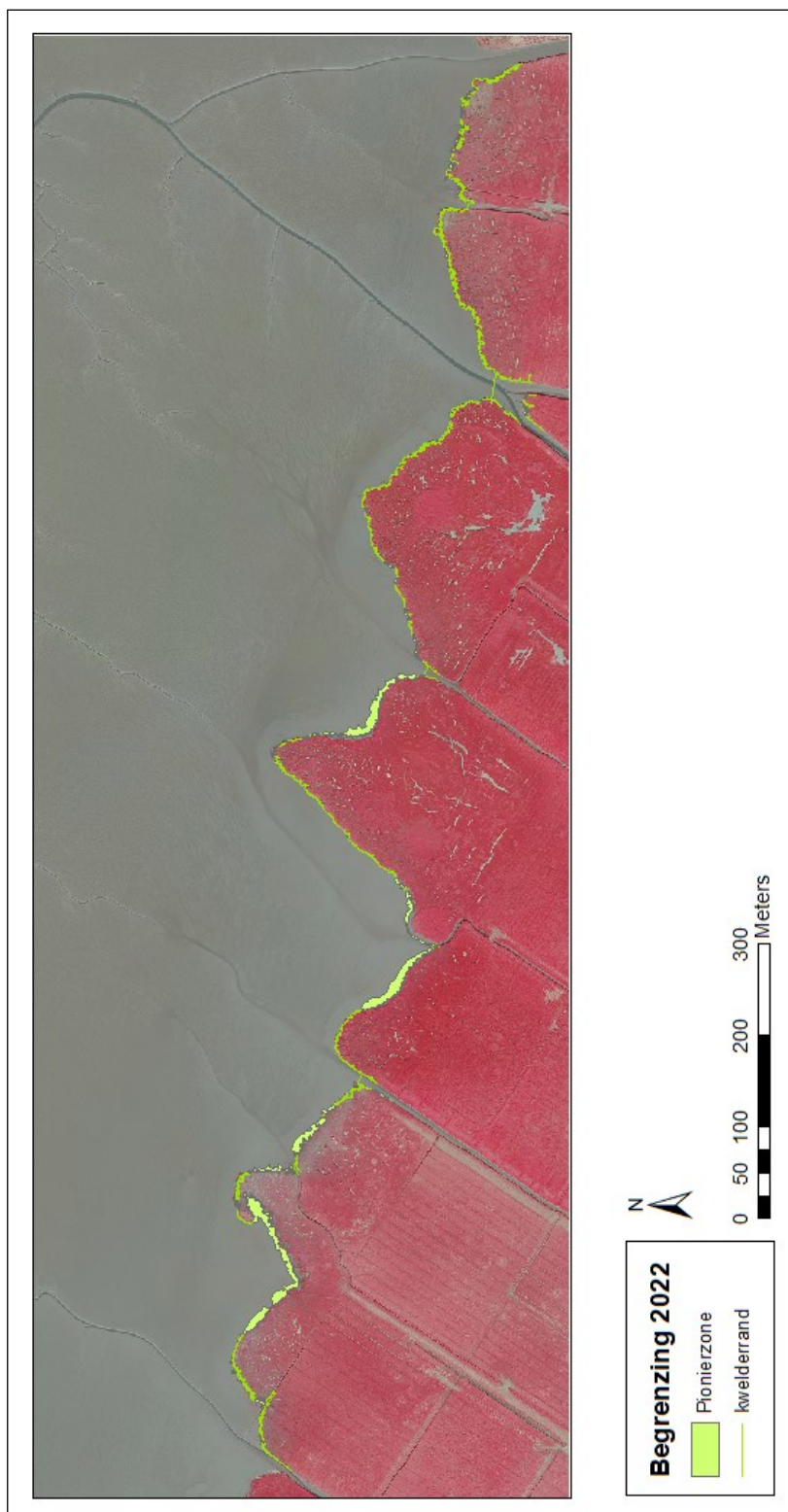
Figuur 4.4 Vergelijking van de cumulatieve verandering in bodemhoogte van de drie zwetten die door aanleg van de kleirijperij de verbinding met de dijksloot hebben verloren (zwet 0 in Fig. 2.2) of waarvan het kombergingsgebied bij de voet van de dijk door deze ingreep is verkleind (zwetten VI en VII)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

4.2 Kwelderafslag

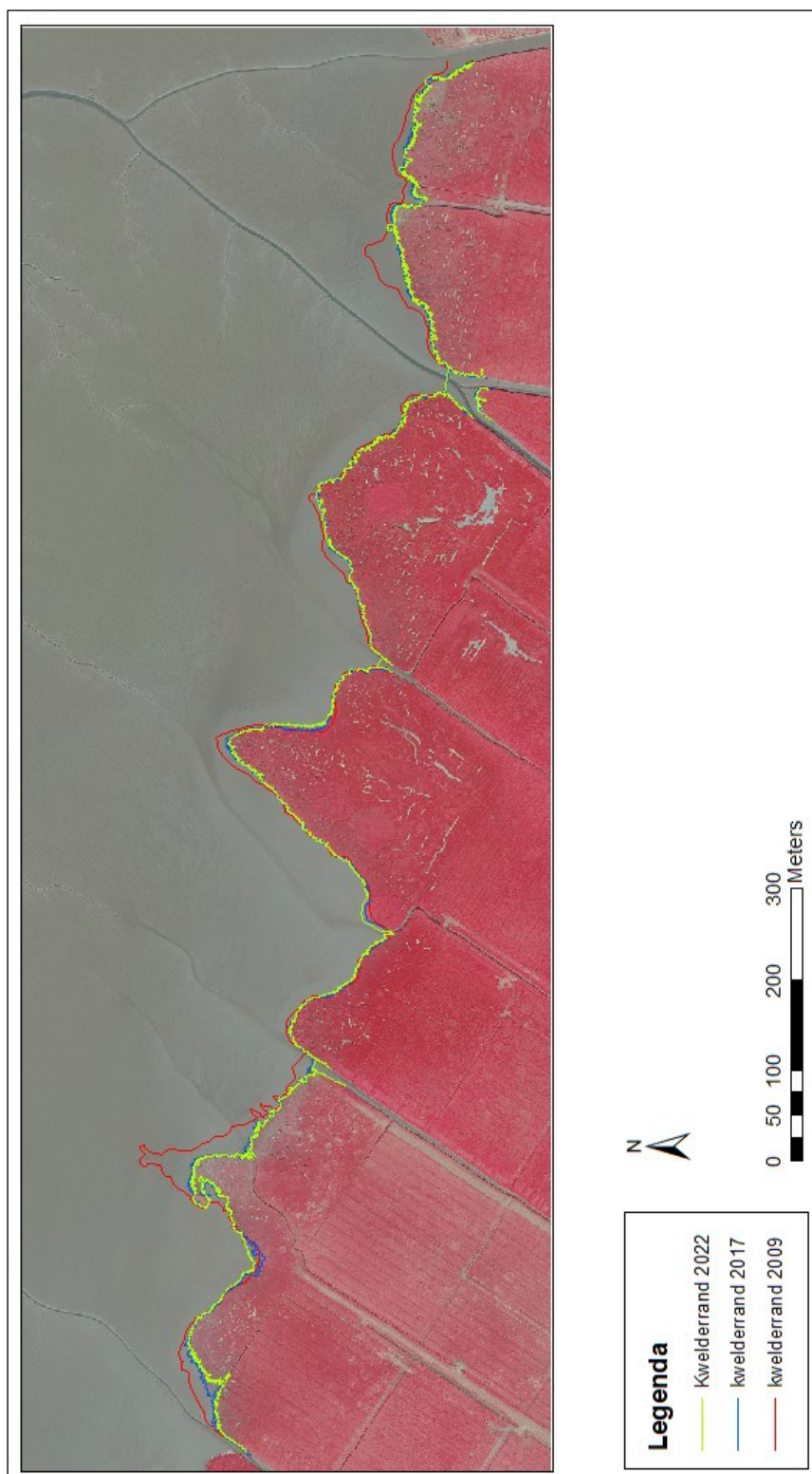
Evenals in 2018 – 2020, was langs een deel van de kwelderrand een smalle pionierzone aanwezig (Fig. 4.5). Figuur 4.6 vergelijkt de ligging van de kwelderrand in 2009, 2017 en 2022. Tussen 2017 en 2022 hielden in het studiegebied aangroei en afslag van de kwelder elkaar vrijwel in evenwicht (Tabel 4.4). Figuur 4.7 geeft de verschuiving van de kwelderrand sinds 2017 in het mondingsgebied van de Klutenplas en gekozen controlegebied er omheen en een vergelijking met de referentieperiode 2009 – 2017.

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 vier jaar erna (2018 – 2022).

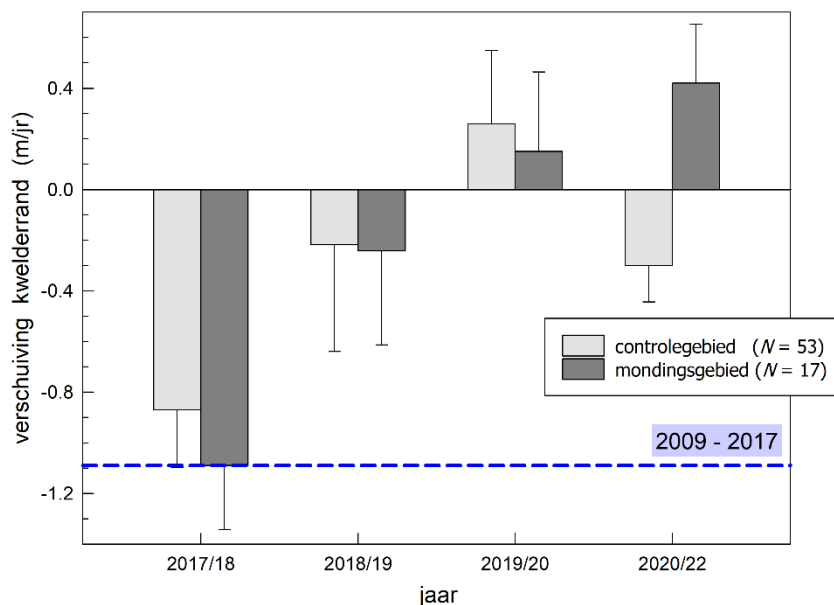
Periode	Aanwas (ha)	Afslag (ha)	Netto verandering	
			totaal (ha)	per jaar (ha/jr)
2009 – 2017	0.07	1.21	-1.14	-0.14
2017 – 2018	0.02	0.11	-0.09	-0.09
2018 – 2019	0.07	0.07	-0.00	-0.00
2019 – 2020	0.10	0.08	0.02	0.02
2020 – 2022	0.16	0.10	0.06	0.03



Figuur 4.5 Het voorkomen van pioniervegetatie voorlangs de kwelderrand in 2022. De achtergrond is een false-colour luchtfoto uit 2018.



Figuur 4.6 De ligging van de kwelderrand in 2009, 2017 en 2022. De achtergrond is een false-colour luchtfoto uit 2018. Uit visuele overwegingen is de kwelderrand van 2018, 2019 en 2020 niet weergegeven.



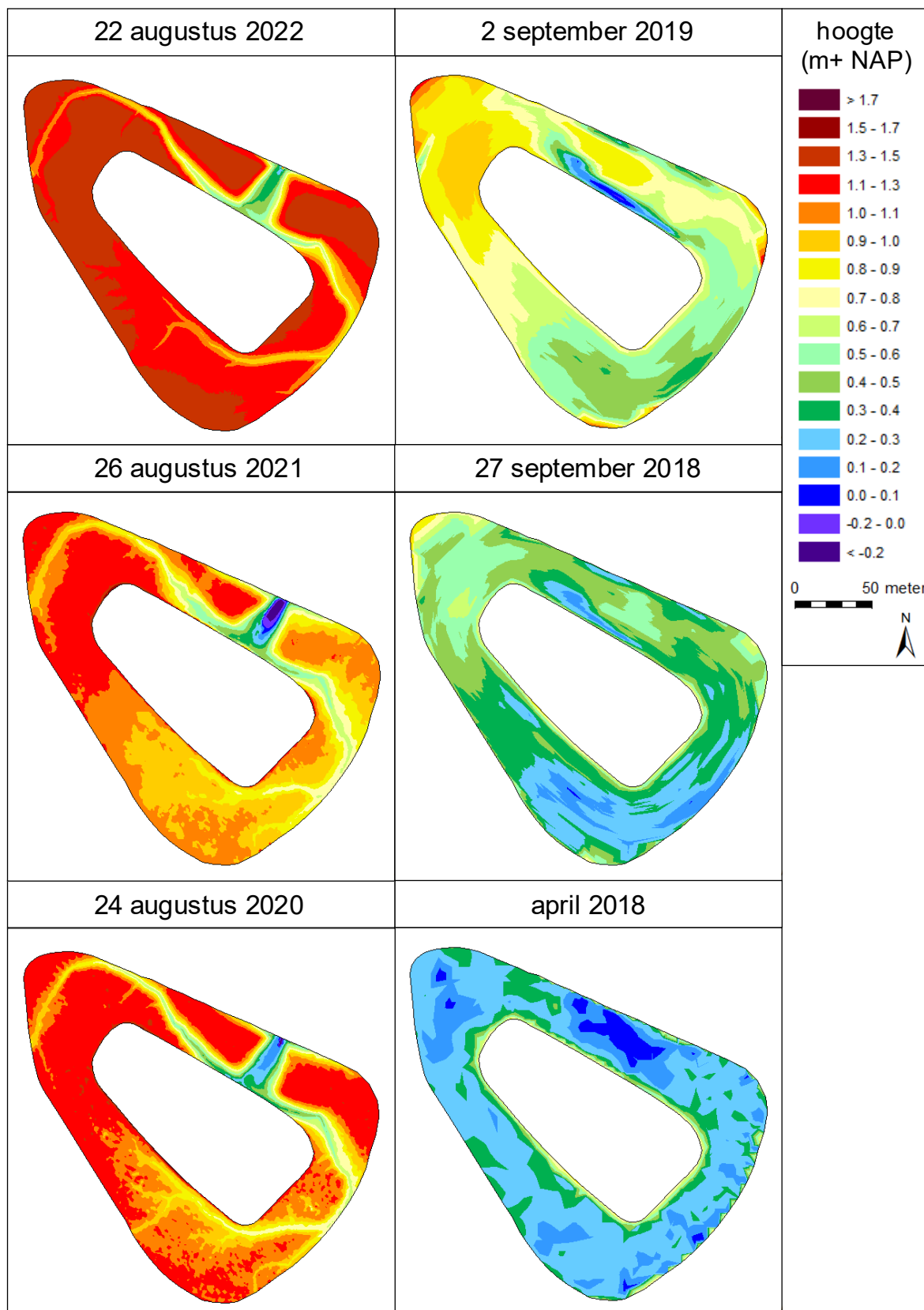
Figuur 4.7 De verschuiving (gemiddelde met standaardfout) van de kwelderrand op vaste raaien loodrecht op de dijk in het controle- en het mondingsgebied van de Klutenplas in de eerste vijf jaar na de nulmeting. De onderbroken blauwe lijn geeft de gemiddelde afslag in het studiegebied over de periode 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. N = aantal raaien per deelgebied.

4.3 Opslibbing

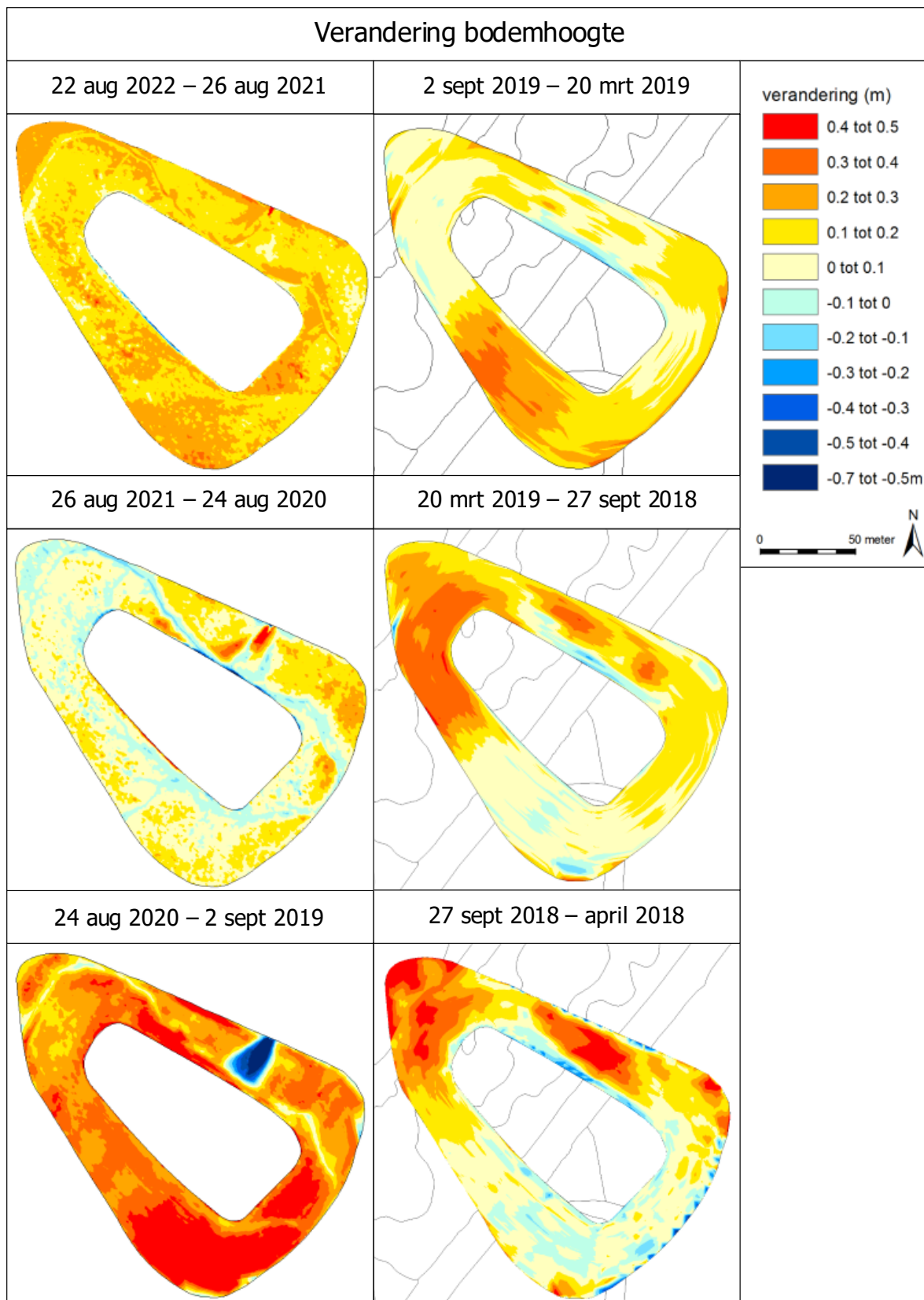
4.3.1 Hoogteontwikkeling Klutenplas

Hoogteontwikkeling bodem

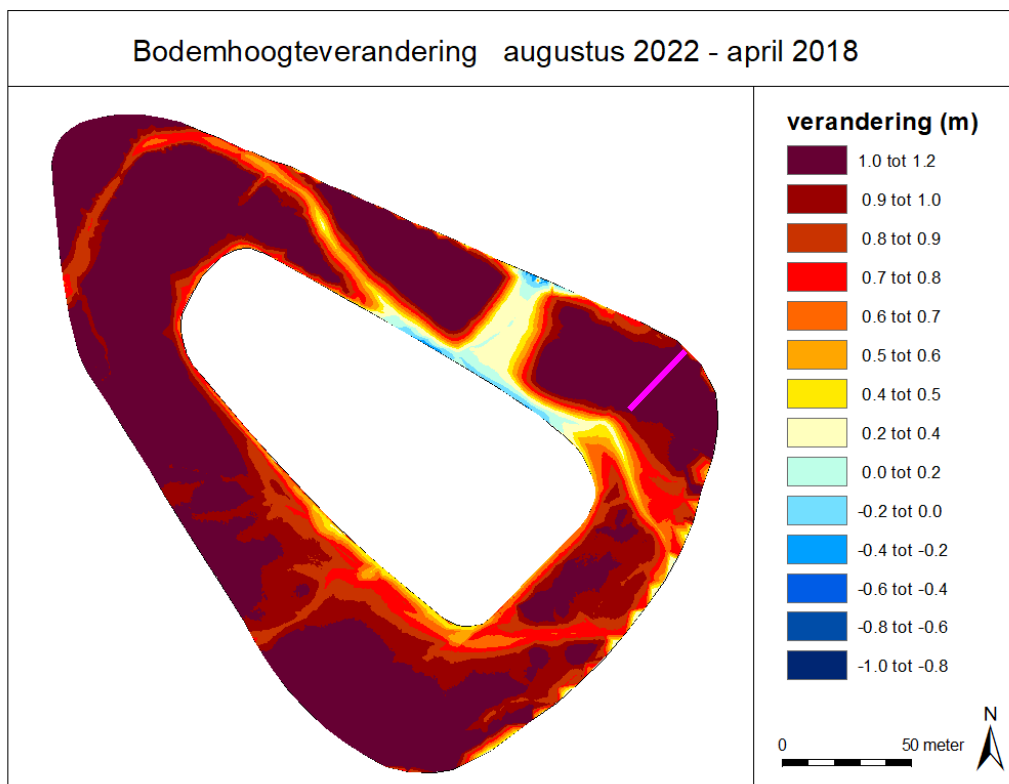
Figuur 4.8 geeft de ontwikkeling van de bodemhoogte van april 2018 tot 22 augustus 2022; figuur 4.9 geeft de verandering in bodemhoogte sinds april 2018, tot september 2019 uitgesplitst in drie tijdstappen van een halfjaar, gevolgd door drie periodes van een jaar. Figuur 4.10 geeft een kaartje van de totale hoogteverandering over de gehele periode van april 2018 tot augustus 2022. Figuur 4.11 vergelijkt de cumulatieve hoogteverandering in de plas met de ontwikkeling van de dikte van de sliblaag bodem de sedimentatieplaten langs de meetbrug.



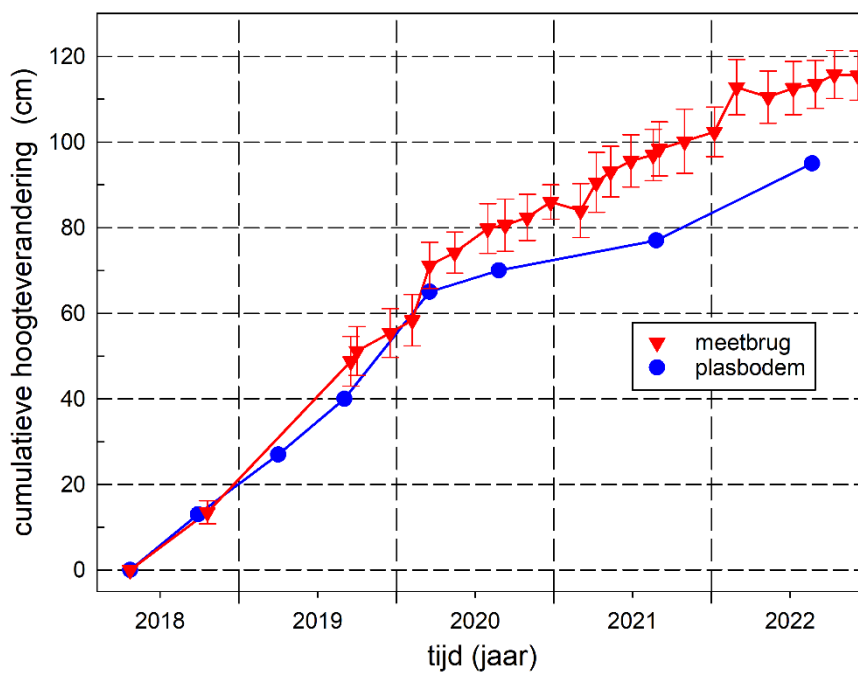
Figuur 4.8 Ontwikkeling van de bodemhoogte in de Klutenplas vanaf het moment dat de Klutenplas onder de dagelijkse invloed van het getij kwam in april 2018 (rechtsonder) tot 22 augustus 2022. De buitengrens van de hoogtekartjes wordt gevormd door de onderinsteek van de buitenoever bij aanleg; de binnengrens door het vossenraster van het broedeiland.



Figuur 4.9 Verandering in bodemhoogte van de Klutenplas sinds de oplevering in april 2018 uitgesplitst over drie periodes van een half jaar (april 2018 – sept 2019) en drie periodes van een jaar (sept 2019 – aug 2022).



Figuur 4.10 Verandering in bodemhoogte van de Klutenplas in de eerste 40 maanden na blootstelling van de plas aan het getij (periode 23 april 2018 – 22 augustus 2022). De magenta lijn geeft de positie van de meetbrug

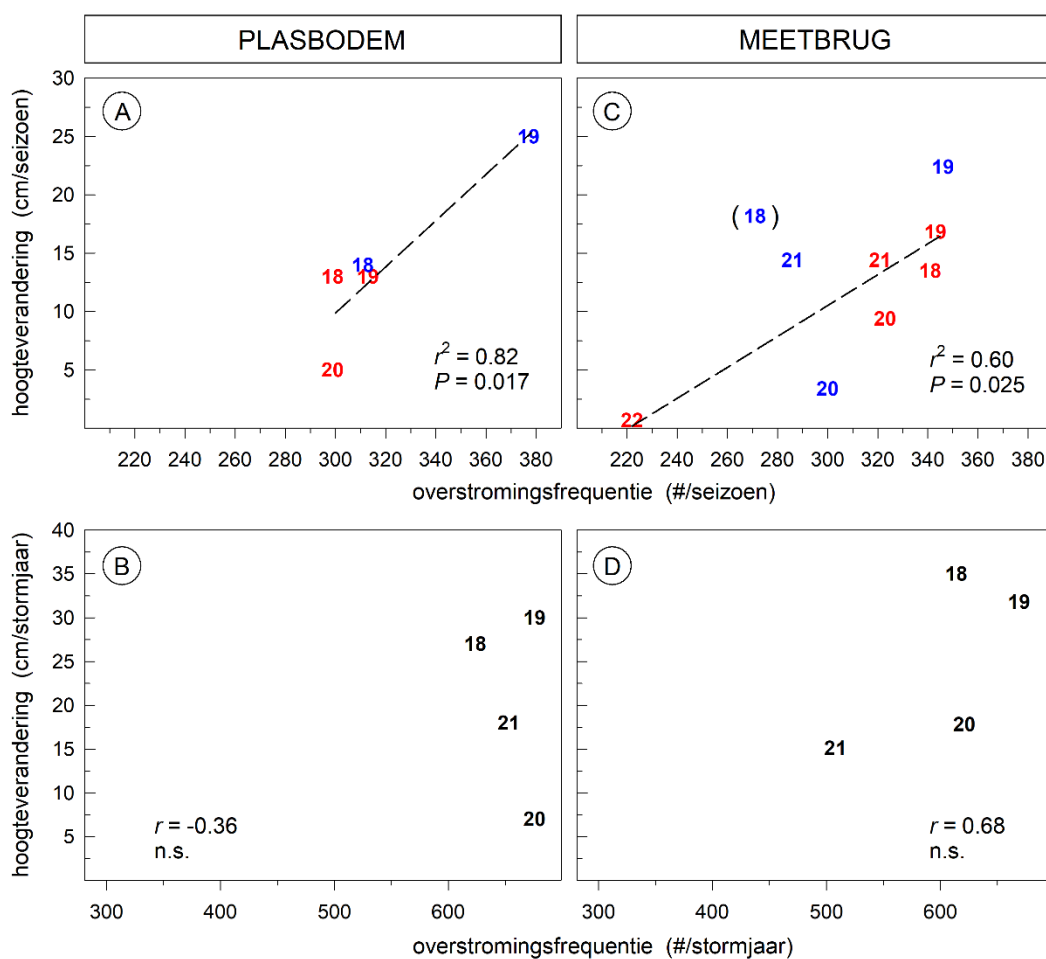


Figuur 4.11 De cumulatieve hoogteverandering in de Klutenplas van april 2018 tot eind 2022. De blauwe lijn geeft de gemiddelde verandering in de hele plas; de rode lijn geeft de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten langs de meetbrug (gem. \pm standaarddeviatie).

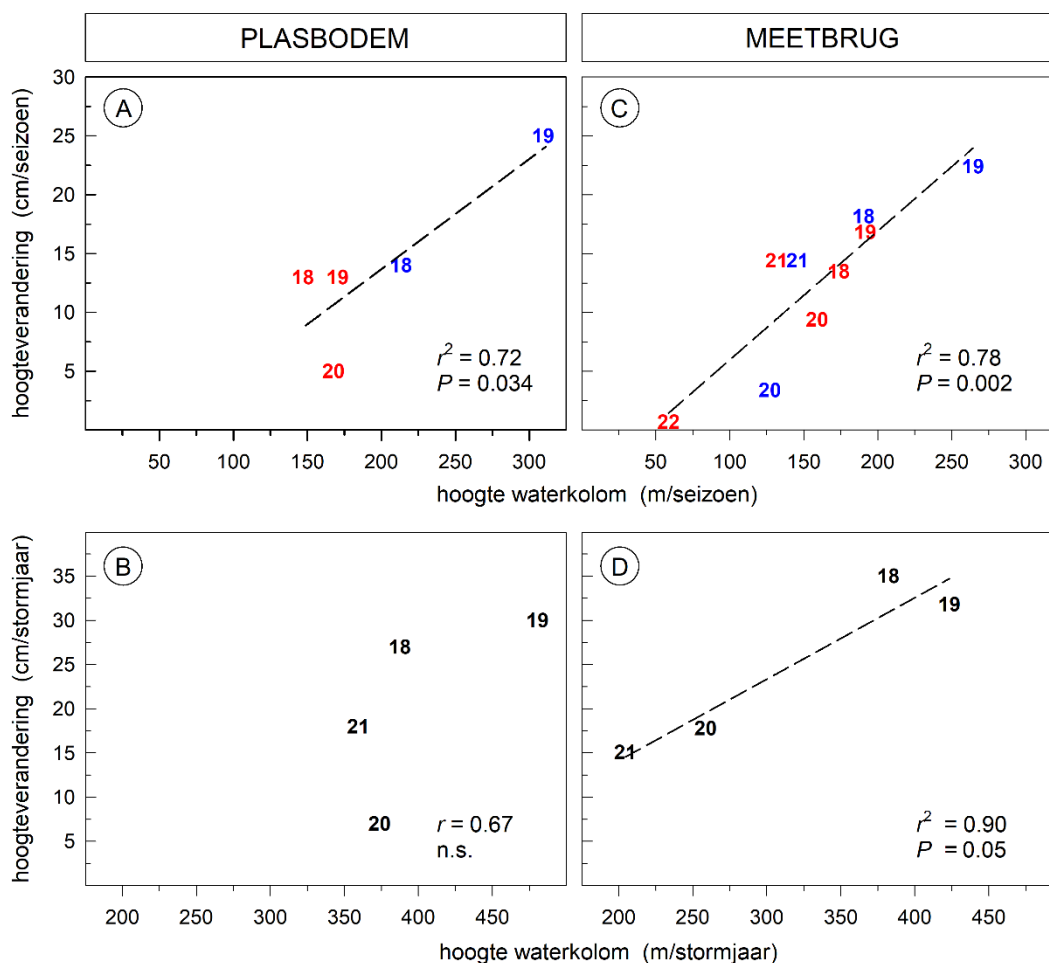
Relatie hoogteontwikkeling – getijdynamiek

Figuren 4.12 geeft de hoogteverandering in de Klutenplas per zomer- of winterhalfjaar en per stormjaar in relatie tot de overstromingsfrequentie op basis van de gemiddelde hoogte in de hele plas (panelen AB) en op basis van de dikte van de geaccumuleerde sliblaag boven de sedimentatieplaten bij de meetbrug (panelen CD). Bij de meetbrug vormt de hoogteverandering in de winter van 2018/2019 een sterk afwijkende waarde in vergelijking tot de overige waarden en is dit punt daarom niet meegenomen in de regressieanalyse (Esselink *et al.* 2022).

Analoog aan figuur 4.12, geeft Figuur 4.13 geeft de hoogteverandering in de Klutenplas als relatie van de gesommeerde hoogte van de waterkolom boven de plasbodem per zomer- of winterhalfjaar en per stormjaar.



Figuur 4.12 De hoogteverandering in de Klutenplas in relatie tot de overstromingsfrequentie (A) in de hele plas in zomer- (rood) en winterhalfjaar (blauw) gecombineerd en (B) per stormjaar; (C) bij de meetbrug op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten in zomer en winter en (D) per stormjaar. Via de labels kunnen de veranderingen door de tijd worden gevolgd: Afhankelijk van de kleur geeft '18' de periode mrt 2018 t/m aug 2018, sept 2018 t/m febr 2019 of sept 2018 t/m aug 2019 voor respectievelijk zomerhalfjaar, winterhalfjaar en stormjaar, *etc.* Doordat met ingang van 2021 de plasbodem alleen nog in de nazomer wordt opgenomen geeft figuur A alleen de hoogteveranderingen over de periode april 2018 – augustus 2020. r = lineaire correlatiecoëfficiënt; P = kritische waarde van r in een éézijdige toets. Bij de meetbrug is de hoogteverandering in de winter van 2018 als uitbijter beschouwd en buiten de regressieanalyse gehouden (paneel C).

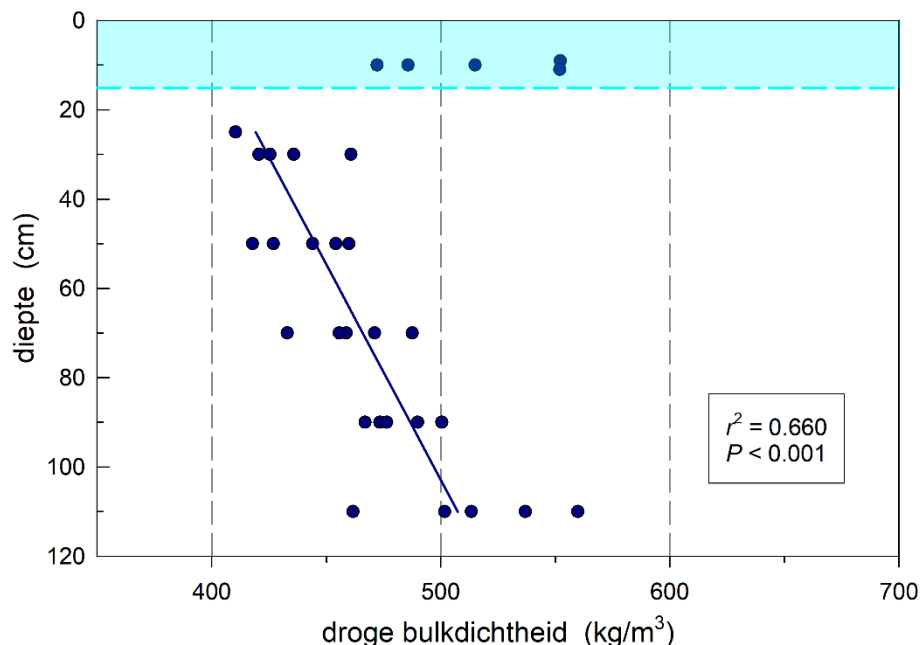


Figuur 4.13 De hoogteverandering in de Klutenplas in relatie tot de cumulatieve hoogte van de waterkolom van de getijden boven het niveau van de drempel dan wel van de bodem van de plas na het verval van de drempel in het najaar van 2019 (A) per zomer- (rood) en winterhalfjaar (blauw) in de hele plas (B) per stormjaar in de hele plas; (C) langs de meetbrug op basis van de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten in zomer en winter en (D) per stormjaar. Zie figuur 4.12 voor verdere toelichting.

4.3.2 Sedimentatie en slibinvang

Bulkdichtheid van het sediment en diepte

Figuur 4.14 geeft de resultaten van de sedimentbemonstering met de Vrijwitboor in september 2022. Bovenin de geaccumuleerde sliblaag had de droge bulkdichtheid (DBD) een hogere waarde dan op iets grotere diepte. Door de afnemende overstromingsfrequentie en langere droogligtijd heeft indroging van de toplaag plaatsgevonden en is deze laag compacter dan het dieper gelegen sediment. Onder de toplaag liet de DBD een positief verband zien met de diepte. Dit verband zal het gevolg zijn van zetting, of te wel de druk van het bovenliggende sediment (Bartholdy *et al.* 2010). Op basis van de deelmonsters langs het diepteprofiel, geeft tabel 4.5 de gemiddelde dichtheden (nat en droog) van de geaccumuleerde sliblaag in de Klutenplas. Door het verschil in omstandigheden en gebruikte bemonsteringsapparatuur kan een vergelijking met voorgaande alleen met het nodige voorbehoud worden gemaakt (tabel 4.6). In 2022 vielen zowel de natte – als droge dichtheid binnen de variatiebreedte van de voorgaande jaren. De opvallende lage spreiding in 2022 kan worden gezien als positief resultaat van de aanpassingen in de bemonsteringsprocedure.



Figuur 4.14 De relatie tussen de droge bulkdichtheid (DBD) in de afgezette sliblaag van de Klutenplas en de bemonsteringsdiepte op 5 september 2022. De figuur is gebaseerd op met steekringen genomen deelmonsters uit boorkernen van de Vrijwitboor (Fig. 3.1). Door de hoogteontwikkeling van de plasbodem is de overstromingsfrequentie en -duur afgenomen. Hierdoor heeft indroging van de oppervlaktelaag plaats gevonden als gevolg waarvan de dichtheid boven in het profiel hoger is. De gekleurde laag van 0 – 15 cm komt overeen met de toename van de dikte van de sliblaag in een jaar tijd (*i.e.* sinds sept. 2021). De deelmonsters uit deze laag zijn buiten beschouwing gelaten in de regressieanalyse van de overige punten. Om grafische redenen is diepte als onafhankelijke variabele uitgezet langs de verticale as, terwijl de DBD als afhankelijke variabele is uitgezet langs de horizontale as. r = lineaire correlatiecoëfficiënt; P = kritische waarde van r .

Tabel 4.5 Resultaten van de bemonstering van de geaccumuleerde sliblaag rond de meetbrug buiten de vijf meetveldjes met markeerhorizont op basis van deelmonsters uit een boorkern van een Vrijwitboor ($N=6$; vgl. Fig. 4.14). Aangenomen is dat deelmonsters tot op een diepte van 115 cm volledig afkomstig waren uit de geaccumuleerde sliblaag. SD = standaarddeviatie.

Boring (nr.)	Bulkdichtheid (kg/m ³)				Vocht (%)	N
	nat		droog			
	gem.	SD	gem.	SD		
1	1279	34	461	32	64.0	6
2	1279	35	472	47	63.1	6
3	1284	42	476	45	63.0	6
4	1290	48	480	40	62.8	6
5	1290	50	481	51	62.8	6
Gemiddeld	1284	40	474	41	63.1	30
SD	6		8		0.5	

Tabel 4.6 De ontwikkeling van de hoogte en de natte en droge bulkdichtheid (gemiddelde en standaarddeviatie (*SD*)) van het afgezette slib nabij de meetbrug in de eerste vijf jaar na aanleg van de Klutenplas. Voor een verantwoording van gevolgde methoden in de voorgaande jaren wordt verwezen naar de betreffende jaarrapporten (Esselink *et al.* 2019 – 2022).

Jaar	Monster- apparatuur	Slib- hoogte (cm)	Bulkdichtheid (kg/m ³)				<i>N</i>	Opmerking
			nat		droog			
			gem.	<i>SD</i>	gem.	<i>SD</i>		
2018	vacuüm cilinder	13.0	1086	23	354	9	3	onderwaterbodem
2019	Beekersampler	48.7	1229	35	442	16	3	onderwaterbodem
2020	Beekersampler	80.6	1158	40	420	19	5	gecorrigeerde waarden
2021	gutsboor	98.4	1343	36	487	19	10	
2022	Vrijwitboor	121.3	1284	6	474	8	5	

Zetting

Om de zetting van de sliblaag in de Klutenplas via een andere weg, onafhankelijk van de sedimentbemonstering, te beschrijven, is in 2021 een tweede markeerhorizont in de meetveldjes langs de meetbrug aangebracht. Geschat wordt dat de tweede markeerhorizont gemiddeld in een jaar tijd een zakking heeft laten zien van 3.5 centimeter (Tabel 4.7).

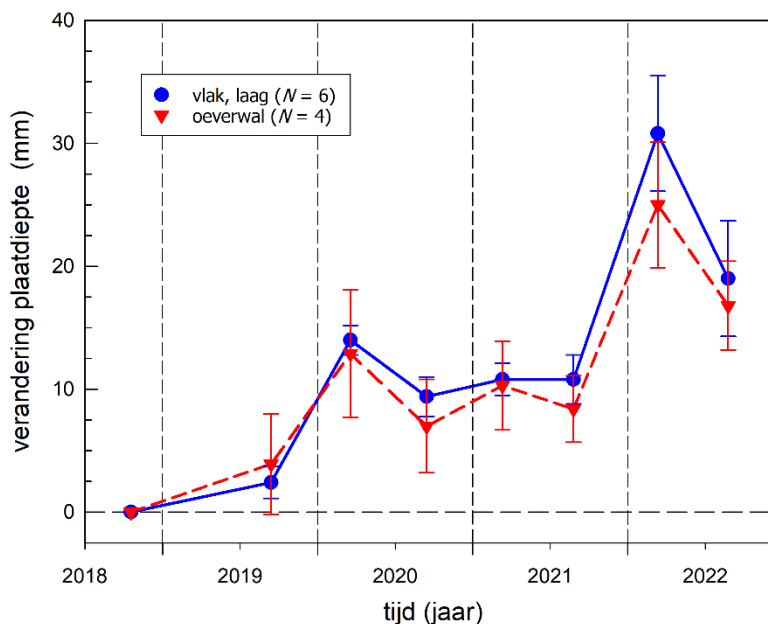
De ligging van de tweede horizont onder het oppervlak levert een tweede, lagere schatting van de zetting op. Op 5 september 2022 lag de bovengrens van de tweede horizont gemiddeld op een diepte 17.7 cm. Tussen het moment van het aanbrengen van de tweede horizont in 2021 en de bemonstering, liet de dikte van de sliblaag boven de sedimentatieplaten een netto toename zien van 15.1 cm. Het verschil tussen twee waarden geeft een zetting van 2.6 cm.

Tabel 4.7 Zetting in de geaccumuleerde sliblaag in de Klutenplas op basis van de hoogteverandering (zakking) van de in 2021 aangebrachte tweede markeerhorizont. De bodemhoogtes in 2021 en 2022 zijn berekend op basis van de dikte van de sliblaag in beide jaren en de ingemeten hoogte van de markeerplaten in 2018. De hoogteligging van de tweede horizont in 2022 is berekend uit de gemiddelde diepte van de horizont onder het sedimentoppervlak in 2022. De zakking is berekend als het verschil tussen de bodemhoogte in 2021 en de positie van de horizont in 2022. *SD* = standaarddeviatie.

Veldje (nr.)	Plaat (cm +NAP)	Bodemhoogte (cm +NAP)		Hoogte tweede horizont in 2022 (cm +NAP)			Sliblaag 2021 (dikte, cm)	Zakking 2 ^e horizont (cm)
		2021	2022	ondergrens	bovengrens	gem.		
1	25	114.4	130.9	111.4	112.9	112.2	89.5	2.3
2	18	119.8	134.8	115.3	117.3	116.3	102.0	3.5
3	20	123.3	137.8	120.3	121.8	121.1	103.0	2.3
4	22	125.3	139.8	119.8	121.8	120.8	103.5	4.5
5	30	123.9	138.9	118.4	119.9	119.2	94.0	4.8
Gemiddeld	22.9	121.3	136.4	117.0	118.7	117.9	98.4	3.5
<i>SD</i>	4.7	4.4	3.6	3.7	3.8	3.7	6.3	1.2

4.3.3 Kwelder

Op de kwelder rond de Klutenplas was de opslibbing in 2021/22 groter dan in de drie voorafgaande jaren (Fig. 4.15). Tabel 4.8 geeft de gemiddelde opslibbing over een periode van vier jaar (okt 2018 – aug 2022).



Figuur 4.15 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.

Tabel 4.8 De gemiddelde opslibbing van de kwelder rond de Klutenplas over een periode van vier jaar (oktober 2018 – augustus 2022) op basis van de toegenomen diepte van de aangebrachte sedimentatieplaten (Esselink *et al.* 2019). N = aantal platen, SD = standaarddeviatie.

Kwelderdeel	Verandering plaatdiepte (mm/jaar)		N
	Gemiddelde	SD	
Vlak, laag	4.7	2.9	6
Oeverwal	4.2	1.8	4
Totaal	4.5	2.4	10

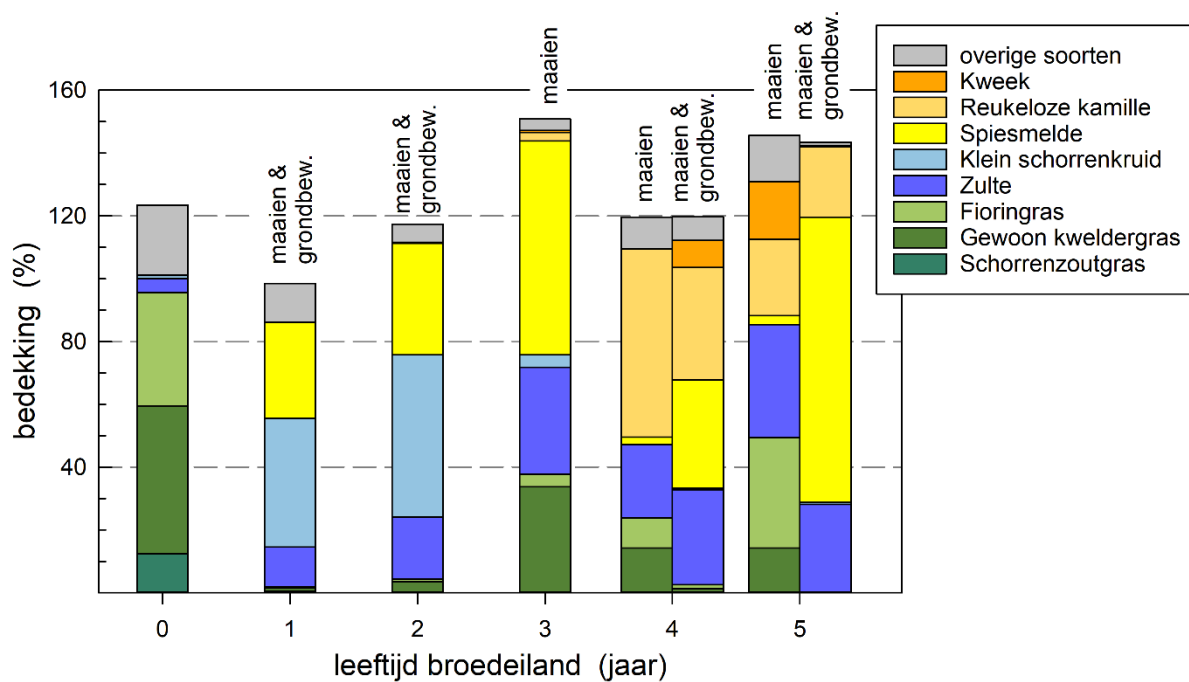
4.4 Vegetatieontwikkeling broedeiland

Tabel 4.9 geeft een vergelijking van de vegetatiesamenstelling tussen de twee beheerregimes in het tweede jaar van de beheerproef en een vergelijking met de vegetatiesamenstelling in het jaar voordat de beheerproef van start ging. In het beheerregime met grondbewerking was het gemiddelde aantal plantensoorten per pq in 2022 lager dan in voorgaande jaren en ook lager dan bij het beheer van alleen maaien en afvoeren. Bij de laatstgenoemde beheervorm was sprake van een duidelijke toename van het aandeel van overblijvende soorten in de vegetatie.

Figuur 4.16 geeft op basis van de belangrijkste soorten een grafische voorstelling van de vegetatieontwikkeling op het broedeiland vanaf het jaar van aanleg (jaar 1) inclusief een vergelijking van de vegetatiesamenstelling in de uitgangssituatie (2017; jaar 0).

Tabel 4.9 Vergelijking van de vegetatiesamenstelling tussen de twee beheerregimes op het broedeiland in het tweede jaar (2022) dat de twee regimes naast elkaar werden toegepast en een vergelijking met de vegetatiesamenstelling in het jaar voordat de proef werd ingevoerd (2020). De presentie geeft het percentage van de pq's waarin een soort werd aangetroffen; de volgende twee kolommen geven per soort de gemiddelde bedekking (gem.) met standaarddeviatie (SD). De onderste regel geeft de gemiddelde soortenrijkdom per pq. Eénjarige soorten zijn cursief gedrukt. Vetgedrukt zijn de soorten die bij hetzelfde beheerregime in alle pq's aanwezig waren en daar een relatief hoog aandeel in de vegetatie hadden (*i.e.* > 10% bedekking).

Soort	2020			2022					
	Maaien en afvoeren (N=10)			Maaien en afvoeren (N=5)			Maaien & grondbewerking (N=5)		
	Presentie (%)	Bedekking (%) gem.	SD	Presentie (%)	Bedekking (%) gem.	SD	Presentie (%)	Bedekking (%) gem.	SD
<i>Spiesmelde s.l.</i>	100	68	29	80	2.8	2.8	100	91	9
<i>Zulte</i>	100	34	15	100	36	5	100	28	6
Gewoon kweldergras	100	34	26	80	14	16	20	0.2	0.0
<i>Reukeloze kamille</i>	100	2.8	2.4	100	24	11	100	22	14
Fioringras	80	4.0	6.0	100	35	27	-	-	-
Zeewegbree	70	1.3	1.3	100	4.0	2.1	-	-	-
<i>Klein schorrenkruid</i>	60	3.9	3.5	-	-	-	60	0.6	0.6
Gerande schijnspurrie	50	0.5	0.5	80	0.8	0.4	-	-	-
Rood zwenkgras <i>s.l.</i>	40	0.5	0.7	80	3.4	3.4	-	-	-
Melkkruid	40	0.4	0.5	40	0.4	0.5	-	-	-
Kweek	20	0.6	1.3	60	18	30	40	0.4	0.6
<i>Akkermelkdistel s.l.</i>	20	0.5	1.3	40	1.0	1.7	20	0.8	2.3
Zeekweek	20	0.2	0.4	40	2.8	3.8	-	-	-
Engels slijkgras	10	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-
Schorrenzoutgras	10	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-
<i>Gewoon varkensgras</i>	10	0.1	0.3	20	0.2	0.4	-	-	-
Akkerdistel	-	-	-	40	1.6	3.0	-	-	-
Zilverschoon	-	-	-	20	0.2	0.4	-	-	-
Ruw beemdgras	-	-	-	20	0.2	0.4	20	0.2	0.0
Heen	-	-	-	20	0.2	0.4	-	-	-
Aantal soorten / pq		8.3	1.6		10.2	2.5		4.6	1.5



Figuur 4.16 De vegetatieontwikkeling op het broedeiland op basis van de bedekking van de acht belangrijkste plantensoorten van het jaar voor de aanleg van het eiland in 2017 (jaar 0) t/m het tweede jaar van het beheerexperiment in het vijfde jaar na aanleg (2022). De acht geselecteerde soorten bereikten in minimaal één jaar een gemiddelde bedekking van >10%; de overige soorten voldeden niet aan dit criterium.

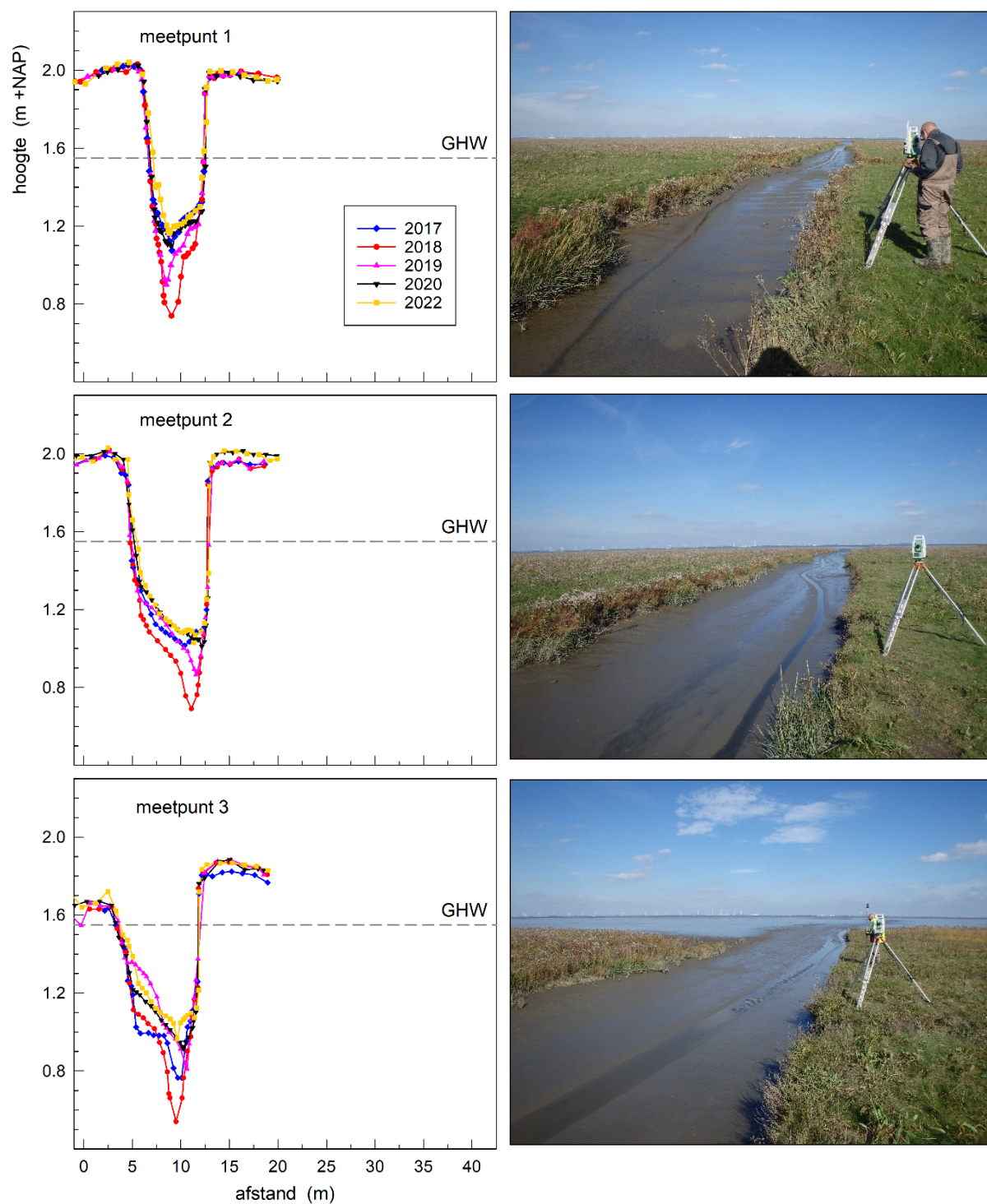
5 Literatuur

- Bartholdy, J., J.B.T. Pedersen & A.T. Bartholdy. 2010. Autocompaction of shallow silty salt marsh clay. *Sedimentary Geology* 223: 310–319
- Bos, D., R. Kleefstra, F. Hoekema & K. Koffijberg. 2018a. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2017. Nulmonitoring in 2017 i.r.t. de Brede Groene Dijk. *A&W-rapport 2415*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 23 pp.
- Bos, D., L. Bruinzeel, R. Kleefstra & K. Koffijberg. 2018b. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2018. Eerste jaar met Kleirijperij en broedeiland. *A&W-rapport 2506*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 31 pp.
- Bos, D., M. Pot, R. Kleefstra, K. Koffijberg & M. Bekkema. 2020. Broedvogel- en ganzenmonitoring op de Dollard in 2020. Derde jaar met kleirijperij en broedeiland. *A&W-rapport 20-039*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 37 pp.
- Brenninkmeijer, A., W. Bijkerk, E. van der Zee, M. Kersten, L. Bruinzeel, E. van der Heijden & D. Bos. 2017. Ecologische Beoordeling Vitale Kust – Dollard. *A&W-rapport 2258*. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Feanwâlden. 146 pp.
- Dankers, P. & J. Leuven. 2020. Kennisprogramma Hydromorfologie en Ecologie ED2050. ED2050 2021–2026. *rapport*. Royal HaskoningDHV Nederland B.V., Nijmegen. 26 pp.
- de 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.
- 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.
- 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., D. Bos, P. Daniels, W.E. van Duin & R.M. Veeneklaas. 2015. Van Polder naar kwelder: tien jaar kwelderherstel Noorderleech. *Puccimar rapport 06 / A&W rapport 1901*, Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries / Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden. 209 pp.
- Esselink, P., P. Daniels & W. Veenstra. 2018. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): nulmeting ontwateringsstelsel, kwelderafslag en vegetatie (2017). *Datarapport. Puccimar rapport 16*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 44 pp.

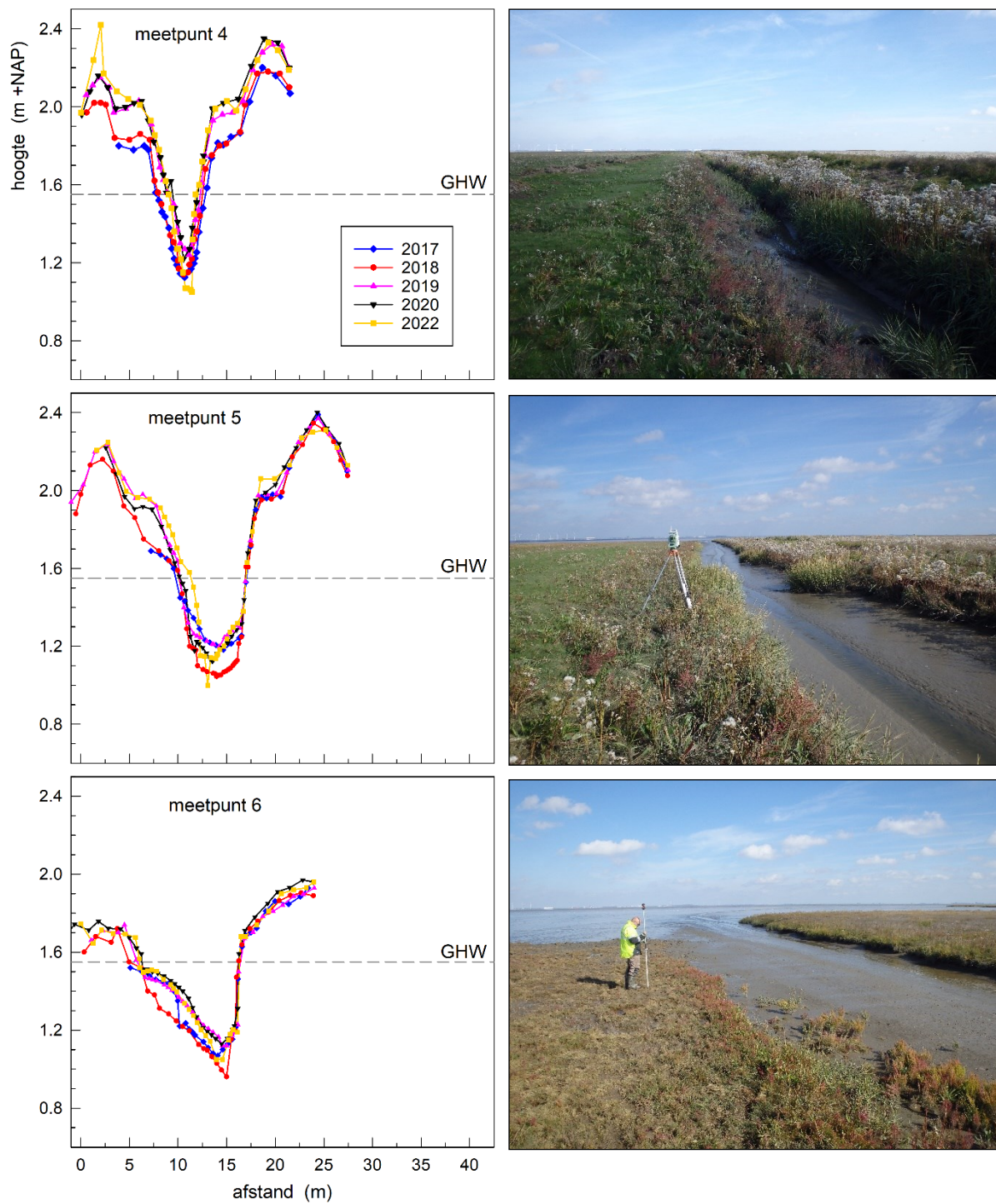
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2019. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2018). *PUCCIMAR rapport 18*. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 55 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2020. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2019). *PUCCIMAR rapport 19*. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 55 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2021. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, kwelderafslag, opslibbing en vegetatie (2020). *PUCCIMAR rapport 21*. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 72 pp.
- Esselink, P., K. Elschot, M. Tolman & W. Veenstra. 2022. Monitoring Demonstratieproject Brede Groene Dijk (fase 1 en 2): vervolgmonitoring ontwateringsstelsel, opslibbing en vegetatie (2021). *PUCCIMAR rapport 22*. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 67 pp.
- Hennekes, S.M. 1995. TURBO(VEG). Programmatuur voor invoer, verwerking en presentatie van vegetatiekundige gegevens. *Gebruikershandleiding*. IBN-DLO/Giesen en Geurts, Wageningen.
- Koppenaar, E.C., P. Esselink, W.E. van Duin & J.P. Bakker. 2022. Temporal and spatial accretion patterns and the impact of livestock grazing in a restored coastal salt marsh. *Estuaries and Coasts* 45: 510–512.
- Londo, G. 1976. The decimal scale for releves of permanent quadrats. *Vegetatio* 33: 61–64.
- Loonstra, A.H.J., J. van Assen, K. Koffijberg, S. Scholten, D. Bos. 2021. Broedvogelmonitoring op de Dollard in 2021. *A&W-rapport 20-485*. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden. 59 pp.
- Nolte, S., E.C. Koppenaar, 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.
- 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.
- van Es, K. 2021. Programmaplan Programma Eems-Dollard 2050 2021-2026. *rapport*. Programma ED2050, Groningen. 52pp.
- van Maren, D.S., A.P. Oost, Z.B. Wang & P.C. Vos. 2016. The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems Estuary. *Marine Geology* 376: 147–157.

Bijlage I Ontwateringsstelsel: dwarsprofielen zwetten

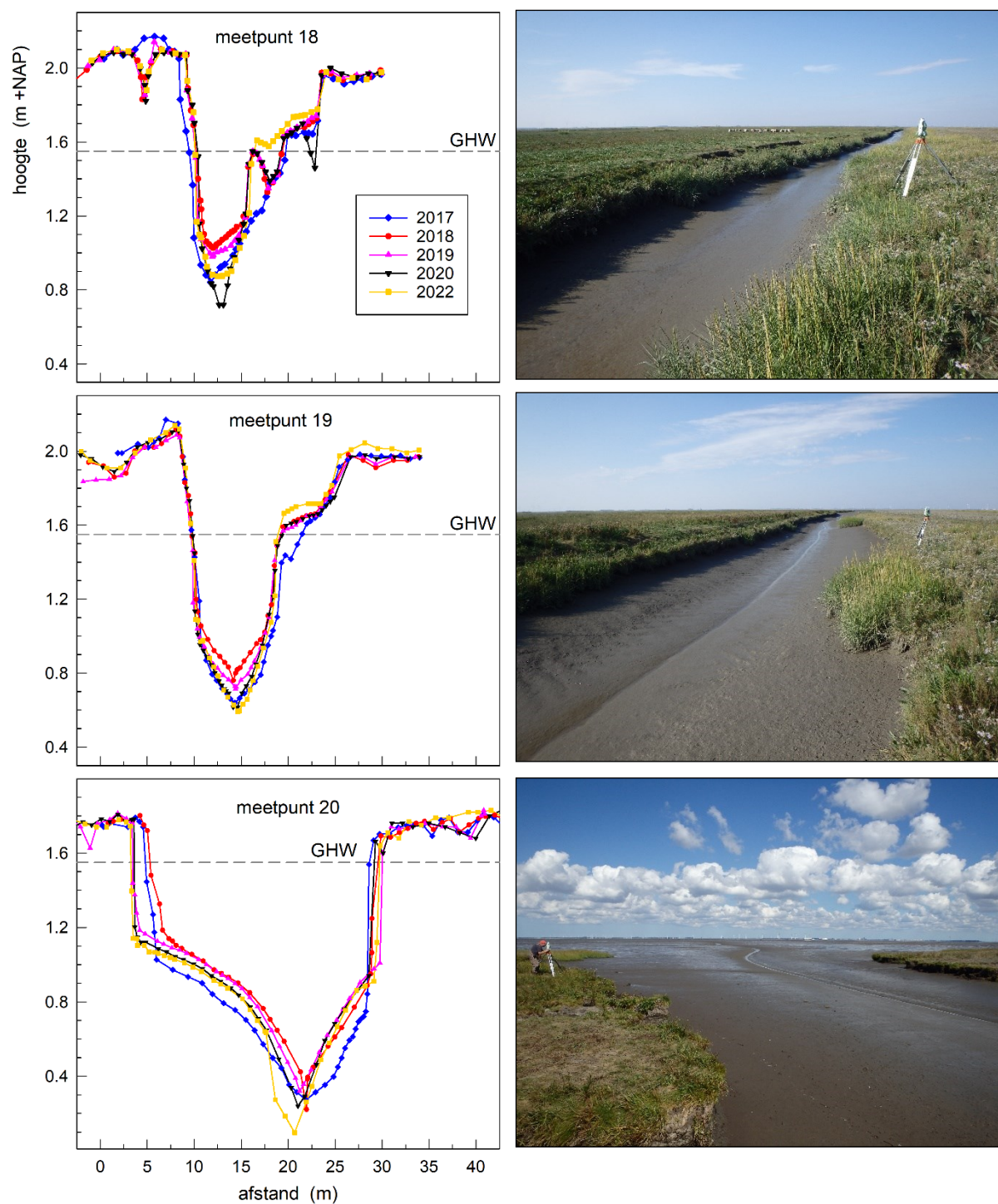
De ontwikkeling van de dwarsprofielen van de zwet door de Klutenplas wordt gepresenteerd in hdst. 4 (§ 4.1). Deze bijlage geeft van west naar oost een grafische weergave van de ontwikkeling van de overige in 2022 opgenomen profielen.



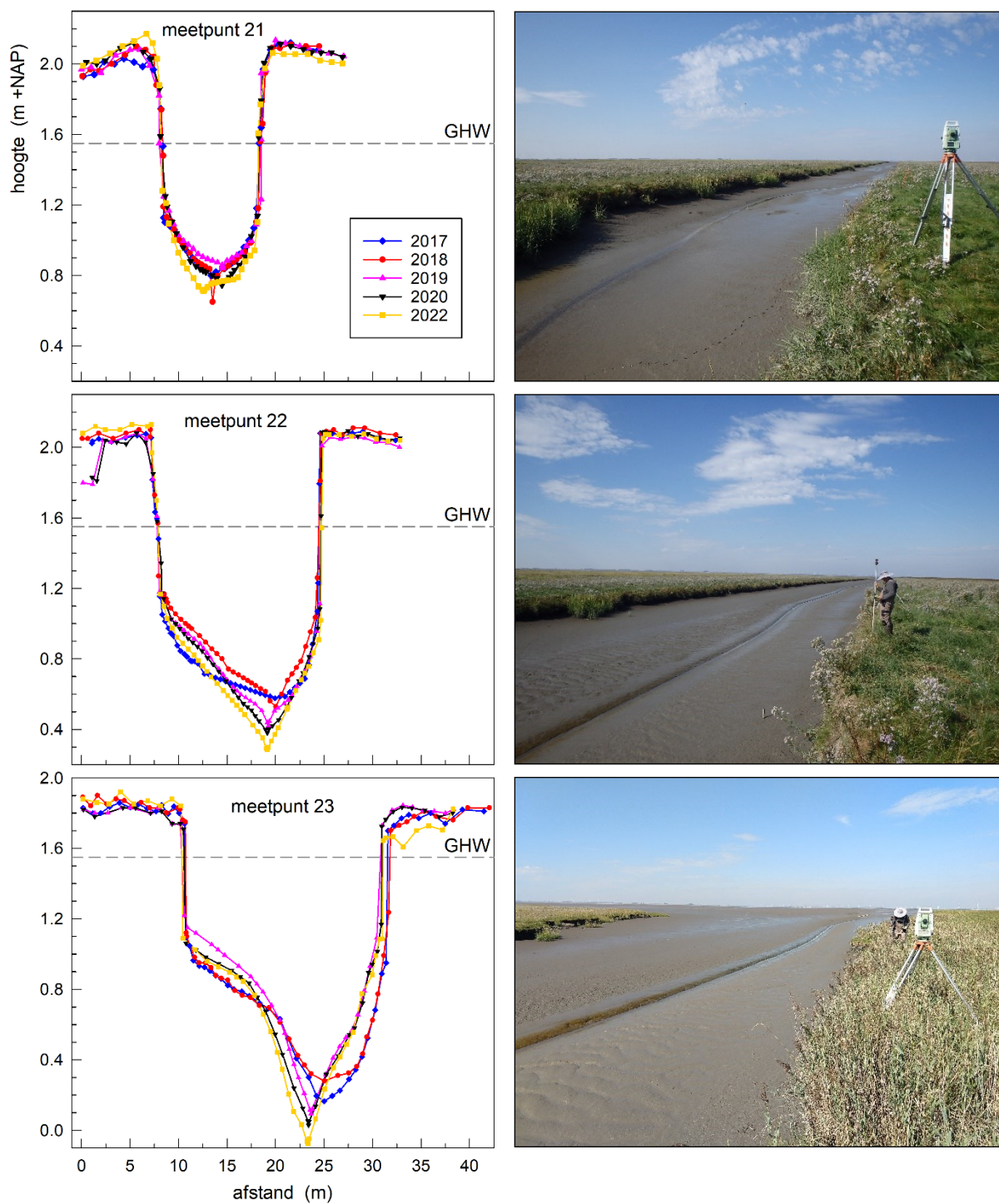
Figuur 1.1 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 1 – 3 langs controle zwet I van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot vijf jaar erna. Als referentie is het niveau van het gemiddelde hoogwater in Nieuwe Statenzijl over de jaren 2013 – 2018 aangegeven. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten op 4 oktober 2022. Figuur 3.1 geeft een kaartje met de ligging van de meetpunten.



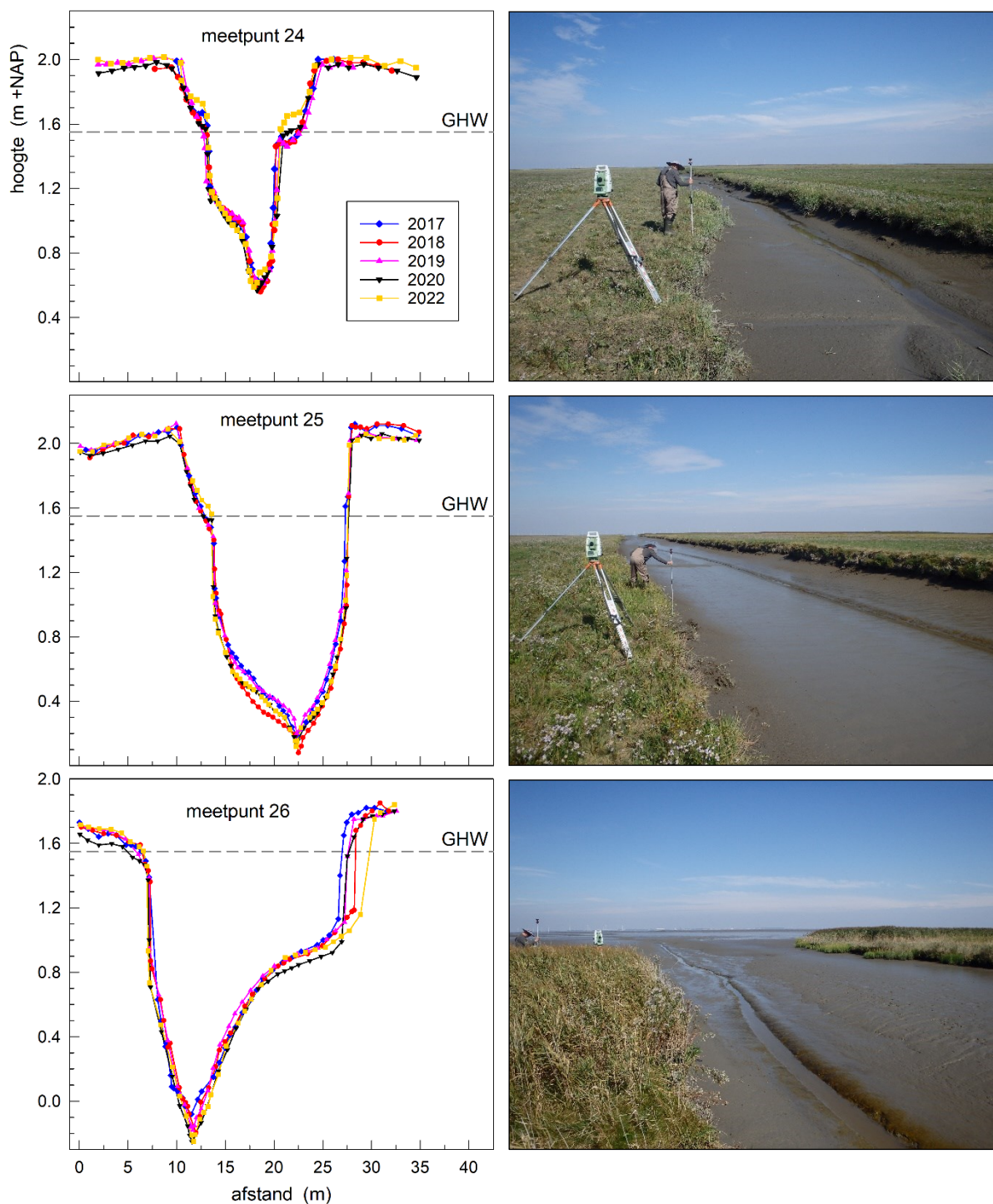
Figuur I.2 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 4 – 6 langs controle zwet II van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot vijf jaar erna. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



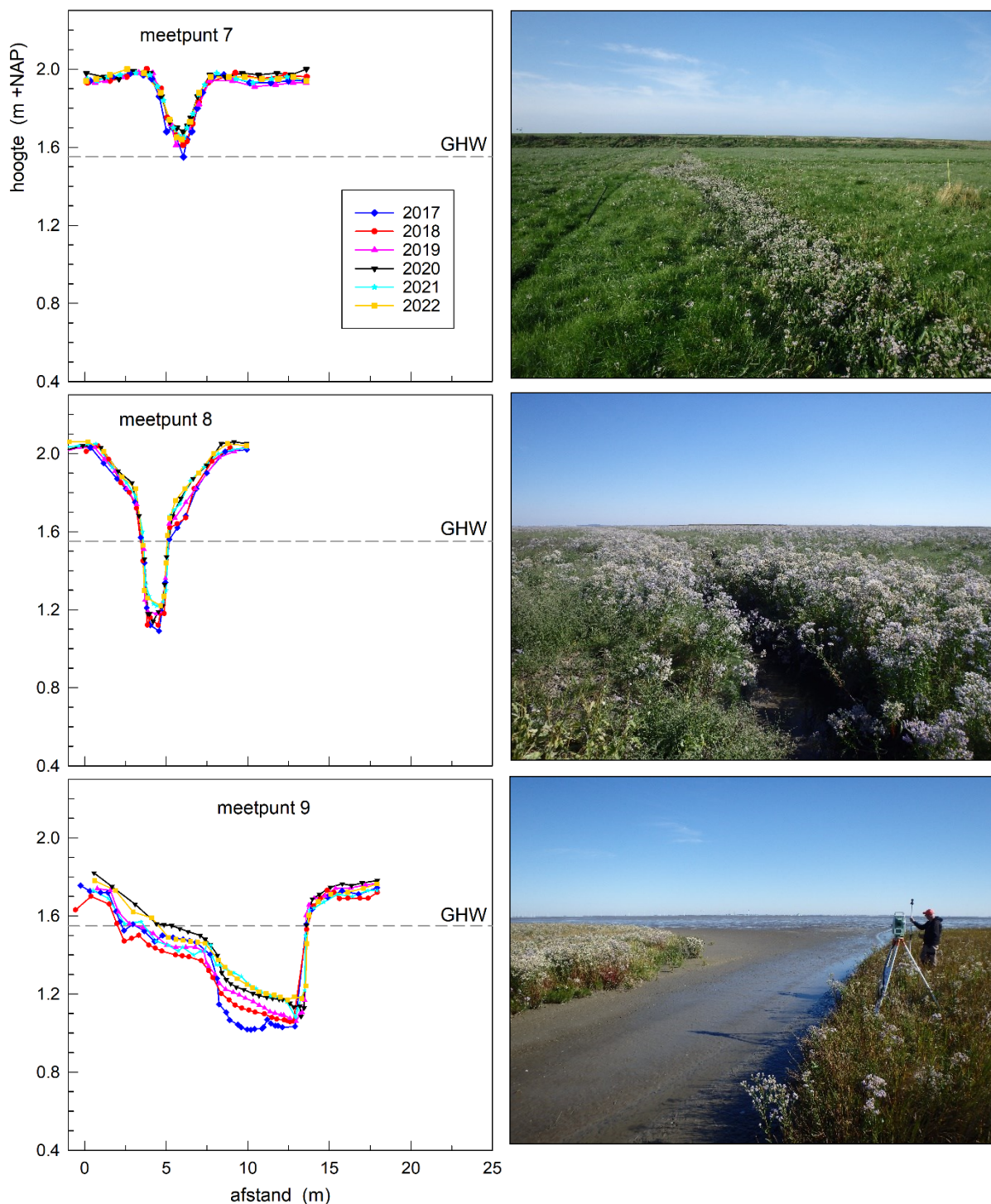
Figuur I.3 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 18 – 20 langs controle zwet III van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot vijf jaar erna. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten rond 1 september 2022. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



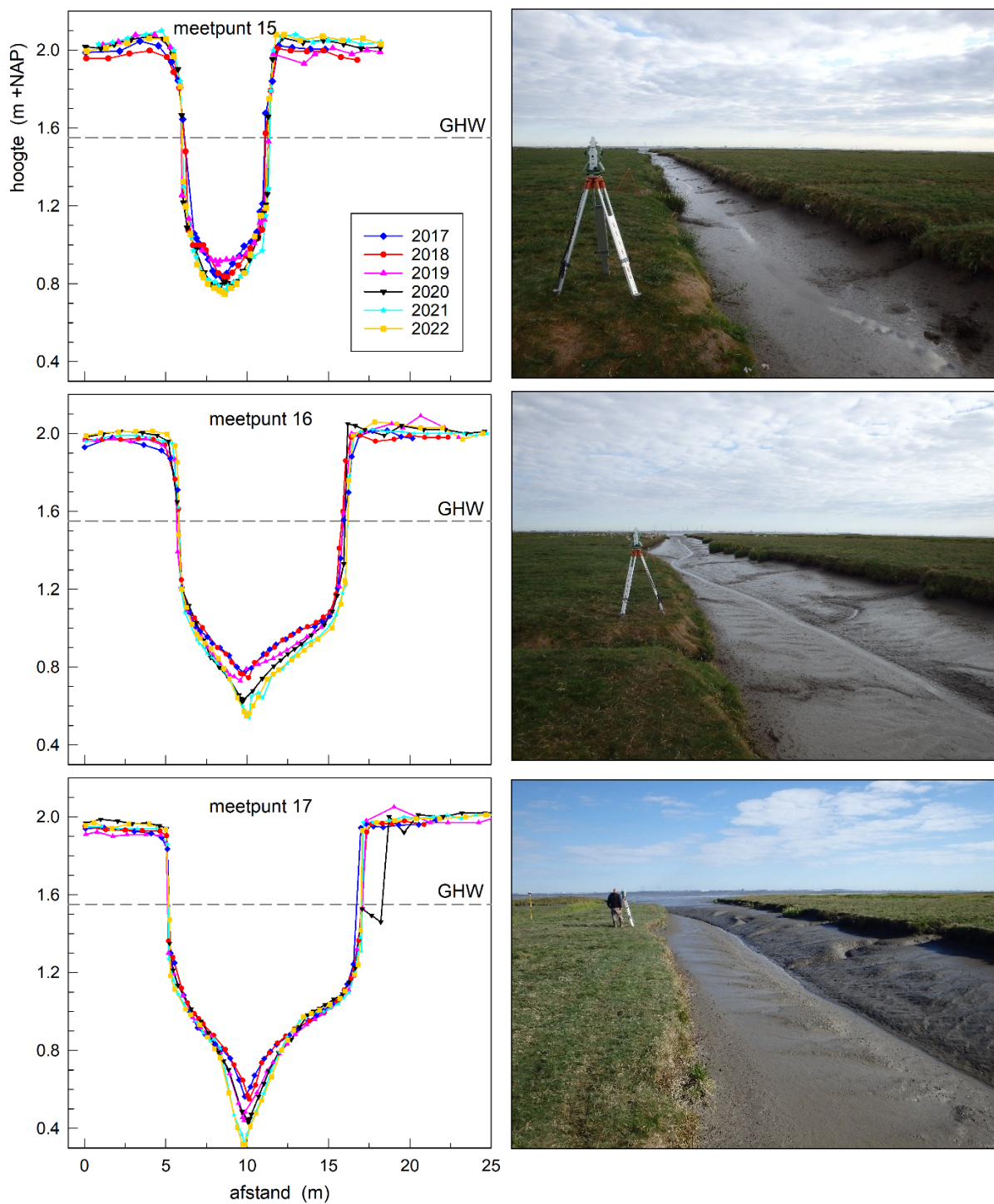
Figuur I.4 De ontwikkeling van de dwarsprofielen op de meetpunten 21 – 23 langs controle zwet IV van het jaar voor aanleg van de Klutenplas (2017) tot vijf jaar erna. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten op 6 september 2022. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



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 vijf jaar erna. De foto's rechts geven een beeld van de meetpunten op 6 september 2022. 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) tot de eerste vijf jaar erna. Voor de meetpunten 8 en 9 geven de foto's rechts een beeld van deze punten op 4 september 2022; de foto van meetpunt 7 is van september 2021. Zie figuur I.1 voor verdere toelichting.



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