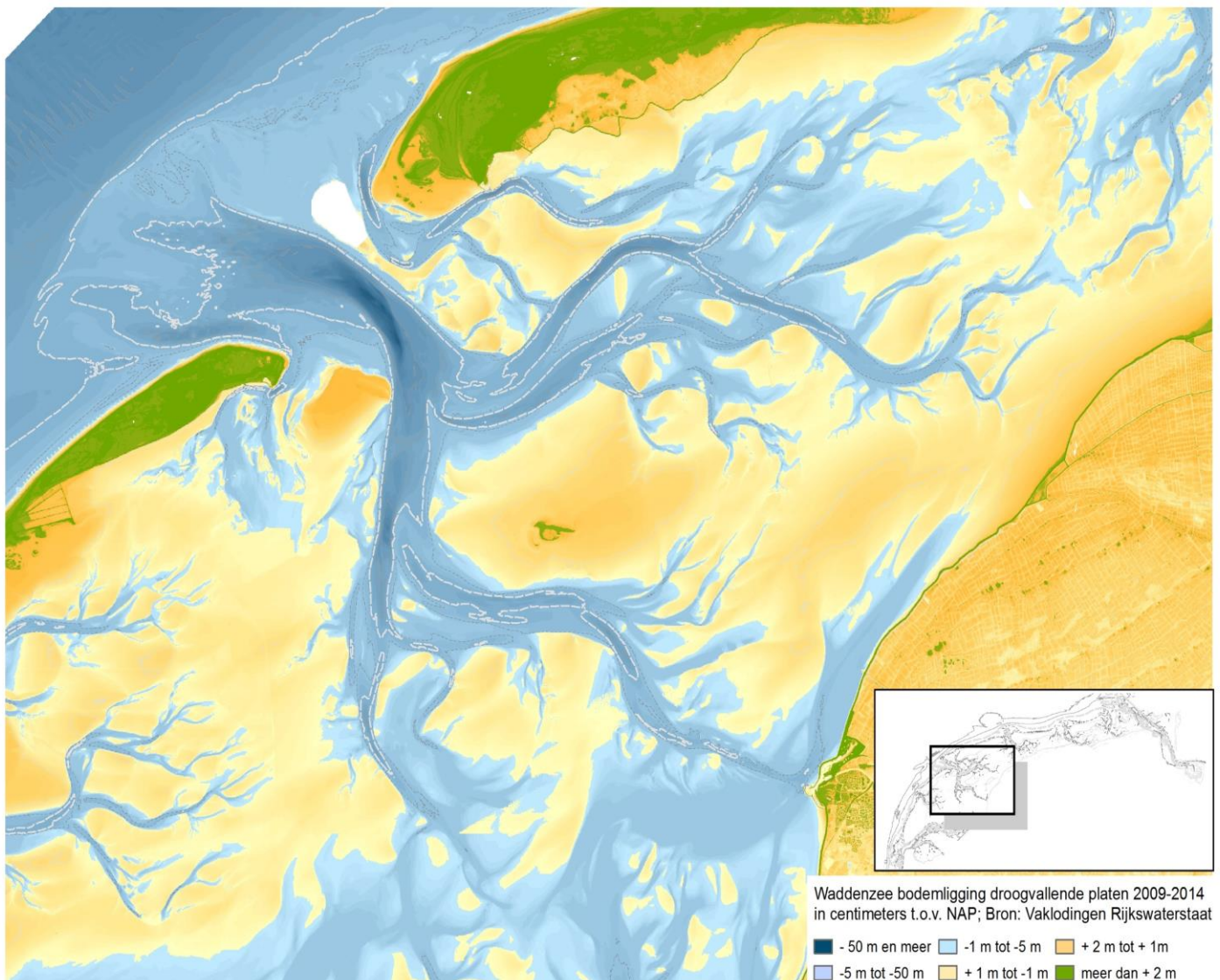


MONITORING T0-SITUATIE BODEMLIGGING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

Frisia Zout B.V.

22 MAART 2019



Contactpersoon



JESSICA BERGSMA
Specialist Coastal Morphology

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Doel van de monitoring	5
1.2	Metingen morfologie	5
1.3	Doel van dit document	5
2	HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	7
2.1	Introductie van de meetmethode	7
2.2	Hoogte/diepte raaien 2016	7
2.3	Hoogte/diepte raaien 2017	11
2.4	Hoogte/diepte raaien 2018	14
2.5	Verschil hoogte/diepte raaien 2016-2017	17
2.6	Verschil hoogte/diepte raaien 2017-2018	22
2.7	Observatie tot nu toe hoogte/diepte raaien	28
3	HOOGTE WADPLATEN LIDAR	33
3.1	Introductie meetmethode	33
3.2	Hoogte wadplaten LIDAR	33
3.3	Hoogteverschil wadplaten 2010 - 2016	36
3.4	Verschil 2016 raaihoogte en 2016 LIDAR	36
4	VAKLODINGEN	40
4.1	Introductie van de meetmethode	40
4.2	Vaklodingen 2010 en 2016	40
4.3	Analyse vaklodingen	41
5	CONCLUSIES	48
5.1	Ten aanzien van de toegepaste methoden	48
5.2	Ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen	48
6	REFERENTIES	49

1 INLEIDING

1.1 Doel van de monitoring

De Staatssecretaris van Economische Zaken heeft aan Frisia Zout BV een Natuurbeschermingswet-vergunning verleend voor het winnen van zout onder de Waddenzee. Het uitvoeren van de zoutwinning zal plaatsvinden volgens het hand-aan-de-kraan-principe. Indien de bodemdaling van de pleistocene ondergrond groter is dan verwacht, dan wel effecten in de Waddenzee optreden die het gevolg zijn van de bodemdaling door zoutwinning, dan is het mogelijk om de winningstrategie aan te passen op een zodanige wijze dat de effecten binnen de gestelde grenzen blijven.

De monitoring heeft als doel om de gegevens in te winnen om het Hand aan de Kraan principe in te kunnen vullen. Het monitoringsprogramma omvat de metingen en de cyclus van meten en evalueren. Voorafgaand aan de monitoring tijdens de zoutwinning zal de nulsituatie worden vastgelegd. De nulsituatie bestaat niet uit de situatie in dat ene jaar van opname, maar uit de plaats die deze in een eventuele trend inneemt. De monitoring is gericht op de Waddenzee. Daarnaast is sprake van metingen aan de ondergrond, deze worden in het Meetplan besproken.

1.2 Metingen morfologie

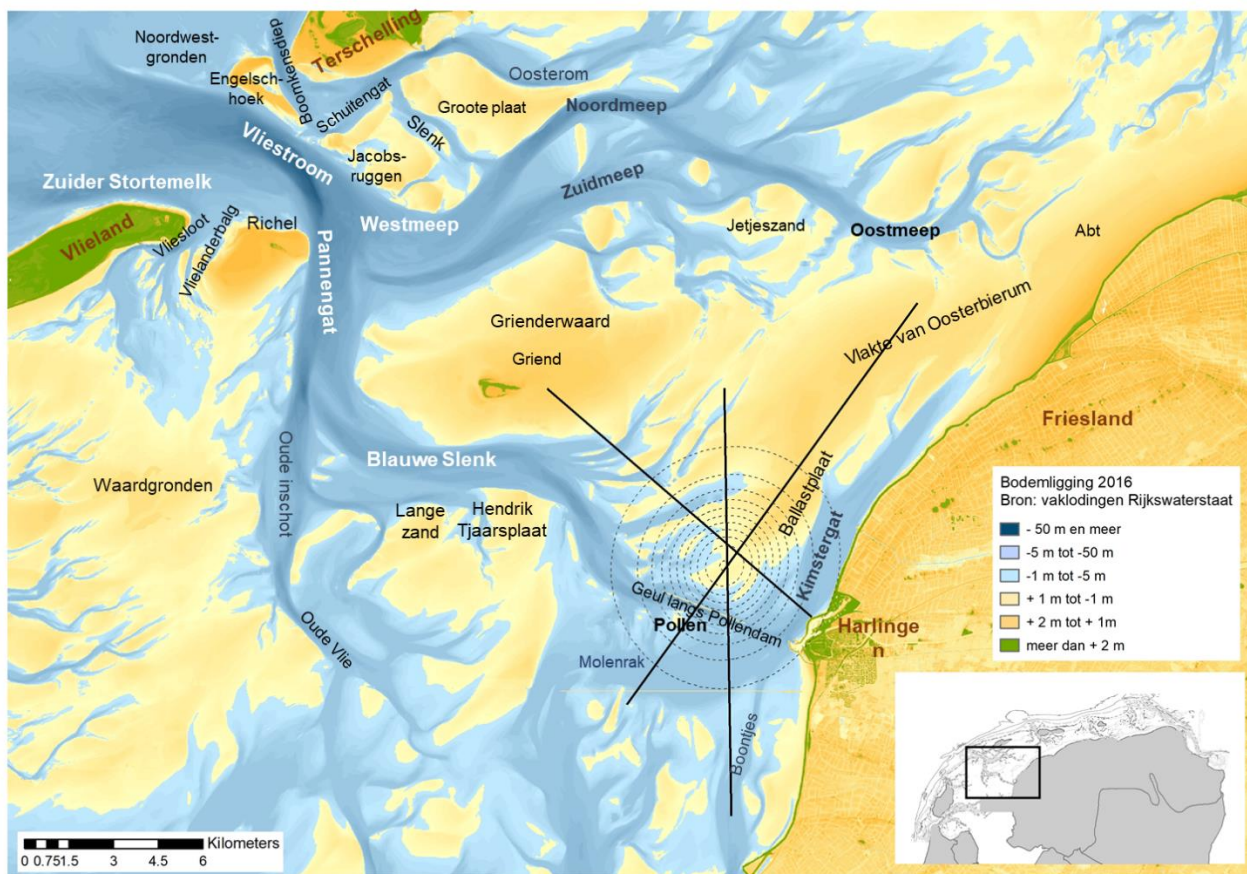
De onderstaande tabel 1 geeft een beknopt overzicht van de morfologische monitoring van Frisia Zout BV. Naast de metingen aan de bodemligging worden zogenaamde Spijkermetingen uitgevoerd, waarmee de lokale sedimentatie en erosie worden opgemeten en wordt de samenstelling van het sediment (korrelgrootteverdeling, met inbegrip van de slibfractie) bepaald. De resultaten van de spijkermetingen en de sediment-samenstellingen worden in separate eigenstandige rapporten vastgelegd. De voorliggende rapportage heeft betrekking op de bodemligging

Tabel 1 Beknopt overzicht van het aangevulde monitoringsprogramma zoutwinning Waddenzee.

Metingen	Toelichting	Frequentie	Gebied
Hoogte/diepte raaien	In deze rapportage	1 x per jaar	Drie raaien in invloedsgebied
Spijkermetingen	Eigenstandige rapportage	4 x per jaar	Ballastplaat
Hoogte wadplaten LIDAR	In deze rapportage	1 x per 3 jaar	Invloedsgebied
Vaklodingen	In deze rapportage	1 x per 6 jaar	Kombergingsgebieden
Sediment-samenstelling	Eigenstandige rapportage	1 x per jaar	Punten benthosbemonstering

1.3 Doel van dit document

Het doel van het voorliggende conceptdocument is om een overzicht te geven van de resultaten van de eerste monitoringsinspanning. Het voorliggende document geeft een overzicht van de bodemligging in de nulsituatie (Tnul), voordat sprake is van zoutwinning en bodemdaling onder de Waddenzee.



Figuur 1-1 Namen in het kombereingsgebied van het Vlie, met de geprognosticeerde contouren van de bodemdalingsschotel aan het van de zoutwinning en de drie raaien van de raaimetingen.

2 HOOGTE/DIEPTE RAAIEN

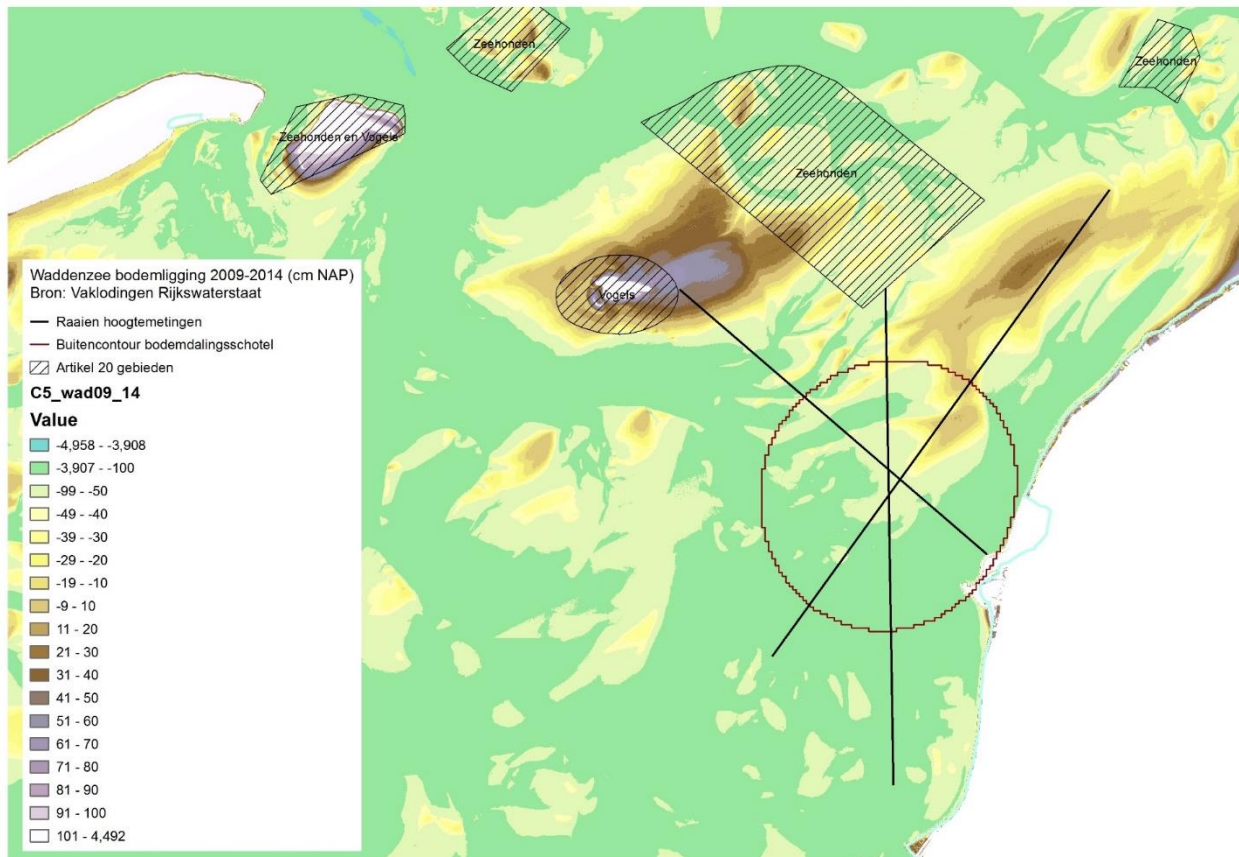
2.1 Introductie van de meetmethode

De metingen van de diepte/hoogte worden uitgevoerd met een (singlebeam) echolood dat is gemonteerd op een ondiepstekend vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur. Tijdens hoogwater wordt varend de diepte onder het schip gemeten. Omdat in het interessegebied de hoogte van de droogvallende platen beperkt is, kan op deze wijze zowel de hoogte van de platen, als de diepte van de geulen worden gemeten.

Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen in de hoogte/diepte optreden. De ruimtelijke resolutie van de metingen sluit aan bij de omvang van de bodemdaling. De frequentie van de aanvullende metingen is relatief hoog, dat wil zeggen dat er vaak wordt gemeten in verhouding tot de omvang van de bodemdaling. Doordat de meetraaien doorlopen tot buiten het gebied met bodemdaling worden referentiegebieden ingemeten

De frequentie van deze metingen is 1 keer per jaar in drie raaien in het invloedsgebied (circa 2 tot 3 maal de oppervlakte van de bodemdalingsschotel). In de onderstaande kaart (Figuur 2-1) is aangegeven hoe deze raaien lopen. De meetraaien lopen niet in de directe nabijheid van de meetlocatie van de pleistocene ondergrond, zodat lokale effecten rond deze locatie de metingen niet beïnvloeden. Door de raaien op drie locaties te laten kruisen worden drie punten verkregen waar een onderlinge vergelijking van de metingen kan plaatsvinden.

Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. In 2016-2018 zijn de metingen uitgevoerd door Deep B.V.

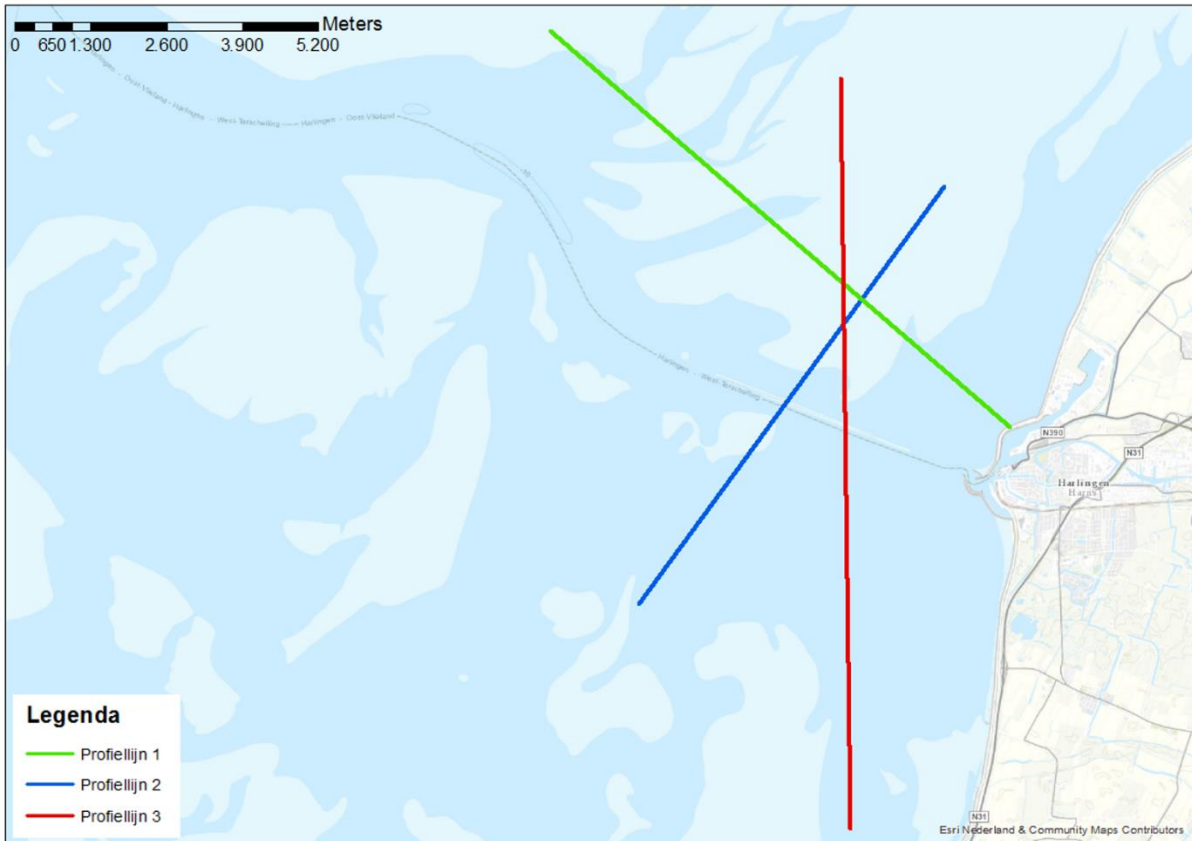


Figuur 2-1 Plaathoogte en raaien voor de hoogtemetingen ten opzichte van NAP.

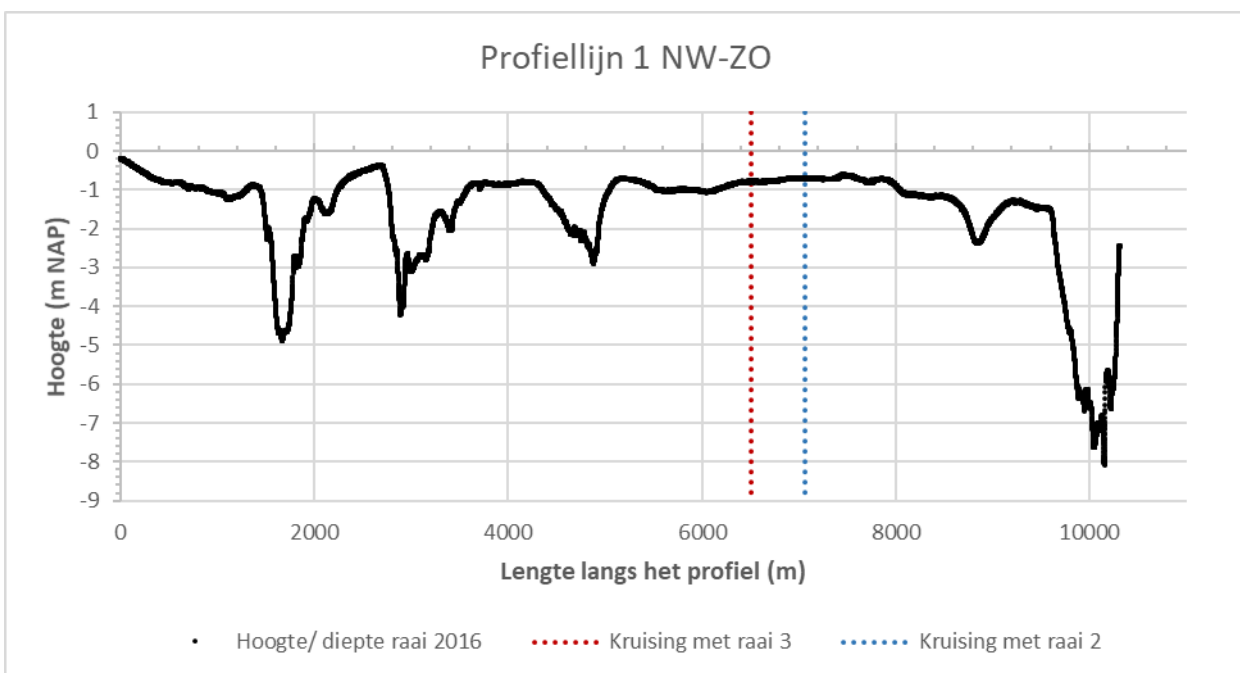
2.2 Hoogte/diepte raaien 2016

Jaarlijks worden drie dezelfde raaien ingemeten, zoals aangegeven in Figuur 2-2. In de drie figuren daaronder (Figuur 2-3, Figuur 2-4 en Figuur 2-5) zijn de drie hoogte/diepte raaien getoond die zijn ingemeten

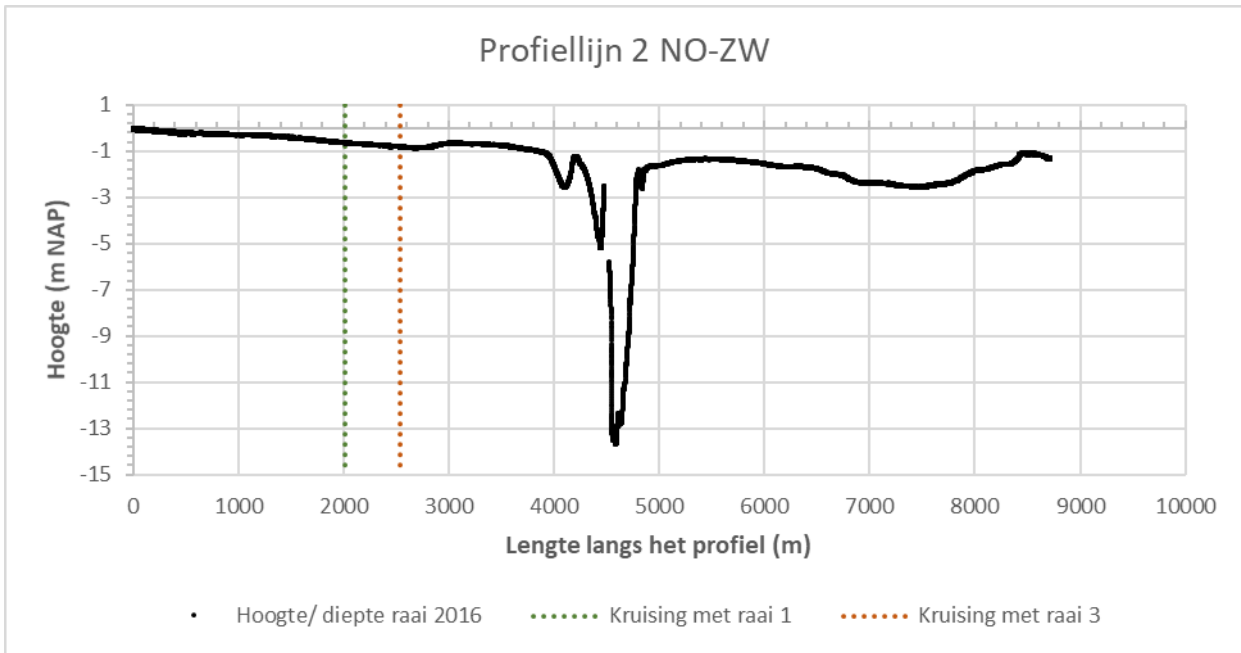
in 2016. De raaien zijn ingemeten op 30 mei en 31 mei 2016. In de raaien 2 en 3 zit een kleine onderbreking in de gegevens, ter plaatse van de Pollendam (de stenen stroomgeleidingsdam ten noordoosten van de vaargeul vanuit Harlingen). De Pollendam is dermate hoog dat deze niet varend kan worden ingemeten.



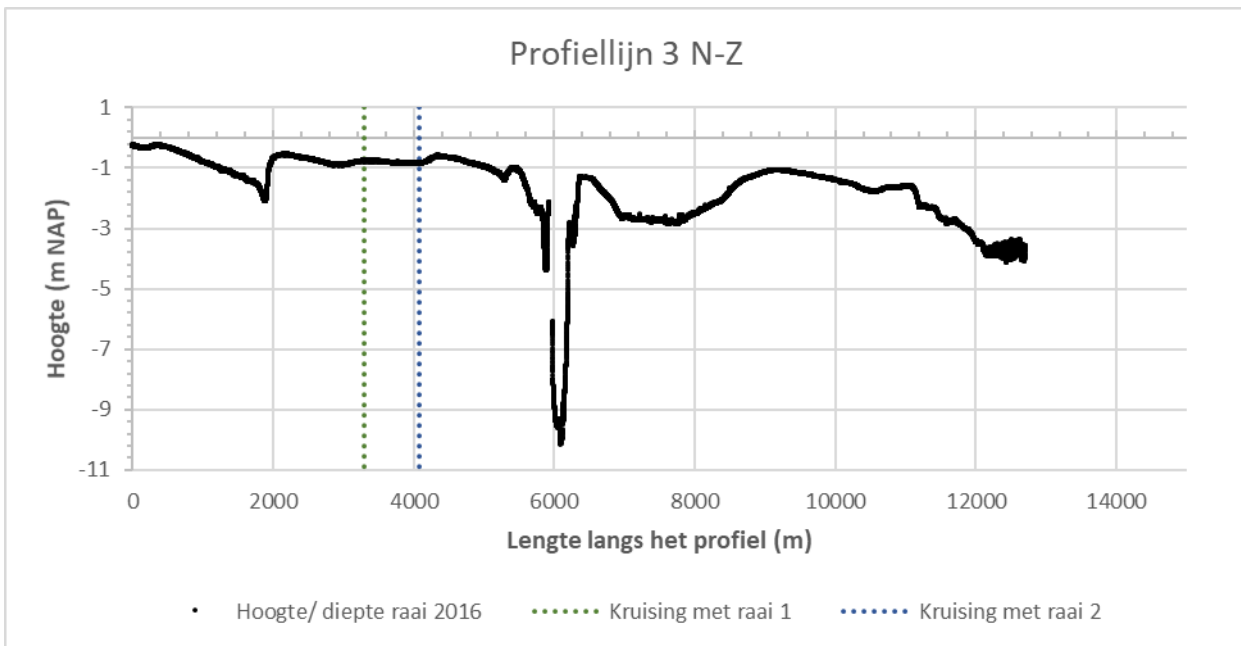
Figuur 2-2 Kaart van van de hoogte/diepte raaien die jaarlijks worden gemeten.



Figuur 2-3 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2016.



Figuur 2-4 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2016.



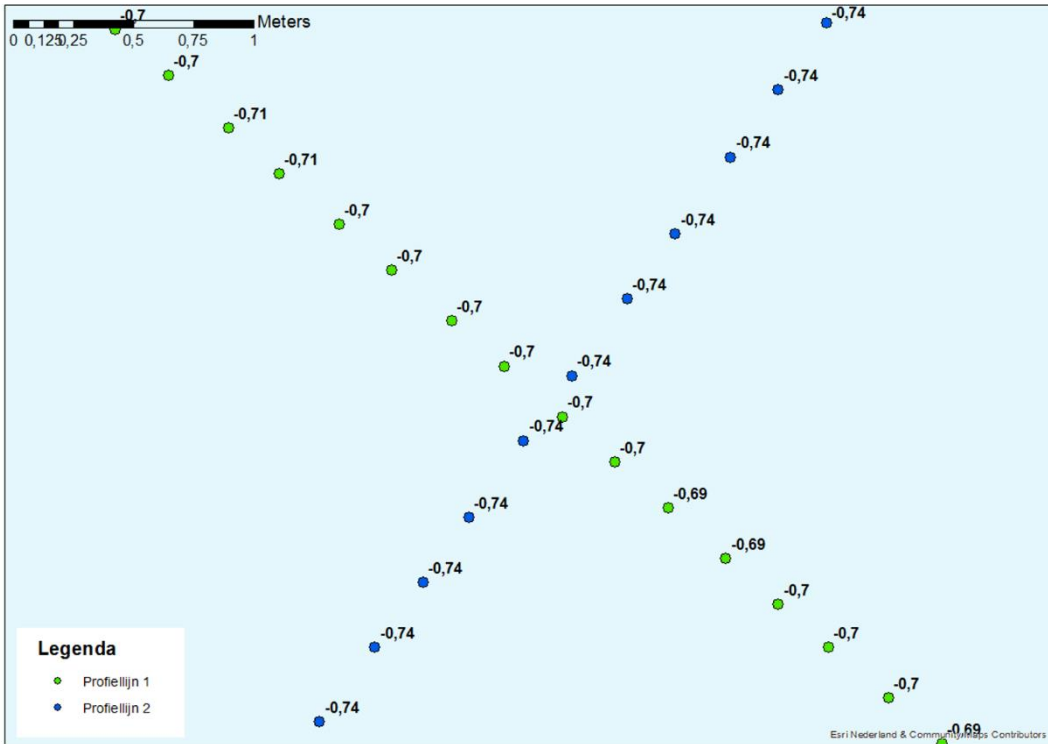
Figuur 2-5 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2016.

Om te kijken of de hoogte/diepteraaien met elkaar overeen komen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 2-6, Figuur 2-7 en Figuur 2-8 en let daarbij op de schaal van deze detailkaarten). Deze controlepunten bestaan uit de kruispunten van de raaien. De dichtstbijzijnde punten van elke raai liggen enkele decimeters van elkaar af. Deze punten worden met elkaar vergeleken. Uit onderstaande meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien.

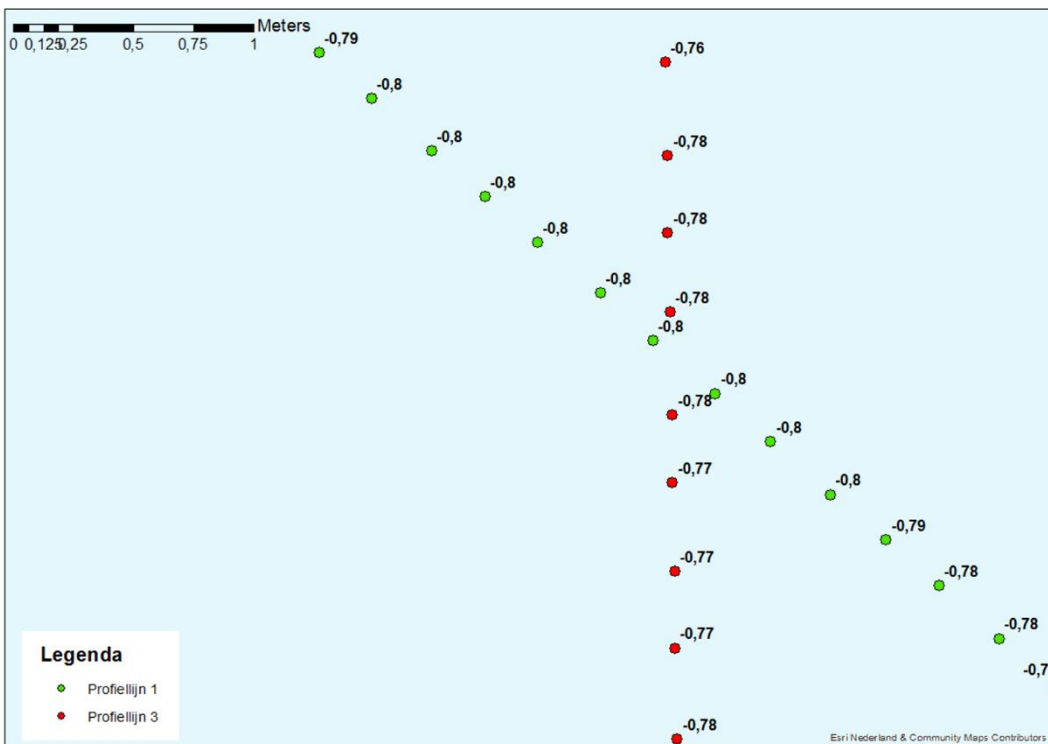
- Verschil van 4 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 6 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.

Hieruit blijkt dat hoogte/diepte raaien die op een volgende dag gemeten zijn enkele centimeters kunnen verschillen. Ten opzichte van profiellijn 1 ligt profiellijn 3 waarschijnlijk structureel iets hoger en profiellijn 2 structureel iets lager. Deze verschillen komen overeen met de nauwkeurigheid van dit type metingen. De

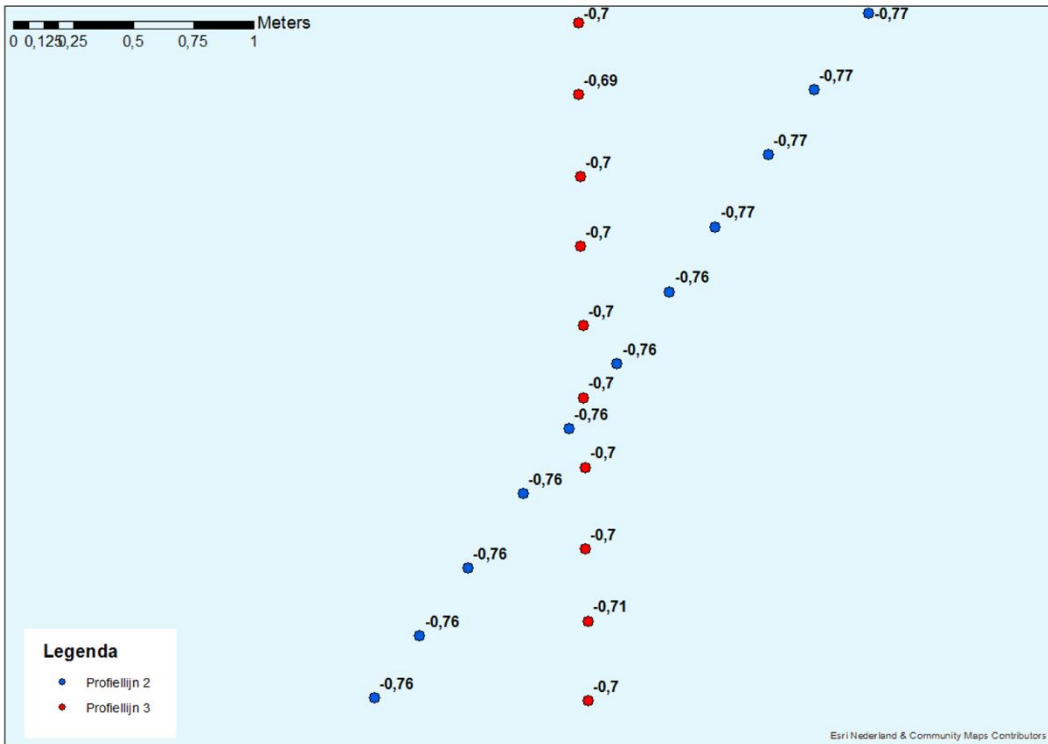
nauwkeurigheid is voldoende om groot om te kijken naar grootschalige bodemveranderingen binnen het studiegebied.



Figuur 2-6 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



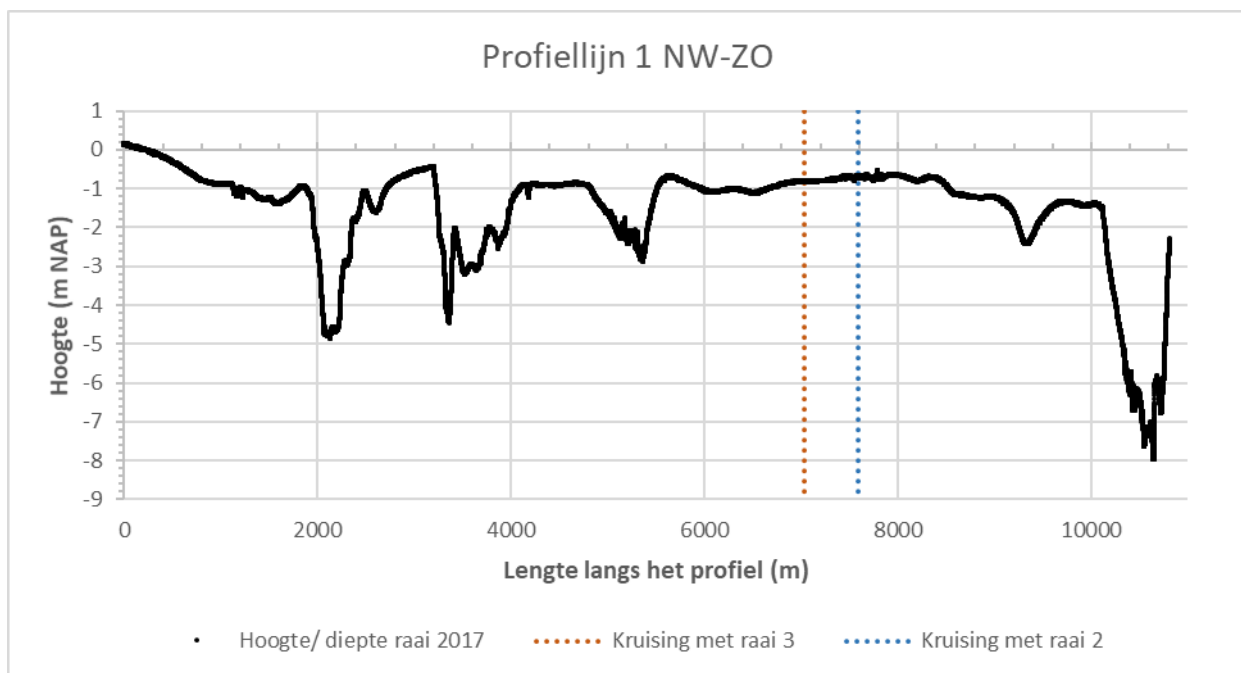
Figuur 2-7 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



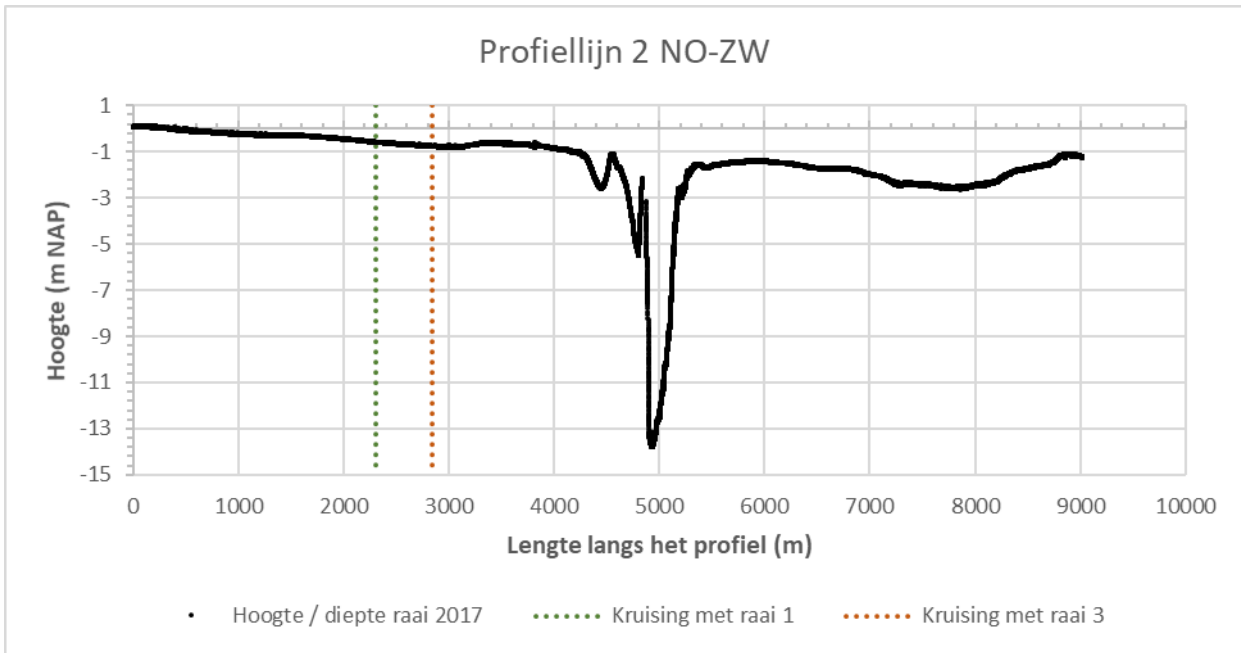
Figuur 2-8 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

2.3 Hoogte/diepte raaien 2017

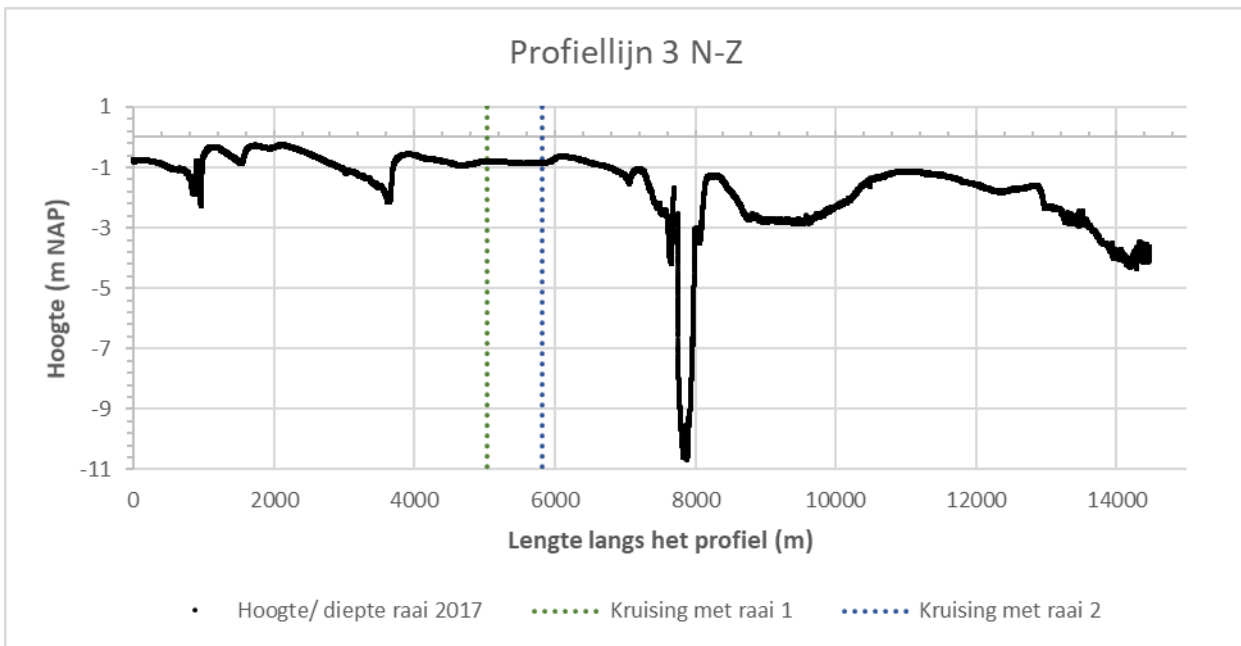
In onderstaande figuren (zie Figuur 2-9, Figuur 2-10 en Figuur 2-11) zijn de drie hoogte/diepte raaien getoond die zijn ingemeten in 2017. De raaien zijn ingemeten op 18 mei 2017.



Figuur 2-9 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2017.



Figuur 2-10 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2017.

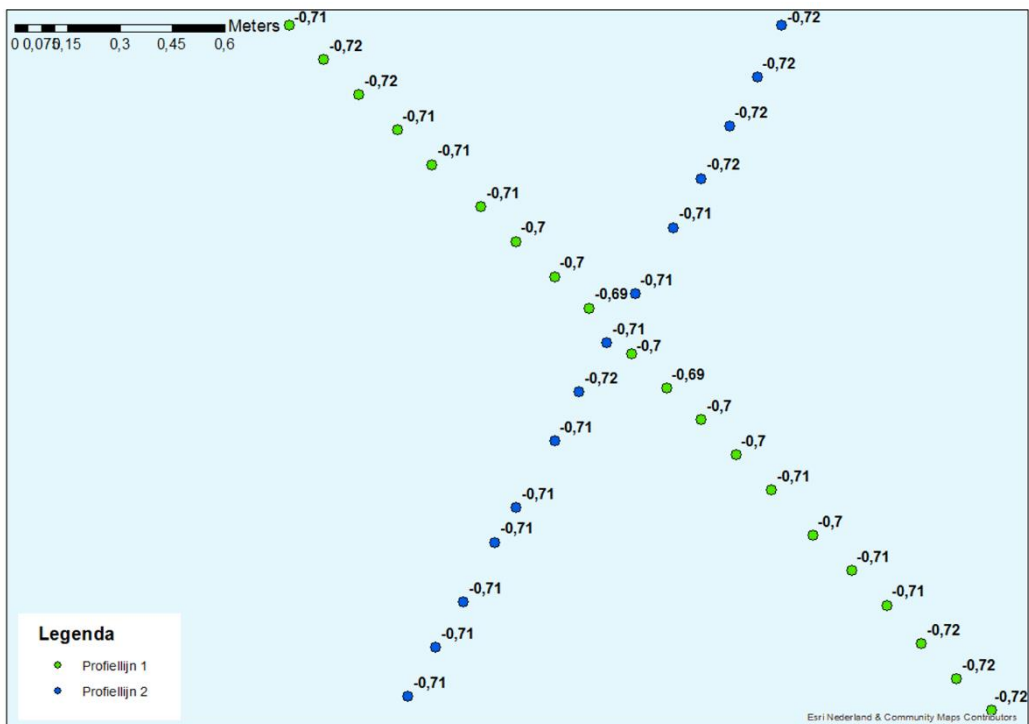


Figuur 2-11 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2017.

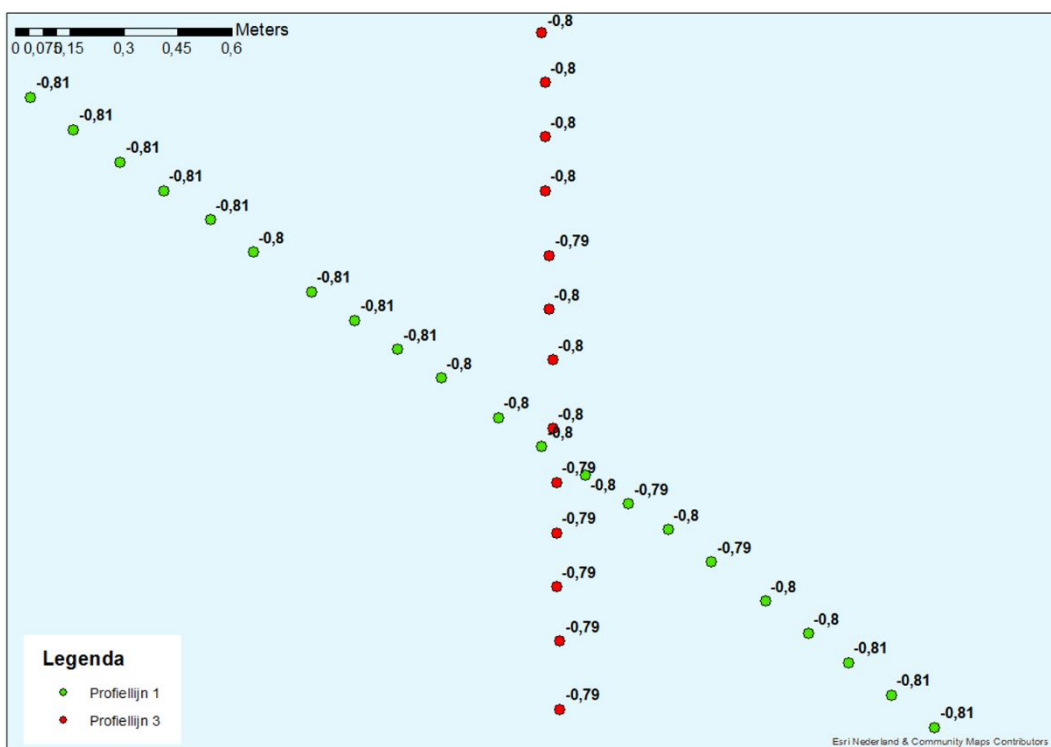
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeen komen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 2-12, Figuur 2-13 en Figuur 2-14). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 0 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.

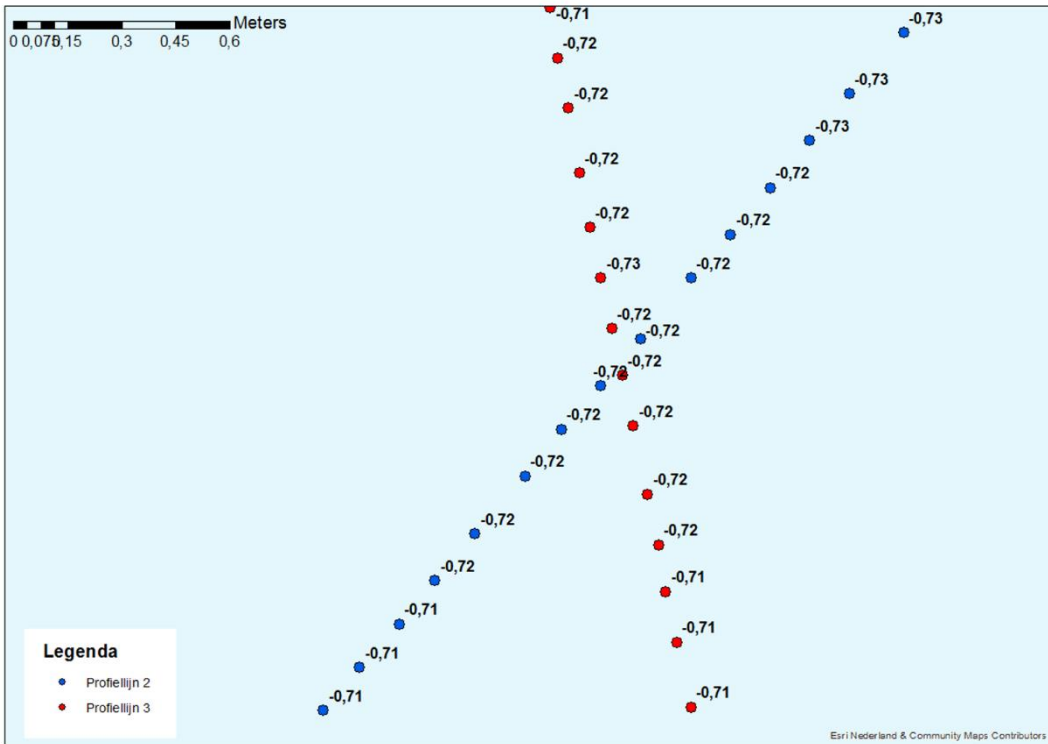
Hieruit blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien zeer goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt ruim binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



Figuur 2-12 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



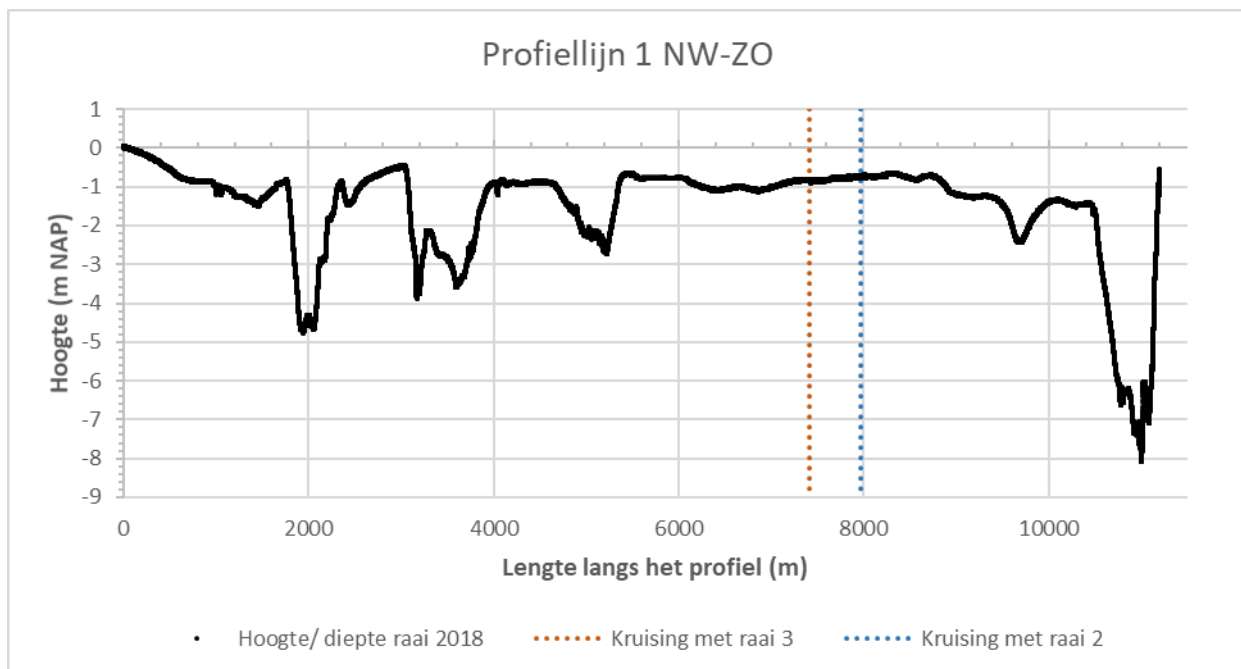
Figuur 2-13 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



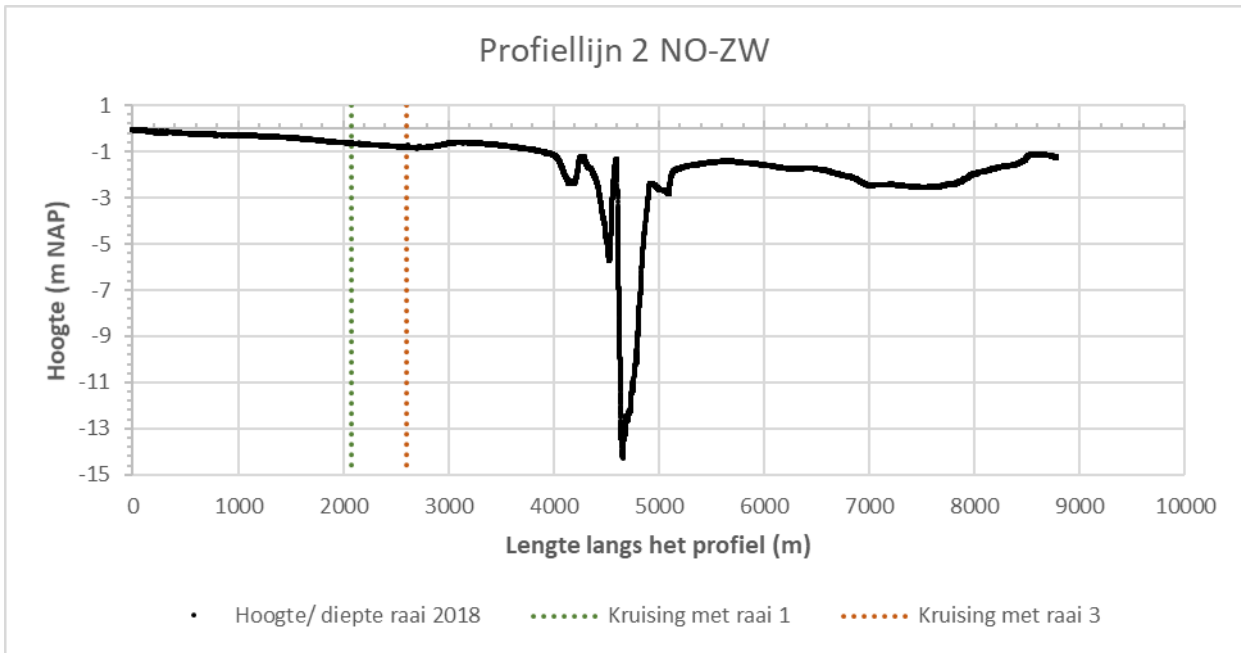
Figuur 2-14 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

2.4 Hoogte/diepte raaien 2018

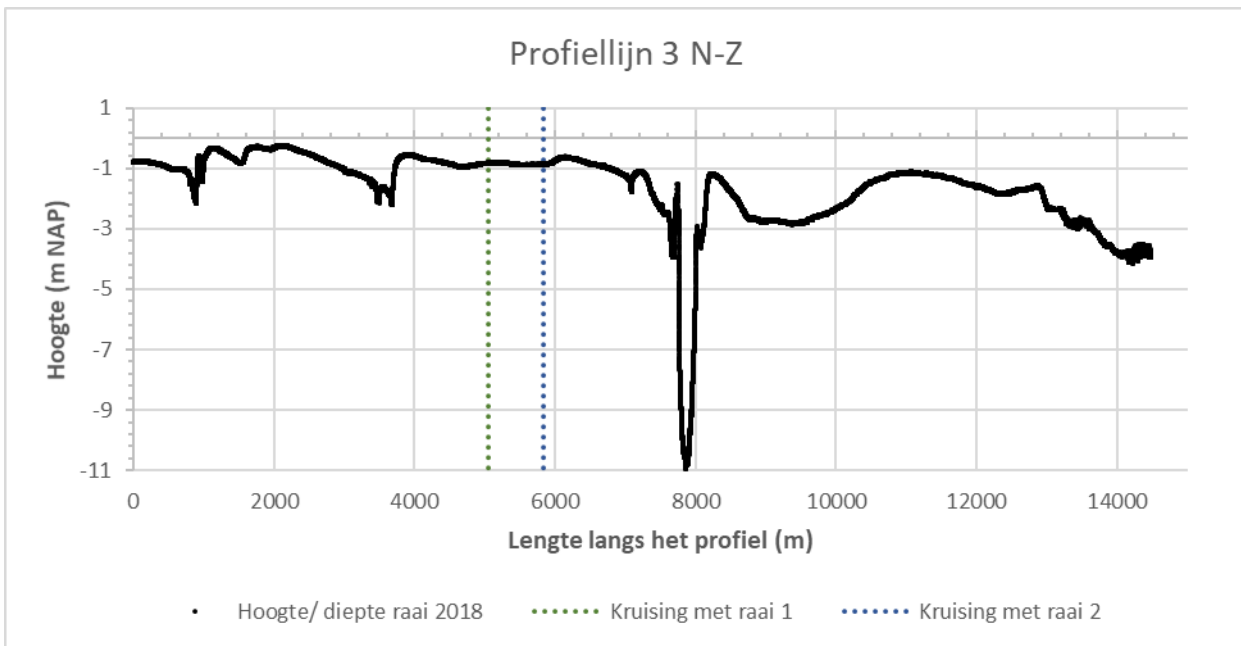
In onderstaande figuren (zie Figuur 2-5, Figuur 2-6 en Figuur 2-7) zijn de drie hoogte/diepte raaien getoond die zijn ingemeten in 2018. De raaien zijn ingemeten op 20 maart 2018.



Figuur 2-15 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2018.



Figuur 2-16 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2018.

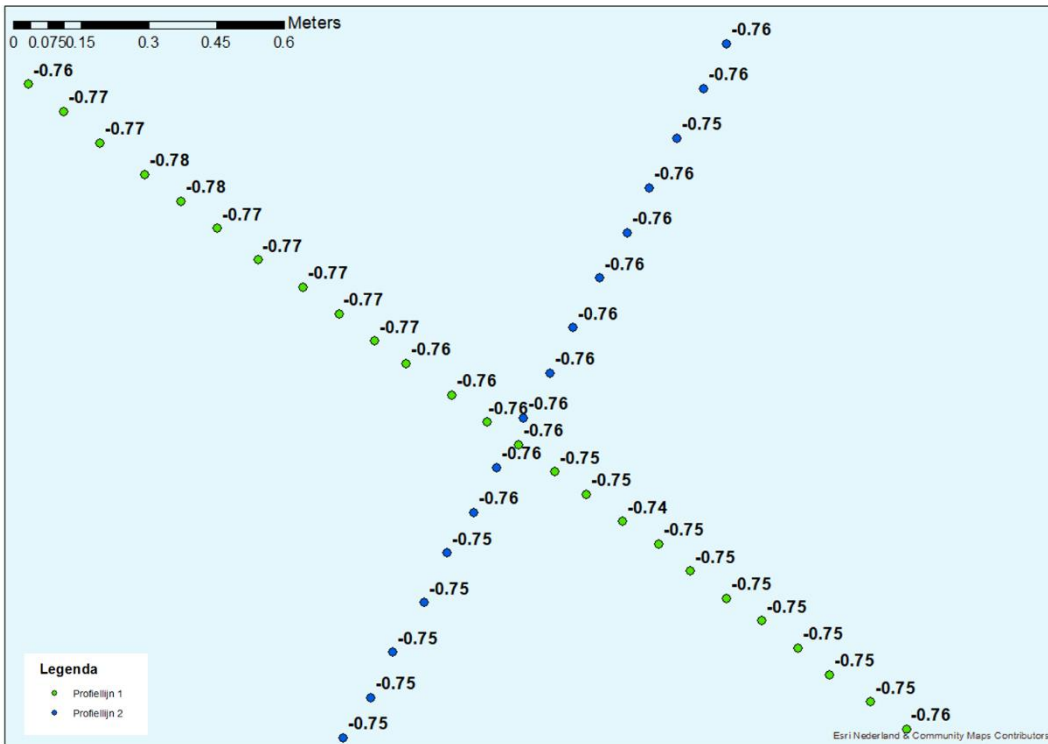


Figuur 2-17 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2018.

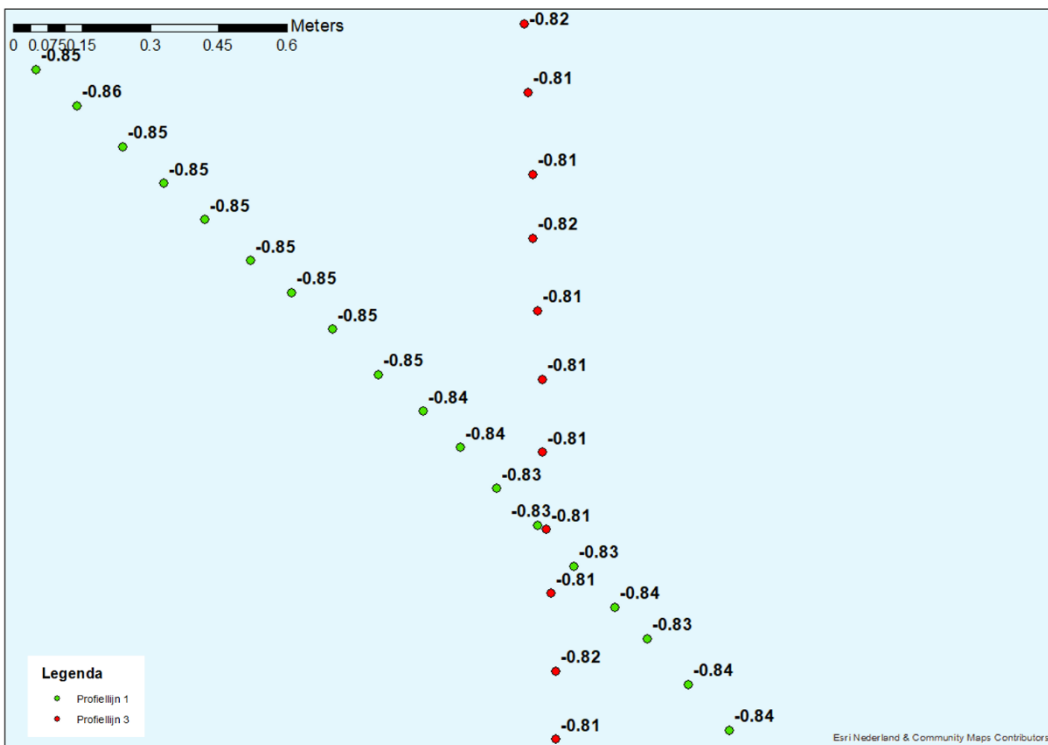
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeen komen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 2-18, Figuur 2-19 en Figuur 2-20). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Geen verschil in hoogte/diepte tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.

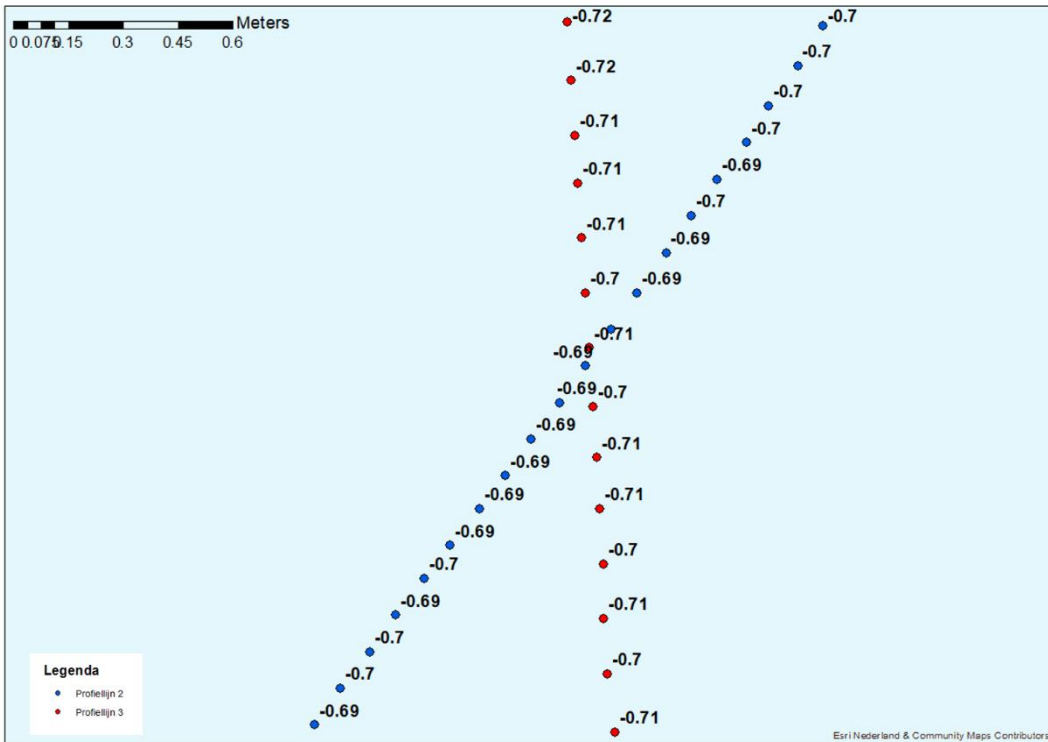
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien zeer goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt ruim binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



Figuur 2-18 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 2-19 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 2-20 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

2.5 Verschil hoogte/diepte raaien 2016-2017

Om de morfologische verandering tussen de gemeten hoogte/diepte raaien van 2016 en 2017 met elkaar te vergelijken is er een interpolatie toegepast, waarbij de hoogte/diepte data van het ene jaar (2017) geschreven is op de meetlocaties van het mee te vergelijken jaar (2016). Dit kan op basis van de bijna precieze overlap van de meetpunten van de raaien tussen elk jaar (zie voor een enkel controlepunt Figuur 2-21 en let daarbij op de schaal van deze kaart).

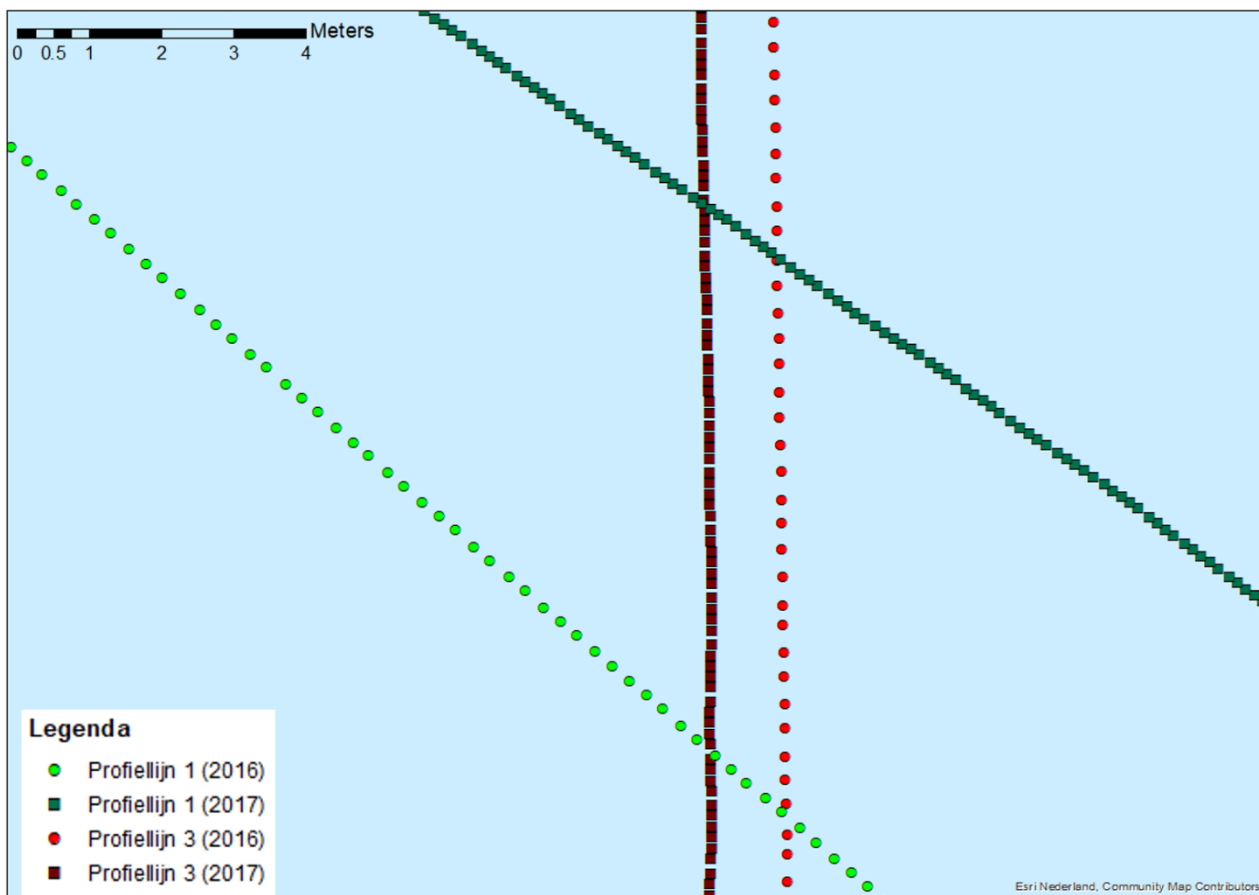
De hoogte wordt vergeleken per gemeten hoogte/diepte raai voor 2016 en 2017 (zie Figuur 2-22, Figuur 2-25 en Figuur 2-28). De hoogte/diepte raaien laten zien dat er door de tijd wel morfologische veranderingen zijn opgetreden, maar dat de ligging van de geul en platen bijna gelijk is gebleven.

Bij de profiellijn van noordwest naar zuidoost is vooral een grote morfologische verandering te zien rondom de sublitorale geulen, waarbij er 1,5 m hoogteverschil is opgetreden (Figuur 2-23). Dit verschil in hoogte/diepte verandering is te verklaren door de hoge dynamiek die kan plaats vinden binnen de geulen in de Waddenzee. Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen van de profiellijn NW-ZO is te zien dat ook op de platen een dynamiek plaats vindt met zowel verhoging of verlaging van enkele centimeters (Figuur 2-24).

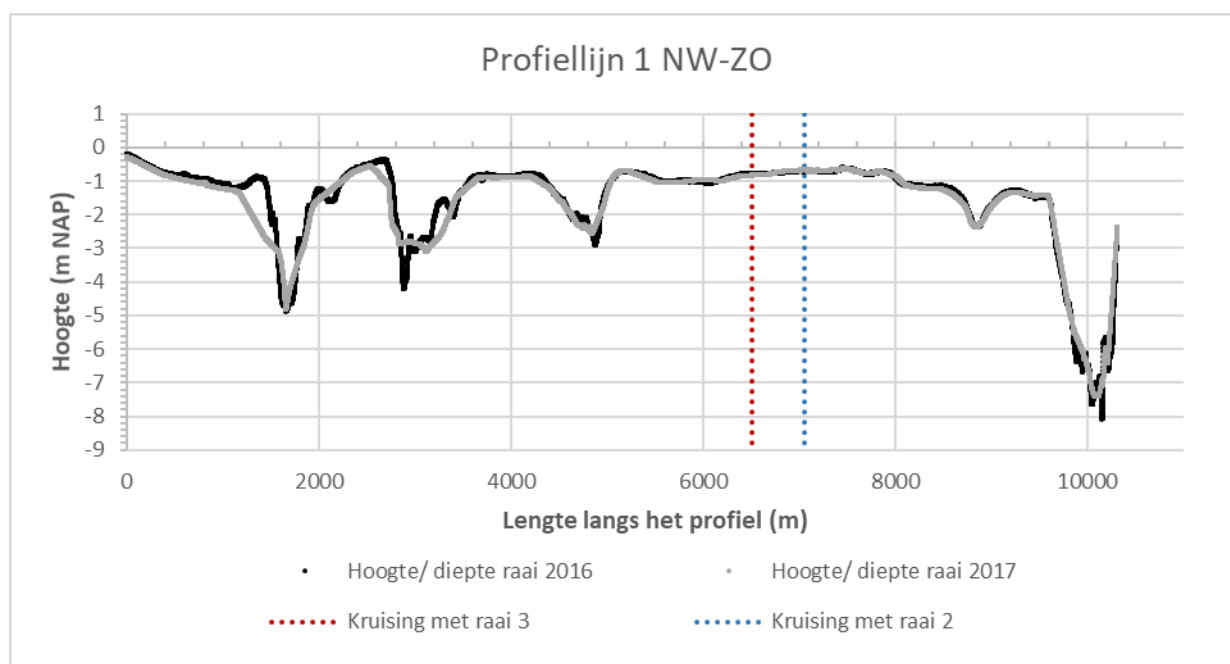
Bij de profiellijn van noordoost naar zuidwest is ook vooral een morfologische verandering te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er tot 3 m hoogteverschil is opgetreden rondom de geul (Figuur 2-26). Rondom de hogere platen in het noordoost gebied is er vooral een verhoging van enkele centimeters te zien, terwijl er in het zuidwestelijke intergetijde gebied eerst een verlaging van enkele centimeters optreedt in de intergetijde geul en daarna weer een verhoging richting de intergetijde platen (Figuur 2-27).

Bij de profiellijn van noord naar zuid is er ook rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen grote morfologische verandering te zien, waarbij er 2 m hoogteverschil is opgetreden (Figuur 2-29). Rondom de intergetijde platen heeft er in het algemeen een verlaging van enkele centimeters opgetreden, waarbij rondom de intergetijde geulen eerder een verhoging van enkele decimeters is opgetreden (zie Figuur 2-30).

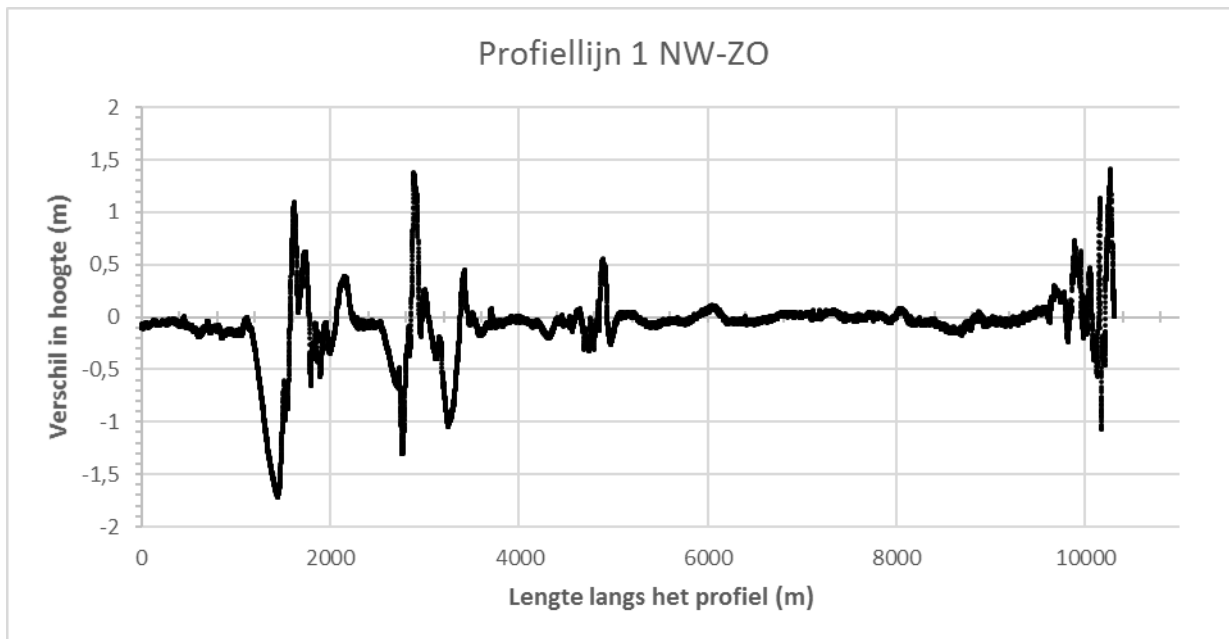
Daarnaast is erin zowel de profiellijn van NO-ZW en de profiellijn van N-Z een onderbreking te zien van 100 meter langs de lengte van het profiel en deze onderbreking is vanwege de Pollendam. Deze dam ligt boven NAP, waardoor de meetschepen er niet overeen kunnen varen.



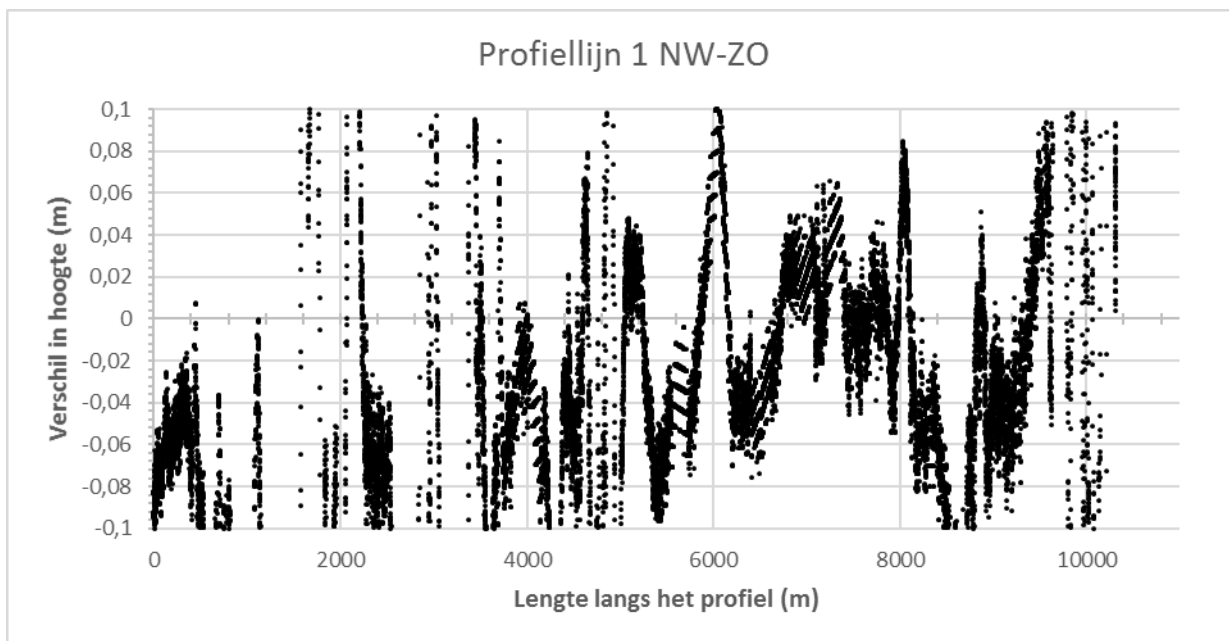
Figuur 2-21 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2016 en hoogte/diepte raaien 2017.



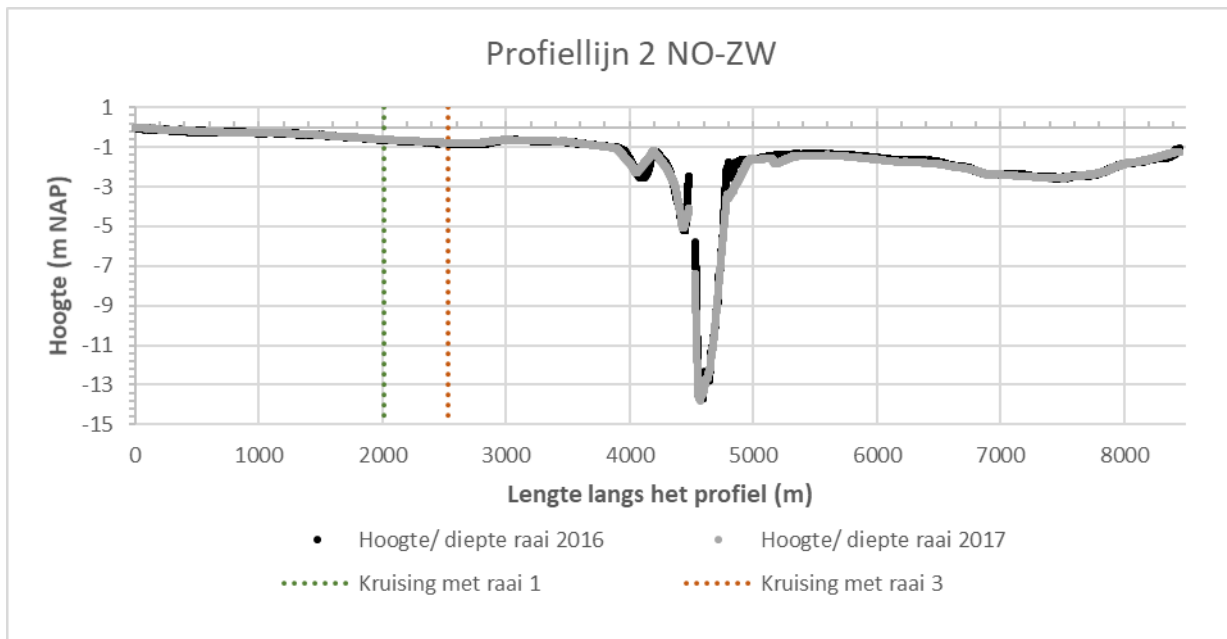
Figuur 2-22 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



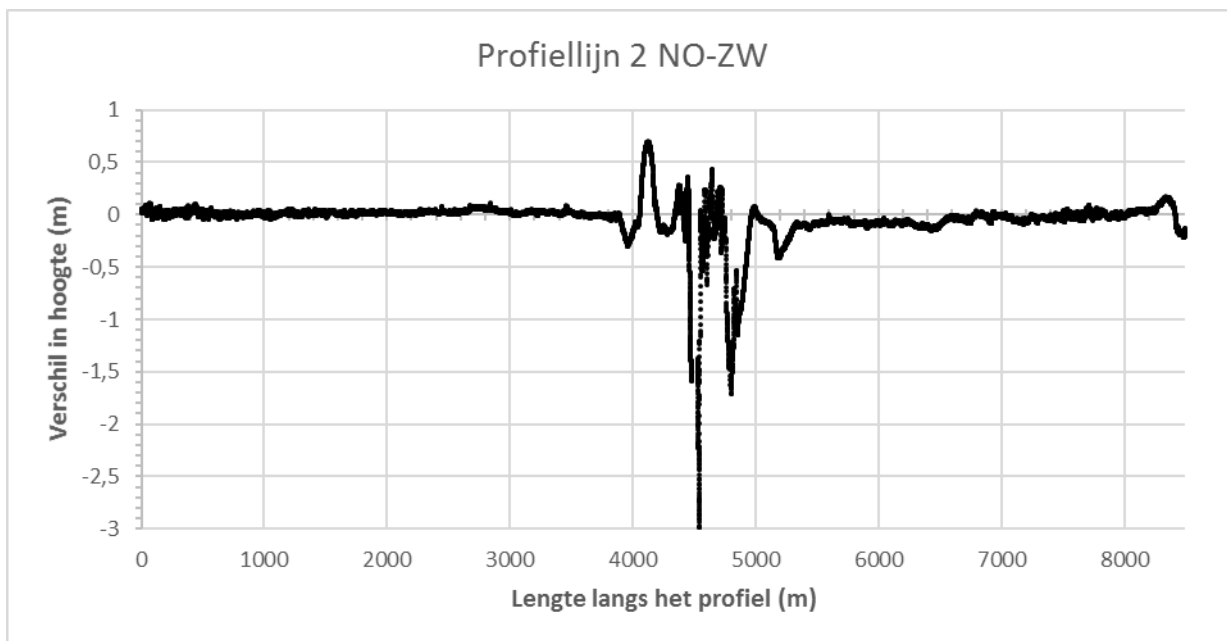
Figuur 2-23 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



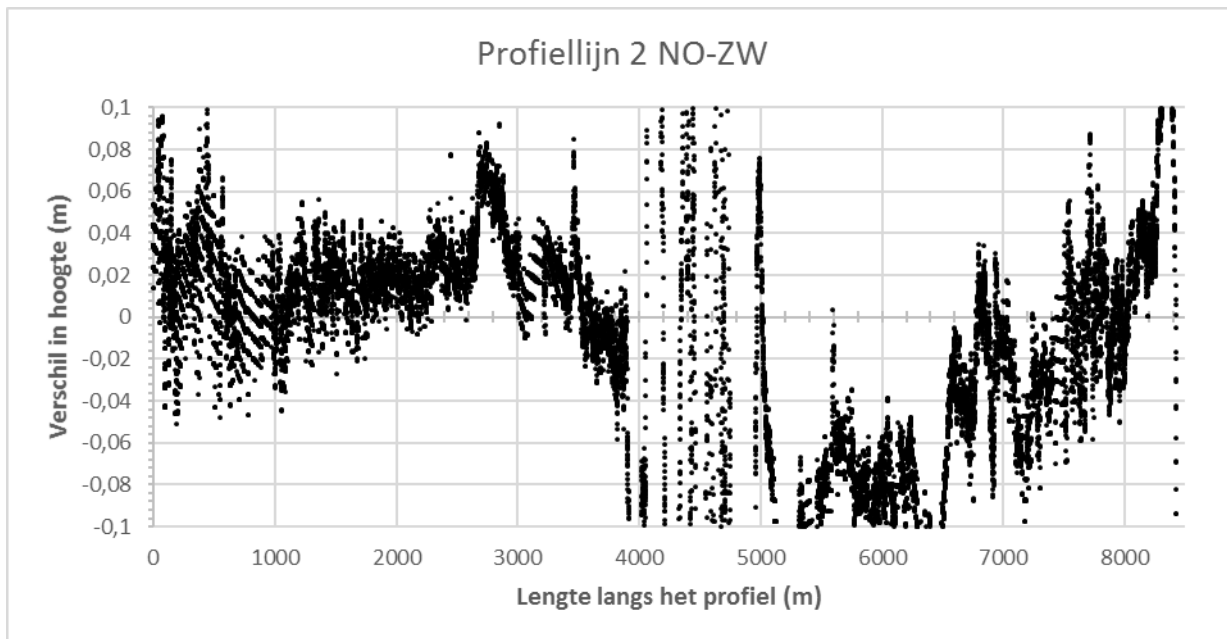
Figuur 2-24 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



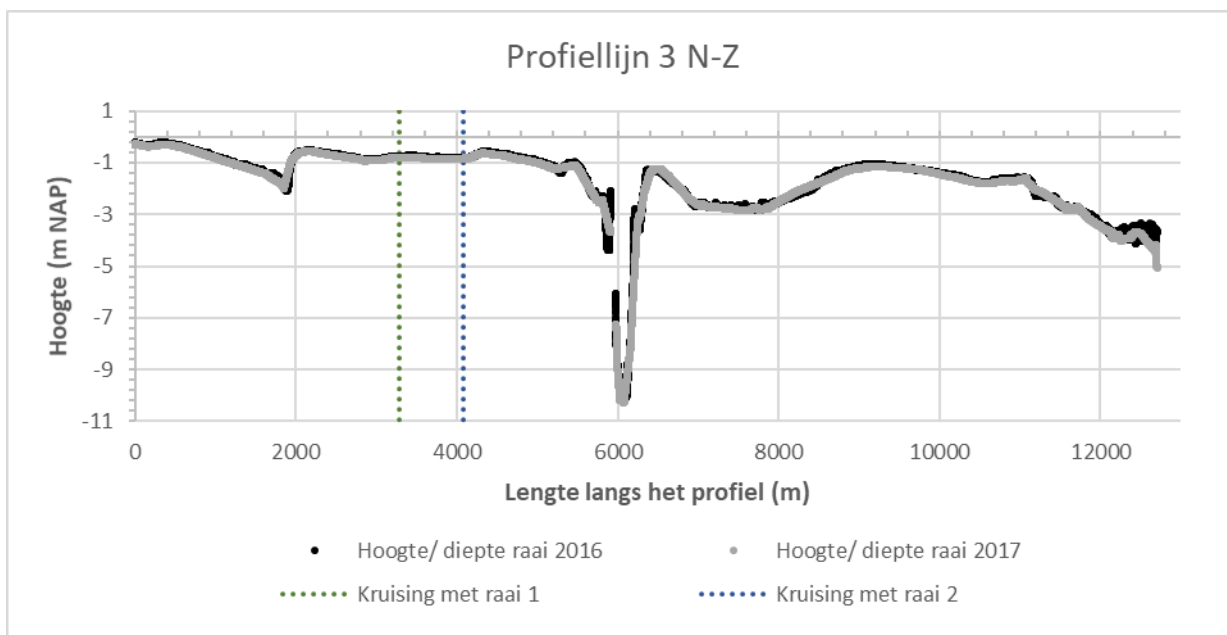
Figuur 2-25 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



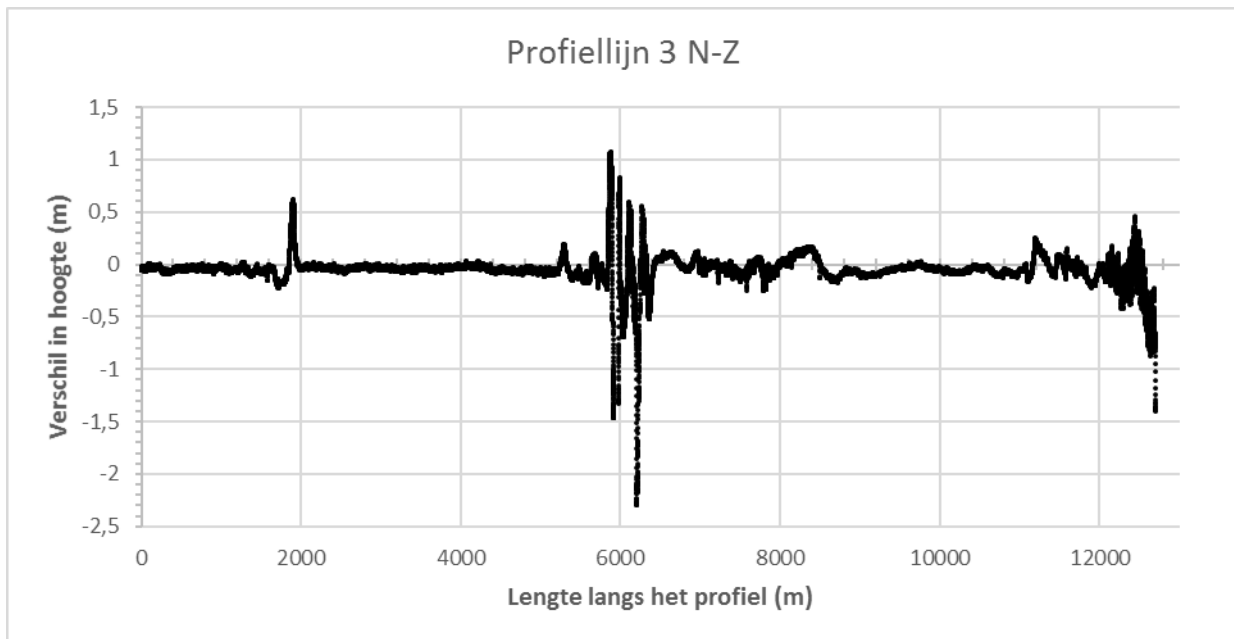
Figuur 2-26 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



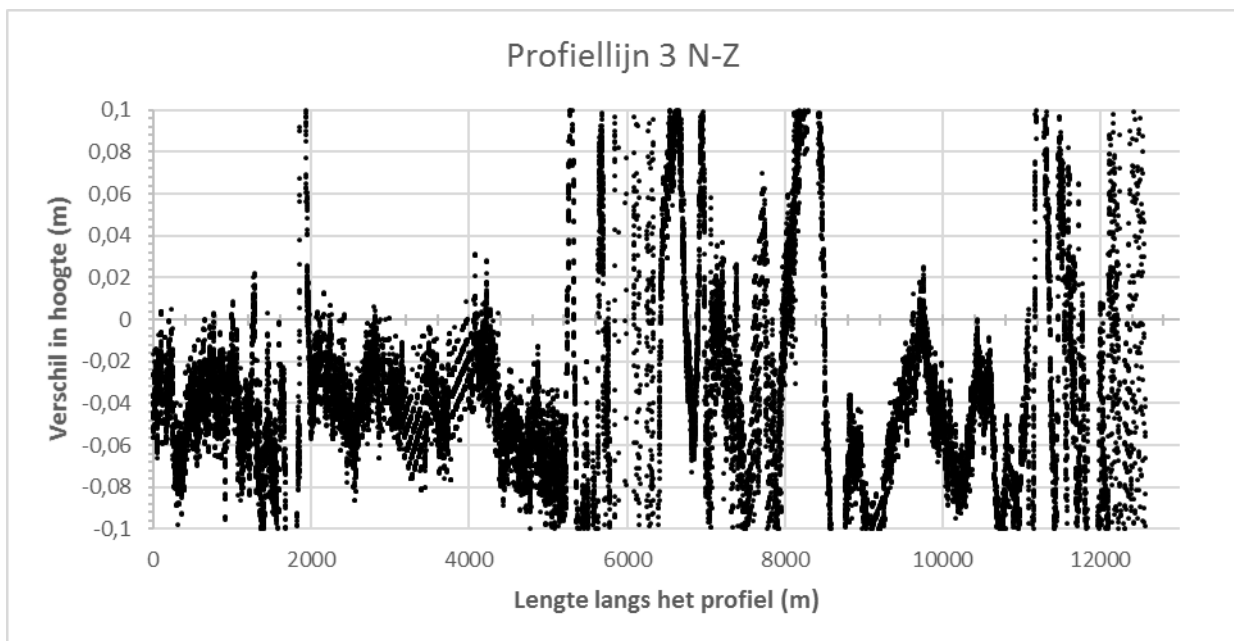
Figuur 2-27: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



Figuur 2-28 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



Figuur 2-29 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



Figuur 2-30 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.

2.6 Verschil hoogte/diepte raaien 2017-2018

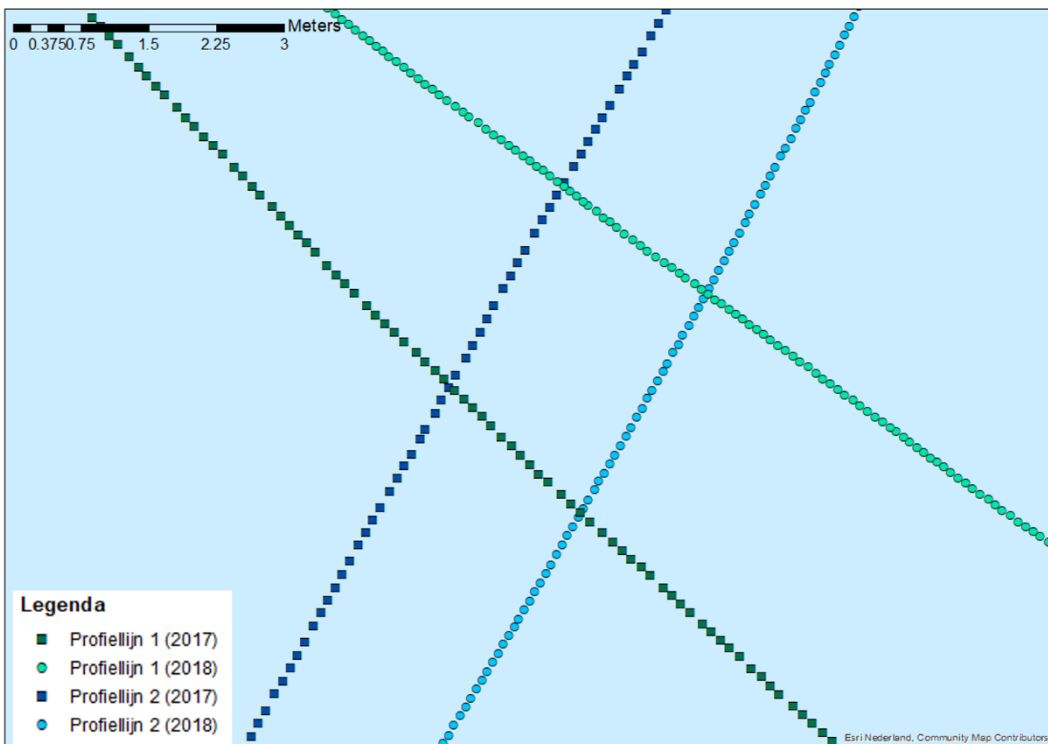
Om de morfologische verandering tussen de gemeten hoogte/diepte raaien van 2017 en 2018 met elkaar te vergelijken is er een interpolatie toegepast, waarbij de hoogte/diepte data van het ene jaar (2018) geschreven is op de meetlocaties van het mee te vergelijken jaar (2017). Dit kan op basis van de redelijk precieze overlap van de meetpunten van de raaien tussen elk jaar (zie voor een enkel controlepunt Figuur 2-31 en let daarbij op de schaal van deze kaart). Tussen de overlap van dezelfde raaien van elk jaar is er toch enkele meters verschil, waardoor er door de interpolatie vooral rondom de dynamische sublitorale geulen grotere verschillen kunnen ontstaan, terwijl deze in de individuele jaardwarsdoorsnedes (sectie 12.2) niet te zien zijn.

De hoogte wordt vergeleken per gemeten hoogte/diepte raai voor 2017 en 2018 (zie Figuur 2-32, Figuur 2-35 en Figuur 2-38). Gemiddeld laten de hoogte/diepte raaien zien dat er door de tijd wel morfologische veranderingen zijn opgetreden, maar dat de ligging van de geul en platen ten opzichte van elkaar bijna gelijk zijn gebleven. Wel is er in de drie dwarsdoorsnedes te zien dat de geulen gemiddeld enkele decimeters verbreden en enkele centimeters tot decimeters ondieper worden of verdiepen.

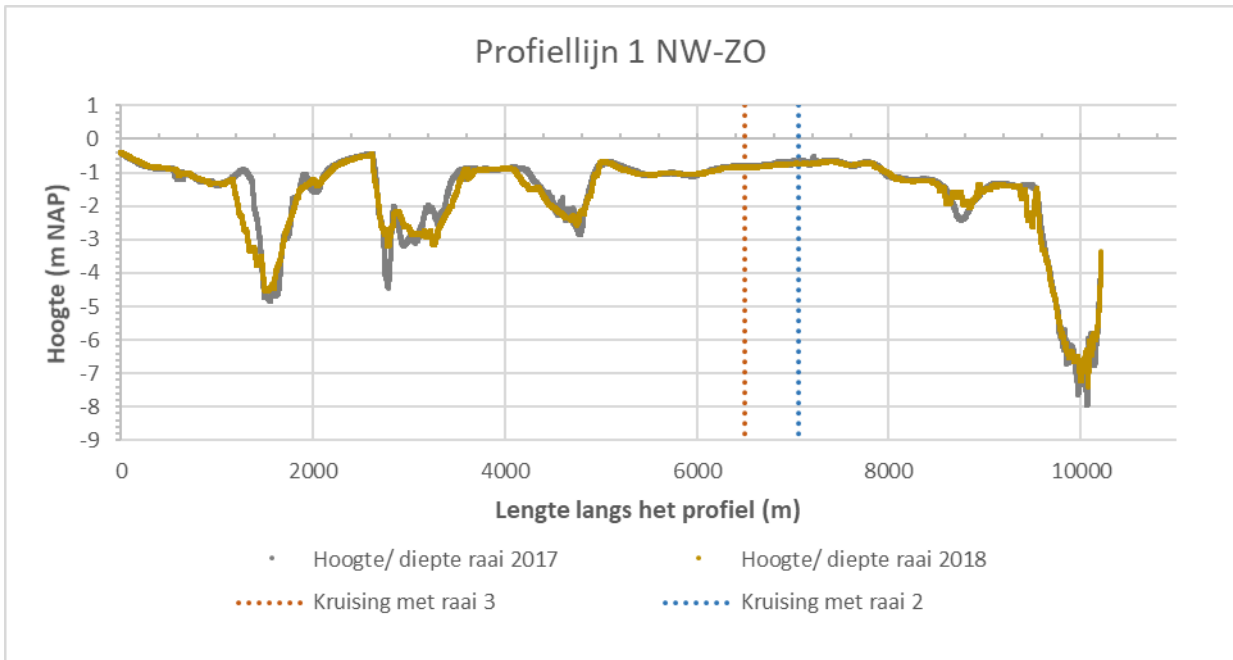
Bij de profiellijn van noordwest naar zuidoost (Figuur 2-32) zijn de grootste morfologische veranderingen te zien rondom de sublitorale geulen, waarbij de hoogte/diepte verandering verschilt van enkele centimeters tot 2,3 meter. Gemiddeld zijn de geulen ondieper geworden en is er verbreding te zien (Figuur 2-33). De hoogte/diepte verandering in de sublitorale geulen kan worden verklaard door de hoge dynamiek binnen de geulen. Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen van de profiellijn NW-ZO is te zien dat ook op de platen een dynamiek plaats vindt met zowel verhoging als verlaging van enkele centimeters (Figuur 2-34).

Bij de profiellijn van noordoost naar zuidwest is de grootste morfologische verandering te zien rondom de sublitorale geul die zicht verbreedt, waardoor er hoogte/diepte veranderingen zijn van enkele centimeters tot 1,5 meter (Figuur 2-36). Zowel de hogere platen in het noordoost gebied als het zuidwestelijke intergetijde gebied laten een verlaging zien van enkele centimeters, terwijl daarna ook in het uiterste zuidwesten van de intergetijde platen ook weer een verhoging van enkele centimeters te zien is (Figuur 2-37).

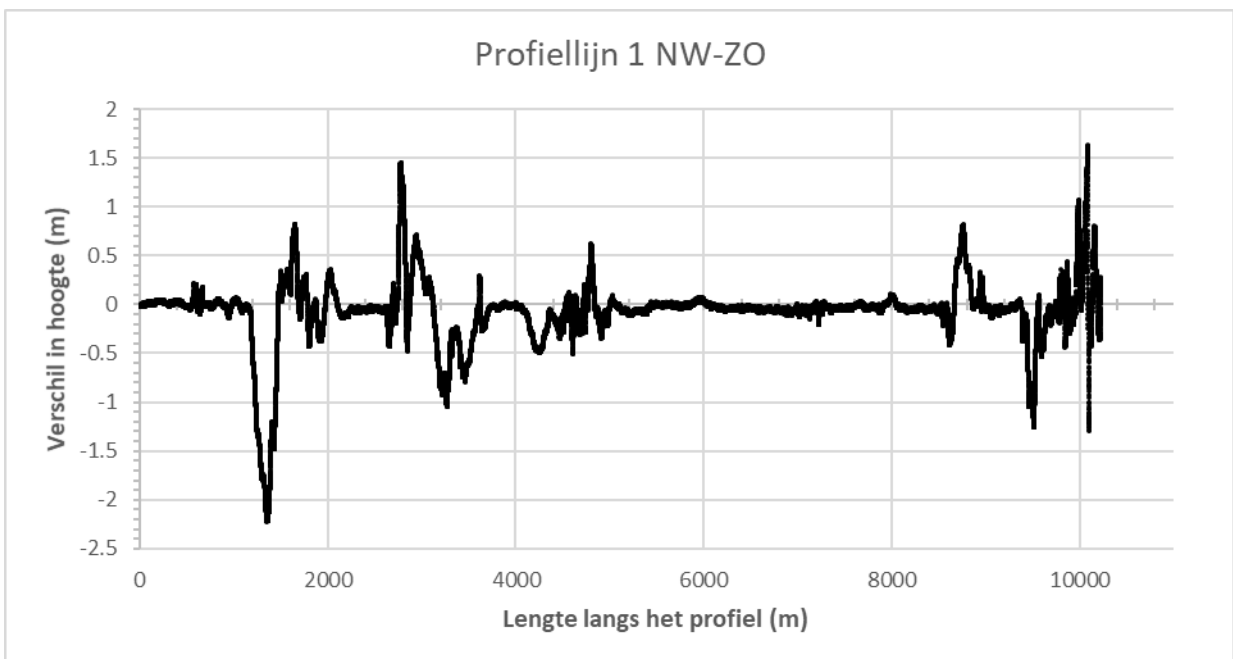
De 3^e profiellijn van noord naar zuid laat zien dat er in de intergetijde geul grootte hoogte/diepte veranderingen hebben plaatsgevonden van enkele decimeters tot 1 meter, terwijl in de sublitorale geulen en de intergetijde platen hoogte/diepte veranderen hebben plaatsgevonden van enkele centimeters (Figuur 2-39 en Figuur 2-40).



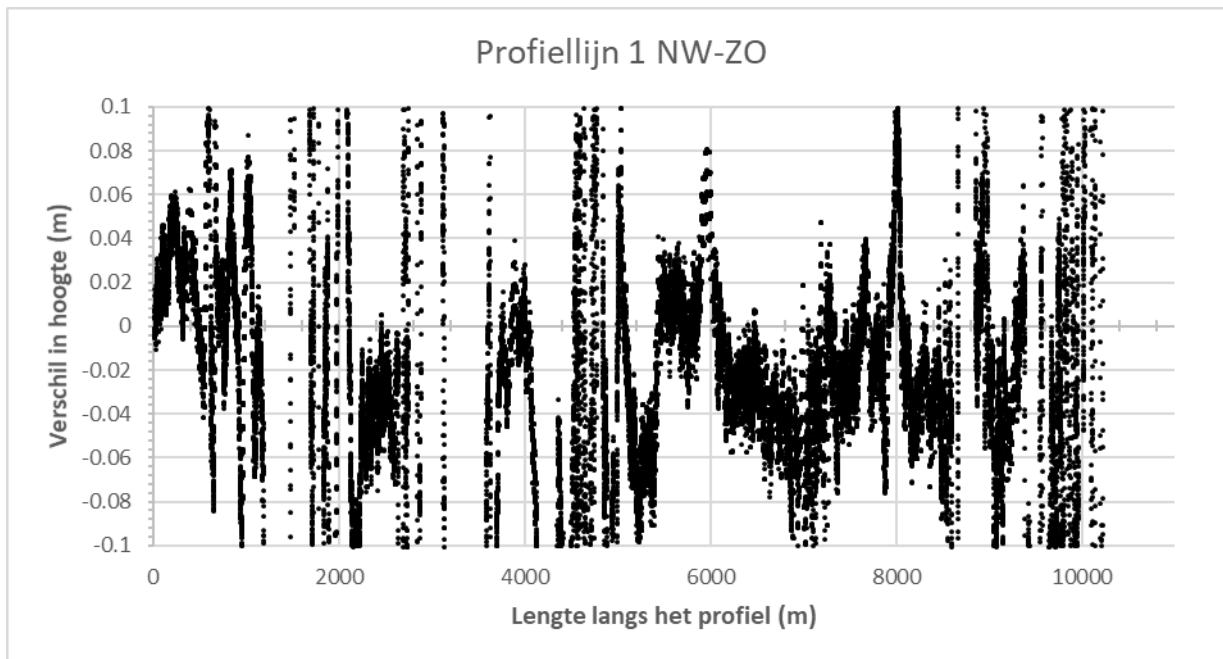
Figuur 2-31 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2017 en hoogte/diepte raaien 2018.



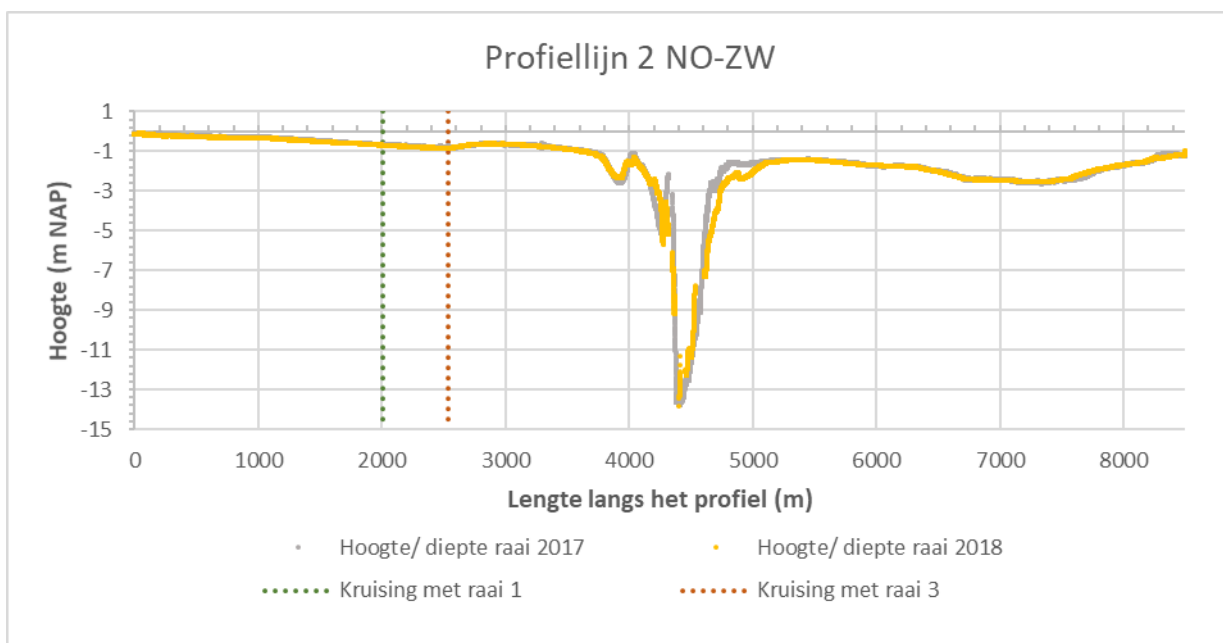
Figuur 2-32 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



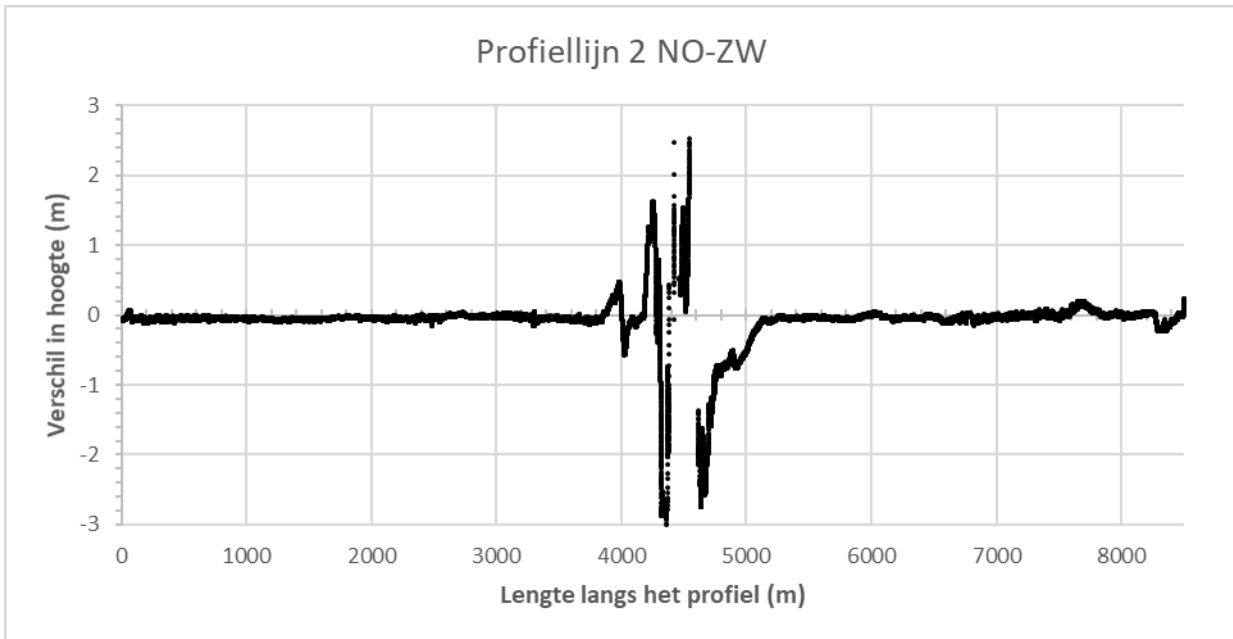
Figuur 2-33 Vershilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



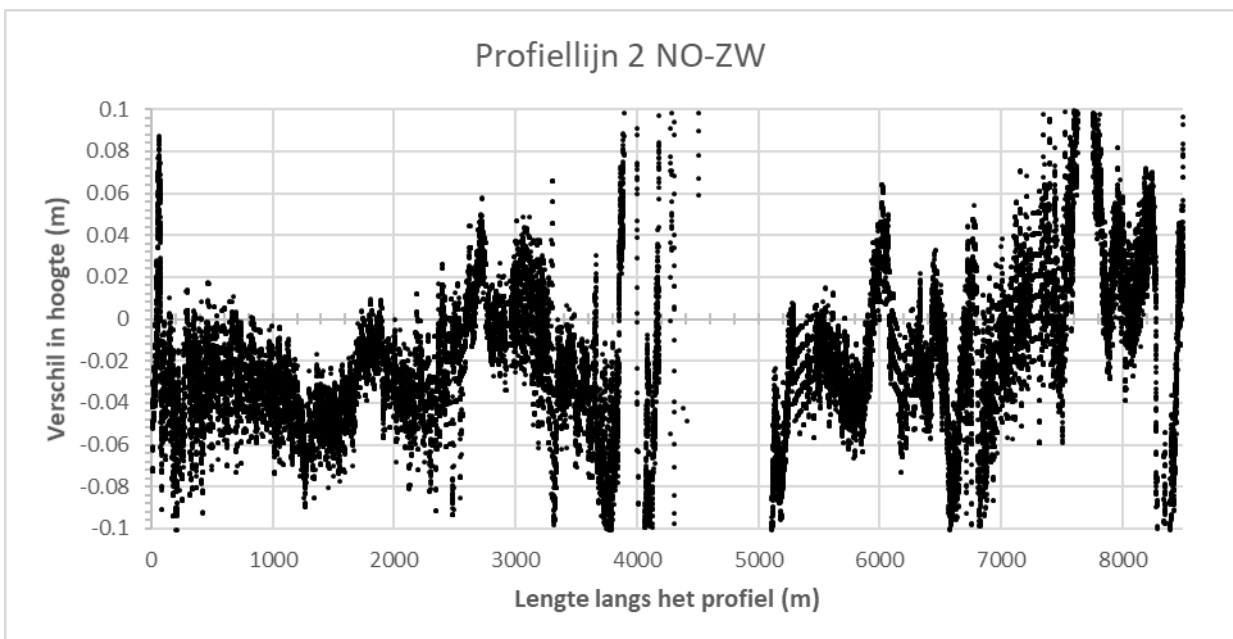
Figuur 2-34 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



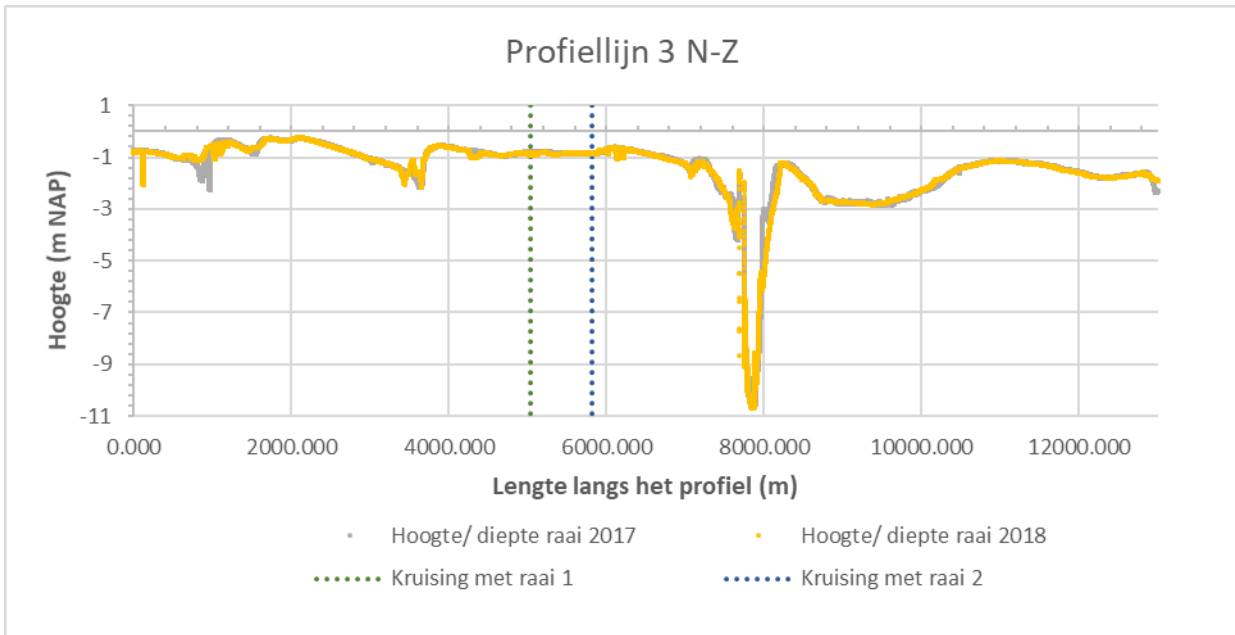
Figuur 2-35 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



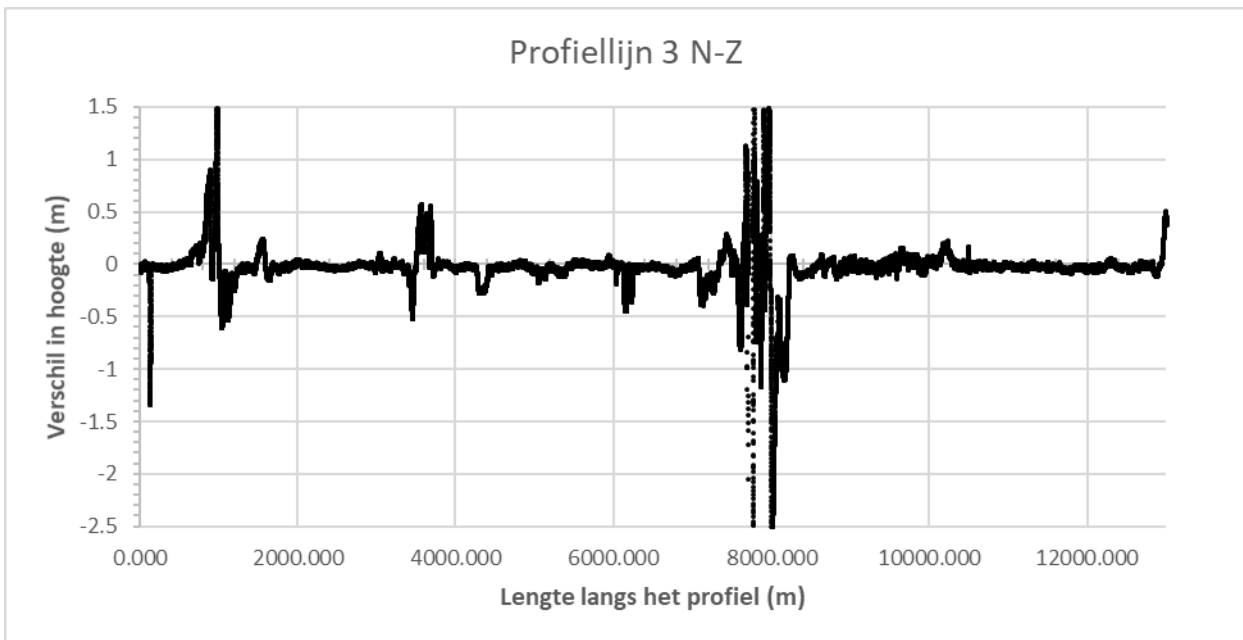
Figuur 2-36 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



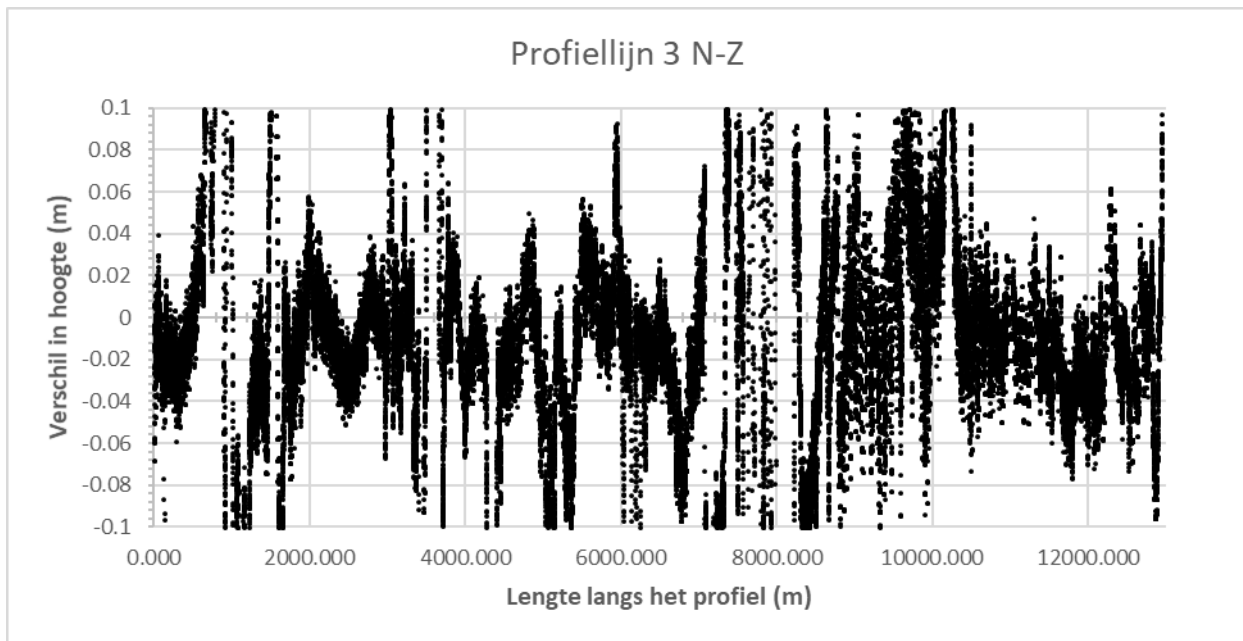
Figuur 2-37 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



Figuur 2-38 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



Figuur 2-39 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.

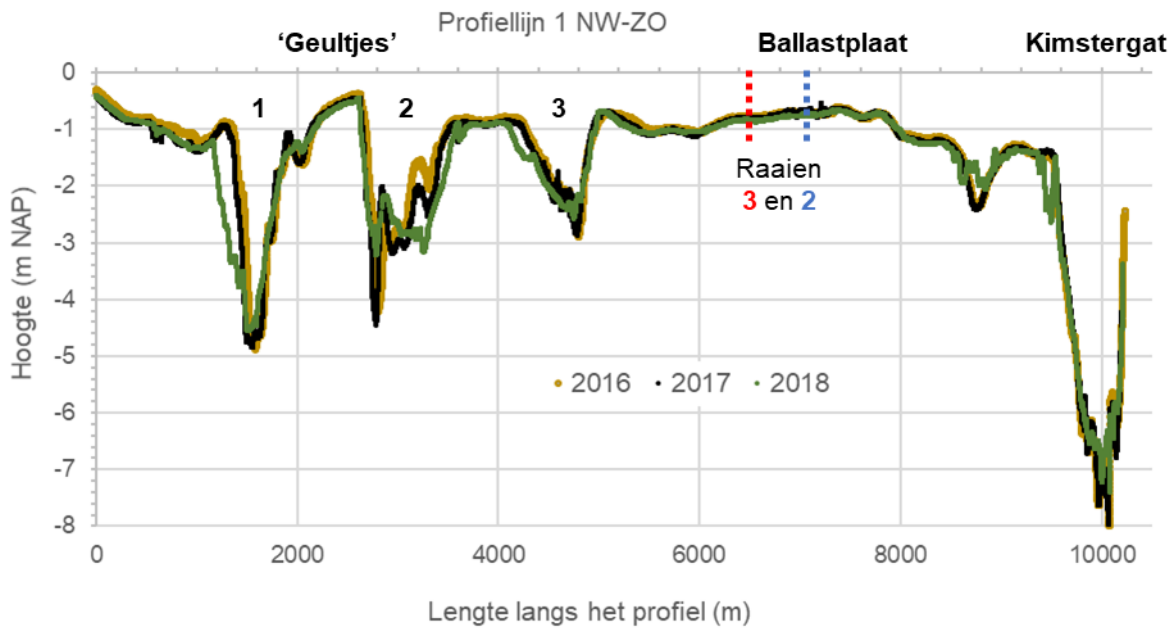


Figuur 2-40 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.

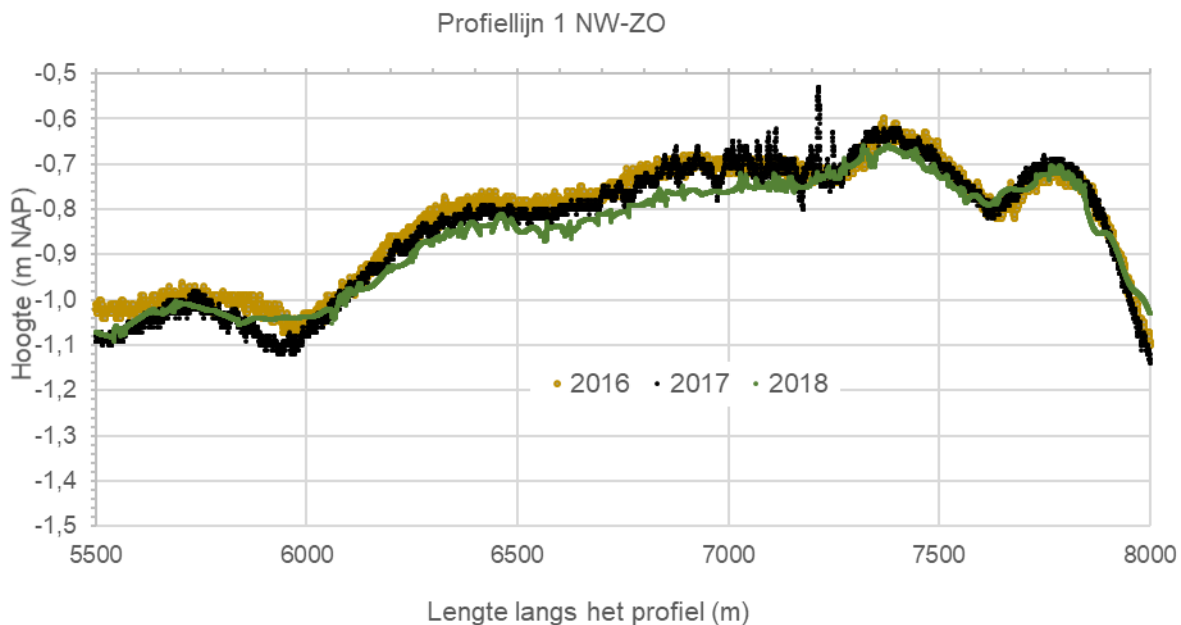
2.7 Observatie tot nu toe hoogte/diepte raaien

In de voorgaande paragrafen zijn de meetraaien beschreven en onderling vergeleken. In de paragraaf wordt ingegaan op de verschillen tussen de drie opeenvolgende opnames. Daartoe zijn dwarsdoorsneden van de drie profiellijnen gemaakt met de drie opeenvolgende metingen van 2016, 2017 en 2018. Hiertoe is geen aparte projectie uitgevoerd van de meetraaien, maar is de 2018 raai verschoven, zodat de vaste punten (geulwand bij Pollendam en geulwand Kimstergat aan de vastelandszijde) overlappen.

De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 1 staat in Figuur 2-41. In dit overzicht is zichtbaar dat de duidelijk veranderingen optreden rond de geulen in het gebied. Op deze schaal lijken de droogvallende platen vrijwel niet te veranderen. Om duidelijk te maken dat er wel degelijk veranderingen optreden op de droogvallende platen is een ingezoomd detail toegevoegd van de Ballastplaat in Figuur 2-42. In deze dwarsdoorsnede is zichtbaar dat deze plaat geen platte pannenkoek is, maar dat deze geleidelijk oploopt van het noordwest naar het zuidoosten, waarbij ook enkele undulaties zichtbaar zijn. Deze undulaties, met een lengte van rond de 5000m zijn in alle drie de opnames zichtbaar. Van het hoogste punt van de plaat in deze dwarsdoorsnede loopt de plaat vrij snel af naar het noordoosten, ook met twee undulaties. De vorm van de dwarsdoorsnede door de plaat is in alle drie de opnames vergelijkbaar. De hoogteverschillen tussen de drie opnames bedraagt niet meer dan een decimeter, behalve bij de grote spikes rond 7200 m in de opname van 2017, waarvan mag wordt betwijfeld of dit de werkelijke bodemligging is, of een fout in de metingen. Tussen 6200 m en 7200 m liggen de opnames van de opeenvolgende jaren steeds lager. Vanwege de beperkte hoogteverschillen en het beperkte aantal opnames is het nog niet mogelijk om van een trendmatige verandering te spreken. Ten noordwesten en ten zuidoosten van dit stuk varieert de bodemligging.

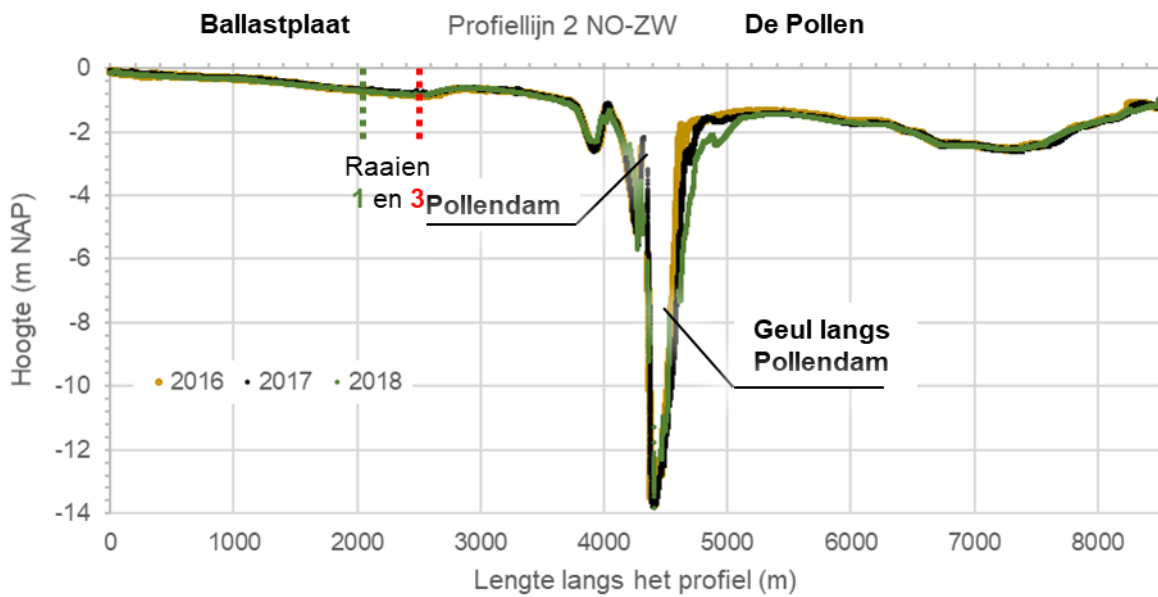


Figuur 2-41 Dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018.

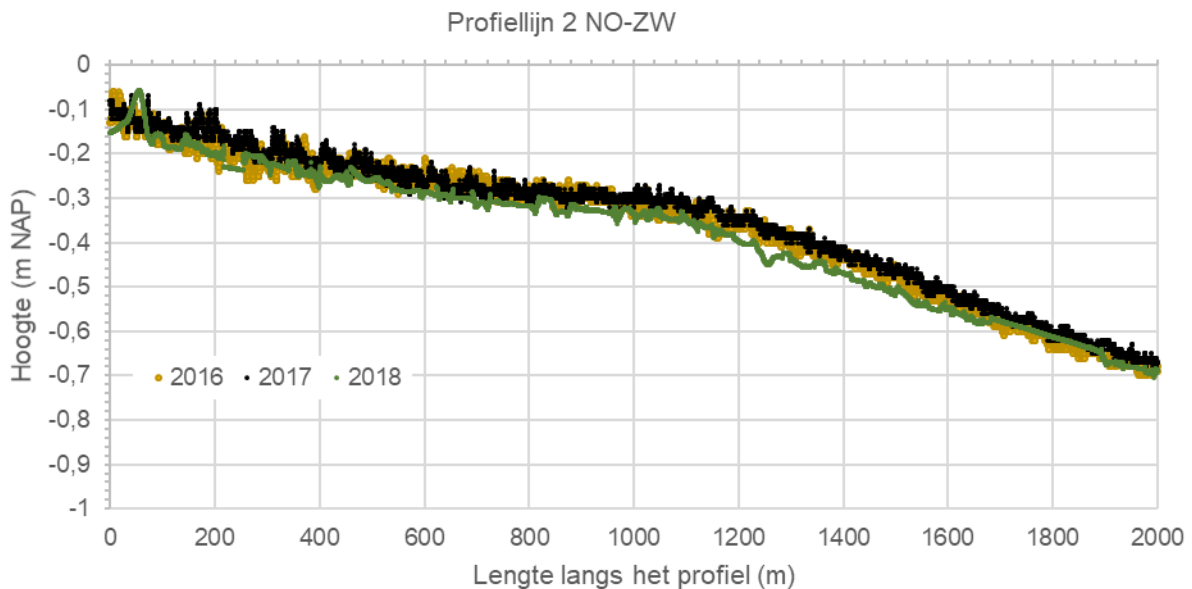


Figuur 2-42 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 2 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018 (Detail van Figuur 2-41).

Figuur 2-43 toont de dwarsdoorsnede van profiellijn 2 in een overzicht. In deze dwarsdoorsnede is nog duidelijker zichtbaar dan in profiellijn 1 dat de veranderingen in de morfologie optreden bij de geulen. De morfologische veranderingen op de droogvallende platen zijn zeer beperkt. De veranderingen in de geulen treden op rond de Pollendam, zowel bij de grotere geul langs de Pollendam aan de zuidwestzijde van de dam, als bij de veel kleinere en ondiepere geulen aan de noordoostzijde. Figuur 2-44 laat een detail van de Ballastplaat zien uit profiellijn 2. De gemeten diepteligging lijkt nergens meer dan een decimeters te verschillen in de drie opnames. Structurele verschillen, met de opeenvolgende metingen consequent hoger of lager dan de voorgaande, doen zich in deze profiellijn niet voor op de Ballastplaat.



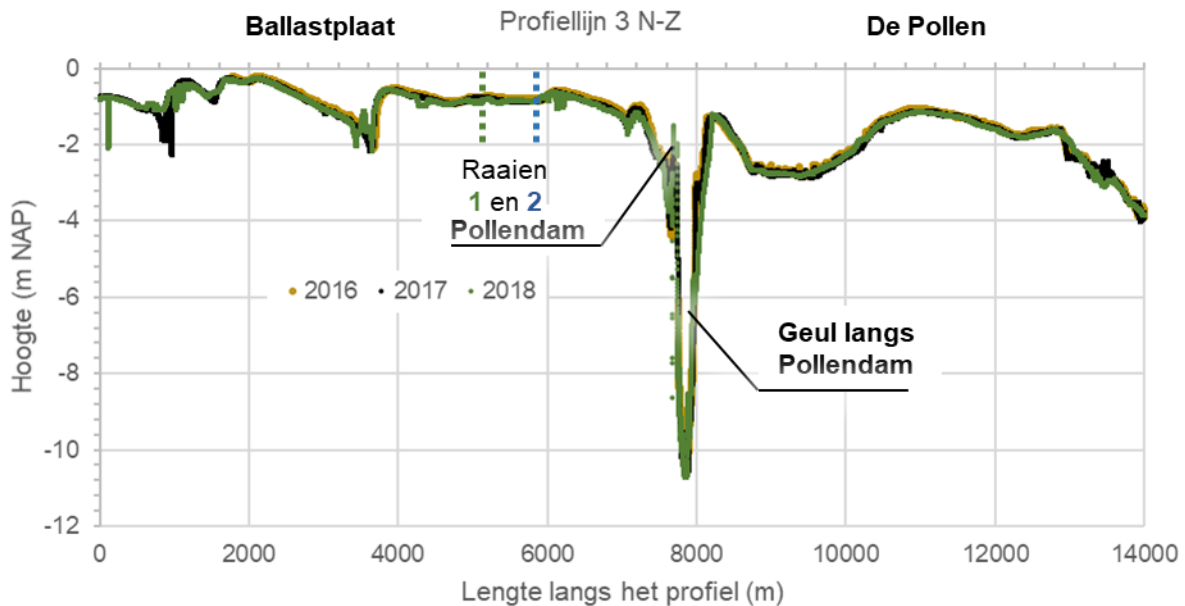
Figuur 2-43 Dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018.



Figuur 2-44 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018 (Detail van Figuur 2-43).

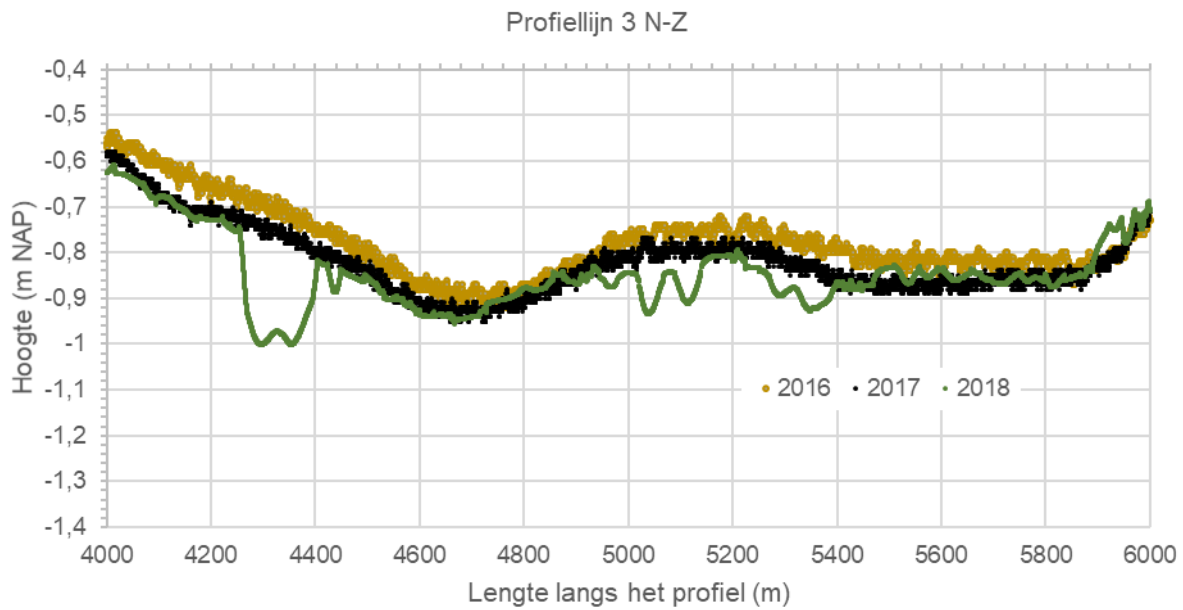
De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 3 is getoond in Figuur 2-45. In dit overzicht zijn ook de verschillen tussen de opeenvolgende metingen bij de geulen beperkt, maar dat verschil is waarschijnlijk veroorzaakt door het verschil in de lengteschaal. Profiellijn 3 is namelijk de langste van de drie. Figuur 2-46 toont een detail van de Ballastplaat, waarin opvalt dat in de opname van 2018 sprake is van enkele 'deuken' in de plaat, waarbij de ligging van de plaat over een afstand van 100 m tot 25 centimeter lager ligt dan in de eerdere opnamen. Deze 'deuken' zijn moeilijk te verklaren, een meetfout kan niet worden uitgesloten, maar

misschien is de hoogte van de plaat inderdaad op deze wijze veranderd¹. De metingen uit 2019 zullen inzicht geven in de persistentie van deze 'deuken'. Naast het optreden van de 'deuken' valt op dat in het noordelijk deel van deze detailraai, van 4000 tot 4700 en in het midden, van 4950 tot 5450, de hoogteligging in de opeenvolgende metingen steeds iets lager ligt. Vanwege de beperkte hoogteverschillen en het beperkte aantal opnamen is het nog niet mogelijk om van een trendmatige verandering te spreken. Figuur 2-47 is ook een detail van profiellijn 3, maar dan ten zuiden van de Pollendam in het gebied dat "de Pollen" wordt genoemd. Het detailgebied is geen droogvallende plaat, maar een sublitorale plaat die (vrijwel) altijd onderwater ligt. Duidelijk is dat de hoogtes van 2017 en 2018 aan de noordflank van deze sublitorale plaat lager liggen dan in 2016. De waarden voor 2017 en 2018 komen grotendeel overeen. Aan de zuidflank zijn de verschillen in hoogte tussen opeenvolgende opnames veel kleiner, met alleen in het uiterste zuiden consequent afnemende hoogtes in de opeenvolgende opnames.

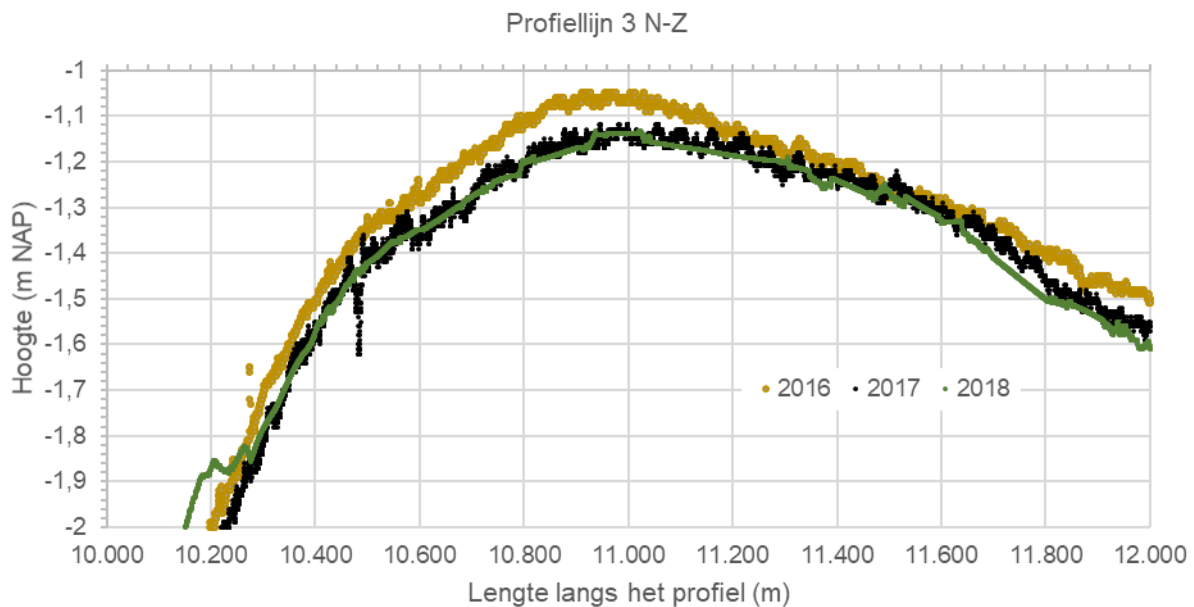


Figuur 2-45 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018.

¹ De oorzaak is in ieder geval niet de aanleg van de twee meetpalen voor Frisia, omdat deze zijn aangelegd nadat de raaimetingen zijn uitgevoerd.



Figuur 2-46 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018 (Detail van Figuur 2-45).



Figuur 2-47 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016, 2017 en 2018 (Detail van Figuur 2-45).

3 HOOGTE WADPLATEN LIDAR

3.1 Introductie meetmethode

LIDAR metingen zijn hoogtemetingen die worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig (of een helikopter, nog niet met een drone), met behulp van een naar de grond gerichte laserbundel en plaatsbepalingsapparatuur (die niet alleen de x, y en z-positie van het vliegtuig vaststelt, maar ook corrigeert voor de bewegingen van het vliegtuig). Al vliegend wordt de hoogte gemeten in een baan onder het vliegtuig. Door een vliegpatroon in raaien komen de banen langs elkaar te liggen en wordt een gebiedsdekkende opname verkregen.

Voorwaarden voor een geslaagde LIDAR hoogtemeting van wadplaten zijn:

- Het ontbreken van water boven de plaat, dus meten tijdens laagwater;
- Goede weersomstandigheden: geen laaghangende bewolking, regen of harde wind.

LIDAR wordt sinds het einde van jaren '90 door Rijkswaterstaat standaard ingezet voor hoogtemetingen van de droogvallende delen van de Zoute Rijkswateren (Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde, strand en duinen). De NAM laat in het kader van de monitoring van de gaswinning onder de Waddenzee de hoogte van de droogvallende platen in de komberging van het Pinkegat en het Friesche Zeegat met LIDAR meten.

De primaire metingen van de hoogte van de droogvallende platen en het sublitoraal zijn de raaimetingen die in het voorgaande hoofdstuk zijn besproken. Deze raaimetingen hebben een hoge mate van betrouwbaarheid en zijn in de tijd goed te koppelen aan andere metingen. Dat laatste betekent dat de samenhang in het meetprogramma goed kan worden geborgd met de raaimetingen. Op basis van de raaimetingen zal worden vastgesteld hoe hoog de wadbodem van jaar op jaar is. Het meten van de wadbodemhoogten met raaimetingen is niet gevoelig voor de aanwezigheid van een laagje water op de platen. De LIDAR hoogtemetingen leveren aanvullende informatie met betrekking tot de ruimtelijk ontwikkeling in het droogvallende gebied.

De bodemdaling door de zoutwinning vindt geleidelijk plaats. Deze bodemdaling manifesteert zich in de diepe (Pleistocene) ondergrond. Op de wadbodem wordt deze bodemdaling vereffend over een groot gebied en overprint door de autonome erosie en sedimentatie (onder andere door de verplaatsing en de vorming van geultjes). De verwachting is dan ook dat de hoogte van de wadbodem niet meetbaar of merkbaar zal veranderen door de bodemdaling. De raaimetingen zijn zo ingericht, dat kan worden gesignaleerd of eventuele dalingen van de wadbodem groter zijn, in die delen van het gebied waar ook de daling van de vaste ondergrond groter is. Bij signalering hiervan moet, al naar gelang wat zich precies voordoet, nader worden onderzocht of er ook een causale relatie met de zoutwinning bestaat. De LIDAR metingen dienen als een aanvulling, waarmee het ruimtelijk beeld van de veranderingen in de bodemhoogte wordt vastgelegd.

De LIDAR metingen zijn niet bedoeld als signaleringsmeting en worden daarom niet jaarlijks uitgevoerd, zoals de raaimetingen. De LIDAR hoogtemetingen zullen iedere drie jaar worden uitgevoerd, gebiedsdekkend voor de Ballastplaat. Het gebied voor de LIDAR opnamen is ruimer dan het gebied met de Pleistocene bodemdaling. Het opnamegebied sluit aan bij de raaimetingen, die zijn verlengd tot buiten het gebied met bodemdaling in de vaste (Pleistocene) ondergrond. Op deze wijze wordt zowel een gebied ingemeten waaronder sprake is van bodemdaling, als een gebied waar dat niet het geval is (referentie).

De periode van uitvoering wordt gekoppeld aan de hoogte/dieptemetingen met raaien (mei). Het exacte moment van de opname wordt bepaald door de vereiste omstandigheden voor de meting (buiten het stormseizoen, voldoende laagwater, droog, geen mist).

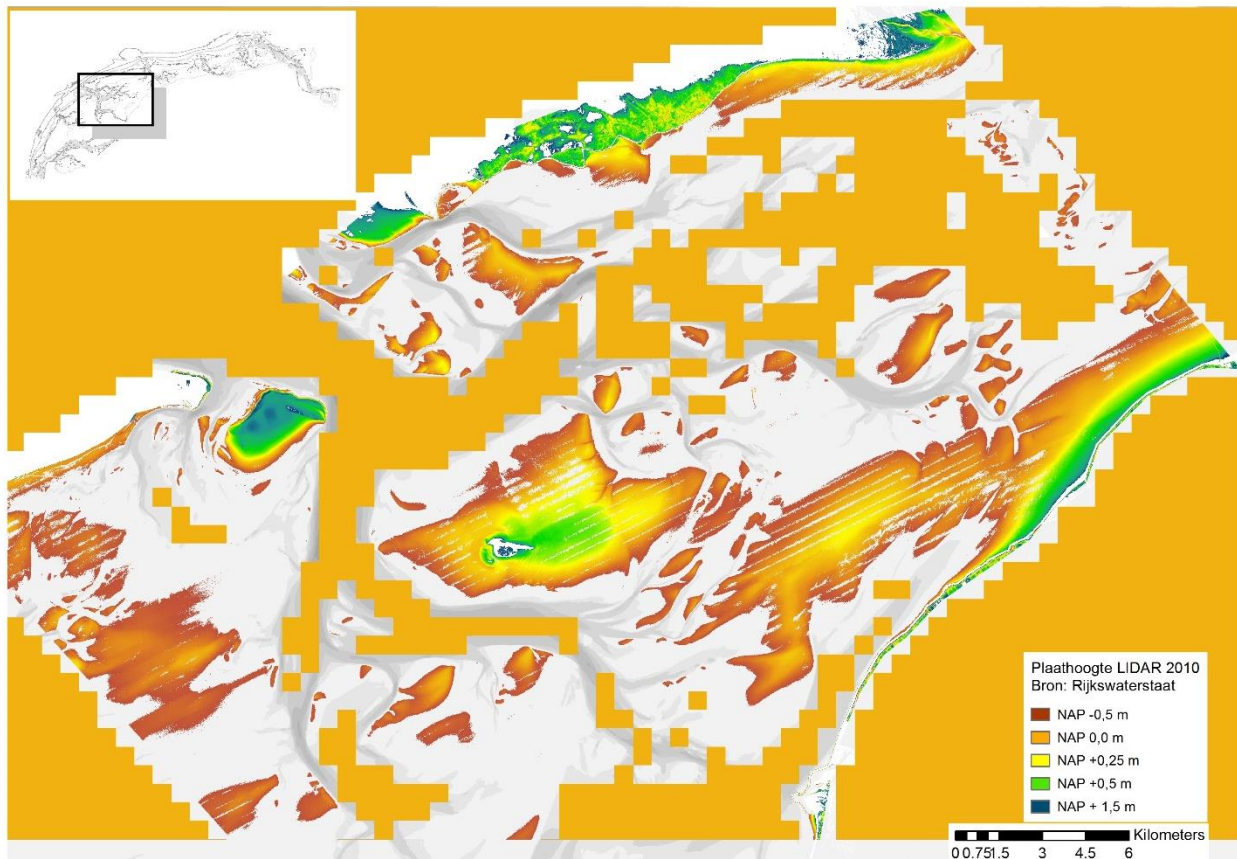
In 2016 is volgens de planning van Rijkswaterstaat de vakloding uitgevoerd in het kombergingsgebied van het Vlie, waarbij de plaathoogte met LIDAR is opgemeten. Hetzelfde is 2010 gebeurd. De resultaten van deze LIDAR metingen zijn ingezet voor de monitoring van Frisia. De LIDAR meting van deze vakloding dient als TNUL meting.

Rijkswaterstaat is in 2016 opdrachtgever voor de LIDAR hoogtemetingen die worden gebruikt voor de vaklodingen. Frisia Zout B.V. zal in 2019 opdrachtgever zijn voor het uitvoeren van deze meting.

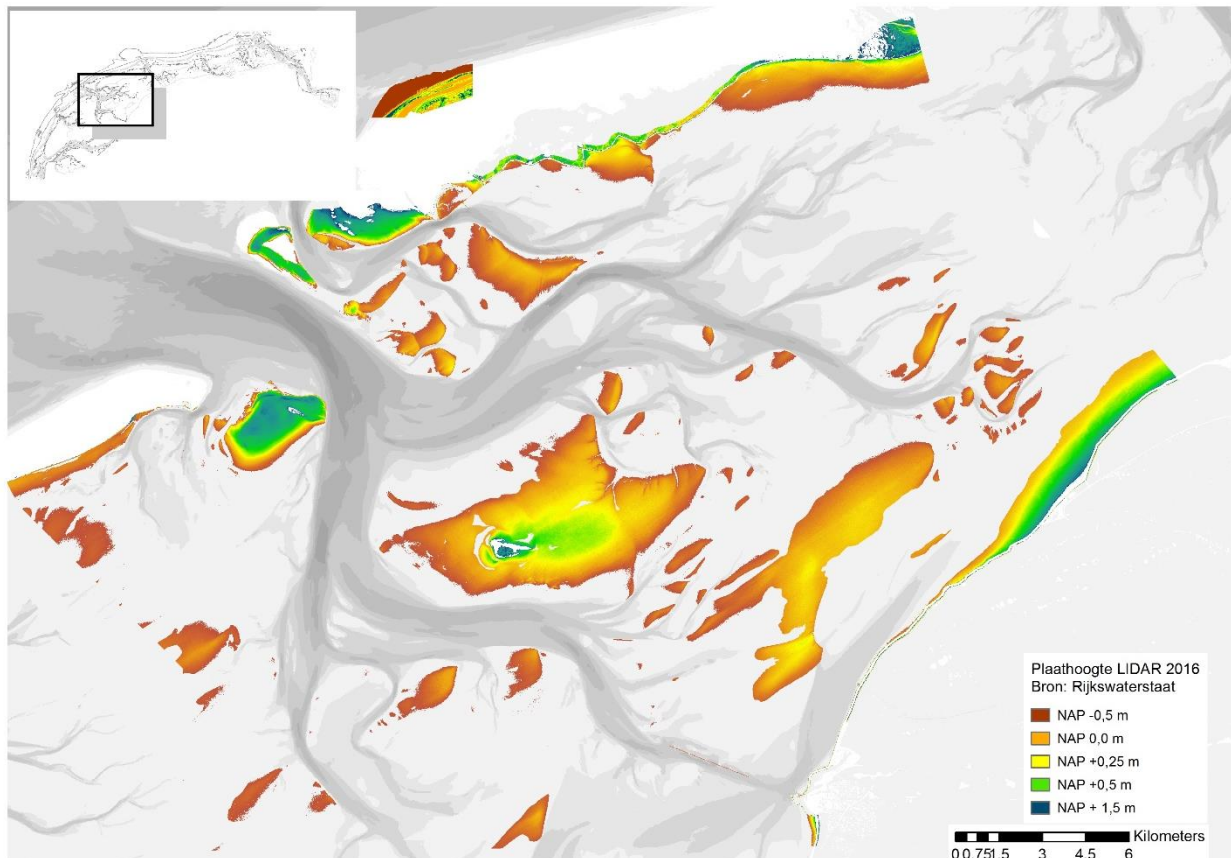
3.2 Hoogte wadplaten LIDAR

In 2010 en 2016 is door Rijkswaterstaat de plaathoogte in het kombergingsgebied Vlie ingewonnen met LIDAR (zie Figuur 3-1 en Figuur 3-2). In de kaart met de LIDAR-gegevens van 2010 in Figuur 3-1 is een

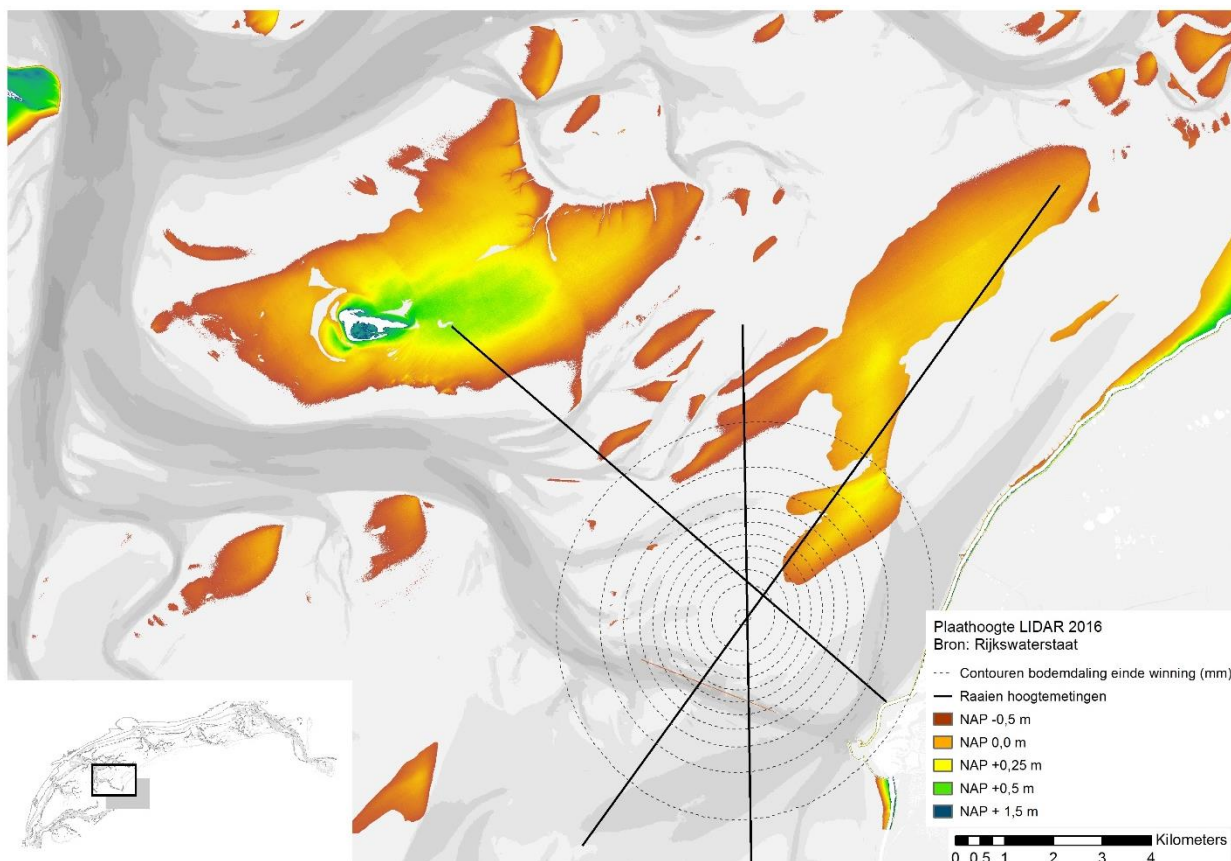
groot deel van het kombergingsgebied, het vaste land en de Noordzee oranje gekleurd, omdat deze gebieden de waarde 0 hebben gekregen. Voor de analyse worden deze gebieden buiten beschouwing gelaten, hiervoor wordt alleen naar de droogvallende plaatgebieden gekeken, die worden gekenmerkt door een verlopende kleurschaal. In vergelijking met de 2010 LIDAR meting is in de opname van 2016 beduidend minder oppervlakte aan droogvallende plaat zichtbaar. Zo ontbreekt in de opname van 2016 bijvoorbeeld het gebied tussen de Ballastplaat en de Vlake van Oosterbierum. Het is niet zo dat dit gebied in 2016 geen droogvallende plaat meer is, zoals blijkt uit de volledige dekkende vaklodingen van 2016 (volgende hoofdstuk en de kaart in Figuur 1-1). Dat een kleiner gebied beschikbaar is in de LIDAR van 2016 heeft waarschijnlijk te maken met de gehanteerde kwaliteitscriteria voor de gegevens. LIDAR metingen van de plaathoogte hebben dezelfde nauwkeurigheid als de raaimetingen, maar zijn wel gevoelig voor aanwezigheid van een laagje water op de platen. De aanwezigheid van een dun laagje water verandert niet alleen de gemeten hoogte, omdat het wateroppervlak wordt opgemeten in plaats van de wadbodem, maar resulteert ook in minder gemeten punten, doordat de laserbundel niet voldoende wordt verstrooid door het wateroppervlakte. Het hanteren van strenge criteria voor het aantal gemeten punten betekent dat met name van het laag liggende deel van de droogvallende platen een groot deel afvalt.



Figuur 3-1 Overzichtskartaal van het kombergingsgebied van het Vlie, met de LIDAR opname van 2010.



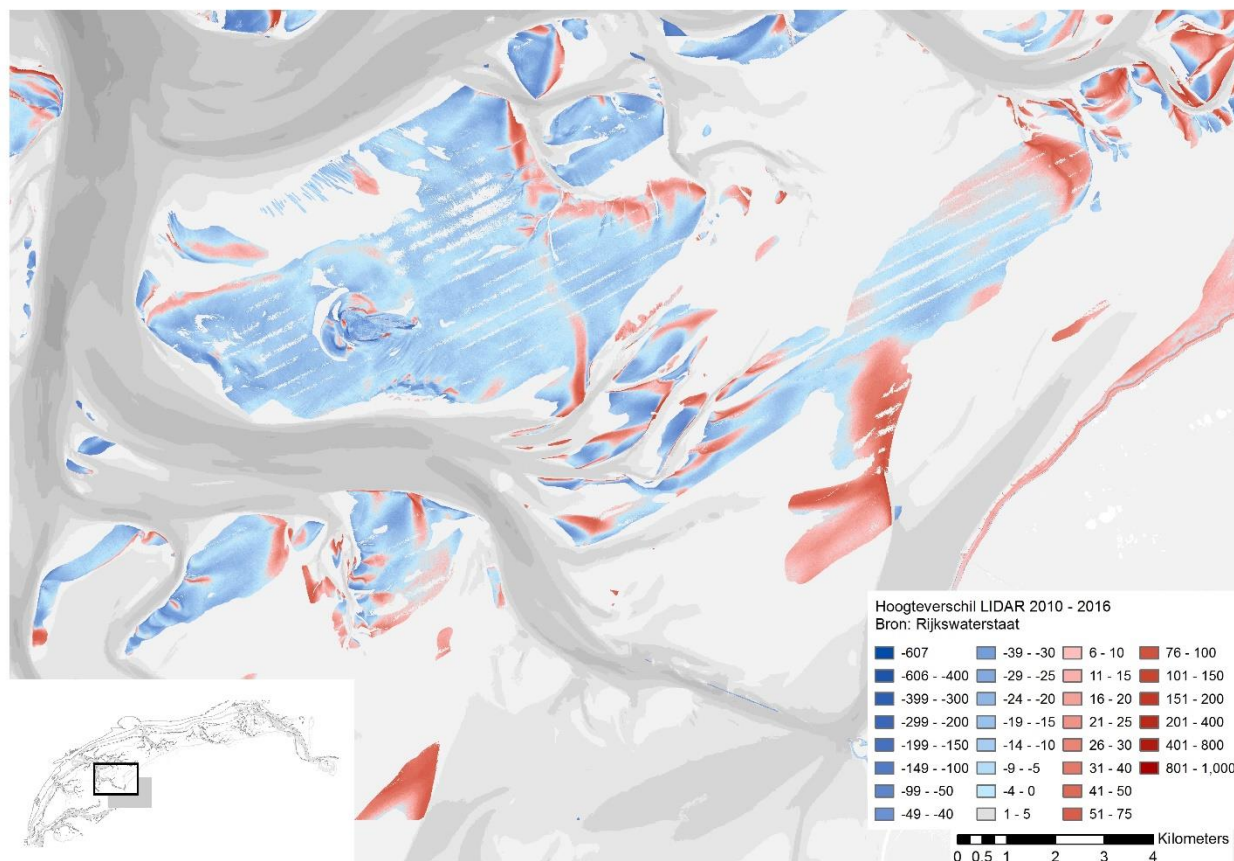
Figuur 3-2 Overzichtskaart van het kombergingsgebied van het Vlie, met de LIDAR opname van 2016.



Figuur 3-3 Detailkaart van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LIDAR opname van 2016.

3.3 Hoogteverschil wadplaten 2010 - 2016

Figuur 3-4 laat het hoogteverschil zien tussen de LIDAR opnames van 2010 en 2016. In een groot deel van het studiegebied liggen de platen lager, met uitzondering van een aantal plaatranden. Alleen aan de oostzijde van de Ballastplaat is sprake van een gebied waar de plaat hoger ligt in 2016.



Figuur 3-4 Kaart met de hoogteverschillen tussen de LIDAR hoogtemetingen van 2010 en 2016. De blauwe gebieden liggen lager in 2016 en de rode gebieden hoger.

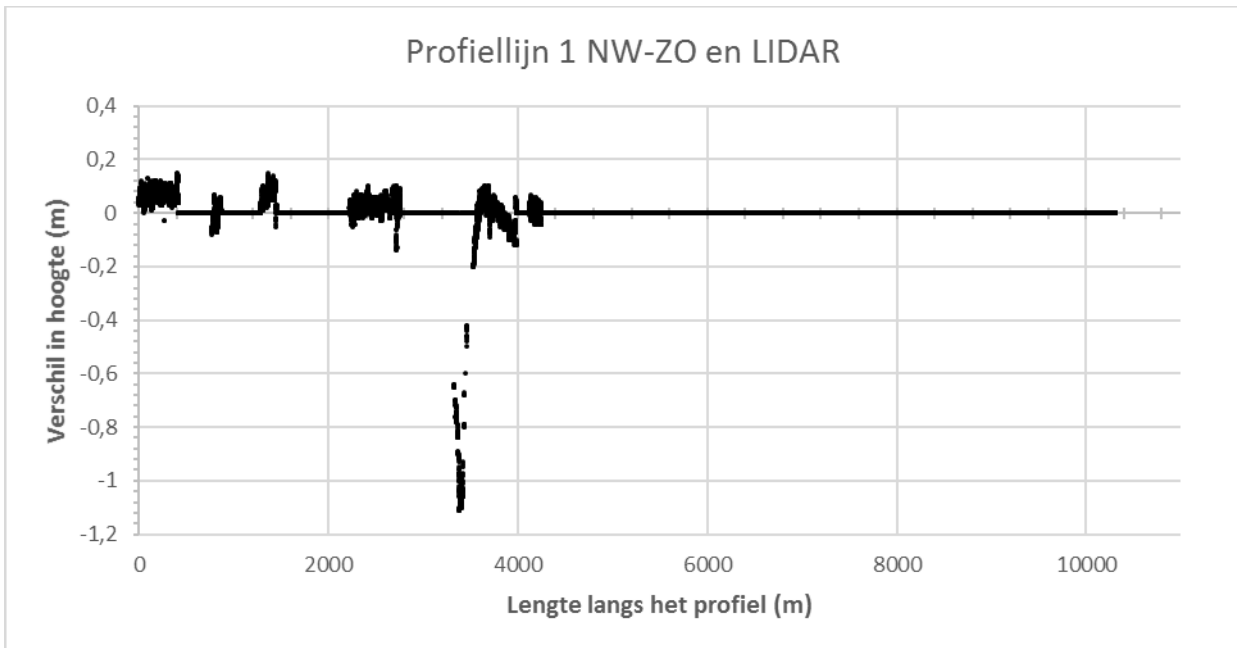
3.4 Verschil 2016 raaihoogte en 2016 LIDAR

Om de morfologische verandering tussen de gemeten hoogte/diepte raaien van 2016 en de LIDAR-data van 2016 met elkaar te vergelijken, is er op basis van locatie gekeken of er zowel hoogte/diepte metingen waren als LIDAR-data (Figuur 3-3). Wanneer deze data niet aanwezig is, is de data op 0 gezet.

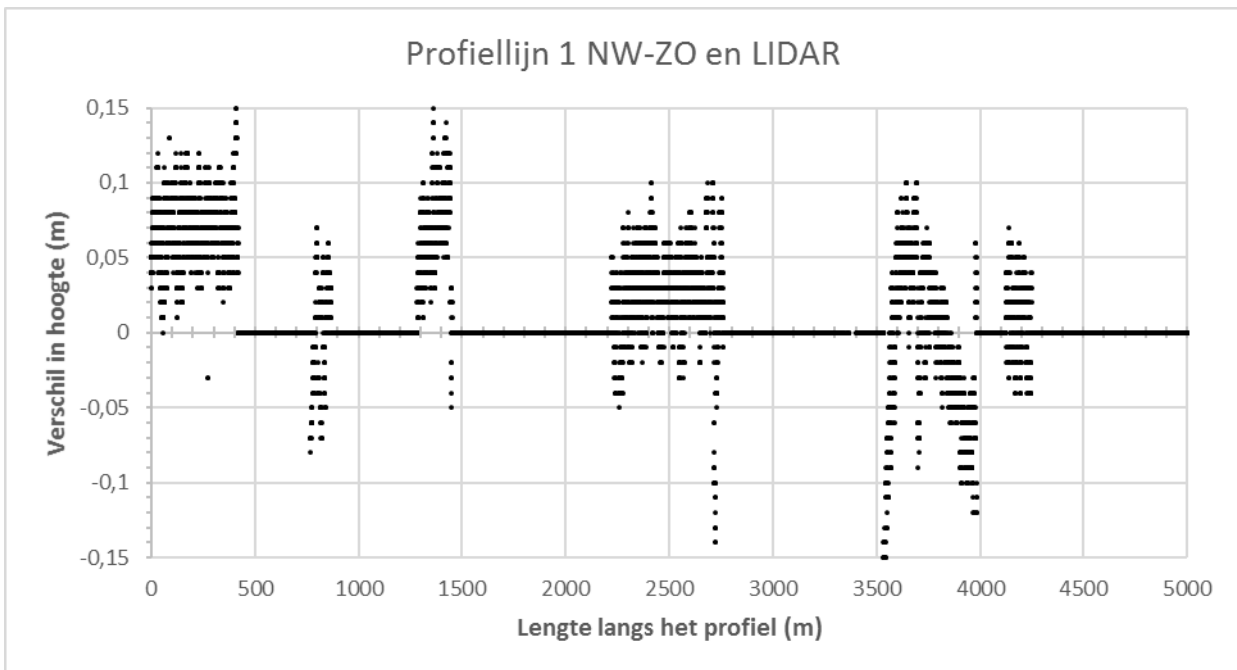
Figuur 3-5, Figuur 3-7 en Figuur 3-9 laten de verschilplots zien per gemeten profiellijn, waarin de verschillen in hoogte tussen de hoogte/diepte raai metingen en de LIDAR-data tegen elkaar is uitgezet. Vanwege het beperkte areaal droogvallende platen in het studiegebied en de beperkte dekking van de droogvallende platen door de LIDAR-hoogtemeting van 2016 is er weinig overlap tussen de LIDAR meting en raaimetingen.

Figuur 3-6, Figuur 3-8 en Figuur 3-10 laten delen van de verschilplots zien, waarbij is ingezoomd op de gebieden waar zowel LIDAR-data als hoogte/diepte data is gemeten. Hieruit blijkt dat de wadplaten redelijk in hoogte met elkaar overeenkomen. Bij profiellijn 1 in Figuur 3-6 liggen de hoogte verschillen zowel onder als boven de nul. Bij profiellijn 2 in Figuur 3-8 liggen de waarden vrijwel allemaal onder de nul en dat betekent dat de hoogte volgens de LIDAR boven de raaihoogte ligt. Bij profiellijn 3 daarentegen liggen de verschilwaarden voornamelijk boven de nul en dat betekent dat de hoogte volgens de LIDAR onder die van de Hoogte/diepteraai ligt. Deze verschuivingen komen overeen met de verschillen in hoogte op de controlepunten van de hoogte/diepteraaien (paragraaf 2.2). De verschillen in de hoogte tussen de LIDAR en de hoogte/diepteraaien zijn groter dan op grond van de controlepunten in de raaimetingen wordt verondersteld. De verschillen zijn ook groter dan de verschillen tussen de raaimetingen 2016 en 2017. Het is

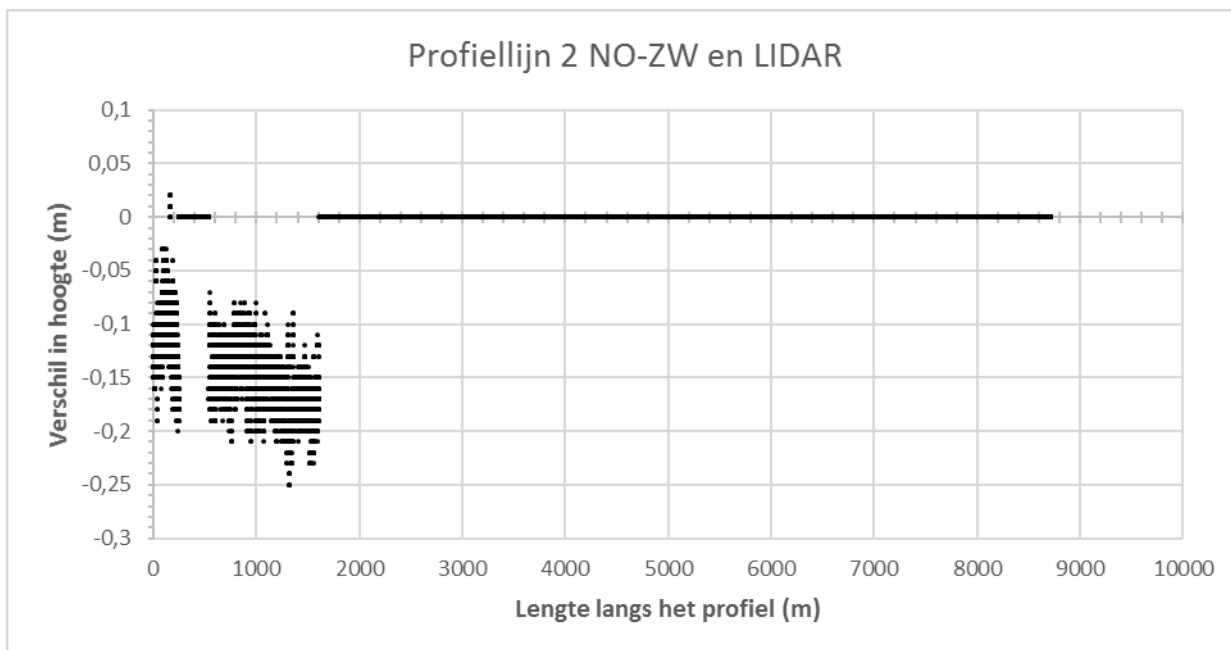
niet duidelijk waar deze verschillen zijn ontstaan. Vervolgmetingen met LIDAR en de raaien zullen meer inzicht geven in verschillen tussen de opnames.



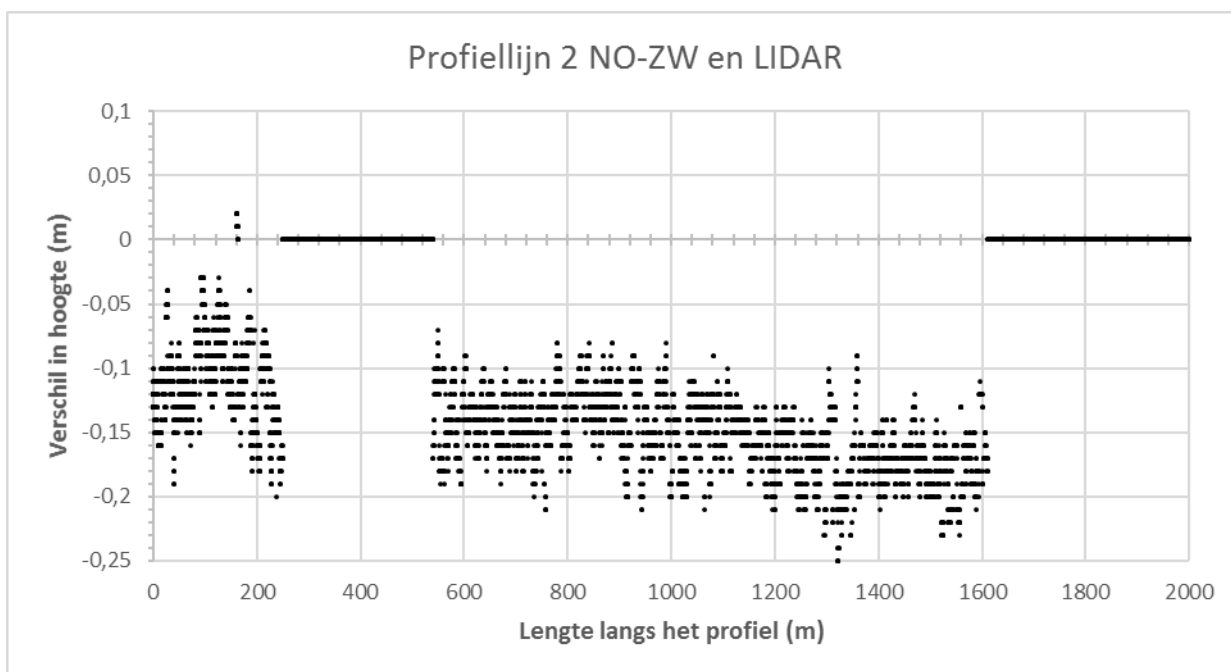
Figuur 3-5 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



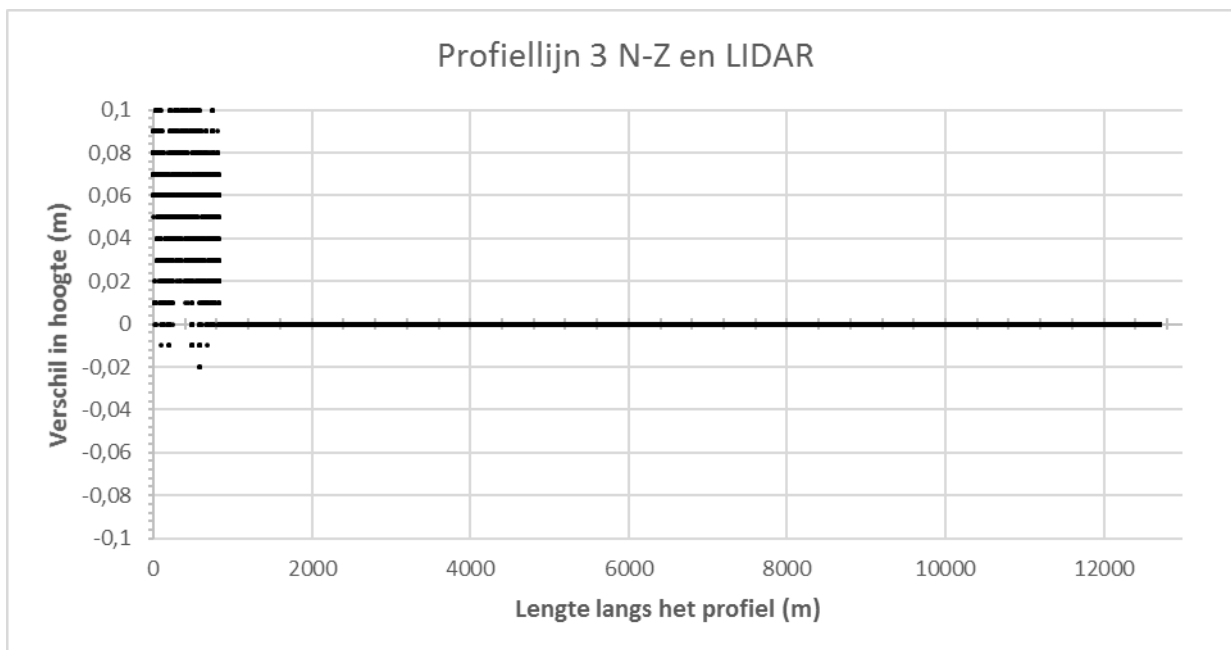
Figuur 3-6 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



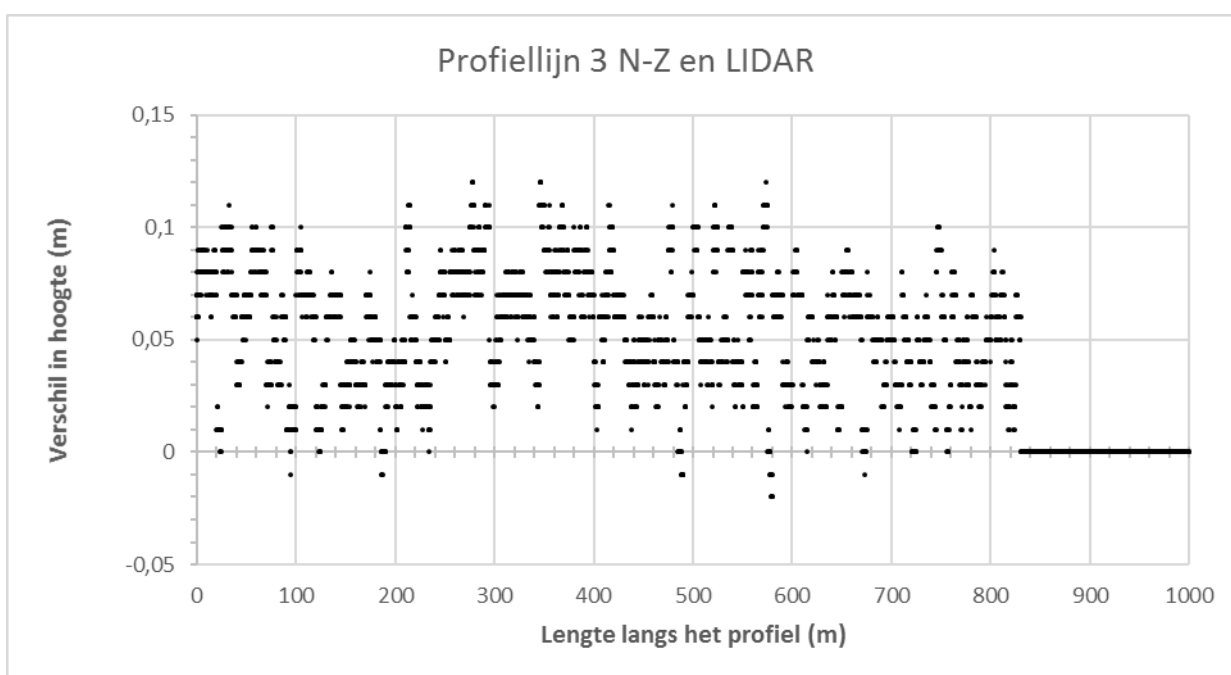
Figuur 3-7 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 3-8 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 3-9 Verskilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 3-10 Ingezoomde verskilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LIDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LIDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.

4 VAKLODINGEN

4.1 Introductie van de meetmethode

De dieptemetingen van de geulen worden uitgevoerd met een (singlebeam) echolood dat is gemonteerd op een vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur. Al varend wordt de diepte onder het schip gemeten. De hoogte van de droogvallende platen wordt ingemeten met LIDAR, zie hiervoor het voorgaande hoofdstuk. De data van de beide metingen wordt gecombineerd tot een gebiedsdekkend grid van 20 m x 20 m.

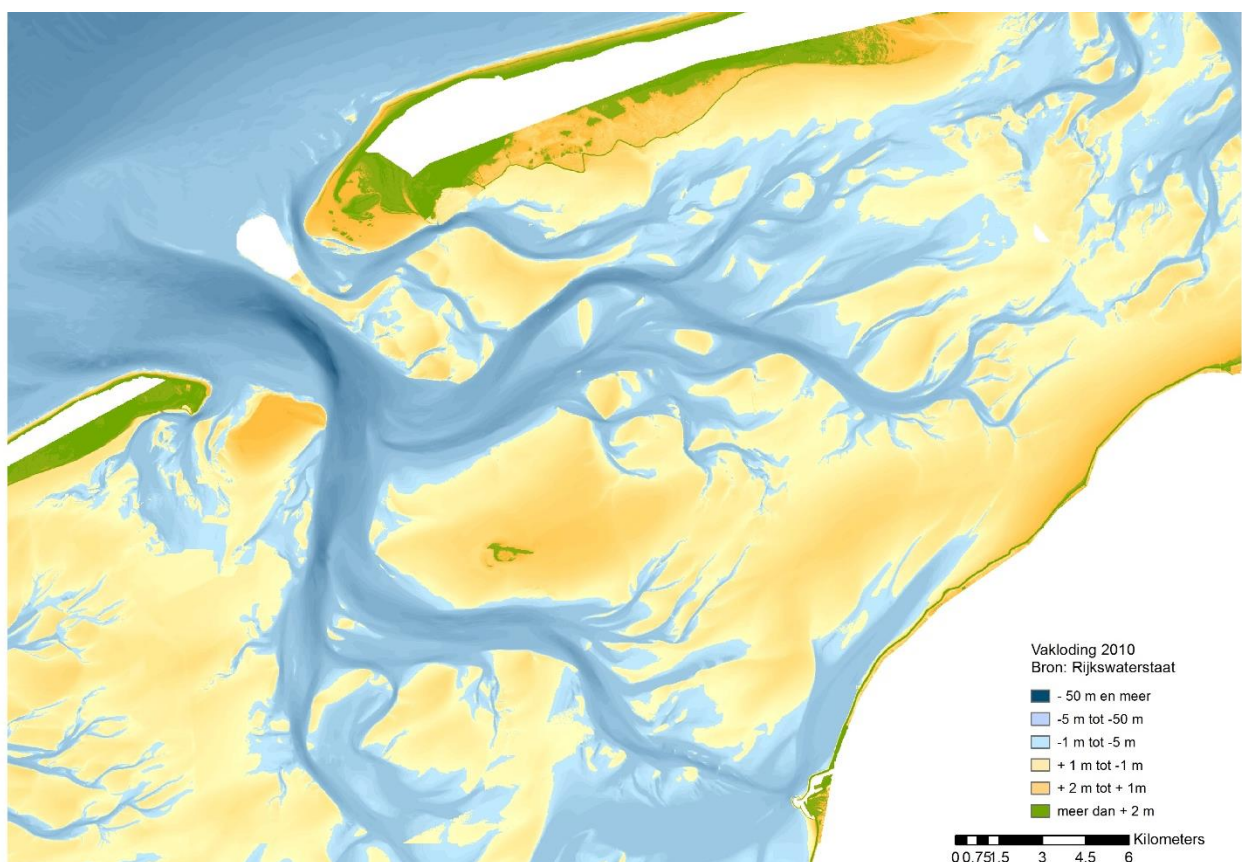
Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen in de hoogte/diepte optreden in het gehele kombergingsgebied. Doordat de meetraaien doorlopen tot buiten het gebied met bodemdaling worden referentiegebieden ingemeten.

Vaklodingen worden per kombergingsgebied in de Waddenzee 1 keer in de 6 jaar uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat. De vaklodingen maken deel uit van de MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands).

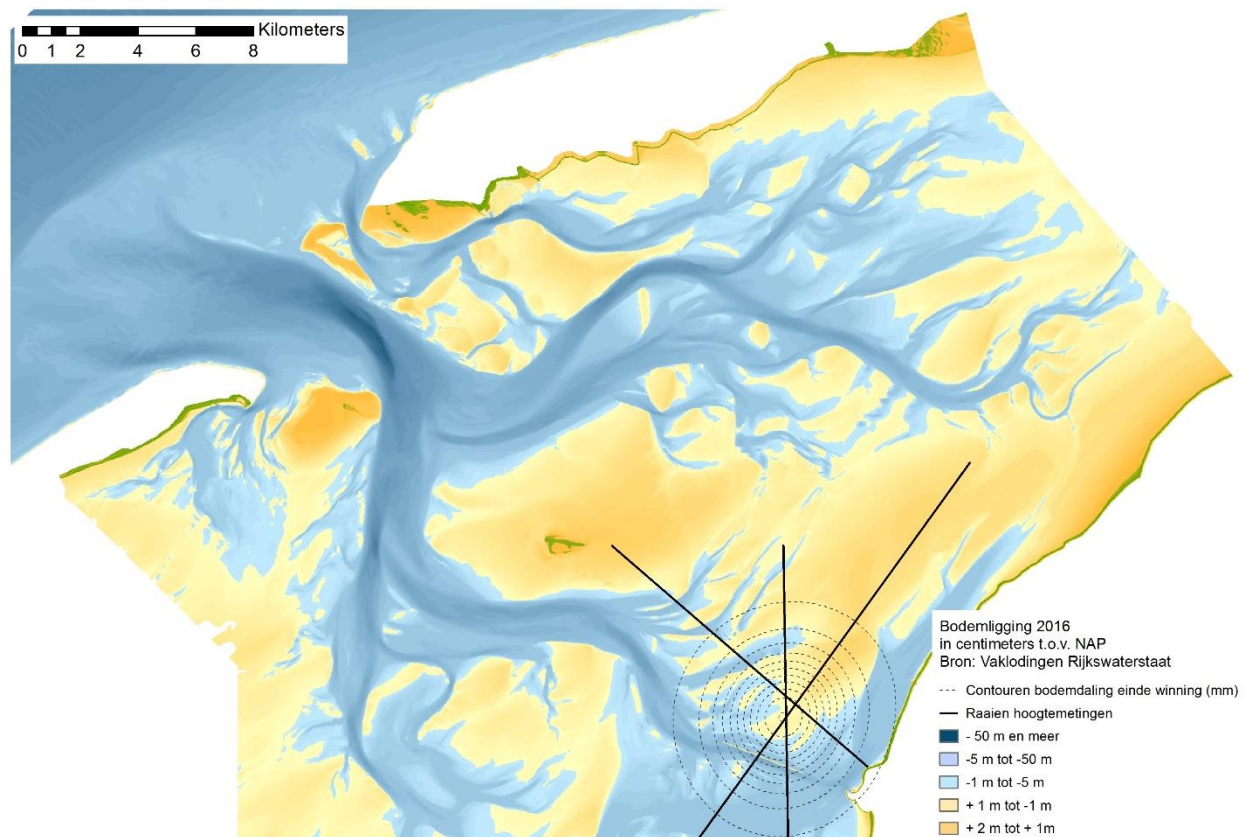
Rijkswaterstaat is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. Frisia vraagt de gegevens op bij Rijkswaterstaat.

4.2 Vaklodingen 2010 en 2016

In 2010 en 2016 zijn door Rijkswaterstaat vaklodingen uitgevoerd van het kombergingsgebied van het Vlie (Figuur 4-1 en Figuur 4-2). De vaklodingen datasets bestaan uit gebiedsdekkende regelmatige grids van 20 m x 20 m. Voor de droogvallende delen wordt de hoogte gemeten met LIDAR, voor de 'natte' delen worden de diepte ingemeten in raaien met een meetschip.



Figuur 4-1 Overzichtskartaal van de vakloding 2010 van het kombergingsgebied van het Vlie en de aangrenzende kombergingsgebieden.



Figuur 4-2 Overzichtsk kaart van de vaklodging 2016 van het kombergingsgebied van het Vlie.

4.3 Analyse vaklodgingen

Een vergelijking op het oog van de vaklodging 2010 en 2016 laat een toename zien van het areaal droogvallende plaat zien bij de Ballastplaat. Andere ontwikkelingen zijn niet duidelijk zichtbaar in deze kaarten en daarom zijn verschilkaarten toegevoegd met daarin het hoogteverschil tussen de hoogte in 2004 en 2010 (Figuur 4-3) en de hoogteverschillen tussen 2010 en 2016 (Figuur 4-4). De hoogteverschillen in de beide kaarten worden hieronder besproken, waarna wordt stilgestaan bij de verschillen en de overeenkomsten tussen de ontwikkelingen in de twee perioden.

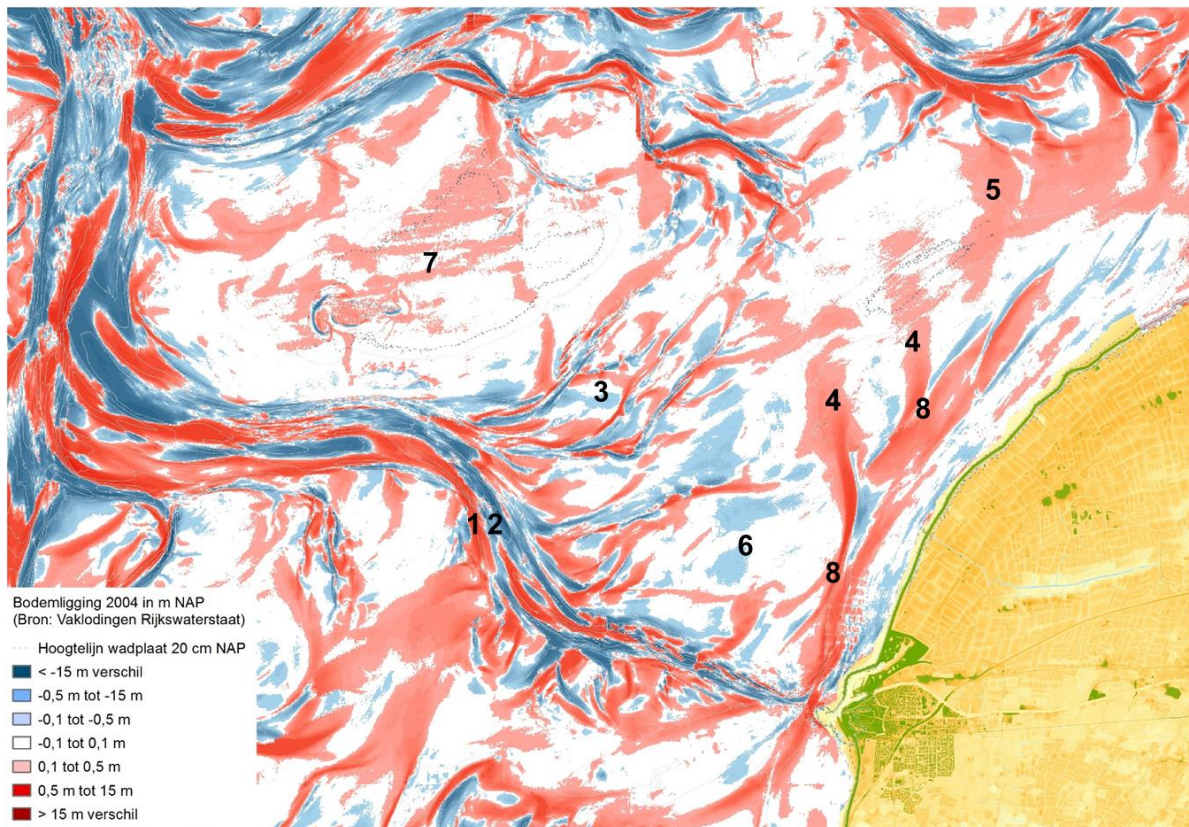
Hoogteverschil 2004-2010

De verschilkaart in Figuur 4-3 geeft het hoogteverschil tussen de bodem van 2004 en die van 2010 weer, waarbij een hoogtetoename (sedimentatie) een rode kleur heeft gekregen en een hoogteafname een blauwe kleur (erosie). In de kaart zijn een aantal ontwikkelingen gemarkeerd, die hieronder worden uitgelegd:

1&2: Dit is een combinatie van flinke sedimentatie (1) en erosie (2), die wordt veroorzaakt doordat een geul verplaatst. In dit geval is het grote geul Blauwe slenk, maar ook de verplaatsing van kleine geulen levert dergelijke paren van erosie en sedimentatie. Deze grote veranderingen domineren het beeld, maar leveren voor het overgrote deel geen structurele veranderingen op in het plaatareaal, omdat het areaal dat door erosie aan de ene zijde verdwijnt door de sedimentatie aan de andere zijde wordt aangevuld.

De overige ontwikkelingen zijn:

3. Verplaatsing, vormverandering en opvulling en vorming geultjes;
4. Sedimentatie op de Ballastplaat, aan de zuidzijde in de nabijheid van het Kimstergat;
5. Sedimentatie aan de oostzijde van Ballastplaat/ Vlake van Oosterbierum;
6. Erosie aan de westzijde van de Ballastplaat;
7. Sedimentatie op de Grienderwaard;
8. Aangroei van de Ballastplaat door sedimentatie in het Kimstergat.



Figuur 4-3 Kaart met de verschillen in bodemhoogte tussen de vaklodgingen 2010 en 2016 (Blauw: de bodem ligt lager; Rood: de bodem ligt hoger).

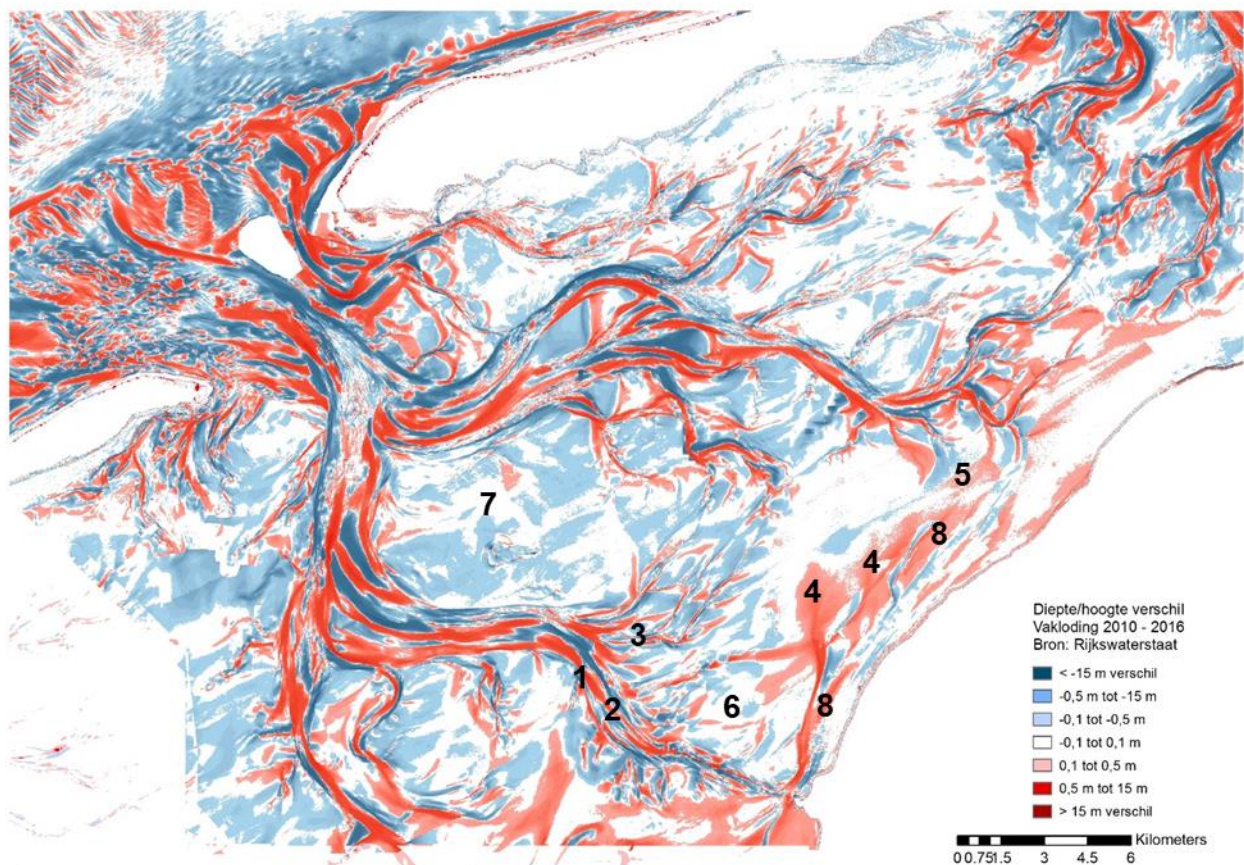
Hoogteverschil 2010-2016

De verschilkaart in Figuur 4-4 geeft het hoogteverschil tussen de bodem van 2010 en 2016 weer. De kaart omvat vrijwel het gehele kombergingsgebied van het Vlie en dat is een groter gebied dan dat is getoond in (Figuur 4-3). In de kaart zijn dezelfde ontwikkelingen gemarkeerd als in de verschilkaart 2004-2010, die hieronder worden uitgelegd:

1&2: De combinatie van flinke sedimentatie (1) en erosie (2), die wordt veroorzaakt doordat een geul verplaatst is in deze kaart op veel plekken zichtbaar, omdat vrijwel alle geulen in het kombergingsgebied op de een of de andere manier verplaatsen. Deze grote veranderingen domineren het kaartbeeld, maar leveren voor het overgrote deel geen structurele veranderingen op in het plaatareaal, omdat het areaal dat door erosie aan de ene zijde verdwijnt door de sedimentatie aan de andere zijde wordt aangevuld.

De overige ontwikkelingen zijn:

3. Verplaatsing, vormverandering en opvulling en vorming geultjes;
4. Sedimentatie op de Ballastplaat, aan de zuidzijde in de nabijheid van het Kimstergat;
5. Sedimentatie aan de oostzijde van Ballastplaat/ Vlake van Oosterbierum;
6. Marginale erosie aan de westzijde van de Ballastplaat;
7. Erosie op de Grienderwaard;
8. Aangroei van de Ballastplaat door sedimentatie in het Kimstergat.



Figuur 4-4 Kaart met de verschillen in bodemhoogte tussen de vakclodingen 2010 en 2016 (Blauw: de bodem ligt lager; Rood: de bodem ligt hoger).

Verschillen en overeenkomsten 2004-2010 en 2010-2016

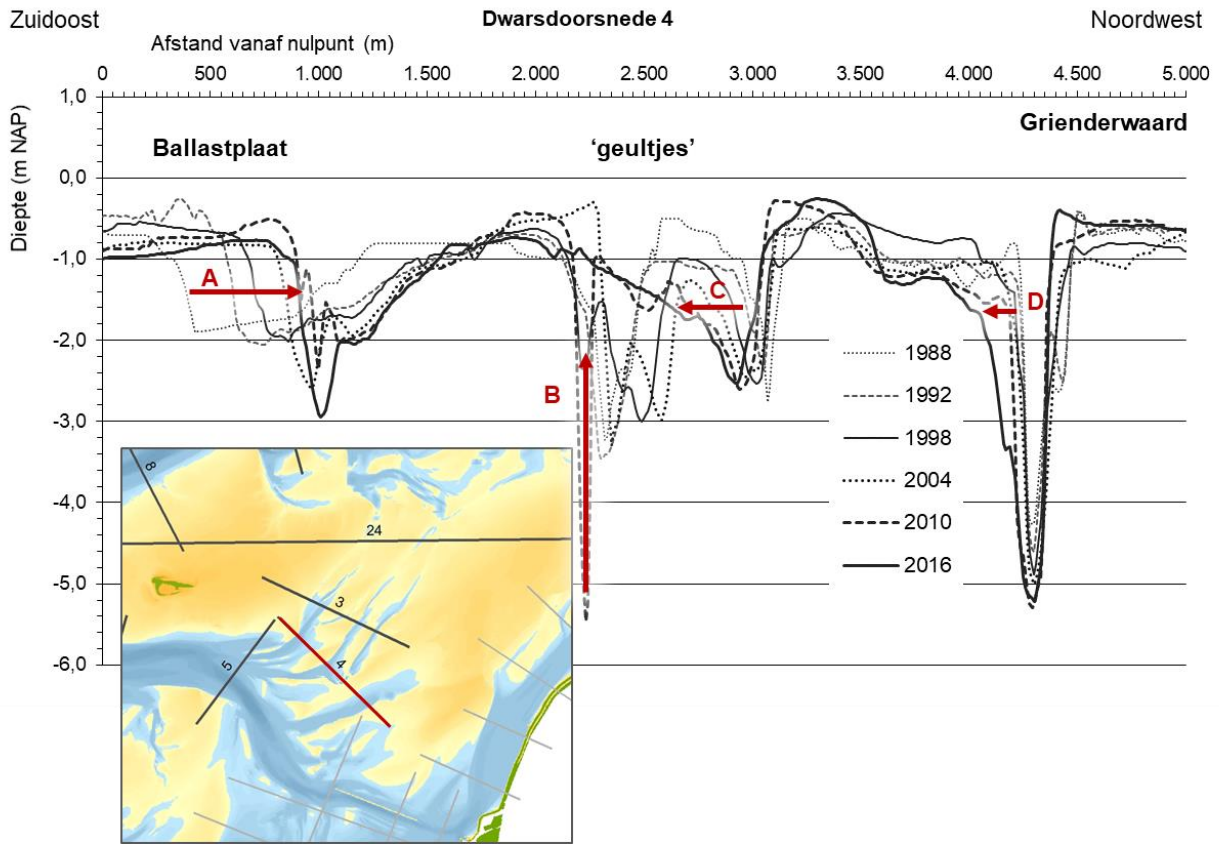
Beide verschilkaarten vertonen duidelijke overeenkomsten in de ontwikkelingen en verschillen. Voor de beschouwing wordt de nummering gehanteerd die in Figuur 4-3 en Figuur 4-4 is opgenomen.

Geuldynamiek (1, 2 en 3): Geuldynamiek is in beide kaarten verantwoordelijk voor de gros van de veranderingen, waarbij in veel gevallen de uitkomst neutraal is: het sediment dat aan de ene zijde van de geul wordt geërodeerd, komt er aan de andere zijde weer bij. De ontwikkelingen bij **3** zijn ook een voorbeeld van geuldynamiek. Figuur 4-5 toont een dwarsdoorsnede die is opgesteld voor het rapport van Oost et al. (2018) door deze geultjes, waar vooral verschillen zichtbaar zijn tussen de geultjes. Het geultje aan de zuidzijde (A in Figuur 4-5) is naar het noordwesten verplaatst. Omdat de zuidoostelijke geulwand veel sneller naar het noordwesten is verplaatst dan de overzijde van de geul is deze veel smaller geworden. Onder heeft ook een verdieping plaatsgevonden. Bij de middelste geul (B en C in Figuur 4-5) was eerder sprake van twee geultjes, maar hiervan is een opgevuld (B), zodat nu nog een geultje over is (C). Dat geultje verplaatst naar het zuidoosten. Ook het meest noordwestelijke geultje, dat tevens de diepste is, verplaatst naar het zuidoosten (D).

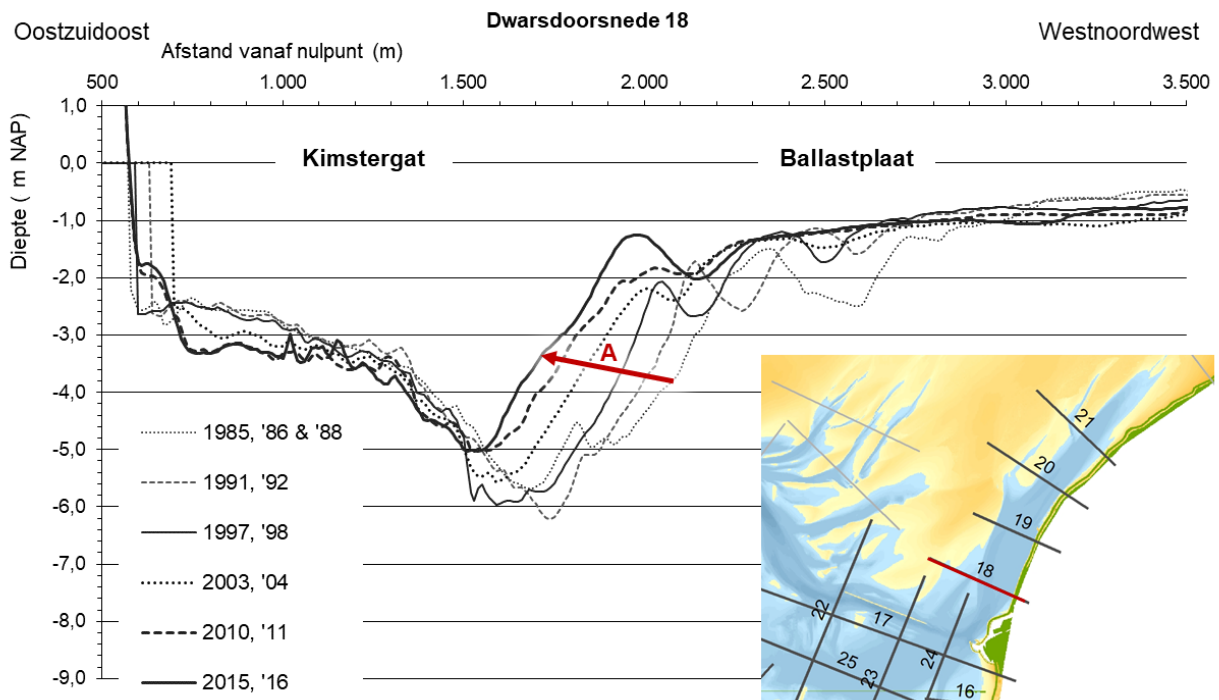
Sedimentatie op de Ballastplaat en de Vlakte van Oosterbierum (4, 5 en 8). Deze sedimentatie manifesteert zich op verschillende plekken op de Ballastplaat aan de zuidzijde in de nabijheid van het Kimstergat bij 4, aan de oostzijde van Ballastplaat/ Vlakte van Oosterbierum bij 5 en ook in de vorm van aangroei van de Ballastplaat ten koste van de geul Kimstergat bij 8. De ontwikkelingen aan de zuidzijde bij het Kimstergat zijn zichtbaar in de dwarsdoorsnede in Figuur 4-6, waarbij duidelijk is dat de Ballastplaat zich gestaag uitbreidt naar het zuiden, ten koste van het Kimstergat. Het resultaat van deze trendmatige ontwikkeling is een gestage afname van de doorstroomoppervlakte van het Kimstergat, zoals getoond in Figuur 4-7.

Zuidwestzijde Ballastplaat (6): Aan de zuidwestzijde van de Ballastplaat zijn de ontwikkelingen minder uitgesproken. Tussen 2004 en 2010 vond hier enige verlaging van de plaat plaats, maar tussen 2010 en

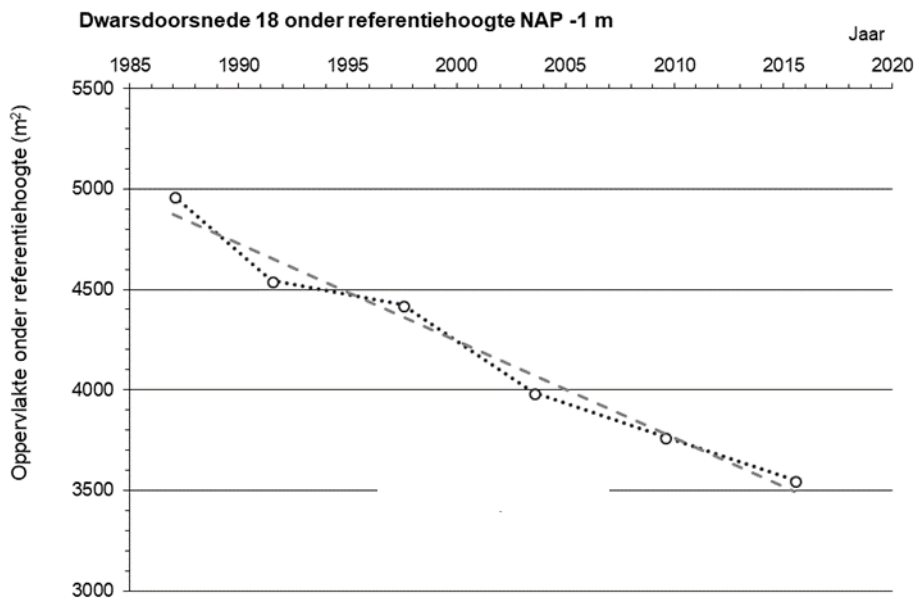
2016 is slechts op een klein gedeelte nog sprake van verlaging, terwijl langs de verhoging heeft plaatsgevonden.



Figuur 4-5 Dwarsdoorsnede door de geultjes in het gebied tussen de Grienderwaard en de Ballastplaat.

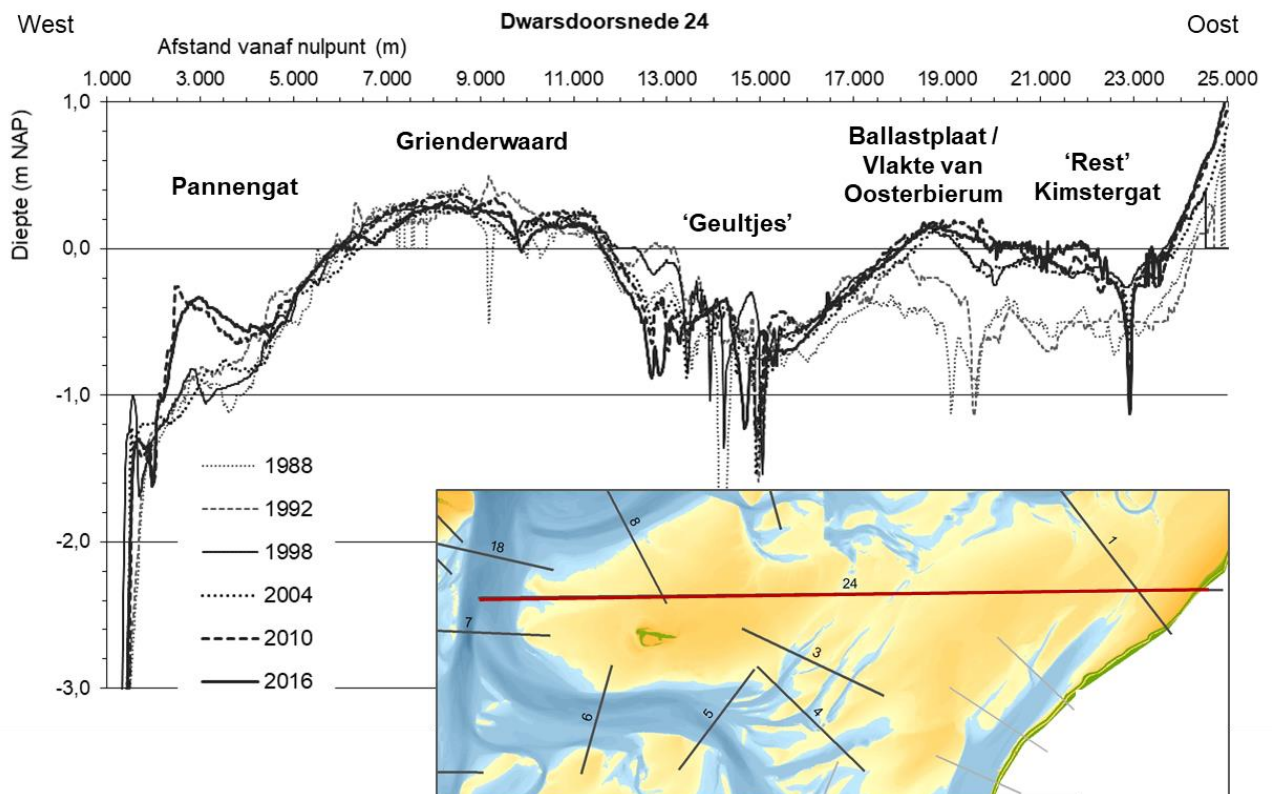


Figuur 4-6 Dwarsdoorsnede door de geul Kimstergat ten noorden van Harlingen met de aanliggende Ballastplaat (uit Oost et al., 2018).



Figuur 4-7 Doorstroomoppervlakte van het Kimstergat onder NAP -1 m van de dwarsdoorsnede in Figuur 4-6.

Variatie op de Grienderwaard (7): Op de Grienderwaard laat voornamelijk hoogtetoename zien tussen 2004 en 2010 en hoogteafname tussen 2010 en 2016. In de dwarsdoorsnede in Figuur 4-8 is zichtbaar dat de hoogte variatie zich voor het grootste deel van de plaat afspeelt binnen een beperkte bandbreedte van tussen de 10 en 20 cm (de spikes in de opnames zijn waarschijnlijk foutjes in de metingen). De bolle vorm van de plaat blijft hierdoor ongewijzigd in alle opnames, van 1988 tot en met 2016. Veranderingen in de vorm doen zich wel voor aan de randen van de Grienderwaard, waar bij het Pannengat areaal droogvallende plaat is ontstaan en bij de 'geultjes' een verlaging is opgetreden.

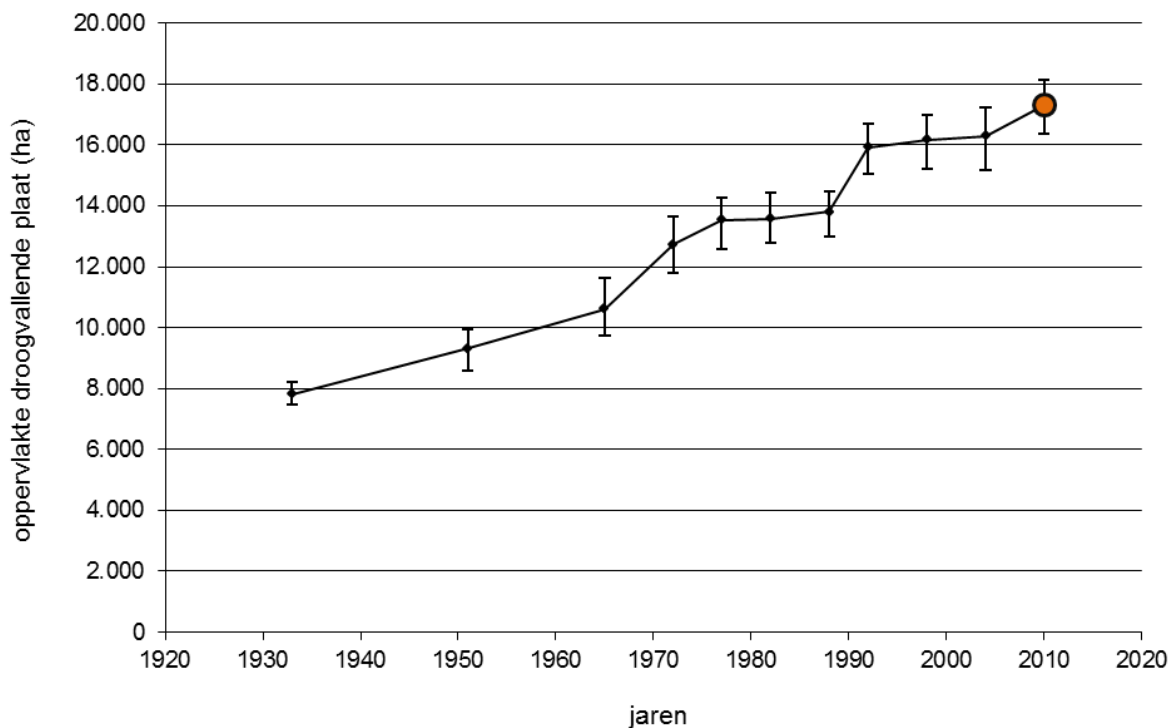


Figuur 4-8 Dwarsdoorsnede door de droogvallende platen Grienderwaard en de Ballastplaat /Vlakte van Oosterbierum.

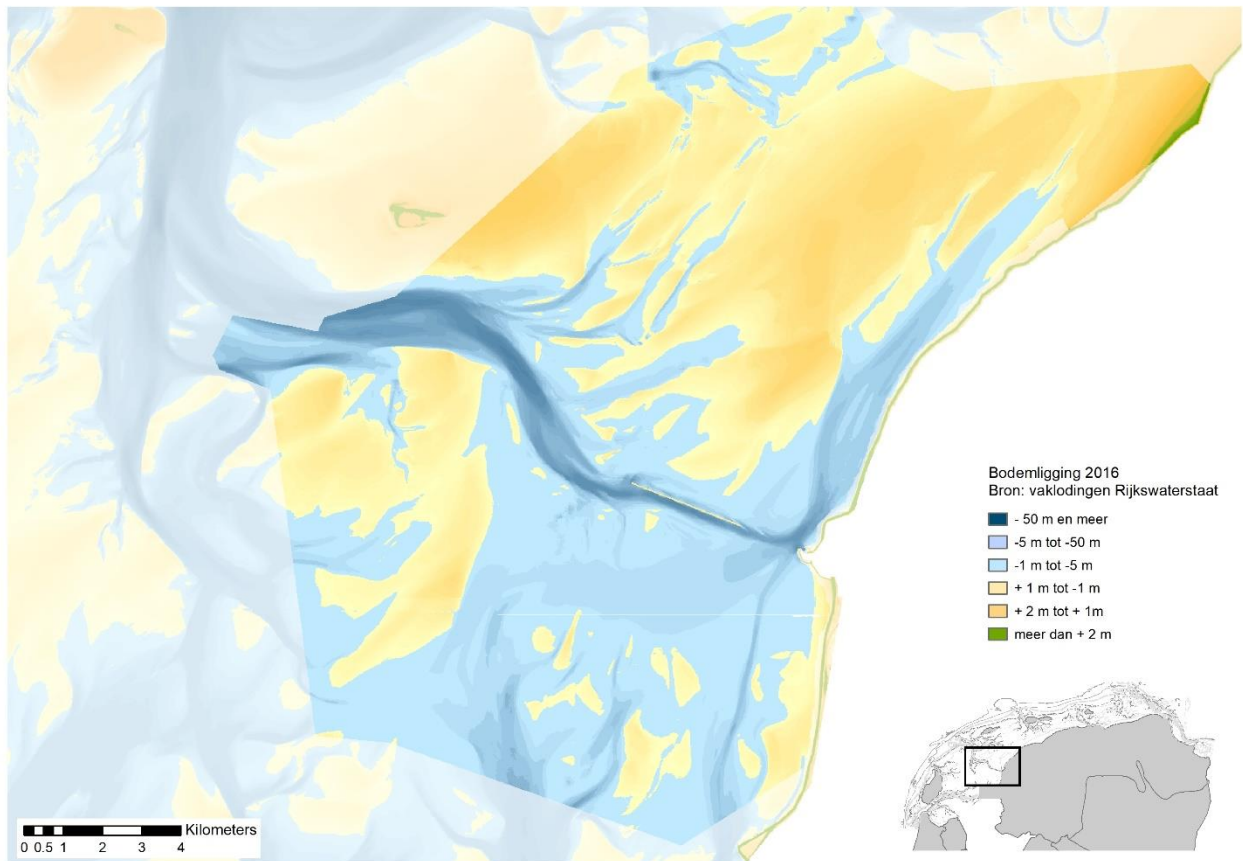
Bij de Ballastplaat/Vlakte van Oosterbierum is in de dwarsdoorsnedes in Figuur 4-8 zichtbaar dat de vorm van de plaat is gewijzigd, van vlak en laag in de jaren '80 naar bol in de jaren '90. Na de jaren '90 zijn de veranderingen in dit deel van de Ballastplaat/Vlakte van Oosterbierum beperkt. Voor de Grienderwaard stellen we vast dat variaties in de hoogte bij dit gebied horen.

Areaal droogvallende wadplaten

In het kombergingsgebied Vlie is het areaal van de droogvallende platen als gevolg van de forse sedimentatie aanzienlijk is toegenomen. Dat die trend onverminderd doorzet, wordt bevestigd door de resultaten van vaklodingen. Dit is inzichtelijk gemaakt in de onderstaande grafiek (Figuur 4-9), waarin de vakloding van 2016 is verwerkt. Het plaatareaal is steeds toegenomen bij de opeenvolgende vaklodingen. De toename van het oppervlakte droogvallende platen in de periode 1992-2016 bedroeg gemiddeld 71 ha/jaar (Cleveringa, 2016).



Figuur 4-9 Grafiek van de ontwikkeling van het areaal droogvallende plaat (tussen LAT en GHWS) in het studiegebied (Figuur 4-10), uit Cleveringa (2016).



Figuur 4-10 Kaart met de bodemligging van het studiegebied (het gebied met de heldere kleuren) in 2016.

5 CONCLUSIES

5.1 Ten aanzien van de toegepaste methoden

Hoogte/diepte raaien

De hoogte/diepte raaien zijn met succes uitgevoerd in 2016, 2017 en 2018. Het studiegebied leent zich, door de relatief lage ligging van de platen ter plaatse van het studiegebied, uitstekend voor het uitvoeren van deze varende metingen. De metingen zijn per jaar onderling consistent binnen de betrouwbaarheidsbandbreedte. Ook de metingen uit de opeenvolgende jaren laten betrouwbare resultaten zien. De raaimetingen zijn uitstekend bruikbaar voor het uitvoeren van de monitoring.

LIDAR

De LIDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen die zijn uitgevoerd in 2010 en 2016 in opdracht van Rijkswaterstaat zijn in deze Tnul rapportage gebruikt. Opvallend is de beperkte dekking van de droogvallende wadplaten in de opname van 2016. Voor het inwinnen van de LIDAR hoogtemetingen in 2019 zal aandacht worden besteed aan het inwinnen van het volledige droogvallende areaal (boven NAP -0,5 m) in het studiegebied. De vergelijking van de raaimetingen en de LIDAR hoogtemetingen uit 2016 laten verschillen zien, die groter zijn dan verwacht mag worden op basis van de beide meettechnieken. Het is nog niet mogelijk om uitspraken te doen over de oorsprong van deze verschillen. De LIDAR en raaimetingen van 2019 zullen hier uitsluitsel over moeten geven.

Vaklodingen

De vaklodingen zijn uitstekend bruikbaar om de grootschalige en langjarige ontwikkelingen in beeld te brengen. De vaklodingen komen iedere zes jaar beschikbaar, zodat een volgende analyse van de grootschalige ontwikkelingen volgt op het beschikbaar komen van de vaklodingen van 2022 van het Vlie.

5.2 Ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen

In het studiegebied voor de zoutwinning treden een aantal structurele langjarige veranderingen op, die zichtbaar zijn in de vaklodingen. Op de Vlakte van Oosterbierum en de Ballastplaat vindt sedimentatie plaats, waardoor de hoogte van de droogvallende plaat is toegenomen evenals het areaal. Hierbij hoort de afname van de omvang van de getijdegeul Kimstergat. Het drainagegebied van deze getijdegeul neemt door de sedimentatie op en uitbreiding van de droogvallende plaat steeds verder af en daar hoort een steeds kleinere geul bij. De geultjes tussen de Ballastplaat en de Grienderwaard zijn dynamische onderdelen van het studiegebied, de geultjes verplaatsen en verdiepen en verondiepen. De Grienderwaard zelf is relatief stabiel, hoewel van opname naar opname wel kleine verschillen in de hoogte van de droogvallende plaat zichtbaar zijn. Ten zuidwesten van de Pollendam is het gebied van “de Pollen” relatief dynamisch, hier ontstaan en verdwijnen droogvallende en sublitorale platen. Het is wel een netto sedimentatie gebied, dat geleidelijk ondieper wordt. Deze beschrijving van de ontwikkelingen is gebaseerd op het grootschalige en langjarige beeld dat door de vaklodingen wordt gegeven, waarvan de meest recente is uitgevoerd in 2016. De twee beschikbare LIDAR-opnamen van de droogvallende platen voegen geen informatie toe aan deze beschrijving.

De hoogte/diepte raaien zijn uitgevoerd in 2016, 2017 en 2018, zodat de resultaten onderling vergeleken kunnen worden. De ontwikkelingen die hierin worden gezien sluiten aan de hierboven beschreven waarnemingen op basis van de vaklodingen.

6 REFERENTIES

Cleveringa, J. 2016. Notitie Morfologische ontwikkelingen Ballastplaat, Arcadis Memo 8-jan-2016.

Oost, A.P., J. Cleveringa & M. Taal, 2018. Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie
Beheerbibliotheek Waddenzee, versie 2018. Deltares-rapport 11202177-000 - ZKS-0013

COLOFON

MONITORING T0-SITUATIE BODEMLIGGING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

KLANT

Frisia Zout B.V.

AUTEUR

Jessica Bergsma

ONZE REFERENTIE

083888302 0.1

DATUM

22 maart 2019

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com