



De hoogte van de Dollardkwelders in 2022

datarapport

PUCCIMAR-rapport 27



in opdracht van



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

De hoogte van de Dollardkwelders in 2022:

datarapport

P. Esselink

Voorplaat

Oeverwallen langs een uitgesleten greppel op de kwelder van Het Groninger Landschap in de Dollard,

22 november 2022

(foto: Peter Esselink)

P. Esselink 2023

De hoogte van de Dollardkwelders in 2022: datarapport.

PUCCIMAR rapport 27. PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat

Zuidersingel 3

8911 AV Leeuwarden

Contactpersoon

Jette Bijlholt

Uitvoerders

***)PUCCIMAR**

Ecologisch Onderzoek & Advies

Boermarke 35

9481 HD Vries

Telefoon 0592 544172

peter.puccimar@gmail.com

Projectnummer	Projectleider	Status
2022/04	P. Esselink	Definitief

Datum
20 november 2023

© PUCCIMAR Ecologisch onderzoek en advies

Overname van gegevens uit dit rapport is toegestaan met bronvermelding.

PUCCIMAR is niet aansprakelijk voor gevolgschade, evenmin voor 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 Doelstelling	11
2 Beschrijving studiegebied en methoden	12
2.1 Beschrijving studiegebied	12
2.2 Methoden	15
2.2.1 Hoogtemetingen 2022	15
2.2.2 Dataverwerking	17
3 Bespreking van de resultaten	18
3.1 Hoogte van de kwelders in 2022	18
3.2 Hoogteontwikkeling 2012 – 2022 en 1984 –2022	19
4 Literatuur	23
Bijlage I De hoogte van de Dollardkwelders op de meetraaien in 2022	25

Voorwoord

In 1984 zijn door de toenmalige Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat hoogtemetingen verricht op de voormalige stadskwelders van de gemeente Groningen in de zuidoostelijke Dollard. Deze kwelders waren sinds 1981 in eigendom en beheer bij de Stichting Het Groninger Landschap. Deze hoogtemetingen werden uitgevoerd langs raaien met een totale lengte van bijna 10 kilometer verspreid over vier geselecteerde proefvakken. Tot en met 2012 is de hoogte langs deze raaien in het kader van verschillende projecten nog driemaal opgenomen, namelijk in 1991/1992, 2002/2003 en 2012.

In 2012 is in het kader van het *Kwelderherstelproject Groningen* het meetnet uitgebreid met twee meetvakken op de particuliere kwelder in de westelijke Dollard. Zo is op de Dollardkwelders een meetnet van hoogteraaien ontstaan met een totale lengte van 13.2 km.

Rijkswaterstaat Noord-Nederland heeft Bureau PUCCIMAR opdracht verleend voor het uitvoeren van een nieuwe hoogteopname in alle zes proefvakken. Bureau PUCCIMAR is voor deze opdracht een samenwerking aangegaan met het geodetisch ingenieursbureau FACTO GEO. Het veldwerk is verricht in november 2022.

Dit rapport is bedoeld als datarapport met een korte beschrijving van de kwelderhoogte in 2022 met globale vergelijking met de hoogte in voorgaande meetrondes. Een meer gedetailleerde analyse van de hoogteveranderingen ten opzichte van voorgaande meetrondes is onderwerp van een apart project.

Op deze plek wil ik graag van de gelegenheid gebruik om een aantal personen en organisaties te bedanken voor hun medewerking of ondersteuning bij de uitvoering van verschillende werkzaamheden. Het Groninger Landschap, de Maatschappij tot Exploitatie van het onverdeelde Munnikeveen en de heer Edzo Huisman verleenden toestemming voor het betreden van hun terreinen in verband met de uitvoering van het veldwerk. Vanuit FACTO GEO werd het veldwerk verricht door Hans Koupprie, Rogier Meijer en Maarten Roozendaal, terwijl Robin Toxopeus de controle en validatie van de data verzorgde.

Peter Esselink
Vries
20 november 2023

Samenvatting

In dit datarapport wordt een beschrijving gegeven van de hoogte van de zuidelijke Dollardkwelders in 2022 op basis van metingen langs vaste hoogteraaian met een totale lengte van ongeveer 13.2 kilometer verdeeld over zes proefvakken. De metingen zijn bedoeld om de hoogteontwikkeling van de Dollardkwelders te monitoren en de hoogteveranderingen op de raaian ten opzichte van eerdere hoogteopnames te analyseren.

In elk proefvak zijn twee lengteraaian opgenomen lopende van de zeedijk tot op het wad en een variabel aantal dwarsraaian van elk 200 m lang. Twee van de proefvakken lagen op de particuliere kwelders in het zuidwesten van de Dollard; de overige vier proefvakken op de oostelijker gelegen kwelders van de Stichting Het Groninger Landschap. De hoogteraaian in de laatste vier proefvakken zijn sinds 1984 al vier keer eerder opgenomen. In 2022 is dezelfde werkwijze gevolgd als bij de metingen van 2002/2003 en 2012. De metingen hadden een dichtheid van ongeveer één meting per meter. Voor verdere analyse is in het opgeleverde databestand de gemiddelde hoogte per raaisegment van 5 m berekend. Greppels, overige watergangen en aangelegde dammen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten maar zijn met een aparte codering wel in het databestand gehandhaafd.

Het studiegebied ligt op de rand van de bodemdalingsschotel van het Groninger Gasveld. De invloed van deze daling op de ontwikkeling van de maaiveldhoogte verschilt hierdoor tussen de proefvakken, op basis van de meest recente cijfers (hoogteveranderingen van binnendijks gelegen NAP peilmerken in de periode 2013 – 2018) van 2.4 mm/jaar in het meest westelijke proefvak tot vrijwel nul in de twee meest oostelijke proefvakken. Voor de berekening van de maaiveldhoogte in 2022 is de aanname gedaan dat de bodemdaling tussen 2018 en 2022 zich met dezelfde snelheid heeft voortgezet ten opzichte van de periode 2013 – 2018 en is een correctie toegepast op de NAP peilmerkhoogtes van 2018.

De hoogte van de twee proefvakken op de particuliere kwelder bedroeg gemiddeld 1.85 m +NAP en was daarmee lager dan op de kwelder van de Stichting het Groninger Landschap, waar de gemiddelde hoogte per proefvak varieerde van 1.97 m +NAP tot 2.03 m +NAP. Op basis van de gemiddelde hoogte per proefvak is een voorlopige vergelijking gemaakt met de kwelderhoogte van 2012. In de twee proefvakken op de particuliere kwelder nam de kwelderhoogte in de periode 2012 – 2022 toe met gemiddeld 4.4 mm/jaar. De bodemdaling van ruim 2 mm/jaar door gaswinning is hierin verdisconteerd. In de vier proefvakken op de kwelder van Het Groninger Landschap liep de hoogteontwikkeling meer uiteen. In de twee meest oostelijke proefvakken (buiten de bodemdalingsschotel) lag de gemiddelde hoogteverandering tussen 2012 en 2022 op ruim 5 mm/jaar. In de twee andere proefvakken waar de kwelder het breedst is, nam de hoogte daarentegen met slechts 1.0 mm/jaar toe. Al sinds de hoogtemetingen van 2002/2003 ligt de hoogteontwikkeling in deze twee vakken onder het niveau van de langjarige stijging van het gemiddeld hoogwater in de Dollard. Een verdere analyse van de gegevens kan inzicht geven in welke factoren van invloed zijn op de geringe hoogtetoeename in deze vakken.

Voor de vier proefvakken op de kwelder van SGL is nu meetreeks van de kwelderhoogte opgebouwd bestaande uit vijf meetrondes verspreid over een periode van bijna 40 jaar. In deze periode is de kwelderhoogte in de proefvakken toegenomen met gemiddeld ruim 17 tot 28 centimeter per proefvak. In de bijna 40 jaar liet de gemiddelde hoogteverandering per jaar in alle vier vakken een sterke afname zien.

1 Inleiding

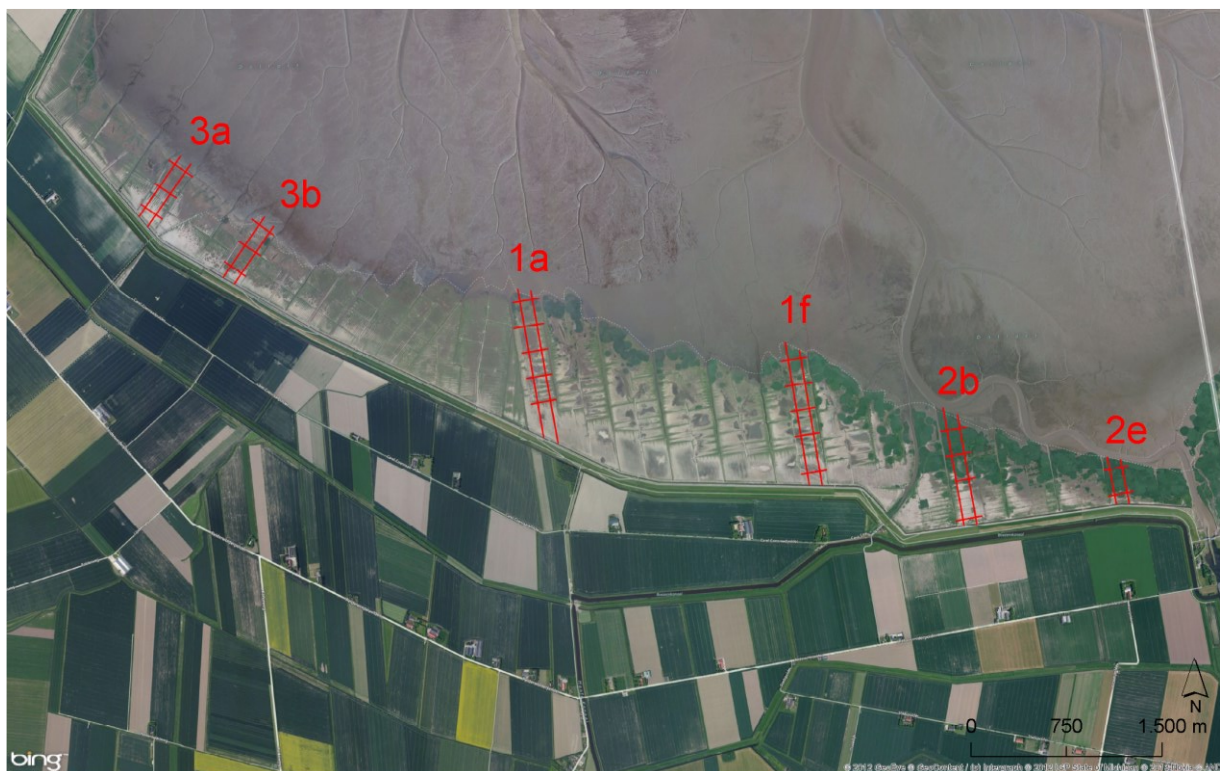
1.1 Achtergrond

In de internationale Waddenzee beslaan vastelandkwelders een oppervlak van ruim 20 000 ha (Esselink *et al.* 2017). Dit is ruw weg 10% van het nog resterende kwelderareaal in Europa. Het overgrote deel van de vastelandkwelders in de Waddenzee hebben niet een natuurlijk oorsprong, maar zijn door menselijk ingrijpen ontstaan, namelijk door de aanleg van landaanwinningswerken (Kamps 1963; Dijkema *et al.* 2001). Deze werken werden aangelegd om de natuurlijke sedimentatie, en daarmee de opslibbing en uitbreiding van kwelders te stimuleren. Hoewel ze een hoge natuurwaarde vertegenwoordigen, moeten de zo gevormde kwelders als kunstmatig worden beschouwd.

Oorspronkelijk werden de vastelandkwelders beheerd voor het winnen van nieuwe landbouwgrond door middel van inpoldering, voor kustbescherming en als weidegrond. Sinds ongeveer 1970 echter wordt het ontwikkelen van kwelders met als uiteindelijk doel om door middel van inpoldering nieuwe landbouwgrond te verkrijgen niet langer financieel-economisch verantwoord geacht. Mede door dit gewijzigde inzicht kwam een verandering in de beheerdoelen van de landaanwinningskwelders tot stand, namelijk van landbouweconomische exploitatie, kustbescherming en inpoldering naar doelen gerelateerd aan natuurbehoud (Dijkema *et al.* 2001).

In 1981 kwam het oostelijk deel (460 ha) van de Nederlandse kwelders in de Dollard in handen van de natuurbescherming. Dit was daarmee de eerste voormalige landaanwinningskwelder waar de bovengenoemde verandering in beheer werd gerealiseerd. Om de natuurlijkheid van de kwelder te verhogen werd met ingang van 1984 het onderhoud aan het ontwateringssysteem gestaakt en werd de beweiding geëxtensiverd. Omdat dit de eerste landaanwinningskwelder is waar deze veranderingen werden gerealiseerd, kan een regelmatige evaluatie van de ontwikkelingen op deze kwelder ook van betekenis zijn voor kwelders elders in de Waddenzee (Esselink 2000). Een voorwaarde hiervoor is dat er monitoring plaatsvindt. In de Dollard wordt hier ruim aan voldaan door de periodieke vegetatiekarteringen van Rijkswaterstaat (vanaf 1981), zijn er lange tijd permanente kwadraten gevolgd en wordt door SOVON jaarlijks de broedvogels in een aantal kweldervakken geteld. Door een min of meer toevallige opeenstapeling van verschillende projecten, is er ook een tijdreeks opgebouwd van de hoogteontwikkeling op de oostelijke Dollardkwelders (Esselink 1998, 2007; Esselink *et al.* 1998, 2013). Dit betreft vier hoogteopnames verdeeld over de periode 1984 – 2012 uitgevoerd door verschillende diensten van Rijkswaterstaat (in 1984, 1991/92 en 2002/03) en door Bureau Geo Plus bv in 2012. De metingen zijn uitgevoerd langs vaste transecten met een totale lengte van 9 700 meter verdeeld over vier proefvakken (de vakken 1A t/m 2E in Fig. 1.1).

In het kader van het documenteren van de uitgangssituatie van het programma Kwelderherstel Groningen zijn in 2012 ook hoogtemetingen verricht in twee meetvakken op de particuliere kwelder in de zuidwestelijke Dollard (de vakken 3A en 3B in Fig. 1.1; Esselink *et al.* 2013). Bij de selectie van deze nieuwe meetvakken is erop gelet a) of er kweldervakken zijn waar eerder hoogtemetingen zijn uitgevoerd en b) of hier op dezelfde wijze hoogteraaien konden worden uitgezet als in het oosten (lengteraaien op 50 meter en 150 meter parallel aan een hoofduitwatering met loodrecht daarop een aantal dwarsraaien op een regelmatige afstand van elkaar. Van vak 3B zijn hoogtemetingen beschikbaar uit 1980 uit het onderzoek van Dankers *et al.* (1984). In totaal is zo een meetnet van hoogteraaien ontstaan met een totale lengte van 13.2 km.



Figuur 1.1 Ligging van de zes proefvakken met de hoogtemeetraaien.

Behalve dat de globale hoogteontwikkeling van de kwelder kan worden gevolgd, is het ook mogelijk om het ruimtelijk patroon van de sedimentatie op de kwelder te analyseren en de invloed en de invloed hierop van factoren als de afstand tot het wad, afstand tot de kreken en de vegetatiestructuur. Daarnaast zijn er vragen te stellen over de (lange termijn) effecten van de vernatting van de kwelder als gevolg van de stopzetting van het onderhoud van de drainage: in de eerste periode was in de twee grootste proefvakken bijvoorbeeld sprake van een toename van de diversiteit in hoogte door de ontwikkeling van oeverwallen en komgebieden (Esselink *et al.* 1998). Is dit effect tijdelijk of betreft het een persistent patroon? Met de uitbreiding van het meetnet met twee vakken op de particuliere kwelder kunnen dit type vragen ook worden geanalyseerd door een vergelijking tussen de particuliere kwelder mét greppelonderhoud en de kwelders in beheer bij Het Groninger Landschap waar het greppelonderhoud inmiddels al bijna 40 jaar is gestopt.

Een ander aspect waarbij kennis over de hoogteontwikkeling van de Dollardkwelders van belang kan zijn, is de verhoogde troebelheid van het water in de Eems-Dollard (de Jonge *et al.* 2014); van Maren *et al.* 2016). Door deze zgn. slibproblematiek is de waterkwaliteit in de Eems-Dollard aanzienlijk afgenomen waardoor het ecologisch functioneren van het estuarium de laatste decennia sterk onder druk is komen te staan (de Jonge & Schückel 2019). Belangrijke factoren die verantwoordelijk worden gehouden voor de hoge troebelheid zijn de verdieping van vaargeulen en een 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 daarvan is om de capaciteit voor slibvangst langs de randen van het estuarium te verhogen. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door extra kweldervorming te stimuleren, gebieden te ontpolderen of de slibvangst in de bestaande kwelder te verhogen door deze gedeeltelijk af te graven, zoals bijvoorbeeld met de aanleg van de Klutenplas in

het kader van het Demonstratieproject Brede Groene Dijk is gebeurd (Esselink *et al.* 2022). Voor een evaluatie van dergelijke ingrepen is kennis over de actuele hoogteontwikkeling van de bestaande kwelders noodzakelijk.

Vanuit bovenstaande overwegingen heeft Rijkswaterstaat bureau PUCCIMAR opdracht verleend voor het opnieuw opnemen van de kwelderhoogte in de zes proefvakken. Het veldwerk is uitgevoerd door bureau FACTO GEO in november 2022.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is drieledig, namelijk:

- a) Het documenteren van de in 2022 verzamelde hoogtegegevens en van de bewerking die is uitgevoerd om de gegevens op dezelfde manier op te slaan als de gegevens van de eerder uitgevoerde hoogtemetingen uit de periode 1984 – 2012 zodat de gegevens in de toekomst aan elkaar gekoppeld kunnen worden
- b) Het geven van een korte beschrijving van de hoogte van de Dollardkwelders in 2022
- c) Het geven van een (zeer) voorlopige vergelijking van de gemeten hoogte met de voorgaande meetrondes uit de periode 1984 – 2012.

2 Beschrijving studiegebied en methoden

2.1 Beschrijving studiegebied

Het studiegebied wordt gevormd door de kwelders langs de zuidelijke rand van de Dollard (Fig. 2.1). De Dollard is een brakwater getijdengebied en vormt een ongeveer 100 km² grote baai in het Eems estuarium op de grens van Nederland en Duitsland. Behalve zoet water uit de rivier de Eems ontvangt de Dollard ook zoet water van de Westerwoldsche Aa via een spuisluis in de zuidoosthoek. Dit heeft tot gevolg dat het zoutgehalte in de Dollard toeneemt van ZO naar NW. In het algemeen blijft het zoutgehalte in de Dollard echter beneden 20 ‰ (BOEDE 1985). De getijamplitude in de Dollard bedraagt gemiddeld 3.3 m. In de zuidelijke Dollard (peilschaal Nieuwe Statenzijl) bedroeg het jaarlijks gemiddeld hoogwater (GHW) in de periode 1980 – 2022 1.48 m +NAP. Sinds het begin van de vorige eeuw is in de Dollard sprake van een bijna continue stijging van het GHW met gemiddeld 2.3 mm/jaar (Fig. 2.2).

De totale omvang van de kwelders in de Dollard bedraagt bijna 1000 ha, waarvan 760 ha in Nederland (Esselink *et al.* 2011). De Nederlandse kwelders worden gevormd door twee sterk van elkaar verschillende kweldergebieden, namelijk: (a) de Punt van Reide (50 ha) in het noordwesten en (b) het studiegebied in het zuiden van de Dollard, gevormd door kwelders (710 ha) die bijna geheel zijn voortgekomen uit voormalige landaanwinningswerken (De hier genoemde oppervlaktes zijn niet gebaseerd op het oppervlak van de aanwezige kwelderhabitats H1310 – H1330, maar hebben betrekking op de grootte van het gehele voorland).

Historische ontwikkeling

Het overgrote deel van de kwelders in de zuidelijke Dollard is pas gevormd na de inpoldering van de Carel Coenraadpolder in 1924 (Esselink 1998, 2000; Esselink *et al.* 2011). Bij de inpoldering van de Carel Coenraadpolder in 1924 werd de nieuwe zeedijk op de rand van de bestaande kwelder aangelegd en bleef er alleen nog een stuk kwelder over langs de dijk van de Reiderwolderpolder uit 1874 ten oosten van de Nieuwe Buitengeul in Fig. 2.1). In 1937 was dit stuk kwelder 101 ha (Esselink 1998, 2000). Door landaanwinningswerken volgens de zgn. ‘boerenmethode’ door de Stad Groningen hadden de kwelders van de stad in 1937 alweer een omvang van 241 ha. Ook in het particuliere deel ten westen van de ‘stadse’ kwelders was rond deze tijd sprake van enige kweldervorming voor de nieuwe dijk (<https://www.topotijdreis.nl/>).

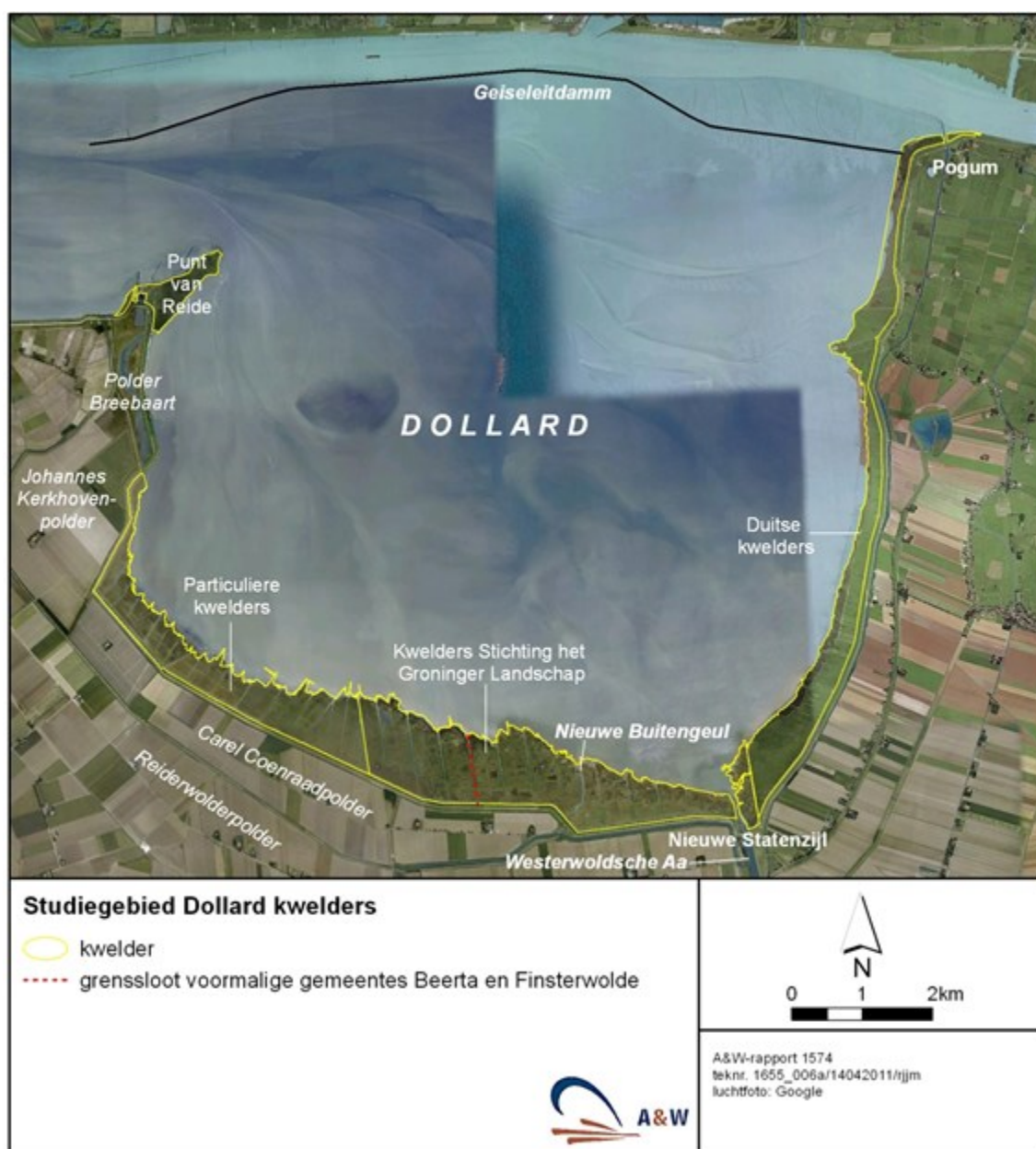
De aangroei van de kwelders kwam in een stroomversnelling toen op initiatief van de Provincie Groningen in 1938 werd gestart met grootschalige landaanwinning volgens de principes van zogenaamde ‘Sleeswijk-Holstein methode’ (Esselink 1998, 2000). Er werden hoofdwateringen gegraven en 200 × 200 m grote bezinkvelden aangelegd met een dicht greppelpatroon dat jaarlijks werd onderhouden. In tegenstelling tot de rijshouten dammen in de Sleeswijk-Holsteinmethode werden de bezinkvelden omgeven door aarden dammen, die voor het merendeel werden bekleed met zoden van kweldergras. De werken werden gestart op de kwelder die eigendom was van de Stad Groningen. Tijdens de Tweede Wereldoorlog hebben de werken praktisch stilgelegen; ook vond er nauwelijks onderhoud plaats. Na de oorlog zijn de werken hersteld en uitgebreid naar de particuliere gronden. Door een besluit van de Rijksoverheid is de landaanwinning in de Dollard met ingang van 1954 stilgelegd. Ook is toen de begreppeling gestaakt in het deel van de kwelders dat het verst verwijderd lag van de zeedijk. Vanaf het moment dat de landaanwinning werd gestaakt, is als gevolg

van afslag sprake van een geleidelijke achteruitgang van de kwelder (Esselink 1998, 2000). In de periode 1981 – 2009 bedroeg de netto afslag 26 ha (Esselink *et al.* 2011). Tijdens de laatstgenoemde periode is aan de landzijde 46 ha kwelder verdwenen als gevolg van de dijkverzwaring.

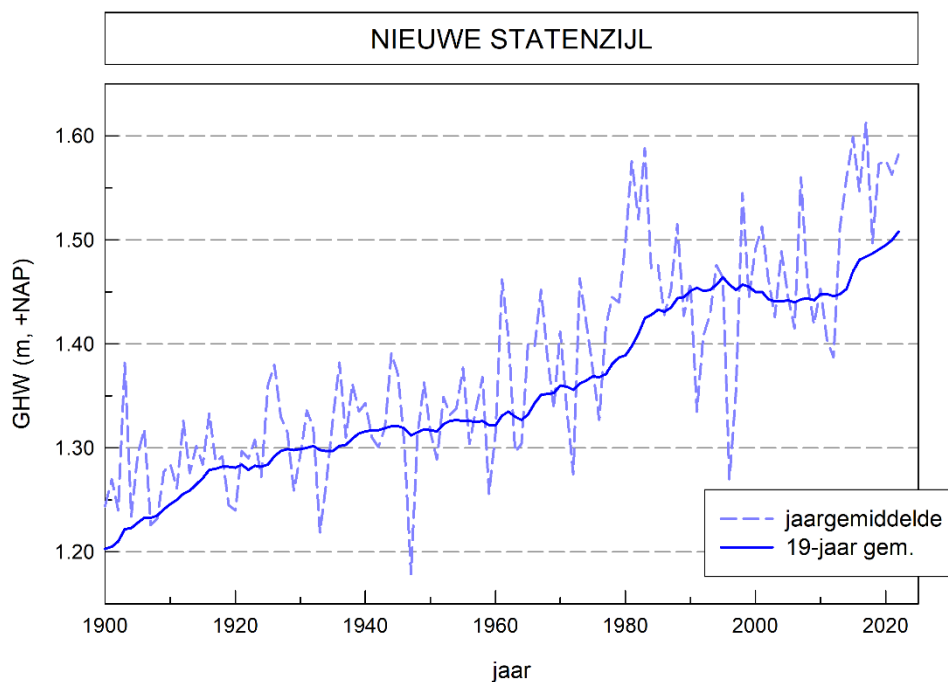
Huidige situatie

In de huidige situatie bestaan de zuidelijke kwelders uit twee deelgebieden, namelijk (Fig. 2.1; Esselink *et al.* 2013):

- de kwelders van de Stichting Het Groninger Landschap (SGL) in het oosten, tussen Kamp en de Duitse grens (ongeveer 450 ha)
- de particuliere kwelders tussen de Polder Breebaart en Kamp (ruim 260 ha).



Figuur 2.1 Overzichtskartaal van de Dollard (uit Esselink *et al.* 2011).



Figuur 2.2 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). Op basis van een lineaire regressie bedraagt de gemiddelde stijging van het GHW in de grafiek 2.3 mm/jr.

Als gevolg van de vroegere landaanwinning hebben de kwelders een sterk geometrisch patroon met 400 meter brede kweldervakken gescheiden door hoofduitwateringen (of zwetten) die vanaf de dijkvoet naar het wad lopen. De kweldervakken zijn veelal ontsloten door een zgn. middenlaan, die vanaf de dijk naar de kwelderrand voert.

Vanuit het streven naar een meer natuurlijke ontwatering van de kwelder is in 1984 het onderhoud aan het dichte ontwateringsstelsel, gedomineerd door tien meter van elkaar gelegen greppels, op de kwelder van SGL gestaakt. Verder wordt er een extensief beheer gevoerd door middel van beweiding met runderen. Na een scherpe daling van de veebezetting in de tachtiger jaren van de vorige eeuw tot minder dan 200 dieren, is sinds 2000 weer sprake van een hogere veebezetting van 350 – 400 dieren (Esselink *et al.* 2011). Recentere cijfers van de veebezetting ontbreken vooralsnog. Een kleine beheereenheid van 22 ha, gelegen tussen de monding van de Westerwoldsche Aa en de Duitse grens (Fig. 2.1), wordt sinds ongeveer 1990 niet meer beweid.

Met uitzondering van de uiterst zeewaarts gelegen delen, vindt op de particuliere kwelder vanwege de beweiding nog steeds regelmatig onderhoud plaats aan het ontwateringssysteem. De op ongeveer tien meter van elkaar gelegen greppels worden tegenwoordig eens per drie jaar geschoond. Cijfers over de veebezetting ontbreken. Vermoedelijk is de laatste jaren sprake van een lagere veebezetting dan bijvoorbeeld 20 jaar geleden. Zo laat de Rijkswaterstaat vegetatiekaart van 2018 (Pranger & Tolman 2020) op de particuliere kwelder een hoog voorkomen zien van het vegetatietype Gewoon kweldergras met Zulte (type SLa in de TMAP-typologie (Esselink *et al.* 2019)). Zulte (of Zeeaster) is gevoelig voor vertrapping en zou bij een intensieve beweiding hier minder abundant zijn wat zou resulteren in een hoge bedekking van het vegetatietype met enkel Gewoon kweldergras als dominante soort (TMAP-type SLp).

In combinatie met de vernatting door het gestaakte greppelonderhoud lijkt de impact van de beweiding op de SGL kwelder de laatste jaren hoger dan op de particuliere kwelder. Zo ontbrak hier in 2018 het vegetatietype van Gewoon kweldergras met Zulte vrijwel volledig, maar had het vegetatie van Gewoon kweldergras wel een hoog voorkomen en bereikte een secundaire pioniervegetatie van Zeekraal en Klein schorrenkruid (TMAP-type SPq) een opvallend hoge bedekking.

Bodemdaling

De zuidelijke Dollard ligt op de oostrand van de bodemdalingsschotel van het Groninger Gasveld (Anonymus 2020). De contourkaart van de opgetreden bodemdaling tussen de start van de winning (1963) en 2018 laat van west naar oost een afnemende bodemdaling zien: in de ZW-hoek van de Dollard (ter hoogte van de proefvakken 3A en 3B; Fig. 1.1) bedroeg de bodemdaling in deze periode ongeveer 10 centimeter; ter hoogte van de grens van de particuliere – en SGL kwelder (en Proefvak 1A) ongeveer 2 cm. Omgerekend komen deze waarden overeen met een gemiddelde daling sinds het begin van de winning van respectievelijk 1.8 mm/jaar en 0.4 mm/jaar. Het meest oostelijke deel van het studiegebied (ongeveer vanaf Proefvak 1F) lijkt buiten de bodemdalingsschotel te liggen en zou de bodemdaling verwaarloosbaar zijn. Meer recente cijfers (logischerwijze over een kortere periode) tonen een sneller verloop van de bodemdaling en uitbreiding van de bodemdalingsschotel tot en met Proefvak 1F (Tabel 2.1; § 2.2.1).

2.2 Methoden

2.2.1 Hoogtemetingen 2022

De hoogtemetingen zijn uitgevoerd door het geodetisch ingenieursbureau FACTO GEO in overeenstemming met de voorschriften en kwaliteitseisen zoals die door Rijkswaterstaat Noord-Nederland zijn opgesteld voor de hoogtemetingen in de meetvakken van de kwelderwerken langs de Friese en Groninger vastelandskust. Voor de metingen is gebruik gemaakt van de volgende apparatuur:

- Plaatsbepalingsysteem: Trimble R8 RTK GPS-set of minimaal vergelijkbaar
- Digitaal waterpastoestel: Trimble Dini 12 of vergelijkbaar
- Computers: Laptop en Desktop met voldoende processorsnelheid en intern geheugen
- Software: Metis, AutoCad, Civil3D, Microsoft Office

De dichtheid van de meetpunten op de begroeide kwelder was ongeveer één per meter. Er is hierbij geen vaste afstand tussen twee meetpunten gehanteerd, maar deze werd aangepast en verdicht bij eventuele variatie in het reliëf. Op het onbegroeide wad is een dichtheid van minstens één meetpunt per 5 meter aangehouden. Dammen, greppels en uitwateringen zijn meegenomen in de metingen, maar deze meetpunten kregen ter herkenning een aparte codering. Van elk meetpunt werd de X- en Y-coördinaat vastgelegd volgens het Nederlandse coördinatensysteem (RD). Bij het opnemen van een raai is erop toegezien dat de afwijking uit de lijn van de raai niet dan 1 meter bedroeg. Het veldwerk is uitgevoerd in de periode 1 nov 2022 – 29 nov 2022.

Tabel 2.1 Hoogteveranderingen van NAP peilmerken langs de zuidkust van de Dollard tussen 25 april 2013 of 13 augustus 2013 en 1 augustus 2018, uitgedrukt in millimeter en millimeter per jaar. Op basis van deze hoogteveranderingen is een correctiefactor berekend voor de maaiveldhoogte van 2022 in de verschillende proefvakken (onderste regel in de tabel). De aanname hierbij is dat de bodemdaling tussen 1 augustus 2018 en 15 november 2022 ongewijzigd is gebleven ten opzichte van de periode 2013 – 2018. De tabel geeft een overzicht van welke peilmerken per proefvak zijn gebruikt. De grijs-gearceerde peilmerken zijn om verschillende redenen buiten beschouwing gelaten. Zie tekst voor verdere toelichting.

Peilmerk	Omschrijving	Coördinaten		Hoogteverandering 2018 – 2013		Proefvak					
		RD-X	RD-Y	mm	(mm/jr)	3A	3B	1A	1F	2B	2E
008A0054	Bdr Joh. Kerkhovenpld 2	267260	588430	-15	-2.8	x					
008A0055	Hs Joh. Kerkhovenpld 3	266460	588430	-19	-3.6						
008A0056	ZW-Mr Coupure Dk tussen Carel Coenraadpld - Joh. Kerkhovenpld	267200	587600	-17	-3.2						
008A0119	NW-Mr coupure Reiderwolderpld - Joh. Kerkhovenpld	266480	587670	-16	-3.0						
008C0161	Bdr Sch Reiderwolderpld 2	268036	586001	-13	-2.5	x	x				
008C0253	Stenen Sch Bdr Hoofdwg 1 Knorrenburg, Heyde Hoeve	267850	585300	-8	-1.6	x	x				
008C0191	Bdr Prov. Wg 6	266420	585860	-15	-2.8	x	x				
008C0252	Zo-Z Stuwmr Z van Reiderwolderpld	268580	584400	-12	-2.3						
008C0181	Hs Bdr Reidewolderpld 3 Rd=089315-14	269300	584100	-8	-1.5		x	x			
008D0083	Sch Bdr Polderdwarswg 9	270439	583560	-11	-2.1			x			
008D0149	Bt op stuw a/d Polderdwarswg	271140	583270	-8	-1.5			x			
008D0052	Bdr Reiderwolderpld 28	272130	583180	-8	-1.5			x	x		
008D0054	Hs Hoofdweg 4	273320	583350	-11	-2.1						
008D0147	Garage 40m O v. Bdr Hoofdwg 1	274120	583540	-3	-0.6				x	x	x
008D0157	Sch bij Hs Reiderwolderpld 3	275010	583800	-3	-0.6				x	x	x
008D0057	Bdr Weg Nwe Statenzijl-Woldendorp	275940	583860	-6	-1.1						
008D0130	Pshs Nwe Statenzijl sluis Rd=089316-13	276590	584330	1	0.2					x	x
008D0145	Gml Nieuwe Statenzijl L/V Sl-deur	276600	584290	-1	-0.2					x	x
008D0153	O-Lhfd v/d N bet balk v/d Br	276520	583900	-1	-0.2					x	x
Gemiddeld hoogteverandering (mm/jr)						-2.4	-2.1	-1.7	-1.0	-0.2	-0.2
Correctiefactor 2018-2022 (mm)						-10	-9	-7	-4	-	-

De hoogten zijn bepaald ten opzichte van NAP en hebben een afwijking van maximaal 2 centimeter. Voor de bepaling van de hoogte ten opzichte van NAP is voor elk proefvak uitgegaan van de opgegeven hoogte van twee binnendijkse peilmerken van Rijkswaterstaat. Voor de drie westelijke proefvakken 3A, 3B en 1A waren dit de peilmerken 8A0056 en 8A0119; voor de twee oostelijke proefvakken 1F, 2B en 2E de peilmerken 8D0147 en 8D0054. Deze peilmerken worden eens per vijf jaar ingemeten. De meest recente beschikbare peilmerkhoogtes waren van 1 augustus 2018. In 2023 zijn de peilmerken opnieuw ingemeten, maar de resultaten hiervan komen niet eerder dan in de loop van 2024 beschikbaar. Om de maaiveldhoogte van de kwelder te corrigeren voor de eventueel tussen 2018 en 2022 opgetreden bodemdaling is voor elk proefvak een correctiefactor berekend (Tabel 2.1). Voor het opstellen van deze correctiefactor is voor elk proefvak de gemiddelde hoogteverandering tussen 2013 en 2018 van de drie tot vijf dichtbijgelegen peilmerken berekend en is aangenomen dat de bodemdaling zich tussen 2018 en 2022 zich met dezelfde snelheid heeft voortgezet. Enkele peilmerken zijn hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat ze een extreme waarde lieten zien en de hoogteverandering mogelijk mede door lokale factoren beïnvloed werd. De op deze wijze geschatte bodemdaling was het hoogst voor Proefvak 3A met een waarde van 2.4 mm/jaar en liep verder naar het oosten af tot een waarde van 0.2 mm/jaar voor de proefvakken 2B en 2E. De correctiefactor is vervolgens berekend door de geschatte bodemdaling te vermenigvuldigen met de

tijd tussen de opname van de peilmerken in 2018 en het veldwerk in 2022 (4.3 jaar). Voor Proefvak 3A bedroeg de correctiefactor -10 millimeter aflopend naar -4 millimeter in proefvak 1F. De gemiddelde hoogteverandering van de gebruikte peilmerken voor de proefvakken 2B en 2E was zo gering dat voor de maaiveldhoogte in deze vakken geen correctiefactor is berekend.

2.2.2 Dataverwerking

Uit de RD-plaatsbepaling van elk meetpunt (X en Y) is eerst de positie van elk meetpunt berekend als de afstand langs een raai ten opzichte van het beginpunt van die raai. Hierbij zijn op basis van o.a. het greppelpatroon kleine correcties toegepast om de hoogtemetingen zoveel mogelijk aan te laten sluiten op de voorgaande metingen.

De tweede stap was het berekenen van de gemiddelde hoogte per 5 m raaisegment. De variabele afstand tussen meetpunten maakt het namelijk onmogelijk om in een eventuele analyse van de hoogteontwikkeling van de kwelder uit te gaan van de hoogteverandering per meetpunt. Ook de analyses van de hoogteveranderingen tussen voorgaande meetrondes zijn gebaseerd op de gemiddelde hoogtes per 5m raaisegment (Esselink *et al.* 1998; Esselink 2007). De gemiddelde hoogtes van de 5 m raaisegmenten zijn alleen gebaseerd op de vlakke delen van een raai. Greppels en dammen zijn buiten beschouwing gelaten, maar zijn wel met een aparte codering in het opgeleverde databestand gehandhaafd.

De zo berekende gemiddelde hoogte per 5 m raaisegment is vervolgens gebruikt als datapunt om de gemiddelde hoogte per raai en per proefvak te berekenen. Raaisegmenten met minder dan drie meetpunten op de vlakke delen zijn daarbij buiten beschouwing gelaten.

3 Bespreking van de resultaten

3.1 Hoogte van de kwelders in 2022

De proefvakken 3A en 3B in de zuidwestelijke Dollard hadden in 2022 een hoogte van ongeveer 1.85 m +NAP (Tabel 3.1). De gemiddelde hoogte van de vier meer oostelijk proefvakken was aanzienlijk hoger en varieerde van 1.93 – 2.03 m +NAP. Aanvullend op tabel 3.1 geeft bijlage I een grafische weergave van de hoogte langs alle 34 meetraaien inclusief de hoogte van de dammen, het onbegroeide wad voor de kwelder en de diepte van de greppels en overige uitwateringen.

In alle zes proefvakken laten de lengterraaien meteen na het beginpunt een opvallend hoge rug of dam zien. Deze hoogte is ontstaan door het jaarlijks storten van de bagger uit de petsloot op de kwelder. De rug langs de petsloot kan bij hoogwater dienstdoen als eventuele vluchtroute voor het vee. Op alle dwarsraaien is het hoogteprofiel van west naar oost uitgezet. Voor de proefvakken 3A t/m 1F betekent dit dat het begin van de raaien rond de middenlaan ligt (of het verlengde daarvan) en de raaien doorlopen tot aan de hoofduitwatering die de oostgrens van deze vakken vormt. In de proefvakken 2B en 2E ligt het begin van de dwarsraaien in een hoofduitwatering en lopen de raaien door tot ongeveer de middenlaan of de middenlijn van het kweldervak. Doordat de middenlanen in het kader van het *Kwelderherstelplan Groningen* in 2011 of 2012 om redenen van veeveiligheid zijn hersteld en opgehoogd, zijn de middenlanen in veel profielen goed te herkennen, zoals bijvoorbeeld op de eerste en tweede dwarsraai in Proefvak 3A, de eerste dwarsraai in Proefvak 3B, en de eerste drie dwarsraaien in Proefvak 1A (Fig. I.2AB, I.4A, I.6ABC).

De eerste twee dwarsraaien in Proefvak 3B laten een regelmatig patroon van recent geschoonde greppels zien (Fig. I.4AB), terwijl in Proefvak 3A wel een greppelpatroon zichtbaar is, maar geen recent onderhoud lijkt te zijn gepleegd (Fig. I.6).

Op de particuliere kwelder lieten de lengterraaien in de Proefvakken 3A en 3B een relatief vlak profiel zien met een flauw aflopende helling naar het wad. De grens van de begroeiing lag op een gemiddelde hoogte van 1.47 m +NAP. Onder deze grens liet het wad een convex aflopend profiel zien (Fig. I.1, I.3). In de vier proefvakken op de kwelder van SGL was door de aanwezigheid van een klif sprake van een scherpe overgang naar het wad. In Proefvak 2E (in de zuidoosthoek van de Dollard met de laagste saliniteit) lag de grens van de begroeiing op ca. 1.0 m +NAP (Fig. I.11). In dit proefvak ligt de stroomgeul van de Buiten Aa tegen de kwelder aan. In vergelijking met de situatie voor de proefvakken 3A en 3B was de hoogte van het onbegroeide wad voor de kwelderrand van de proefvakken 1A en 1F opvallend laag, namelijk aflopend naar 0.8 – 0.9 m +NAP *versus* 1.3 m +NAP voor de kwelderrand van de vakken 3A en 3B (Fig. I.1, I.3, I.5 en I.7).

In vergelijking met de particuliere kwelder was op de kwelder van het SGL sprake van een grotere variatie in hoogte. Zo kunnen op de lengterraaien van de Proefvakken 1A en 1F laagtes of zogenaamde komgebieden worden onderscheiden afgewisseld met langs dwarsgreppels gevormde oeverwallen. Deze structuren hebben zich vooral na 1984 ontwikkeld, het jaar dat het onderhoud aan het ontwateringsstelsel op de kwelder hier werd gestaakt (Esselink *et al.* 1998).

Tabel 3.1 De hoogte van de Dollardkwelders in 2022. De tabel geeft van links naar rechts de gemiddelde maaiveldhoogte, de laagste en hoogste waarde per raai, de standaarddeviatie (*SD*) en het aantal 5 m raaisegmenten (*N*) waarover de waardes zijn berekend. Dammen, greppels en hoofdduitwateringen plus onbegroeide delen van de raaien op het wad voor de kwelder zijn buiten beschouwing gelaten.

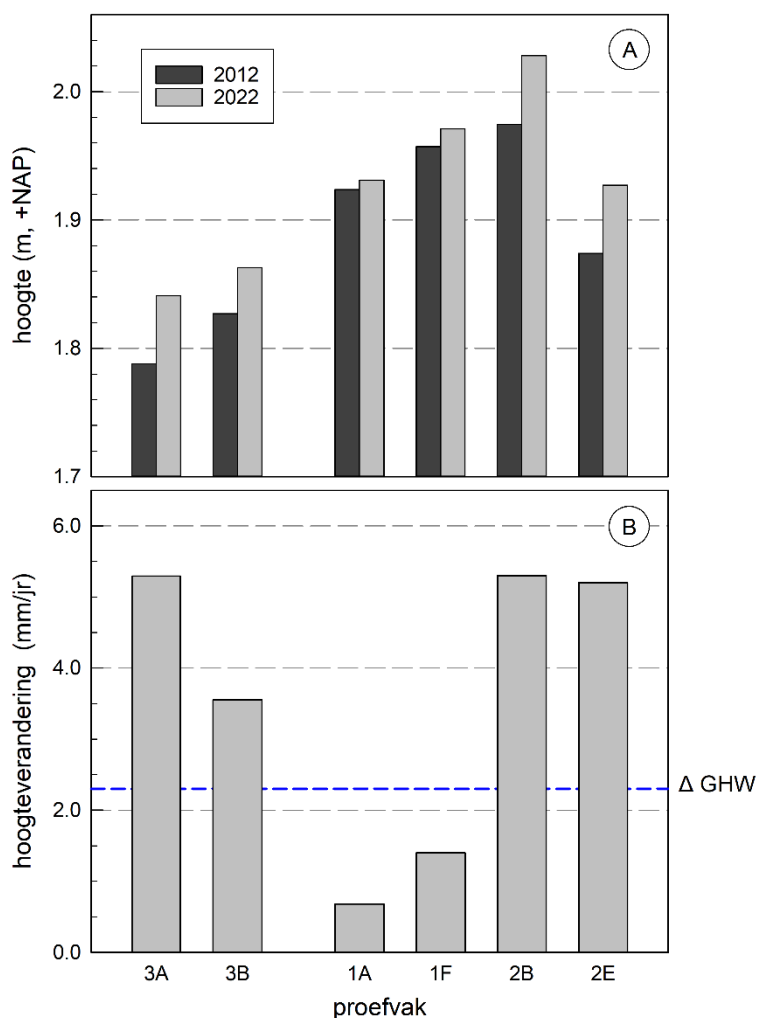
Vak	Raai		Hoogte (m +NAP)				<i>N</i>
			gemiddeld	minimum	maximum	<i>SD</i>	
3A	lengte	west	1.846	1.497	1.933	0.065	104
		oost	1.832	1.473	1.897	0.070	105
	dwars	100	1.852	1.807	1.941	0.028	37
		300	1.852	1.802	1.961	0.039	37
		500	1.827	1.767	1.876	0.032	46
	Gemiddeld			1.840	1.473	1.961	0.058
3B	lengte	west	1.844	1.500	1.950	0.074	103
		oost	1.883	1.567	2.002	0.054	101
	dwars	100	1.891	1.859	1.943	0.018	41
		300	1.892	1.839	1.982	0.040	39
		500	1.801	1.561	1.888	0.079	37
	Gemiddeld			1.863	1.500	2.002	0.067
1A	lengte	west	1.892	1.741	2.042	0.051	223
		oost	1.948	1.674	2.114	0.067	222
	dwars	100	2.027	1.874	2.180	0.066	43
		300	1.941	1.812	2.143	0.069	45
		500	1.929	1.789	2.111	0.061	44
		700	1.991	1.896	2.080	0.045	46
		900	1.868	1.715	1.969	0.062	38
	Gemiddeld			1.931	1.674	2.180	0.073
1F	lengte	west	1.925	1.635	2.098	0.086	216
		oost	1.998	1.612	2.174	0.088	203
	dwars	100	1.949	1.894	2.045	0.032	38
		400	2.068	1.924	2.177	0.083	38
		600	2.015	1.904	2.174	0.046	37
		800	1.953	1.616	2.200	0.115	41
		1000	1.996	1.727	2.153	0.123	35
	Gemiddeld			1.971	1.612	2.200	0.097
2B	lengte	west	2.039	1.691	2.173	0.090	176
		oost	2.012	1.691	2.175	0.086	158
	dwars	100	2.019	1.947	2.217	0.057	41
		400	2.035	1.917	2.165	0.063	39
		600	2.102	2.062	2.257	0.037	40
		800	1.969	1.721	2.066	0.095	38
Gemiddeld			2.028	1.691	2.257	0.086	492
2E	lengte	west	1.910	1.401	2.074	0.182	70
		oost	1.920	1.421	2.108	0.177	64
	dwars	100	2.032	1.931	2.134	0.051	38
		300	1.852	1.589	1.954	0.081	32
	Gemiddeld			1.927	1.401	2.134	0.160

3.2 Hoogteontwikkeling 2012 – 2022 en 1984 –2022

Hoewel de hoogtegegevens van 2022 mogelijk nog gecorrigeerd moeten worden op basis van de hoogtes van de NAP peilmerken van 2023, is op basis van de gemiddelde hoogte per proefvak een eerste voorlopige vergelijking gemaakt met de kwelderhoogte in 2012 (Fig. 3.1). Deze vergelijking is uitgevoerd op basis van de gemiddelde hoogte per proefvak en nog niet op basis van de

hoogteverandering per meetpunt (5 m raaisgment). Het meest opvallende resultaat is de lage hoogteverandering in de proefvakken 1A en 1F (resp. 0.7 en 1.4 mm/jr). Ook in de periode 2002/2003 – 2012 was de hoogteverandering in deze vakken opvallend laag (Fig. 3.2B), zowel in vergelijking tot de periode 1984 – 2002/2003, als in vergelijking met de overige proefvakken (Esselink *et al.* 2013). Op basis van een meer gedetailleerde analyse van de hoogteverandering per meetpunt met koppeling aan de Rijkswaterstaat vegetatiekaarten van 2012 en 2018 en het in kaart brengen van het gevoerde beweidingsbeheer in de loop der jaren moet een aannemelijke verklaring kunnen worden opgesteld voor de geringe hoogteverandering in beide vakken over de laatste 20 jaar. Eerder is al als hypothese geopperd dat een lage vegetatiebedekking in het winterhalfjaar een negatief invloed zal hebben gehad op het sedimentatiemilieu in deze vakken (Esselink *et al.* 2013).

Wanneer de hoogte van een kwelder door opslibbing sneller toeneemt dan de stijging van het GHW, zal de overstromingsfrequentie afnemen en daarmee ook de opslibbing en hoogteontwikkeling langzamer verlopen. Bij een hoogte van 2.0 m +NAP bedraagt de overstromingsfrequentie van de Dollardkwelders de laatste jaren ongeveer 75 keer per jaar (Esselink *et al.* 2023). Op basis van deze



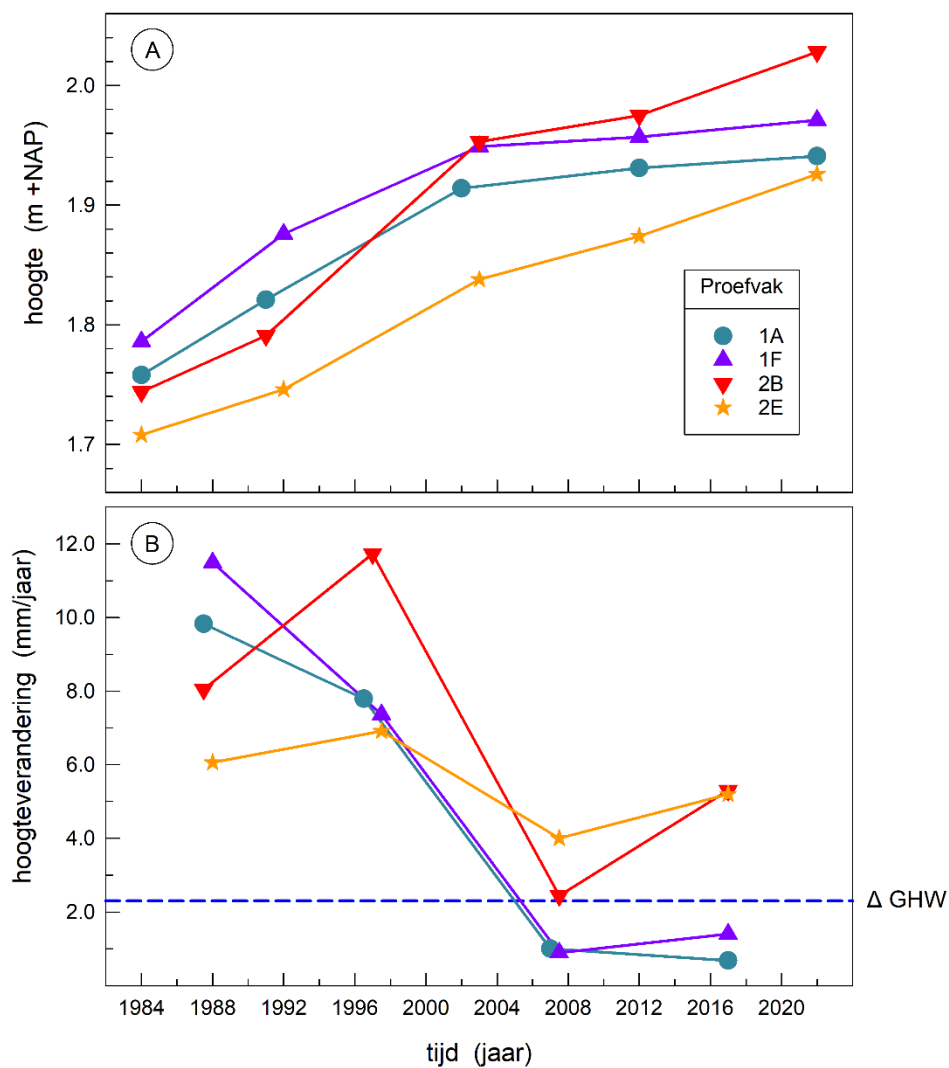
Figuur 3.1 Ontwikkeling van de kwelderhoogte in de zes proefvakken in de zuidelijke Dollard in de periode 2012 – 2022: (A) de gemiddelde hoogte per proefvak in 2012 en 2022 (voor 2022 dezelfde waarden als in Tabel 3.1) en (B) een voorlopige vergelijking van de verandering in kwelderhoogte tussen de proefvakken op basis van de gemiddelde hoogte per vak in beide jaren. Als referentie is de langjarige gemiddelde stijging van het GHW ingetekend (vgl. Fig. 2.2).

waarde lijkt het niet aannemelijk dat de hoogte van de kwelder een directe beperkende factor is voor de hoogteontwikkeling in de proefvakken 1A en 1F.

In de twee proefvakken 3A en 3B op de particuliere kwelder nam de kwelderhoogte tussen 2012 en 2022 toe met gemiddeld 4.4 mm/jaar (Fig. 3.1B). Zonder bodemdaling zou deze waarde ruim 2 mm/jaar hoger zijn geweest (Tabel 2.1). De hoogteverandering was in deze vakken in de meest zeewaarts gelegen delen van de kwelder het hoogst. Dichter bij de dijk, zoals bijvoorbeeld op de eerste dwarsraai op ongeveer 100 meter, liet de hoogte in beide proefvakken daarentegen slechts een geringe verandering zien (Tabel 3.1). Dit betekent dat het landwaartse deel van de kwelder hier achterblijft ten opzichte van de stijging van het GHW-peil.

In de vier proefvakken op de kwelder van SGL liep de hoogteontwikkeling tussen 2012 en 2022 meer uiteen (Fig. 3.1B). In de twee meest oostelijk gelegen proefvakken 2B en 2E (buiten de bodemdalingsschotel van de gaswinning) lag de gemiddelde hoogteverandering op ruim 5 mm/jaar tegenover een hoogteverandering van gemiddeld 1.0 mm/jaar in de proefvakken 1A en 1F (zie boven).

Voor de vier proefvakken op de kwelder van SGL is nu meetreeks van de kwelderhoogte opgebouwd van vijf meetrondes over een periode van bijna 40 jaar (Fig. 3.2). In deze periode nam de kwelderhoogte toe met ruim 17 centimeter in Proefvak 1A tot 28 centimeter in Proefvak 2B. De gemiddelde hoogteverandering per jaar was tot de derde hoogteopname in 2002/2003 in alle vier proefvakken opvallend veel hoger in vergelijking tot de laatste 20 jaar (Fig. 3.2B). Na de tweede meetronde in 1991/1992 bleek dat als effect van het stopzetten van het greppelonderhoud in combinatie met een extensieve runderbeweiding zich een patroon ontwikkelde van oeverwallen en komgebieden op de kwelder (Esselink *et al.* 1998). De toename van de variatie in hoogte werd als gunstig beoordeeld voor de biodiversiteit (een hogere variatie aan vegetatietypen) en weerspiegelt tot op zekere hoogte ook de opbouw van een natuurlijke kwelder (Esselink 2000). Door de lange meetreeks bestaat nu de mogelijkheid om de robuustheid (*resilience*) van het gevormde oeverwal/komgebied patroon te onderzoeken.



Figuur 3.2 Ontwikkeling van de kwelderhoogte in de vier proefvakken op de kwelder van Het Groninger Landschap in de periode 1984 – 2022. (A) De gemiddelde hoogte per proefvak tijdens de verschillende hoogteopnames. (B) Een voorlopige vergelijking van de verandering in kwelderhoogte tussen de proefvakken op basis van de gemiddelde hoogte per proefvak in de verschillende jaren. Als referentie is de langjarige gemiddelde stijging van het GHW ingetekend (vgl. Fig. 2.2).

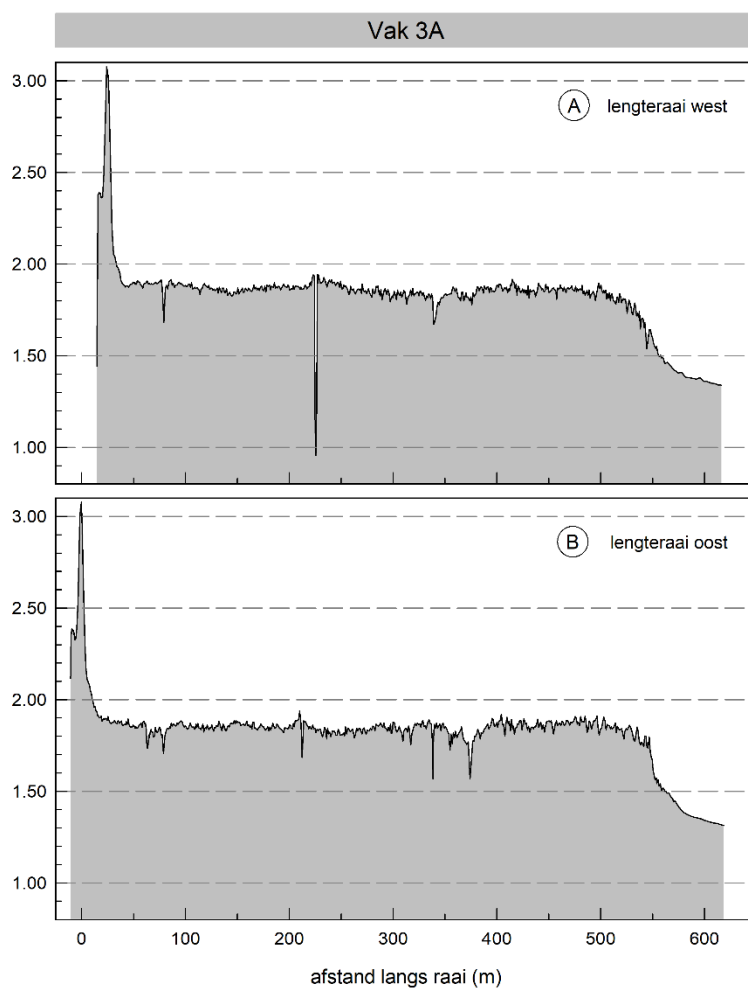
4 Literatuur

- Anonymus. 2020. Statusrapport 2020 en prognose tot het jaar 2080. Bodemdaling door aardgaswinning in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. *Rapport EP202011201629*. 58 pp.
- Dankers, N., M. Binsbergen, K. Zegers, R. Laane & M. van der Loef. 1984. Transportation of water, particulate matter and dissolved organic matter between a salt marsh and the Ems-Dollard Estuary, the Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 19: 143–165.
- Dankers, P. & J. Leuven. 2020. Kennisprogramma Hydromorfologie en Ecologie ED2050. ED2050 2021–2026. *rapport*. Royal Haskoning DHV Nederland B.V., Nijmegen. 26 pp.
- de Jonge, V.N., H.M. Schuttelaars, J.E.E. van Beusekom, S.A. Talke & H.E. de Swart. 2014. The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 139: 46–59.
- 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.
- 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. 2007. Hoogteontwikkeling verwaarloosde landaanwinningskwelder. Opslibbing van de Dollardkwelders in de periode 1991 – 2003 met een vergelijking over de periode 1984 – 1991. *rapport 2007-009*, Koeman en Bijkerk bv, Haren. 36 pp.
- Esselink, P., K.S. Dijkema, S. Reents & G. Hageman. 1998. Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Dollard estuary, the Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14: 570–582.
- Esselink, P., D. Bos, A.P. Oost, K.S. Dijkema, R. Bakker & R. de Jong. 2011. Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. *Puccimar rapport 02 / A&W rapport 1574*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek. Vries, Veenwouden. 75 pp.
- Esselink, P., P. Daniels & P. Weerstand. 2013. De hoogte van de Dollardkwelders in 2012: Beschrijving van de uitgangssituatie in het kader van het Kwelderherstelprogramma Groningen. *Datarapport*. Puccimar rapport 10. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 31 pp.
- Esselink, P., W.E. van Duin & A. Wielemaker. 2019. Variatie op de kwelder door beweiding: een handreiking aan natuurbeheerders. *Puccimar rapport 15*. Puccimar Ecologisch Onderzoek & Advies, Vries. 83 pp.
- Esselink, P., W.E. van Duin, J. Bunje, J. Cremer, E.O. Folmer, J. Frikke, M. Glahn, A.V. de Groot, N. Hecker, U. Hellwig, K. Jensen, P. Körber, J. Petersen & M. Stock. 2017. Salt marshes. In: S. Klöpffer *et al.* (red.). *Wadden Sea Quality Status Report 2017*. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- 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.
- Esselink, P. K. Elschot, M. Tolman & 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. 56 pp.
- Kamps, L.F. 1963. Mud distribution and land reclamation in the eastern Wadden shallows. *ILRI-Publication 9*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. 91 pp.

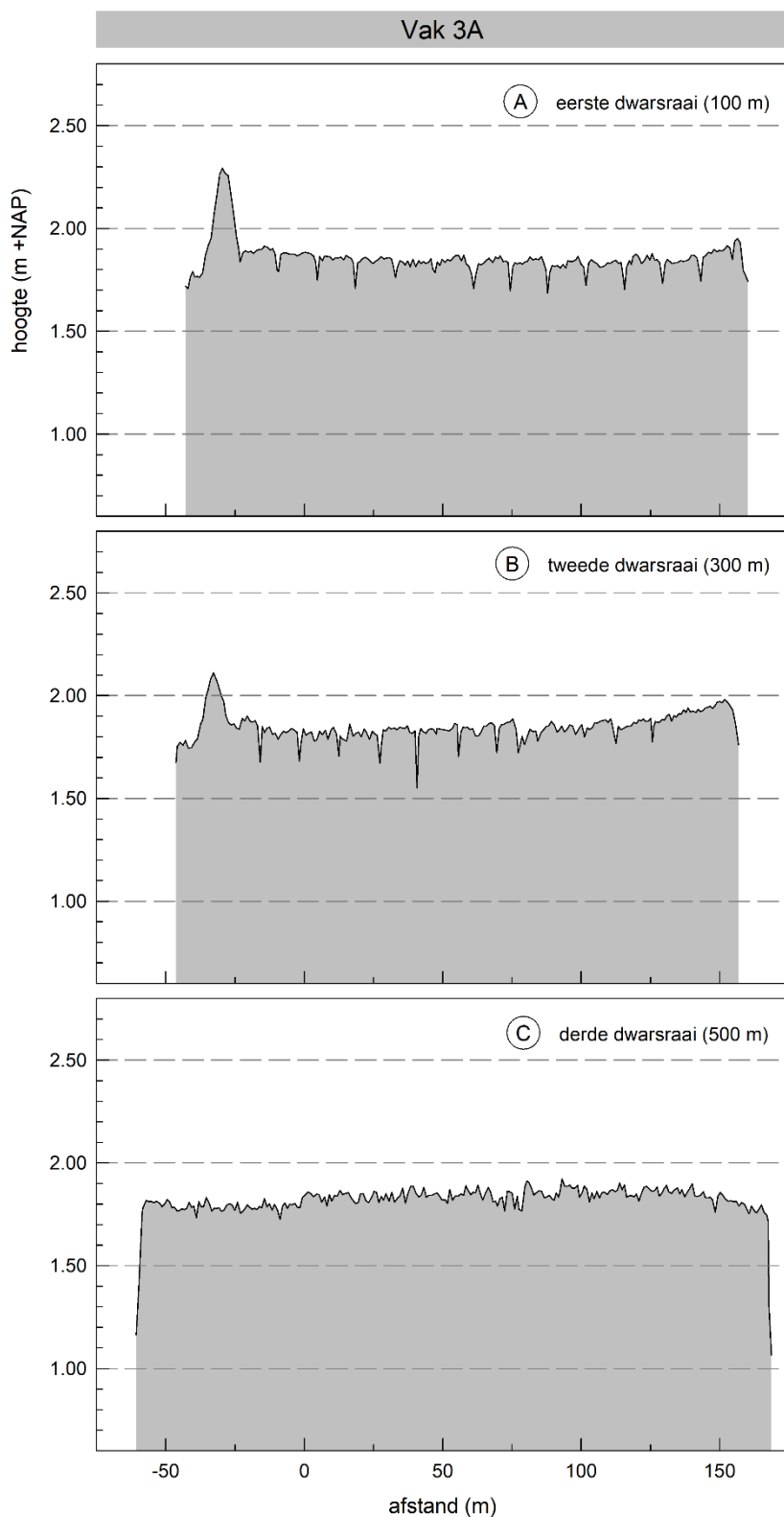
- Pranger, D.P. & M.E. Tolman. 2020. Toelichting vegetatiekartering Dollard en Punt van Reide 2018. RWS-CIV, Delft. 99 pp. +App.
- Smit, H. & E. Duimel. 2020. Actuele inzichten hydromorfologie en ecologie Eems-Dollard, met doorkijk naar strategieën en streefbeeld. Wing, Groningen.
- van Es, K. 2021. Programmaplan Programma Eems-Dollard 2050 2021-2026. *rapport*. Programma ED2050, Groningen. 52pp.
- van Maren, D.S., A.P. Oost, Z.B. Wang & P.C. Vos. 2016. The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems Estuary. *Marine Geology* 376: 147–157.

Bijlage I De hoogte van de Dollardkwelders op de meetraaien in 2022

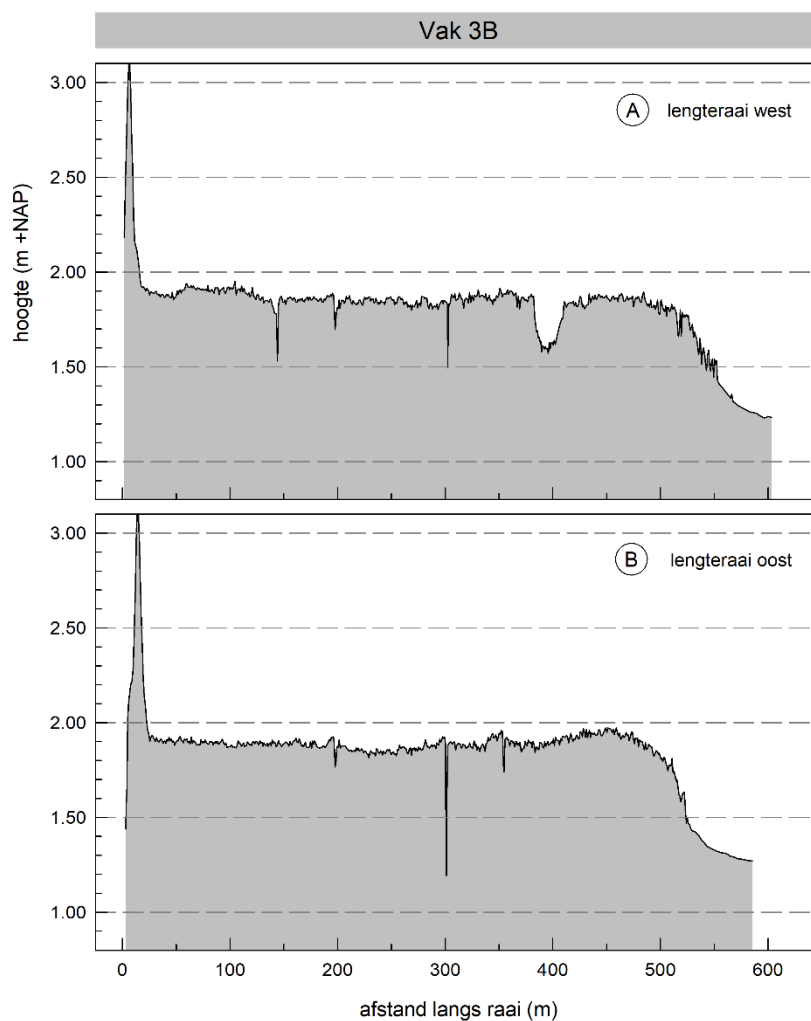
Deze bijlage geeft een grafische weergave van de metingen in 2022. Van west naar oost gaande wordt per proefvak eerst de resultaten gegeven van de lengteraaien en vervolgens van de dwarsraaien in hetzelfde vak.



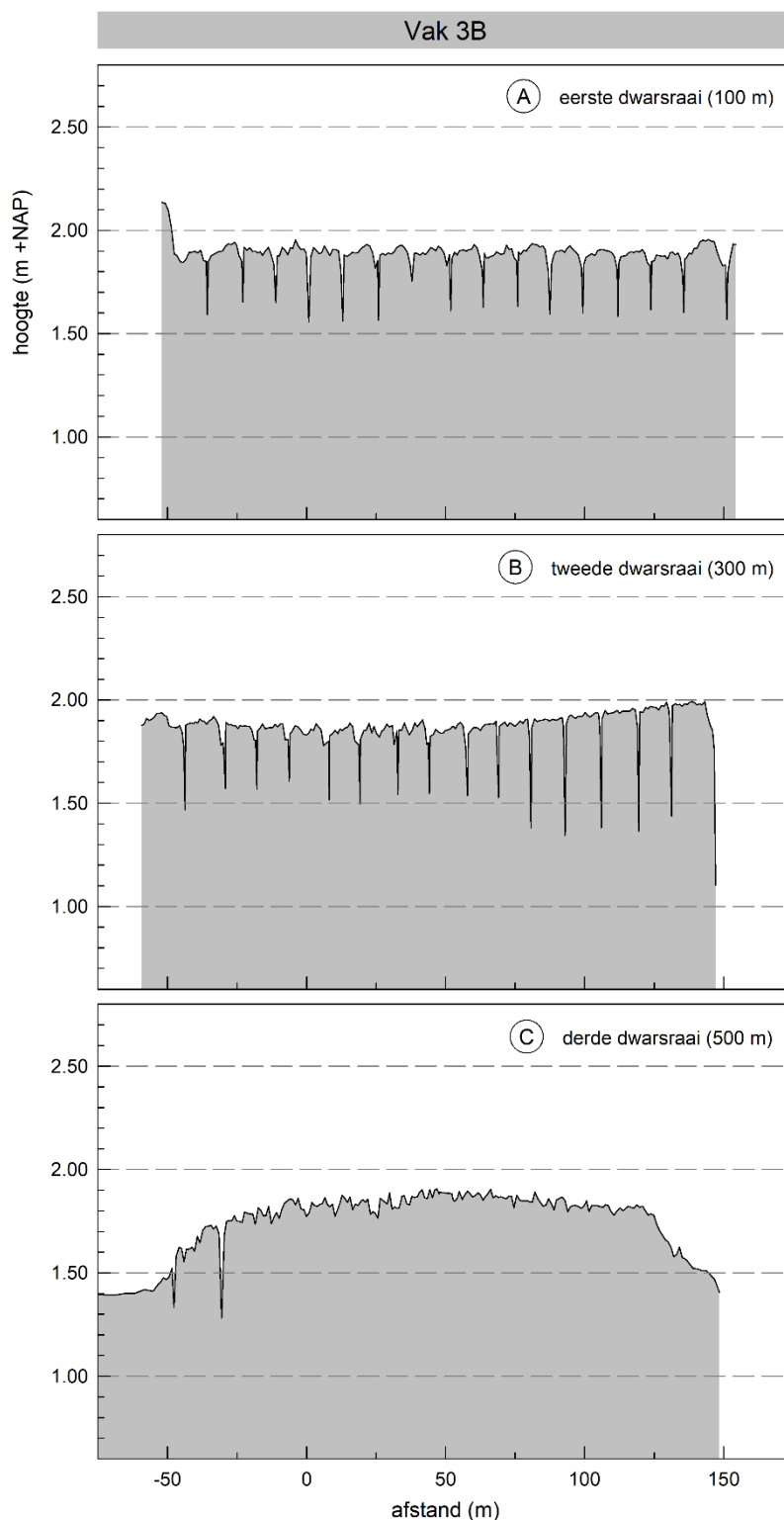
Figuur I.1 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengteraaien in Proefvak 3A vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts): (A) de westelijke raai op 150 m en (B) de oostelijke raai op 50 m parallel aan de hoofdduitwatering.



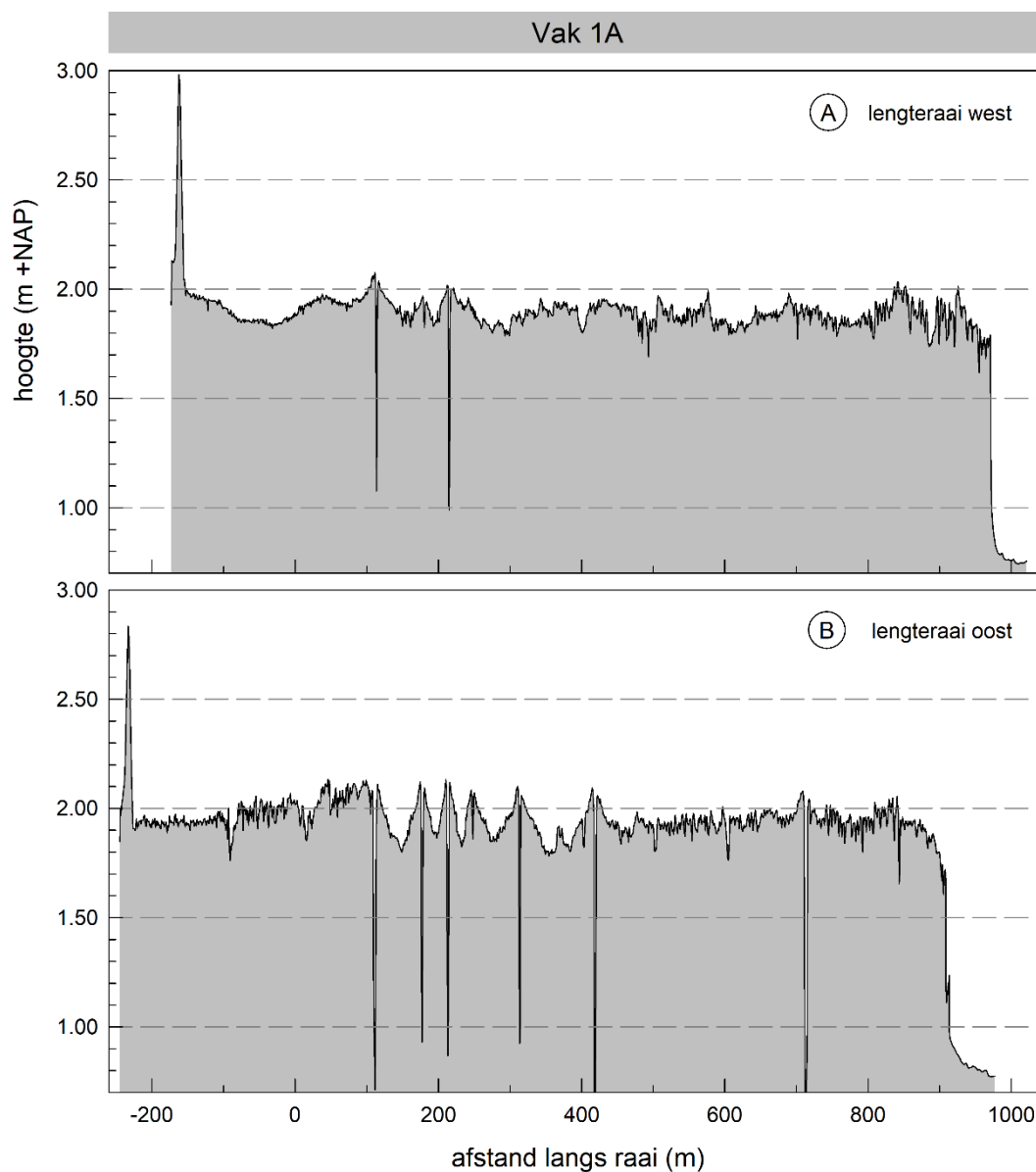
Figuur I.2 De hoogte van de kwelder in 2022 op de drie dwarsraaien in Proefvak 3A van ongeveer de middenlaan (links) tot in de hoofdduitwatering (rechts) op respectievelijk (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m van de zeedijk, (B) de tweede dwarsraai op 300 m en (C) de meest zeewaarts gelegen dwarsraai op 500 m van de zeedijk. In dit vak loopt de middenlaan niet door tot aan derde dwarsraai en ontbreekt in het profiel op deze raai.



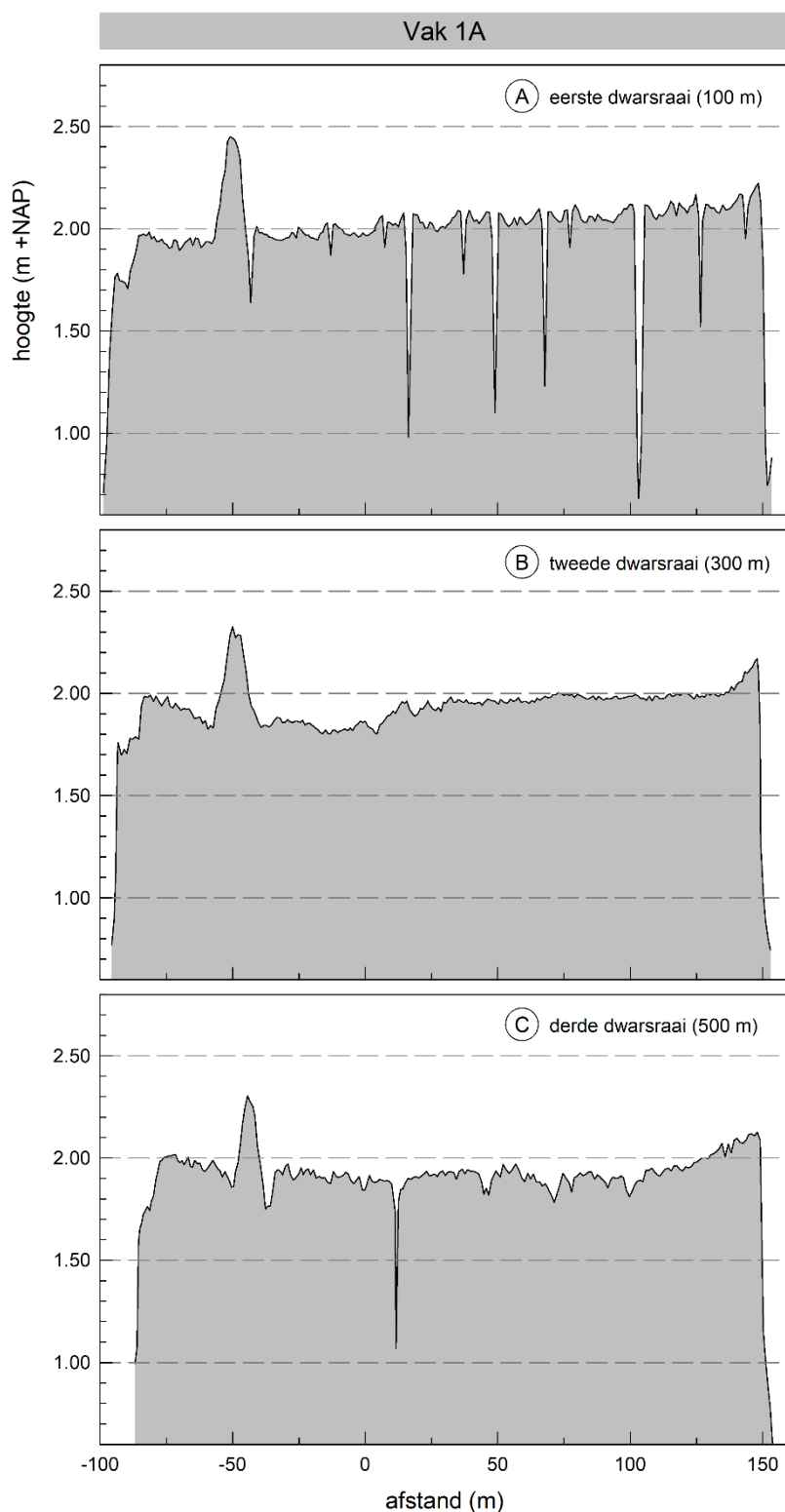
Figuur I.3 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengteraaian in Proefvak 3B vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts): (A) de westelijke raai op 150 m (B) de oostelijke raai op 50 m parallel aan de hoofdduitwatering.



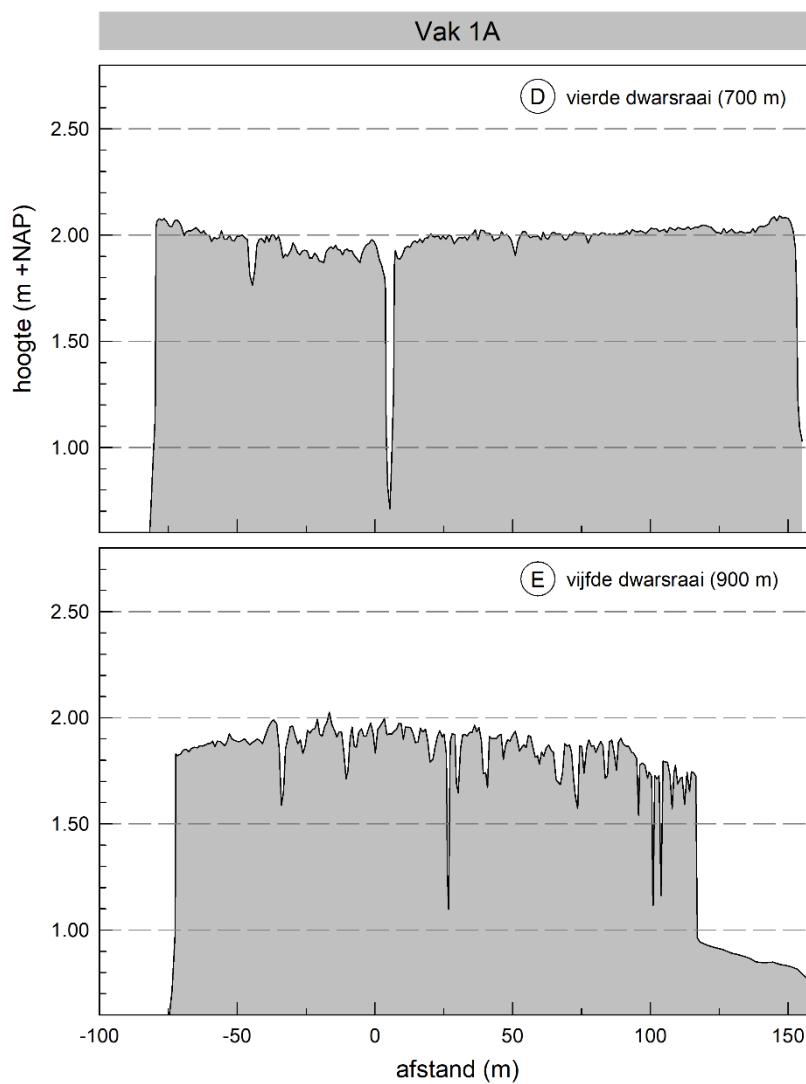
Figuur I.4 De hoogte van de kwelder in 2022 op de drie dwarsraaien in Proefvak 3B van ongeveer de middenlaan (links) tot in de hoofdduitwering (rechts) op respectievelijk (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m van de zeedijk, (B) de middelste dwarsraai op 300 m en (C) de meest zeewaarts gelegen dwarsraai op 500 m van de zeedijk. In dit vak loopt de middenlaan niet door tot aan derde dwarsraai en ontbreekt daardoor hier in het profiel.



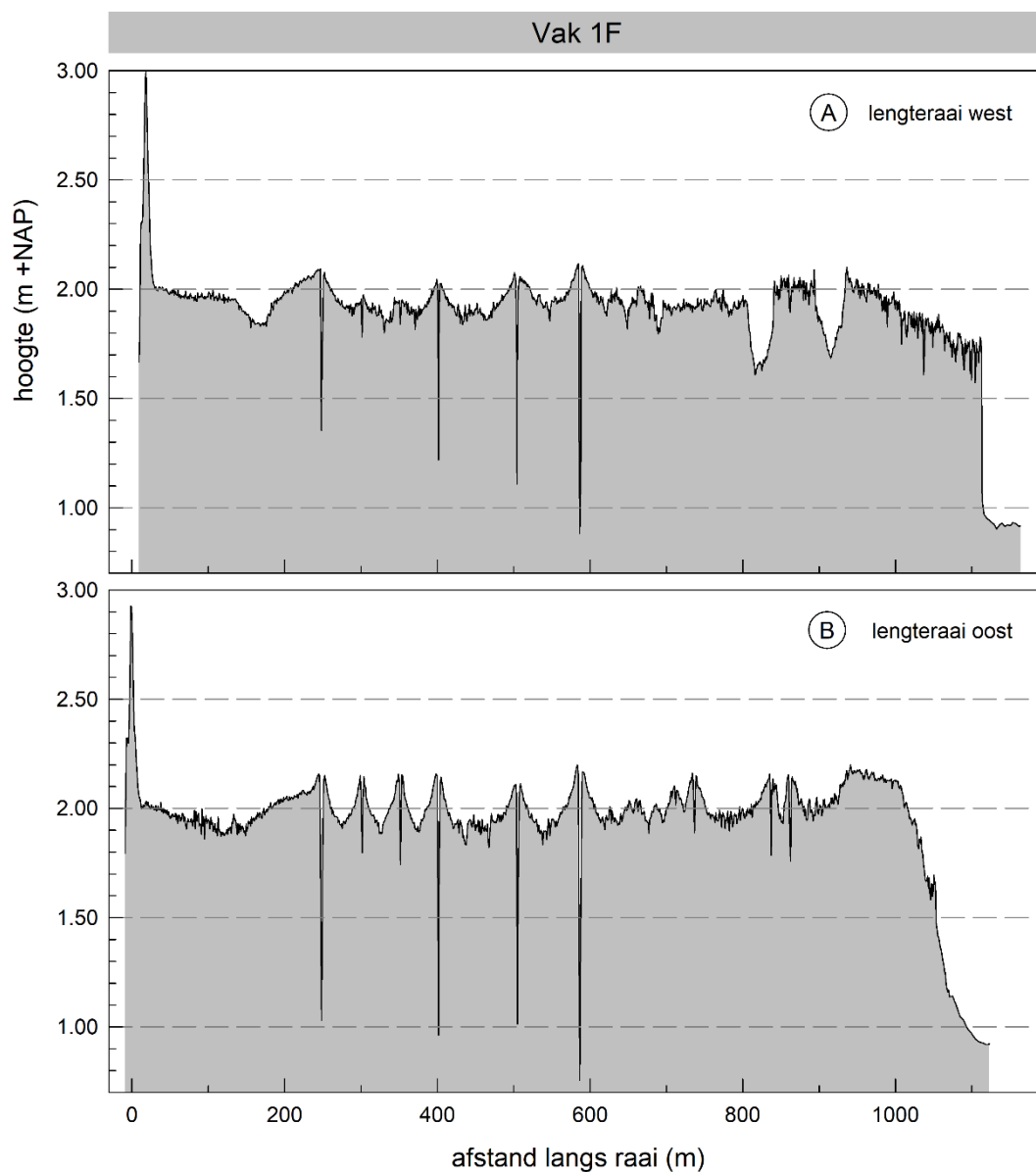
Figuur I.5 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengteraaien in Proefvak 1A vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts): (A) de westelijke raai op 150 m parallel en (B) de oostelijke raai op 50 m parallel aan de hoofduitwatering.



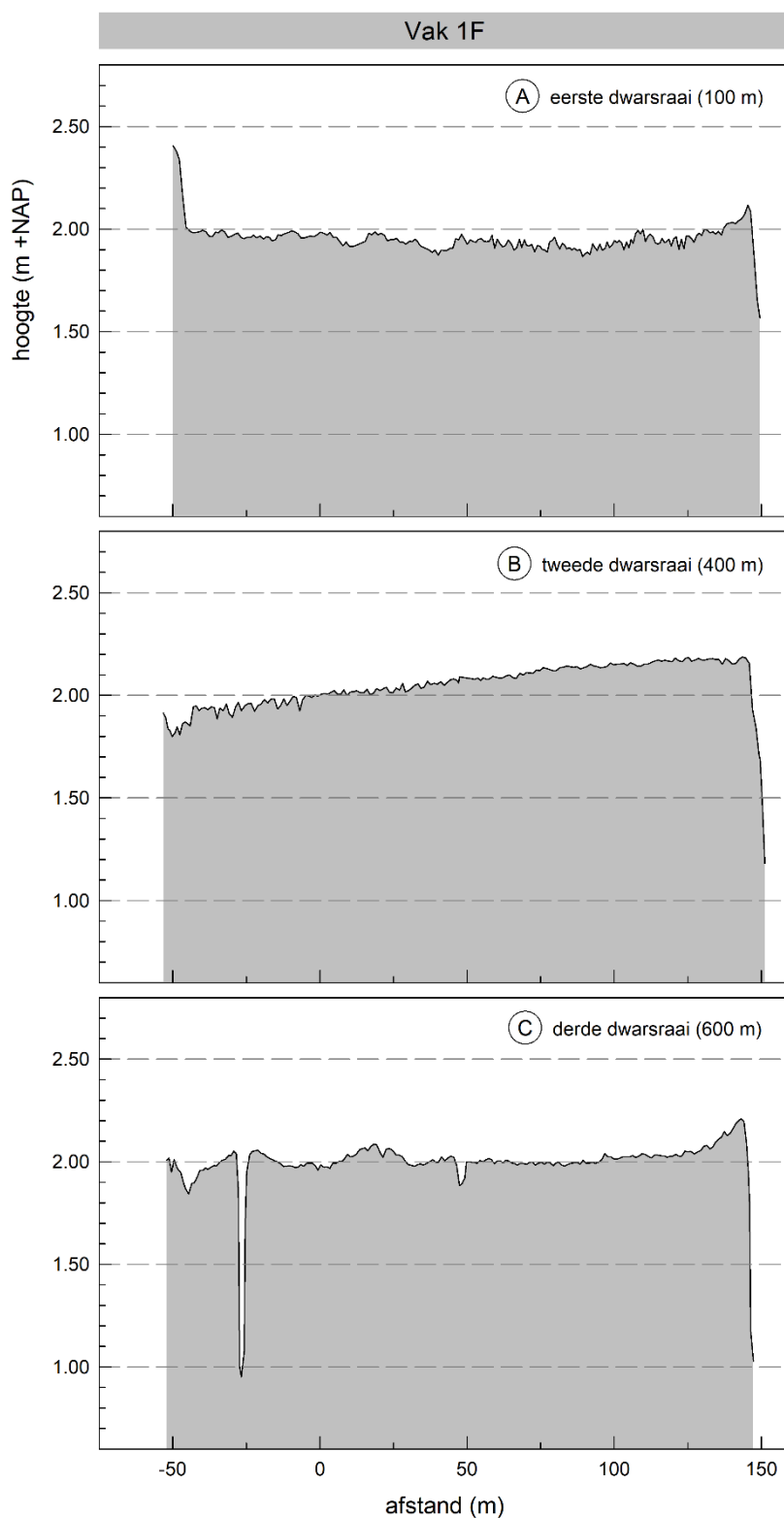
Figuur I.6 (1/2) De hoogte van de kwelder in 2022 op de vijf dwarsraaien in Proefvak 1A. Dit proefvak is smaller dan 400 m en de hoogte op de dwarsraaien is opgenomen over de volledige breedte van het proefvak van de ene hoofduitwatering tot de andere hoofduitwatering. (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien, (B) de tweede dwarsraai op 300 m, (C) de derde dwarsraai op 500 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien.



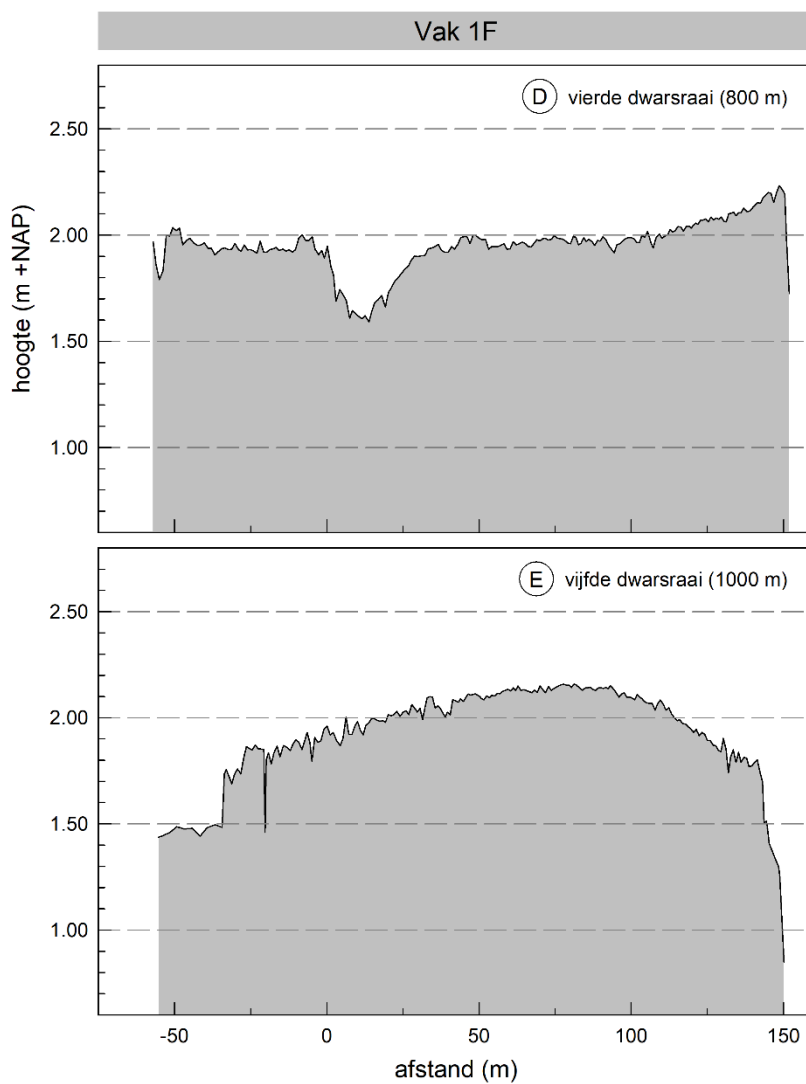
Figuur I.6 (2/2) De hoogte van de kwelder in 2022 op (D) de vierde en (E) de vijfde dwarsraai in Proefvak 1A.



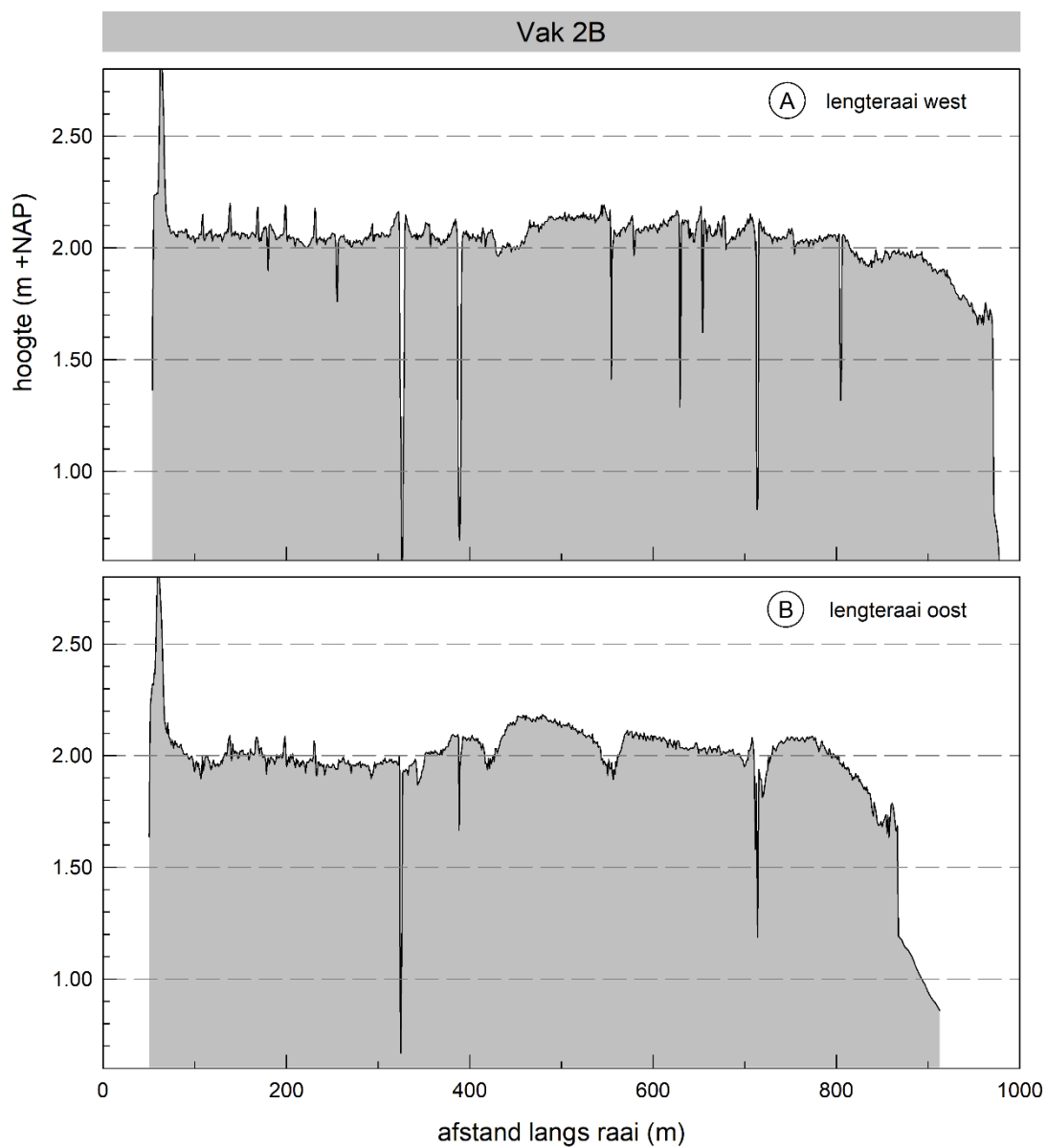
Figuur I.7 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengteraaien in Proefvak 1F vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts) op: (A) de westelijke raai op 150 m en (B) de oostelijke raai op 50 m parallel aan de hoofdduitwatering.



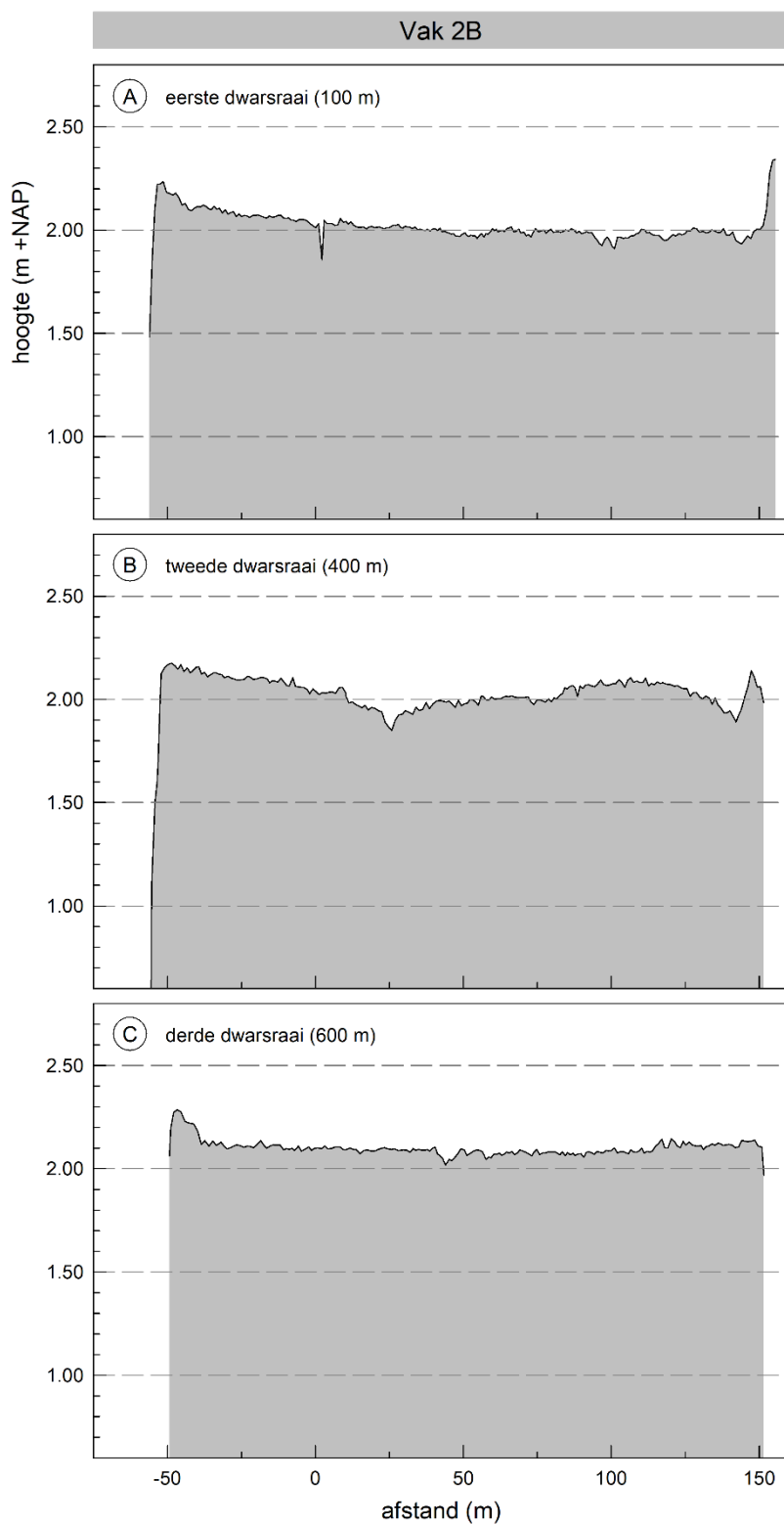
Figuur I.8 (1/2) De hoogte van de kwelder in 2022 op de vijf dwarsraaien in Proefvak 1F vanaf het midden van het vroegere landaanwinningsvak (links) tot in de hoofduitwatering (rechts). (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien, (B) de tweede dwarsraai op 400 m, (C) de derde dwarsraai op 600 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien.



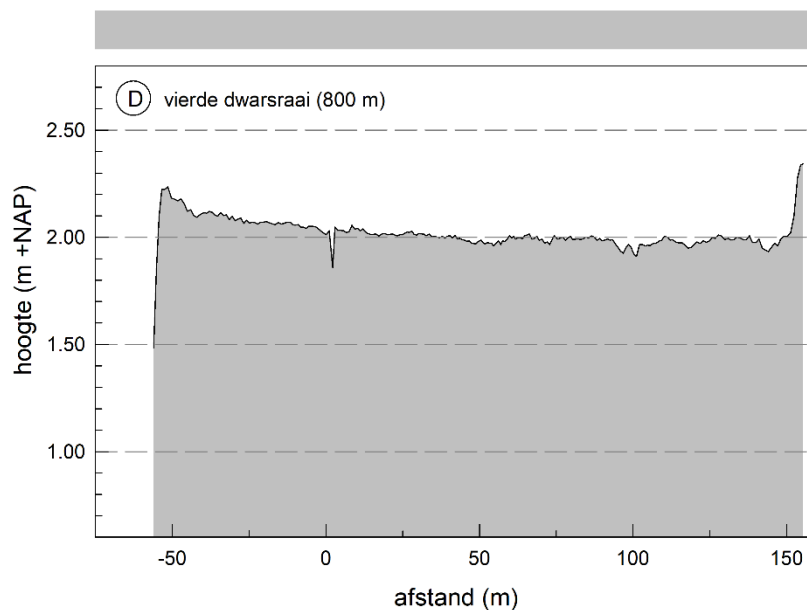
Figuur I.8 (2/2) De hoogte van de kwelder in 2022 in Proefvak 1F op (D) de vierde en (E) de vijfde dwarsraai in Proefvak 1F.



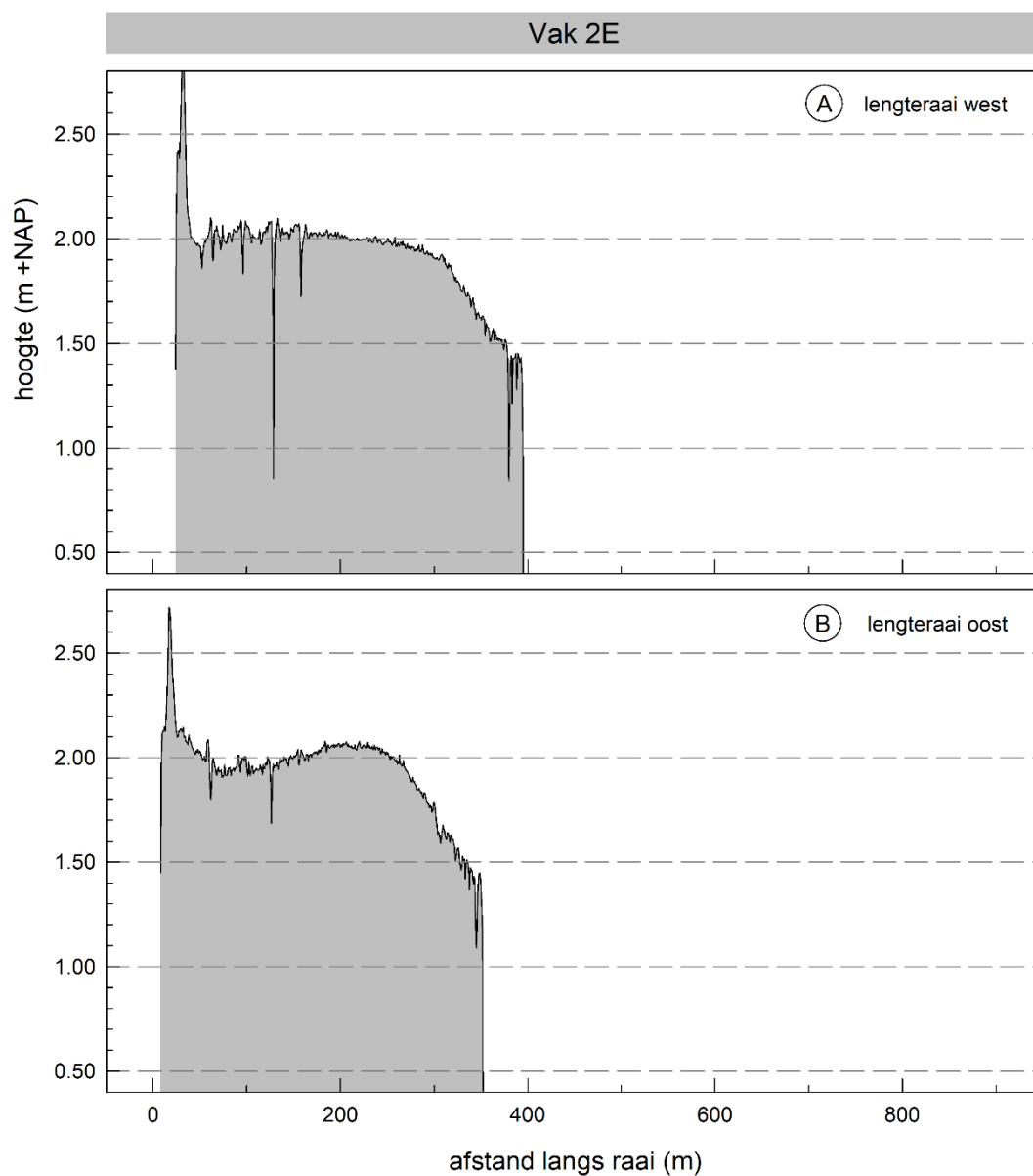
Figuur 1.9 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengteraaian in Proefvak 2B vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts) op: (A) de westelijke raai op 50 m en (B) de oostelijke raai op 150 m parallel aan de hoofdduitwering.



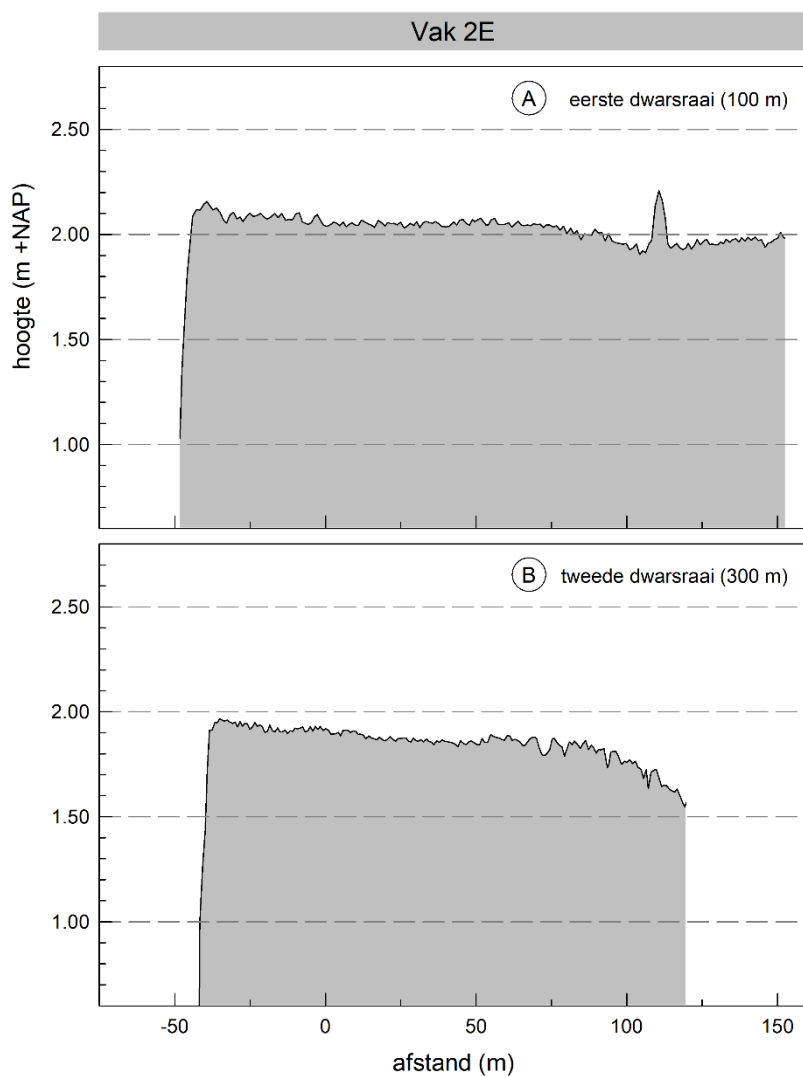
Figuur I.10 (1/2) De hoogte van de kwelder in 2022 op de vier dwarsraaien in Proefvak 2B vanaf de hoofduitwatering (links) tot ongeveer het midden van het vroegere landaanwinningsvak (rechts) op: (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien, (B) de tweede dwarsraai op 400 m en (C) de derde dwarsraai op 600 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien.



Figuur I.10 (2/2) De hoogte van de kwelder in 2022 op (D) de vierde dwarsraai in Proefvak 2B.



Figuur I.11 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee lengterraaien in Proefvak 2E vanaf de dijksloot (links) tot op het wad (rechts): op (A) de westelijke raai op 50 m en (B) de oostelijke raai op 150 m parallel aan de hoofduitwatering.



Figuur I.12 De hoogte van de kwelder in 2022 op de twee dwarsraaien in Proefvak 2E vanaf de hoofduitwatering (links) tot ongeveer het midden van het vroegere landaanwinningsvak (rechts) op: (A) de meest zuidelijke dwarsraai op 100 m en (B) de tweede dwarsraai op 300 m vanaf de nulpunten van de lengteraaien.