

Analyses en metingen Ameland zuidwest

Tommer Vermaas
Dick Mastbergen
Reinier Schrijvershof
Chris Mesdag
Timo Gaida (TU Delft)

11200538-004

Titel

Analyses en metingen Ameland zuidwest

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat	11200538-004	11200538-004-ZKS-0010	41

Trefwoorden

Ameland zuidwest, geulwandsuppletie, strandval, bestorpingen, seismiek

Samenvatting

In 2017 wordt de geulwandsuppletie bij Ameland zuidwest geplaatst, die gevolgd en na vijf jaar geëvalueerd wordt. Naast de morfologische en hydrodynamische aspecten spelen op deze locatie ook de harde kustverdediging (zinkstukken op de geulwand) en mogelijk geologie een rol. Om deze aspecten te onderzoeken zijn in 2017 aanvullende metingen uitgevoerd. De resultaten zijn ook van belang voor inzichten in de stabiliteit en de staat van de geulwand van het Borndiep bij Ameland zuidwest. Ook is onderzoek gedaan naar het optreden van strandvallen.

Op 10 maart 2017 is een strandval opgetreden bij het strandhoofd in raai 4800. De multibeammelingen van 2005 t/m 2017 ter plaatse zijn geanalyseerd. Het blijkt dat een strand- of oeverval (zettingsvloeiing) in deze periode al meermalen is voorgekomen, ook zonder dat dat op het strand zichtbaar was. Aan de ebzijde van het strandhoofd ontwikkelt zich een ontgrondingskuil, die periodiek wordt gevuld door een strandval en dan weer erodeert. Het lijkt er op dat een zinkstuk, aangelegd in 1979 of 1994 is verzakt in de ontgrondingskuil bij het strandhoofd, met de bovenzijde in 2005 op ongeveer -11 m, daarna nog water verder verzakt tot nu -14 m. Het daarboven gelegen zand is dus onbeschermd en staat onder een lokaal erg steile en diepe helling, waardoor zettingsvloeiing inderdaad te verwachten is volgens de criteria van WBI 2017.

Op de seismische metingen zijn drie eenheden onderscheiden: stenen/hoofden; schelpen/grind en klei. Deze eenheden moeten nog met vibrocores bevestigd worden. De interpretatie van de seismiek ter plaatse van de zinkstukken laat vooral stenen/hoofden en schelpen/grind zien. Er zijn ook meerdere plekken te zien waar geen van deze eenheden is waargenomen. Ter hoogte van het strandhoofd is de eenheid stenen/hoofden waargenomen, wat in lijn is met de gekarteerde bestorting o.b.v. sidescan sonar data. Ten noorden hiervan, waar de strandval is opgetreden, is ca. 100 m waar geen eenheid is gekarteerd. In de meest landwaartse lijn en zeewaarts van de zinkstukken is de eenheid schelpen/grind waargenomen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2018	Tommer Vermaas		Ad van der Spek		Dirk-Jan Walstra	
		Dick Mastbergen					
		Reinier Schrijvershof					
		Chris Mesdag					
		Timo Gaida (TU)					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	2
1.1 Achtergrond en aanleiding	2
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	2
2 Beschikbare data en metingen	3
2.1 Multibeam metingen	3
2.2 Geofysica metingen	4
2.3 Boringen	4
2.4 Backscatter	4
2.5 Kustverdediging	4
3 Analyse strandval	6
3.1 Inleiding	6
3.1.1 Wat is een strandval?	6
3.1.2 Chronologie van de waarnemingen op Ameland	8
3.1.3 Onderhoud kustverdediging en zandsuppleties	11
3.2 Multibeam metingen	12
3.2.1 Bathymetrie	12
3.2.2 Verschilkaarten en volumina	13
3.2.3 Transects	15
3.3 Analyse	18
3.3.1 Geotechnische analyse	18
3.3.2 Ontwikkeling in de tijd	20
3.3.3 3D PDF	22
4 Metingen met interpretatie	24
4.1 Sidescan sonar	24
4.2 Subbottom profiler	25
4.3 Backscatter	31
5 Conclusies en aanbevelingen	36
5.1 Conclusies m.b.t. strandval	36
5.2 Conclusies m.b.t. metingen	37
5.3 Aanbevelingen m.b.t. strandval	37
6 Referenties	38
7 Referenties URLs	41

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Binnen het project KPP Beheer en Onderhoud van de Nederlandse kust (KPP B&O kust), onderdeel 'Evaluatie suppleties', wordt de geulwandsuppletie bij Ameland zuidwest van 2017 gevolgd en na vijf jaar geëvalueerd. Naast de morfologische en hydrodynamische aspecten spelen op deze locatie ook de harde kustverdediging (zinkstukken op de geulwand) en mogelijk geologie een rol. Om deze aspecten te onderzoeken worden in 2017 aanvullende metingen uitgevoerd en is er door de CIV een sidescan sonar opname gemaakt. De resultaten zijn ook van belang voor inzichten in de stabiliteit en de staat van de geulwand van het Borndiep bij Ameland zuidwest.

Daarnaast is vanaf 2017 door de CIV in samenwerking met de TU Delft gestart met het opnemen van het backscattersignaal bij de multibeamopnames van het talud van Ameland ZW. Dit backscattersignaal kan worden gebruikt om een sedimentklassenkaart te verkrijgen van de zeebodem.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het huidige rapport is tweeledig:

- Naar aanleiding van de recente strandvallen die opgetreden zijn langs de zuidwest kust van Ameland zijn analyses uitgevoerd naar het ontstaan daarvan;
- Er zijn verschillende metingen uitgevoerd om de bestortingen en geologie in kaart te brengen.

Dit rapport gaat niet in op de geulwandsuppletie zelf, die momenteel nog wordt aangelegd. De evaluatie van de geulwandsuppletie zal vijf jaar na de aanleg plaatsvinden.

De doelen van dit onderzoek zijn:

Algemeen:

- Veiligheid / stabiliteit onderwatertalud
- Integriteit bestorting, zinkstukken
- Effectiviteit geulwandsuppletie

Geologie:

- Kartering harde lagen die effect hebben op de hydrodynamica;
- Bepalen mogelijke aanwezigheid van schelpenlaag die mogelijk een/de bron is voor het natuurgebied de Fuegelpolle.

Backscatter:

- Welke ruimtelijke patronen zijn te zien in de backscatter data?
- Welke veranderingen zijn te zien na/tijdens aanleg van de suppletie?

2 Beschikbare data en metingen

2.1 Multibeam metingen

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de beschikbare multibeammetingen van het kustvak, bestaande uit Beheerlodingen Rijkswaterstaat en In- en uitpeilingen van de aannemer van de zandsuppleties die zijn gebruikt voor de analyse van de strandval.

Tabel 2.1 Beschikbare databronnen voor de morfologische analyse. *: Laatste meting voor strandval 10 maart 2017; **: Eerste meting na strandval 10 maart 2017

Bron	Datum opname	#
Rijkswaterstaat beheerlodingen	18 juli 2005	1
	18 september 2006	2
	24 mei 2007	3
	25 mei 2009	4
	6 juli 2010	5
	18 april 2011	6
	29 november 2011	7
	17 april 2012	8
	18 november 2012	9
	12 februari 2013	10
	2 mei 2013	11
	3 april 2014	12
	11 februari 2015	13
	22 mei 2015	14
	20 augustus 2015	15
	3 maart 2016	16
	4 juli 2016	17
	19 oktober 2016	18
	6 december 2016	19
	21 februari 2017*	20
	14 maart 2017**	21
25 april 2017		
26 oktober 2017		
In- en uitpeilingen aannemer	24 mei 2017	
	22 juni 2017	
	3 augustus 2017	
	30 maart 2017	
	3 november 2017	

Er is op dit moment geen uitpeiling beschikbaar van de serie strandvallen van 3, 11 en 16 november 2017. De multibeam metingen gaan vanwege de diepgang van het survey schip tot een diepte van ongeveer -2,5m NAP. Op het strand zijn geen metingen uitgevoerd (zoals inpeiling kraterrand met GPS, waterdiepte / breshoogte met peillood), wel zijn foto's en video's beschikbaar.

2.2 Geofysica metingen

Er zijn twee type geofysische metingen uitgevoerd in het onderzoeksgebied:

- Sidescan sonar: op 14 maart 2017 door Rijkswaterstaat;
- Subbottomprofieler: van 15 t/m 17 november 2017 door Deltares;

Deltares werkt beide metingen uit en interpreteert de gegevens. De ruwe sidescan sonar data wordt verwerkt en samengesteld in een mosaic dataset. Op basis van deze dataset wordt visueel bepaald waar zinkstukken / stort zichtbaar is en zich dus aan het oppervlak bevindt.

De seismische lijnen worden visueel geïnterpreteerd waarbij aan- en mogelijke afwezigheid van de bestorting op een kaart worden weergegeven. De dikte van het sediment dat op de zinkstukken aanwezig is wordt ook visueel bepaald en op een kaart weergegeven.

2.3 Boringen

Uitvoering is gepland begin 2018 voor ca. 15 vibrocores.

Het verwerken en analyseren van de boxcores en vibrocores zal gebeuren in het Deltares/TNO laboratorium te Utrecht. Hierin zijn de volgende stappen te onderscheiden:

- 1 Openen kernen door overlangs door te snijden. Een helft hiervan wordt geanalyseerd, de andere bewaard voor eventuele later analyse.
- 2 Fotograferen kernen, op standaard manier met o.a. peilschaal.
- 3 Beschrijving van het sediment en de sedimentaire structuren.

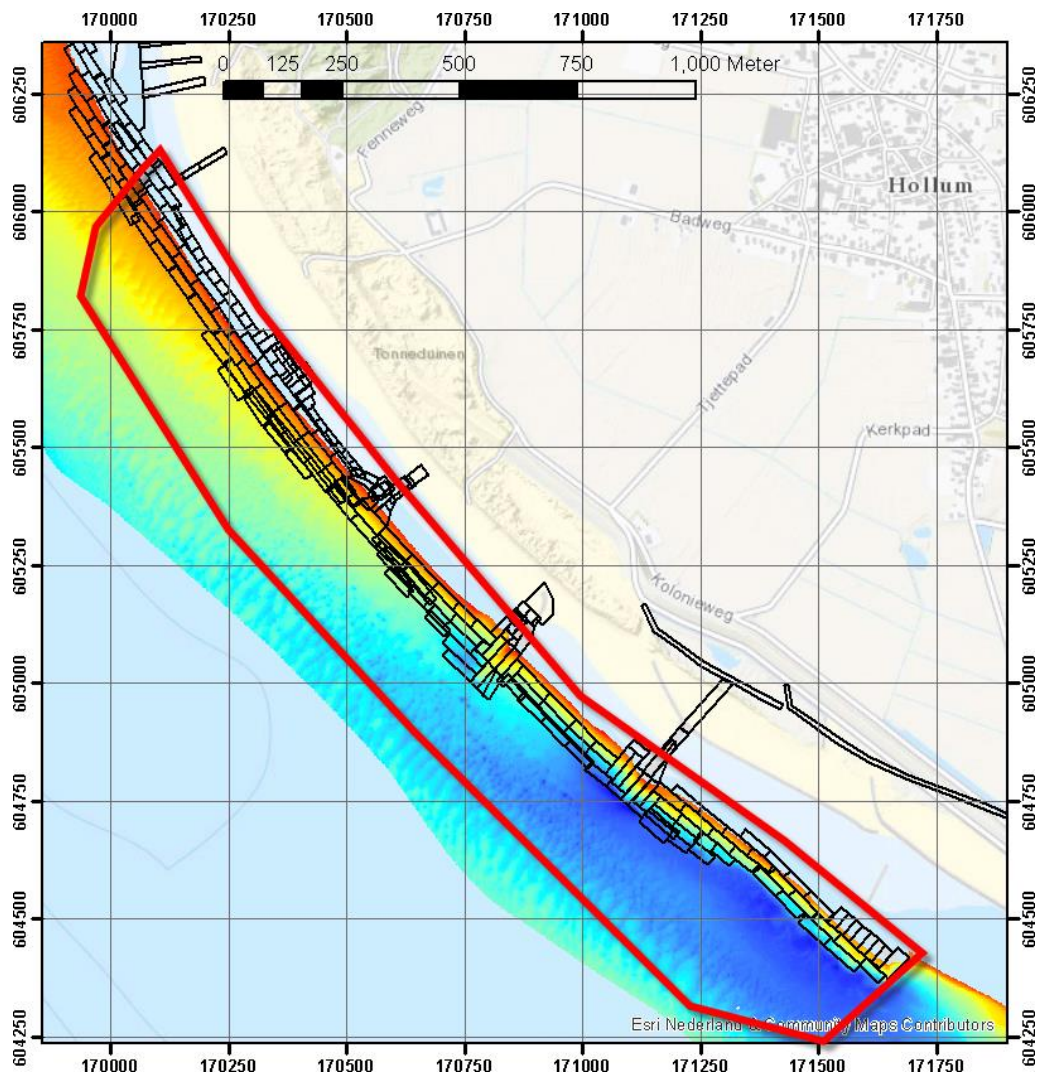
2.4 Backscatter

Tijdens de multibeam opnames van 25 april en 26 oktober 2017 is ook het backscatter signaal opgenomen.

De backscatter data worden uitgewerkt door de TU Delft. Deze uitwerking zal resulteren in een klassekaart van de bodemkarakteristieken. Voor de metingen waar ook boxcores genomen zijn wordt hier een sedimentklasse aan gekoppeld.

2.5 Kustverdediging

Door Rijkswaterstaat Noord-Nederland is een shapefile met de (theoretische) ligging van de zinkstukken en overige harde kustverdediging beschikbaar gesteld. Deze kustverdediging is te zien in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Multibeam bathymetry 21 februari 2017 van interessegebied met ligging zinkstukken en andere kustverdediging

3 Analyse strandval

3.1 Inleiding

3.1.1 Wat is een strandval?

Een strandval is een vorm van vooroeverinstabiliteit, waarbij een grote hoeveelheid zand door terugschrijdende erosie geleidelijk, in enkele uren tijd van de top van een fijnzandig onderwatertalud naar de voet stroomt en zich daar weer afzet. Indien het steile terugschrijdende erosiefront, ook wel bres genoemd, zich boven water voortzet in het strand en daar een zeer diepe en steile, kratervormige rand achterlaat spreken we van een strandval (beach collapse).

Dergelijke vallen komen ook voor in vooroevers van dijken, met gevaar voor beschadiging van de waterkering en platen, we spreken dan van strand-, vooroever-, dijk- of plaatval.

In geotechnische zin spreken we van zettingsvloeiing (flow slide of retrogressive breach failure). Het proces wordt gekenmerkt door een geleidelijk eroderende steile bres en een dichtheidsstroming onder water. Een zettingsvloeiing treedt op in fijn zand onder veel flauwere hellingen en met een veel groter inscharingslengte dan bij afschuiving. Bij de initiatie van een zettingsvloeiing kan verweking (static liquefaction) of bressen (breaching) een rol spelen, (CUR, 2008, Wettelijk Beoordelings Instrumentarium Rijkswaterstaat WBI 2017, hiervoor heeft Deltares de software D-Flow Slide ontwikkeld). Een voldoende diepe en steile onderwateroever zijn een voorwaarde, een situatie die vaak voorkomt bij getijdegeulen in deltagebieden, zoals Zeeland en de Waddenzee. In de 18^e tot in de 20^e eeuw zijn vooral in Zeeland vele dijken en polders verloren gegaan door oprukkende getijdegeulen en dijkvallen (Wilderom, 1961,1968), maar sinds de voltooiing van de Deltawerken eind jaren '80 zijn de risicovolle vooroevers volledig vastgelegd met bestorting en zijn dijkvallen zeldzaam geworden. Zettingsvloeiing is een faalmechanisme waarvoor waterkeringen wettelijk getoetst moeten worden (WBI 2017).

Plaatvallen treden nog wel veelvuldig op, zoals in de Westerschelde en de Waddenzee (Van den Berg et al, 2002, Mastbergen et al, 2015), evenals grote vooroevervallen die boven water onzichtbaar blijven, zoals in de Oosterschelde (Stoutjesdijk et al, 2012). Meer recent zijn vergelijkbare verschijnselen ook in het buitenland herkend (Beinssen et al, 2014, Shipway, 2015, Nedelec, 2015). Al langer is het verschijnsel oeverval bekend bij het zuigen van zand in zandwinputten (CUR, 2008). Niettemin is er nog veel verwarring en onbegrip aanwezig, waarschijnlijk omdat een actieve zettingsvloeiing zelden wordt waargenomen, laat staan op video vastgelegd, of omdat het verschijnsel überhaupt onbekend is, ook bij geologen, geotechnici en coastal engineers, waardoor de bekende complottheorieën in de media opduiken. In 2014 is, mede gefinancierd door Rijkswaterstaat en de waterschappen, een grote veldproef uitgevoerd door Stichting IJkdijk en Deltares bij de plaat van Walsoorden. Eerder dat jaar was hier al een grote plaatval opgetreden (Van den Ham et al, 2015, Mastbergen et al, 2015). Doel was om de werking van een zettingsvloeiing te monitoren. Bij de proef bleef de plaatval echter beperkt.

Beeldmateriaal dat nu beschikbaar is van de strandval op Ameland is daarom heel bijzonder. In hoofdstuk 7 zijn een aantal weblinks opgenomen met persberichten en beeldmateriaal van Ameland en uit het buitenland, onder meer Australië (Queensland), USA (New Jersey, waar

ook zandsuppleties plaatsvinden), Frankrijk (Cap Ferret). Dit is vooral van belang voor betere kennis van het verschijnsel zettingsvloeiing in het kader van WBI.

Een analyse van de opgetreden strandval in Ameland (zie Figuur 3.1) is voor de kustvakbeheerder Rijkswaterstaat vooral van belang, omdat daarbij mogelijk een deel van de bestaande harde kustverdediging, bestaande uit strandhoofden en zinkstukken is beschadigd en omdat het een signaal is dat de zandige vooroever onvoldoende stabiel is, die al sinds 1850 erosie ondervindt van het Borndiep en waardoor het strand en de kuststrook verder aangetast kunnen worden. Achter het strand ligt nog een duingebied met een harde dam en daarachter de zeedijk, die de primaire waterkering vormt en in beheer is bij Wetterskip Fryslan. Een direct overstromingsgevaar voor de polder en het dorp Hollum is er door deze tussengelegen buffers dus niet.

Omdat de vooroever (feitelijk de oostelijke geulwand van het Borndiep) op deze locatie met zandsuppleties versterkt wordt (de werkzaamheden lopen op dit moment: november – december 2017), is het bovendien van belang de stabiliteit van de geulwandsuppletie zelf te waarborgen bij ontwerp en uitvoering. In Zeeland, onder meer bij de geul het Oostgat, voor de kust van Walcheren, bestaat een soortgelijke situatie en hoewel de kust zelf daar meer erosieresistent is, is de stabiliteit van de geulwandsuppletie voor zettingsvloeiing daar ook een aandachtspunt (Schrijvershof en Mastbergen, 2016). Bij het Vierhuizergat in de Waddenzee werd de primaire waterkering direct bedreigd (Oost, 2013) en was een noodmaatregel nodig voor de dijkversterking. Hier worden momenteel stroommetingen uitgevoerd.

Op basis van de waarnemingen en metingen en de beschikbare kennis zal in de volgende paragrafen getracht worden te achterhalen wat de oorzaak is geweest van de strandval en in hoeverre maatregelen nodig zijn.



Figuur 3.1 Ameland 'Suidwest' met locatie strandval 2017 bij Dam C (RWS Beeldbank)

3.1.2 Chronologie van de waarnemingen op Ameland

De eerste strandval is opgetreden op 10 maart 2017, dus nog voordat met hete uitvoeren van de geplande zandsuppleties begonnen was (Figuur 3.2). Rijkswaterstaat gaf opdracht aan de surveyboot 'Siege' die enkele dagen later (14 maart) ter plaatse was, om detail multibeam metingen uit te voeren van de strandval. Een eerste analyse met foto's zijn ook direct beschikbaar gesteld aan Deltares (Figuur 3.3 en Figuur 3.4).



Figuur 3.2 Strandval Ameland 10 maart 2017 (Foto: Staatsbosbeheer)



Figuur 3.3 Locatie strandval 10 maart 2017 (tussen raai 4820 en 4840) (met meting Rijkswaterstaat 14 maart 2017)



Figuur 3.4 Strandval Ameland (Foto A. van den Heuvel van surveyschip Rijkswaterstaat, 14 maart 2017)

Het lichtbaken op het strandhoofd is al eerder verdwenen. In juni 2017 zijn de suppleties bij Ameland Zuidwest begonnen, maar zijn enige tijd stilgelegd en later in het jaar weer hervat. In november 2017, toen de suppletiewerkzaamheden volop bezig waren zijn kort na elkaar, steeds op dezelfde locatie, nog drie strandvallen geweest, namelijk 3, 11 en 16 november 2017 (website Persbureau Ameland, Youtube filmpjes Jeanet de Jong, de eerste videobeelden van een strandval in Nederland, zie ook Figuur 3.5).

Volgens ooggetuigen vinden er al veel langer strandvallen plaats ter plaatse van de strandopgang naar Hollum. De ramp met de paardenreddingboot in 1979 zou er verband mee houden (zie tekstkader).

De Paardenreddingboot Ameland (InfoNU.nl)

De maand augustus van datzelfde jaar zou de reddingboot nogmaals in het nieuws brengen. Nu met een minder plezierige ondertoon. Op 14 augustus 1979 ging de lancering helemaal mis. Die dag raakte het Duitse jacht Windspiel 4 in nood en seinde om hulp. De paardenreddingboot ging uit. De boot werd gelanceerd en door een dramatische samenloop van omstandigheden was het onmogelijk de paarden los te koppelen. Het tienduizend kilo wegende onderstel trok de paarden onder water en ze verdronken. Voerlieden Oene de Vries, Minne L. Kanger, Arend G. Barf en Douwe Wijnberg zagen hun paarden voor hun ogen verdrinken. Het was het eerste en enige ongeluk met de paarden sinds 1824. Een strandval zou de diepte, die niet te zien en te peilen was, hebben doen ontstaan.

Een soortgelijk verhaal is in New Jersey, North Wildwood nu nog actueel in verband met een rechtszaak over de verantwoordelijkheid van de strandbeheerder bij drie gevallen van verdrinking in 2009 en 2012 van personen, nadat die plotseling in het stromende water vielen terwijl ze langs de waterlijn liepen, waar op dat moment de rand van de strandval zich bevond (naar onze reconstructie). Er is evenwel geen gevaar voor instorting van de diepe steile bres.



Figuur 3.5 Actieve bressen tijdens strandval Ameland 3 november 2017 (Foto: José Kanger-Wijnberg)

Deltares krijgt opdracht voor een onderzoek naar de strandval in het kader van KPP B&O Kust begin november 2017.

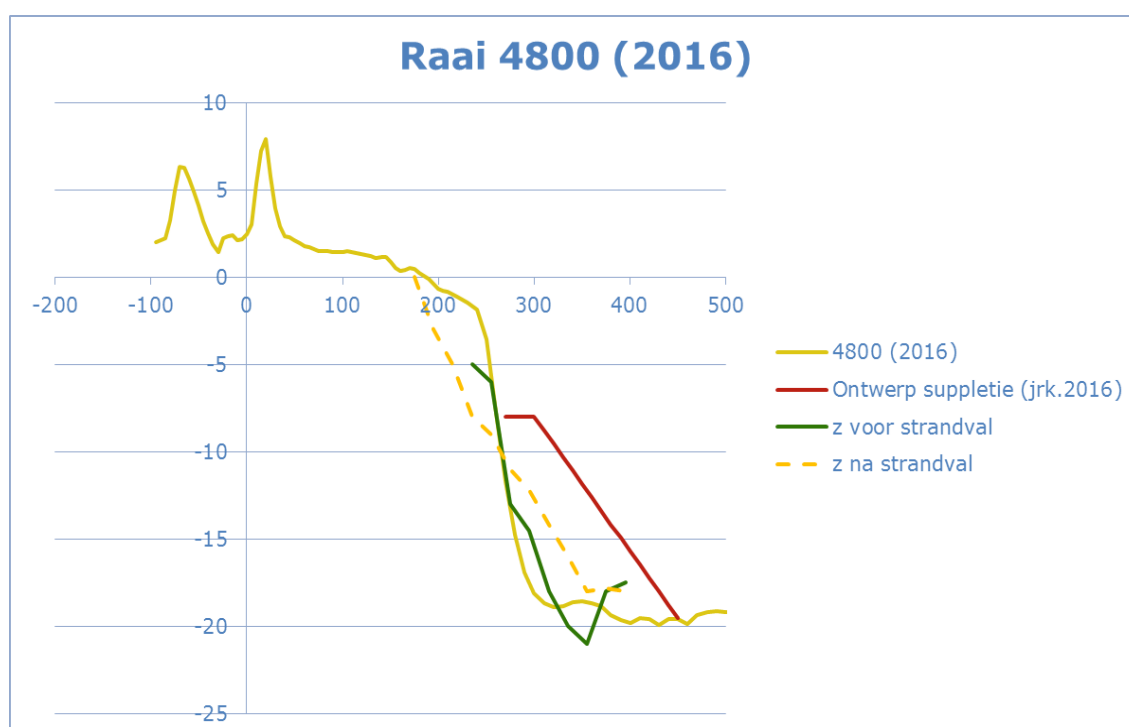
3.1.3 Onderhoud kustverdediging en zandsuppleties

Ter plaatse van Ameland west en zuidwest bij de overgang van de Waddenzeedijk naar de duinenkust, waar het Bordiep dicht onder kust ligt, worden al in 1979 voor het eerst zandsuppleties toegepast, zie Tabel 3.1. Harde verdediging bestaan uit zinkstukken (sinds 1947) en strandhoofden (sinds 1979).

Tabel 3.1 Zandsuppleties uitgevoerd Ameland West / Hollum / Westkop (Beheerbibliotheek)

Jaar	begin km	eind km	Volume Mm ³	Type
1979	1.6	2.2	0,3	strandsuppletie
1994	48.6	49.6	0,19	voeroeverbestorting en strandkribben
1997	1.2	3	0,51	strandsuppletie
2000	1	2.6	0,4	strandsuppletie
2007	1.95	3	1,2	voeroeversuppletie
2007	2	3.2	0,3	strandsuppletie
2010-2011	2	4	1,9	Strandsuppletie
2015	1.4	4.02	2,0	Strandsuppletie
2017	46	48.4	2,5	Geulwandsuppletie

Specifiek op het kustvak tussen raai 4600 (km 46) tot raai 100 (km 1) zijn de meest recente werkzaamheden het onderhoud van de oeverbestortingen en zinkstukken in 1994. Een geulwandsuppletie was gepland medio 2017, verschoven naar eind 2017. Doel is bescherming van de bestorting en op die manier indirect de bescherming van de kust. De conditie van de harde kustverdediging op dat moment was niet goed bekend, maar er kon aan getwijfeld worden gezien het optreden van de strandval en de waargenomen schade aan het strandhoofd en dat was ook een reden voor het onderzoek opgedragen aan Deltares.



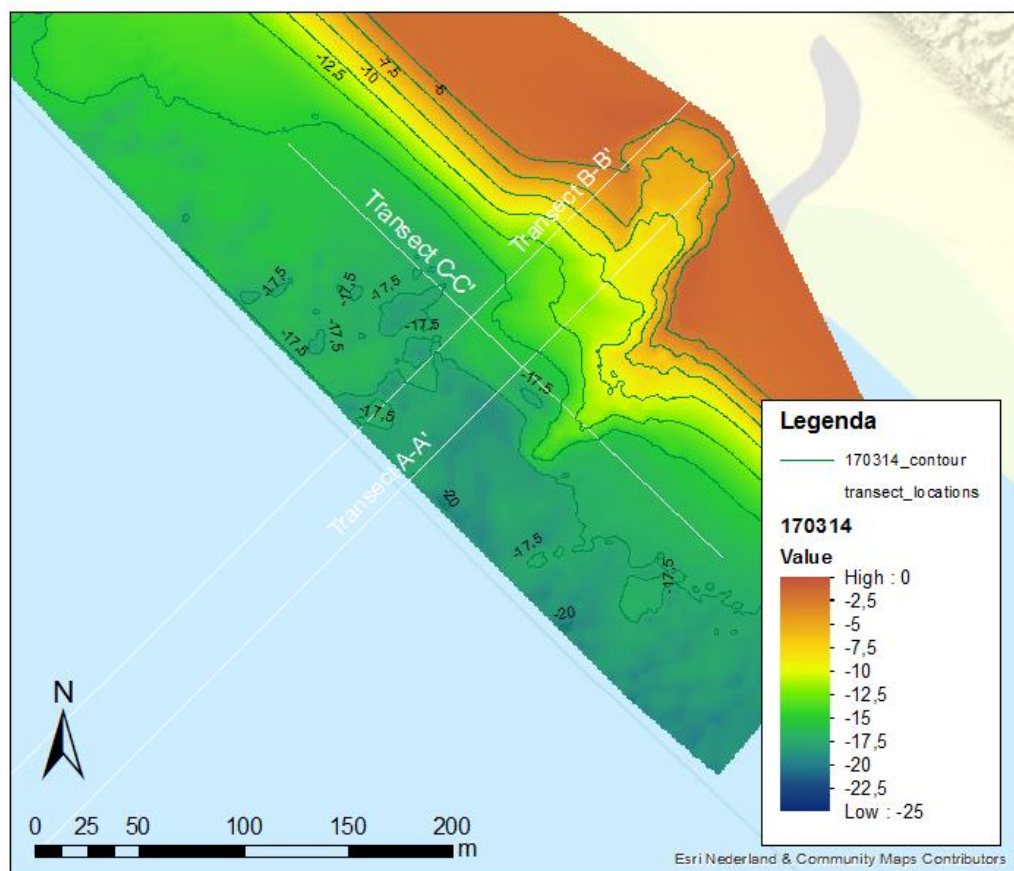
Figuur 3.6 Ontwerp geulwandsuppletie met opgetreden strandval in Raai 4800, meting 2016

In Figuur 3.6 is het ontwerp van de suppletie gegeven voor raai 4800, gebaseerd op de meting van 2016 met daarin aangegeven de metingen van direct voor en na de strandval van 10 maart 2017. Te zien is dat het deel van de vooroever dat door de strandval is verdwenen grotendeel ligt boven het zandlichaam dat door de suppletie moet worden opgebouwd. De ontwerphelling (1:10) is iets steiler dan de eindhelling van de strandval (1:15). De inscharing komt echter niet in de buurt van de duinvoet.

3.2 Multibeam metingen

3.2.1 Bathymetrie

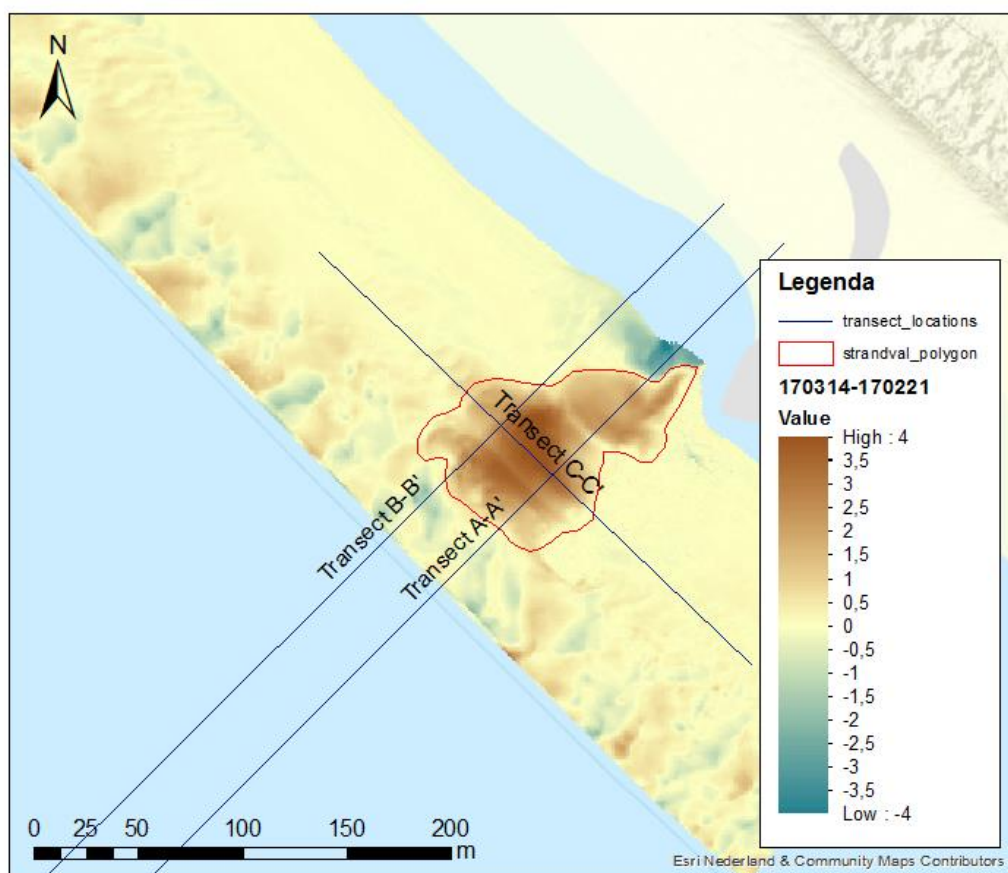
Figuur 3.7 laat duidelijk het verloop van de strandval zien. Dank zij de niet te lange periode tussen het optreden en de meting voor (21 februari) en na (14 maart) zijn de contouren nog goed te zien. De strandval is dus pal naast het strandhoofd (dam C) opgetreden en daarbij zijn mogelijk stortstenen en of zinkstukken meegenomen. Aangezien zettingsvloeiing alleen kan optreden in onbeschermd zandig talud betekent dit dat voorafgaand aan de strandval tenminste een deel van het talud niet bestort was of afgedekt met een zinkstuk, dan wel zand gelegen op de bestorting is weggevoerd. Dit laatste is ook waargenomen in de Noord-Bevelandse oever bij de Oosterschelde stormvloedkering, terwijl bij het werkeiland Neeltje Jans grote zettingsvloeiingen zijn opgetreden in onbeschermd talud en niet in zwaar beschermde rand bodembescherming (Stoutjesdijk et al, 2013)



Figuur 3.7 Bathymetrische opname van 14 maart 2017, vlak na de strandval van 10 maart 2017. De locaties van de profielen die getoond worden in paragraaf 3.2.3 (Transects AA', BB' en CC') zijn aangegeven in de figuur.

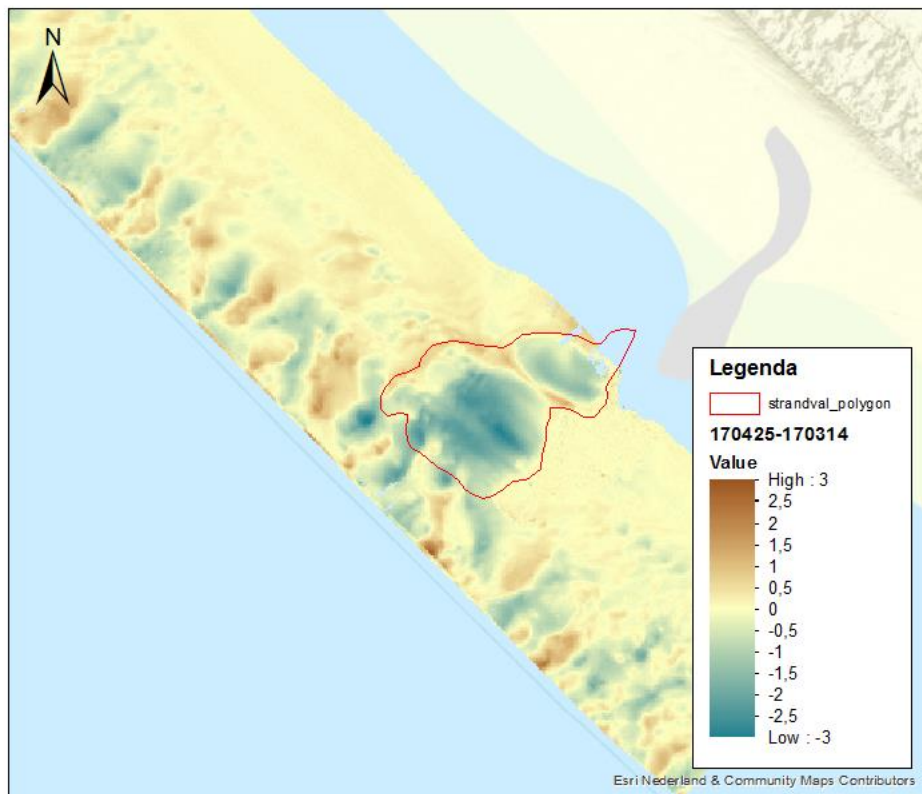
3.2.2 Verschilkaarten en volumina

In Figuur 3.8 is een verschilkaart weergegeven die de strandval weergeeft. De verschilkaart is opgesteld door de laatst beschikbare opname van voor de strandval (21 februari 2017) af te trekken van de opname die vlak na de strandval is ingemeten (14 maart 2017). De periode tussen deze twee metingen is vrij kort, waardoor het effect van de strandval op de bodemligging duidelijk zichtbaar wordt (er is waarschijnlijk nog weinig sediment van de oeverval geërodeerd). De 'krater' van de strandval is niet zichtbaar, omdat er geen metingen zijn van deze locatie van voor de strandval (te ondiep voor het survey schip).

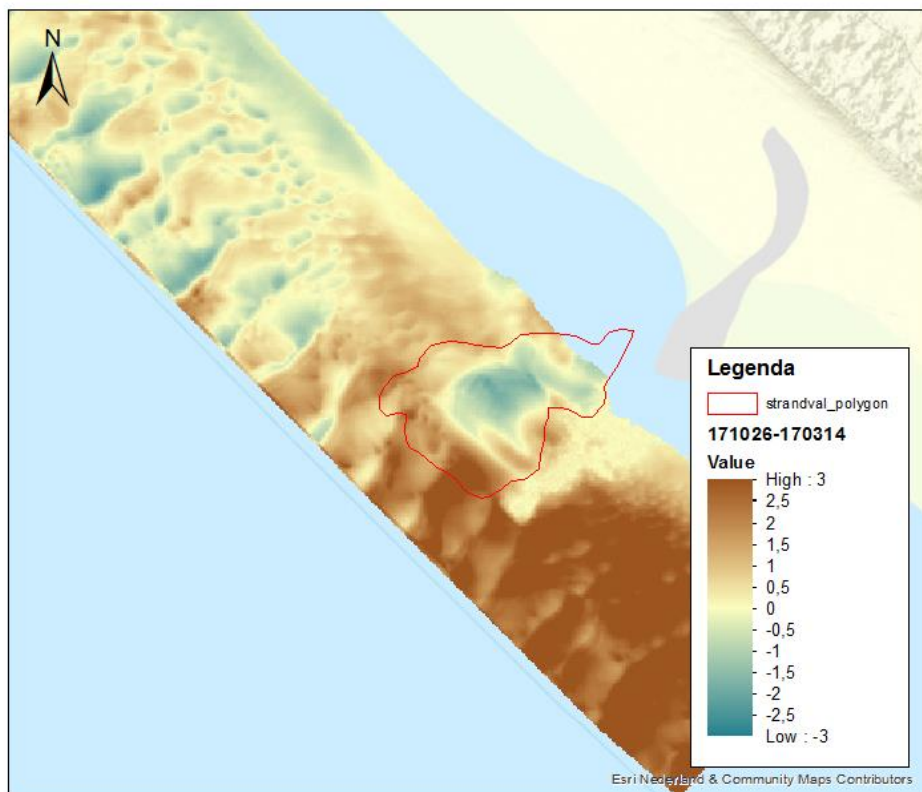


Figuur 3.8 Verschilkaart van de bathymetrische opname van 14 maart 2017 en 21 februari 2017. De locaties van de raaien en de volumepolygoon van de strandval zijn aangegeven op de kaart.

In Figuur 3.9 en Figuur 3.10 zijn verschilkaarten getoond van de periode na de strandval, die weergeven hoe de strandval ontwikkelt. De eerste maand na de strandval (Figuur 3.9) treedt er voornamelijk erosie op van het zand dat door de strandval de geul in is gevloeid. Het valt op dat er in de figuur twee aparte erosiezones te onderscheiden zijn: één aan landwaartse zijde en één aan zeewaartse zijde. De twee erosiezones worden gescheiden door een smalle band waar sedimentatie optreedt. De oorzaak van dit verschil wordt uitgelicht aan de hand van de profielen (paragraaf 3.2.3). In het half jaar daarna (Figuur 3.10) zet erosie van het zand van de oeverval door. Er zijn echter vanaf juni 2017 zandsuppleties uitgevoerd die deels is aangelegd ter plaatse van de strandval, te zien in de meting van 26 oktober 2017.



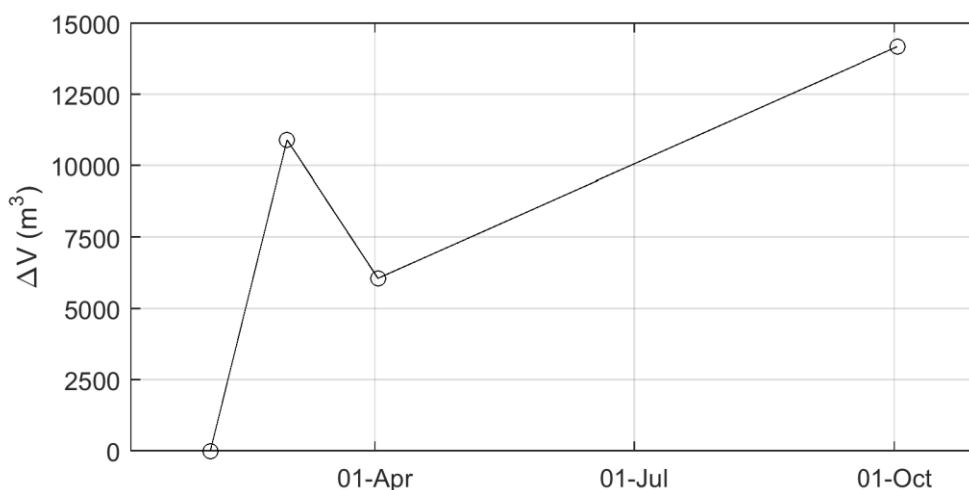
Figuur 3.9 Verschilkaart van de bathymetrische opname van 25 april 2017 en 14 maart 2017.



Figuur 3.10 Verschilkaart van de bathymetrische opname van 26 oktober 2017 en 14 maart 2017.

Aan de hand van de verschilkaart die de strandval laat zien (Figuur 3.8) is er een polygoon bepaald die de ligging van het zand dat de geul in is geschoven omsluit. De ligging van deze polygoon is in alle verschilkaarten weergegeven. Het volume binnen deze polygoon is berekend, in Figuur 3.11 is dit volume getoond ten opzichte van de meting van 21 februari 2017.

Het volume dat door de strandval de geul in is gevloeid is ongeveer 11.000 m³. Het is niet te controleren of het volume dat verdwenen is van het strand (de krater) gelijk is, omdat er geen metingen van voor en na de strandval zijn van dit gebied. Het is echter wel aannemelijk dat het volume gelijk is vanwege de zeer korte tijdsduur tussen het optreden van de strandval en de eerste meting. In de eerste maand na de strandval erodeert ongeveer de helft van het zand weer. Aan de hand van de verschilkaart is gezien dat erosie doorzet maar het volume binnen de polygoon neemt weer toe, dit is het gevolg van de suppletie die ook deels in dit gebied is aangelegd. Het gemeten volume van de strandval is dus een ondergrens en zal dus iets groter geweest zijn dan 11.000 m³. Dit is niettemin vrij gering in vergelijking met plaat- en oevervallen in de Ooster- en Westerschelde (100.000 tot 1 miljoen m³), maar daar was de geuldiepte meestal ook groter.



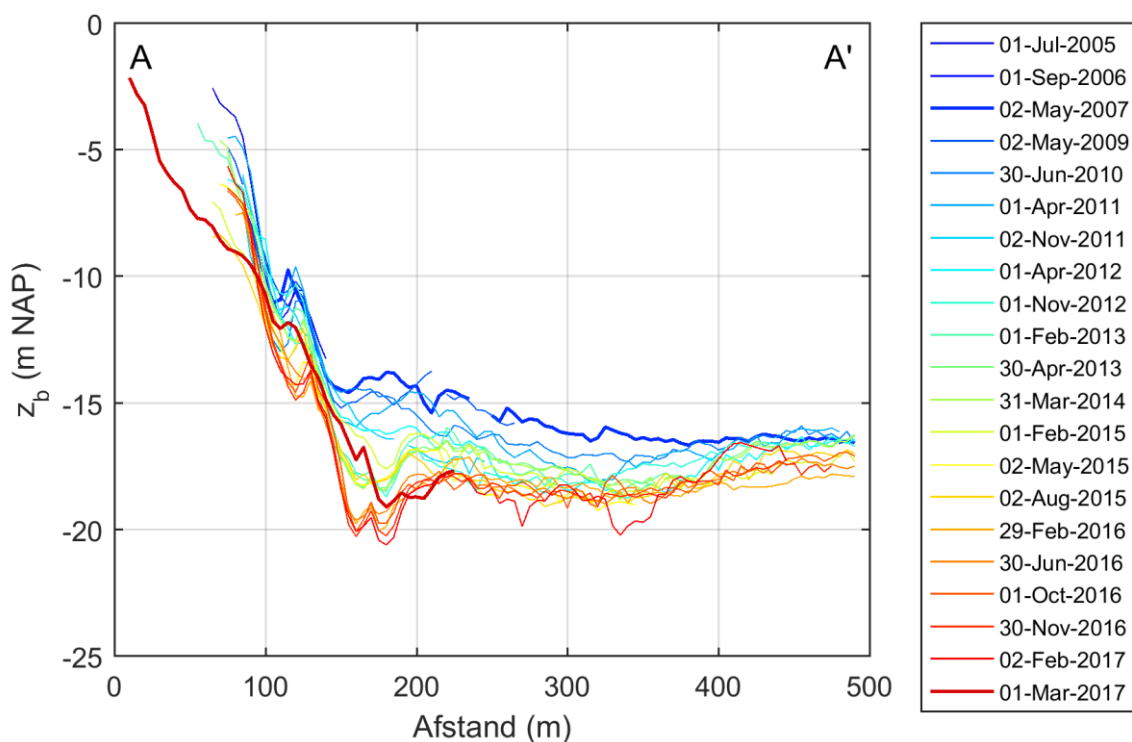
Figuur 3.11 Volume-ontwikkeling van het zand dat door de strandval de geul in is gevloeid. De toename na 1 april komt door de uitgevoerde zandsuppleties

3.2.3 Transects

Transect AA' (Figuur 3.12) geeft min of meer het dwarsprofiel door het hart van de vloeiing van 10 maart 2017, hoewel deze niet precies recht en niet precies dwars op de kust loopt. De meting van 14 maart 2017 laat de krater van de strandval tot -2,5 m diepte zien. Kennelijk kon het surveyschip op dat moment nog zo dicht onder de kust komen. De weggevoelde laag is minimaal 5 m diep en geeft een aanzanding aan de teen van minimaal 3 m. De krater loopt door tot ca +1m NAP strandhoogte. Een aanvullende meting op het strand tijdens of direct na optreden is niet beschikbaar, dit zou de ontbrekende data kunnen leveren.

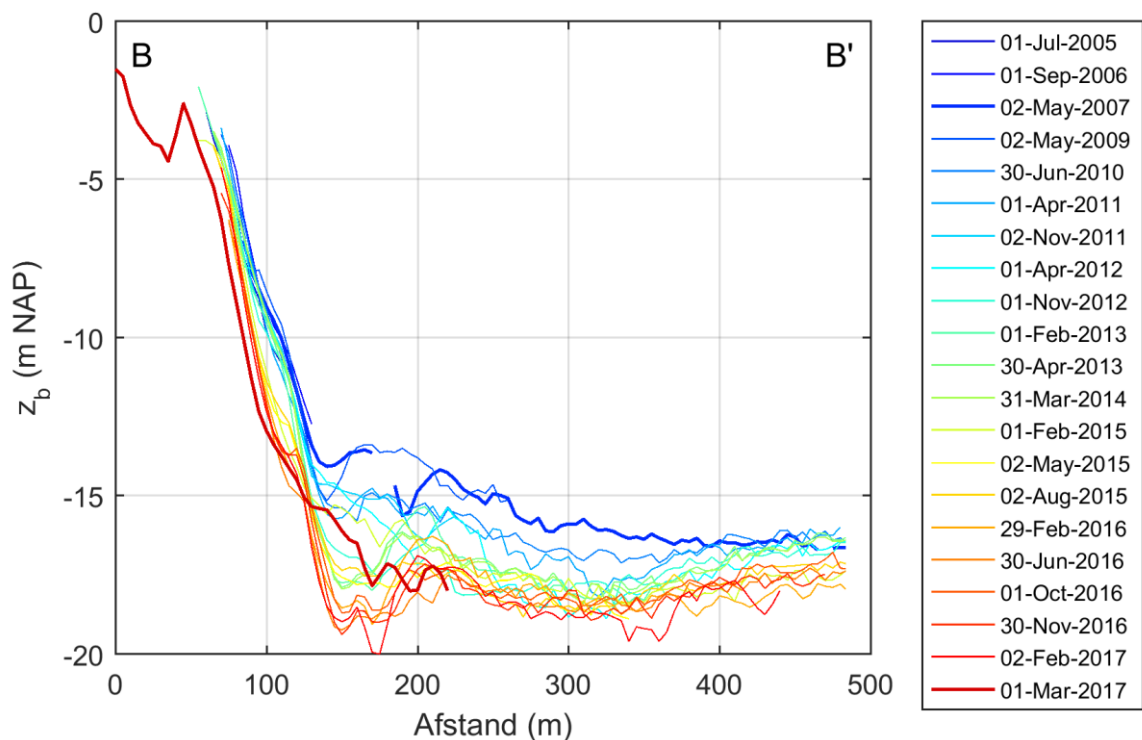
De dieptemetingen en profielen laten zien dat aan ebwaartse zijde van het strandhoofd zich geleidelijk een ontgrondingskuil ontwikkelt. Deze ontgrondingskuil bestond in 2005 nog niet. In de periode 2005 – 2017 is de ontgrondingskuil verdiept tot ongeveer NAP -20 m, dit is 5 meter dieper dan de bodemligging in 2005. Hoewel de kuil niet alleen maar verdiept is er wel

een trendmatige verdieping waar te nemen in de periode 2005-2017. De strandval van 10 maart 2017 heeft de ontgrondingskuil deels weer gevuld.



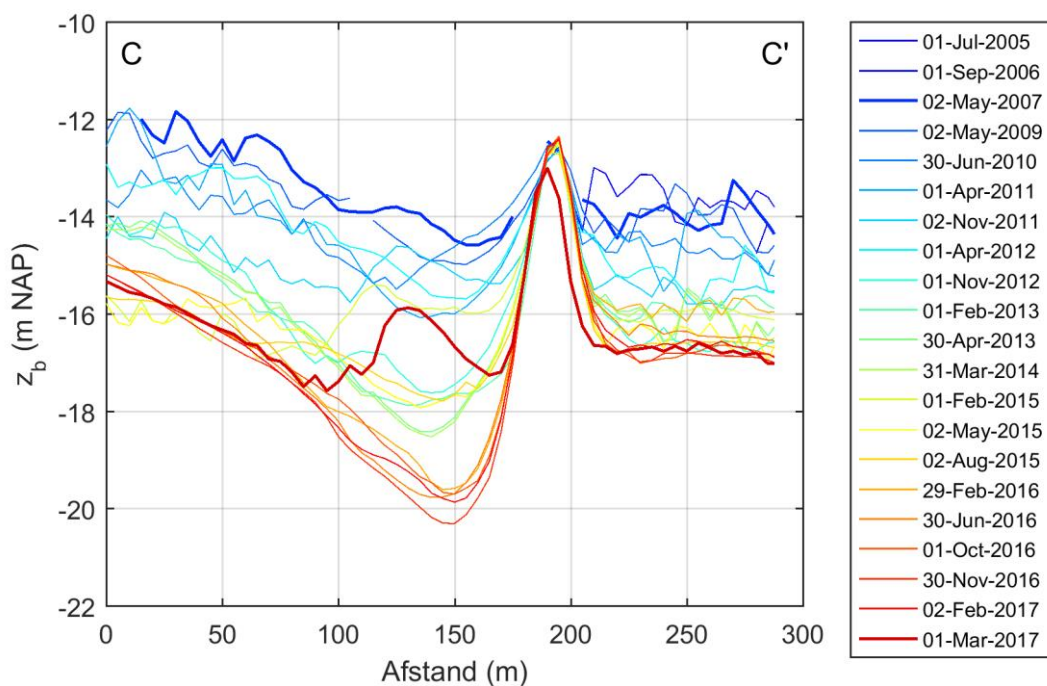
Figuur 3.12 Transect AA', min of meer in het hart van de strandval (2005-2017), zie Figuur 3.7 of Figuur 3.8 voor liggin transects

De profielen laten zien dat de ontgrondingskuil, maar eigenlijk de gehele geul zich geleidelijk verdiept tot bijna -20 m NAP wat leidt tot versteiling van de geulwand.



Figuur 3.13 Transect BB', dwars op de kust (2005-2017), zie Figuur 3.7 of Figuur 3.8 voor ligging transects

In dwarsprofiel BB' (Figuur 3.13) is de rand van het zinkstuk niet meer goed te zien, mogelijk nog net op -14m NAP. Langsprofiel CC' (Figuur 3.14) laat links de ontgrondingskuil en de voet van de strandval zien, rechts het strandhoofd. Er is sprake van geleidelijke verdieping dus versteiling en verdieping van de gculwand.



Figuur 3.14 Transect CC', parallel aan de kust (2005-2017), zie Figuur 3.7 of Figuur 3.8 voor ligging transects

3.3 Analyse

3.3.1 Geotechnische analyse

Voor de beoordeling van de stabiliteit van (vooroevers van) waterkeringen en de veiligheid voor overstromen is het instrumentarium WBI 2017 ontwikkeld. Voor het faalmechanisme zettingsvloeiing bestaat er een eenvoudige, een gedetailleerde en een geavanceerde toets, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen bres- en verwekingsvloeiing. Hiervoor is de software D-Flowslide ontwikkeld. Is de veiligheid onvoldoende dan moet een vlakdekkende steenbestorting worden aangebracht.

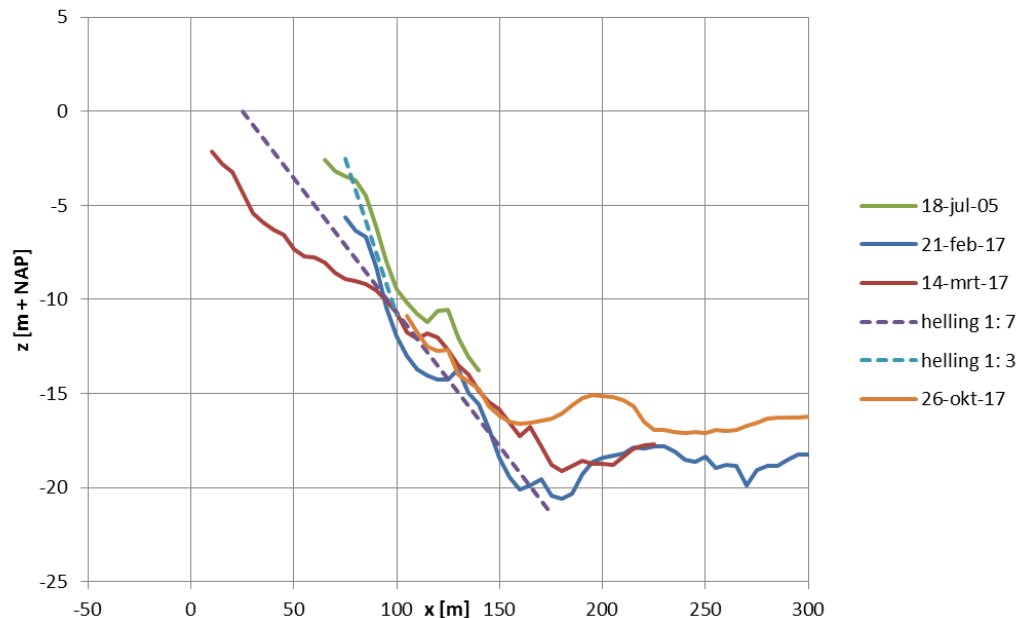
De oeverval die in maart is opgetreden vond plaats op een locatie waar bestorting volgens de kaarten aanwezig zou zijn. Relevant voor de stabiliteit van de geulwand is of deze oeverval is opgetreden in sediment dat óp de bestorting aanwezig was, of dat de bestorting ook verschoven of beschadigd is. De aanlegtekeningen van de bestorting zijn op dit moment (nog) niet beschikbaar en in digitale vorm is alleen een kaart beschikbaar met de horizontale coördinaten. Voor de beoordeling van de Helderse Zeewering voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier worden ook zettingsvloeiingsberekeningen gemaakt. De informatie van de ligging van de zinkstukken is gedigitaliseerd en in dwarsprofielen met de multibeammelingen ingeplot. Daarmee kan beoordeeld worden of de bescherming nog intact is en of er erosie aan de teen optreedt, waardoor verzakking van de zinkstukken zou kunnen optreden en uiteindelijk een doorgaand zettingsvloeiing.

De criteria voor optreden en kans op schade door zettingsvloeiing zijn afgeleid uit empirische gegevens over dijk- en oevervallen in Zeeland, in totaal meer dan 1000 gevallen (Wilderom, 1979). De eenvoudige toets geeft aan dat zettingsvloeiing kan optreden indien:

- 4 het talud fijnzandig en onbeschermd is,
- 5 er tenminste een gedeelte van het talud van minimaal 5 m hoogte is dat steiler is dan 1:3 (signaleringswaarde 1:4),
- 6 de gemiddelde helling van het talud, afhankelijk van de hoogte, tenminste 1:7 bedraagt.

Uit Figuur 3.15 blijkt dat de situatie voor de strandval aan deze criteria voldoet. Te zien is ook dat de eerste suppletie geen invloed heeft op het steile talud waar de strandval is opgetreden.

Ameland ZW Strandval 10 maart 2017



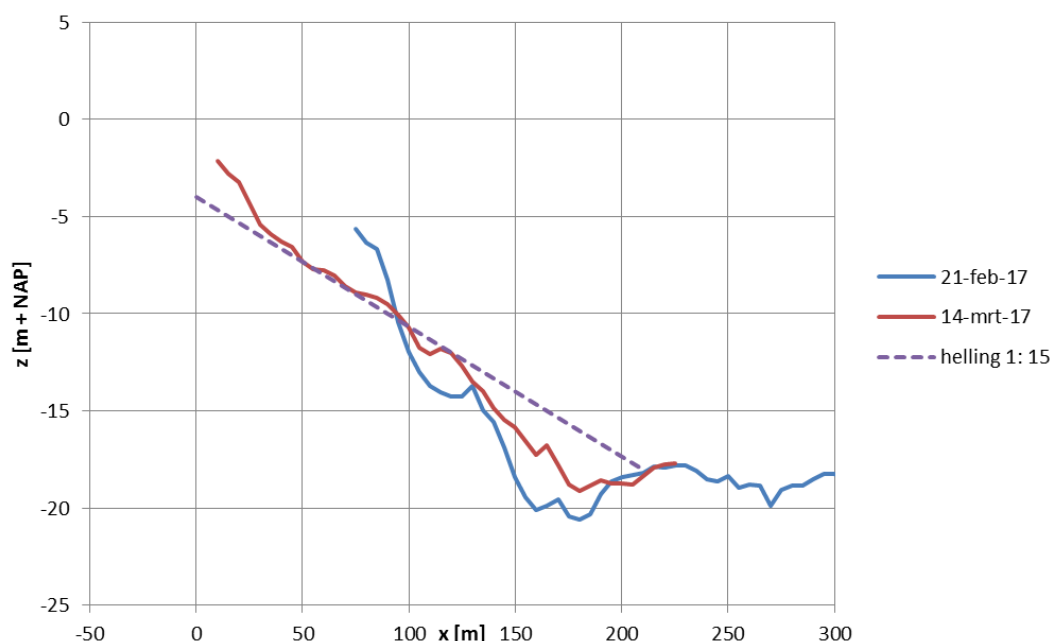
Figuur 3.15 Metingen strandval AA' en criteria voor optreden (gearceerde lijne)

Voor de gedetailleerde toets wordt op empirische en probabilistische wijze nagegaan of de klans op een inscharing in de vooroever die schade veroorzaakt aan de waterkering, voldoende klein is. Een benadering van het inscharingsprofiel is een lijn van 1:15 (Wilderom, 1979), zie Figuur 3.16. Deze lijn laat een iets diepere inscharing zien dan in werkelijkheid is opgetreden, maar de duinvoet en de waterkering liggen op voldoende afstand van de vooroever en zullen niet worden beschadigd.

Tenslotte is er nog een geavanceerde toets waarmee de kans op verweking (SLIQ2D) of een zichzelf versterkende bres (HMBreach) berekend kan worden. Deze berekeningen zijn niet uitgevoerd, omdat daarvoor meer grondonderzoek nodig is.

Er moet geconcludeerd worden dat er geen direct gevaar is voor de duinvoet of de waterkering door een strandval, maar indien de erosie van de kustlijn niet wordt tegengehouden zal dat op termijn wel het geval zijn.

Ameland ZW Strandval 10 maart 2017



Figuur 3.16 Metingen strandval AA' met gemiddeld inscharingsprofiel

3.3.2 Ontwikkeling in de tijd

Een nadere analyse van de reeks metingen laat zien dat perioden van verdieping van de kuil gevolgd worden door een plotselinge verondieping, waarna het proces zich herhaalt. Dit wijst er op dat er sinds 2005 een reeks van oevervallen is opgetreden, steeds ingeleid door een versteiling en verdieping van het onderwatertalud ter plaatse van de ontgrondingskuil.

Na de val erodeert het zand in de geul weer snel door de getijstroom en wordt de krater weer opgevuld, waarschijnlijk voornamelijk door suspensietransport. Deze oevervallen zullen niet altijd op het strand zichtbaar zijn geweest, de terugschrijdende bres blijft dan onder de laagwaterlijn.

Tegelijkertijd wordt de geul geleidelijk steeds dieper en de vallen steeds groter en breiden zich dan af en toe uit tot in het strand boven de laagwaterlijn.

In

Tabel 3.2 zijn de meetdata aangegeven waartussen vermoedelijk een oeverval is opgetreden, in totaal dus 12 in een periode van 12 jaar, waarbij de frequentie dus wel toeneemt vooral in het afgelopen jaar.

Alleen in de laatste meting van 26 oktober 2017 is een verondieping ten gevolge van de zandsuppletie te zien, zie Figuur 3.15, maar deze komt niet boven de -15 m NAP. Het is nog niet bekend of er daarna nog meer zand gesuppleerd is of nog zal worden op deze locatie, zodat dit bij latere metingen nog bekeken moet worden. Het nu aangebrachte zand zal de kans op een strandval niet verminderen.

Tabel 3.2 Vermoedelijke periode strand- of oevervallen uit metingen dwarsprofielen AA' (Raai 4800)

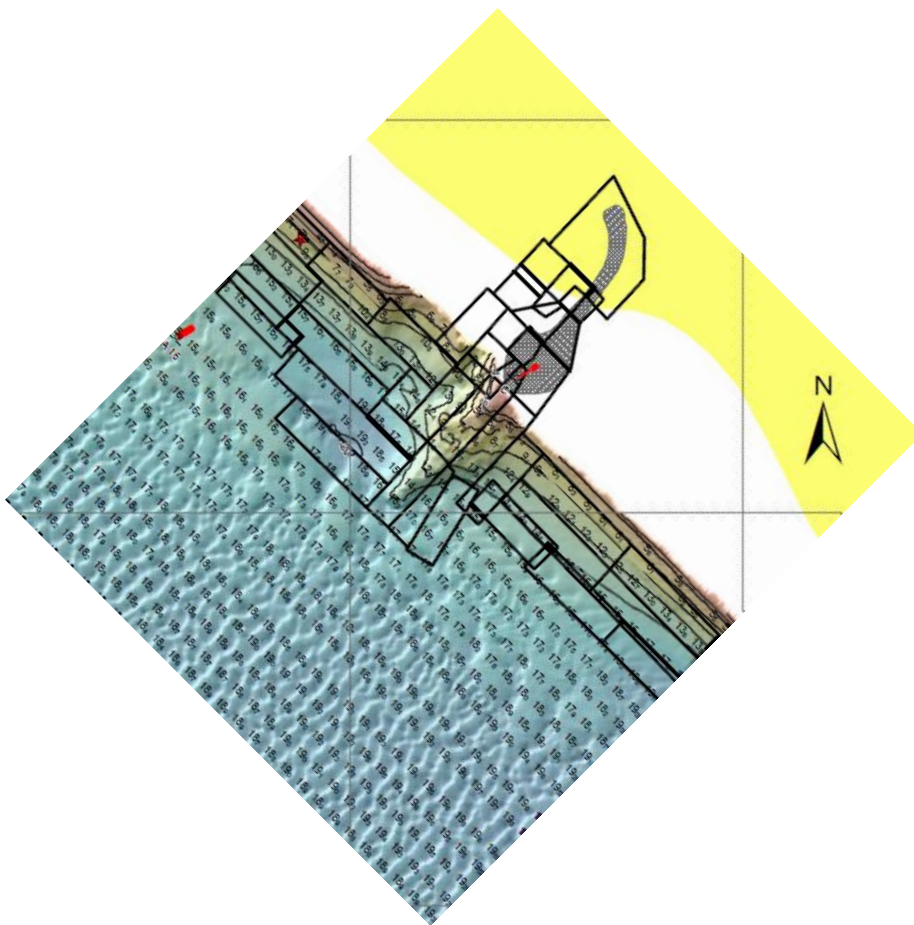
#	Strand / oeverval	Metingen (Voor)	(Na)
12	16 november 2017		
11	11 november 2017		
10	3 november 2017	26 oktober 2017	
9	10 maart 2017	21 februari 2017	14 maart 2017
8		3 maart 2016	4 juli 2016
7		22 mei 2015	20 augustus 2015
6		3 april 2014	11 februari 2015
5		18 november 2012	12 februari 2013
4		29 november 2011	17 april 2012
3		6 juli 2010	18 april 2011
2		25 mei 2009	6 juli 2010
1		18 september 2006	24 mei 2007
0			18 juli 2005

Het oprukkende Borndiep wordt sinds de jaren '90 weliswaar door de strandhoofden en zinkstukken beheerst, maar dit geeft lokaal ook extra stroomwervelingen, waardoor de ontgronding hier lokaal nog wat sterker is. De ebstroom levert meestal de hoogste stroomsnelheden, aan de vloedzijde van het strandhoofd is geen ontgrondingskuil te zien. De strandhoofden en de zinkstukken voorkomen een verder landwaartse geulverplaatsing, maar de geulwand wordt wel dieper en steiler, een situatie die in Zeeland ook veel voorkomt.

Opvallend is ook het vaste of eigenlijk langzaam naar beneden bewegende punt halverwege het talud. Vermoedelijk is dit de bovenrand van een verzakt zinkstuk, dat sinds 2005 is gezakt van -10 tot -14 m NAP, zie ook Figuur 3.17. Vermoedelijk is dit zinkstuk al nog eerder verzakt en heeft het bij aanleg hoger op het talud gelegen. De verzakking is mogelijk veroorzaakt door de ontgrondingskuil en de algemene verdieping onder de teen van het werk door de voortgaande erosie. Dat betekent dat al tenminste sinds 2005 het bovendeel van het onderwatertalud niet meer wordt beschermd, waardoor hier zeer lokaal steeds opnieuw een oever- of strandval kan optreden. Dit verklaart waarom de strandval steeds precies op deze locatie optreedt. Het zand stroomt dus iedere keer over de rand van het zinkstuk in de ontgrondingskuil.

Oorspronkelijk zal het zinkstuk het hogere deel van het talud waarschijnlijk wel hebben beschermd, waarbij strandval niet mogelijk is. Behalve de geschiedenis van de paardenreddingboot is het niet bekend of en hoe vaak er strandvallen zijn opgetreden in dit kustvak en of dit na de aanleg van de versterking in 1979 tot de eerste meting van 2005 ook plaatsvond. Het is ook mogelijk dat het zinkstuk bij aanleg al te diep is gelegd waardoor de vooroever alleen op deze locatie onbeschermd bleef. Een nader analyse van de beschikbare metingen van voor 2005 zou dit kunnen uitwijzen. Op langere termijn is in dit kustvak sprake van aanzienlijke erosie van de kustlijn (in vergelijking met de meting van 1926 bijvoorbeeld). Net als in Zeeland gaat dit landverlies gepaard met oever- en dijkvallen. Voor de Westerschelde is met een systematische analyse van de vaklodingen over langere een periode de frequentie en grootte van de plaatvallen onderzocht (Van Dijk et al, 2017)

Tengevolge van de zandsuppleties kan het natuurlijke herstel van het strand en de vooroever na een strandval waarschijnlijk nog sneller optreden, omdat er meer zand getransporteerd en in suspensie gebracht wordt (vergelijk met Westerschelde in Van Schaick, 2015 en Mastbergen, 2016), wat de snelle herhaling van strandvallen in november 2017 kan verklaren.



Figuur 3.17 Detail Dam C met ontwerpligging zinkstukken (raai 4800)

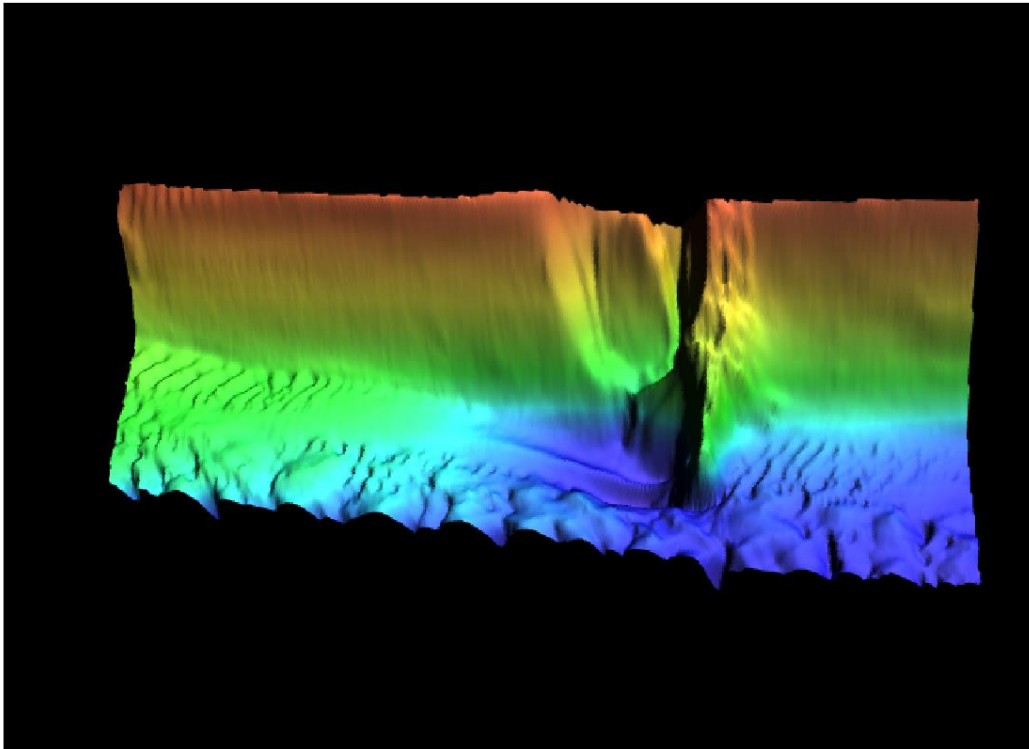
3.3.3 3D PDF

De metingen opgenomen in Tabel 2.1 met volgnummer 1-21 zijn in een PDF animatie te bekijken. Dit geeft de mogelijkheid de metingen vanuit alle gezichtshoeken te bekijken en geeft direct inzicht in de optredende veranderingen in de tijd.

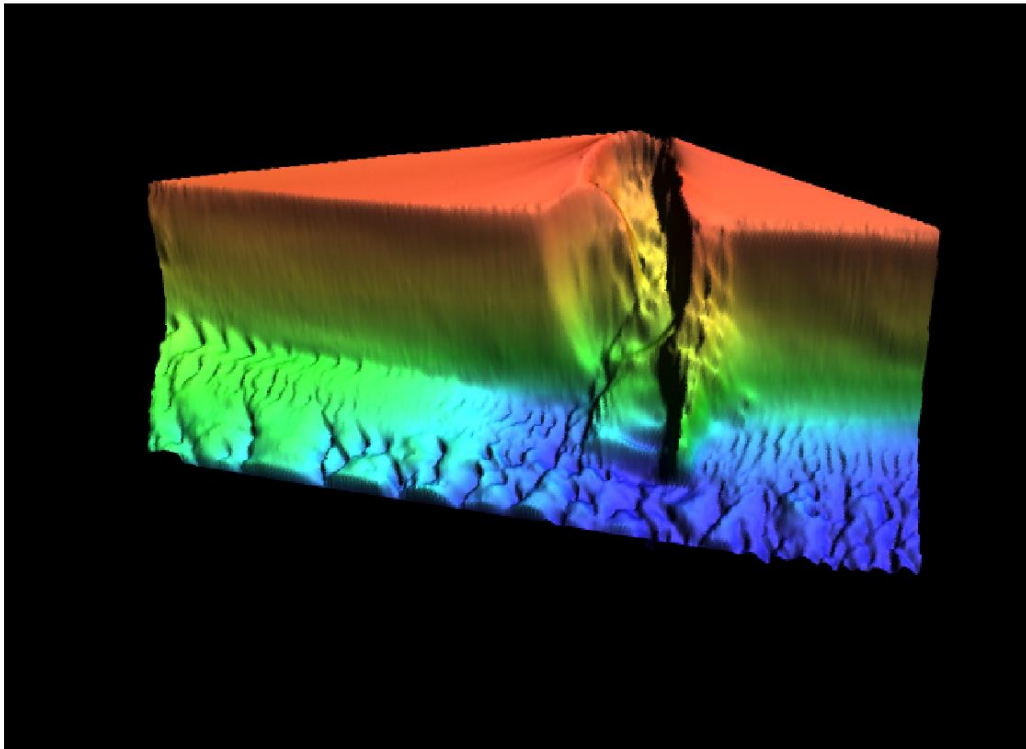
Een oeverval is bijv zichtbaar:

- Tussen 6 en 7
- Tussen 12 en 13
- Tussen 20 en 21 (de strandval van 10 maart 2017, zie Figuur 3.18 en Figuur 3.19).

Verder laat de animatie de verdieping van de ontgrondingskuil zien. Het 'hangende' zinkstuk is ook duidelijk zichtbaar, het vorm a.h.w. een scherm waarachter het zand bezinkt en opbouwt en periodiek weer wegstroomt.



Figuur 3.18 3d-PDF Screen 20 (21 februari 2017) (Te zien geulwand Borndiep, strandhoofd met ontgrondingskuil, migrerende duinen, loshangend zinkstuk) (links = noord = richting dominante ebstroom)



Figuur 3.19 3d-PDF Screen 21 (14 maart 2017) Strandval. Te zien uitstroming van strand in ontgrondingskuil

4 Metingen met interpretatie

4.1 Sidescan sonar

Om een dekkend beeld te krijgen van het interessegebied is met de side-scan sonar vijf keer heen en weer gevaren langs de kust. De totale lengte van side-scan sonar lijnen bedraagt 13 km. Bij iedere passage wordt 50 m van de zeebodem aan beide zijden van de meetvis ingemeten. Omdat de afstand tussen de lijnen ongeveer 25 meter bedraagt is er veel overlap tussen de opnamen. Figuur 4.1 toont een mozaïek van de side-scan sonar opnamen, met daarop de locaties van de geïnterpreteerde stortplaatsen aangegeven.

De locaties van de geïnterpreteerde stortplaatsen komen overeen met de locaties van bestortingen vanaf de kust. Bij de meest noordelijke stortplaats zijn slechts enkele losse locaties met stortstenen herkend. De stortplaats 500m ten zuiden hiervan is een duidelijke verlenging van de bestorting die aan de kust te zien is. De bestortingen in het zuiden zijn over 800 m te vervolgen tussen de twee bestortingen aan de kust in.



Figuur 4.1 Overzicht van gevaren side-scan sonar lijnen. In het roze zijn de gebieden waar stort is geïnterpreteerd

4.2 Subbottom profiler

In het onderzoeksgebied is gemeten met een vaarlijn afstand van ca. 20 m en over een afstand van ca. 250 m dwars op de kust. Door de ondiepe ligging kon niet overal de meest landwaardse grens van de bestorting bereikt worden. De gemeten vaarlijnen zijn te zien in Figuur 4.2.

Op basis van de visuele interpretatie van de data zijn er drie eenheden onderscheiden en gekarteerd:

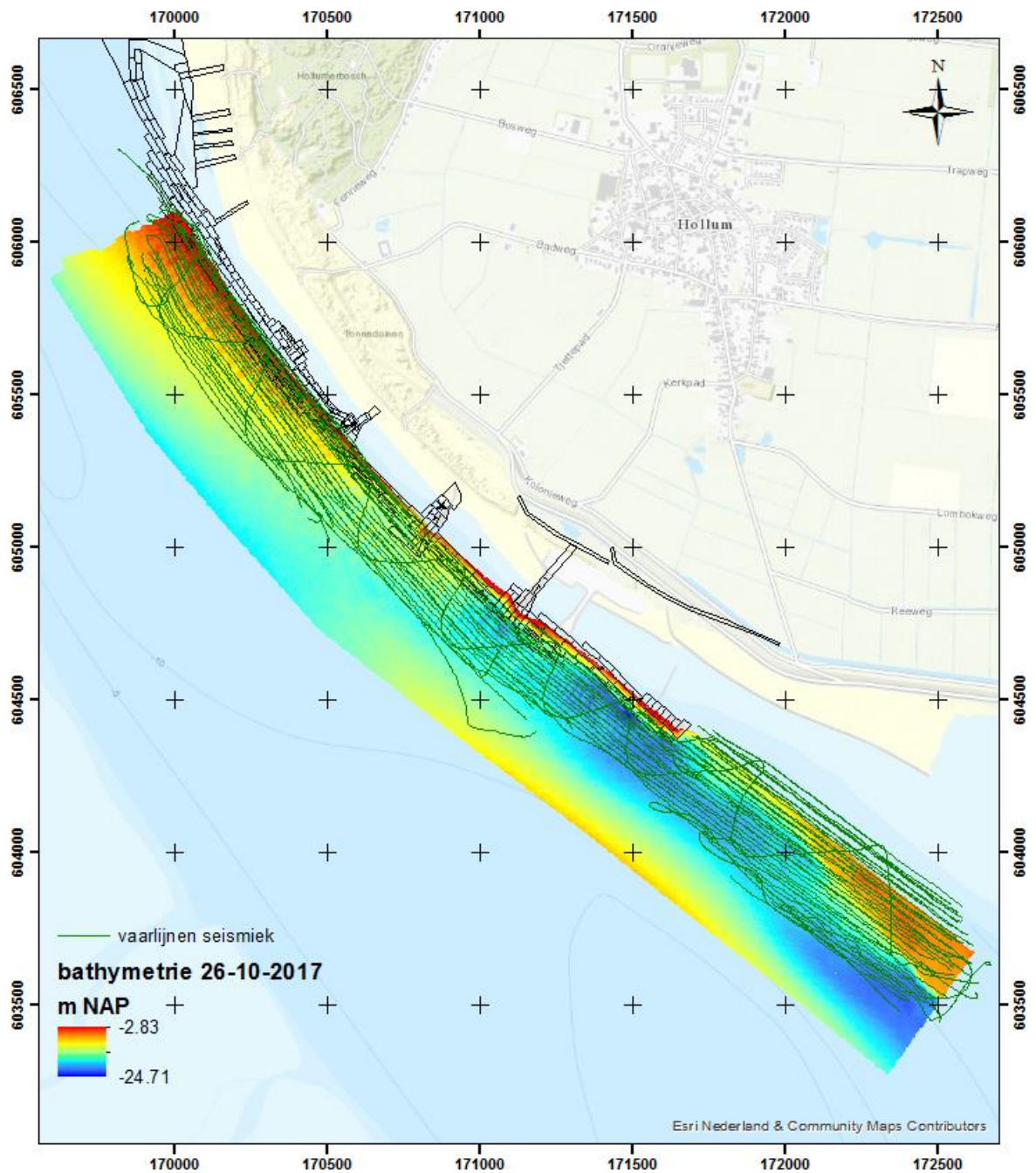
- 1 Stenen / hoofden (Figuur 4.3)
- 2 Klei (Figuur 4.4)
- 3 Schelpen / grind (Figuur 4.5)

De werkelijke samenstelling van deze eenheden is (zeer) onzeker en moet worden vastgesteld d.m.v. de geplande vibrocores. De getoonde kaarten moeten daarom als voorlopig worden gezien.

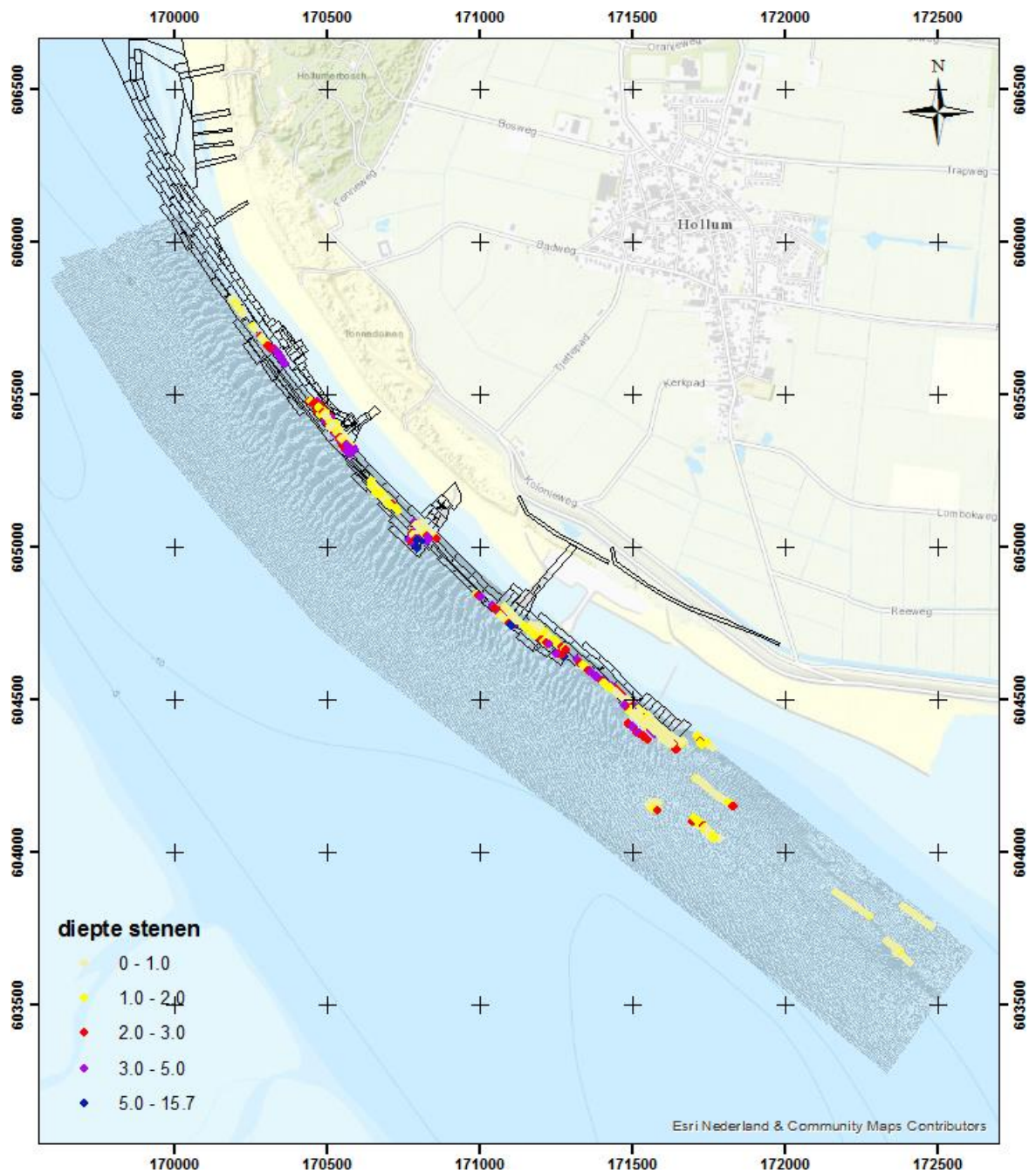
De interpretatie van de seismiek ter plaatse van de zinkstukken, zoals in de geleverde shapefile, laat vooral stenen/hoofden en schelpen/grind zien. Er zijn ook meerdere plekken te zien waar geen van deze eenheden is waargenomen.

Het gedeelte rondom de locatie van de strandval (dam C) is in detail weergegeven in Figuur 4.6. Ter hoogte van de dam is de eenheid stenen/hoofden waargenomen, wat in lijn is met de gekarteerde bestorting o.b.v. sidescan sonar data. Ten noorden hiervan, waar de strandval is opgetreden, is ca. 100 m waar geen eenheid is gekarteerd. In de meest landwaartse lijn en zeewaarts van de zinkstukken is de eenheid schelpen/grind waargenomen.

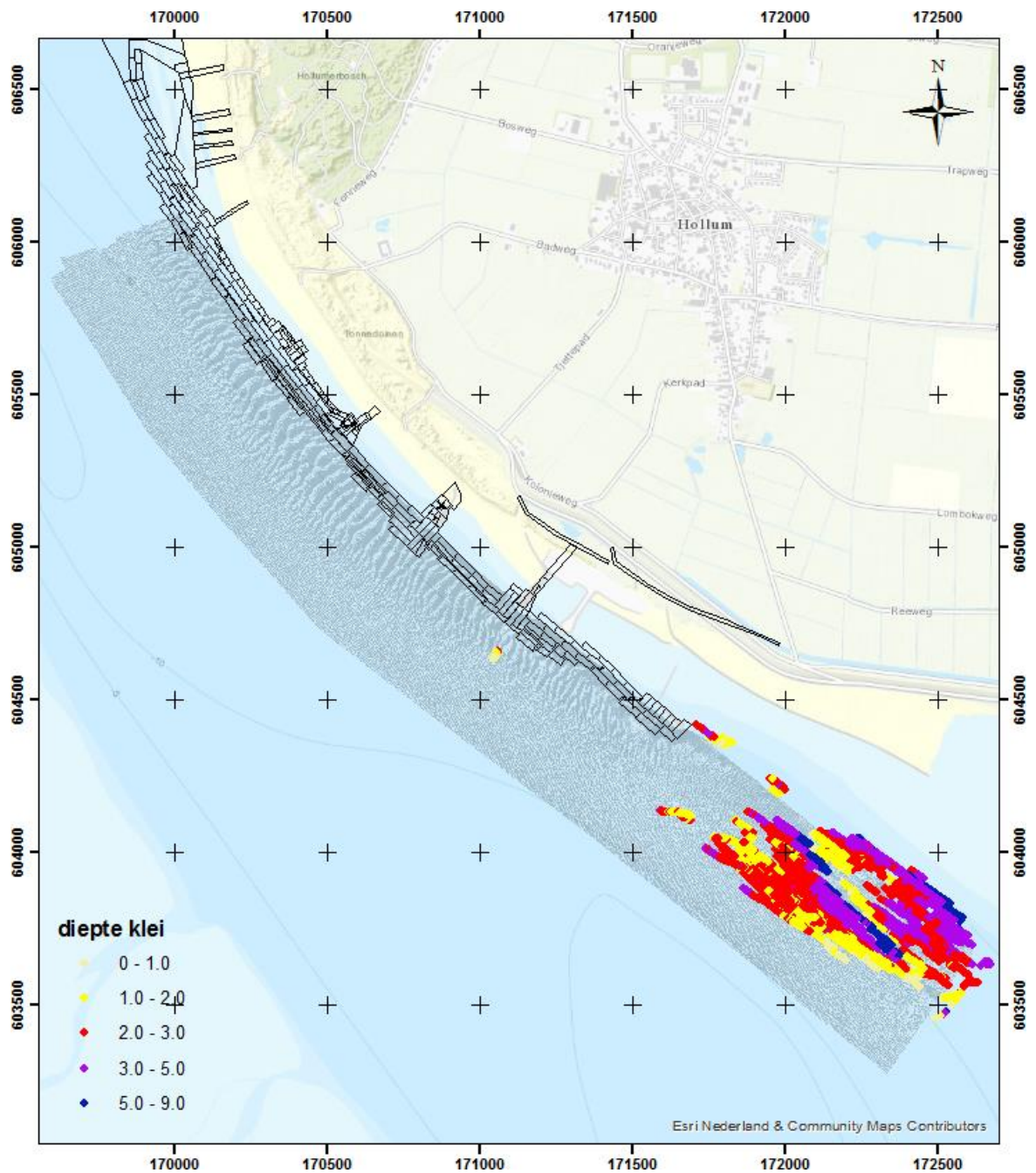
De eenheid klei is vooral in het zuiden waargenomen, op de locatie waar een steilrand in de bathymetrie te zien is. Er zijn hier twee niveaus te onderscheiden waar de klei aanwezig is: rond NAP -11 m en NAP -22 m.



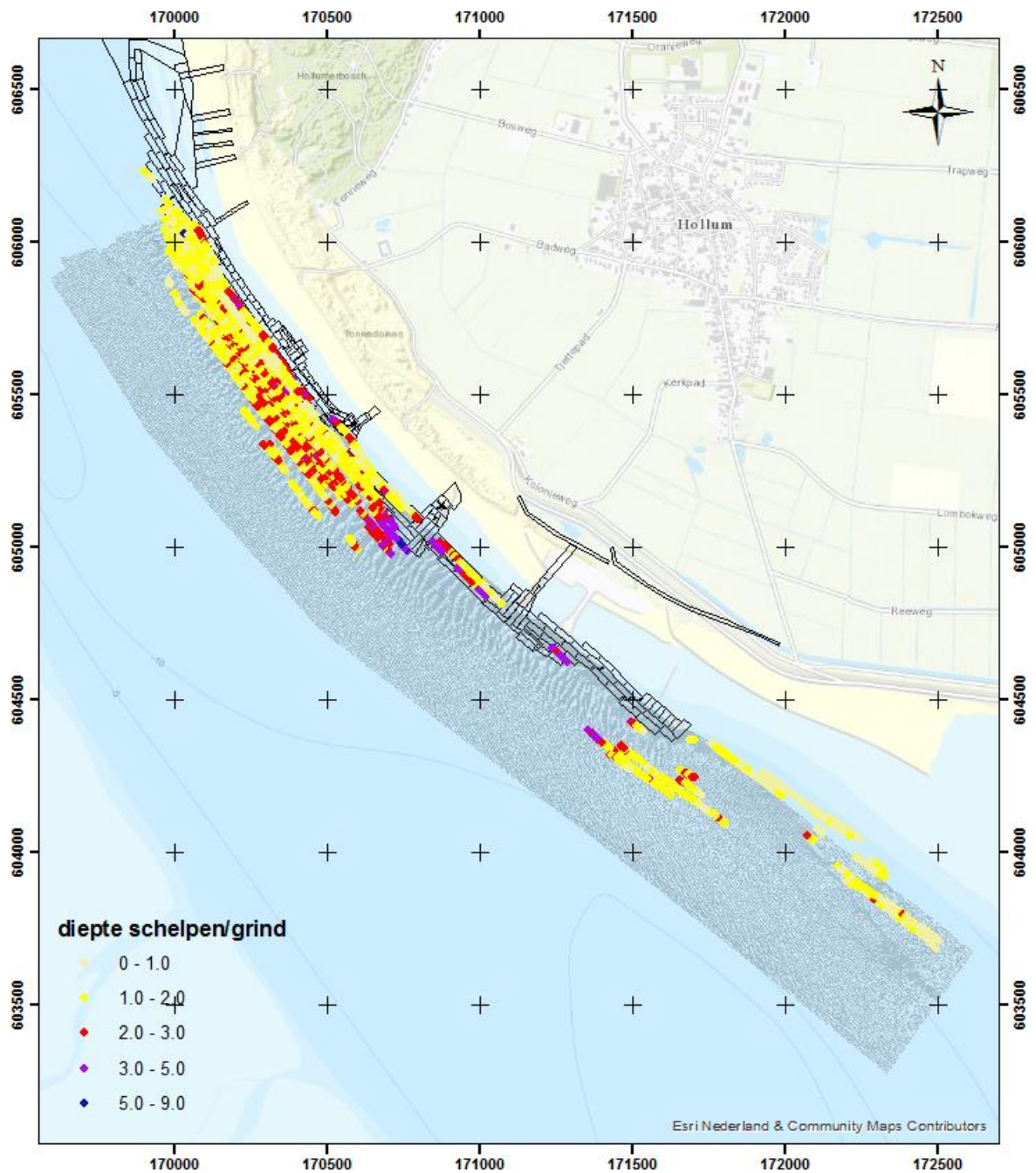
Figuur 4.2 Overzicht van de vaarlijnen waar met de subbottom profiler is gemeten



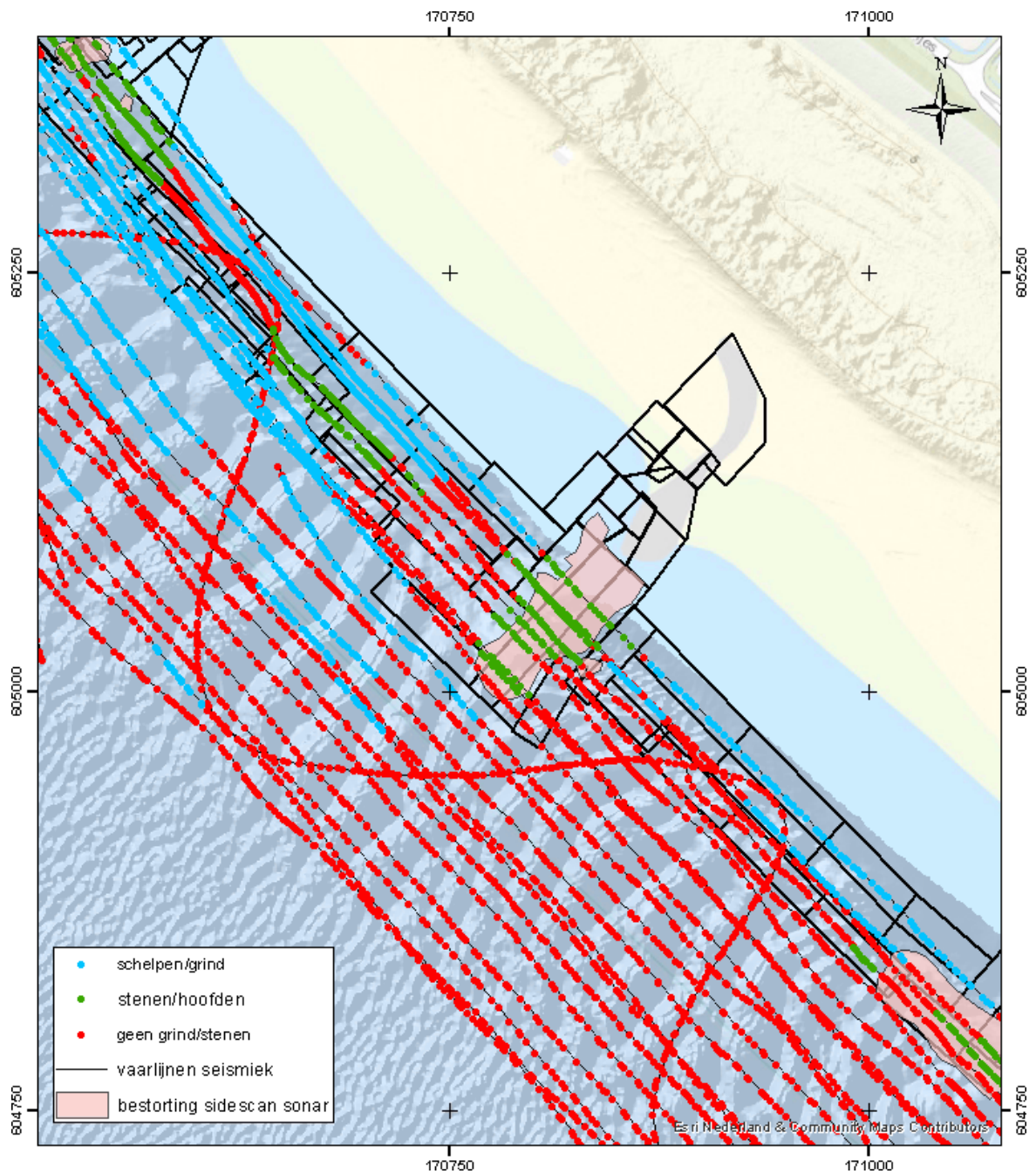
Figuur 4.3 Gekarteerde aanwezigheid van stenen/hoofden en de diepte onder de zeebodem



Figuur 4.4 Gekarteerde aanwezigheid van klei en de diepte onder de zeebodem



Figuur 4.5 Gekarteerde aanwezigheid van schelpen/grind en de diepte onder de zeebodem



Figuur 4.6 Detailkaart ter hoogte van de strandval met gekarteerde schelpen/grind en stenen/hoofden en bestorting zoals gekarteerd o.b.v. de sidescan sonar data

4.3 Backscatter

Op basis van het back-scatter signaal van de multi-beam opnames zijn twee sedimentklassenkaarten van de zeebodem gemaakt: één voor de suppletie en één tijdens de aanleg. Uitwerking van de backscatter data is gedaan door de TU Delft (Gaida et al. 2017). Deze kaarten geeft informatie over de verdeling van verschillende sedimentklassen. De eerste opname is uitgevoerd in april 2017 (Figuur 4.7), de tweede in oktober 2017 (Figuur 4.8).

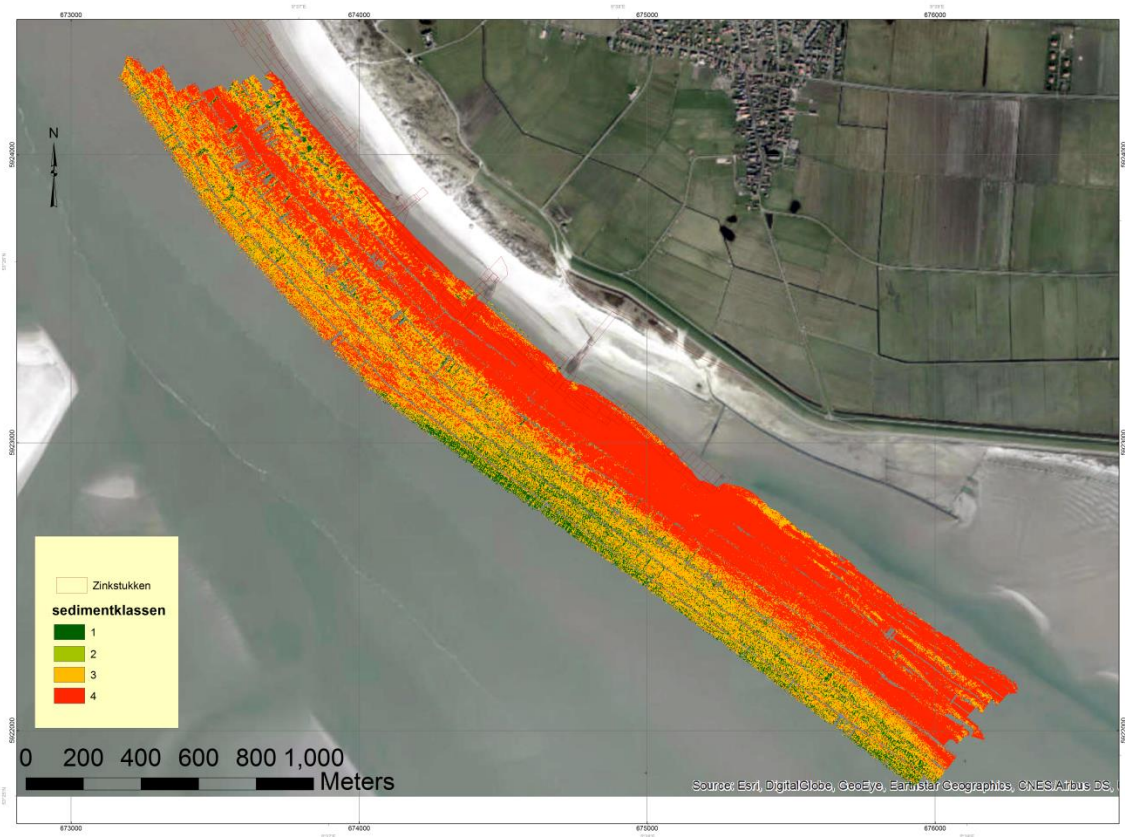
In april 2017, voor de suppletie, zijn de overheersende sedimentklassen 2, 3 en 4. Sedimentklasse 4 is dominant op de wand van de geul, en sedimentklassen 2 en 3 zijn aanwezig op de bodem van de geul, op het oog vormen ze kleine morfologische verschijningsvormen zoals kleine duintjes. In het meest diepe gedeelte van de geul komt sedimentklasse 1 voor.

In de opname van oktober 2017, na de suppletie, is sedimentklasse 1 veel meer aanwezig op de bodem van de geul. De geulwand is nog steeds dominant sedimentklasse 4, maar de bodemvormen bestaan voornamelijk uit sedimentklassen 1 en 2. De bodemvormen zijn ook beter zichtbaar in deze opname.

Op basis van de boxcores die genomen zijn in mei 2017 is de sedimentklasse 4 geassocieerd met schelpenrijk sediment, terwijl sedimentklasse 1 juist weinig schelpen bevatte. Sedimentklassen 2 en 3 zijn een gradatie hiertussen.

Hoewel er geen boxcores zijn genomen om de opname van oktober aan te koppelen, kan worden aangenomen dat de gradatie van weinig tot veel schelpen nog steeds overeenkomt met de sedimentklassen 1-4. Het gebied met sedimentklasse 1 komt redelijk overeen met het gesuppleerde gebied tussen raai 4720 en 4820 (Figuur 4.9). Het is aannemelijk dat het gesuppleerde zand een andere samenstelling heeft, met dus waarschijnlijk minder schelpen.

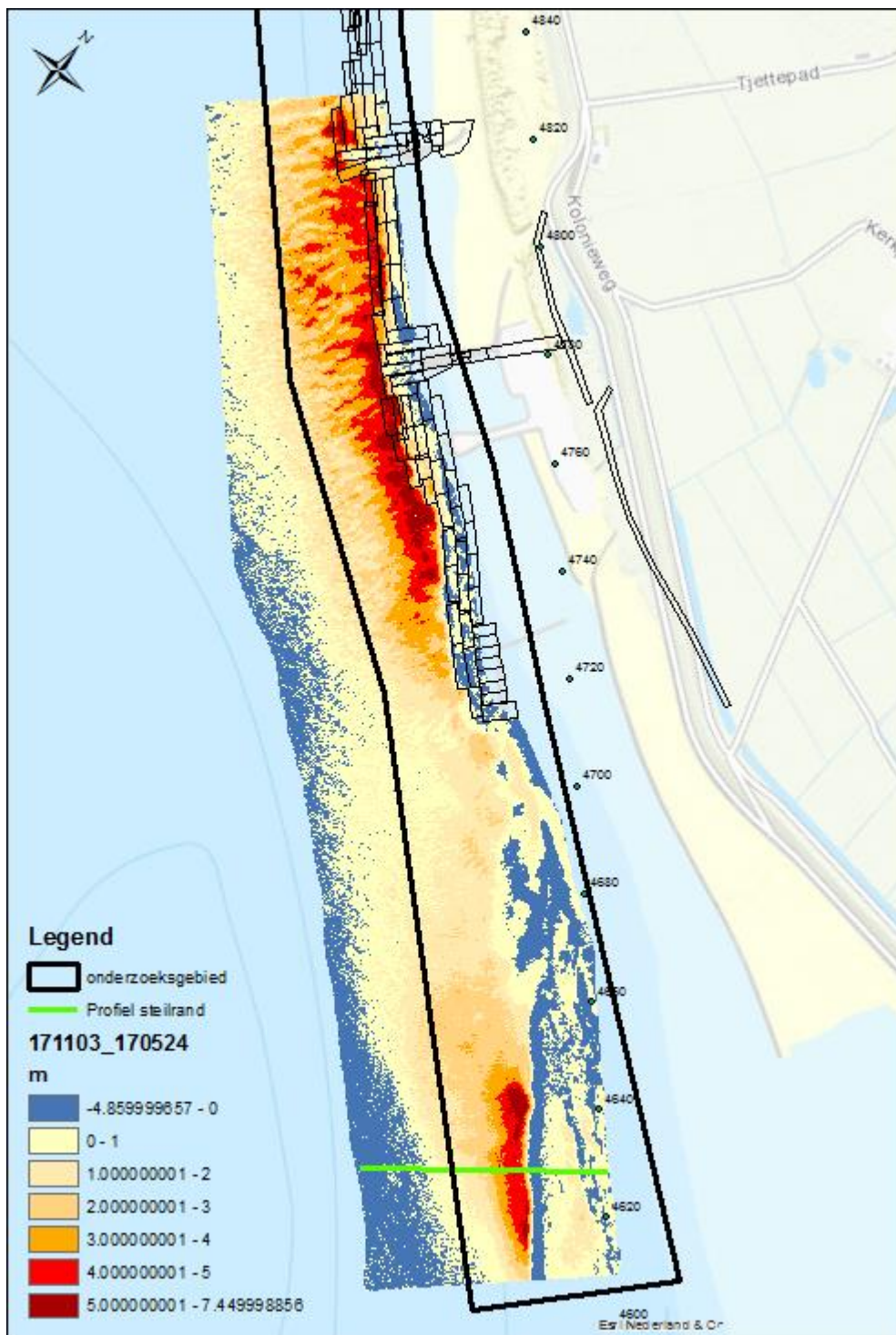
Ter hoogte van raai 4640 is echter niet deze verandering in backscattersignaal te zien. Op deze locatie is een steilrand in de bodem aanwezig, waar mogelijk een harde laag aanwezig is. Op deze locatie is ook een reflector in de subbottomprofiel opnames te zien, die als klei is geïnterpreteerd (dit dient nog te worden bevestigd door vibrocores). Het bovenste deel van de steilrand toont ook in de periode van aanleg doorgaande erosie (Figuur 4.10). Hoe dit samenhangt met de waargenomen sedimentklasse 4 in het backscattersignaal is nog niet duidelijk. Nadere analyse van de ontwikkeling van het gesuppleerde sediment in combinatie met de geplande boringen zullen hier mogelijk meer informatie over geven.



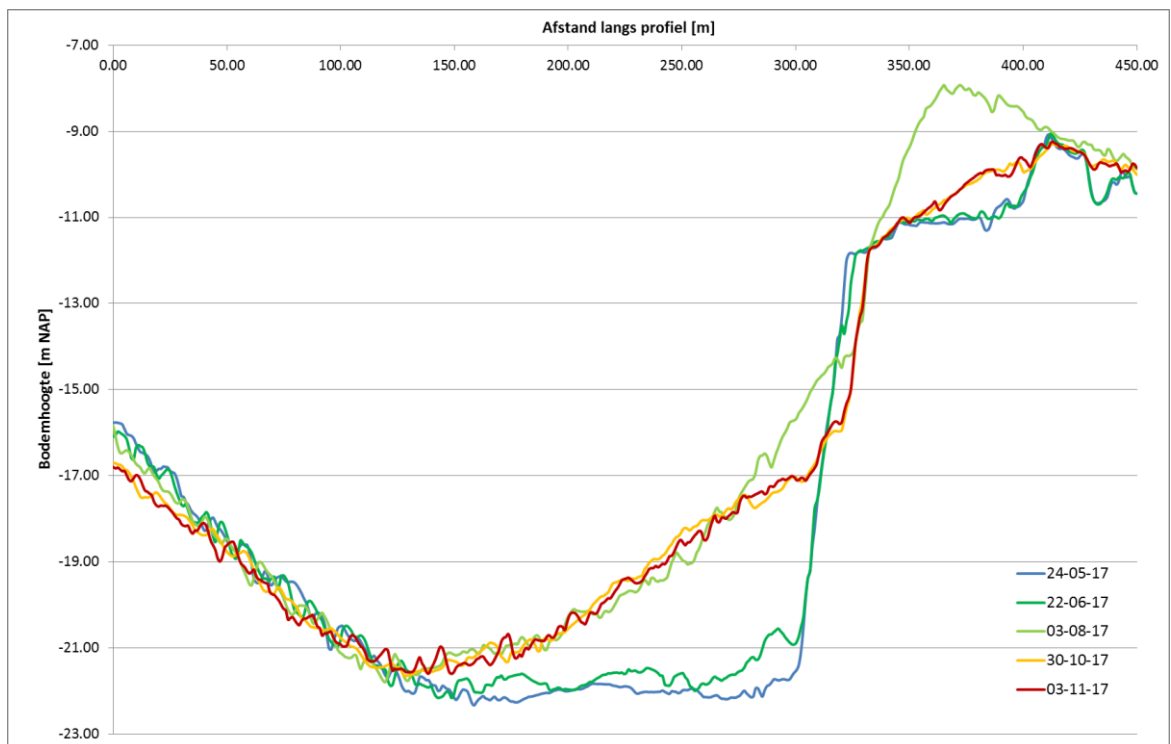
Figuur 4.7 Afwisseling in vier sedimentklassen op de zeebodem in het onderzoeksgebied bij Ameland in April 2017.



Figuur 4.8 Afwisseling in vier sedimentklassen op de zeebodem in het onderzoeksgebied bij Ameland in Oktober 2017



Figuur 4.9 Verschilkaart in- en tussenpeiling 24 mei 2017 – 3 november 2017



Figuur 4.10 Ontwikkeling profiel over steilrand, zie Figuur 4.9 voor positie

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies m.b.t. strandval

Op 10 maart 2017 is een strandval opgetreden bij het strandhoofd in raai 4800. De multibeammelingen van 2005 t/m 2017 ter plaatse zijn geanalyseerd. Het blijkt dat een strand- of oeverval (zettingsvloeiing) in deze periode al meermalen is voorgekomen, ook zonder dat dat op het strand zichtbaar was.

Aan de ebzijde van het strandhoofd ontwikkelt zich een ontgrondingskuil, die periodiek wordt gevuld door een strandval en dan weer erodeert, terwijl er tegelijkertijd duinen passeren. Dit is ook goed te zien in de dwarsprofielen en diepteplaatjes. Het Borddiep beweegt niet langer landwaarts, maar verdiept nog wel.

Het lijkt er op dat een zinkstuk, aangelegd in 1979 of 1994 is verzakt in de ontgrondingskuil bij het strandhoofd, met de bovenzijde in 2005 op ongeveer -11 m, daarna nog water verder verzakt tot nu -14 m. Het daarboven gelegen zand is dus onbeschermd en staat onder een lokaal erg steile en diepe helling, waardoor zettingsvloeiing inderdaad te verwachten is volgens de criteria van WBI 2017. Het zand stroomt daarbij in enkele uren in de ontgrondingskuil en verdwijnt dan in de maanden daarna weer vrij snel. Het gat zandt ook vrij snel weer aan. Tijdens de zandsuppleties gaat dit mogelijk nog sneller. Het proces kan zich dus steeds weer herhalen.

Op het Youtube filmpje is te zien dat de uitbreiding zich met een snelheid van orde meters per uur (mm/s) voltrekt. In totaal zal het dus een aantal uren tot een halve dag duren van begin onder water tot einde ergens op het strand. We noemen dit een bresvloeiing (of retrogressive breach flow slide / failure). Het gat in het strand is bij een actieve bres erg diep, mogelijk tot 8 m en vrijwel loodrecht en toch stabiel, dankzij wateronderspanningen in het zandpakket. Als het proces stopt, verflauwt de helling door nabressen tot het natuurlijk talud. Het is niet te verwachten dat uitbreiding tot voorbij de duinvoet kan plaatsvinden.

Het is duidelijk dat het strandhoofd ontgroning veroorzaakt. Maar zonder strandhoofden zou de getijstrooming nog dichterbij de kust komen en erosie en strandvallen over het gehele kustvak veroorzaken.

Door de zandsuppleties kan het strand sneller herstellen waardoor een nieuwe strandval ook eerder kan optreden, zoals in november 2017. Tot nog toe (26 oktober 2017) zal het aangebrachte zand een nieuwe strandval niet voorkomen, omdat het hogergelegen deel van de geulwand, waar nu het zinkstuk ontbreekt, niet wordt afgedekt.

In een geulwandsuppletie kan ook een oeverval / zettingsvloeiing optreden, deze mag dus niet te steil ontworpen worden

5.2 Conclusies m.b.t. metingen

Op de seismische metingen zijn drie eenheden onderscheiden: stenen/hoofden; schelpen/grind en klei. Deze eenheden moeten nog met vibrocores bevestigd worden. De interpretatie van de seismiek ter plaatse van de zinkstukken laat vooral stenen/hoofden en schelpen/grind zien. Er zijn ook meerdere plekken te zien waar geen van deze eenheden is waargenomen. Ter hoogte van het strandhoofd is de eenheid stenen/hoofden waargenomen, wat in lijn is met de gekarteerde bestorting o.b.v. sidescan sonar data. Ten noorden hiervan, waar de strandval is opgetreden, is ca. 100 m waar geen eenheid is gekarteerd. In de meest landwaartse lijn en zeewaarts van de zinkstukken is de eenheid schelpen/grind waargenomen.

5.3 Aanbevelingen m.b.t. strandval

- Herstel zinkstuk vanaf vooroever strand / strandhoofd tot -14 m
- Morfologisch baggeren / Geulverlegging haalbaar? Strandhoofden houden Borndiep geul nu van de kust.
- Geulwandsuppleties niet steiler dan 1:15
- Metingen en video bevestigen bresmechanisme van een zettingsvloeiing, unieke waarnemingen, belangrijk voor WBI
- Aanbevolen in geval van strandval: diepte en locatie uiterste rand direct te meten op strand met GPS.

6 Referenties

- Beinssen K, Neil D.T, Mastbergen D.R. (2014) Field Observations of Retrogressive Breach Failures at two Tidal Inlets in Queensland, Australia. *Australian Geomechanics*, 49, No. 3, 55-63.
- Beinssen K. and Neil D.T. (2015) "Retrogressive Breach Failure Events at Amity Point, Australia and their Interaction with Built Defences". *Proceedings of the Twenty-fifth (2015) International Ocean and Polar Engineering Conference*, Kona, Big Island, Hawaii, USA, June 21-26, 2015, 1325-1330.
- Berg, J. H. van den, Gelder, A. van, and D. R. Mastbergen. The importance of breaching as a 773 mechanism of subaqueous slope failure in fine sand. *Sedimentology*, 49(1):81–95, 2002. doi: 774 10.1111/j.1525-139X.2006.00168.x-i1.
- CUR 113, Oeverstabiliteit bij Zandwinputten (2008), CUR Gouda
- Dijk, Wout M. van, Dick R. Mastbergen, Geeralt A. van den Ham, Jasper R.F.W. Leuven and Maarten G. Kleinhans, Probability and causes of shoal margin collapses in a sandy estuary (prepared)
- Elias, E. en Bruens, A. (2013) *Beheerbibliotheek Ameland, Feiten & cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn*, 1207724-004, Deltares, 2013
- Gaida, Timo C., Mirjam Snellen, Thaiënne A.G.P van Dijk and Dick G. Simons (2017). Seabed sediment classification for monitoring underwater nourishments using time series of multi-beam echo-soundings. AGU 2017 fall meeting, poster.
- Ham, G.A. van den, Mastbergen, D.R., Koelewijn, A.R., Brake, ter, C.K.E. & Zomer, W.S. (2015). *Eindrapport Validatie-experiment zettingsvloeiing, Meten aan zettingsvloeiing*. Amersfoort: STOWA/FloodControl IJkdijk.
- Mastbergen, D.R., Ham, G. van den, Cartigny, M., Koelewijn, A., Kleine, M. de, Clare, M., Hizzet, J., Azpiroz, M. and Vellinga, A. (2015) Multiple flow slide experiment in the Westerschelde Estuary, the Netherlands. *Submarine Mass Movements and Their Consequences*, 7th Int. Symp., Wellington: Springer.
- Mastbergen, D.R., *Sedimentatiepatronen Plaat van Walsoorden na plaatval 22 Juli 2014*, Deltares, KPP Schelde,1220094
- Nedelec, Y., Revel, J., 2015. Phénomènes d'érosion cotière: instabilité et consolidation de talus littoraux sur la facade est du cap Ferret (Gironde). May 2015. *Rencontres Universitaires de Genie Civil*, Bayonne, France
- Oost, Albert P, Quick Scan Vierhuizergat, Morfodynamiek van een geul onder de dijk, 1208935, Deltares, 2014

- Schaick, S. van, Morphological development after the July 2014 flow slide on the tidal flat of Walsoorden in the Western Scheldt. Master's thesis, Delft University of Technology, November 2015.
- Schrijvershof, R.A., Mastbergen, D.R. (2016) Stabiliteit aanzanding bij Zoutelande, Deltares, KPP B&O Kust,1230043-001-ZKS-0010
- Shipway, I, Risks associated with nearshore instability at Inskip Point, Prepared for Queensland Parks and Wildlife Service, Australia, B01006-1AE, EDG Consulting, November 2015
- Stoutjesdijk, T., Mastbergen, D. en Groot, M. B. de. Stormvloedkering Oosterschelde: ontwikkeling ontgrondingskuilen en stabiliteit bodembescherming, deelrapportage Hellinginstabiliteit. 1206907-001, november 2012
- Wilderom, M. H., Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, Deel I-IV , 1961-1968
- Wilderom, M. H., Resultaten van het vooronderzoek langs de Zeeuwse stromen, Rijkswaterstaat, Studiedienst Vlissingen, Nota 75.2, 1979

7 Referenties URLs

Links strandval Ameland:

<https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/nieuws/nieuwsarchief/p2017/03/strandval-op-westkust-Ameland.aspx>

<http://www.lc.nl/friesland/Strook-strand-Ameland-zakt-in-zee-22058475.html>

<https://www.persbureau-ameland.nl/strandval-op-westkust-ameland>

<https://www.persbureau-ameland.nl/weer-strandval-op-het-suudwest>

<https://www.persbureau-ameland.nl/alweer-strandval-op-het-suudwest-van-ameland>

<https://www.persbureau-ameland.nl/nogmaals-een-strandval>

https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=ZQfbTkmJg8s

<https://www.youtube.com/watch?v=zKKvYitUsj8>

<https://reizen-en-recreatie.infonu.nl/bezienswaardigheden/96425-paardenreddingboot-van-ameland-met-demonstratieschema.html#lancering-van-de-paardenreddingboot>

Links WBI 2017 Zettingsvloeiing

<https://publicwiki.deltares.nl/display/GEO/D-Flow+Slide+-+Slope+Liquefaction+and+Breaching>

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/omgevings/omgevings/flowslide/>

Plaatval Westerschelde

<https://krantenbankzeeland.nl/issue/pzc/2014-08-01/edition/null/page/53?query=Techniek&sort=relevance>
<https://www.cobouw.nl/infra/nieuws/2014/10/zettingsvloeiing-voor-oog-van-camera-1018262>

<http://www.floodcontrolijkdijk.nl/nl/home/23-dutch-nl/nieuws/165-persbericht-plaatval-voor-het-eerst-live-gevolgd-en-vastgelegd>

<https://www.cobouw.nl/infra/nieuws/2014/9/plaat-van-walsoorden-vloeit-bijna-1017199>

http://info.fugro.nl/info/archief/2014_12/Dec2014_2345.pdf

http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/nieuws/veldproef_zettingsvloeiing_in_westerschelde

Zandwinputten

<https://www.youtube.com/watch?v=DO8sGbEmDLY>

<https://www.rtvnoord.nl/nieuws/186131/Campinghouder-eist-veiligheidsmaatregelen-bij-zandwinningsplas>

Buitenlandse persbureaus 'sink-holes' en 'severe beach erosion'

<https://www.youtube.com/watch?v=ILptIF7P6LI>

<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/australia/11894150/Vast-sinkhole-swallows-vehicles-and-caravan-at-campsite-in-Australia.html>

<https://www.brisbanetimes.com.au/national/queensland/car-and-caravan-in-sinkhole-at-qld-beach-20150927-gjvq44.html>

<https://www.gympietimes.com.au/photos/sink-hole-in-skip-point/7311/#/0>

<https://www.youtube.com/watch?v=8YPSXz8Ayew>

<https://www.youtube.com/watch?v=wRT85Q6hNxo>

<https://nos.nl/artikel/2059889-zinkgat-slokt-voertuigen-op-bij-australisch-strand.html>

http://www.nj.com/south/index.ssf/2012/09/popular_north_wildwood_beach_s.html

<https://www.nbcphiladelphia.com/news/local/Severe-Beach-Erosion-in-North-Wildwood-170430206.html>

http://www.nj.com/cape-may-county/index.ssf/2017/05/new_warning_signs_put_on_dangerous_north_wildwood.html

<https://io9.gizmodo.com/a-strange-underwater-landslide-causes-serious-damage-in-1703858398>

<http://www.gmanetwork.com/news/video/balintanghali/167083/sunud-sunod-na-pagguho-ng-buhangin-sa-candelaria-zambales-sinusuri-kung-sinkhole/video/>

<https://www.youtube.com/watch?v=WSIsOD78Y6U>