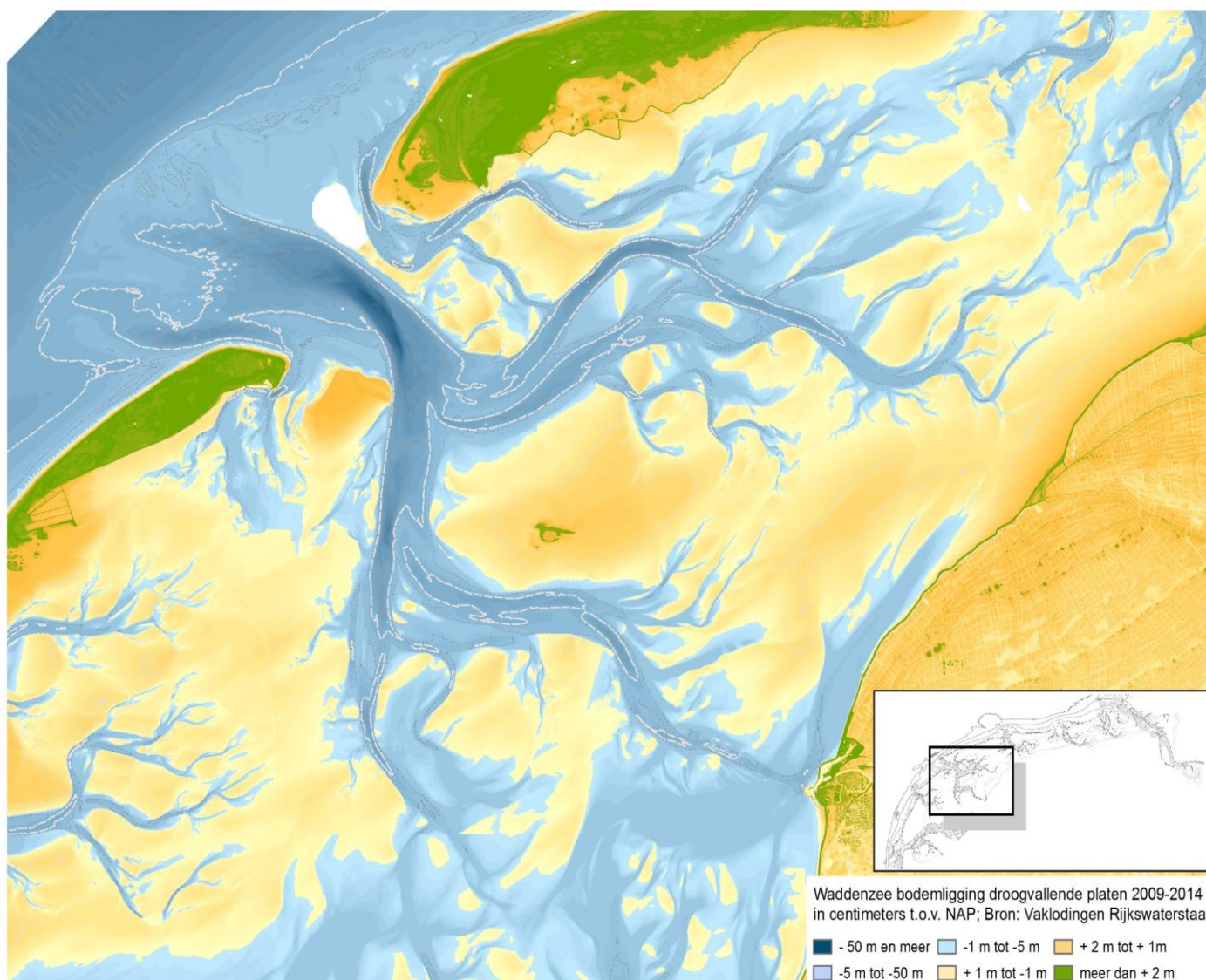


MONITORING SITUATIE 2024 BODEMLIGGING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

Frisia Zout B.V.

15 MEI 2025



Contactpersoon

Arcadis

T +31 (0)88 4261 440
M +31 (0)6 5073 6850
E jelmer.cleveringa@arcadis.com

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	INTRODUCTIE VAN DE MEET- EN ANALYSE METHODE HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	7
2.1	Meetmethode	7
2.2	Verwerkings- en analysemethode	7
3	GEMETEN HOOGTE/DIEPTE IN DE RAAIEN	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Gemiddelde diepte per raai	12
3.3	Verschillen in hoogte/diepte raaien	13
3.4	Verschil 2023 en 2024	15
4	OBSERVATIES HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	25
4.1	Observaties raai 1	25
4.2	Observaties raai 2	29
4.3	Observaties raai 3	32
4.4	Observaties raai 4	35
4.5	Observaties raai 5	38
5	VAKLODINGEN EN HET AREAAL DROOGVALLENDE PLATEN	41
5.1	Introductie van de meetmethode	41
5.2	Vakloding 2022	41
5.3	Bepaling sedimentatie en erosie kombergingsgebied	42
5.4	Areaal droogvallende wadplaten studiegebied	44
6	VERGELIJKING HOOGTEMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT	46
6.1	Beknorte toelichting op de meettechnieken	46

6.2	Vergelijking Raaimetingen en Spijkermetingen	47
6.3	Vergelijking Vaklodingen, raaimetingen en Spijkermetingen	53
6.4	Conclusie over de vergelijkbaarheid van de meetresultaten	56
7	MORFODYNAMIEK OP DE BALLASTPLAAT	58
7.1	Inleiding	58
7.2	Morfologische veranderingen op de Ballastplaat Zuid	58
7.3	Morfologische veranderingen op de Ballastplaat Midden	61
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	63
8.1	Ten aanzien van de toegepaste methoden	63
8.2	Ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen	63
9	REFERENTIES	65
COLOFON		66
Bijlage A	Hoogte wadplaten LIDAR 2004-2016	
Bijlage B	Vergelijking controlepunten	
Bijlage C	Vergelijking metingen opvolgende jaren	
Bijlage D	Interpretatie van de verschillende hoogtemetingen	

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. In Figuur 1-1 is het kombergingsgebied van het Vlie weergegeven, met daarbij het gebied waar de zoutwinning zal leiden tot daling van de Pleistocene ondergrond, dat wil zeggen de ondergrond 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 winningsstrategie 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 is de nulsituatie vastgelegd.

1.2 Metingen morfologie

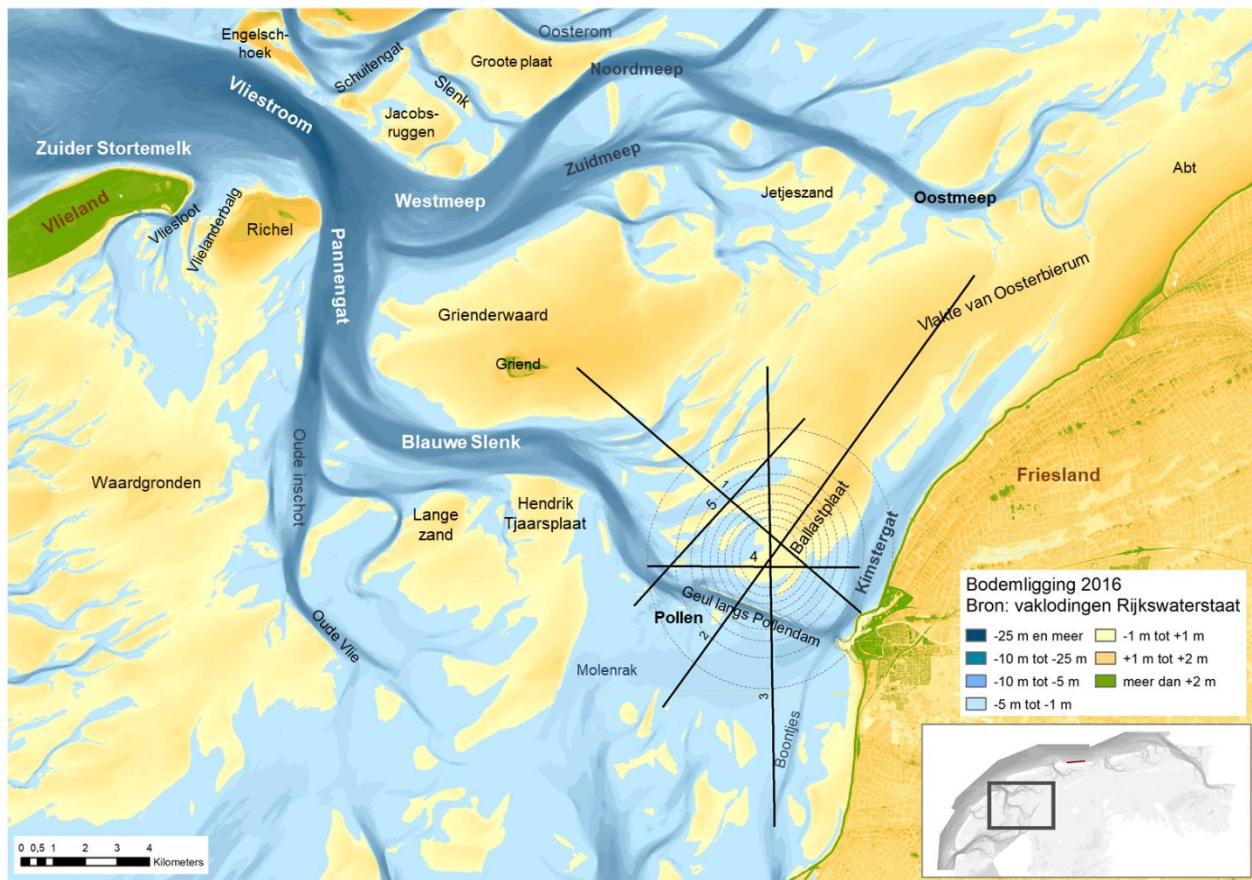
De onderstaande tabel 1 geeft een beknopt overzicht van de morfologische monitoring van Frisia Zout BV. Naast de metingen aan de bodemligging worden zogenaamde Spijkermetingen uitgevoerd, waarmee de lokale sedimentatie en erosie worden opgemeten en wordt de samenstelling van het sediment (korrelgrootteverdeling,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

Tabel 1-1 Beknopt overzicht van het morfologische deel van het monitoringsprogramma zoutwinning Waddenzee.

Metingen	Wordt gerapporteerd in	Frequentie	Gebied
Hoogte/diepte raaien	Voorliggende rapportage	1 x per jaar	Drie raaien in invloedsgebied
Spijkermetingen	Eigenstandige rapportage	4 x per jaar	Ballastplaat
Hoogte wadplaten LIDAR	Voorliggende rapportage	1 x per 3 jaar	Invloedsgebied
Vaklodingen	Voorliggende rapportage	1 x per 6 jaar	Kombergingsgebieden
Sedimentsamenstelling	Eigenstandige rapportage	1 x per jaar	Punten benthosbemonstering

1.3 Doel van dit document

Het doel van het voorliggende document is om een overzicht te geven van de resultaten van de monitoringsinspanningen aan de Hoogte/diepteraaien, de LiDAR hoogtemetingen en de vaklodingen. In de discussie wordt ook kort ingegaan op de relatie met de resultaten van de Spijkermetingen.



Figuur 1-1 Namen in het kombergingsgebied van het Vlie, met de geprognosticeerde contouren van de bodemdalingsschotel aan het einde van de zoutwinning en de vijf raaien van de raaimetingen. Tot 2021 werden er drie raaien ingemeten, vanaf 2021 worden er vijf raaien ingemeten.

2 INTRODUCTIE VAN DE MEET- EN ANALYSE METHODE HOOGTE/DIEPTE RAAIEN

2.1 Meetmethode

De metingen van de hoogte/diepte raaien worden uitgevoerd met een (singlebeam) echolood, gemonteerd op een ondiep stekend vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur (Figuur 2-1). Tijdens hoogwater wordt varende 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.



Figuur 2-1 Foto van het soort meetvaartuig dat door de surveyor (Deep B.V.) wordt ingezet voor het uitvoeren van de hoogte/dieptemetingen.

Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen optreden in de hoogte/diepte van de geulen en wadplaten. 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 vijf raaien (drie raaien t/m 2020) binnen het invloedsgebied. De uitvoeringsperiode voor de metingen is mei¹, zodat deze in de tijd overeenkomen met ecologische metingen aan het benthos. In de bovenstaande kaart (Figuur 1-1) is aangegeven hoe deze raaien lopen. De meetraaien lopen niet in de directe nabijheid van de meetlocatie van de pleistocene ondergrond (permanente meetpalen), zodat eventuele lokale effecten rond deze locaties de metingen niet beïnvloeden. Door de raaien op verschillende locaties te laten kruisen worden meetpunten verkregen waar een onderlinge vergelijking van de metingen kan plaatsvinden.

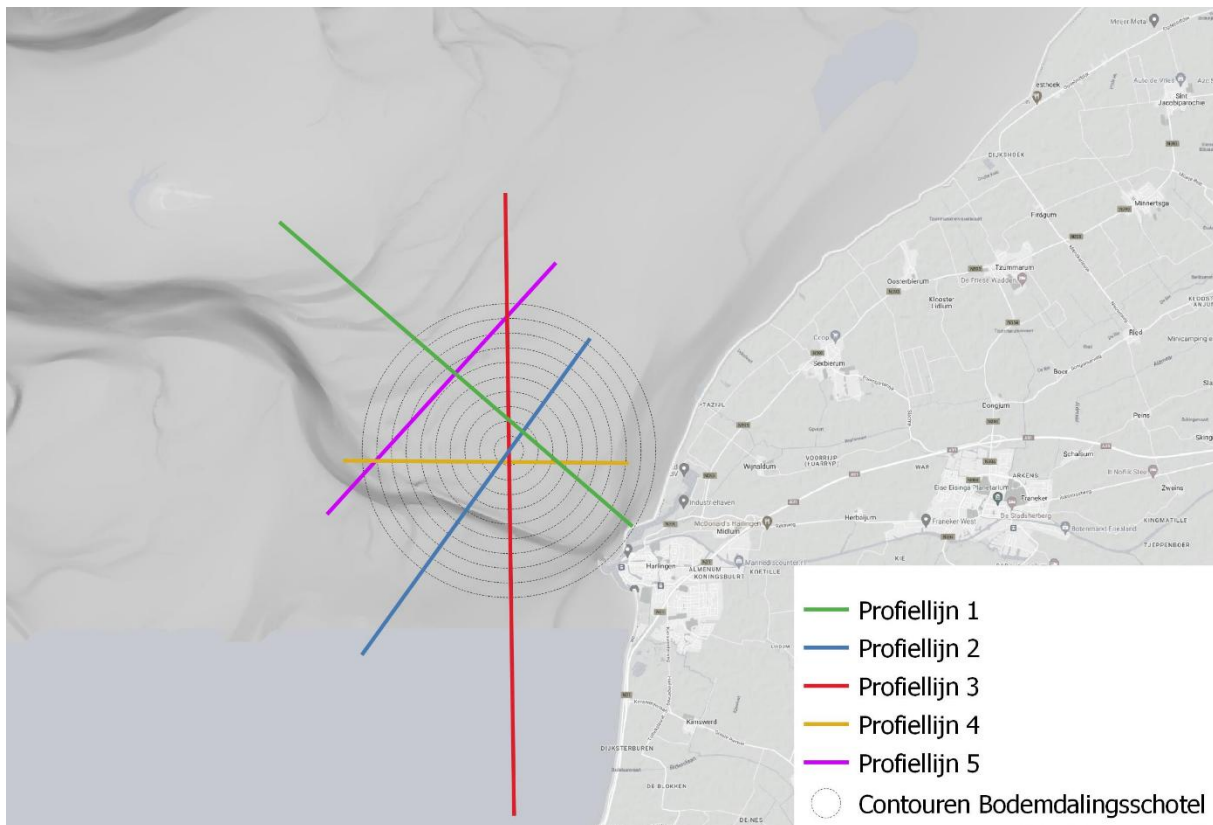
Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. De metingen zijn van 2016 tot heden uitgevoerd door Deep B.V.

2.2 Verwerkings- en analysemethode

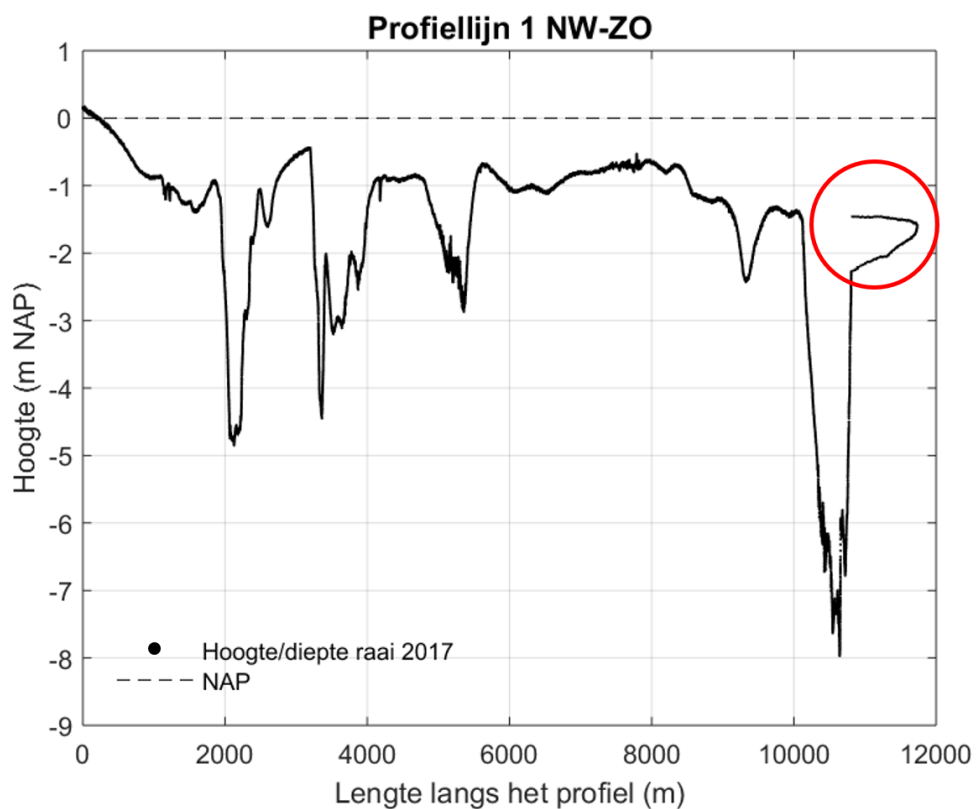
Jaarlijks worden sinds 2021 vijf dezelfde raaien ingemeten zoals aangegeven in Figuur 1-1. In de jaren 2016 – 2020 zijn de raaien 1, 2 en 3 ingemeten (Figuur 2-2). Elke ingemeten raai wordt geanalyseerd en gecontroleerd op overlappende data. Daar waar dubbele of verspringende metingen in eenzelfde gebied (Figuur 2-3) aanwezig zijn, wordt de deze data verwijderd omdat niet duidelijk is welke gegevens gebruikt

¹ In 2019 heeft de uitvoerder van de metingen deze al in januari uitgevoerd, vanwege planning-technische redenen. Omdat dit beduidend eerder is dan mei en omdat in 2019 ook een LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen is uitgevoerd in mei is besloten om alsnog in mei een raaimeting uit te voeren.

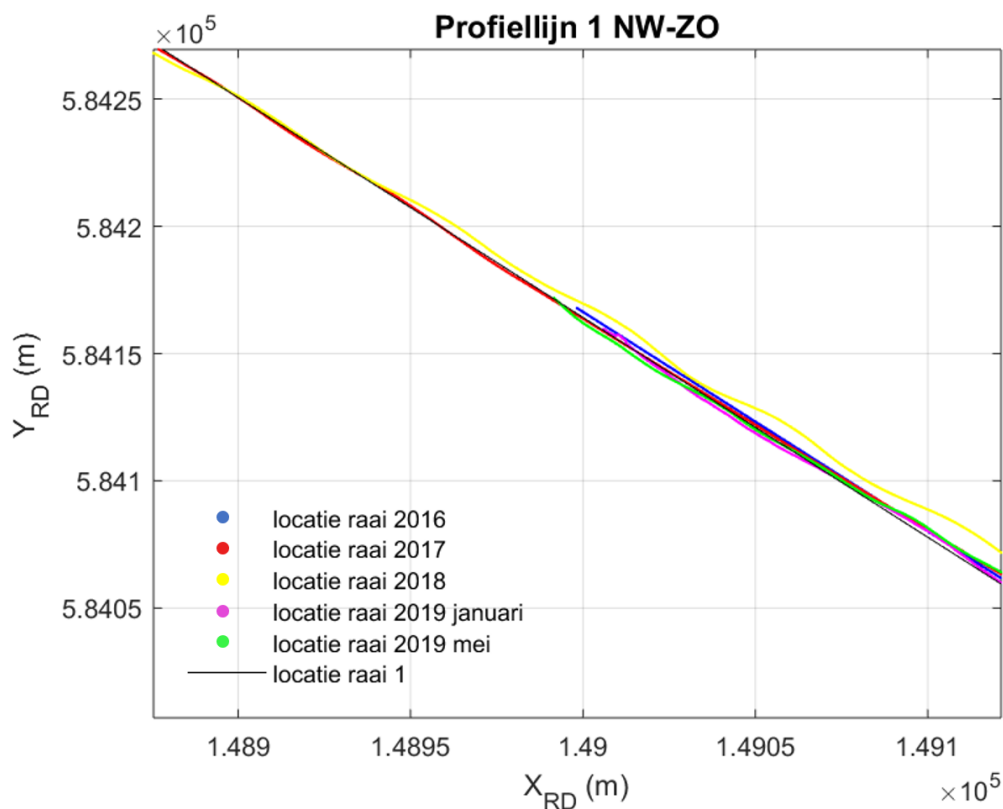
moet worden. Na controle of de gemeten raaidata in de buurt van de vooraf gedefinieerde profiellijn liggen (zie Figuur 2-4), wordt de raaidata op de vooraf gedefinieerde profiellijn geprojecteerd (Figuur 2-5). Hierdoor krijgen de datapunten dezelfde x- en y-coördinaten en kunnen de metingen van de verschillende jaren onderling worden vergeleken. Op basis hiervan wordt een gedetailleerde analyse gemaakt van de veranderingen in de bodemligging per profiellijnen door de tijd (zie Figuur 2-6).



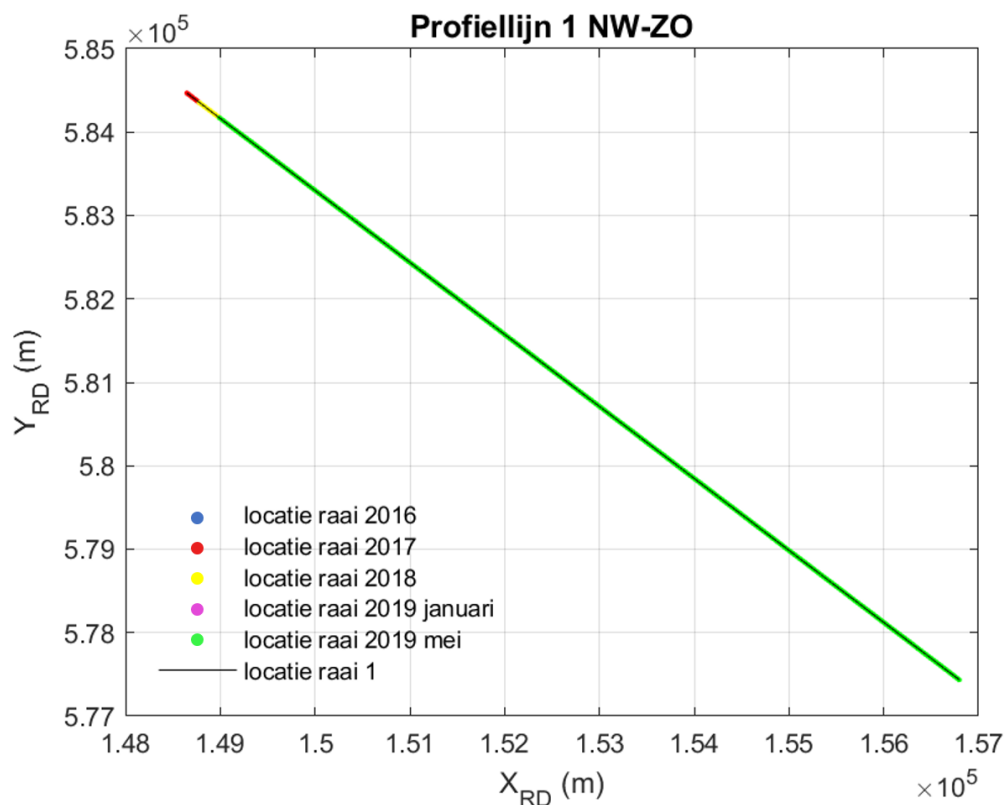
Figuur 2-2 Kaart van de hoogte/diepte profiellijnen (raaien).



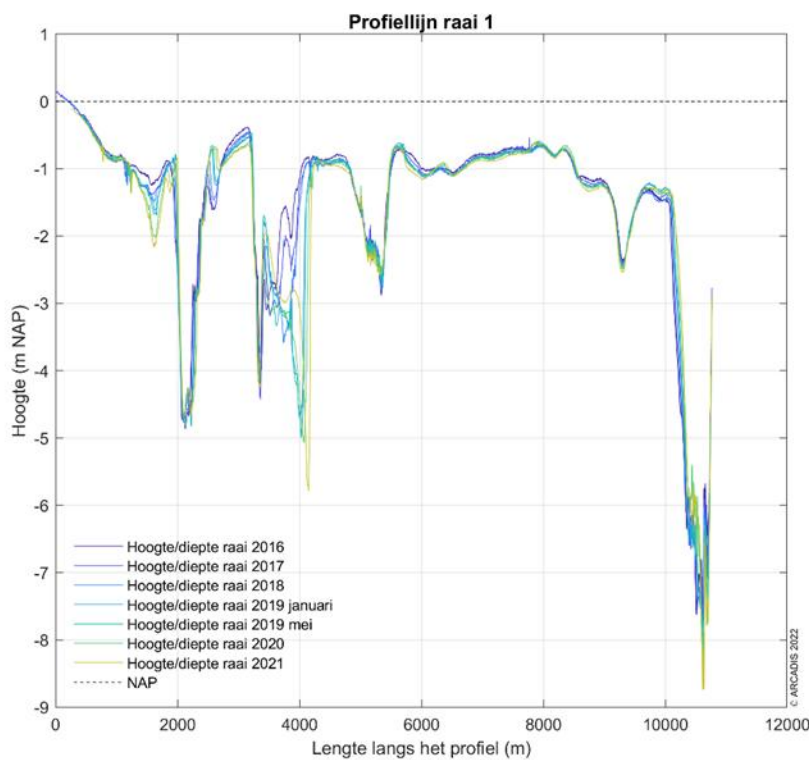
Figuur 2-3: Inzicht in dubbel gemeten data, waarna de dubbele data wordt verwijderd (voorbeeld ruwe data Hoogte/diepte raai 1 2017).



Figuur 2-4: Overzicht (ingezoomd) van gemeten raaidata en de vooraf gedefinieerde profiellijn raai 1 in de periode 2016-2019. De vooraf gedefinieerde profiellijn is soms in lengte langer dan de beschikbare gemeten data.



Figuur 2-5: Overzicht van geprojecteerde gemeten raaidata en de vooraf gedefinieerde profiellijn raai 1 in de periode 2016-2019. De vooraf gedefinieerde profiellijn is soms in lengte langer dan de beschikbare gemeten data.



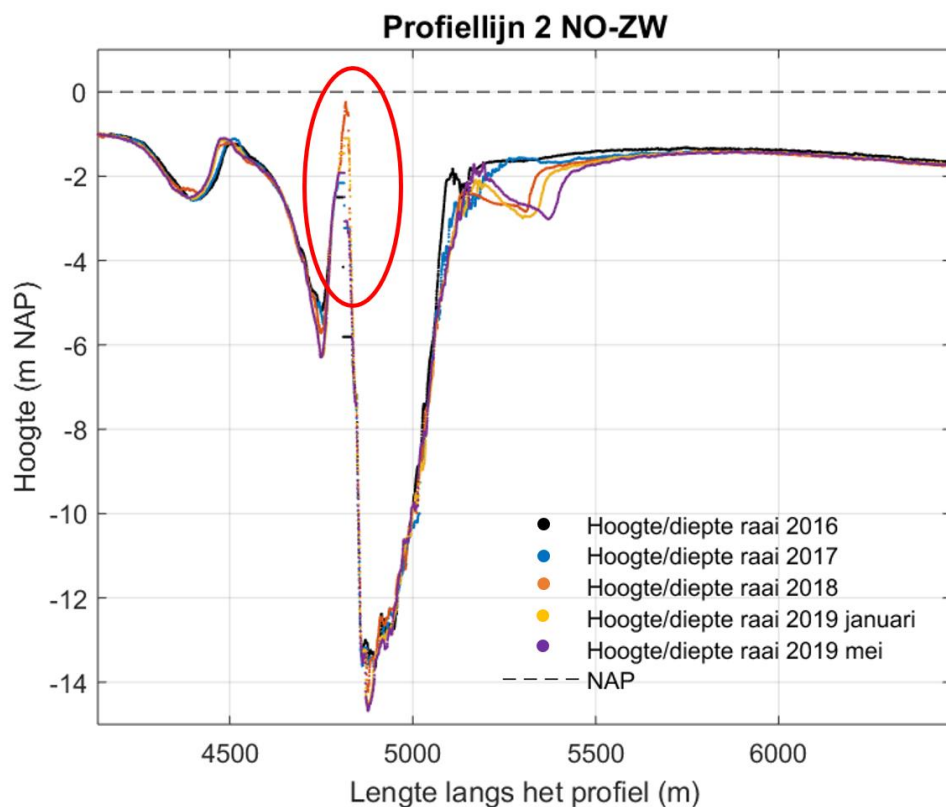
Figuur 2-6: Overzicht van alle bewerkte raaidata van verschillende jaren voor profiellijn 1 in de periode van 2016 tot 2021.

3 GEMETEN HOOGTE/DIEPTE IN DE RAAIEN

3.1 Inleiding

In de volgende paragrafen worden de opeenvolgende metingen vergeleken, zodat duidelijk wordt welke veranderingen zijn opgetreden. Paragraaf 3.2 beschrijft de gemiddelde waterdiepte over de gehele lengte van de gemeten raaien van 2016 tot de meest recente meting. Dit geeft een eerste inzicht in de verandering van de bodem. Paragraaf 3.3 beschrijft de analyse van de hoogteverschillen tussen de verschillende raaien binnen metingen van 2024. Paragraaf 3.4 beschrijft de veranderingen per raai tussen 2023 en 2024. Per raai zijn de metingen over de lengte van de raai weergegeven en vergeleken met die van het jaar daarvoor. De observaties over de veranderingen over de gehele periode van de metingen staan in hoofdstuk 4. De onderlinge vergelijking tussen andere jaren is beschreven in Bijlage C.

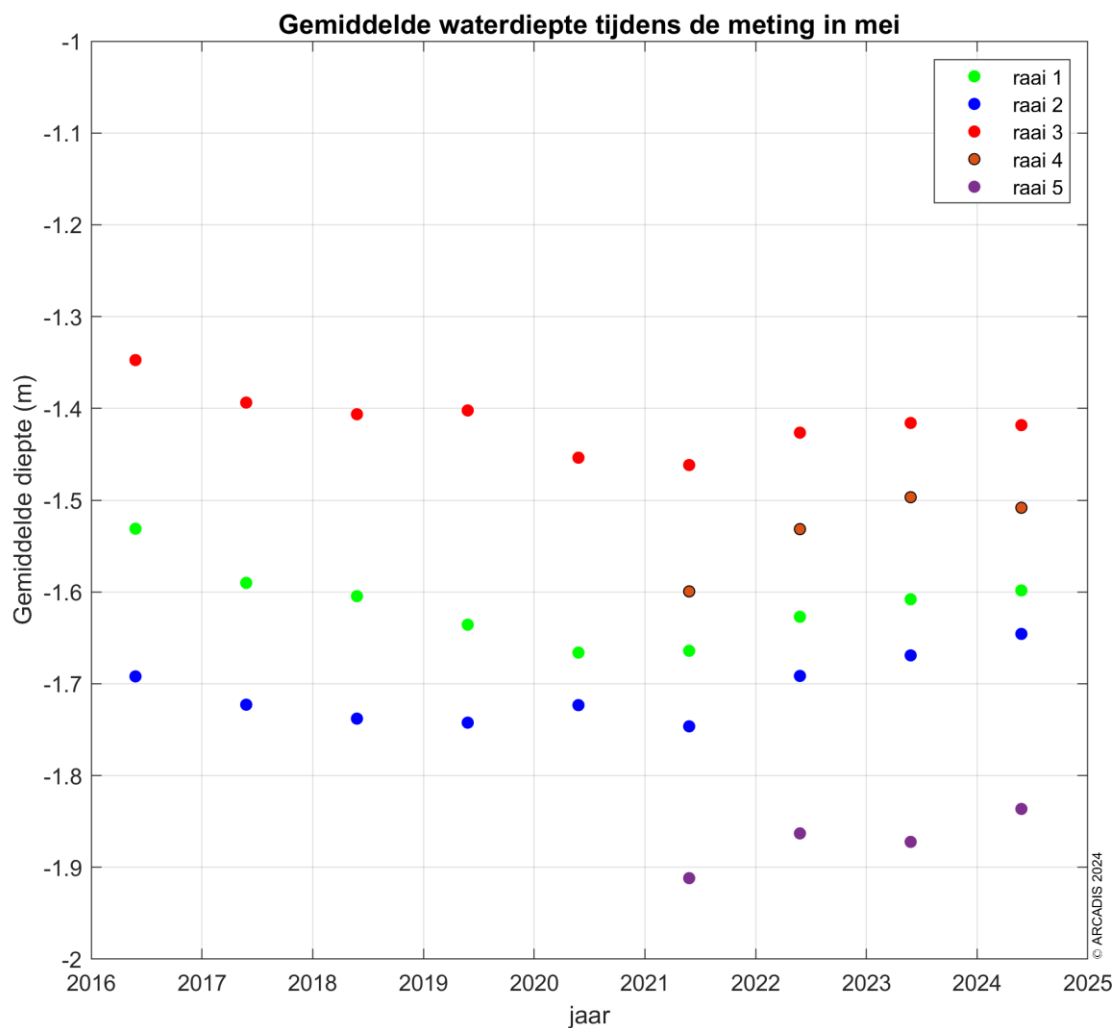
In dit hoofdstuk zijn de hoogtes weergegeven voor de 5 profielen (drie profielen t/m 2020) die jaarlijks gemeten worden. In de raaien 2 en 3 zit een kleine onderbreking in de gegevens ter plaatse van de Pollendam (zie Figuur 3-1). De Pollendam is de stenen stroomgeleidingsdam ten noordoosten van de vaargeul vanuit Harlingen. De Pollendam is dermate hoog dat deze niet varend kan worden ingemeten.



Figuur 3-1 Locatie ontbrekende raaidata ter plaatse van de Pollendam in profiellijn 2 - ingezoomd in de periode van 2016 tot 2019.

3.2 Gemiddelde diepte per raai

Om de ontwikkelingen in de raaidiepte toegankelijk weer te geven, is gekeken naar veranderingen in de gemiddelde diepte per raai. Binnen de individuele raaien zijn alleen de punten meegenomen waar voor elk jaar een dieptemeting beschikbaar is in de berekening van de gemiddelde diepte. De gemiddelde diepte per raai per jaar is weergegeven in Figuur 3-2. Vanaf 2021 zijn ook de raaien 4 en 5 ingemeten.



Figuur 3-2 Plot van de gemiddelde waterdiepte per raai langs de verschillende profielen voor alle meetmomenten. Binnen de raai zijn alleen de punten meegenomen waar voor elk jaar een dieptemeting beschikbaar is in de berekening van de gemiddelde diepte.

Uit onderstaande meetgegevens (Tabel 3-1) blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien. Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.

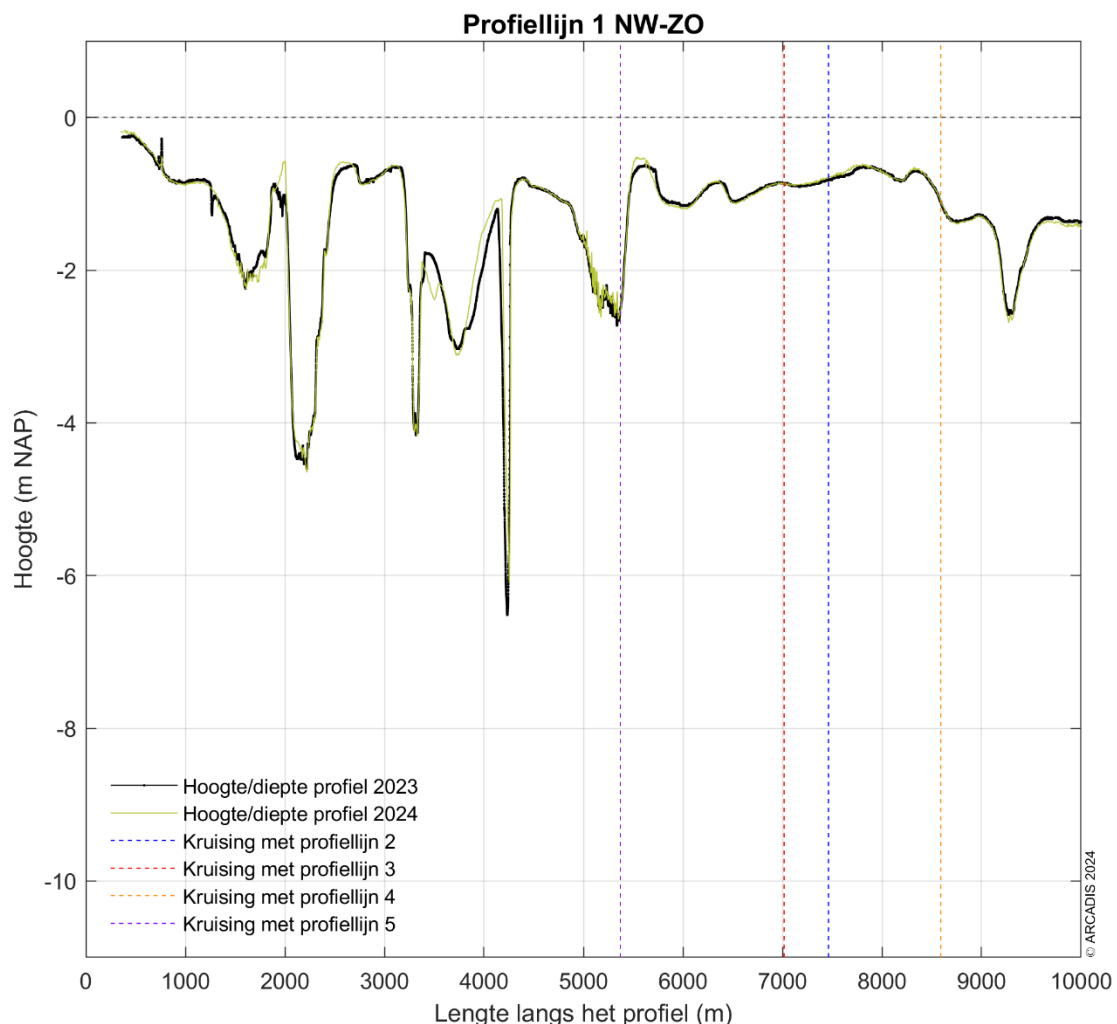
Tabel 3-1: Vergelijking controlepunten op de kruising van verschillende raaien. De getallen zijn afgerond op cm. De metingen vinden doorgaans plaats in mei.

Jaar / kruising raai	1 en 2	1 en 3	1 en 4	1 en 5	2 en 3	2 en 4	3 en 4	3 en 5	4 en 5
2016	4	2			6				
2017	1	1			0				
2018	0	2			2				
2019 (jan)	1	2			3				
2019 (mei)	1	1			3				
2020	1	1			3				
2021	3	1	1	3	3	1	1	2	1
2022	3	0	2	0	2	1	3	1	1
2023	6	1	1	0	4	0	3	1	1
2024	3	4	2	5	2	3	1	1	1

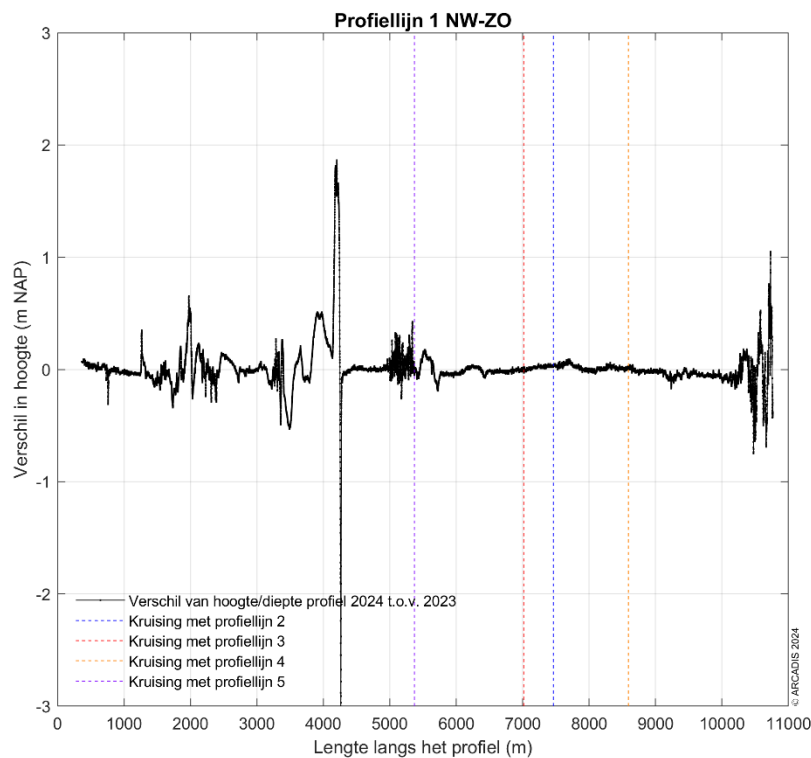
3.4 Verschil 2023 en 2024

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in 2023 met die in 2024 vergeleken (zie Figuur 3-4, Figuur 3-7, Figuur 3-10, Figuur 3-13 en Figuur 3-16). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien. De grootste veranderingen treden op in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

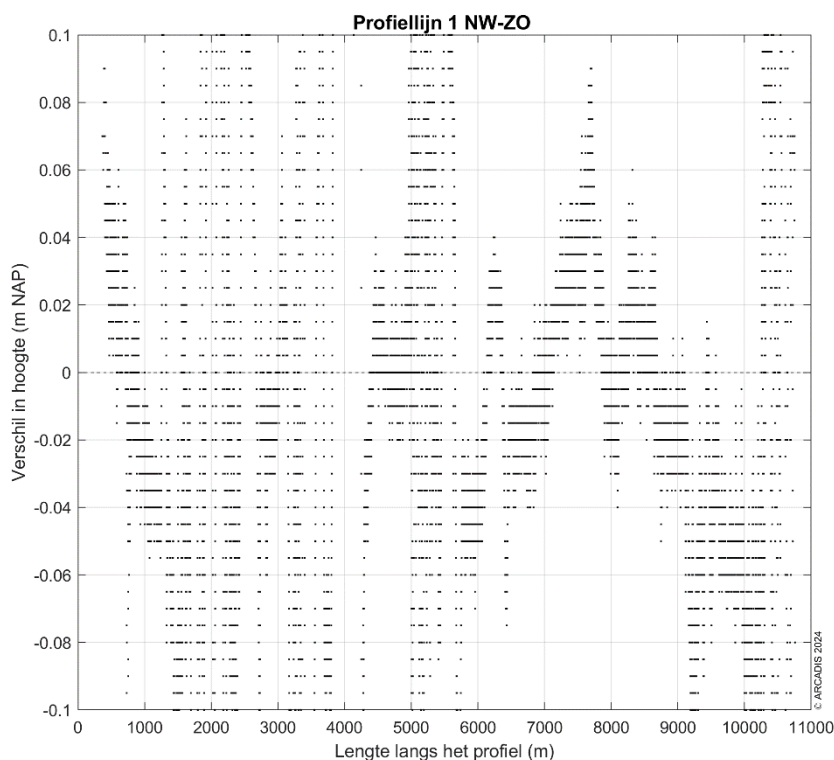
Een grote morfologische verandering in profiellijn is te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er enkele meters hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 3-5, tussen 3000 tot 4500 meter) door het verschuiven van de geul. Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen van metingen. De eerder ingezette verdieping van de geul (2020) op 4000 meter heeft zich doorgezet waarbij de geul smaller is geworden met aan twee zijden een nagenoeg even hoge zijkant. Deze geul is ondertussen dieper dan 6 meter geworden. Op 2000 meter zet een trendmatige verdieping zich voort. Op de bank tussen de eerste twee geulen (2500 tot 3000 meter) heeft het afgelopen jaar enige sedimentatie plaatsgevonden. Ook deze trend is eerder ingezet en handhaaft zich alhoewel de snelheid afneemt.



Figuur 3-4 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024.

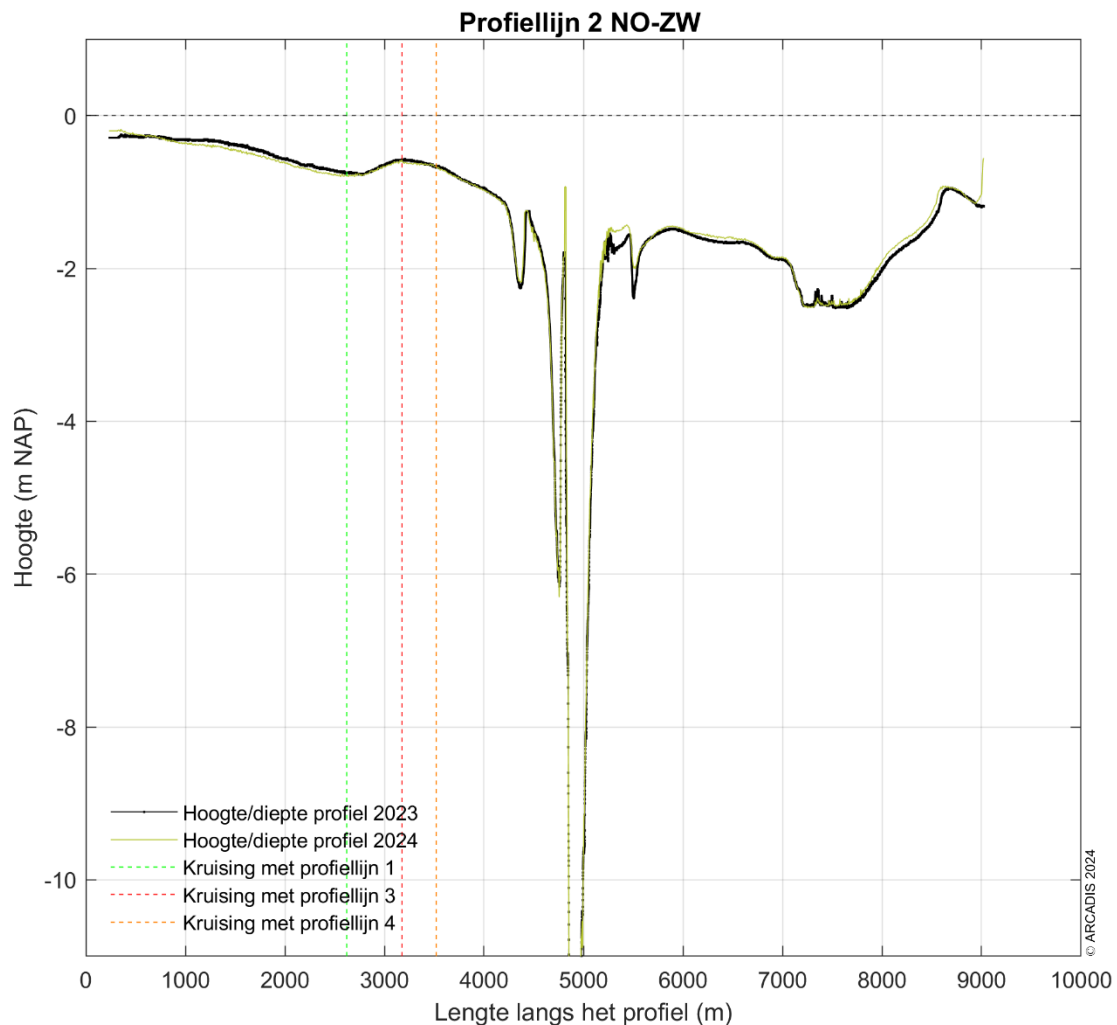


Figuur 3-5 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

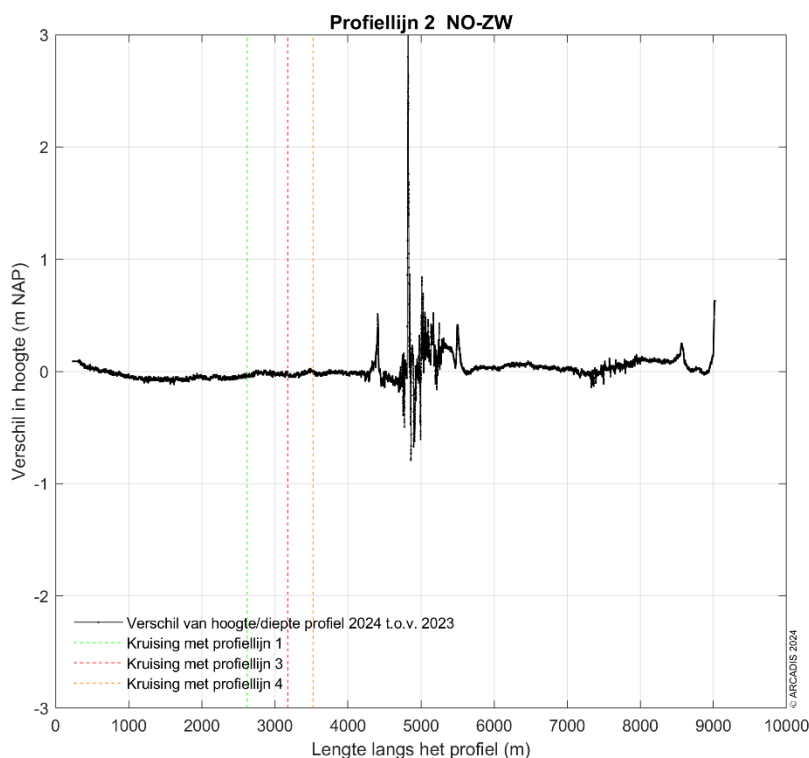


Figuur 3-6 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

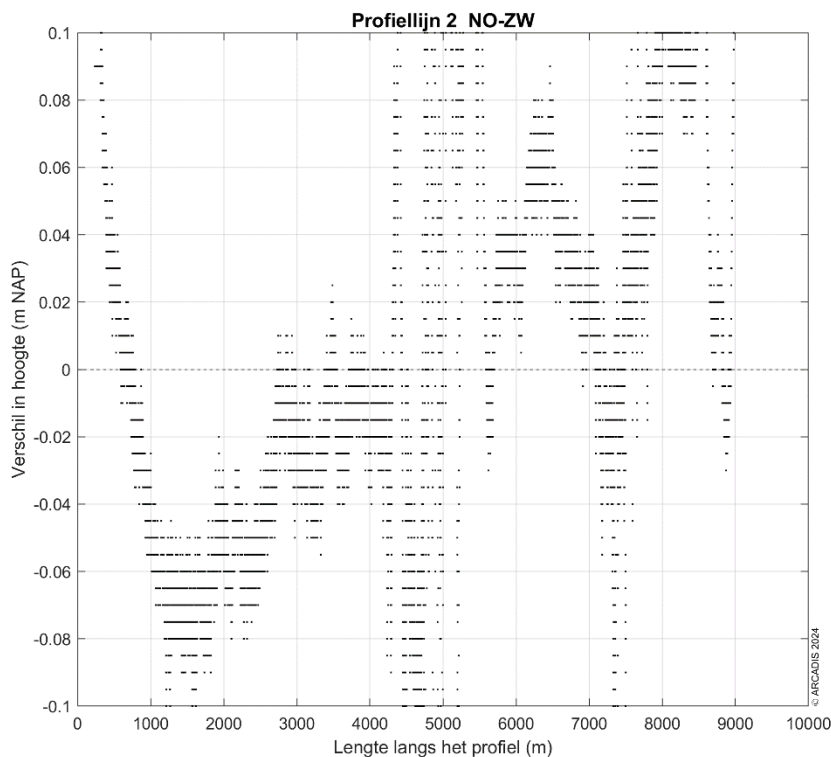
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 1 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 3-7, midden van de profiellijn). Op 4800, tussen de twee geulen is een groter hoogteverschil opgetreden. De tussenliggende bodem is hier tot 1m verhoogd of verlaagd. Vanaf 5500 meter, de geul langs de Pollendam en De Pollen, is weinig morfologische verandering opgetreden. De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters zien.



Figuur 3-7 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024.

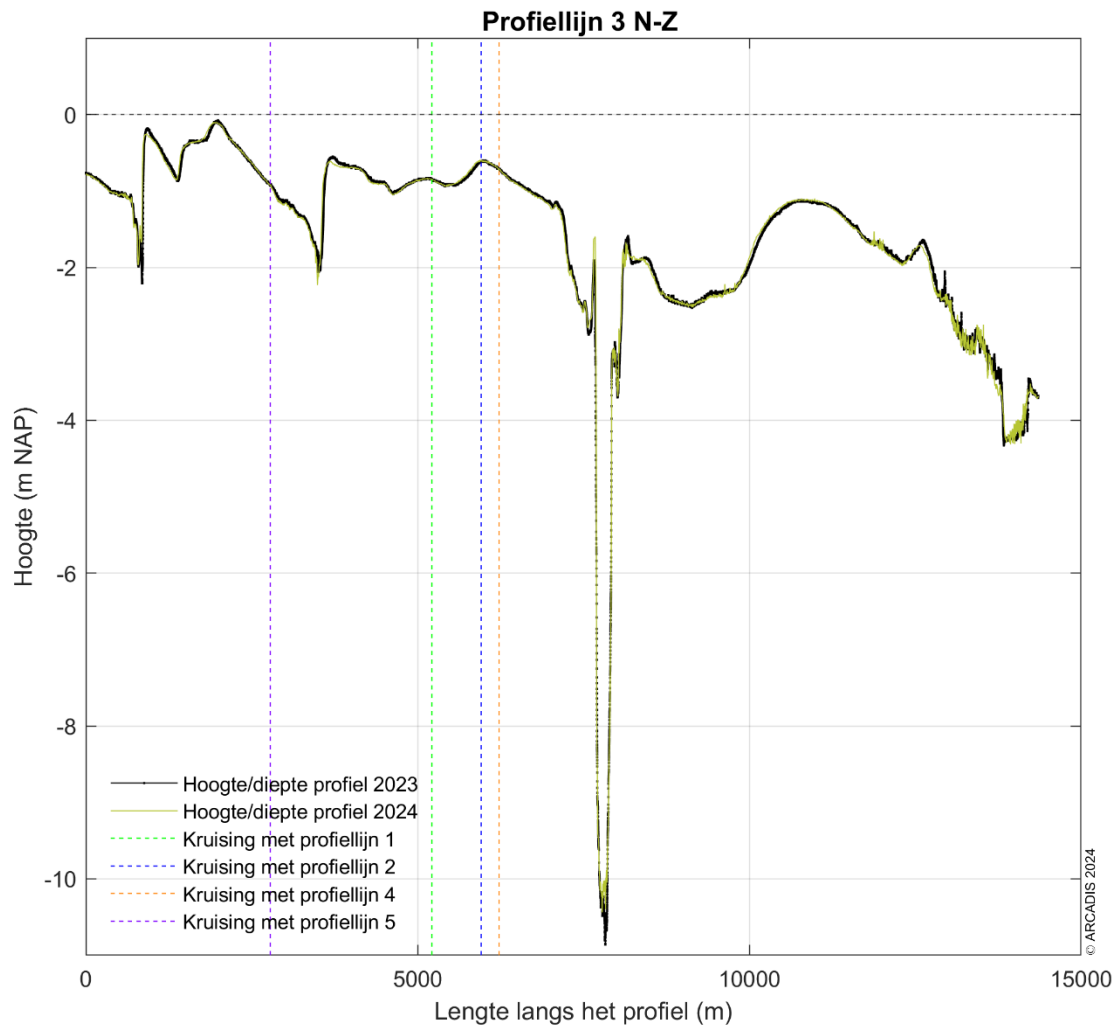


Figuur 3-8 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

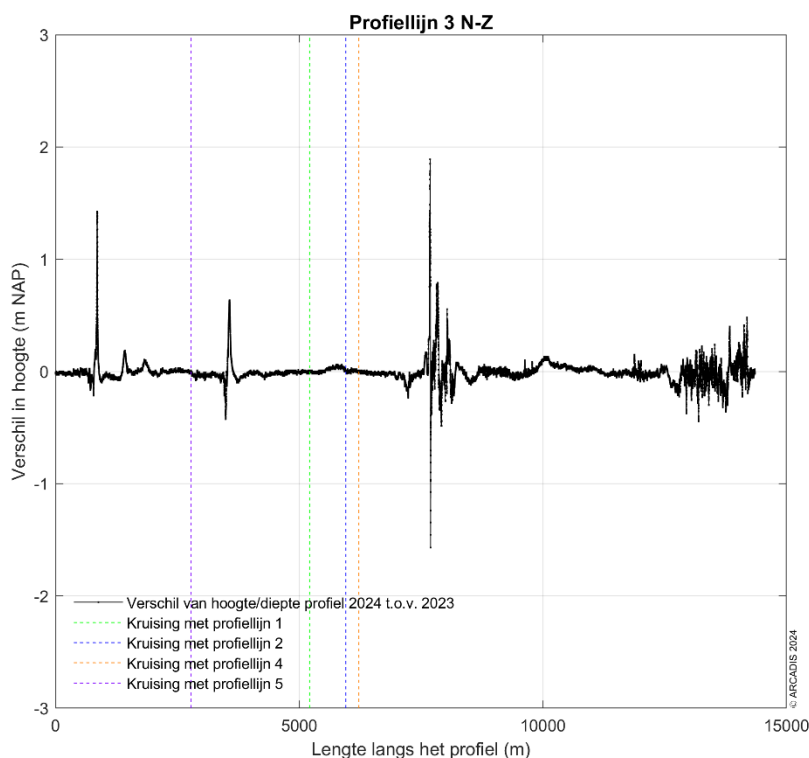


Figuur 3-9 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

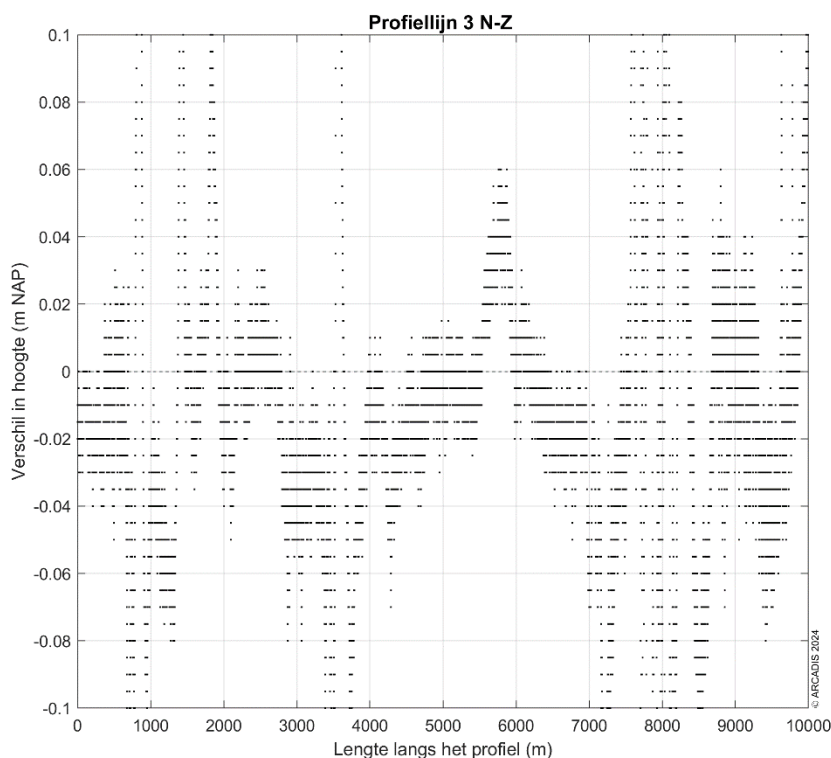
Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat ten opzichte van voorgaande jaren meer verandering zien. Rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen zijn de morfologische veranderingen versterkt. Dit is de zien ter hoogte van 800 meter (tot 1,5 meter verhoging) en 3400 meter (tot 0,7 meter verhoging). Rond 8000 meter is een verdere verschuiving van de geul zichtbaar. Vanaf 13000 meter zijn relatief grote veranderingen merkbaar door het verschuiven van de geulen en mogelijk ook door de aanwezigheid en het verplaatsen van van megaribbels. Hierbij treedt een hoogteverandering van enkele decimeters op.



Figuur 3-10 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024.

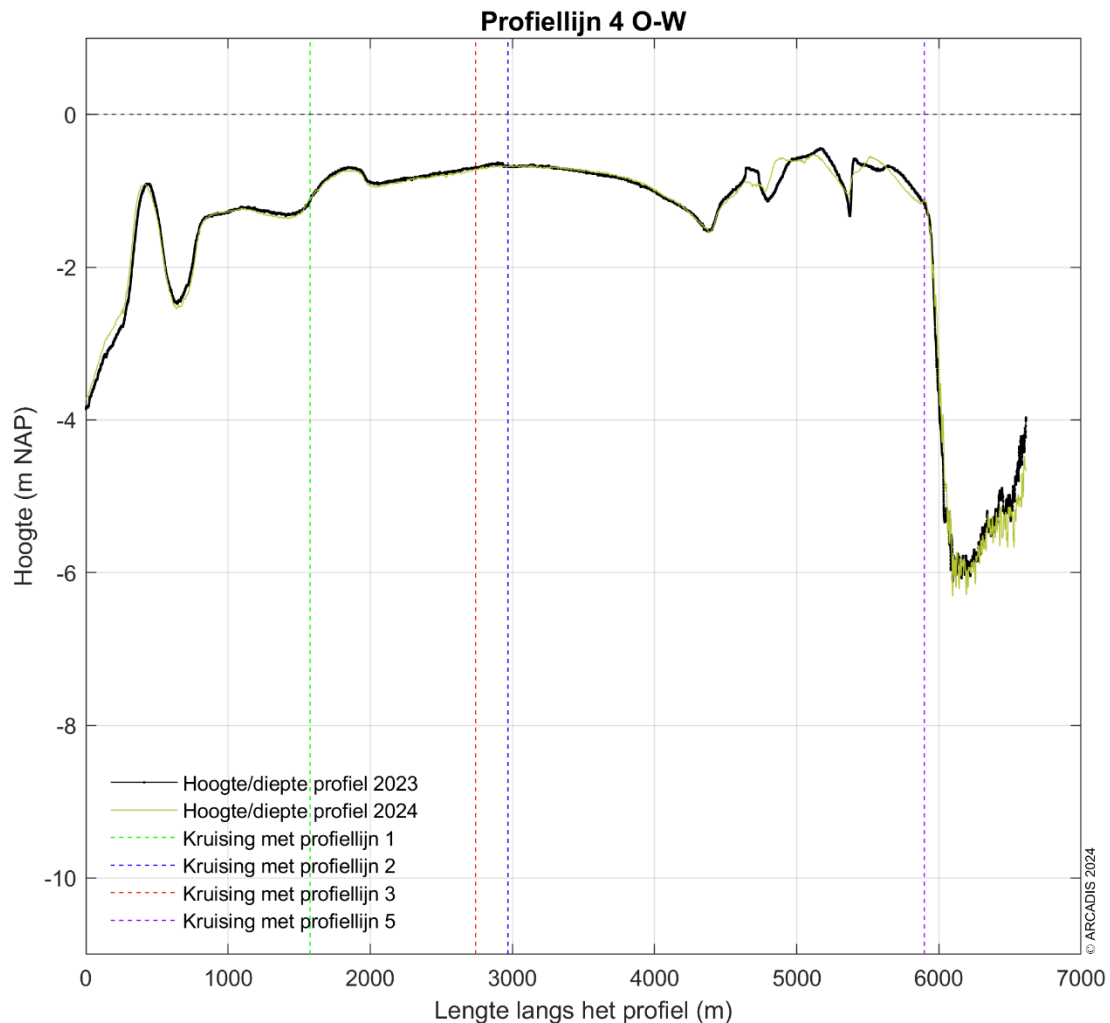


Figuur 3-11 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

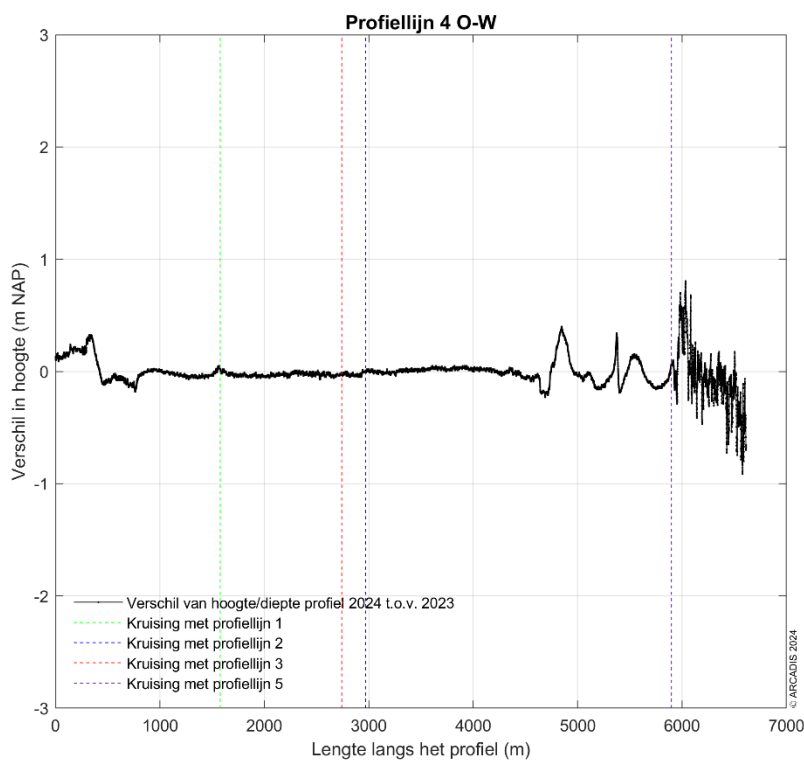


Figuur 3-12: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

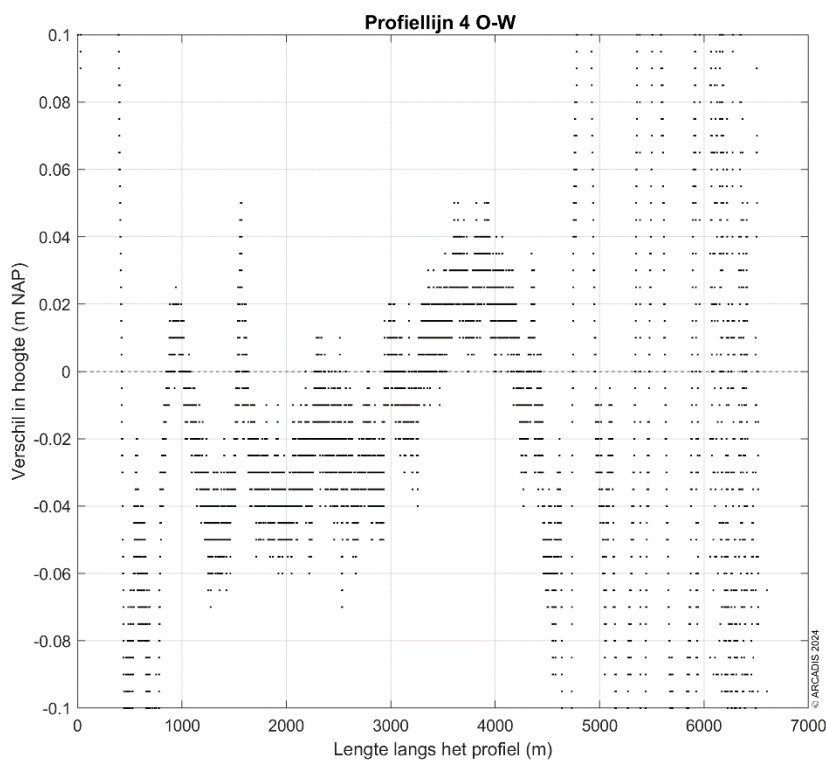
Profiellijn 4, van oost naar west, laat enkele verandering zien. Tussen 0 en 500 meter zet de eerder waargenomen verhoging door met enkele decimeters. Op de Ballastplaat zijn bijna geen veranderingen zichtbaar ten opzichte van 2023 (tussen 800 meter en 4300 meter). Tussen 4300 en 5300 meter zet de verhoging door met enkele decimeters. Tussen 5300 en 5600 zijn grotere verschillen waarneembaar door het verschuiven van de geultjes. Ook de grotere geul vanaf 5800 meter tot het einde van het profiel verschuift. In dit gebied draagt de aanwezigheid van megaribbels op de bodem van de geul waarschijnlijk bij aan de relatief grote bandbreedte in de opgetreden veranderingen.



Figuur 3-13 Dwarsprofiel langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024.

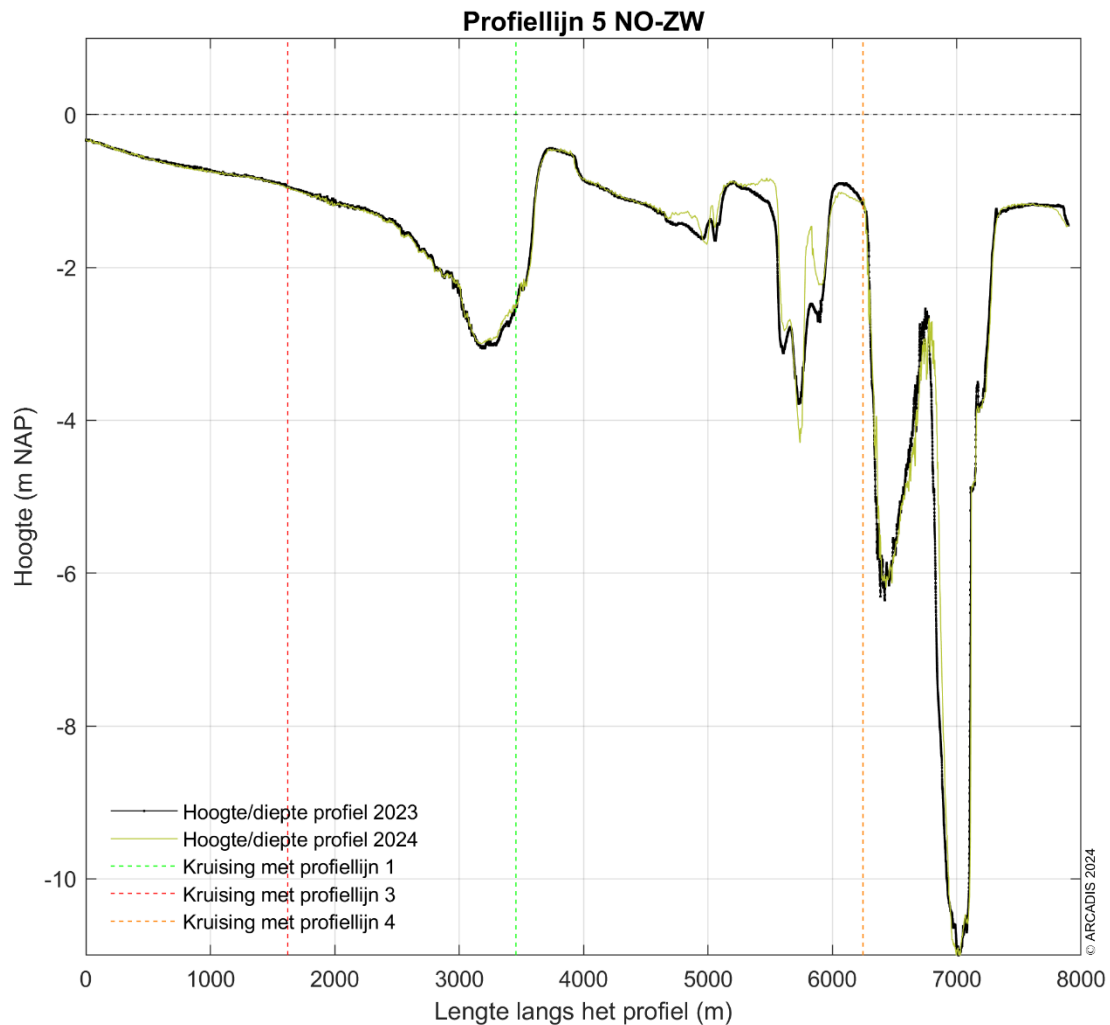


Figuur 3-14 Verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

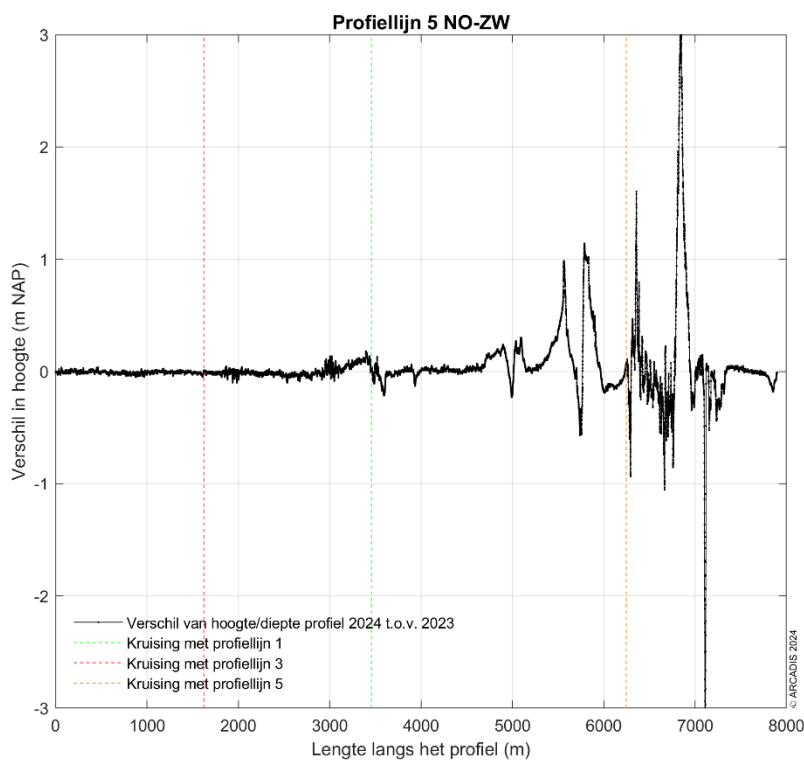


Figuur 3-15: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

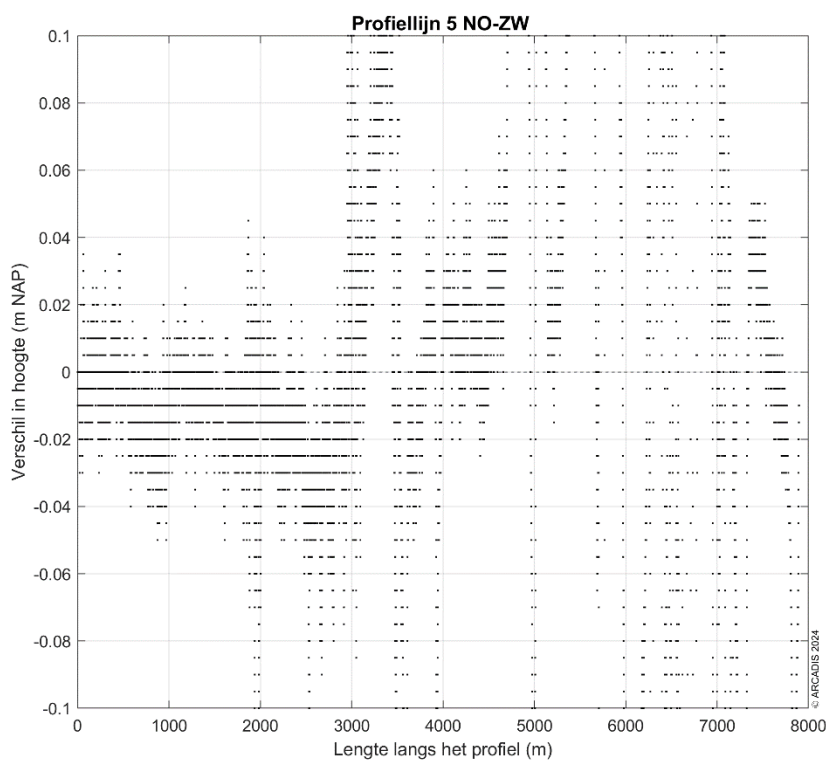
Profiellijn 5, van noordoost naar zuidwest, laat net als vorig jaar over de Grienderwaard en de eerste geulen weinig hoogteverschil zien (Figuur 9-186 tussen 0 meter en 5500 meter). Alleen tussen 3000 meter en 4000 meter is te zien dat de geul verschuift en plaatselijke verdiepingen en ophogingen van enkele decimeters plaatsvinden. Vanaf 5500 meter zijn verschuivingen van de geulen waarneembaar die plaatselijke hoogteverschillen tot 2 meter laten zien. Rond 7000 meter leidt het verschuiven van de geul tot plaatselijke hoogteverschillen van meer dan 3 meter.



Figuur 3-16 Dwarsprofiel langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024.



Figuur 3-17 Verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.



Figuur 3-18: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2023 en 2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2024 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2023.

4 OBSERVATIES HOOGTE/DIEPTE RAAIEN

In de voorgaande paragrafen zijn de meetraaien beschreven en onderling vergeleken. In deze paragraaf wordt ingegaan op de verschillen tussen de opeenvolgende opnamen. Daartoe zijn dwarsdoorsneden gemaakt van de drie profiellijnen met de opeenvolgende metingen van 2016 - 2024. De meting van januari 2019 is buiten deze vergelijking gehouden, vanwege het verschil in het interval tussen de januari 2019 meting en de overige metingen (mei).

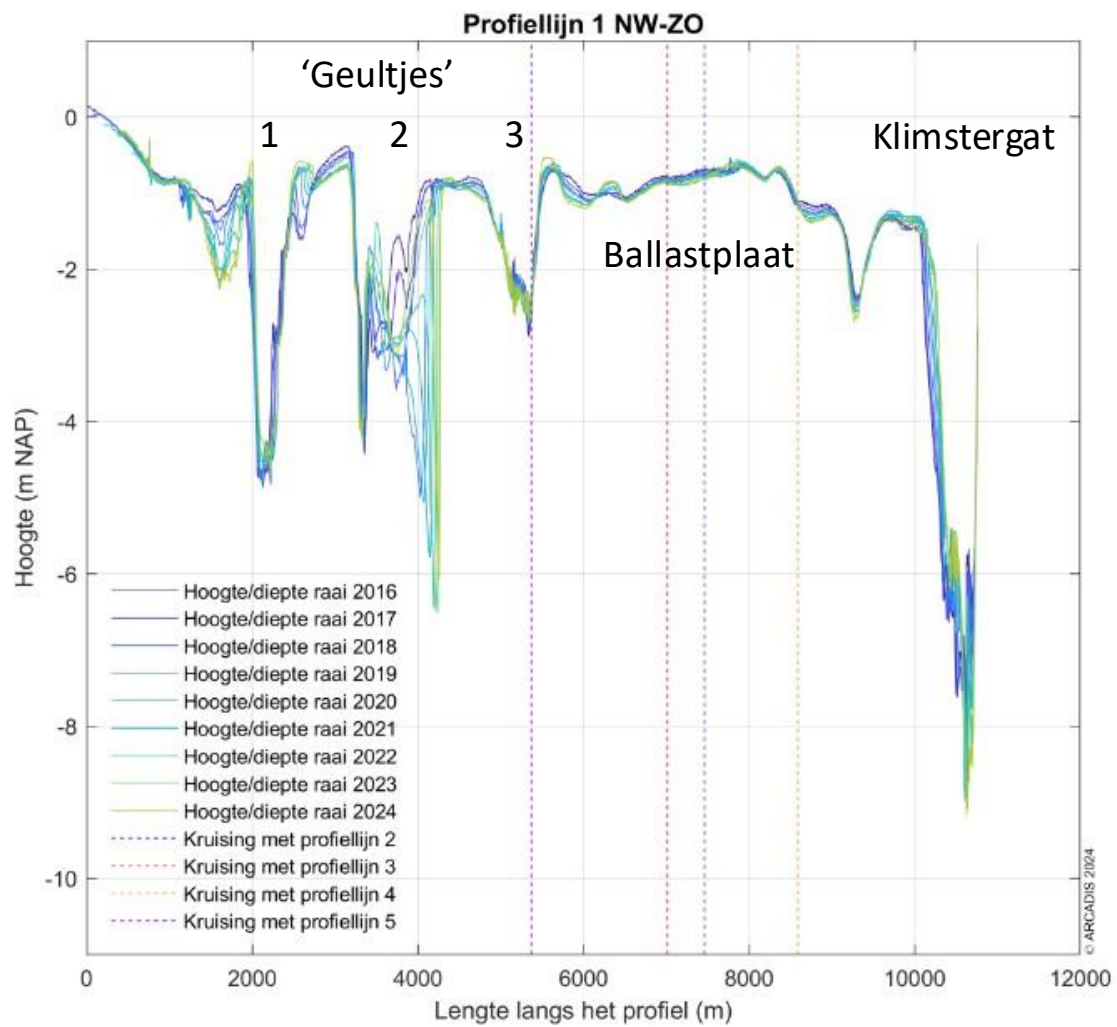
Voordat wordt gekeken naar de waargenomen veranderingen eerst een opmerking over de nauwkeurigheid van deze metingen. De nauwkeurigheid van de hoogtemetingen bedraagt enkele centimeters, zoals ook is gebleken uit de onderlinge controlepunten op de raaien (zie Tabel 3-1). Deze nauwkeurigheid betekent dat alle waargenomen veranderingen die kleiner zijn dan enkele centimeters niet noodzakelijkerwijs betekenen dat dit een morfologische verandering betreft, het kan ook het gevolg zijn van schijnbare veranderingen. Aan de metingen van kleine maar consequente verhoging of consequente verlaging in meerdere opeenvolgende metingen wordt meer waarde toegekend dan aan variaties in de hoogteligging. De metingen van de hoogte/diepte in de raaimetingen zijn goed uitvoerbaar en resulteren in bruikbare gegevens. Indien zich onverwachte veranderingen in de bodemligging zouden voordoen, dan zijn deze uitstekend waarneembaar met deze raaimetingen.

4.1 Observaties raai 1

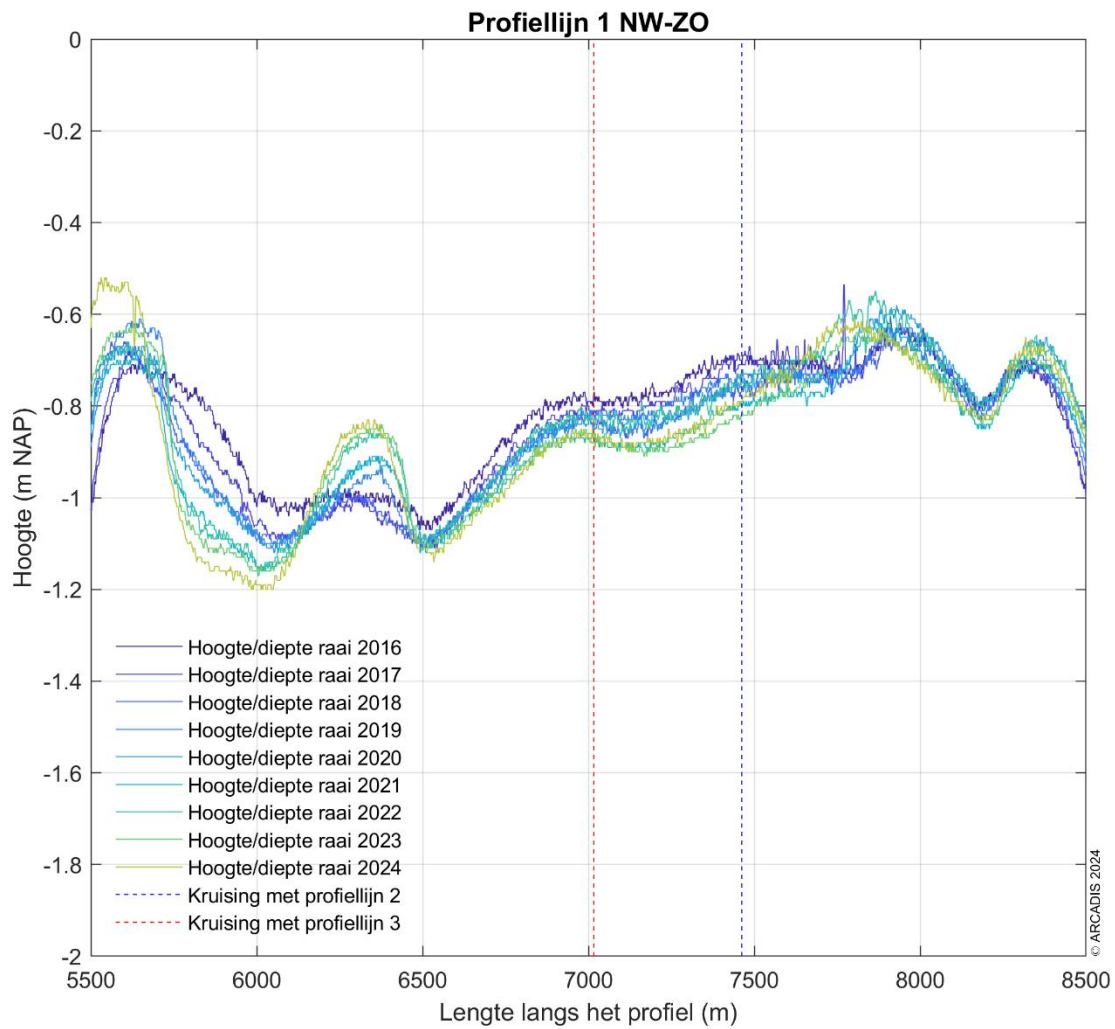
De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 1 staat in Figuur 4-1. In dit overzicht is zichtbaar dat er duidelijk veranderingen optreden rond de geulen in het gebied. Bij de weergave op deze verticale schaal lijken de droogvallende platen vrijwel niet te veranderen. De eerste 4000 meter van de opname laten de meeste morfologische dynamiek zien. Tussen 2016 en 2024 snijdt de zijgeul op 1800 meter zich geleidelijk steeds verder in. De laatste twee jaar is er geen verdieping meer zichtbaar, wel verplaatst de geul zich. De bank tussen geul 1 en 2 (tussen 2200 en 3000 meter) hoogt zich jaarlijks enkele centimeters op aan de zijde van de eerste geul en verlaagt aan de zijde van de tweede geul. Deze dynamiek is de laatste twee jaar minder zichtbaar dan in de periode daarvoor.

In de grafiek met de gemiddelde waterdiepte van raai 1 in Figuur 3-2 is zichtbaar dat de gemiddelde waterdiepte tussen 2016 en 2020 is toegenomen van iets meer dan NAP -1,5 m naar ruim -1,65 m. Sinds 2021 is de gemiddelde waterdiepte weer afgenomen. Dat de gemiddelde diepte slechts beperkt verandert, betekent niet dat er geen morfologische veranderingen optreden op de Ballastplaat. Om dat te illustreren is een detail van de Ballastplaat toegevoegd in Figuur 4-2 met een meer gedetailleerde verticale schaal. 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 500 m zijn in alle 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 opnames vergelijkbaar. De hoogteverschillen tussen de opnames bedragen niet meer dan twee decimeter. Tussen 6500 m en 8200 m liggen de opeenvolgende opnames van 2016 - 2018 steeds lager, terwijl de opnames van 2019 - 2022 juist hoger liggen. De laatste twee jaren 2023 en 2024 liggen weer lager dan de periode daarvoor. Daarmee lijkt er nog geen sprake van een trendmatige verandering in de hoogte van dat deel van de Ballastplaat. De hoogteveranderingen van de twee undulaties aan de noordwestzijde van de Ballastplaat (Figuur 4-1, van 5500 tot 6500 meter) corresponderen met het opschuiven van de meest noordwestelijke undulatie naar het noordwesten en het geprononceerder worden van de meer zuidoostelijke undulatie.

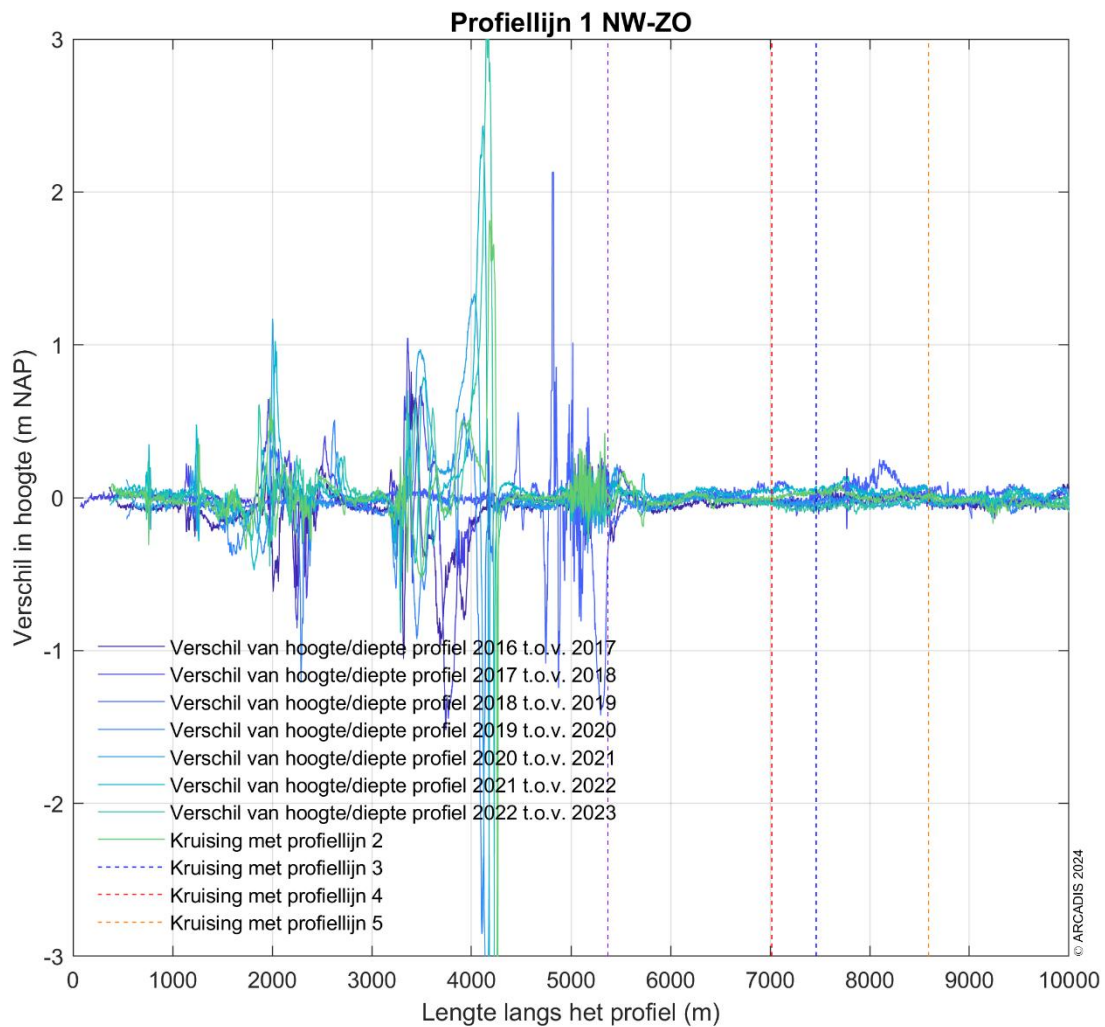
In Figuur 4-3 zijn de verschillen tussen de opeenvolgende bodemliggingen uitgezet. In de delen van deze raaien waar alle waarden aan één zijde van de grafiek liggen, is sprake van een trendmatig hoger of lager worden. Duidelijk is dat dit slechts voor beperkte delen van deze raai aan de orde is. Combinaties van waarden boven de nul met vlak daarnaast waarden onder nul wijzen op het verplaatsen van morfologische eenheden. Het duidelijkste voorbeeld is bij de middelste (nummer 2) van de drie geultjes en ook bij de undulaties op de Ballastplaat (Figuur 4-1, rond 6000 meter).



Figuur 4-1 Dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 – 2024.



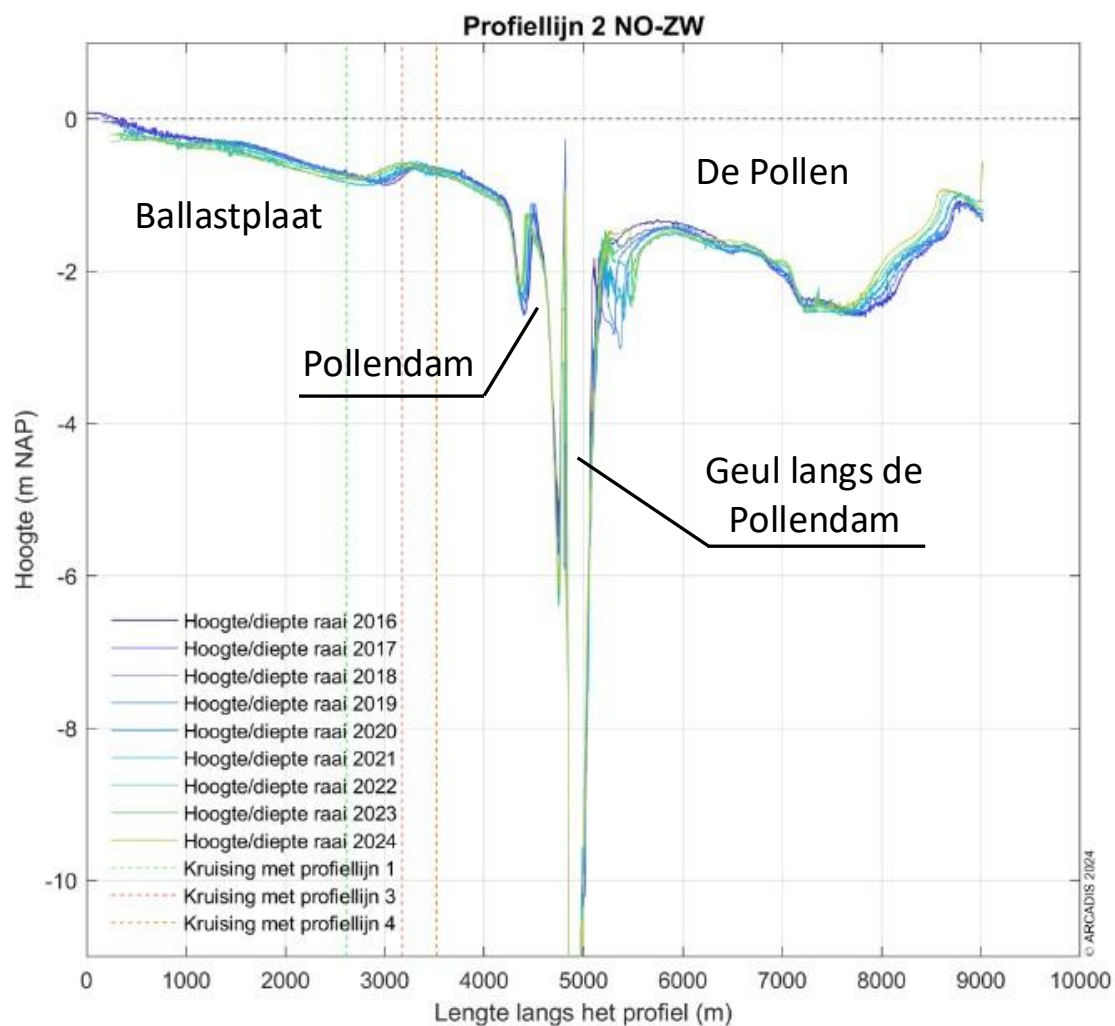
Figuur 4-2 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 2 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 -2024 (Detail van Figuur 4-1).



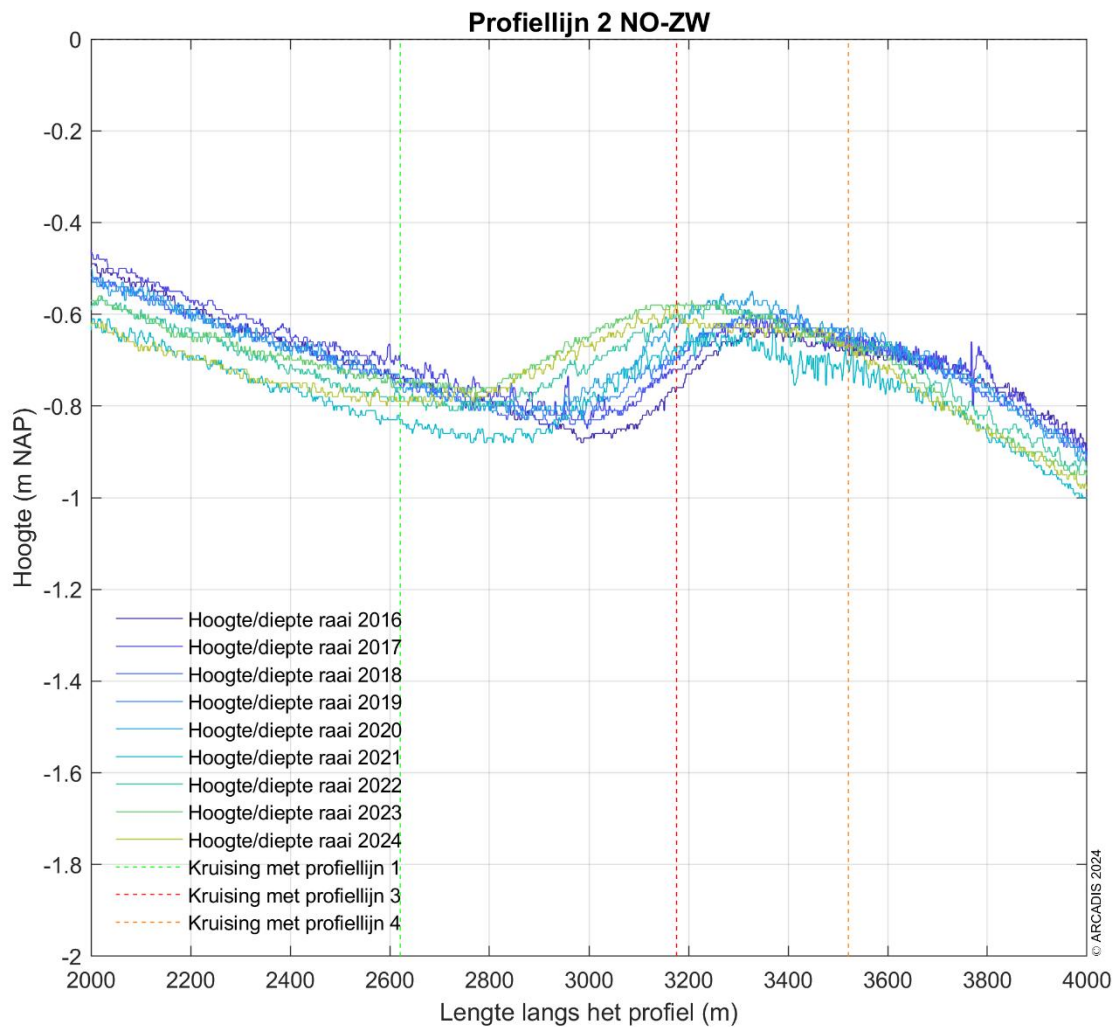
Figuur 4-3 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens tussen 2016-2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van het opvolgende jaar hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van het eerdere jaar.

4.2 Observaties raai 2

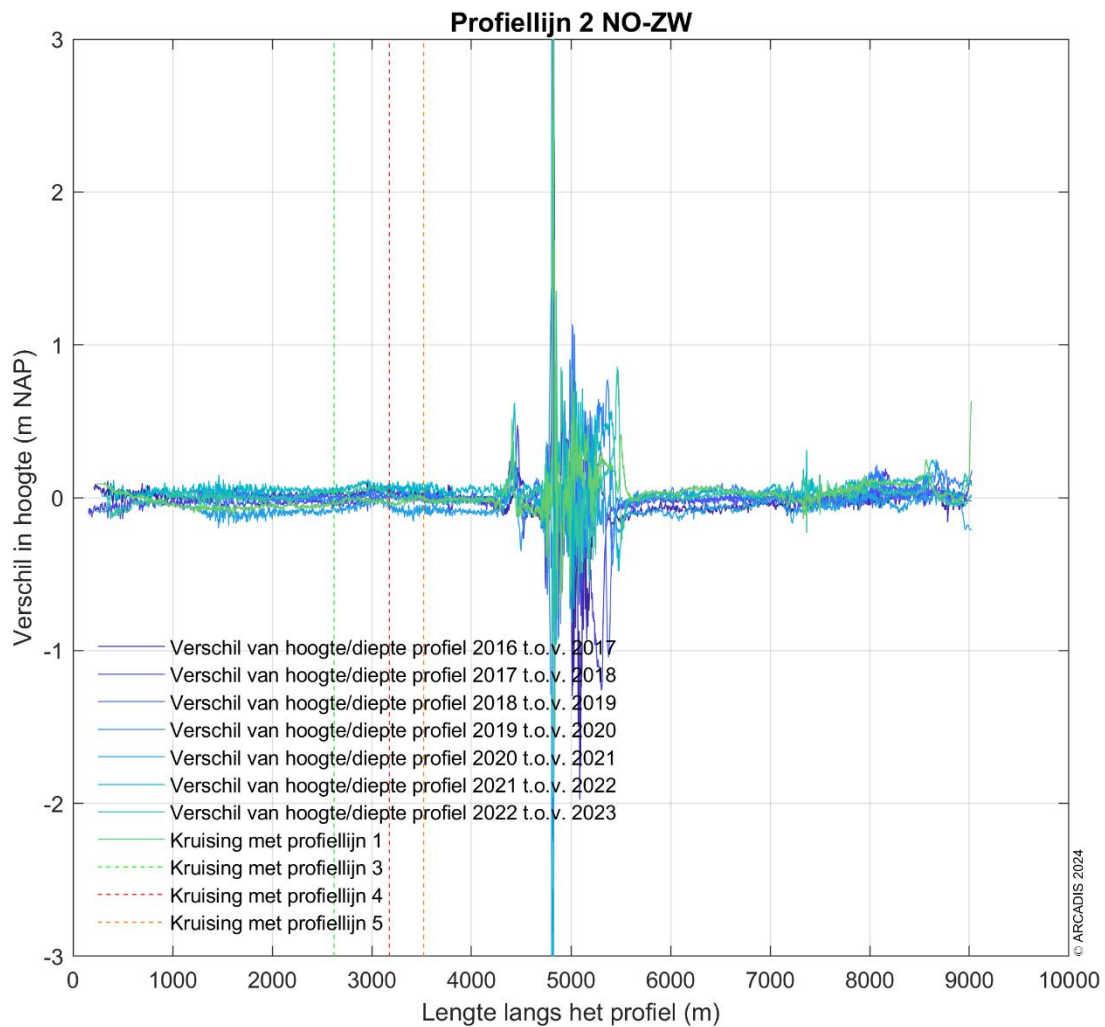
Figuur 4-4 toont de dwarsdoorsnede van profiellijn 2 in een overzicht. In deze dwarsdoorsnede is duidelijk dat de grotere en meer zichtbare veranderingen in de morfologie alleen optreden aan de randen van de geulen ten noordoosten en zuidwesten van de Pollendam. Deze veranderingen leiden tot een variatie in de gemiddelde waterdiepte van 0,1 meter met als gemiddelde 1,7 meter zoals zichtbaar is in Figuur 3-2. De morfologische veranderingen op de droogvallende platen zijn zeer beperkt. Figuur 4-5 laat een detail van de Ballastplaat zien uit profiellijn 2. De gemeten diepteligging lijkt nergens meer dan een decimeter te verschillen tussen de opnames. Structurele verschillen, met de opeenvolgende metingen consequent hoger of lager dan de voorgaande op de Ballastplaat, doen zich in deze profiellijn niet voor. De dynamiek rondom de geulen is goed te zien Figuur 4-6.



Figuur 4-4 Dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024.



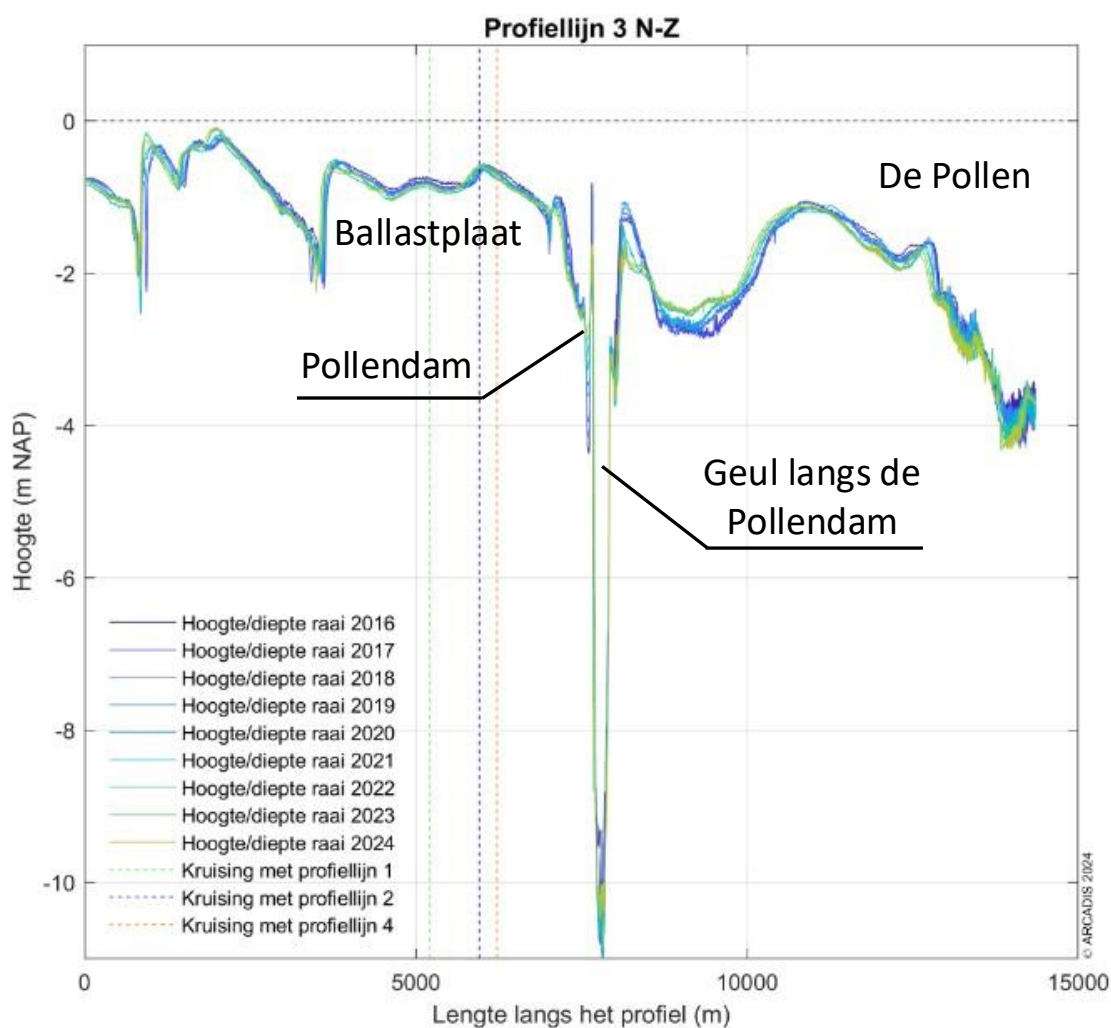
Figuur 4-5 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 – 2024 (Detail van Figuur 4-4).



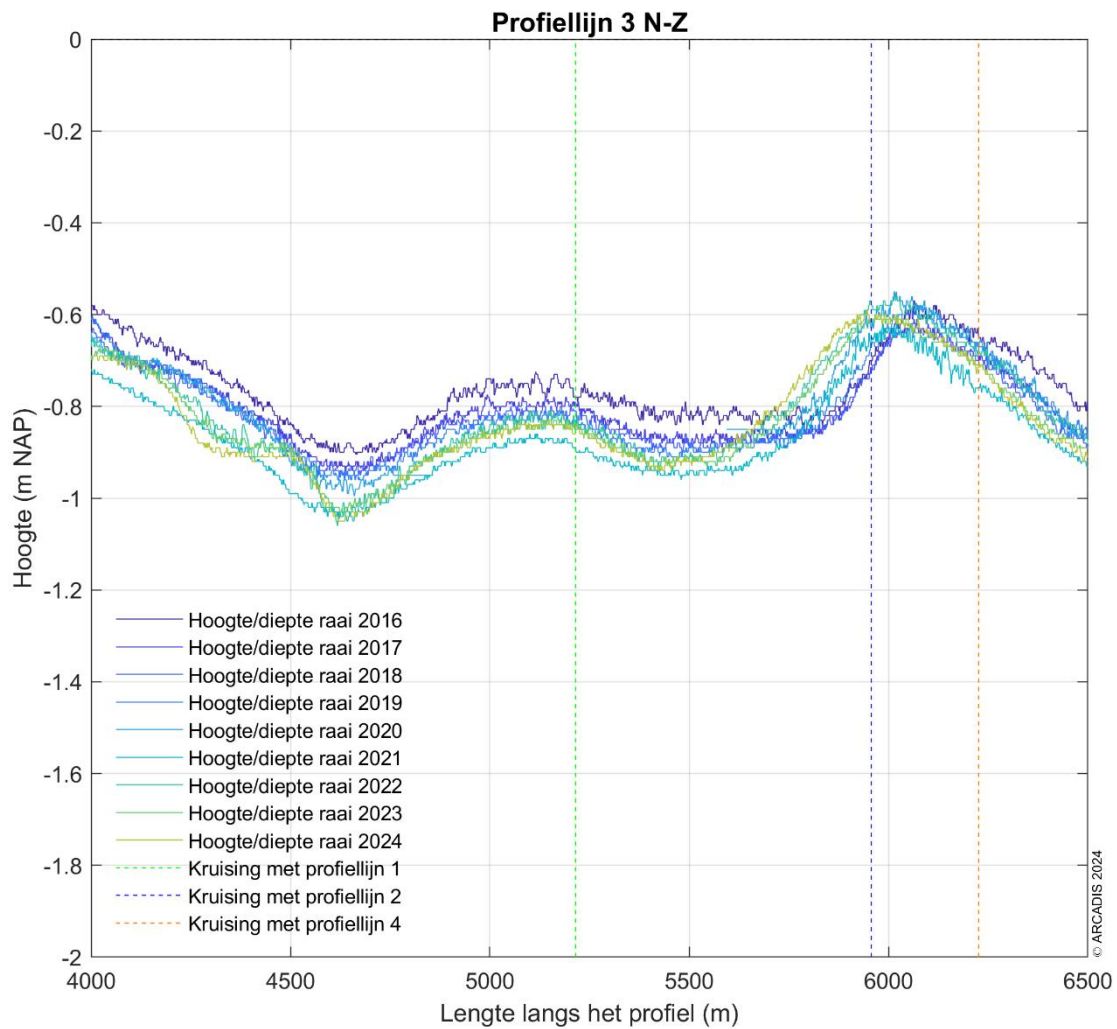
Figuur 4-6 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens tussen 2016-2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van het opvolgende jaar hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van het eerdere jaar.

4.3 Observaties raai 3

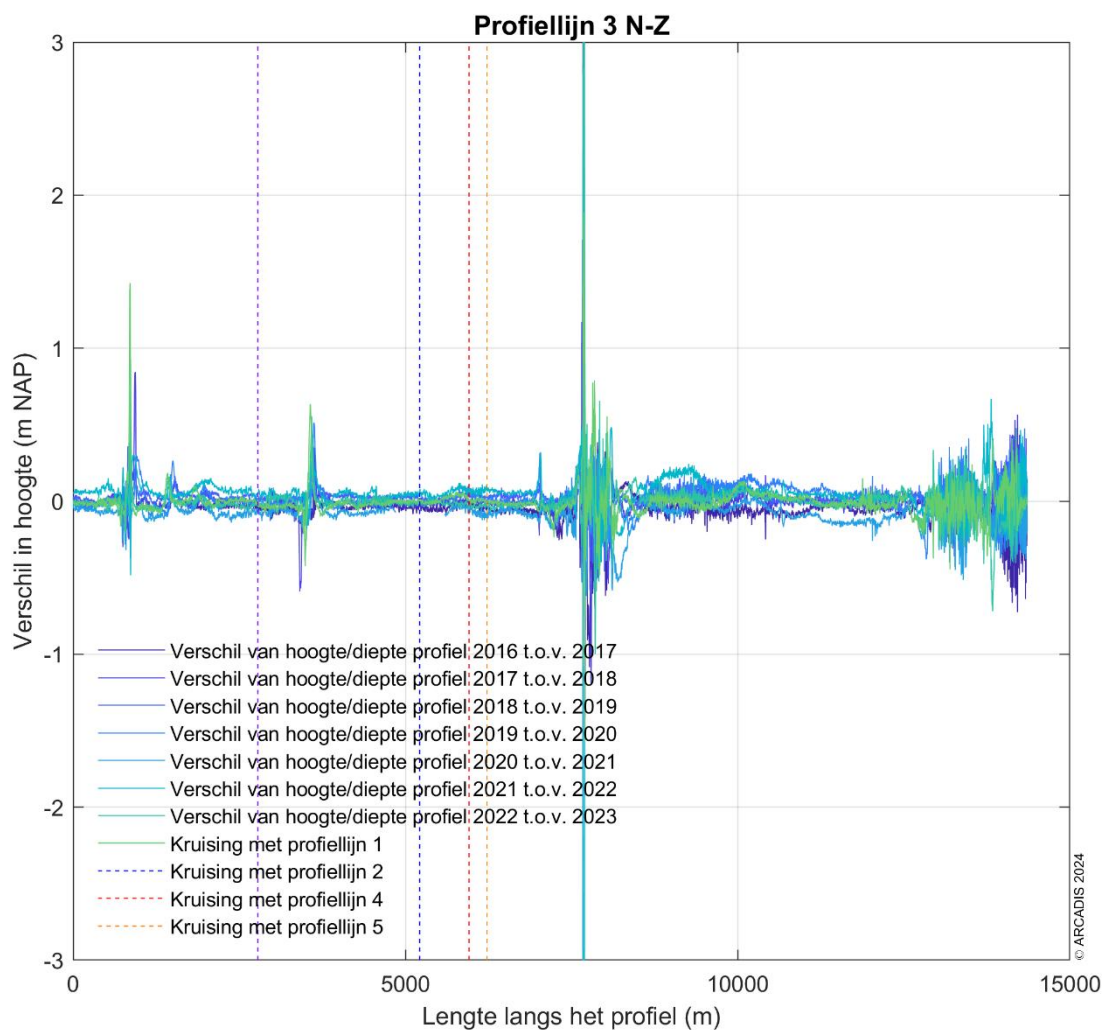
Figuur 4-7 is de overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 3, waarin zichtbaar is dat de grotere veranderingen alleen optreden rond de geulen in het gebied. Deze veranderingen leiden niet tot een trendmatige verandering van de gemiddelde waterdiepte van de geulen en platen, zoals zichtbaar is in Figuur 3-2. Figuur 4-8 toont een detail van de Ballastplaat, waarin bij de aangepaste verticale schaal opvalt dat in het noordelijke deel, van 4500 tot 5700 meter de verdiepende trend de afgelopen jaren minder is. Sinds 2022 ligt de bodemligging zelfs weer iets hoger dan het jaar daarvoor. Vanwege de beperkte hoogteverschillen spreken we hier van een redelijk stabiele bodemligging. In de grafiek met de hoogteverschillen tussen de opeenvolgende opname in Figuur 4-9 is vooral de dynamiek bij de geulen duidelijk zichtbaar. De uitschieters rond de geul langs de Pollendam zijn het resultaat van verschuivingen van deze geul.



Figuur 4-7 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024.



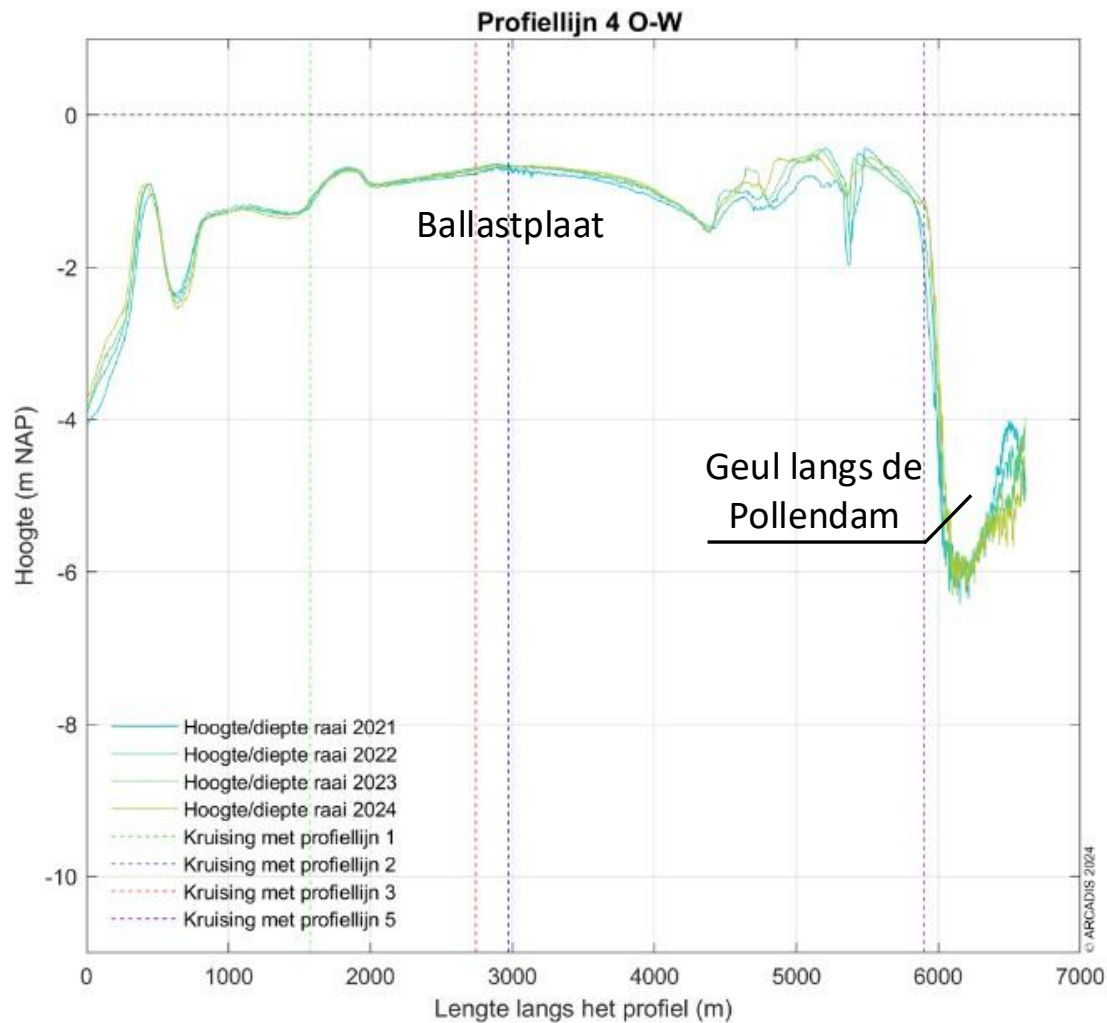
Figuur 4-8 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024 (Detail van Figuur 4-7).



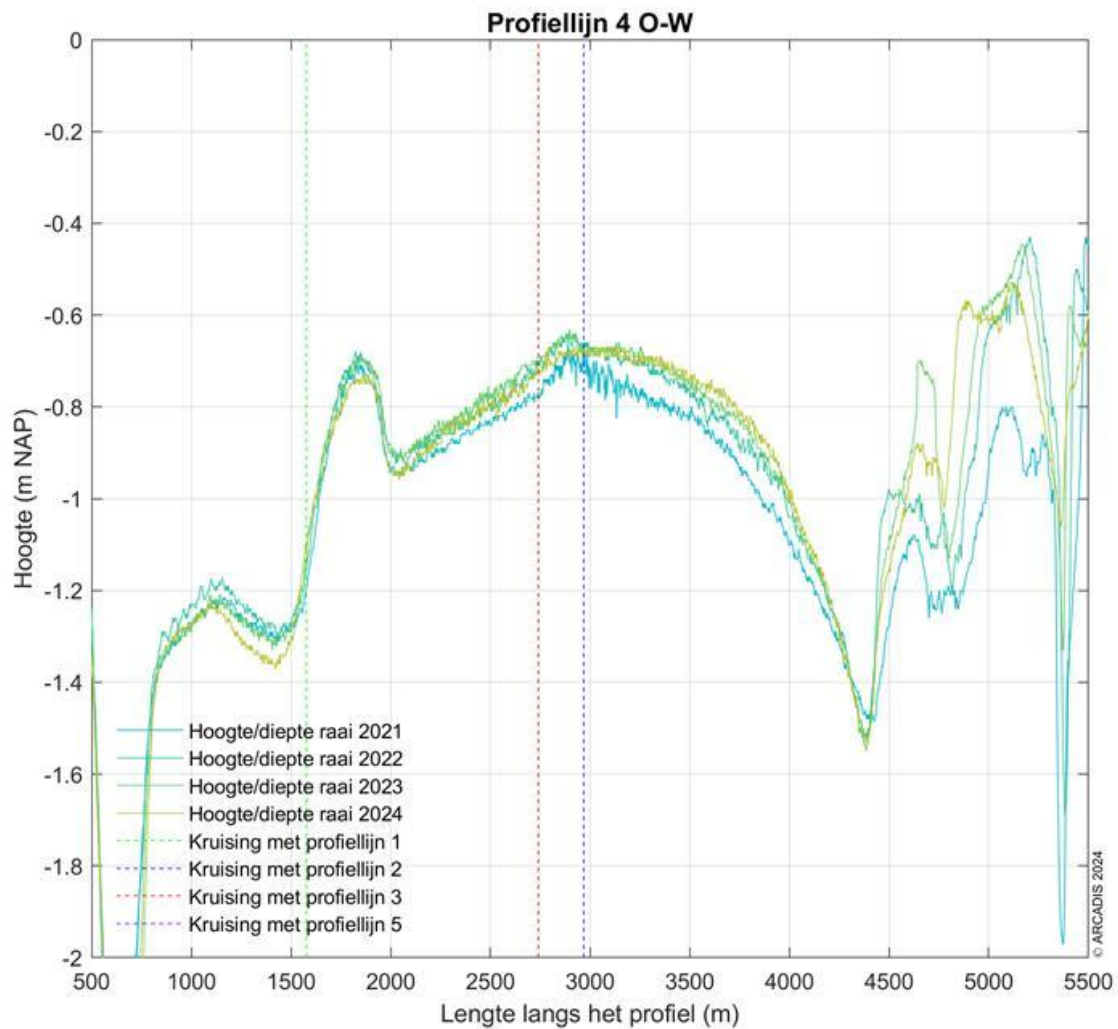
Figuur 4-9 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens tussen 2016-2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van het opvolgende jaar hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van het eerdere jaar.

4.4 Observaties raai 4

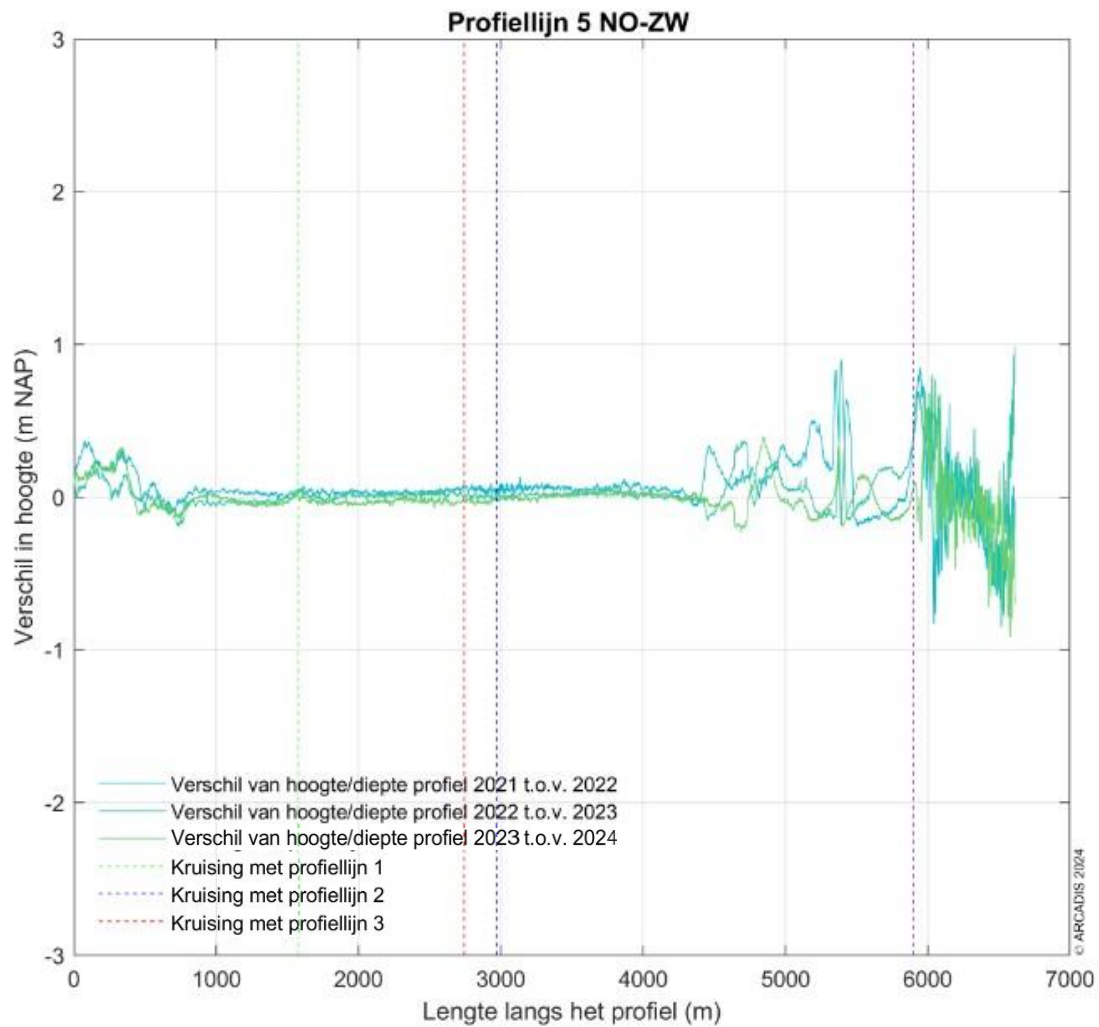
Figuur 4-10 is de overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 4, waarin zichtbaar is dat de grotere veranderingen optreden rond de geulen in het gebied en bij de ondieptes ten oosten van de Geul langs de Pollendam. Sinds 2021 is de gemiddelde hoogteligging van de geulen en ondieptes met 0,1 meter toegenomen zoals zichtbaar in Figuur 3-2. Figuur 4-11 toont een detail van de Ballastplaat, waarin bij de aangepaste verticale schaal opvalt dat de plaat iets hoger is komen te liggen. De grotere verhogingen zijn zichtbaar tussen 4300 meter en 5500 meter. Hier liggen de platen 2021 lager dan in de opvolgende jaren. In de grafiek met de hoogteverschillen in Figuur 4-12 is deze dynamiek bij de geulen duidelijk zichtbaar.



Figuur 4-10 Dwarsprofiel langs profiellijn 4 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024.



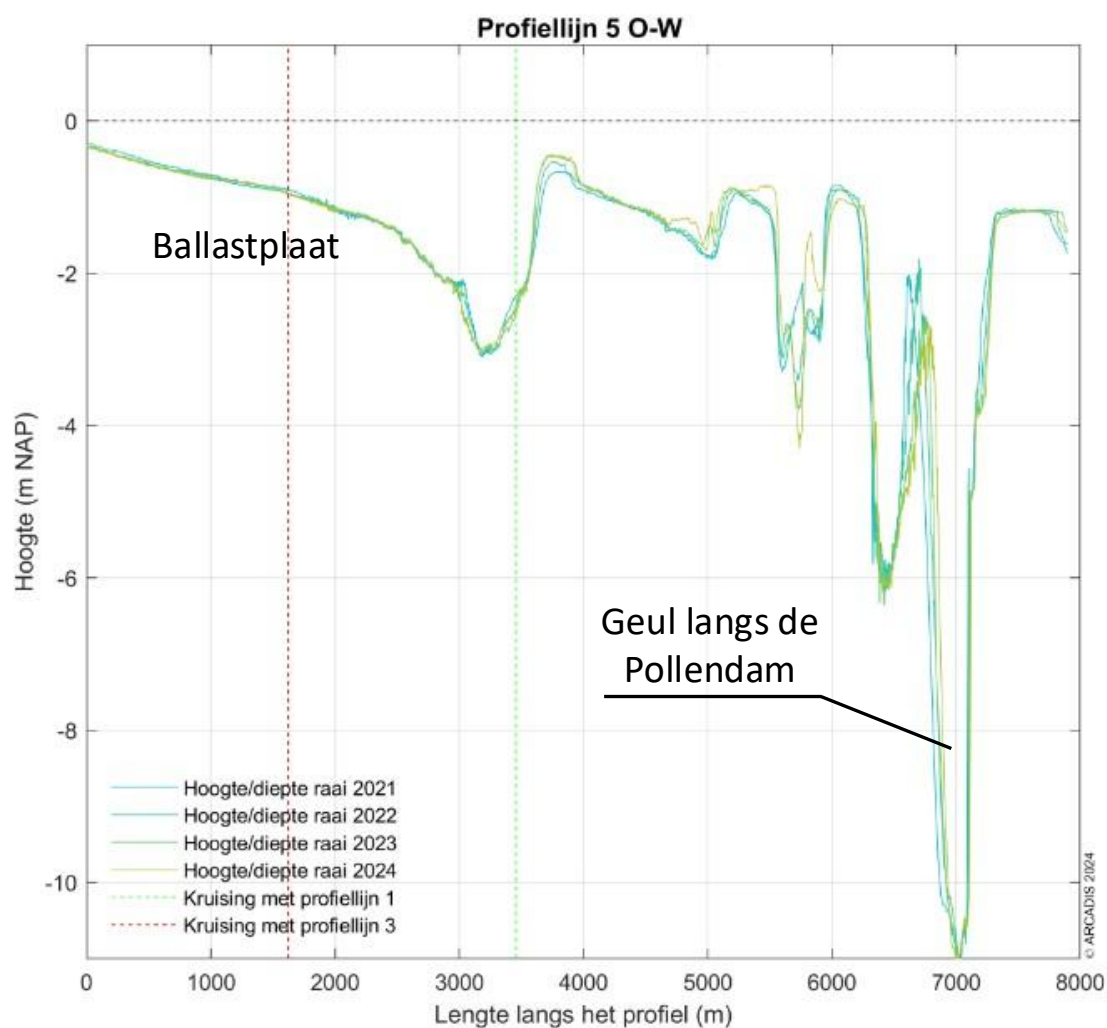
Figuur 4-11 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 4 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024 (Detail van Figuur 4-10 Figuur 4-7).



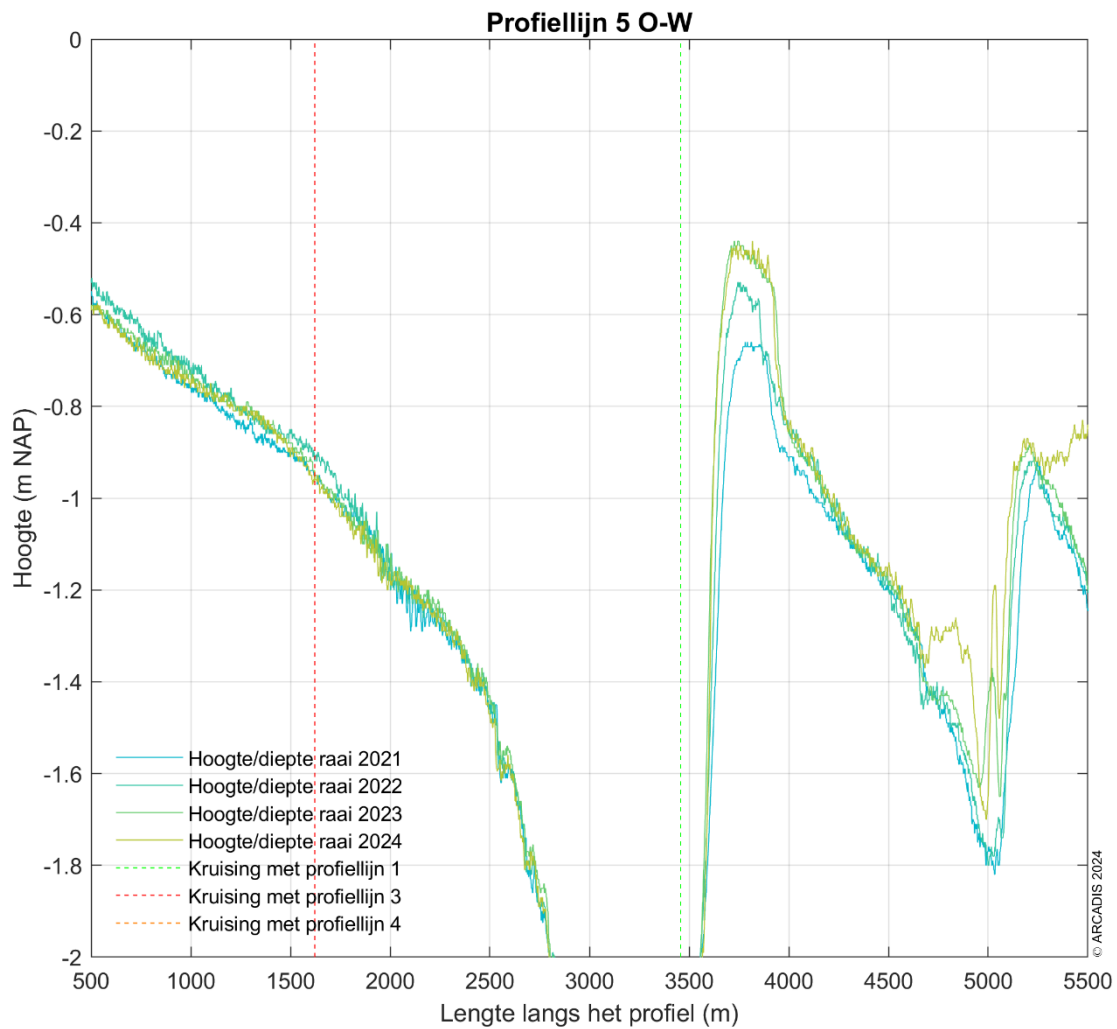
Figuur 4-12 Vershilplot langs profiellijn 4 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens tussen 2021-2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van het opvolgende jaar hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van het eerdere jaar.

4.5 Observaties raai 5

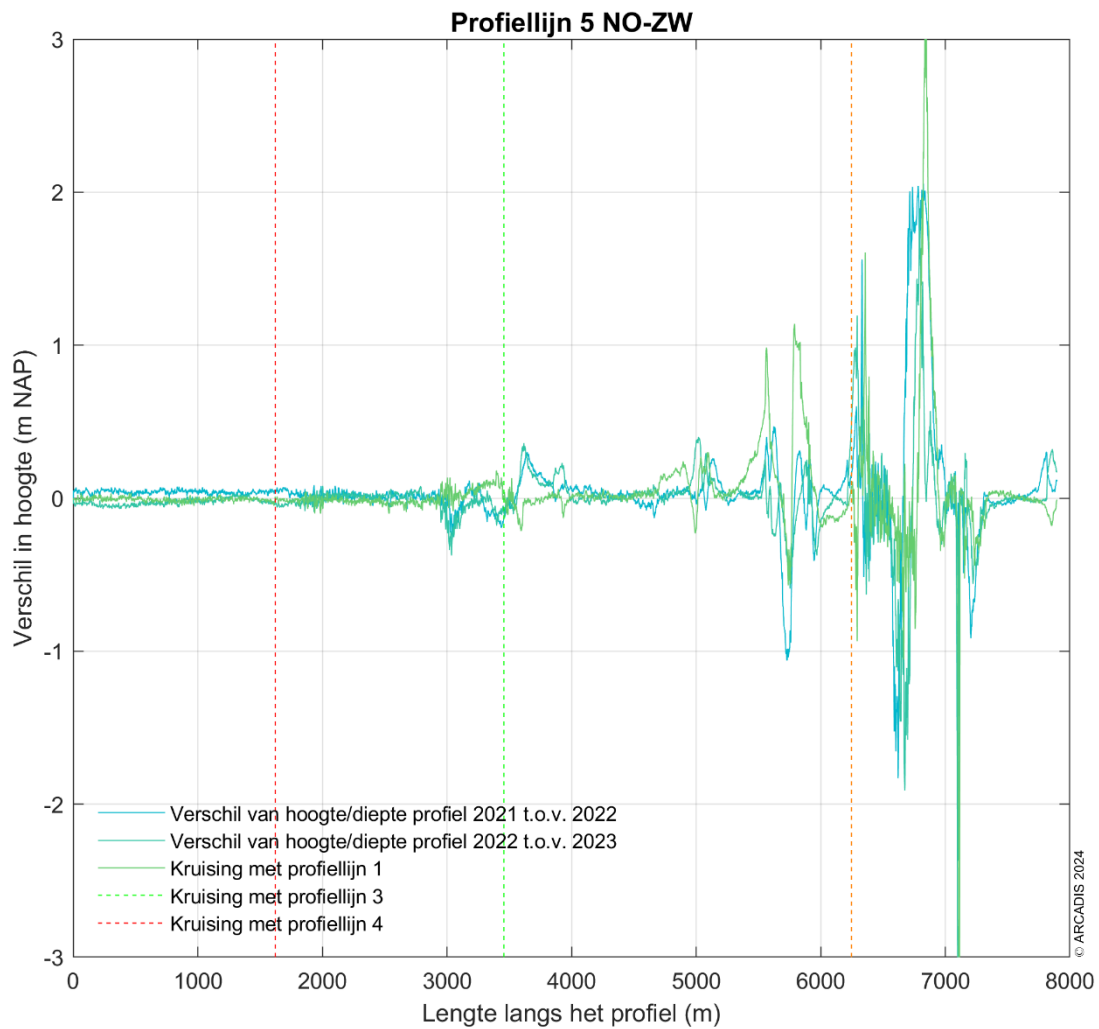
Figuur 4-13 is de overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 5, waarin zichtbaar is dat de grotere veranderingen alleen optreden rond de geulen in het gebied. Sinds 2021 is de gemiddelde waterdiepte van de geulen en platen ongeveer 0,1 meter verhoogd zoals zichtbaar in Figuur 3-2. Figuur 4-14 toont een detail van de Ballastplaat en de hoger gelegen delen. Hierin is zichtbaar dat de hoofteligging van de Ballastplaat stabiel is. De hoogteligging van de platen vanaf 3000 meter is dynamischer waarbij tot ongeveer 5500 meter een verschil van enkele decimeters zichtbaar is tussen de verschillende metingen. De geul langs de Pollendam en de naastgelegen geulen verschuiven ieder jaar waardoor er op de verticale schaal hoogteverschillen zichtbaar zijn van meer dan 1 meter. In de grafiek met de hoogteverschillen tussen de opeenvolgende opname in Figuur 4-15 is dit zichtbaar vanaf 5500 meter.



Figuur 4-13 Dwarsprofiel langs profiellijn 5 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024.



Figuur 4-14 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 5 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 - 2024 (Detail van Figuur 4-13).



Figuur 4-15 Vershilplot langs profiellijn 5 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens tussen 2021-2024. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van het opvolgende jaar hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van het eerdere jaar.

5 VAKLODINGEN EN HET AREAAL DROOGVALLENDE PLATEN

5.1 Introductie van de meetmethode

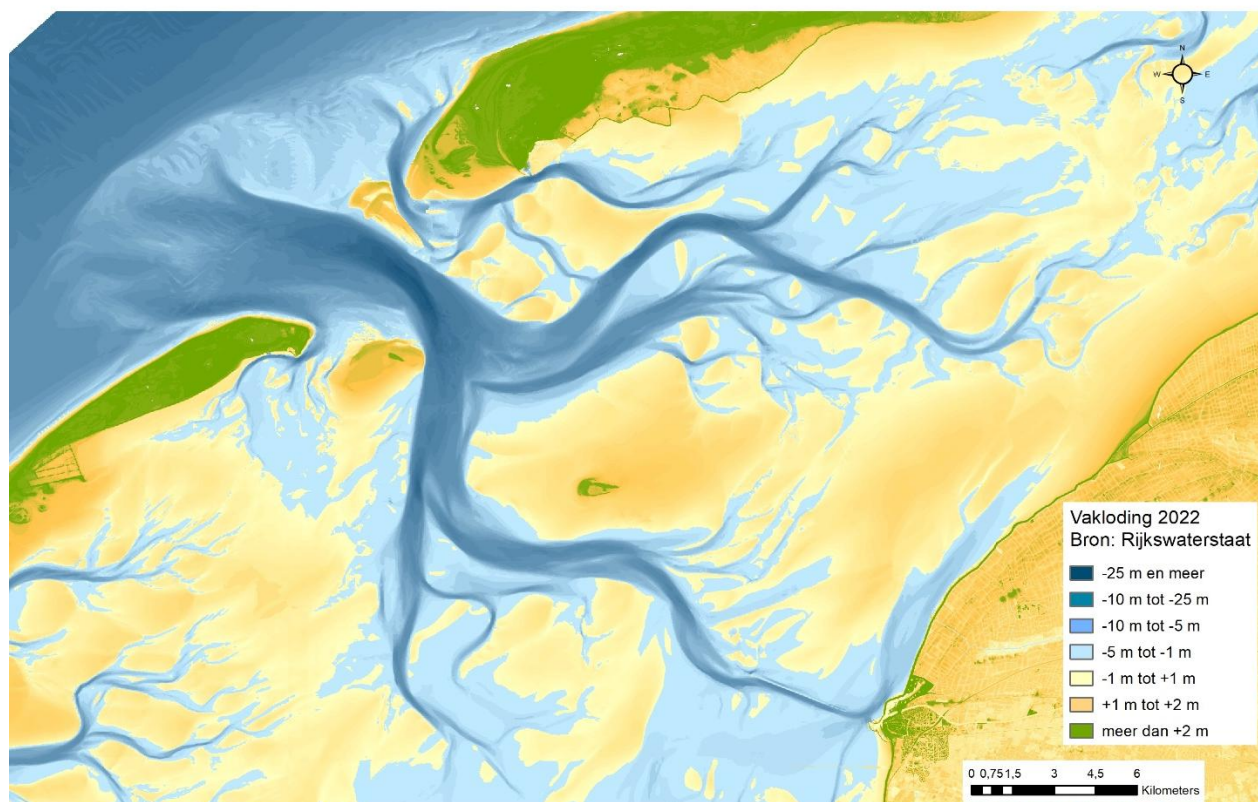
Voor de vaklodingen worden in opdracht van Rijkswaterstaat dieptemetingen van de geulen uitgevoerd met een (singlebeam) echolood dat is gemonteerd op een vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur. Al varend wordt de diepte onder het schip gemeten. De hoogte van de droogvallende platen wordt ingemeten met LIDAR. LIDAR metingen zijn hoogtemetingen die worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig of helikopter of met een drone, met behulp van een naar de grond gerichte laserbundel en plaatsbepalingsapparatuur. Al vliegend wordt de hoogte gemeten in een baan onder het toestel. Door een vliegpatroon in raaien komen de banen langs elkaar te liggen en wordt een gebiedsdekkende opname verkregen. De data van de beide metingen wordt door Rijkswaterstaat 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. 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).

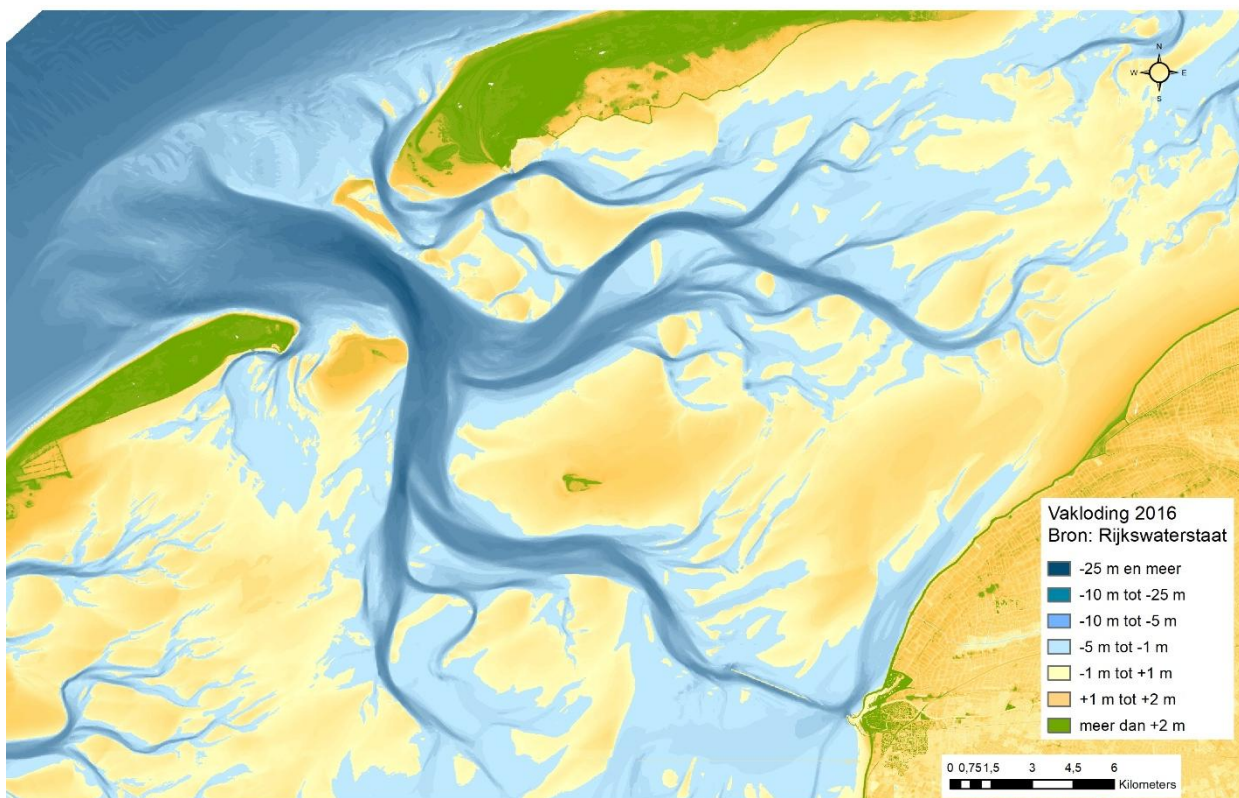
Rijkswaterstaat is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. Frisia vraagt de gegevens op bij Rijkswaterstaat.

5.2 Vakloding 2022

In 2022 zijn door Rijkswaterstaat de metingen voor de vaklodingen uitgevoerd in het kombergingsgebied van het Vlie (Figuur 5-1). Ter vergelijking is ook de voorgaande vakloding uit 2016 opgenomen in Figuur 5-2.



Figuur 5-1 Overzichtskartaal van de vakloding 2022 van het kombergingsgebied van het Vlie en de aangrenzende kombergingsgebieden.



Figuur 5-2 Overzichtsk kaart van de vakloding 2016 van het kombergingsgebied van het Vlie.

5.3 Bepaling sedimentatie en erosie kombergingsgebied

Sinds de afsluiting van de Zuiderzee is in de Westelijke Waddenzee sprake van een toename van het sedimentvolume (Elias, 2019). In de eerste tientallen jaren na de afsluiting was de omvang van sedimentatie (uitgedrukt in m³/jaar) het grootst, terwijl deze sinds de jaren '90 van de vorige eeuw minder snel lijkt te verlopen (Elias, 2019). Voor de bepalingen van de trends in de sedimentatie en erosie zijn verschillende technieken beschikbaar. De essentie van de recent doorontwikkelde technieken is dat naar de trends van de deelgebieden wordt gekeken, waarbij de deelgebieden dusdanig worden gekozen dat deze zoveel als mogelijk een vergelijkbare ontwikkeling hebben doorgemaakt. Recent is op deze wijze gekeken naar de trends in Eierlandse gat (Elias, 2022). De methode uit Elias (2022) is anders dan de methode in Elias (2019). Voordat wordt overgegaan tot een analyse van de trends in de sedimentatie en erosie in het Vlie (en Marsdiep, moet worden bepaald welke analysemethode hiervoor het meest geschikt is.

Om inzicht te geven in de omvang van de sedimentatie en erosie in de periode 2016 en 2022 is gekeken naar de hoogteverschillen in de opeenvolgende opnames. De resultaten daarvan staan in Tabel 5-1. De waargenomen hoogteverschillen laten zien dat de sedimentatie in het Vlie groter is dan de erosie.

Tabel 5-1 Analyse van de hoogteverschillen tussen de vaklodingen 2016 en 2022.

Oppervlakte		
Totale oppervlakte ¹	678.542.800	m ²
Erosie-oppervlakte	299.430.800	m ²
Sedimentatie-oppervlakte	358.657.200	m ²
Geen verandering	20.454.800	m ²
Volume		
Erosievolume	-101.112.096	m ³

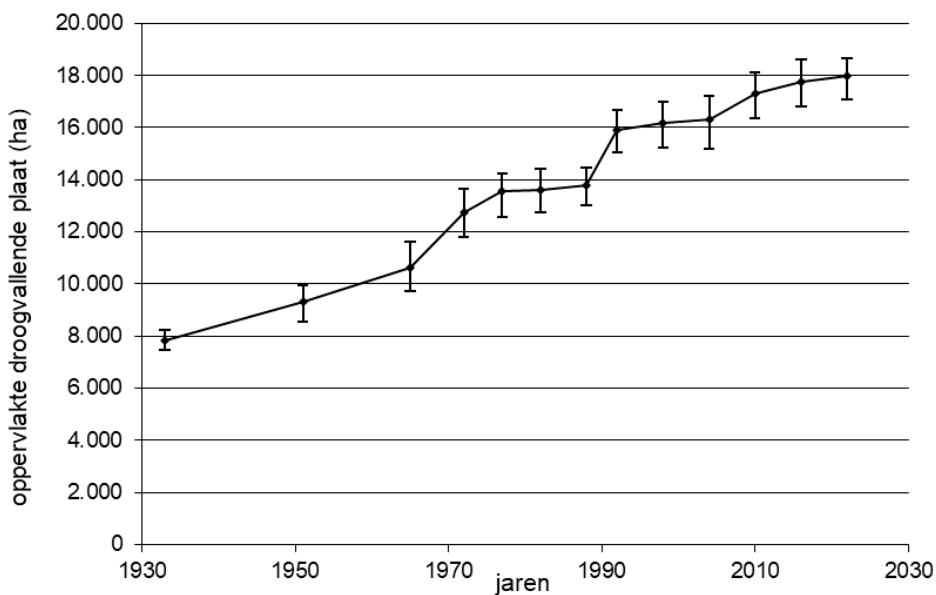
Sedimentatievolume	124.259.880	m ³
Netto volumeverandering	23.147.784	m ³
Hoogteverandering		
Gemiddelde erosie	-0,338	M
Gemiddelde sedimentatie	0,346	M
Gemiddelde hoogteverandering	0,034	M

¹ Dit is het oppervlakte waarvoor zowel in 2016 als in 2022 gegevens beschikbaar zijn voor het vaklodingsgebied Vlie.

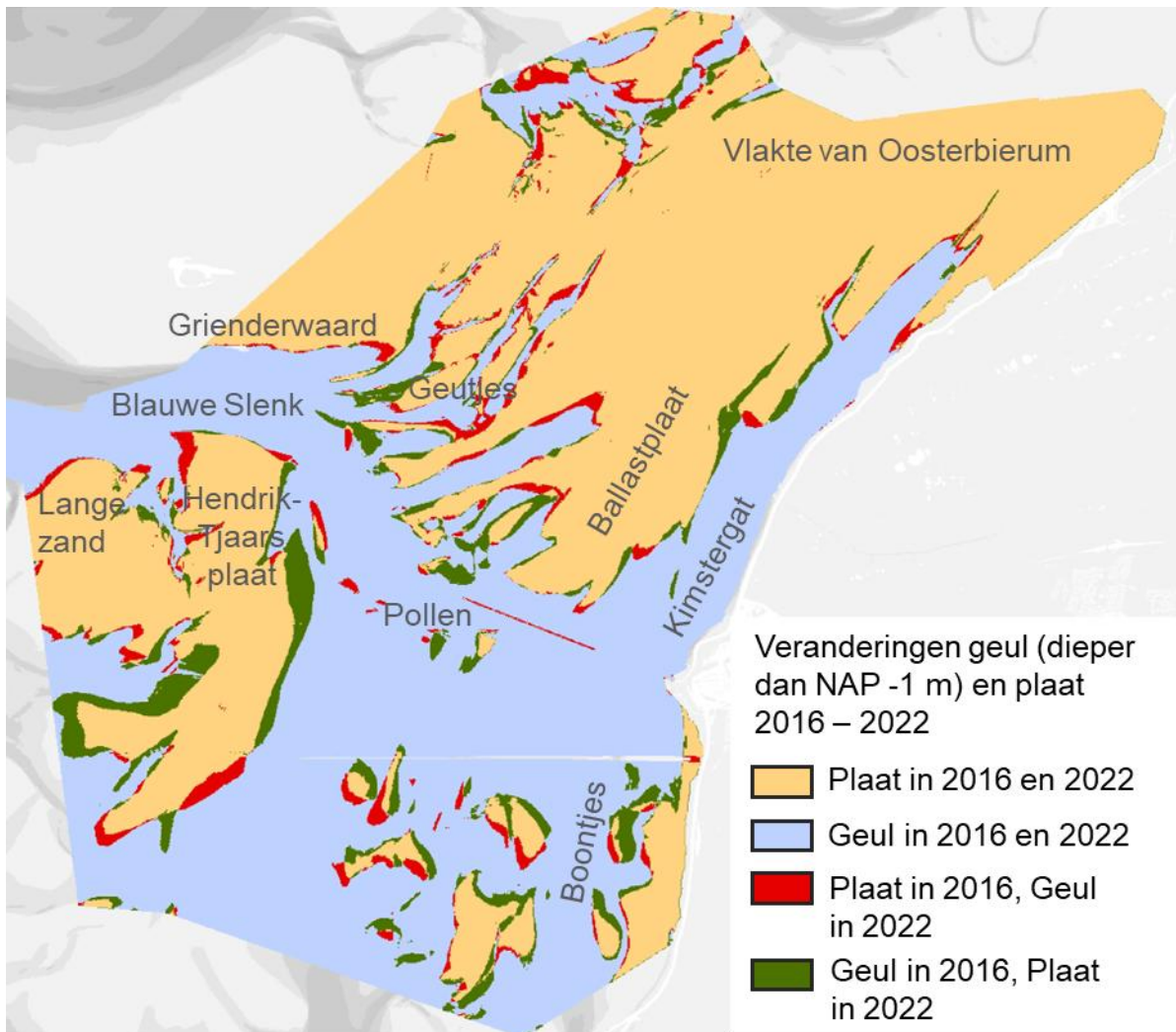
5.4 Areaal droogvallende wadplaten studiegebied

In het kombergingsgebied Vlie is het areaal van de droogvallende platen als gevolg van de forse sedimentatie aanzienlijk toegenomen. Dat die trend onverminderd doorzet, wordt bevestigd door de resultaten van de vaklodingen. Dit is inzichtelijk gemaakt in de onderstaande grafiek (Figuur 5-3), waarin de vakloding van 2022 is verwerkt. Het plaatareaal is steeds toegenomen bij de opeenvolgende vaklodingen. De toename van het oppervlakte droogvallende platen in de periode 1992-2022 bedroeg gemiddeld 77 ha/jaar.

Figuur 5-4 laat het studiegebied zien waar deze trend voor is bepaald. In deze kaart is aangegeven welke delen van de wadplaten van de hoogtemeting 2016 tot die in 2022 wadplaat zijn gebleven en welke delen erbij dan wel af zijn gegaan. Uit deze kaart wordt duidelijk dat de trendmatige toename van het areaal wadplaten niet slechts uit een toename bestaat. Er ontstaat meer wadplaat (de groene delen in Figuur 5-4) dan er verdwijnt (de rode delen in Figuur 5-4).



Figuur 5-3 Grafiek van de ontwikkeling van het areaal droogvallende plaat (tussen LAT en GHWS) in het studiegebied (Figuur 5-4).



Figuur 5-4 Kaart met de stabiliteit van de wadplaten (delen hoger dan NAP -1 m) van het studiegebied (het gebied met de heldere kleuren).

6 VERGELIJKING HOOGTEMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT

In het monitoringprogramma wordt de absolute hoogte van delen van de Ballastplaat in drie onderdelen van het monitoringprogramma ingemeten. In Tabel 6-1 staan de verschillende morfologische onderdelen van het monitoringsprogramma. Bij de vaklodingen (inclusief de LiDAR-hoogtemetingen) wordt de hoogte van het hele kombergingsgebied gemeten, waaronder de hele Ballastplaat. Bij de raaimetingen wordt de hoogte in vijf raaien gemeten, waarvan er een op het hogere deel van de Ballastplaat loopt. En bij de Spijkermetingen (sedimentatiemetingen, Marijt et al., 2025) wordt incidenteel ook de hoogte van de Spijkerlocaties opgemeten. Omdat de onafhankelijk van elkaar zijn uitgevoerd, geeft dit de mogelijkheid om een onderlinge vergelijking uit te voeren. Deze onderlinge vergelijking geeft inzicht in de praktische nauwkeurigheid van de hoogtemetingen. In dit hoofdstuk wordt hierop ingegaan. In het volgende hoofdstuk worden de waargenomen morfologische veranderingen besproken.

Tabel 6-1 Overzicht van de verschillende metingen en waarnemingen aan de droogvallende delen van de morfologie die zijn betrokken in het monitoringsprogramma zoutwinning Waddenzee.

Naam		Ruimtelijke schaal	Ruimtelijke resolutie	Frequentie
Vaklodingen	3D	Kombergingsgebied	20 m x 20 m	Iedere 6 jaar
LiDAR	3D	Droogvallende delen Kombergingsgebied	2 m x 2 m	Iedere 3 jaar
Raaimetingen	2D	5 raaien in studiegebied	decimeter	Ieder jaar
Spijkermetingen	1D	28 actieve locaties op Ballastplaat Zuid en Midden	Per locatie 4 puntmetingen op 1 m afstand	Ruwweg 1 keer per jaar

In het rapport over de monitoring van de morfologie van vorig jaar was in hoofdstuk 6 een beschrijving opgenomen van de kleinschalige details in de raaimetingen en de LiDAR hoogtemetingen. Deze beschrijving is overgenomen in Bijlage D *Interpretatie van de verschillende hoogtemetingen* van het voorliggende rapport. De kleinschalige hoogtevariëaties die zichtbaar zijn in de raaimetingen, zijn waarschijnlijk gerelateerd aan de aanwezigheid van bodemvormen. In dit hoofdstuk worden raaimetingen getoond waarin deze hoogtevariëaties zichtbaar zijn als er geen middeling over meerdere meetpunten heeft plaatsgevonden.

6.1 Beknopte toelichting op de meettechnieken

De raaimetingen worden varend uitgevoerd met een single-beam echolood, zoals in het voorliggende rapport wordt beschreven (zie hoofdstuk 2).

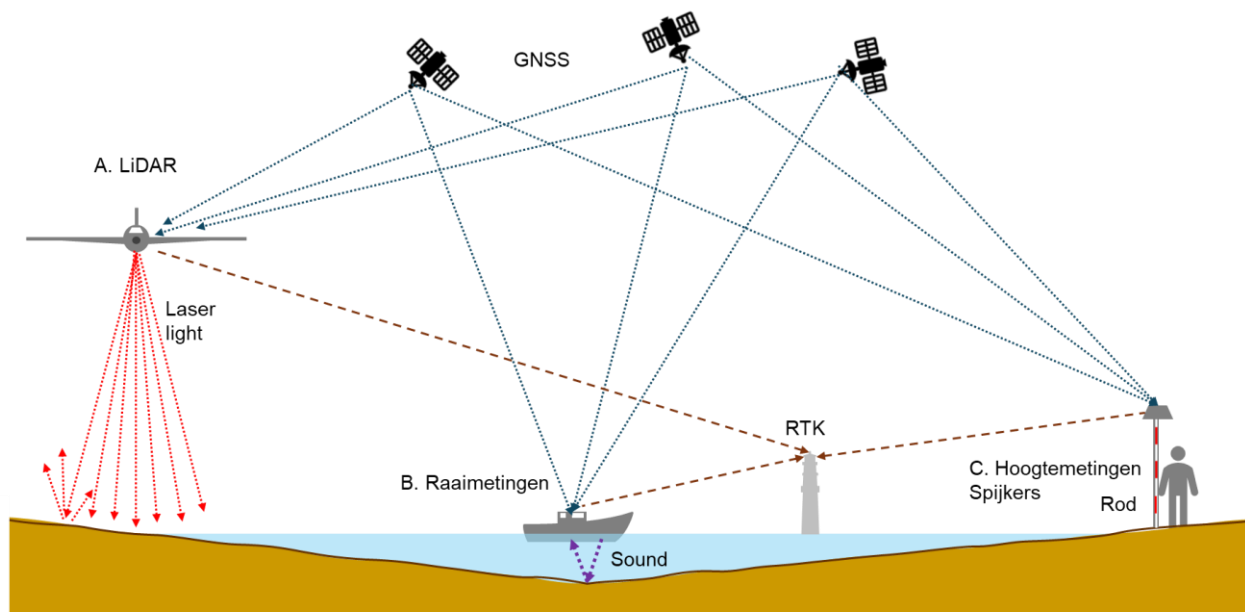
De vaklodingen worden gemeten met twee technieken. De “natte delen” van de kombergingsgebieden, dat wil zeggen de getijdegeulen en de lagere delen van de droogvallende platen worden varend ingemeten met een single-beam echolood in meetraaien met een onderlinge afstand van tweehonderd meter. De “droge delen” van de kombergingsgebieden worden gebiedsdekkend ingemeten met LiDAR vanuit een vliegtuig. De overgang tussen de natte en droge metingen is afhankelijk van het kwaliteitscriterium dat voor de LiDAR hoogtemetingen wordt gehanteerd. Bij de meest recente vakloding van het Vlie lag deze overgang rond de NAP -0,3 m in de omgeving van de Ballastplaat.

De Spijkermetingen bestaan primair uit metingen van de lokale sedimentatie en erosie, die worden bepaald door de dikte van de sedimentlaag vier keer per jaar te meten ten opzichte van een lokale referentie (de spijker die in de bodem is aangebracht). Om de sedimentatie en erosie te relateren aan de absolute hoogteveranderingen ten opzichte van NAP wordt om de paar jaar ook een hoogtemeting uitgevoerd met een DGPS-LRK meetapparaat. Deze metingen worden net als de sedimentatie-erosiemetingen uitgevoerd tijdens laagwater, als de Ballastplaat is drooggevallen.

De plaatsbepaling (x,y,z) vindt bij alle metingen plaats met DGNS-RTK. Bij deze plaatsbepaling wordt gebruik gemaakt van satellieten voor plaatsbepaling (GNSS, waarvan het GPS-netwerk het bekendste is) in

combinatie met landstations (RTK: Real-Time Kinetics). De verschillen zijn dat de LiDAR metingen worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig, de Raaimetingen worden uitgevoerd vanuit een schip en de Spijkermetingen lopend. Bij de LiDAR metingen wordt de afstand tussen vliegtuig en bodem gemeten op basis van de reflectie van een lichtsignaal door de lucht. Bij de raaimetingen wordt de afstand gemeten met de reflectie van een geluidssignaal door water. Bij de spijkermetingen wordt de afstand tussen het GPS ontvangststation en de wadbodem bepaald met een baak. Een schematische weergave van de drie meettechnieken staat in Figuur 6-1. Bij de LiDAR-metingen en Raaimetingen worden ook nog metingen uitgevoerd van de scheefstand van respectievelijk het vliegtuig en het schip, waardoor het meetsignaal wordt beïnvloed. Bij deze metingen worden daarvoor gecorrigeerd. Ook wordt bij de raaimetingen rekening gehouden met de voortplantingssnelheid van geluid in water die onder afhankelijk zijn van het zoutgehalte en de temperatuur. Voor die correctie worden ter plaatse dichtheidsmetingen uitgevoerd.

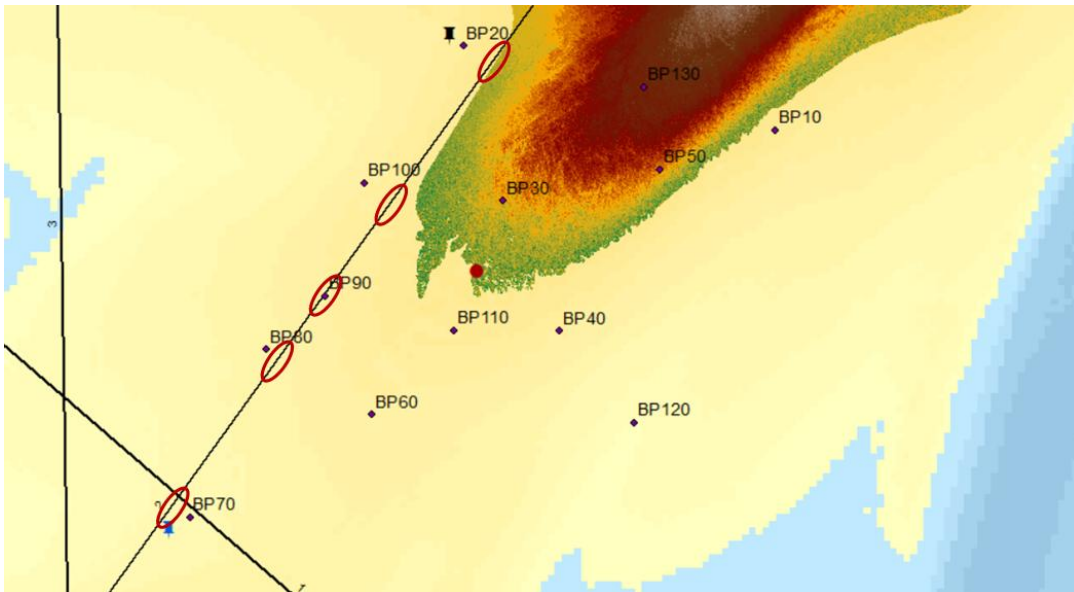
De verschillende metingen delen dus dezelfde basis, namelijk de DGNSS-RTK metingen, maar de meettechniek verschilt. Ook het moment van opname verschilt tussen de raaimeting en de twee andere metingen. De worden raaimetingen bij hoogwater uitgevoerd, zodat het schip over de plaat kan varen. De LiDAR-hoogtemetingen en de Spijkermetingen worden uitgevoerd tijdens laagwater.



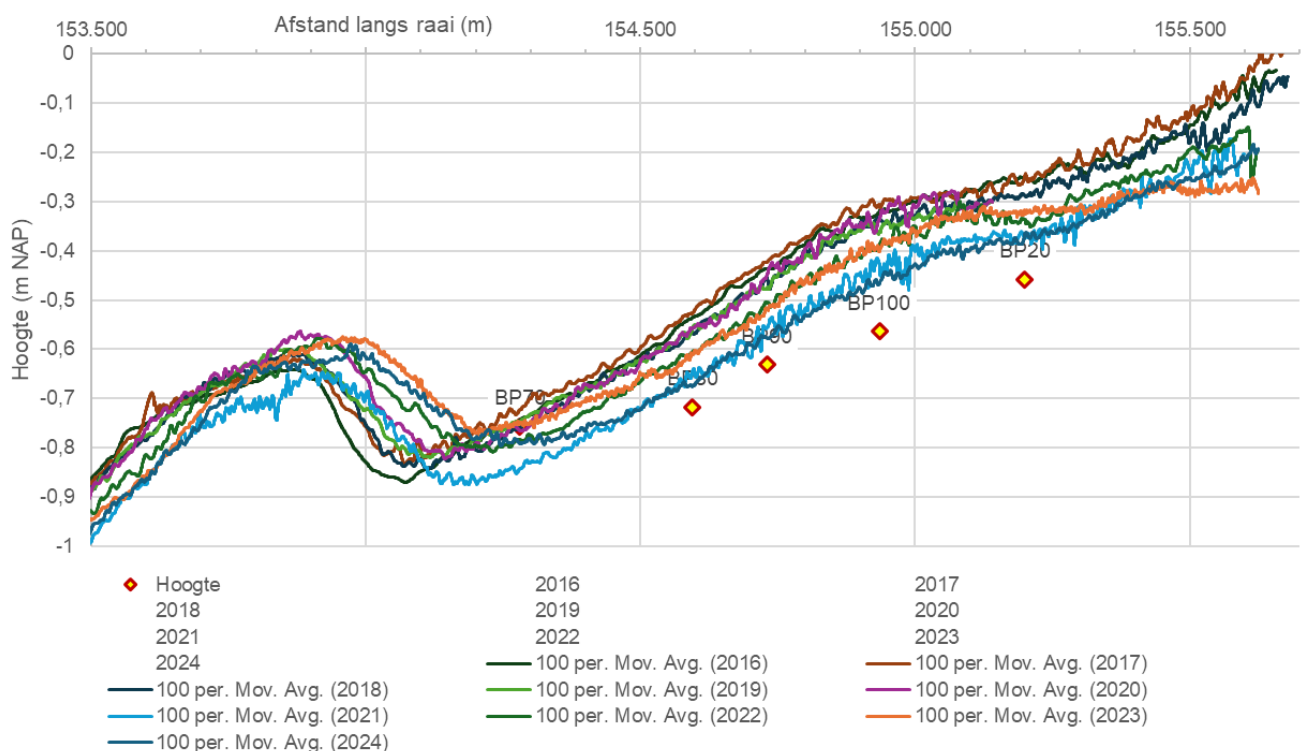
Figuur 6-1 Schematische weergave van de verschillende hoogtemetingen.

6.2 Vergelijking Raaimetingen en Spijkermetingen

De locaties van de Spijkermetingen liggen op een afstand van enkele tientallen meters naast meetraai 2, op één uitzondering na. Spijkermeting BP90 ligt namelijk vrijwel precies op raai 2. De locaties van beide metingen staan in Figuur 6-2. De meetresultaten van de raaimetingen staan in Figuur 6-3, waarbij voor de raaimetingen is gewerkt met een lopend gemiddelde over 100 meetpunten. Door met een lopend gemiddelde te werken wordt een deel van de variaties in de bodemhoogte die over korte afstand optreden, onder andere door de aanwezigheid van bodemvormen (zie bijlage D) uitgemiddeld.



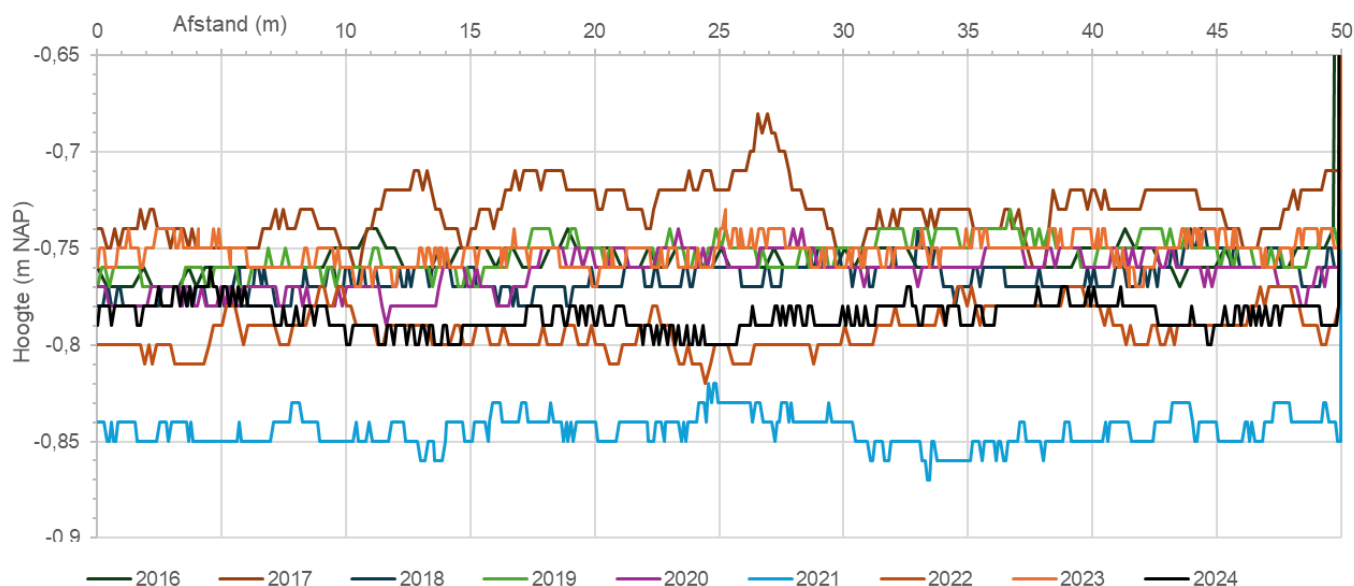
Figuur 6-2 Locaties van de Raaimetingen en de Spijkermetingen.



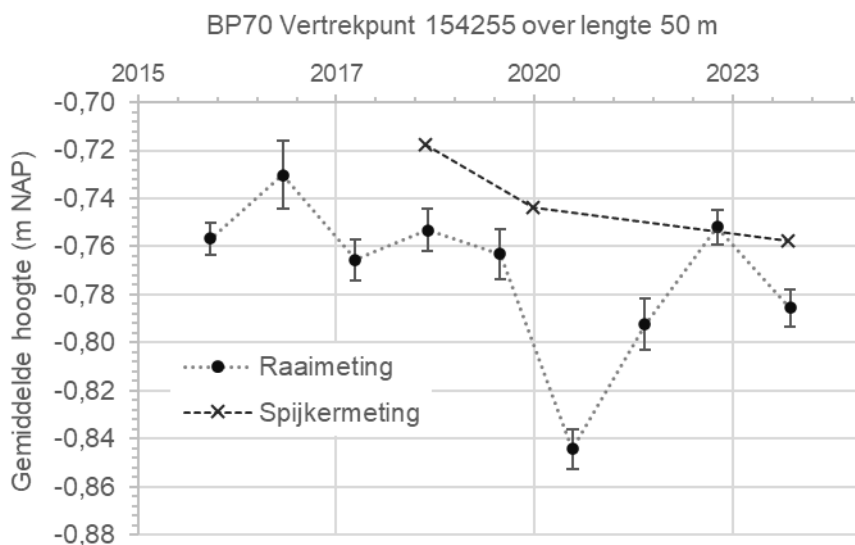
Figuur 6-3 Hoogtemetingen raai 2 en NAP hoogte van de spijkermetingen (25 maart 2024).

Voor de vergelijking van de hoogte van de raaimetingen met de hoogte van de Spijkermetingen zijn de hoogtes van een interval van 50 m genomen uit de raaimetingen. Het midden van het 50 m interval valt samen met de projectie van de Spijkermeting loodrecht op de raai. De hoogtevariëaties over de afstand van 50 m zijn gebruikt om de variatie te bepalen (standaarddeviatie). De gemiddelde hoogte over de lengte van 50 m is gebruikt om de gemiddelde hoogte bepalen en te vergelijken met de hoogtes van de Spijkermetinglocaties. Voor de vijf locaties waarvoor de Spijkermetingen en de raaimetingen in elkaars nabijheid liggen (Figuur 6-2), is steeds een grafiek opgenomen met de hoogte van de raaimetingen over het interval van 50 m en is een grafiek opgenomen met de gemiddelde hoogte van de raaimetingen en van de spijkermetingen. De beschrijving van de meetpunten loopt van zuidwest naar noordoost en begint bij BP70.

De hoogte in het interval van 50 m van de raaimetingen ter hoogte van de BP 70 staat in Figuur 6-4. In deze grafiek is zichtbaar dat de hoogtevariëties binnen de raaimetingen per jaar variëren, met de grootste variaties in 2017. Jaar op jaar is sprake van duidelijke verschillen in de hoogte, waarbij de meting van 2021 de laagste waarden geeft en die in 2017 de hoogste waarden. De gemiddelde waarden per jaar staan in Figuur 6-5 in combinatie met de hoogtes uit de spijkermetingen. De bandbreedte die is aangegeven bij de hoogte van de raaimeting is een indicatie van de hoogtevariëties. De hoogtemetingen van de Spijkermetingen liggen allemaal iets hoger dan de raaimetingen. De eenvoudigste verklaring daarvoor is dat de locaties niet overlappen en dat de Spijkermeting op een iets hoger deel van de wadplaat ligt dan de Raaimeting. De lineaire trend van de hoogte in de raaimetingen is een afname van minder dan 1 cm per jaar. Ook de hoogte van de Spijkermetingen laat een trendmatige afname zien van die grootte van orde. Merk op dat de hoogte van de raaimeting in 2021 beduidend lager is dan die van de overige jaren. Voor deze lagere ligging is geen plausibele verklaring gevonden vanuit de meettechniek.

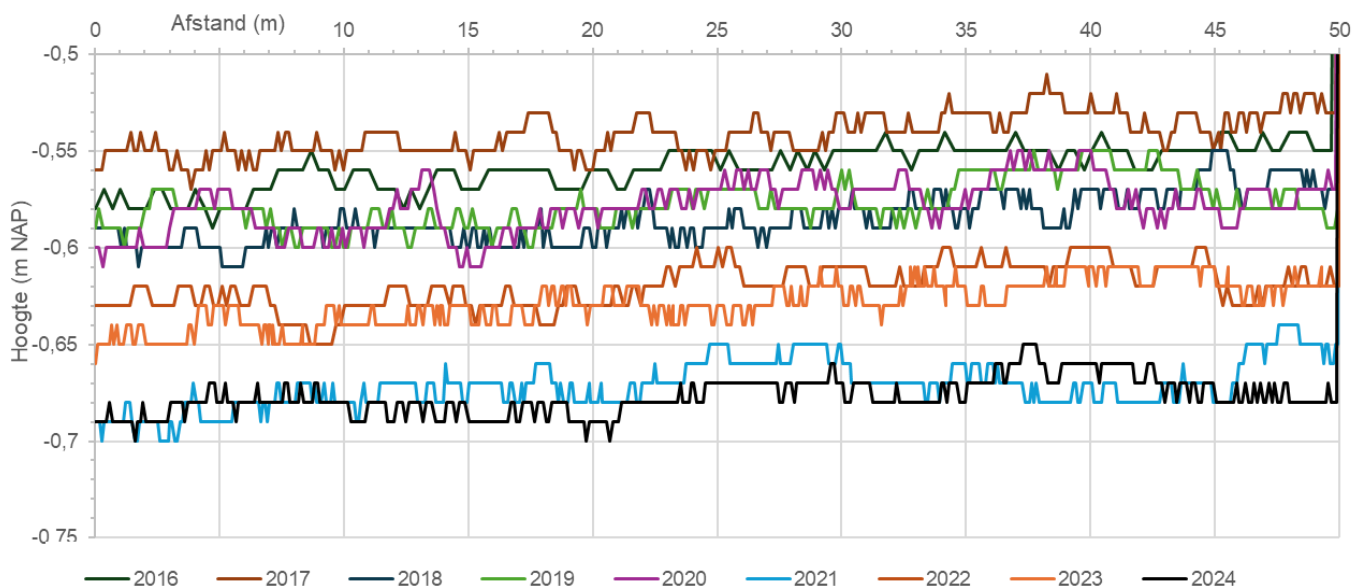


Figuur 6-4 Raaimetingen over afstand van 50 m rond het middelpunt ter hoogte van BP70 (projectie op de raailijn).

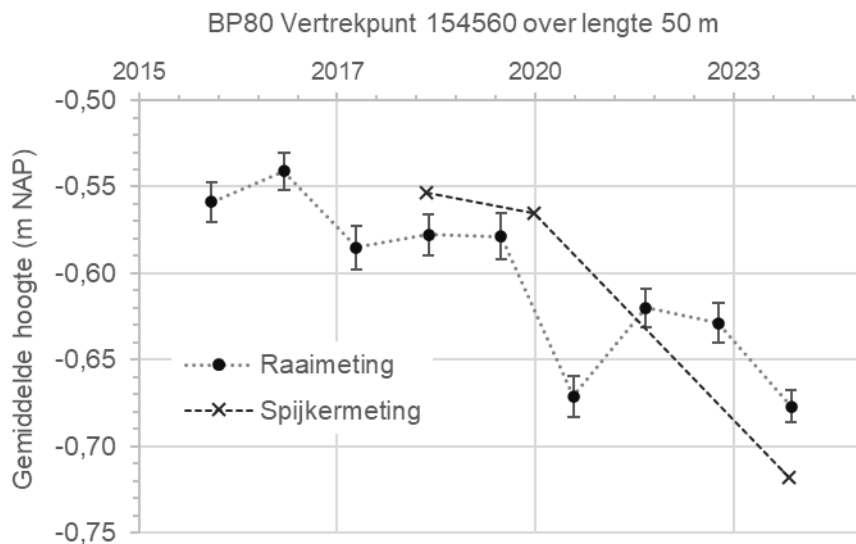


Figuur 6-5 Hoogte van de raaimetingen en de Spijkermetingen bij BP70.

De hoogte van de raaimetingen in het interval van 50 m ter hoogte van BP80 staan in Figuur 6-6. Ook in dit deel van de raaimeting is sprake van verschillen in de variatie per raai. Ook de hoogte van de gehele raai ligt hoger dan wel lager in de opeenvolgende jaren. In de grafiek met de gemiddelde hoogte in de tijd in Figuur 6-7 is zichtbaar dat over de hele periode sprake is van een afnemende hoogte. De hoogte van de Spijkermetingen lag eerst nog boven de hoogte van de raaimeting, maar is daar in de laatste hoogtemetingen van de Spijkermetingen onder terechtgekomen. De lineaire trend is een hoogteafname van 1,5 cm per jaar. De hoogte afname van de Spijkermeting is groter, deze bedraagt 3,5 cm per jaar.

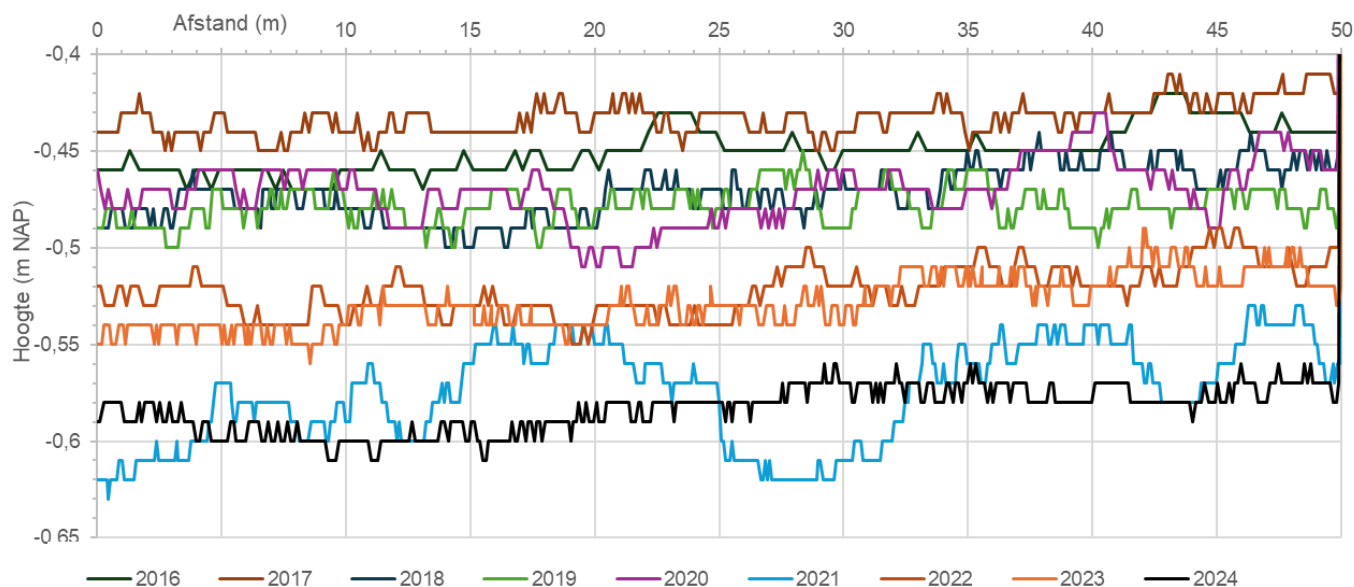


Figuur 6-6 Raaimetingen over afstand van 50 m rond het middelpunt ter hoogte van BP80 (projectie op de raailijn).

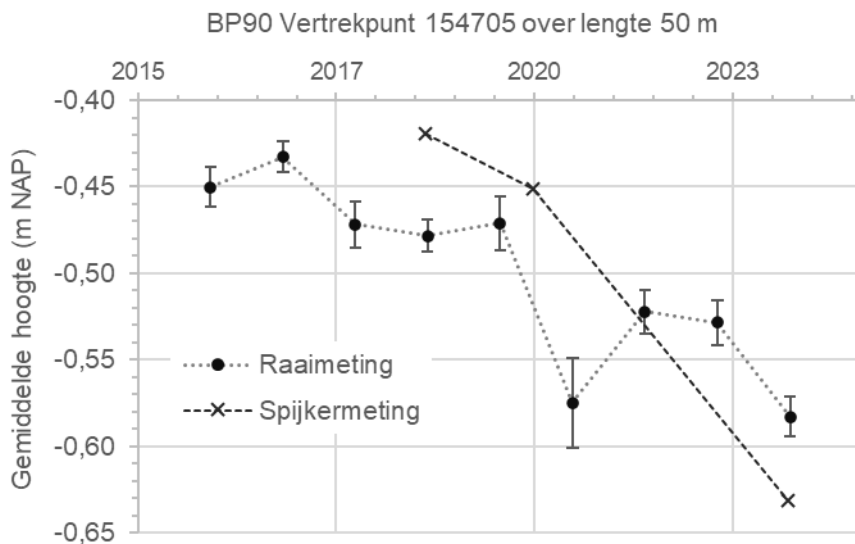


Figuur 6-7 Hoogte van de raaimetingen en de Spijkermetingen bij BP80.

Figuur 6-8 toont de hoogte van de raaimetingen in het traject van 50 m bij de Spijkermeting BP90. Net als in de trajecten bij BP 70 en BP80 is sprake van variatie in de hoogte van de raaien, die bij BP90 het grootst is in 2017. De hoogte neemt trendmatig af, met gemiddeld 1,7 cm per jaar. De hoogte van de Spijkermetingen neemt ook af, zoals zichtbaar is in Figuur 6-9. De hoogteafname van de Spijkermetingen verloopt met een lineaire trend van 4,4 cm per jaar sneller dan de hoogteafname bij de raaimetingen. Net als bij BP80 lag de hoogte van de Spijkermetingen eerst nog boven de hoogte van de spijkermeting, maar bij de laatste hoogtemetingen van de Spijkermetingen is dat omgekeerd.

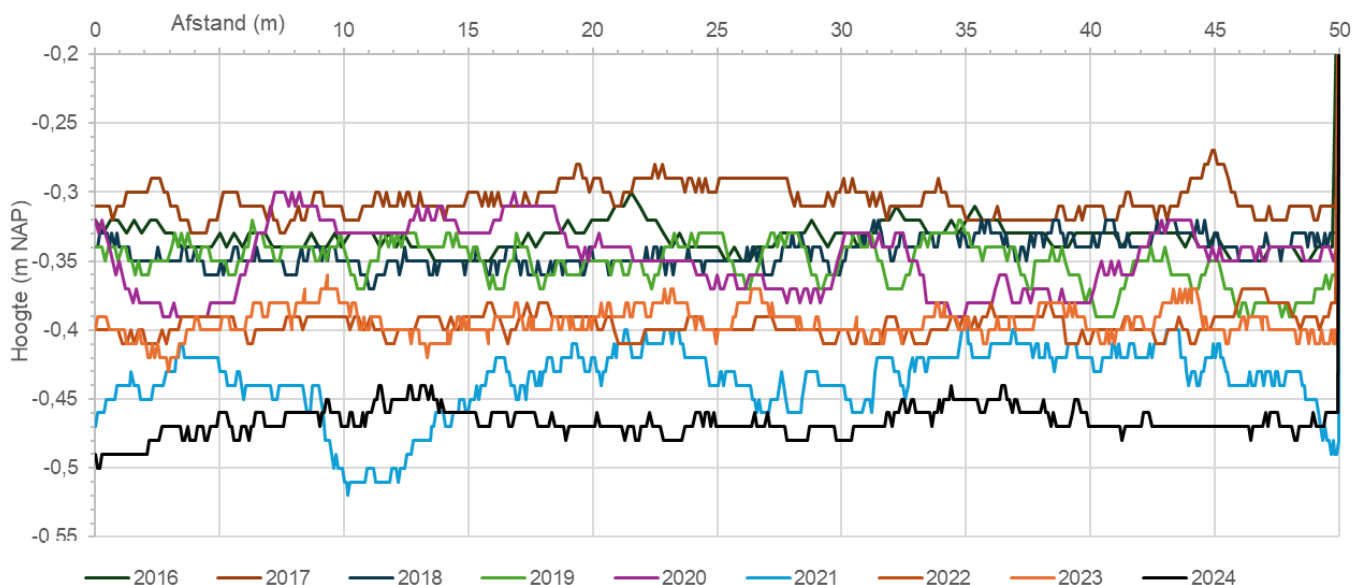


Figuur 6-8 Raaimetingen over afstand van 50 m rond het middelpunt ter hoogte van BP90 (projectie op de raailijn).

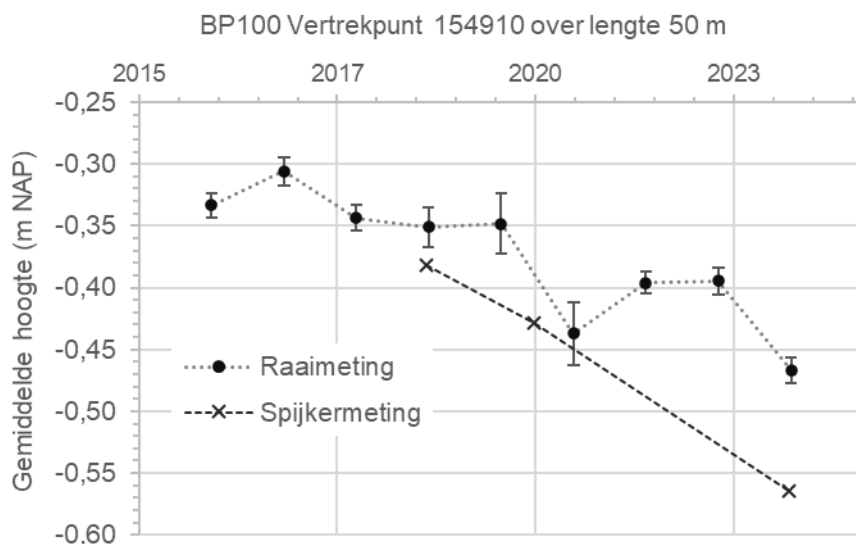


Figuur 6-9 Hoogte van de raaimetingen en de Spijkermetingen bij BP90.

De hoogte van de raaimetingen in het traject nabij BP100 staat Figuur 6-10 en de ontwikkeling in de tijd staat in Figuur 6-10. Het beeld in de hoogtes van de raaimetingen in Figuur 6-9 is vergelijkbaar met dat van BP70, BP80 en BP90, met verschillen de hoogtevariatie binnen het traject per jaar en verschillend in de hoogte in de opeenvolgende jaren. De ontwikkeling in de tijd wijst op een afname van de hoogte, met een lineaire trend van -1,7 cm per jaar. De hoogte van de Spijkermetingen ligt steeds onder die van de raaimetingen en deze vertonen ook een trendmatige afname. De omvang van de afname in de Spijkermetingen is 3,7 cm per jaar.

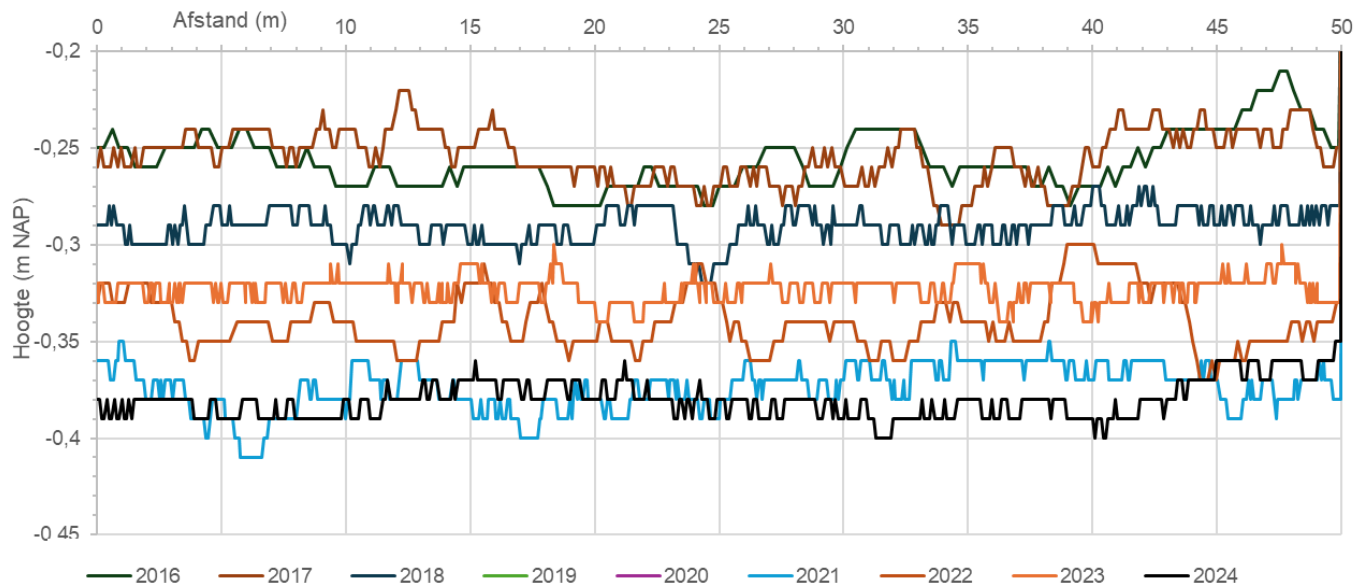


Figuur 6-10 Raaimetingen over afstand van 50 m rond het middelpunt ter hoogte van BP100 (projectie op de raailijn).

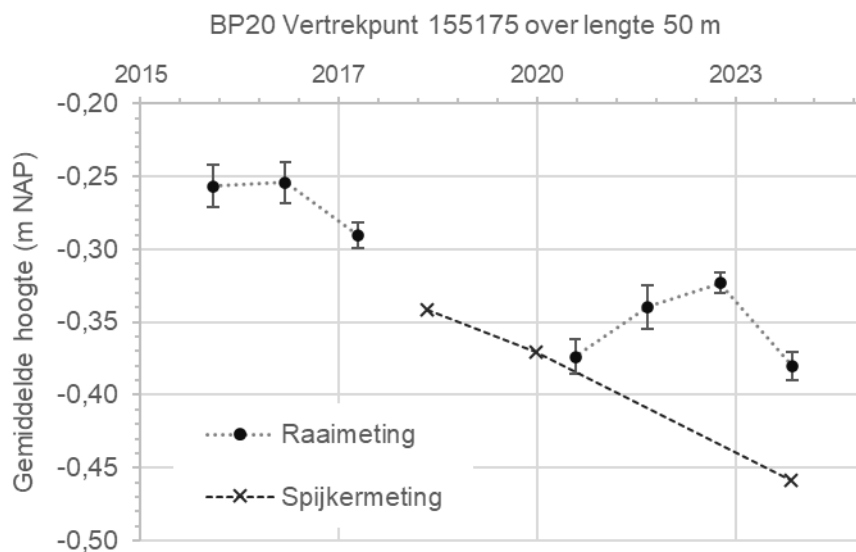


Figuur 6-11 Hoogte van de raaimetingen en de Spijkermetingen bij BP100.

Het beeld in de hoogte van de raaimetingen in het traject ter hoogte van BP20 is anders dan in de voorgaande raaien, omdat de opnamen uit 2019 en 2020 ontbreken. In die jaren is namelijk niet zo ver doorgemeten in raai 2, zodat geen meetwaarden voor deze jaren beschikbaar zijn. Dit is zichtbaar in het ontbreken van de meetwaarden voor de jaren in Figuur 6-10 en Figuur 6-11. De hoogte van de Spijkermetingen liggen onder die van de raaimetingen. De lineaire trend in de ontwikkeling van de hoogte van de raaimetingen is -1,5 cm per jaar en in de Spijkermetingen is dat -2,3 cm per jaar.



Figuur 6-12 Raaimetingen over afstand van 50 m rond het middelpunt ter hoogte van BP20 (projectie op de raailijn).

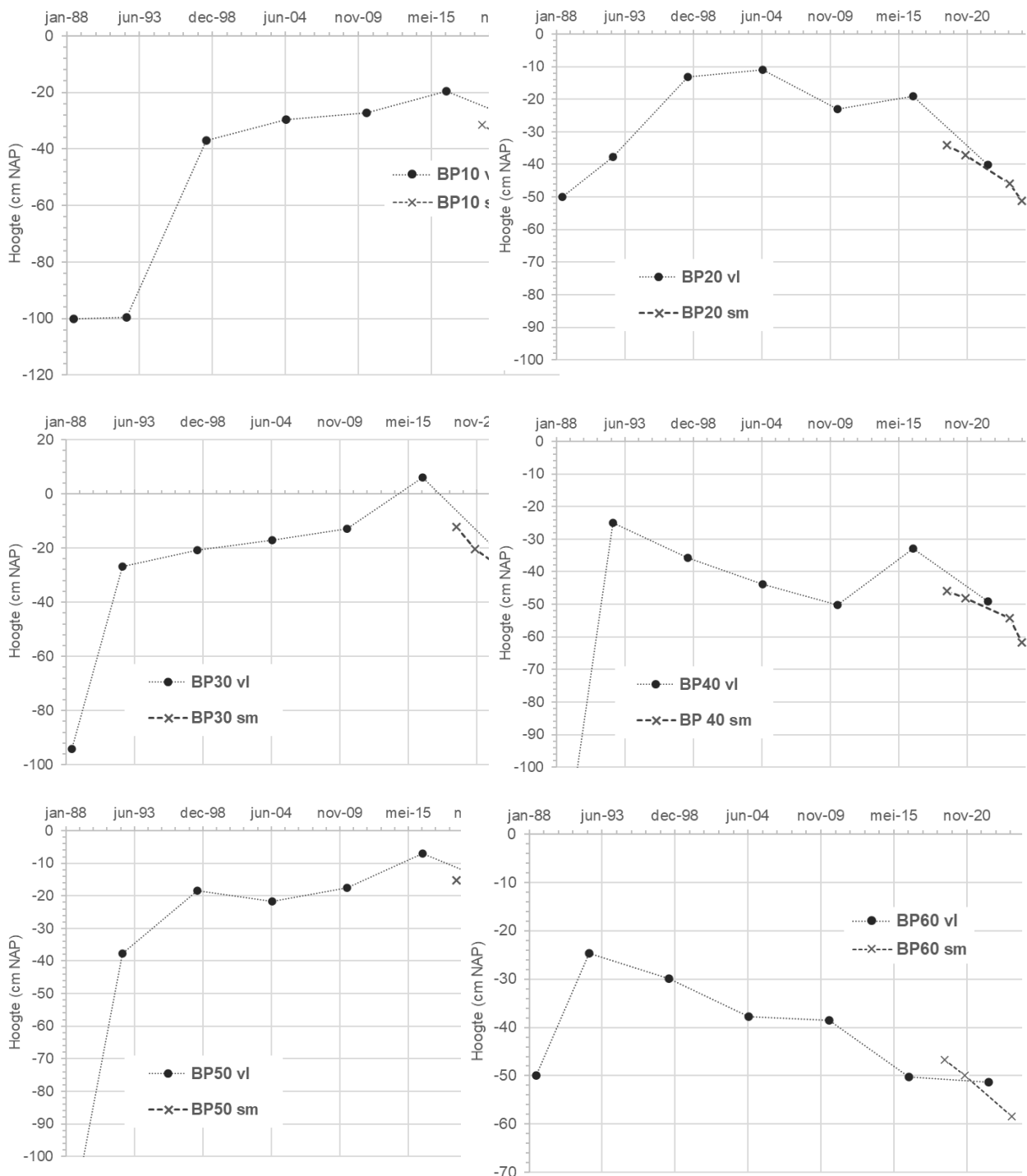


Figuur 6-13 Hoogte van de raaimetingen en de Spijkermetingen bij BP20.

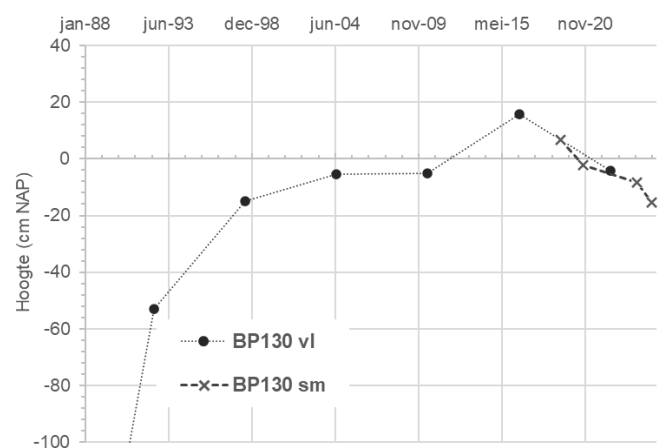
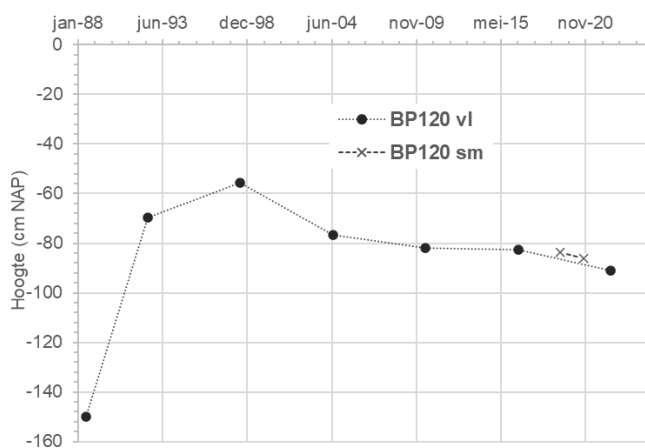
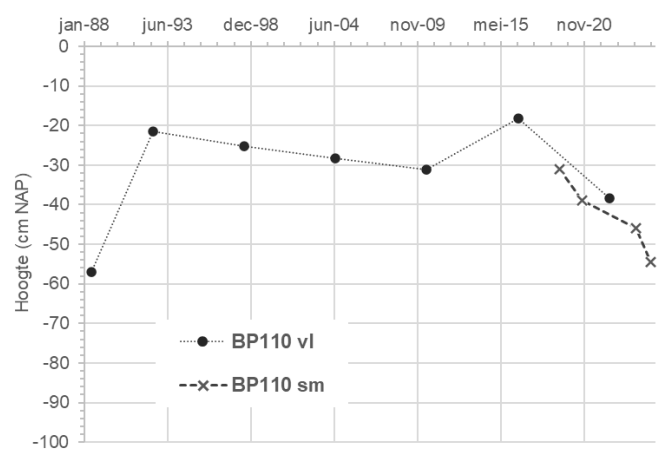
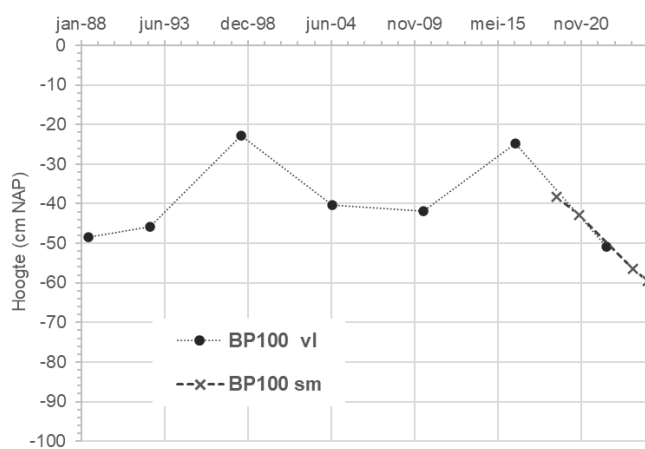
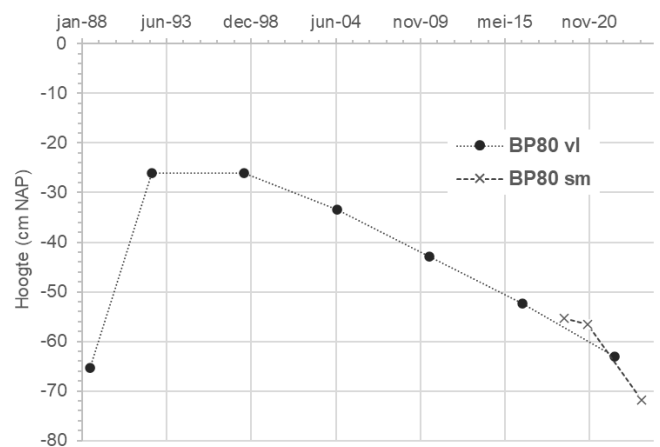
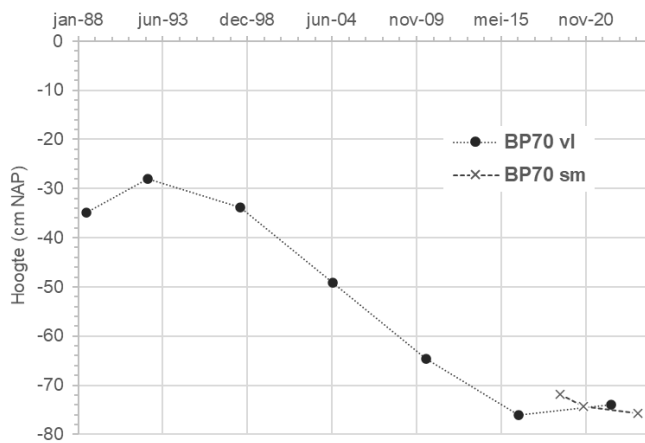
6.3 Vergelijking Vaklodingen, raaimetingen en Spijkermetingen

Om een beeld te krijgen van de overeenkomsten tussen de hoogtemetingen bij de locaties van de Spijkermetingen en de vaklodingen zijn ook deze hoogtes vergeleken. De hoogte van de vakloding ter plaatse van de Spijkermetinglocatie is vanuit het 20 m x 20 m grid berekend met lineaire interpolatie (functionaliteit in ARCGIS). Door de vaklodinghoogtes vanaf het begin van de digitale reeks te beschouwen wordt een beeld gegeven van de ontwikkelingen vanaf de jaren '80 van de vorige eeuw tot heden. Omdat de vaklodingen om de zes jaar worden ingemeten is de directe vergelijking met de hoogtes ter plaatse van de Spijkermetingen alleen mogelijk voor de vakloding uit 2022. Figuur 6-14 bevat de grafieken van de hoogtes

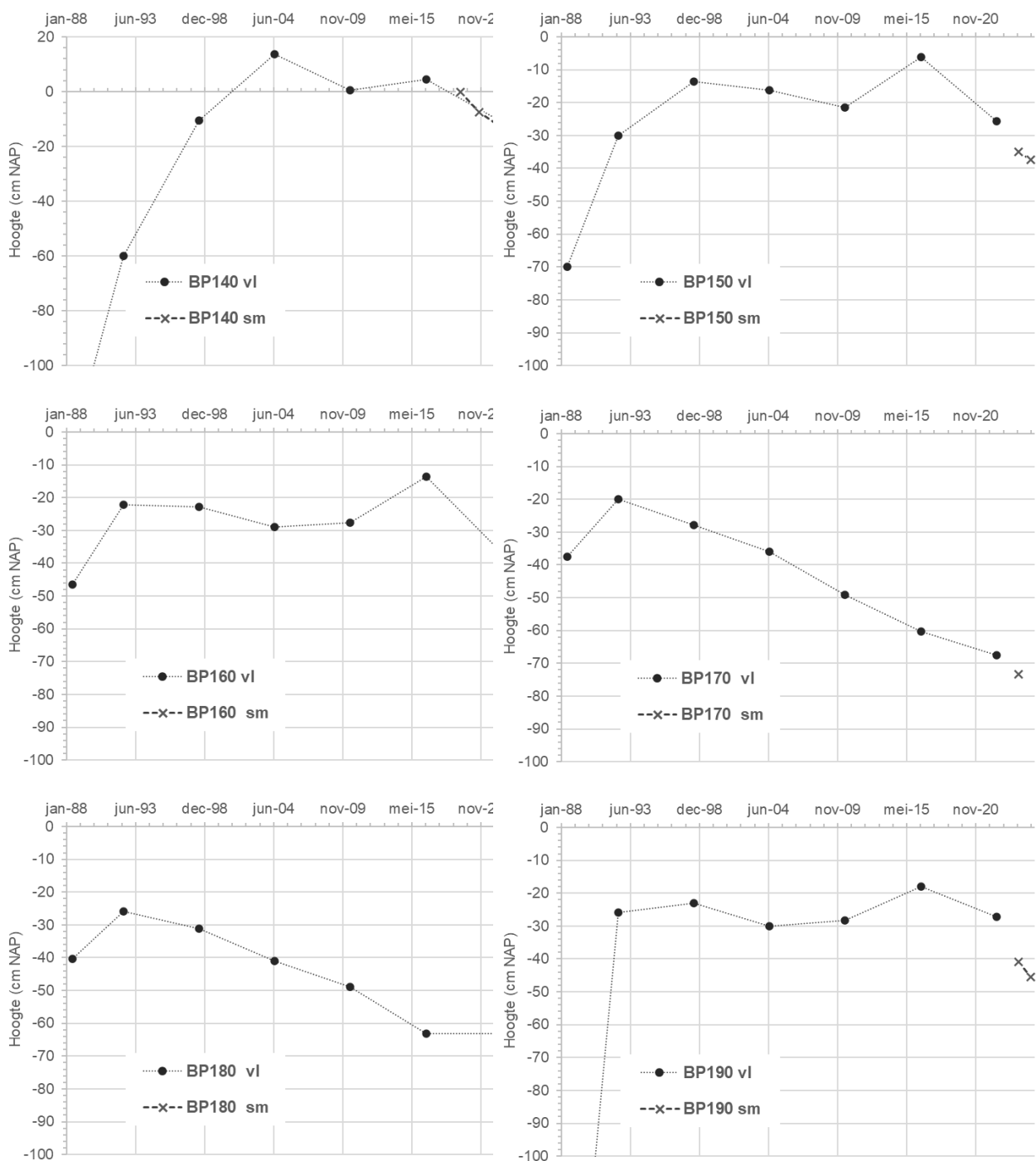
van Ballastplaat Zuid voor alle Spijkermeetlocaties. Per punt verschilt het aantal hoogtemetingen dat is uitgevoerd op de locaties van de Spijkermetingen.



Figuur 6-14 Hoogte ter plaatse van de Spijkermetingen op basis de vaklodingen (vl) en de hoogtemetingen van de locaties van de Spijkermetingen (sm) van de meetpunten op de Ballastplaat Zuid. Vervolg op de volgende pagina.



Vervolg van Figuur 6-14. Hoogte ter plaatse van de Spijkermetingen op basis de vakkelingen (vl) en de hoogtemetingen van de locaties van de Spijkermetingen (sm) van de meetpunten op de Ballastplaat Zuid. Vervolg op de volgende pagina.



Vervolg van Figuur 6-14. Hoogte ter plaatse van de Spijkermetingen op basis de vakkelingen (vl) en de hoogtemetingen van de locaties van de Spijkermetingen (sm) van de meetpunten op de Ballastplaat Zuid.

De hoogtes op de locaties van de Spijkermetingen en de hoogtes op basis van de vakkeling van 2022 komen over het algemeen goed overeen. Er is soms sprake van hoogteverschillen van enkele centimeters tussen de verschillende metingen. De trends in de Spijkermetingen (voor die punten waarbij meerdere metingen beschikbaar zijn) komen overeen met de trends voor dezelfde periode in de vakkelingen. De overeenkomst hierbij is dat in alle punten de hoogte afneemt.

6.4 Conclusie over de vergelijkbaarheid van de meetresultaten

De vergelijking van de hoogtes zoals ingemeten op de locaties van de Spijkermetingen met de hoogtes uit de Raaimetingen en de vakkelingen laten zien dat de gemeten hoogtes vergelijkbaar zijn. De verschillen in

de absolute hoogtes (ten opzichte van NAP) zijn verklaard door morfologische veranderingen die zijn opgetreden tussen de verschillende momenten van inmeten in combinatie met nauwkeurigheid van de verschillende meetmethoden. De verschillende metingen (raaimetingen, hoogtemetingen op de Spijkermeetlocaties en de vaklodingen) zijn bruikbaar voor het beschrijven van de morfologische veranderingen op de Ballastplaat. Daarbij hoort de opmerking dat het toepassingsgebied van de metingen is gekoppeld aan hun ruimtelijke distributie.

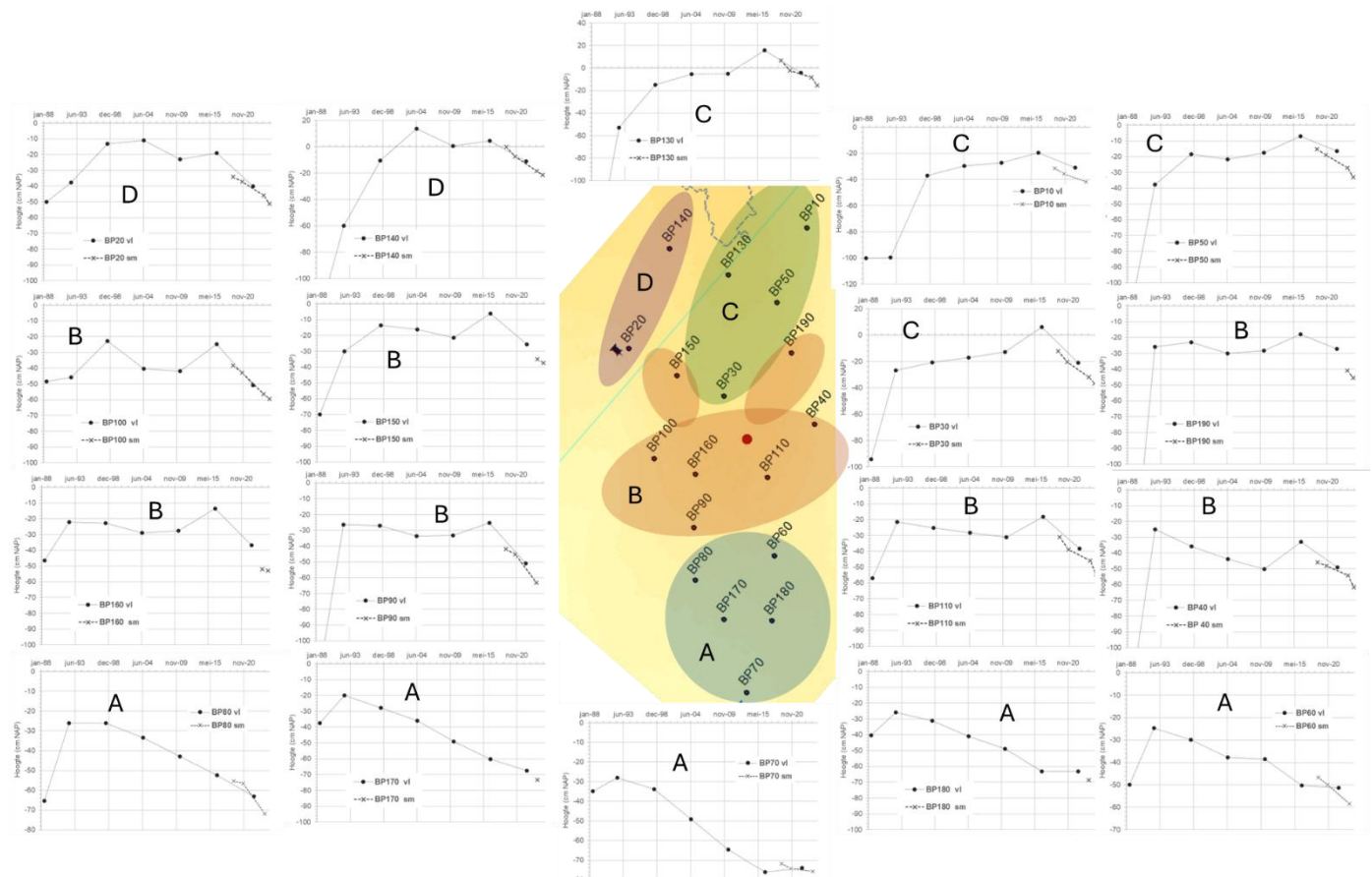
7 MORFODYNAMIEK OP DE BALLASTPLAAT

7.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 over de morfologische ontwikkelingen op basis van de vaklodingen is in paragraaf 5.3 vastgesteld dat in het kombergingsgebied van het Vlie ook in de recente meetperiode 2016-2002 sprake is van netto sedimentatie. In paragraaf 5.4 is voor het studiegebied voor de Zoutwinning vastgesteld dat daar sprake is van een toename van het areaal droogvallende platen. Het studiegebied omvat een deel van het kombergingsgebied in de nabijheid van de bodemdalingsschotel (het studiegebied is gedefinieerd aan de hand van modelsimulaties die zijn uitgevoerd bij het opstellen de Milieueffectrapportage (MER) en de Passende Beoordeling (PB) bij de voorbereiding van de zoutwinning. Binnen het studiegebied is de Ballastplaat een van de droogvallende platen. Vanwege het belang van de Ballastplaat in het totale monitoringsprogramma van de zoutwinning onder de Waddenzee wordt in dit hoofdstuk apart stilgestaan bij de waargenomen ontwikkelingen op de Ballastplaat. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van de verschillende metingen van de hoogte (zie Tabel 6-1).

7.2 Morfologische veranderingen op de Ballastplaat Zuid

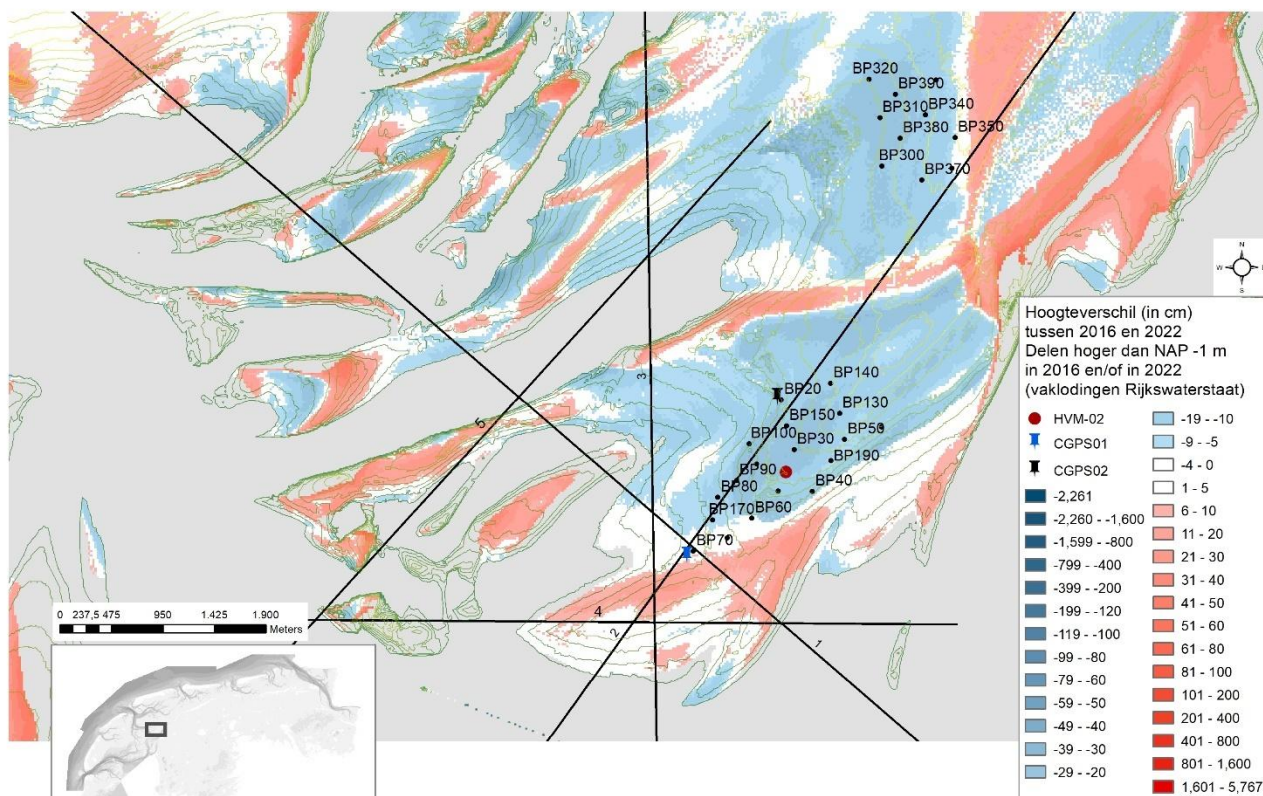
De hoogtereeksen van de vaklodingen laten zien dat op de verschillende delen van de Ballastplaat sprake is van andere ontwikkelingen. Op een aantal locaties (BP60, BP70, BP80) is de afname die zichtbaar is in de hoogtes van de Spijkermetingen een voortzetting van een hoogteafname die al langer speelt, namelijk vanaf begin jaren '90. Op andere plaatsen is sprake van een toename van de hoogte in de vaklodingen tot 2016, waarna een afname heeft plaatsgevonden. In een flink deel van de meetpunten heeft de vakloding uit 2016 de hoogste waarde uit de reeks. Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de ontwikkelingen zijn deze in Figuur 7-1 allemaal geplaatst rond hun locaties op de Ballastplaat. Daarbij zijn met de letters A tot en met D vier clusters getoond van metingen die overeenkomsten vertonen. Deze clusters worden hieronder beschreven:



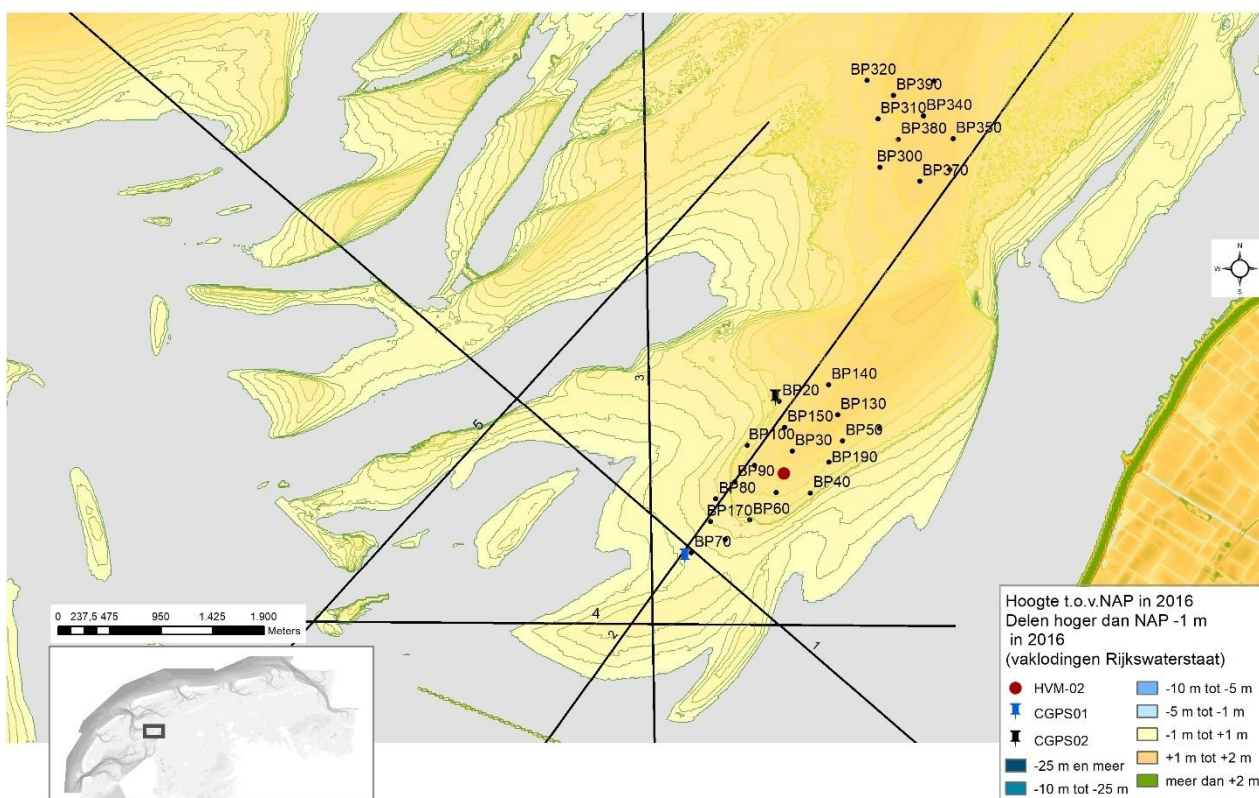
- A. Alle getoonde metingen aan de zuidzijde van de Ballastplaat laten een duidelijke afname van de hoogte zien na de het begin van de jaren '90. Bij de locaties aan de zuidwestzijde is de hoogte van laatste vakloding vergelijkbaar met de voorgaande meting.
- B. Dit grote cluster van hoogtemetingen heeft steeds twee piekjes in de grafiek, bij de tweede of derde vakloding (jaren '90) en in de een na laatste vakloding 2016. BP40, uit cluster lijkt op een combinatie van de afname van Cluster A, met de piek in 2016 van Cluster B. Op de andere locaties is de hoogte in de periode tussen de piekjes redelijk stabiel.
- C. Bij de locatie in cluster C is sprake van een toename van de hoogte tot 2016, gevolgd door een afname. BP is hierbij een mix van cluster B en C, met een piekje in de jaren '90, gevolgd door een toename.
- D. In dit cluster, dat twee locaties omvat, is sprake van een toename tot ongeveer het midden van de reeks, gevolgd door een afname.

Uit het bovenstaande overzicht, inclusief de grafieken in Figuur 7-1, kan de indruk ontstaan dat na de vakloding in 2016 de hele Ballastplaat Zuid lager is komen te liggen. Dat dit niet het geval is, volgt uit het beschouwen van de raaimetingen en de verschilkaart tussen de vaklodingen van 2016 en 2022. De verschilkaart is opgenomen in Figuur 7-2 en daarin is zichtbaar dat de Spijkermetingen alleen in (blauwe) erosiegebieden liggen. De twee kaarten die ten grondslag liggen aan deze verschilkaart zijn de bodemhoogte in 2016 in Figuur 7-3 en de bodemhoogte in 2022 in Figuur 7-4.

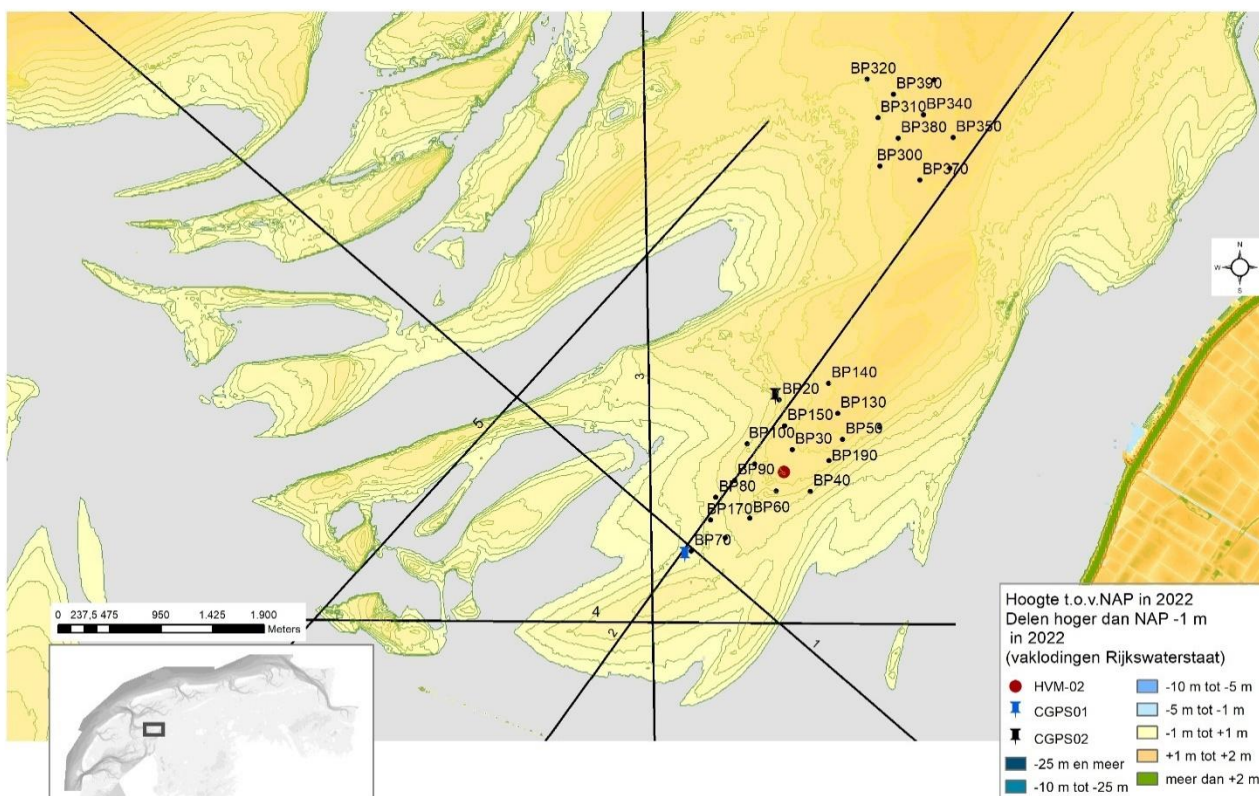
De ontwikkelingen in raai 2 laten heel duidelijk zien dat aan de zuidzuidwestzijde van de Ballastplaat sprake is van een bankstructuur met een voorliggende laagte. Zowel de bank als de voorliggende laagte schuiven in de periode 2016-2024 naar het noordwesten en dat resulteert in banden van erosie, sedimentatie en erosie.



Figuur 7-2 Kaart met het hoogteverschil tussen de vaklodingen 2016 en 2022, waarbij alleen de delen hoger dan NAP -1 m in 2016 en/of 2022 zijn weergegeven.



Figuur 7-3 Hoogte van de vakloding 2016, waarbij alleen de delen hoger dan NAP -1 m in 2016 zijn weergegeven.

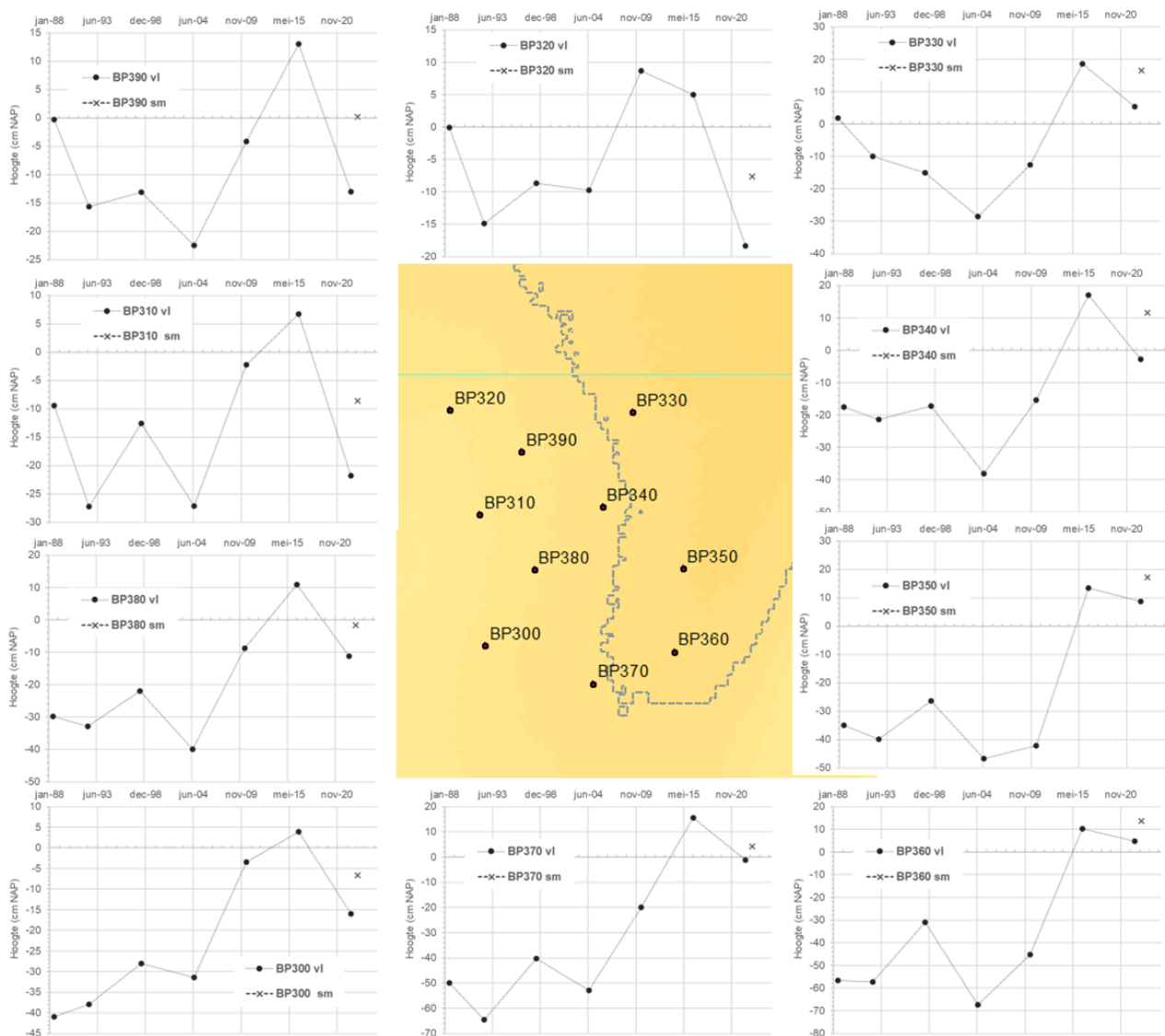


Figuur 7-4 Hoogte van de vakloding 2022, waarbij alleen de delen hoger dan NAP -1 m in 2022 zijn weergegeven.

7.3 Morfologische veranderingen op de Ballastplaat Midden

Voor alle locaties met Spijkermetingen op de Ballastplaat Midden geldt dat de hoogte van de meeste vakloding van 2022 lager is dan hoogte in de voorgaande vakloding van 2016. Dit is ook zichtbaar in de verschilkaart voor deze periode in Figuur 7-2. Voor alle locaties op één na (BP320) geldt ook dat de vakloding in 2016 hoogste waarde oplevert in de reeks. De verschillen in de ontwikkelingen zijn vooral zichtbaar in de periode voor 2004, waarin enkele punten (BP320, BP330, BP390, BP 340 – aan de noordzijde) lager zijn geworden, andere punten (BP300, BP370 – aan de zuidzijde) hoger, terwijl de andere punten vooral variatie vertonen.

61



Figuur 7-6 Overzicht van de grafieken van de hoogteontwikkeling op de Ballastplaat Midden.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Ten aanzien van de toegepaste methoden

Hoogte/diepte raaien

De hoogte/diepte raaien zijn met succes uitgevoerd in de periode 2016 t/m 2024. 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. De opeenvolgende meetpunten liggen op een afstand van rond de decimeter en geven zeer veel detail weer van de wadbodem. Ook de metingen uit de opeenvolgende jaren laten betrouwbare resultaten zien. De raaimetingen zijn zeer bruikbaar voor het uitvoeren van de monitoring.

Vaklodingen

De vaklodingen zijn bruikbaar om de grootschalige en langjarige ontwikkelingen in beeld te brengen. De vaklodingen komen iedere zes jaar beschikbaar. De vakloding 2022 is de meest recente.

LiDAR

De LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen zijn uitgevoerd in 2004, 2010, 2016 en 2022 in opdracht van Rijkswaterstaat en in 2019 in opdracht van Frisia. De LiDAR hoogtemetingen van 2022 geven een gedetailleerd beeld van de hoge delen van de droogvallende wadplaten, waarbij het detail kleiner is dan dat in de raaimetingen. Voor de monitoring van de morfologische veranderingen op de Ballastplaat-Zuid zijn de LiDAR hoogtemetingen minder bruikbaar, omdat het gebied met de bodemdaling voornamelijk onder de lageregelegen delen ligt.

DGPS-RTK

De hoogtemetingen die met onregelmatige intervallen worden uitgevoerd ter plaatse van de Spijkermetingen bieden waardevolle aanvullende hoogtegegevens voor deze puntlocaties.

Onderlinge vergelijkbaarheid Hoogte/diepte raaien, Vaklodingen, DGPS-RTK

Voor een aantal punten is een onderlinge vergelijking uitgevoerd van de hoogte, zoals die met de verschillen technieken is ingemeten. De onderlinge vergelijking laat zien dat de gemeten hoogtes vergelijkbaar zijn en dat geeft vertrouwen in de verschillende technieken.

Toepasbaar van de raaimetingen en Spijkermetingen voor een integrale hoogtekaart voor 2024

Door de auditcommissie is geadviseerd om de metingen van de hoogte te gebruiken om een gebiedsdekkende kaart te maken van het aandachtsgebied Ballastplaat. Dat kan bijvoorbeeld door de beschikbare hoogtemetingen (raaimetingen, DGPS-LRK bij Spijkermetingen) te interpoleren naar een gebiedsdekkend grid, of door de hoogteverschillen tussen de 2022 en 204 te interpoleren naar een gebiedsdekkend grid en dat dan op te tellen bij het vaklodingen grid. Echter, vergelijking van de ruimtelijke variatie in het verschilgrid van de vaklodingen 2016-2022 en de hoogteverschillen bij de Spijkermetingen en de Raaimetingen laat zien dat veel ruimtelijke variatie wordt gemist. In de verschilkaart van de vaklodingen zijn duidelijk erosie én sedimentatiegebieden zichtbaar, terwijl de Spijkermetingen op de Ballastplaat Zuid alleen een hoogteafname laten zien. De raaimetingen bieden niet voldoende ruimtelijke dekking om alle ruimtelijke variatie in hoogteontwikkeling te laten zien. Voor het maken van integrale hoogtekaart wordt in 2025 getest met het inzetten van aanvullende metingen met multibeam lodingen voor ondiep water.

8.2 Ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen

Langjarige ontwikkelingen (tientallen jaren)

In het studiegebied voor de zoutwinning treden een aantal langjarige veranderingen op, die zichtbaar zijn in de vaklodingen. Een deel van deze veranderingen is trendmatig en een deel bestaat uit variaties. Hieronder enkele van deze ontwikkelingen:

- De waargenomen trends in de grootschalige morfologische ontwikkelingen in het kombergingsgebied Vlie zetten door. In het studiegebied rondom de Ballastplaat is sprake van een toename van het areaal droogvallende platen. In het kombergingsgebied Vlie is sprake van netto sedimentatie.
- De meest uitgesproken structurele ontwikkeling heeft plaatsgevonden op de Vlake van Oosterbierum. Door de doorgaande sedimentatie zijn de hoogte en het areaal van de droogvallende plaat toegenomen. Hierbij hoort de afname van de omvang van de getijdegeul Kimstergat. Het

drainagegebied van deze getijdegeul neemt door de 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. Dit geldt ook voor het gebied ten zuidwesten van Harlingen, rondom het gebaggerde deel van de vaargeul “Boontjes” en tot aan het strand van Harlingen. Bij het strand van Harlingen is de oppervlakte van de droogvallende plaat toegenomen en direct naast de vaargeul “Boontjes” liggen tegenwoordig ook twee wadplaten die tijdens laagwater droogvallen.

In het algemeen geldt dat het invloedsgebied een dynamisch gebied is, waar de ligging van geulen en wadplaten verandert. Deze dynamiek is een kenmerk van de Waddenzee. De dynamiek in het invloedsgebied is geïllustreerd in Figuur 5-4. In deze kaart is zichtbaar gemaakt welke wadplaten er in 2022 bij zijn gekomen ten opzichte van 2016 (de groene delen) en welke geulen in 2022 nog wadplaten waren in 2016 (de rode delen). Duidelijk is dat overal in het gebied zowel wadplaten zijn ontstaan als zijn verdwenen. De analyse van de arealen aan droogvallende plaat (zie paragraaf 5.3) heeft laten zien dat er meer wadplaat is bijgekomen in het studiegebied dan er is veranderd in getijdegeul (zie Figuur 5-4).

Korte termijn ontwikkelingen (jaren)

De metingen in raaien 1, 2 en 3 die sinds 2016 worden ingemeten laten zien dat de langjarige ontwikkelingen die hierboven zijn beschreven, niet noodzakelijkerwijs dezelfde trend vertonen op de korte termijn. Zo is de overgang van de Ballastplaat naar het Kimstergat, aan de zuidoostzijde van profiellijn 1 (Figuur 2-2) een gebied waar van jaar op jaar zowel erosie als sedimentatie kan plaatsvinden (zichtbaar aan de rechterzijde in Figuur 4-3). In de bodemligging in de raaien is lokaal sprake van een uitbreiding van de wadplaat en toename van de hoogte, terwijl op andere plekken het areaal afneemt.

De raaien 4 en 5 die sinds 2021 worden ingemeten laten een gemiddelde verhoging van de hoogteligging van de bodem zien. Hierbij is de hoogteligging van de platen redelijk stabiel waarbij plaatselijk wel hoogtedynamiek wordt geobserveerd van ongeveer 0,1 meter. De verplaatsing van de geulen zorgen plaatselijk voor grotere veranderingen in hoogteligging van de bodem.

De hoogtemetingen ter plaatse van de Spijkermetingen wijzen op het lager worden van de Ballastplaat Zuid op al deze locaties, net als blijkt uit het verschil tussen de vaklodingen 2016 en 2022. In de delen van raai 2 nabij de Spijkermetingen is deze ontwikkeling ook zichtbaar. De vaklodingen 2016 en 2022 laten zien dat ook bij de Spijkermetingen op de Ballastplaat Midden sprake is van verlaging van de wadbodem. Daarbij is ook zichtbaar in verschillende aangrenzende gebieden sprake is van een omgekeerde ontwikkeling, daar zijn de wadplaten hoger geworden.

Waargenomen ontwikkelingen in de bodemhoogte in relatie met de bodemdaling door zoutwinning

De nauwkeurigheid van de raaimetingen is enkele centimeters. De raaimetingen zijn voldoende nauwkeurig om de hoogtevariëaties die op de Ballastplaat aanwezig zijn over afstanden van meters te meten. De omvang van bodemdaling in het diepste deel van de bodemdalingsschotel bedraagt nu centimeters. Indien de vereffening van de bodemdaling op de wadplaat beperkter zou zijn dan is voorspeld, dan zou dit naar voren zijn gekomen in de raaimetingen. In de raaimetingen van 2024 is geen sprake van een dergelijke ontwikkeling ter plaatse van het diepste deel van de bodemdalingsschotel.

De waargenomen verlaging van de Ballastplaat Zuid in de hoogte van de Spijkermetingen en in de vaklodingen 2016 & 2022 is niet gekoppeld aan de bodemdaling door zoutwinning. De omvang van deze verlaging is beduidend groter dan de omvang van de bodemdaling. Ook in andere gebieden in het Vlie, bijvoorbeeld op de Ballastplaat Midden en de wadplaten bij Zwarte Haan zijn vergelijkbare verlagingen opgetreden. Het is nog niet duidelijk welke morfodynamische processen ten grondslag liggen aan deze veranderingen.

9 REFERENTIES

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

Elias, E.P.L., 2019. Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Deltares rapport 11203683-001-ZKS-0002.

Elias, E., 2022. Morfologische ontwikkeling van het Eierlandse Gat. Deltares rapport.

Marijt, M.A.T., Saathof, L., Kappers E.F., 2025. Ecologische effectenanalyse van zoutwinning op de Ballastplaat. Monitoringsjaar 2024. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek A&W-rapport 24-054 #1.

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

Quadros, N., 2016. Technology in Focus: Bathymetric LiDAR – HydroMagazine 19/10/2016.

COLOFON

MONITORING SITUATIE 2024 BODEMLIGGING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

KLANT

Frisia Zout B.V.

AUTEUR

Diederik Spaans & Jelmer Cleveringa

DATUM

15 mei 2025

STATUS

Definitief

Jelmer Cleveringa
Senior Advisor Coastal Morphodynamics

Arcadis Nederland B.V.

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

www.arcadis.com

BIJLAGE A HOOGTE WADPLATEN LIDAR 2004-2016

Introductie meetmethode

LiDAR metingen zijn hoogtemetingen die worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig (of vanuit een helikopter of een drone). Hierbij worden een naar de grond gerichte laserbundel en plaatsbepalingsapparatuur gebruikt (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 wadbodemhoogte 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 in 2010 gebeurd. De resultaten van deze LiDAR metingen zijn ingezet voor de monitoring van Frisia. In 2019 is de plaathoogte in het studiegebied met LiDAR opgemeten in opdracht van Frisia. Deze meting is uitgevoerd door Kavel10.

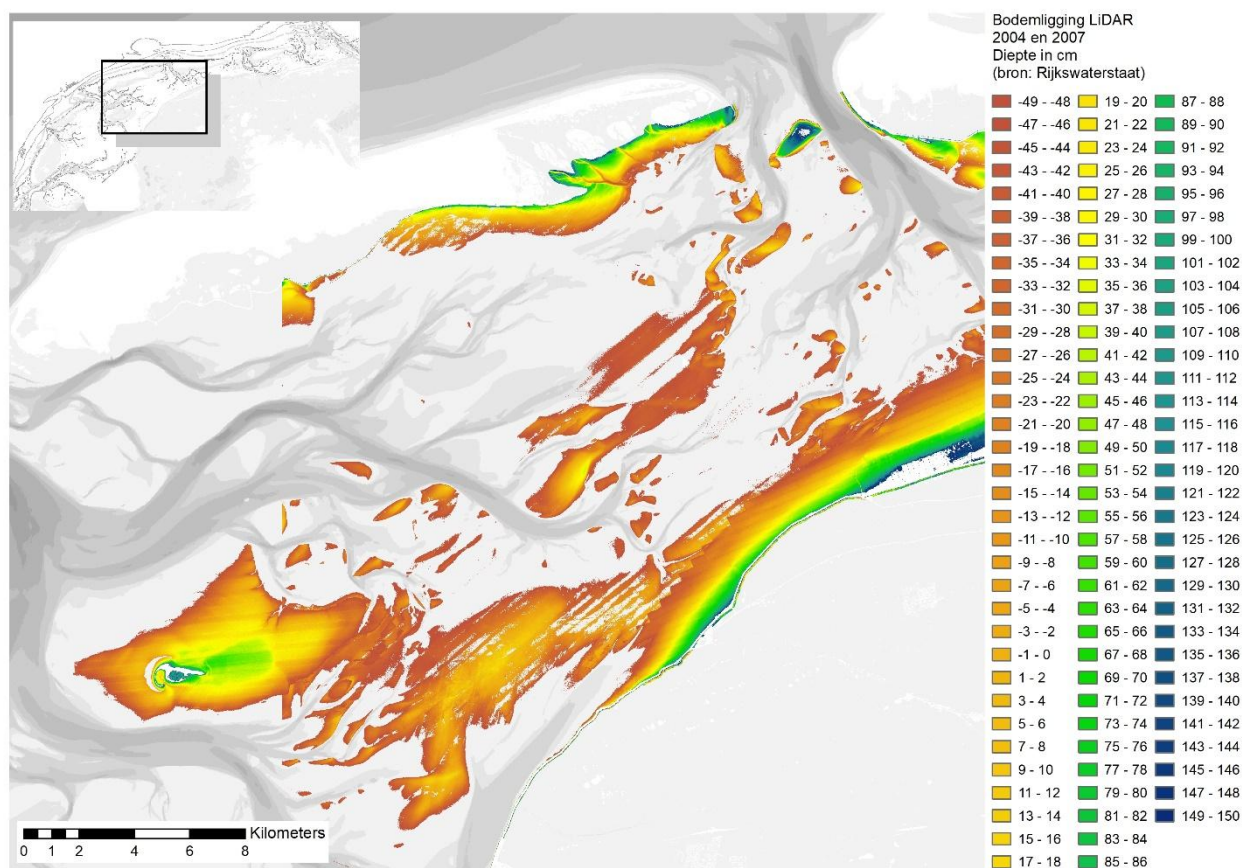
Gemeten hoogte wadplaten LiDAR

In 2004 & 2007, 2010 en 2016 is voor Rijkswaterstaat en in 2019 is voor Frisia de plaathoogte in het kombergingsgebied Vlie ingewonnen met LiDAR (zie Figuur 9-1, Figuur 9-2, Figuur 9-3 en Figuur 9-5). De kaart met de hoogte van de platen in 2004 & 2007 laat rond op de Grienderwaard strepen zien die waarschijnlijk overeenkomen met de overlap tussen naastgelegen vluchtbanen. Deze 'banen' horen niet zichtbaar te zijn in de metingen van de plaathoogte en wijzen erop dat deze eerste set hoogtegegevens op basis van LiDAR-metingen nog niet van voldoende kwaliteit is voor gebruik in een kwantitatieve analyse. De 2004 & 2007 opname is dan ook niet verder geanalyseerd.

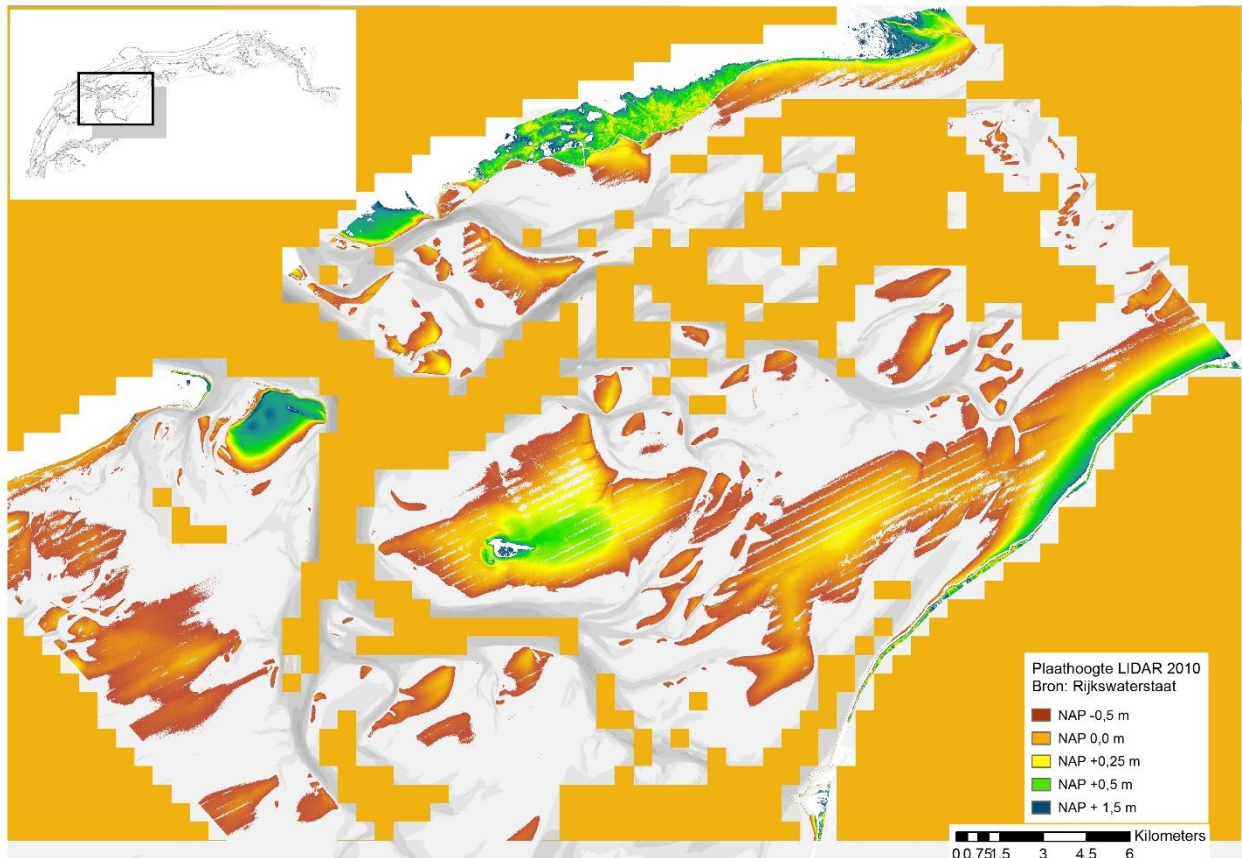
In de kaart met de LiDAR-gegevens van 2010 in Figuur 9-2 is een groot deel van het kombergingsgebied, het vaste land en de Noordzee oranje gekleurd, omdat deze gebieden de waarde 0 hebben gekregen. Voor de analyse worden deze gebieden buiten beschouwing gelaten, hiervoor wordt alleen naar de droogvallende 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 Vlakte 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 wateroppervlak. Het hanteren van strenge criteria voor het aantal gemeten punten betekent dat met name van de laag liggende delen van de droogvallende platen, waar het water minder tijd heeft om af te stromen, een groot deel afvalt.

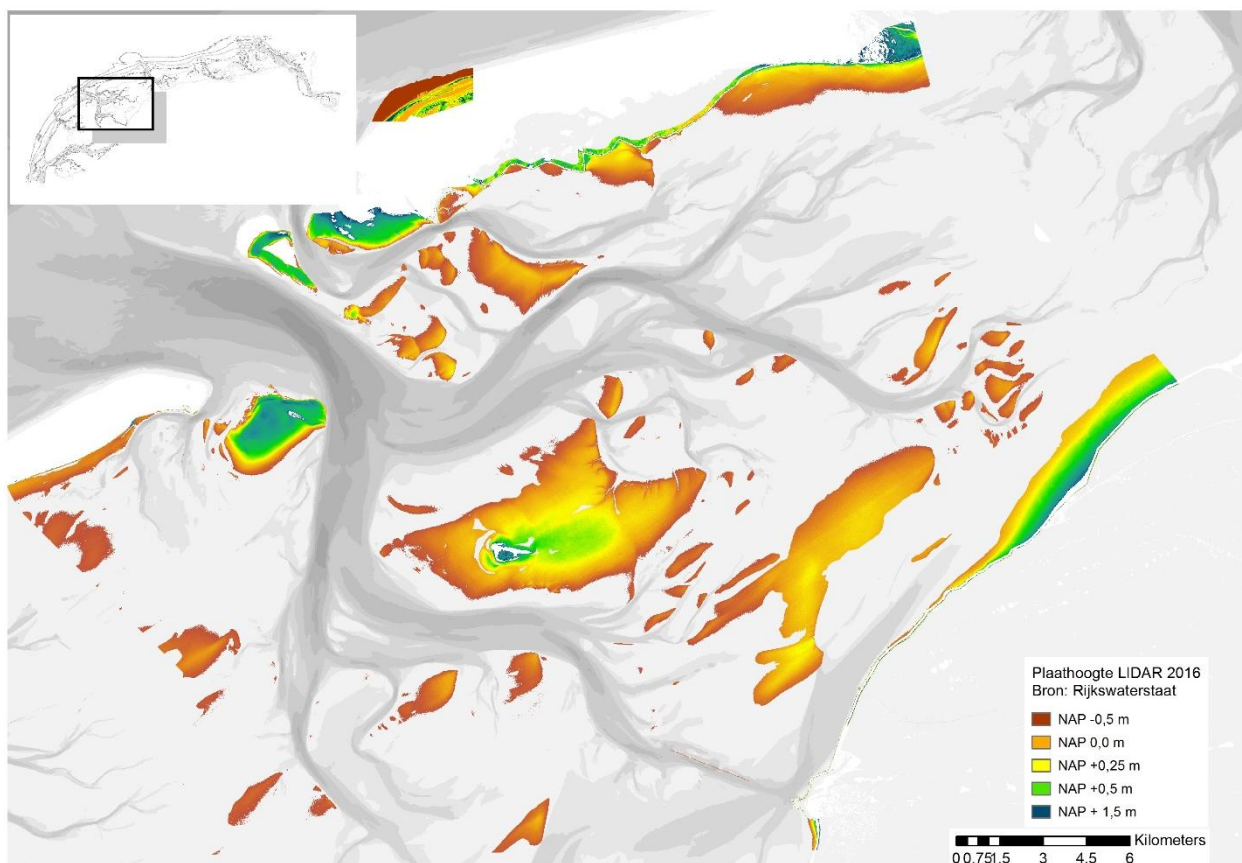
De LiDAR metingen zijn ingewonnen voor het invloedsgebied van de bodemdaling en omvatten daarmee niet het gehele kombergingsgebied. De 2019 LiDAR opnamen omvatten een groter gebied van droogvallende platen dan de opnames van 2016.



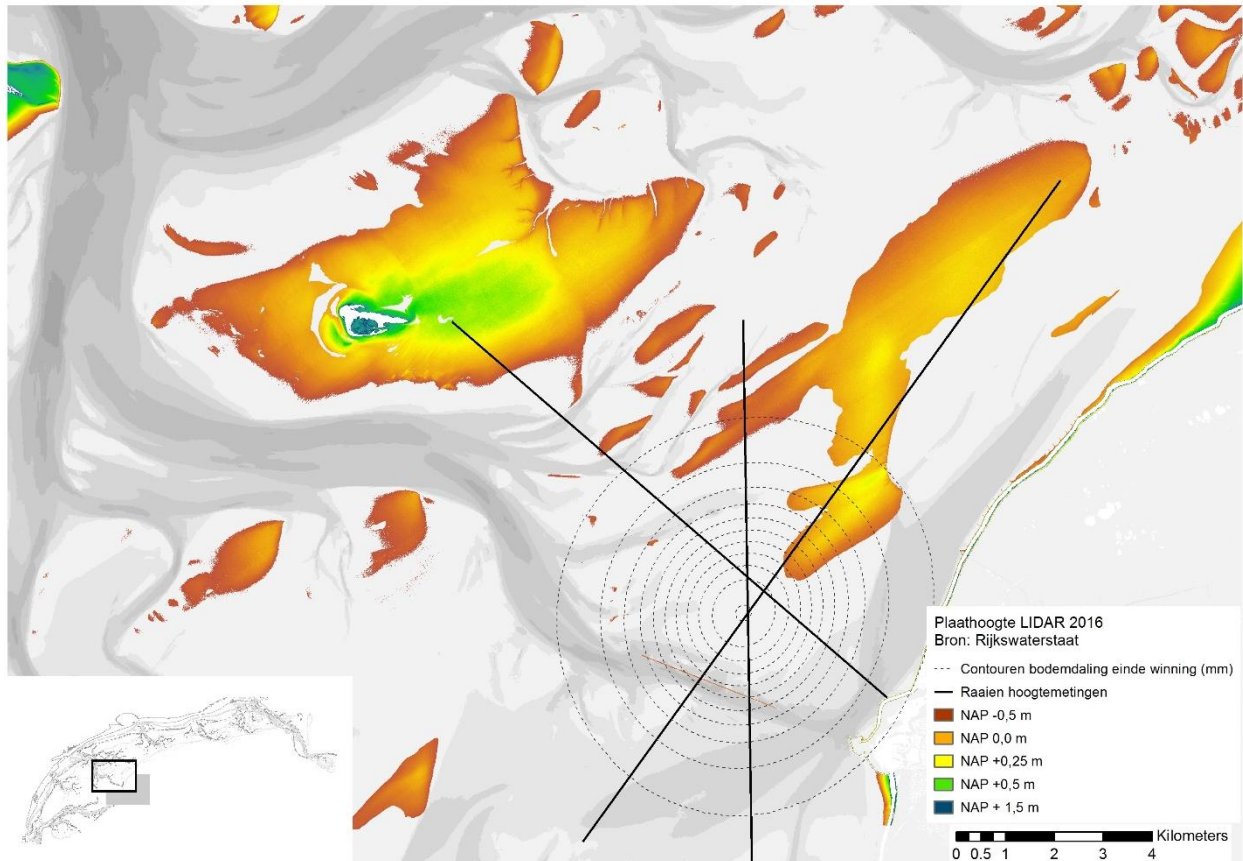
Figuur 9-1 Overzichtskartaal van het kombergingsgebied van het Vlie met de gecombineerde LiDAR opname van 2004 en 2007.



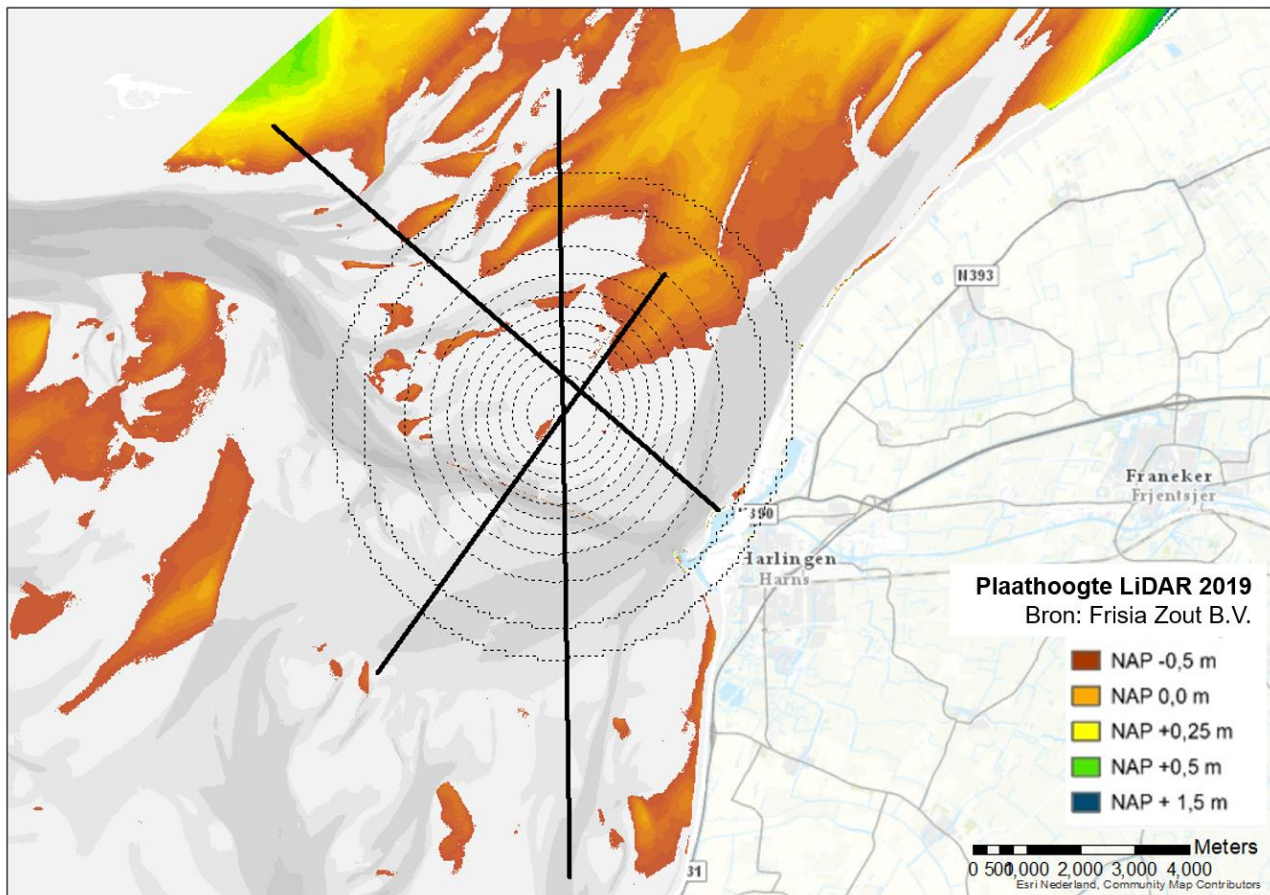
Figuur 9-2 Overzichtskartaal van het kombergingsgebied van het Vlie, met de LiDAR opname van 2010.



Figuur 9-3 Overzichtskartaal van het kombergingsgebied van het Vlie, met de LiDAR opname van 2016.



Figuur 9-4 Detailkaart van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LiDAR opname van 2016.



Figuur 9-5 Detailkaart van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LiDAR opname van 2019.

Verschil hoogte/diepte raaimetingen en LiDAR-data

De hoogte van de droogvallende platen wordt zowel ingemeten met LiDAR, als met de metingen van de hoogte/diepte raaien. Dat geeft de mogelijkheid om de met beide methodes gemeten hoogtes van 2016 en 2019 te vergelijken. Beide metingen worden in dezelfde periode (in de maand mei) in hetzelfde gebied gemeten.

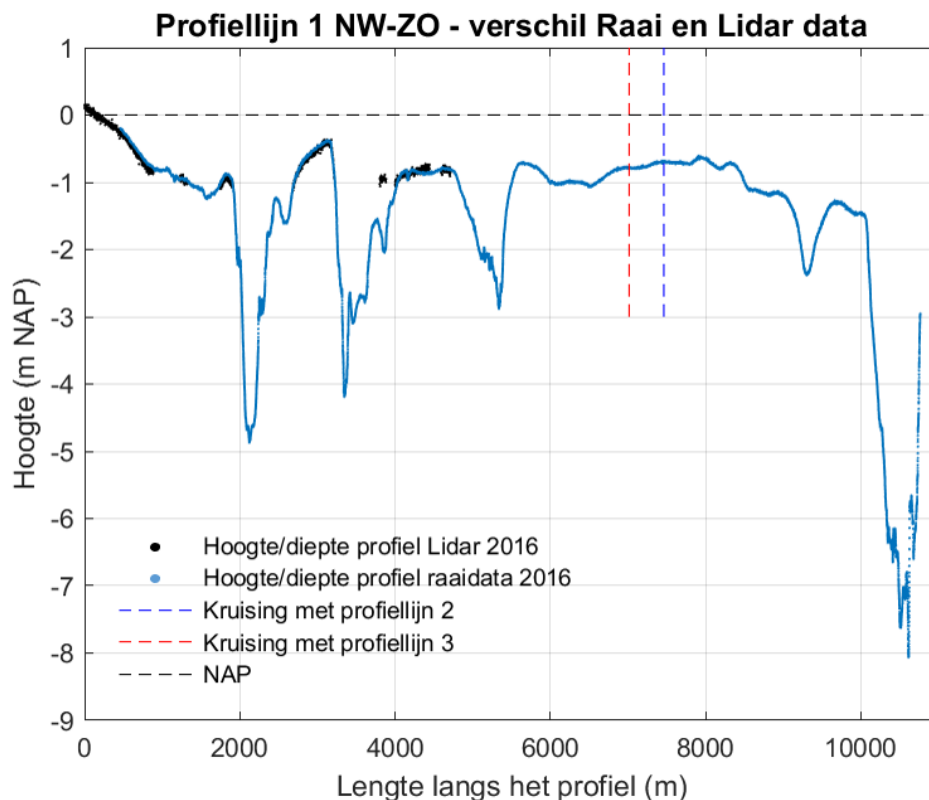
Verschil 2016 raaihoogte en 2016 LiDAR

Om de gemeten hoogte/diepte raaien van 2016 en de LiDAR-data van 2016 met elkaar te vergelijken, is op basis van locatie gekeken waar overlap is tussen beide datasets (Figuur 9-4). Als er geen LiDAR-data beschikbaar is voor de locatie van de hoogte/diepte raaimeting wordt dit ook niet weergegeven. Deze uitwerking is gedaan voor alle drie de profiellijnen in vergelijking met de LiDAR-data van 2016 en weergegeven in Figuur 9-6, Figuur 9-9 en Figuur 9-12.

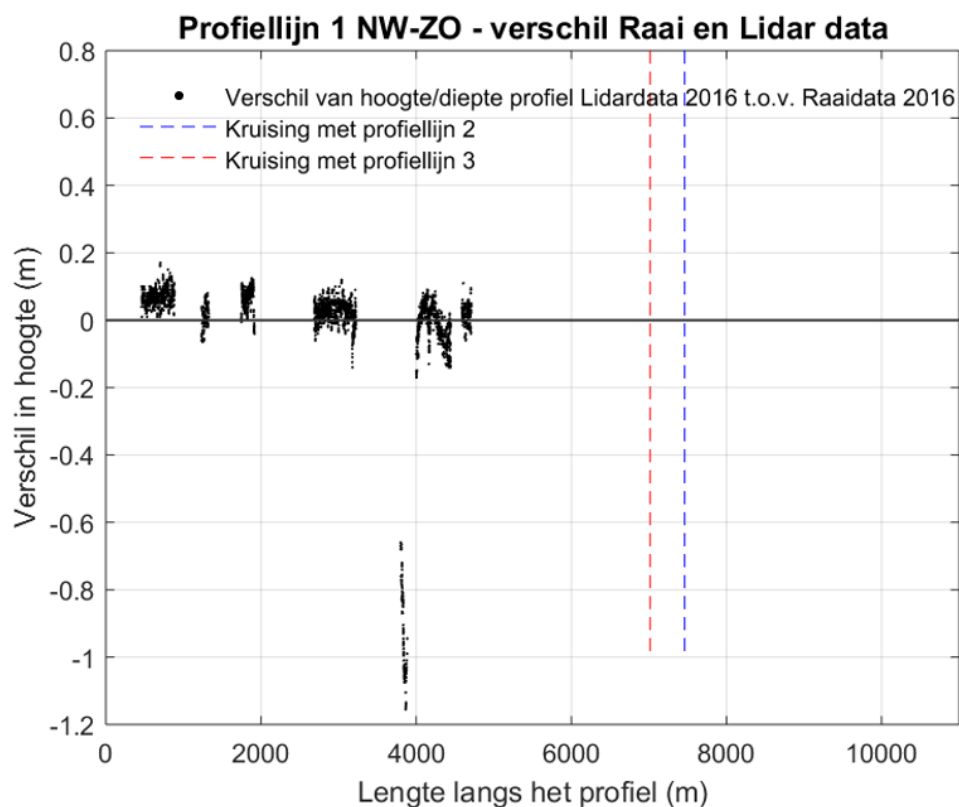
Figuur 9-7, Figuur 9-10 en Figuur 9-13 laten de verschilplots zien per gemeten profiellijn, waarin de verschillen in hoogte tussen de hoogte/diepte raai metingen en de LiDAR-data tegen elkaar is uitgezet. Vanwege het beperkte areaal droogvallende platen in het studiegebied en de beperkte dekking van de droogvallende platen door de LiDAR-hoogtemeting van 2016, is er relatief weinig overlap tussen de LiDAR meting en raaimetingen.

Figuur 9-8, Figuur 9-11 en Figuur 9-14 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, ondanks het verschil in tijd waarop de data is gemeten. Bij profiellijn 1 in Figuur 9-8 liggen de hoogte verschillen zowel onder als boven de nul. Bij profiellijn 2 in Figuur 9-11 liggen de waarden vrijwel allemaal onder de nul en dat betekent dat de hoogte volgens de LiDAR boven de raaihoogte ligt. Bij profiellijn 3 (Figuur 9-14) daarentegen liggen de verschilwaarden voornamelijk boven de

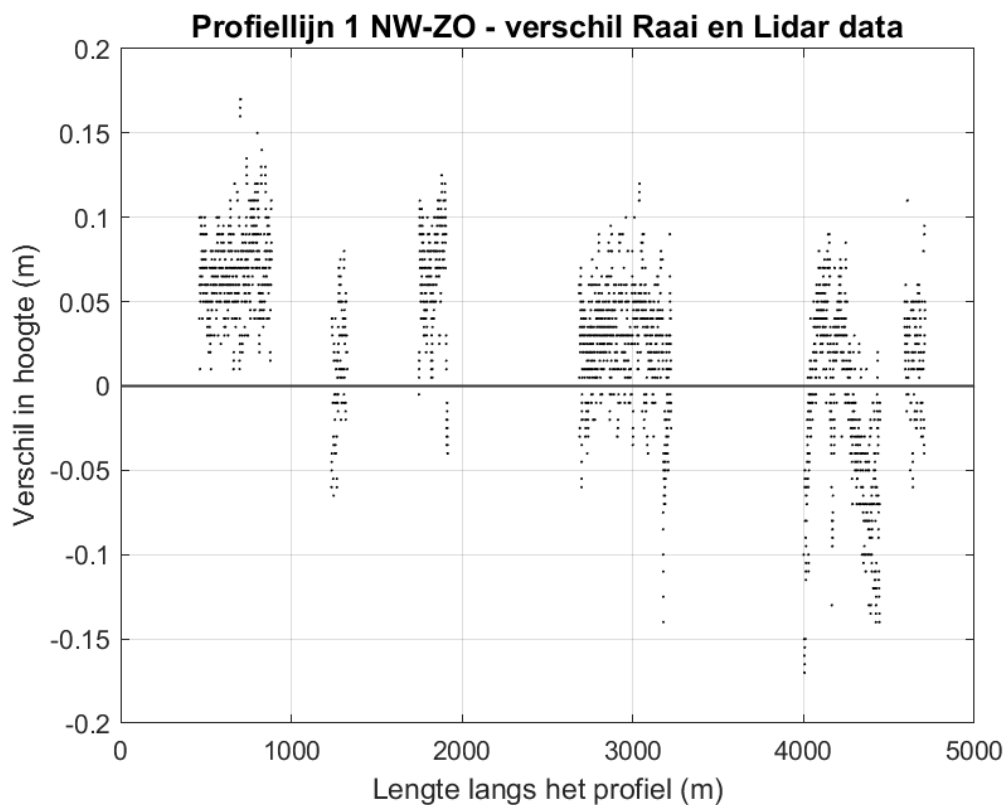
nul en dat betekent dat de hoogte volgens de LiDAR-dat onder die van de hoogte/diepteraai ligt. Deze verschuivingen komen overeen met de verschillen in hoogte op de controlepunten van de hoogte/diepteraaien (paragraaf 3). De verschillen in de hoogte tussen de LiDAR en de hoogte/diepteraaien zijn groter 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. Omdat zowel sprake is van een hogere, als van een lagere ligging in de LiDAR hoogtemetingen ten opzichte van de raaimeting, zijn de verschillen niet toe te schrijven aan een structureel verschil tussen de meetmethoden.



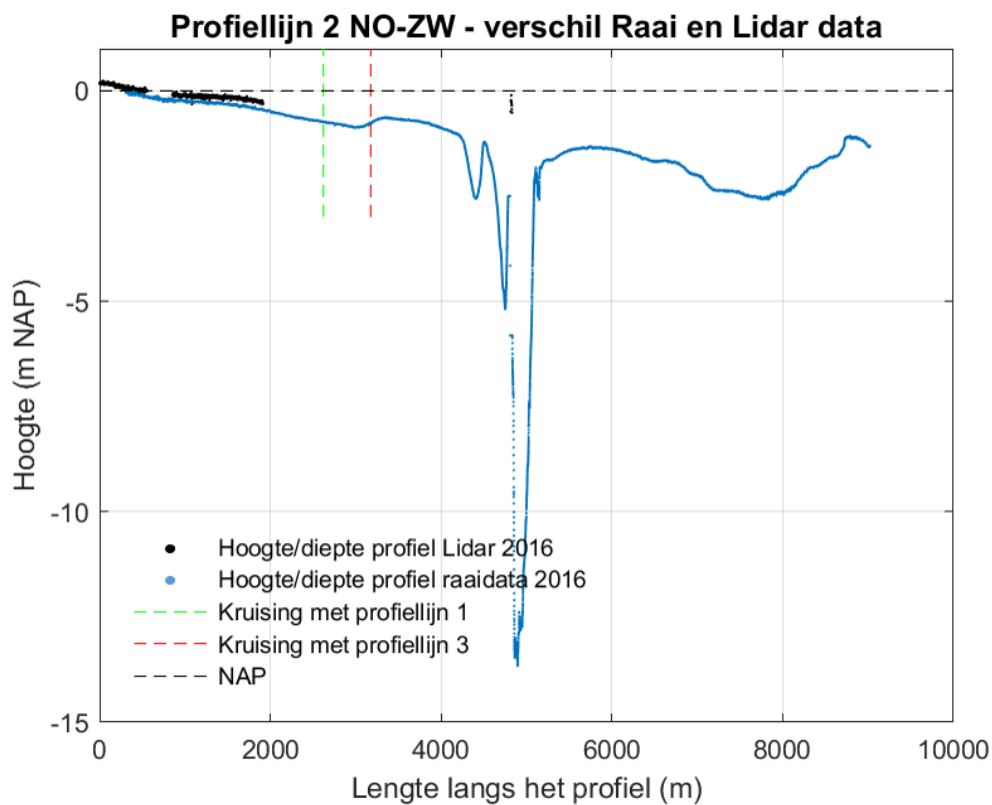
Figuur 9-6 Profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016.



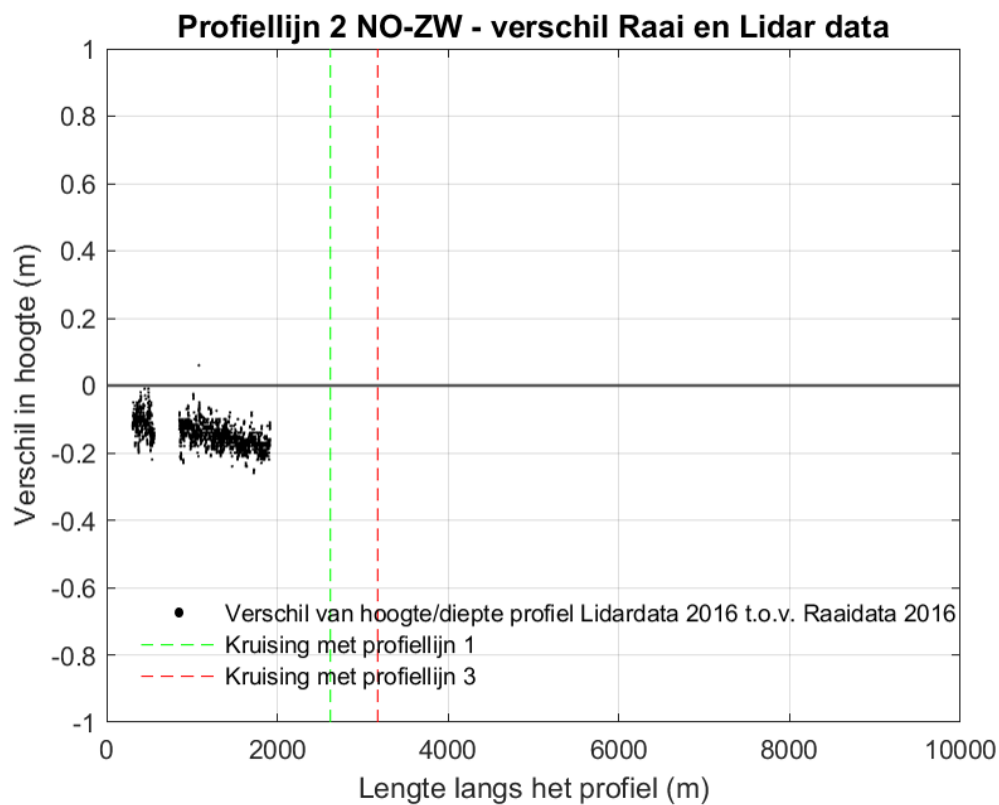
Figuur 9-7 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



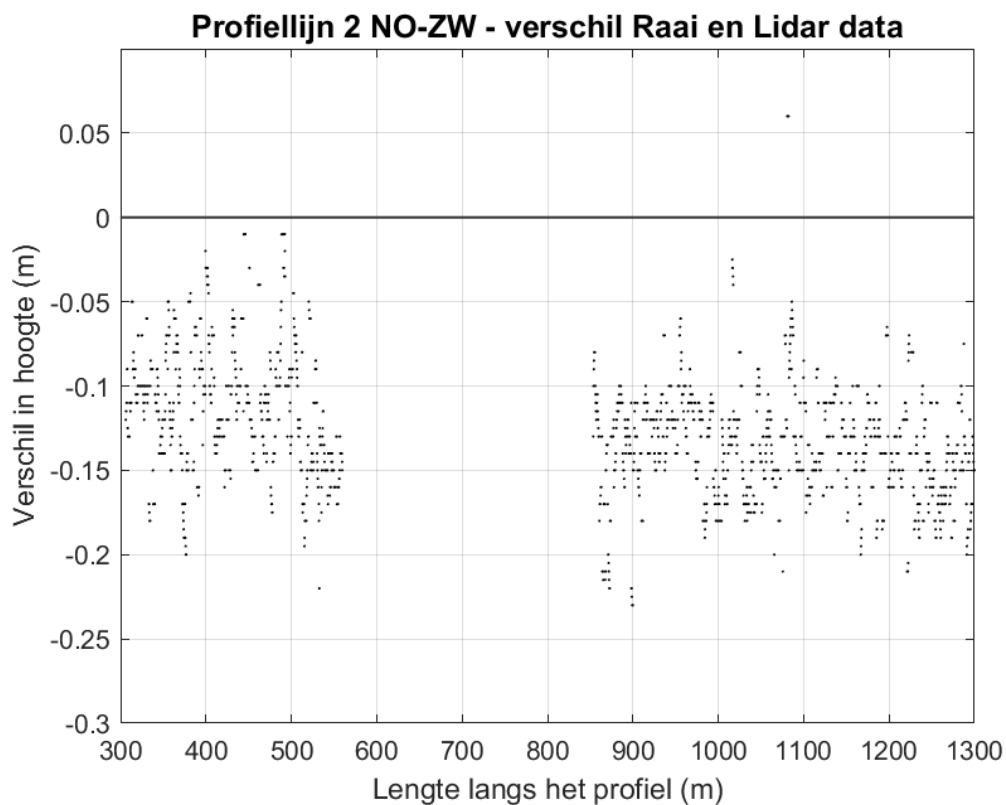
Figuur 9-8 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



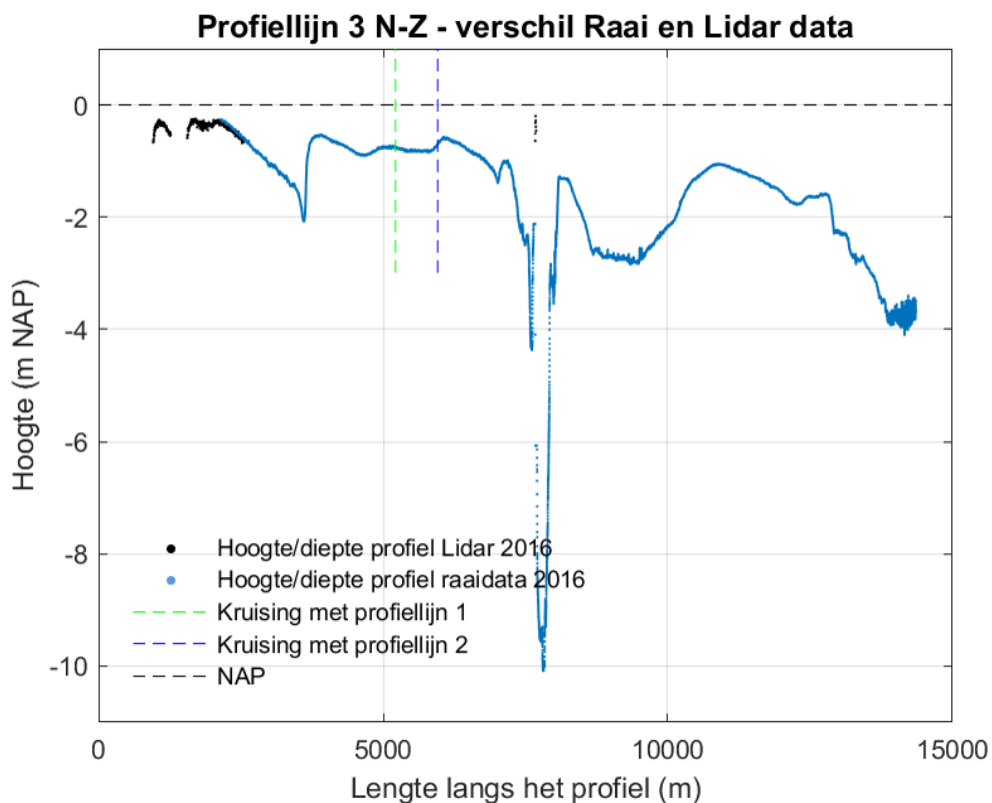
Figuur 9-9 Profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016.



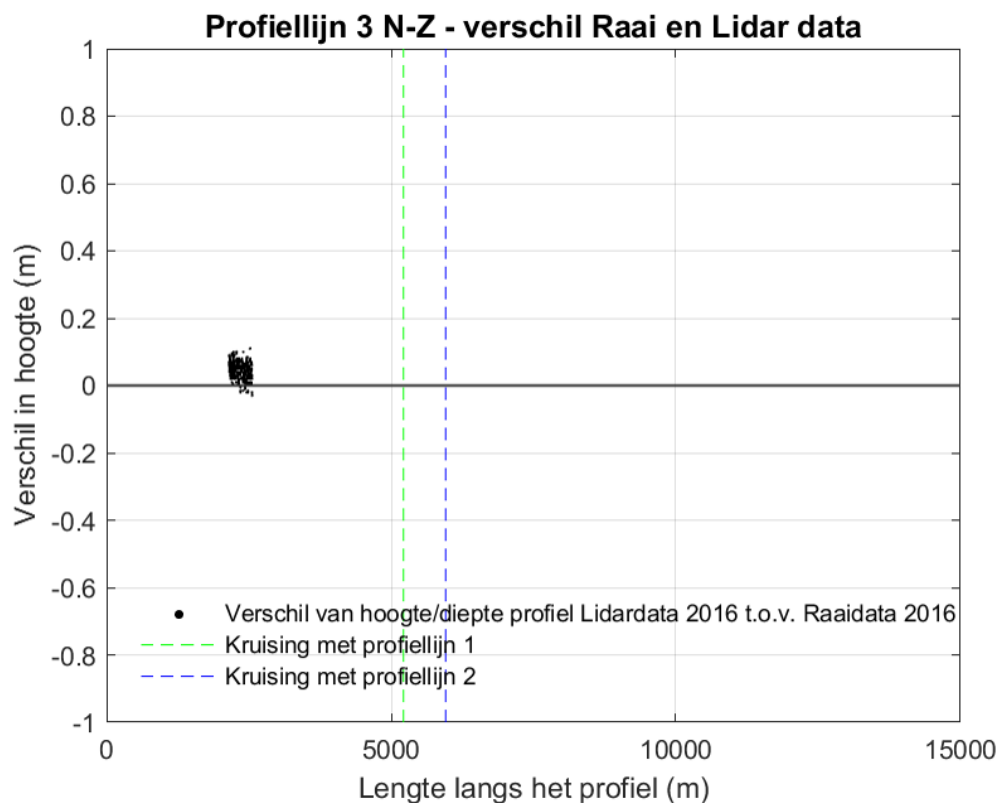
Figuur 9-10 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



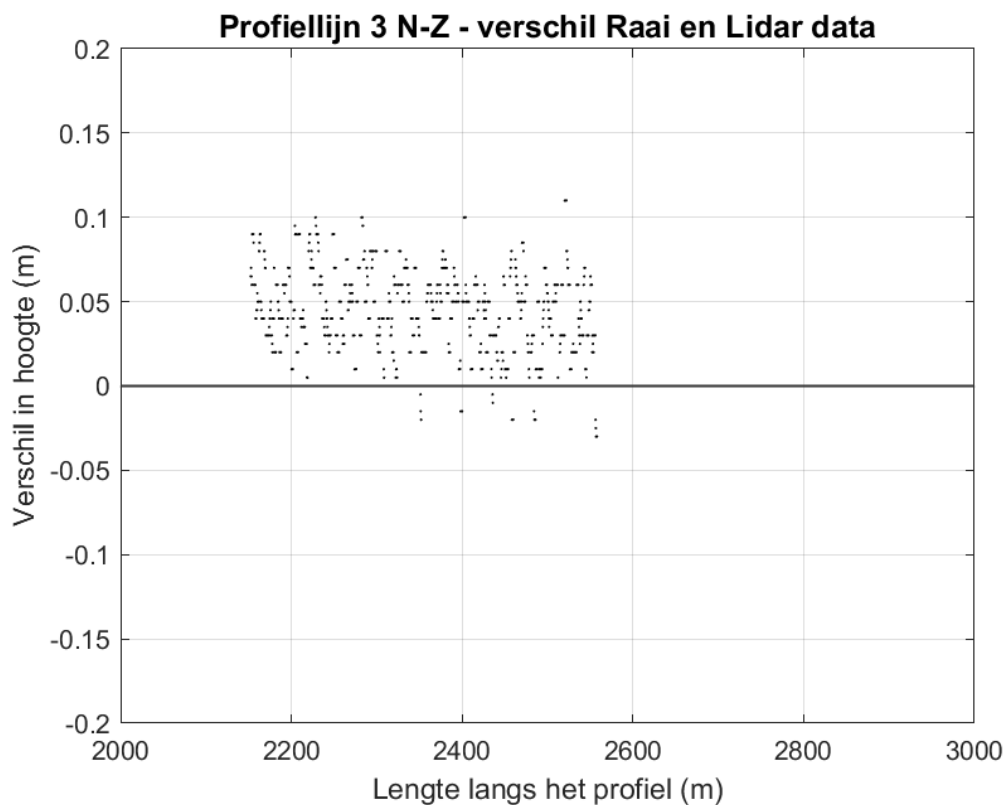
Figuur 9-11 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 9-12 Profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016.



Figuur 9-13 Verschilplot 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.



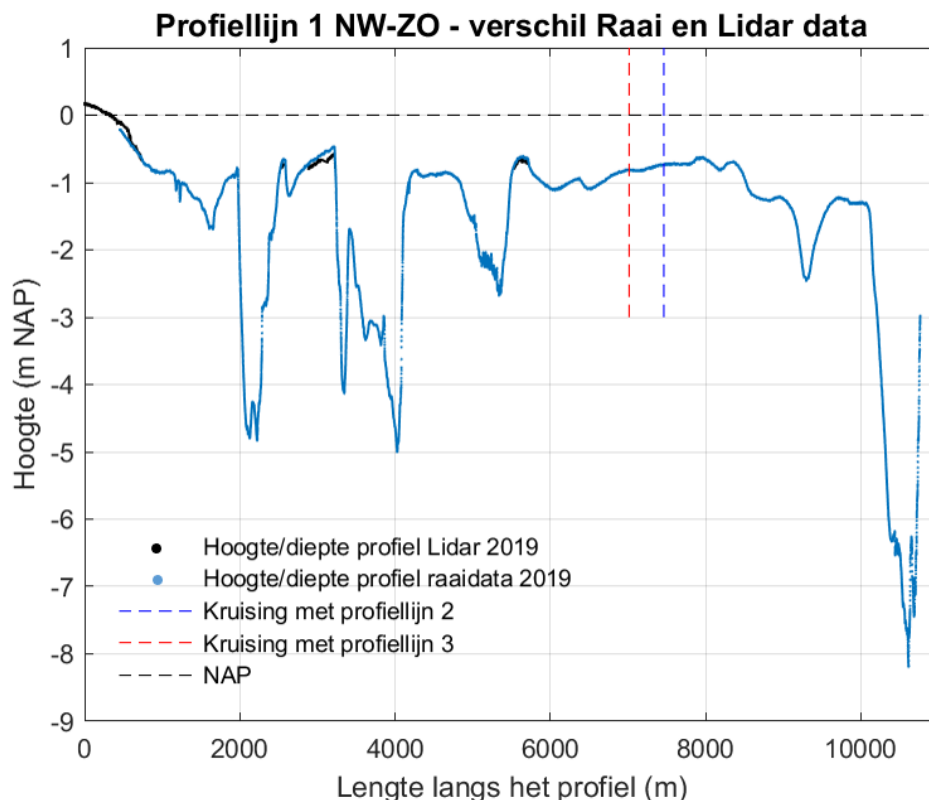
Figuur 9-14 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en de LiDAR-data van 2016. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.

Vershil 2019 raaihoogte en 2019 LiDAR

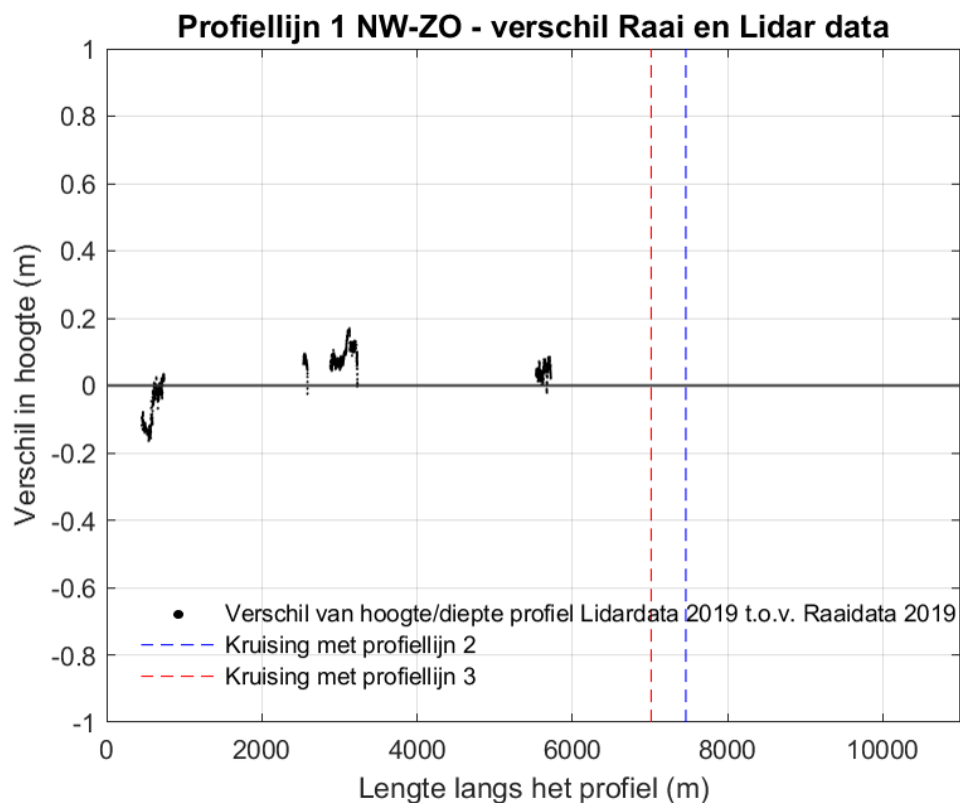
Om de morfologische verandering tussen de gemeten hoogte/diepte raaien van 2019 en de LiDAR-data van 2019 met elkaar te vergelijken, is er op basis van locatie gekeken op welke locatie er overlap is tussen beide datasets (Figuur 9-5). Als er geen LiDAR-data beschikbaar is voor de locatie van de hoogte/diepte raaimeting wordt dit ook niet weergegeven. Deze uitwerking is gedaan voor alle drie de profiellijnen en weergegeven in Figuur 9-15, Figuur 9-18 en Figuur 9-21.

Figuur 9-16, Figuur 9-19 en Figuur 9-22 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 2019, is er relatief weinig overlap tussen de LiDAR-data en de raaimetingen. Figuur 9-17, Figuur 9-20 en Figuur 9-23 laten delen van de verschilplots zien, waarbij is ingezoomd op de gebieden waar zowel LiDAR-data als hoogte/diepte data is gemeten.

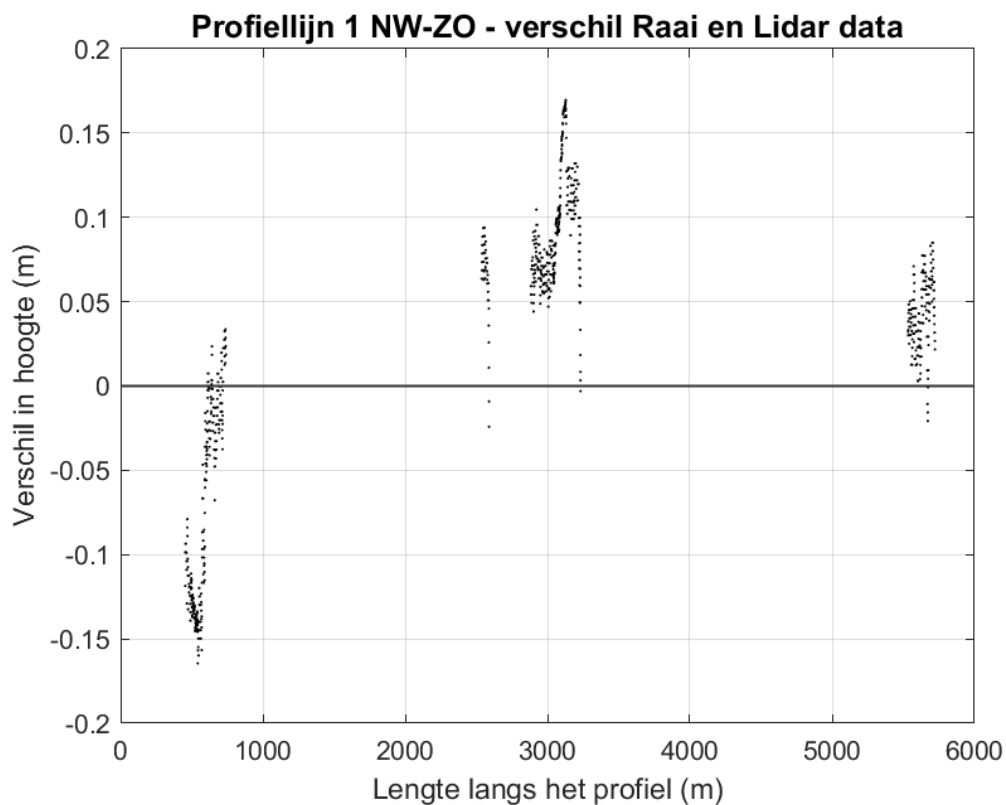
Bij profiellijn 1 in Figuur 9-17 liggen de hoogteverschillen zowel onder als boven de nul, met een onderling verschil tot anderhalve decimeter. Bij profiellijn 2 in Figuur 9-20 zijn de verschillen vrijwel groter dan nul, met waarden tot tweeëneenhalve decimeter. Het verschil wijst op een structurele afwijking van de LiDAR metingen is ten opzichte van de hoogte/diepte raaimetingen. De dwarsdoorsnede op basis van de LiDAR hoogtemetingen in profiellijn 2 (Figuur 9-18) vertoont eenzelfde verloop van het hoogte profiel.



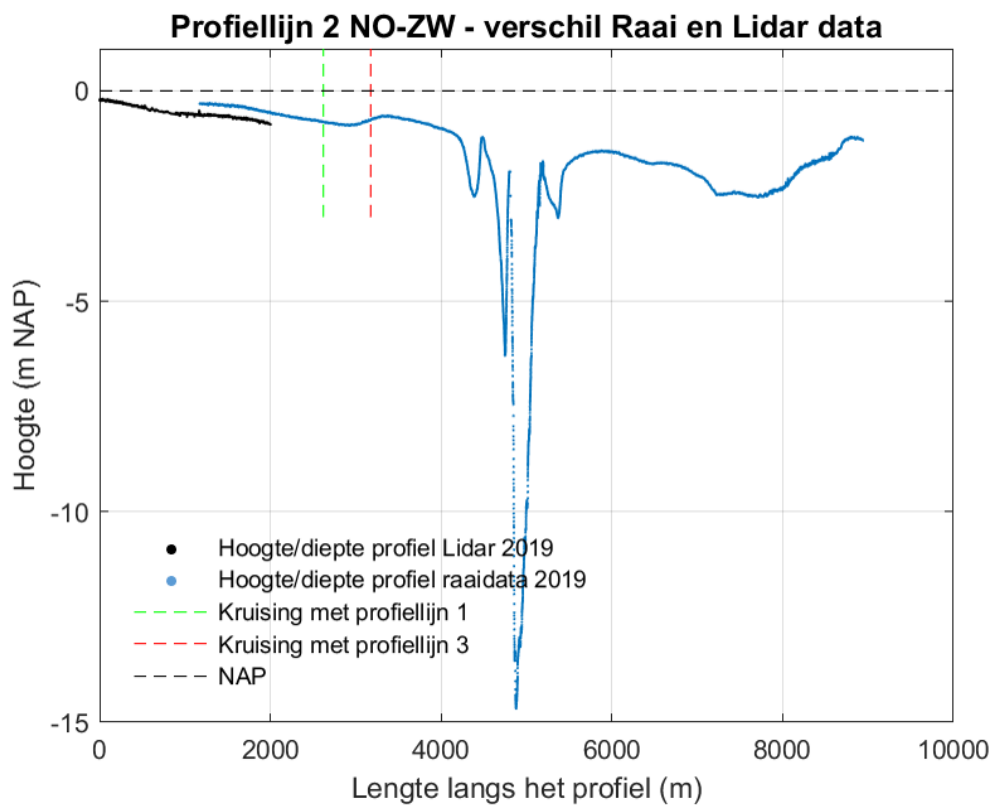
Figuur 9-15 Profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019.



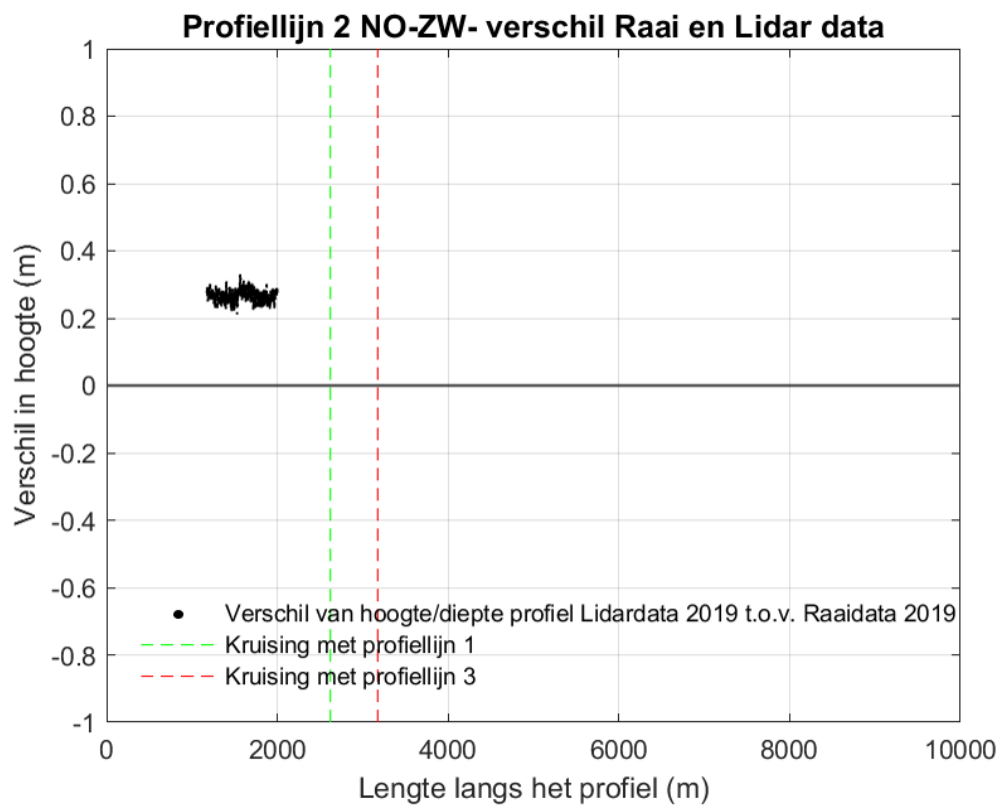
Figuur 9-16 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



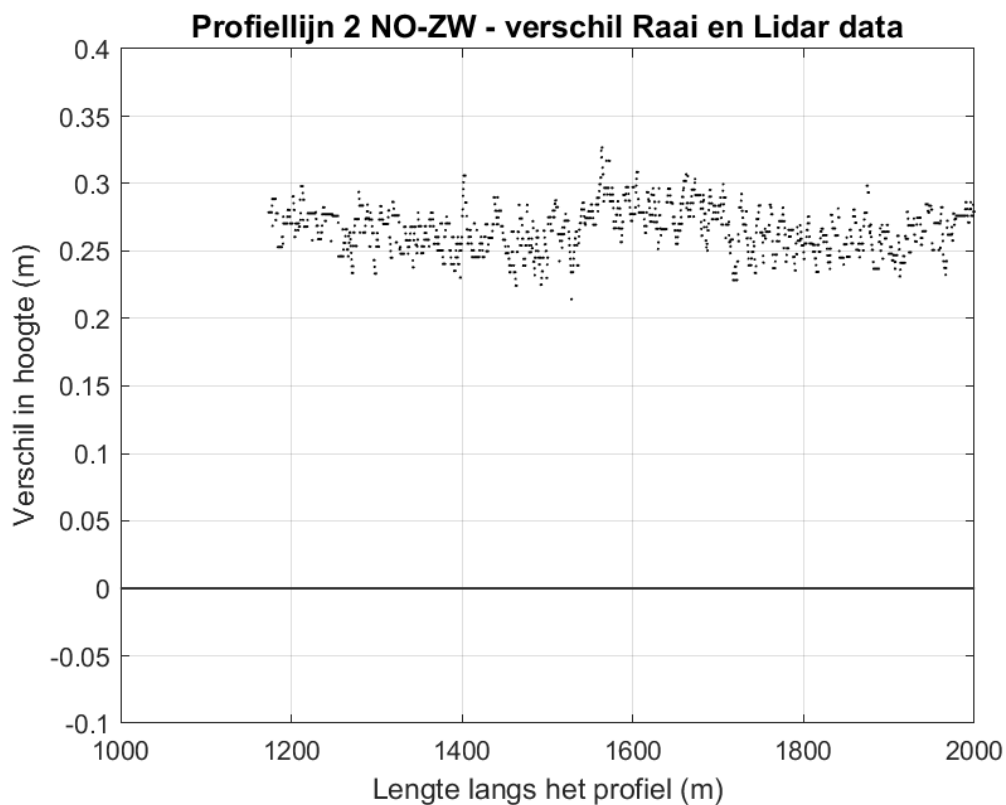
Figuur 9-17 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 9-18 Profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019.



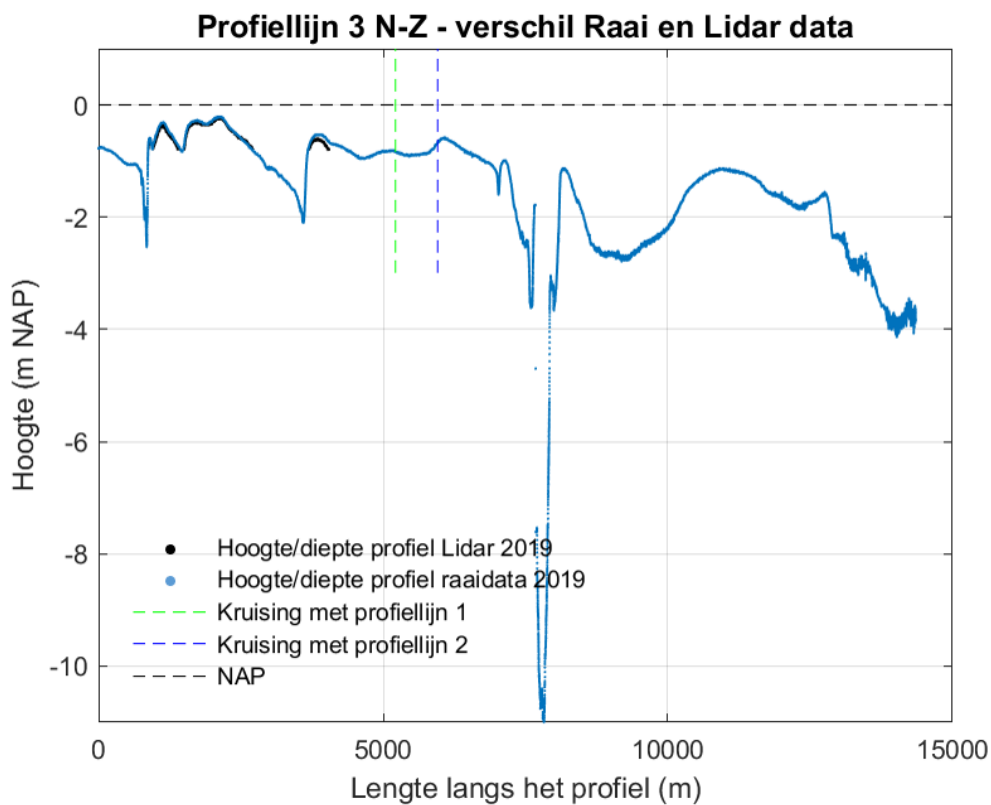
Figuur 9-19 Verskilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



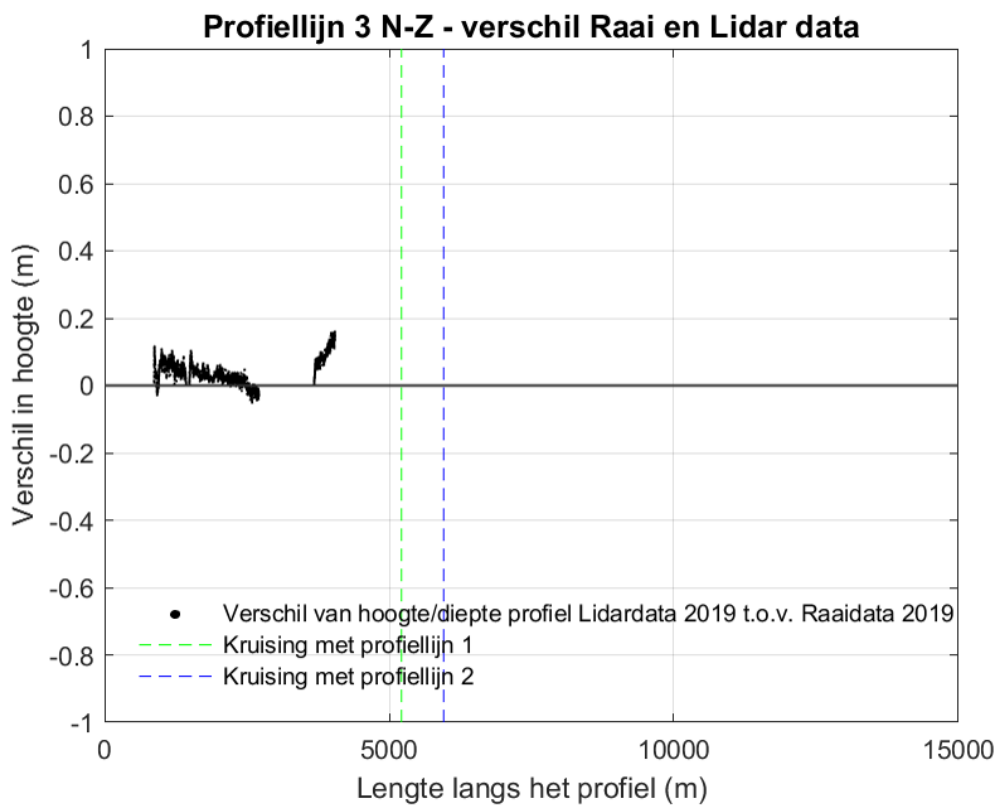
Figuur 9-20 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.

In de dwarsdoorsnede van profiellijn 3 zijn in Figuur 9-23 zijn de verschillen van de LiDAR-dataset ten opzichte van de hoogte/diepte raaimetingen relatief klein in vergelijking met de andere twee raaien. Inzoomend op dit specifieke deel van dwarsprofiel 3 (zie Figuur 9-24) laat zien dat de hoogte/diepte raaimetingen en de LiDAR-data grotendeels met elkaar overeenkomen, maar tussen 3500 en 4100 meter wijkt de LiDAR-data van de hoogte/diepte raaimetingen af.

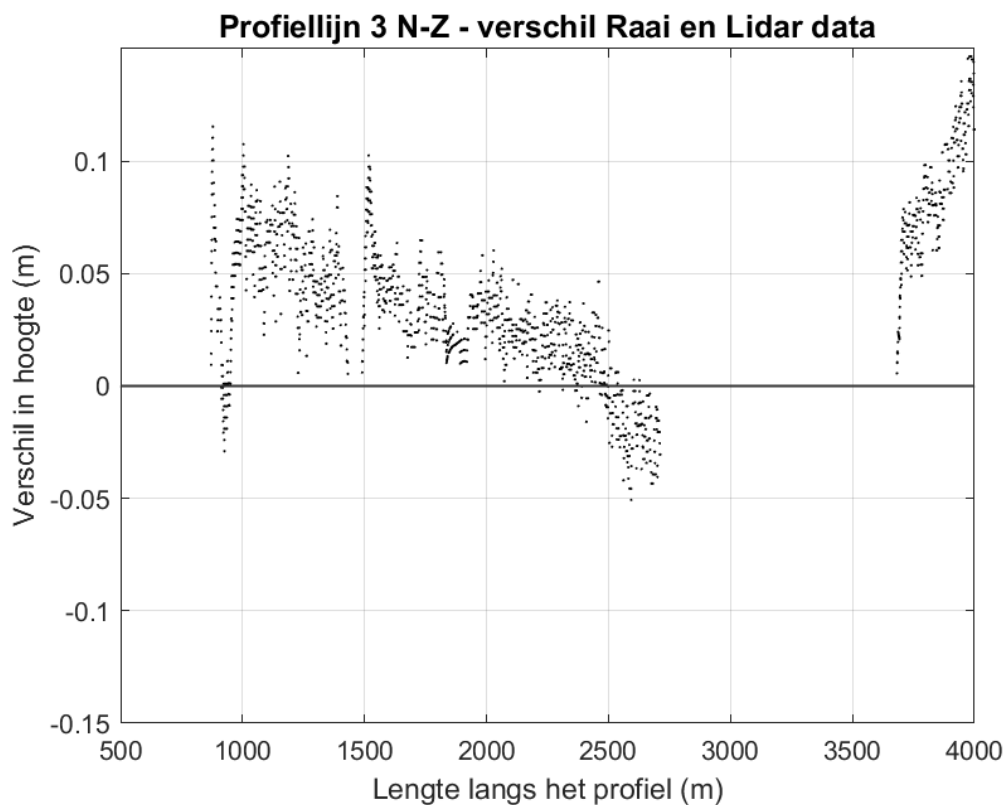
Het is niet duidelijk waarom deze verschillen in de gemeten hoogte tussen de LiDAR-hoogtemetingen en de raaimetingen in 2019 zijn ontstaan. Omdat zowel sprake is van een hogere, als van een lagere ligging in de LiDAR hoogtemetingen ten opzichte van de raaimeting, zijn de verschillen niet toe te schrijven aan een structureel verschil tussen de meetmethoden. Zo'n structureel verschil zou bijvoorbeeld ontstaan als bij de LiDAR-metingen consequent ook het laagje water op de platen wordt ingemeten.



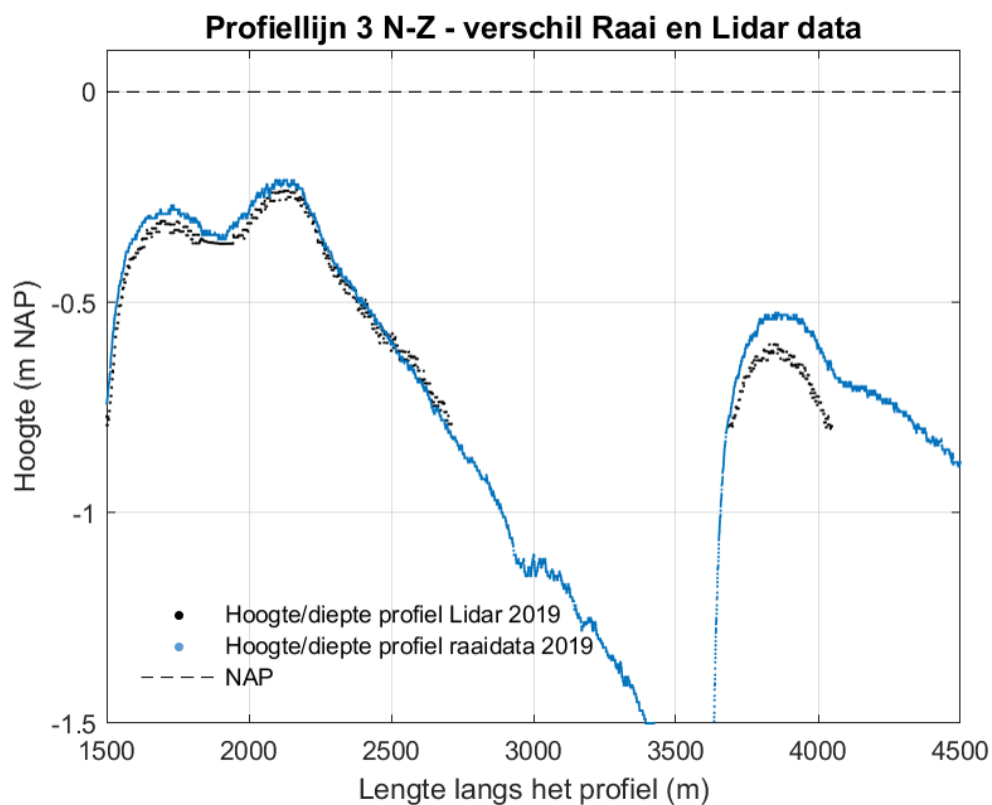
Figuur 9-21 Profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019.



Figuur 9-22 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



Figuur 9-23 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Een positieve waarde betekent dat de LiDAR lager ligt dan de hoogte/diepteraai.



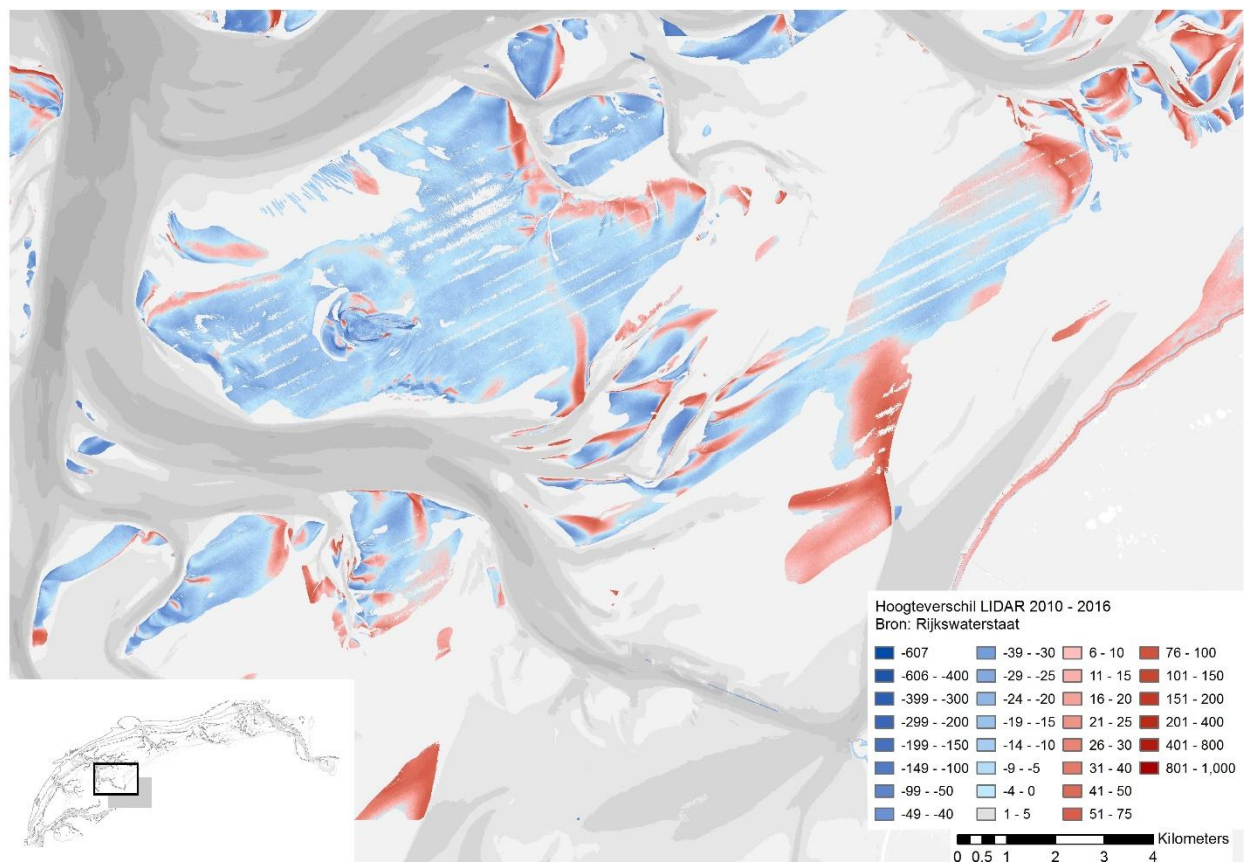
Figuur 9-24 Ingezoomd deel van profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en de LiDAR-data van 2019. Meetopnames hebben een significant verschil tussen de LiDAR-data en de raai meetgegevens uit hetzelfde jaar.

Hoogteverschil wadplaten

Om de LiDAR-datasets uit de verschillende jaren met elkaar te vergelijken zijn verschilkaarten gemaakt, waarin zichtbaar is of de gemeten hoogte hoger of lager is dan in de voorgaande opname. De gemeten verschillen in hoogte kunnen het gevolg zijn van daadwerkelijk opgetreden veranderingen in de morfologie, maar kunnen ook het resultaat zijn fouten in de metingen.

2010 - 2016

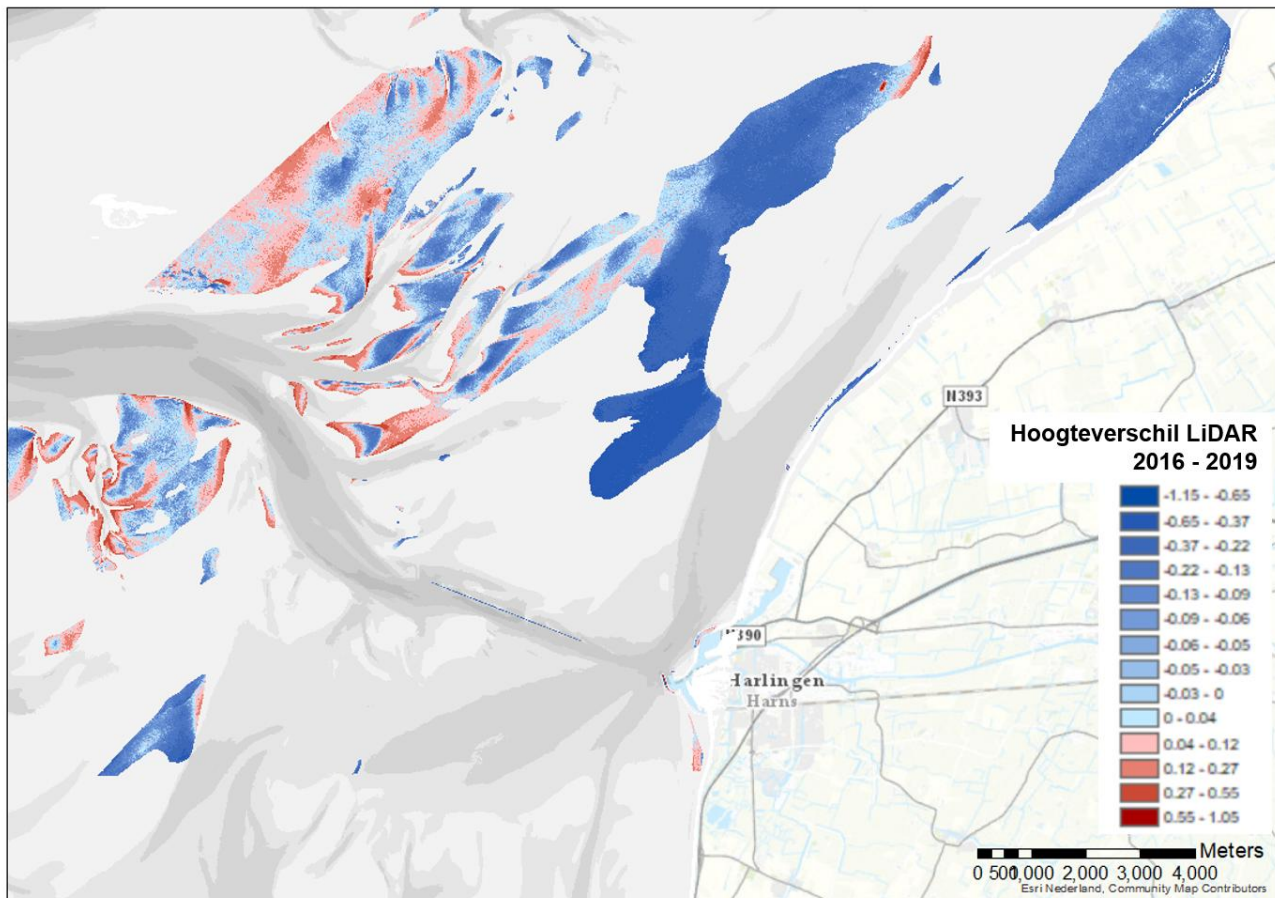
Figuur 9-25 laat het hoogteverschil zien tussen de LiDAR opnames van 2010 en 2016. In een groot deel van het studiegebied liggen de platen lager, met uitzondering van een aantal plaatranden. Aan de zuidwestzijde en aan de noordoostzijde van de Ballastplaat is sprake van gebieden waar de plaat hoger ligt in 2016.



Figuur 9-25 Kaart met de hoogteverschillen in centimeters tussen de LiDAR hoogtemetingen van 2010 en 2016. De blauwe gebieden liggen lager in 2016 en de rode gebieden hoger.

2016 – 2019

Figuur 9-26 laat het hoogteverschil zien tussen de LiDAR opnames van 2016 en 2019. In een groot deel van het studiegebied lijken de platen lager te liggen, met uitzondering van een aantal plaatranden en de Grienderwaard die in het algemeen hoger zijn geworden. Met name de Ballastplaat lijkt in de LiDAR-opnames van 2019 in zijn geheel lager te liggen. Hier staat steeds 'lijkt', omdat het op basis van de vergelijking van de LiDAR hoogtemetingen met de raaimetingen duidelijk is dat de gemeten hoogte met de LiDAR afwijkt van de werkelijke hoogte van de droogvallende platen. De weergegeven verschillen zijn daarom hoogstwaarschijnlijk geen indicatie van morfologische veranderingen.



Figuur 9-26 Kaart met de hoogteverschillen in meters tussen de LiDAR hoogtemetingen van 2016 en 2019. De blauwe gebieden liggen lager in 2019 en de rode gebieden hoger.

Observaties 2016 en 2019 LiDAR-hoogte metingen van de droogvallende platen

De resultaten van de LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen in de opeenvolgende opnames behoorlijk veel verschillen zien. Die verschillen betreffen zowel de omvang van het areaal waarvan de gegevens zijn ingewonnen, als de hoogte en vorm van de droogvallende platen. Het verschil in het waargenomen areaal is een gevolg van de vereisten die aan de metingen worden gesteld, zoals is uitgelegd in paragraaf 2.2. Omdat een belangrijk deel van het plaatareaal in het invloedsgebied laag ligt, dat wil zeggen in het onderste deel van het intergetijdebereik, is de duur van de laagwaterperiode bij plaatareaal beperkt. Dat betekent dat het water, in vergelijking met hogere wadplaten, weinig tijd heeft om af te stromen via geultjes, of in wadbodem weg te zakken. Daarmee wordt de kans vergroot dat de laserstraal van de LiDAR, in plaats van het sedimentoppervlakte het wateroppervlakte raakt. Dat betekent niet alleen dat daarmee een andere hoogte wordt ingemeten dan bedoeld, maar ook dat veel minder metingen worden uitgevoerd. Dat laatste heeft te maken met de wijze waarop de meting wordt uitgevoerd: het door de bodem verstrooide licht wordt gemeten. Een wateroppervlakte reflecteert meer dan het verstrooid, waardoor minder wordt gemeten.

De vergelijking van de LiDAR hoogtemetingen met de raaimetingen voor de opnames van 2016 en 2019 maakt duidelijk dat de verschillen relatief groot zijn, in vergelijking met de verschillen tussen de opeenvolgende raaimetingen. Omdat sprake is van negatieve en positieve afwijkingen wordt vastgesteld dat het geen structurele afwijking is in LiDAR hoogtemetingen. Het is niet duidelijk wat de verschillen in de gemeten hoogte tussen de opeenvolgende LiDAR hoogtemetingen en met de raaimetingen veroorzaakt.

Het vertrouwen in de uitkomsten van de LiDAR hoogtemetingen is minder groot dan dat in de raaimetingen. Daarbij komt dat de LiDAR metingen slechts een beperkt deel omvatten van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan plaatsvinden. Daarmee lenen de LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen zich veel minder dan de raaimetingen voor het signaleren van de kleine morfologische

veranderingen waar in de autonome situatie sprake van is. In hoofdstuk 7.3 zal nader worden ingegaan op de beperkingen van de LiDAR hoogtemetingen en mogelijkheden van alternatieve meetmethoden.

BIJLAGE B VERGELIJKING CONTROLEPUNTEN

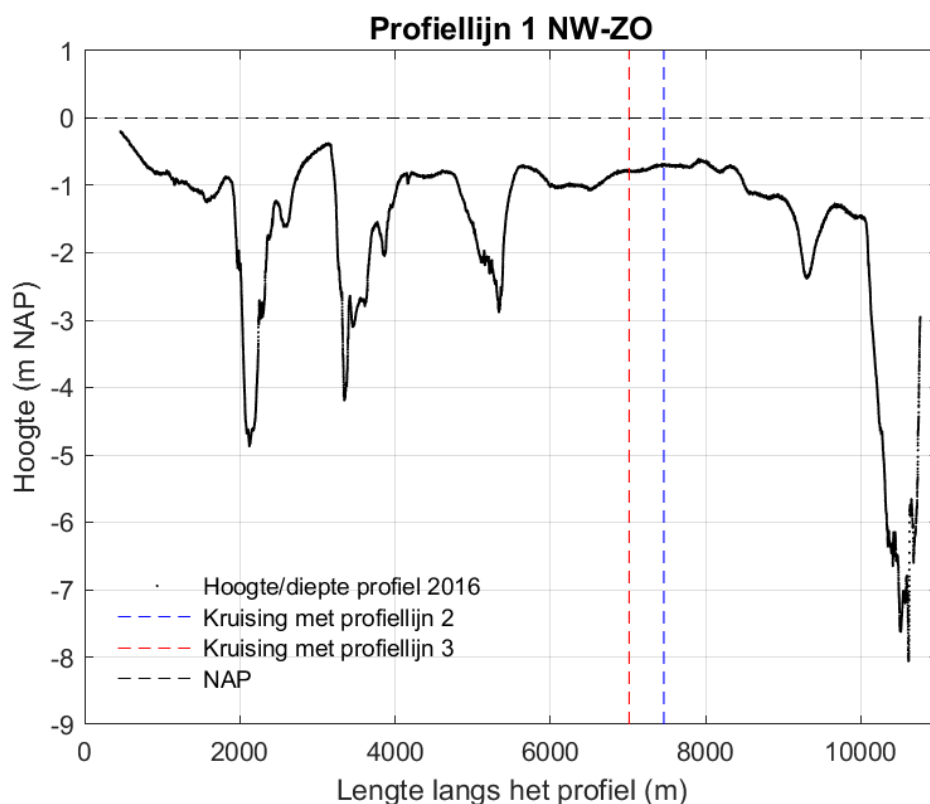
Metingen uit 2016

In de drie figuren hieronder (Figuur 9-27, Figuur 9-28 en Figuur 9-29) zijn de drie hoogte/diepte raaien getoond die zijn ingemeten in 2016. De raaien zijn ingemeten op 30 mei en 31 mei 2016.

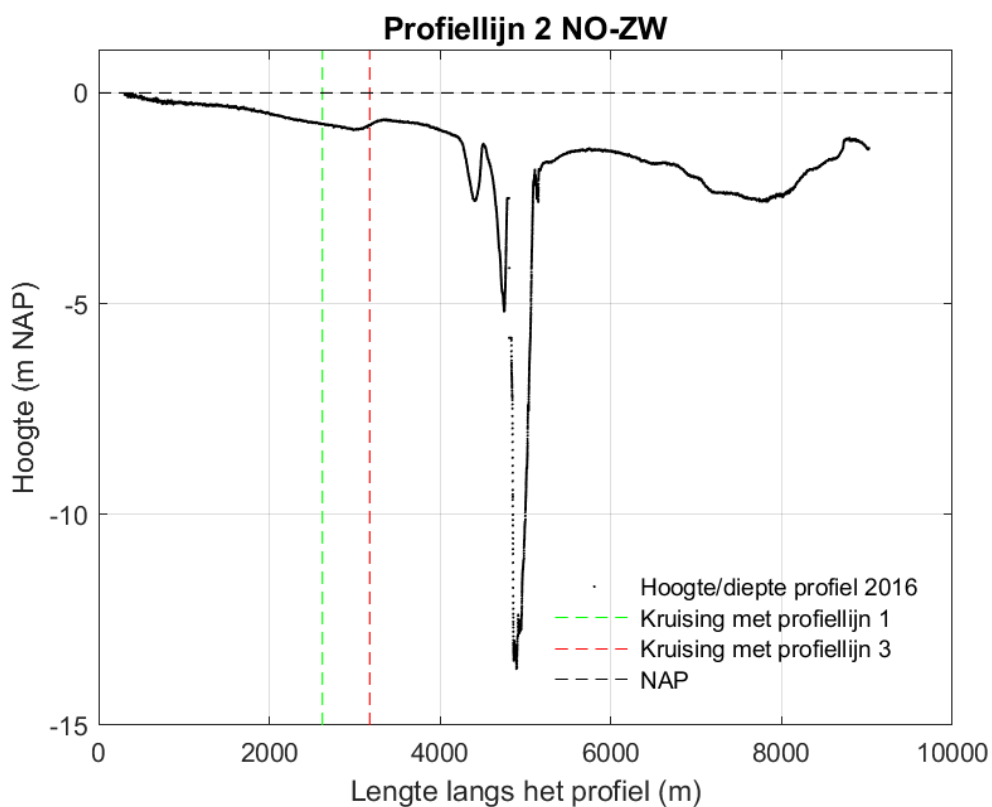
Om te kijken of de hoogte/diepteraaien onderling met elkaar overeenkomen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-30, Figuur 9-31 en Figuur 9-32, let daarbij op de schaal van deze detailkaarten). Deze controlepunten bestaan uit de kruispunten van de raaien. De dichtstbijzijnde punten van elke 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.

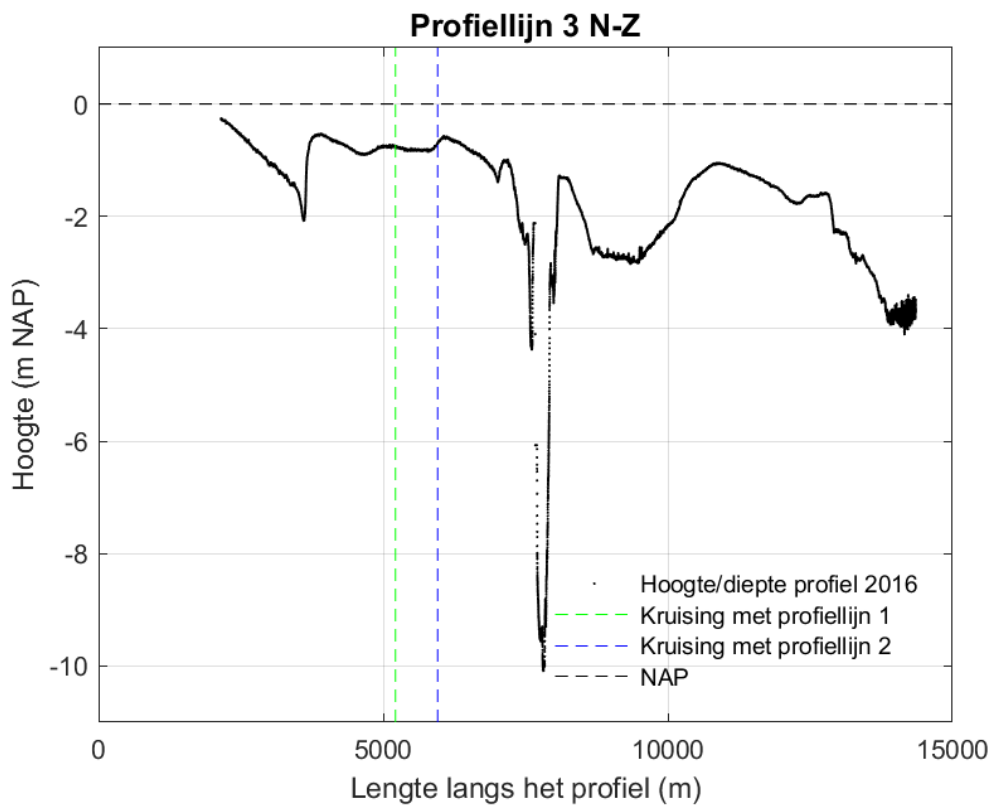
Hieruit blijkt dat hoogte/diepte raaien die op een volgende dag gemeten zijn enkele centimeters kunnen verschillen. Ten opzichte van profiellijn 1 ligt profiellijn 3 waarschijnlijk structureel iets hoger en profiellijn 2 structureel iets lager. Deze verschillen komen overeen met de nauwkeurigheid van dit type metingen. De nauwkeurigheid is ruim voldoende om te kijken naar bodemveranderingen binnen het studiegebied.



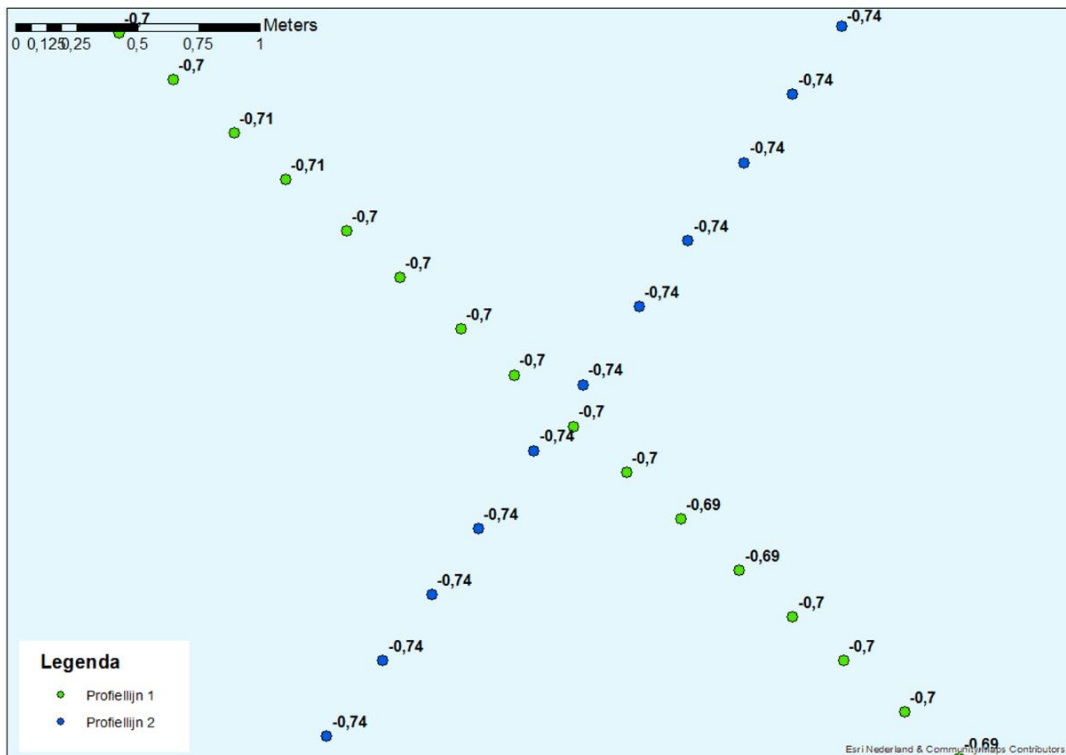
Figuur 9-27 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2016.



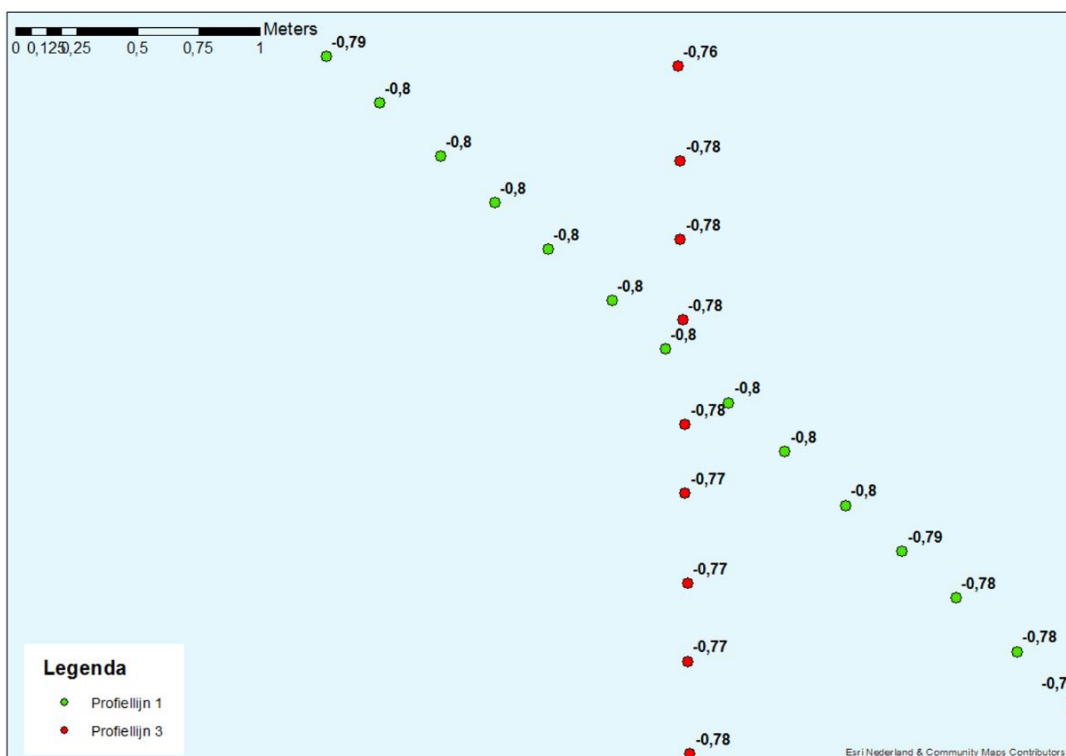
Figuur 9-28 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2016.



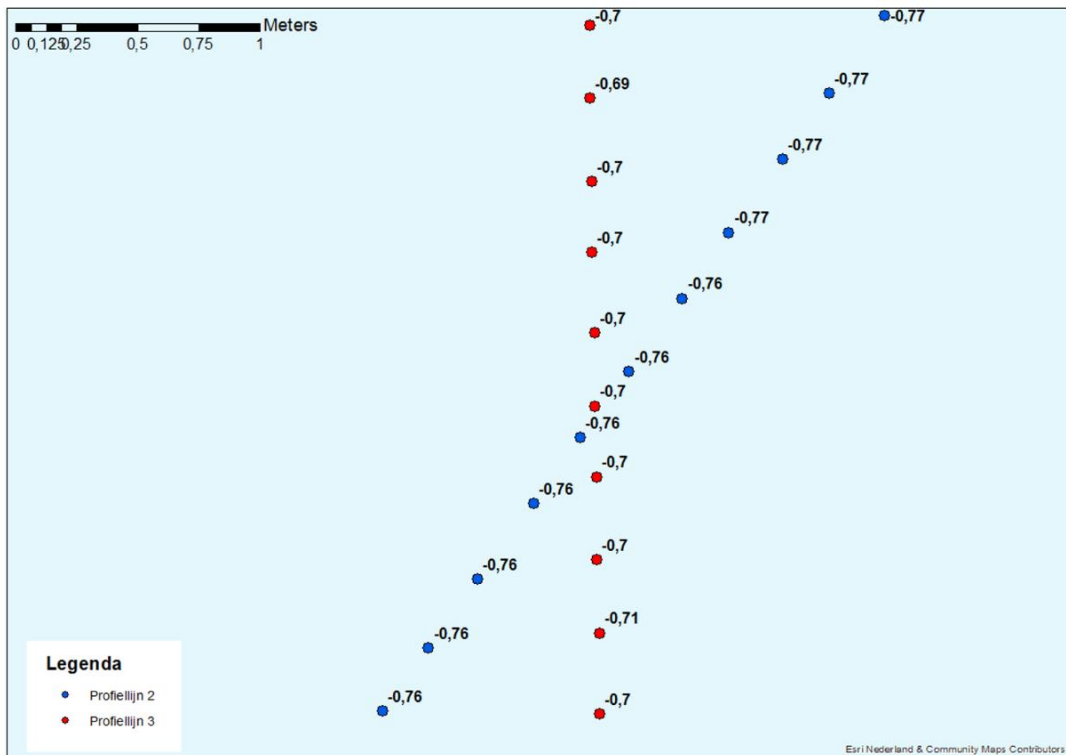
Figuur 9-29 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2016.



Figuur 9-30 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-31 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-32 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2016, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

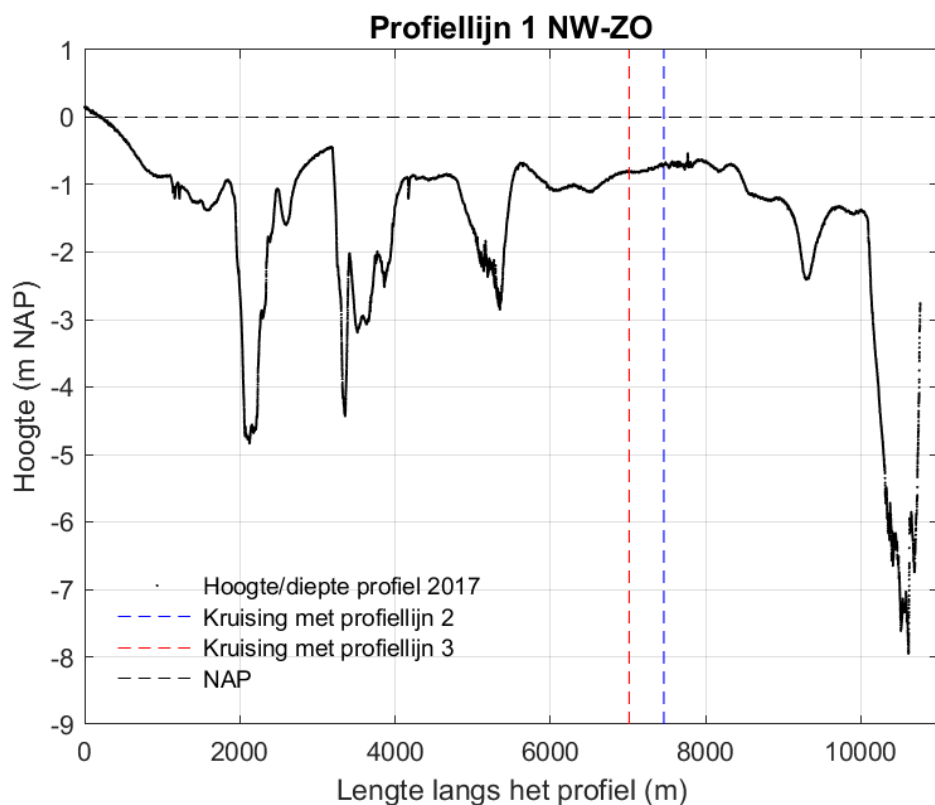
Metingen uit 2017

In onderstaande figuren (zie Figuur 9-33, Figuur 9-34 en Figuur 9-35) is de bodemligging in de drie hoogte/diepte raaien getoond, zoals gemeten op 18 mei 2017.

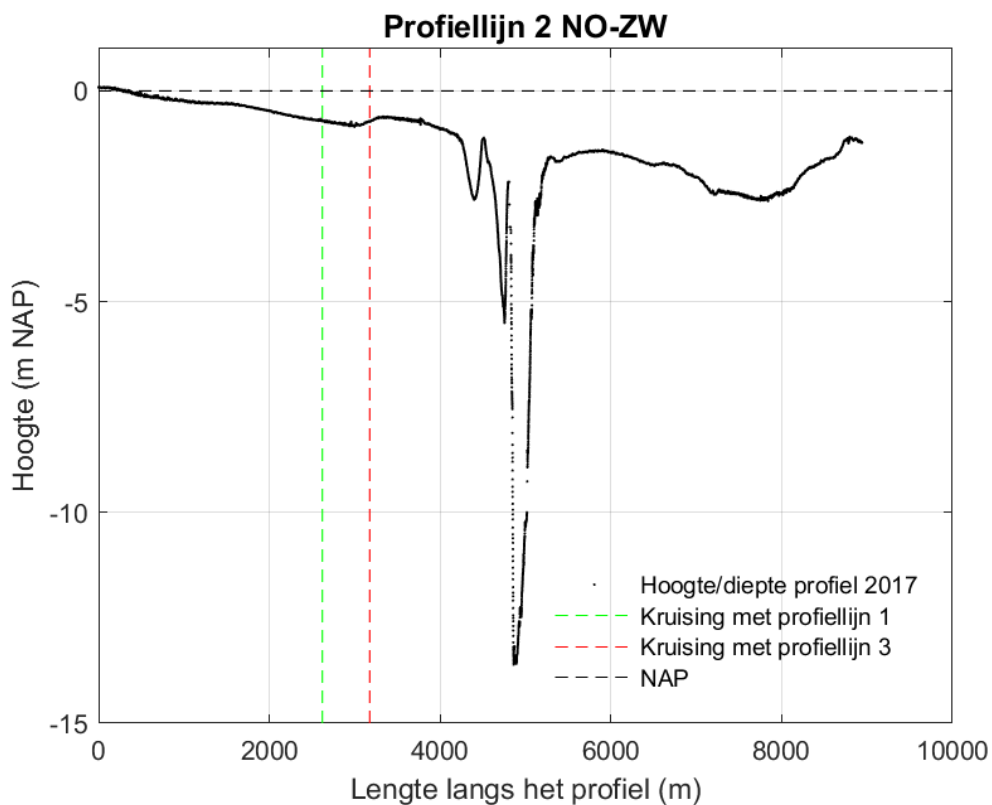
Om te kijken of de metingen van de drie hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen, zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-36, Figuur 9-37 en Figuur 9-38). Uit de meetgegevens blijkt dat er een verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

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

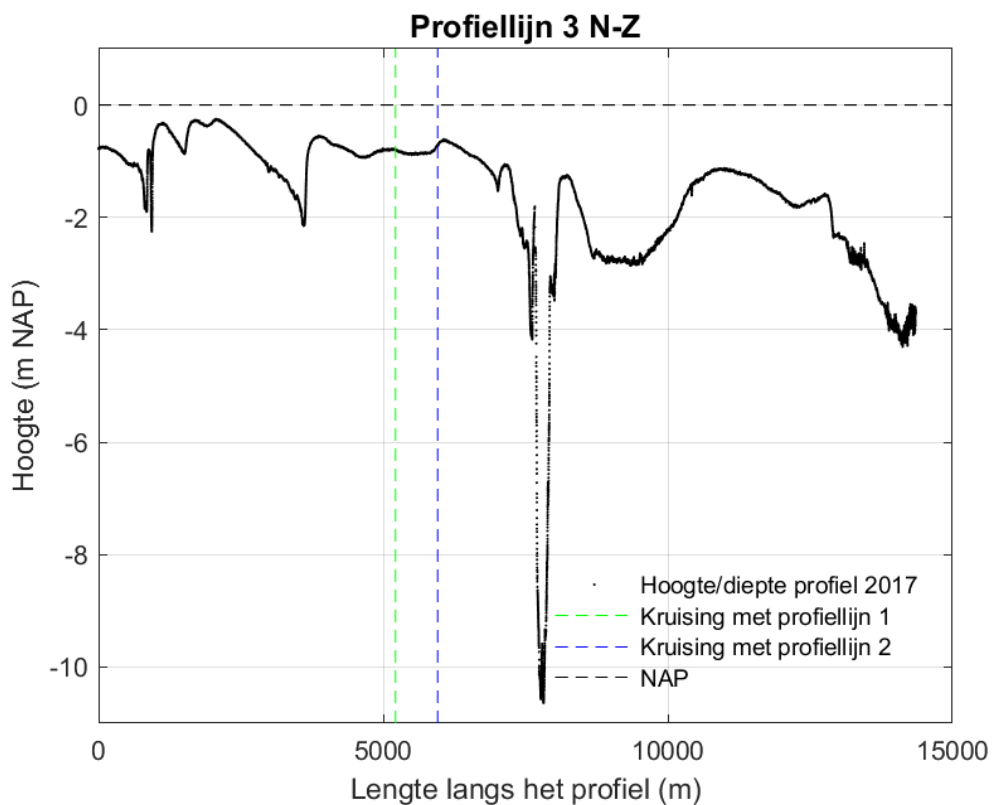
Hieruit blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien zeer goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt ruim binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen. De nauwkeurigheid van de metingen is ruim voldoende in vergelijking met de maximale bodemdaling van de Pleistocene ondergrond van enkele centimeters die per jaar kan optreden.



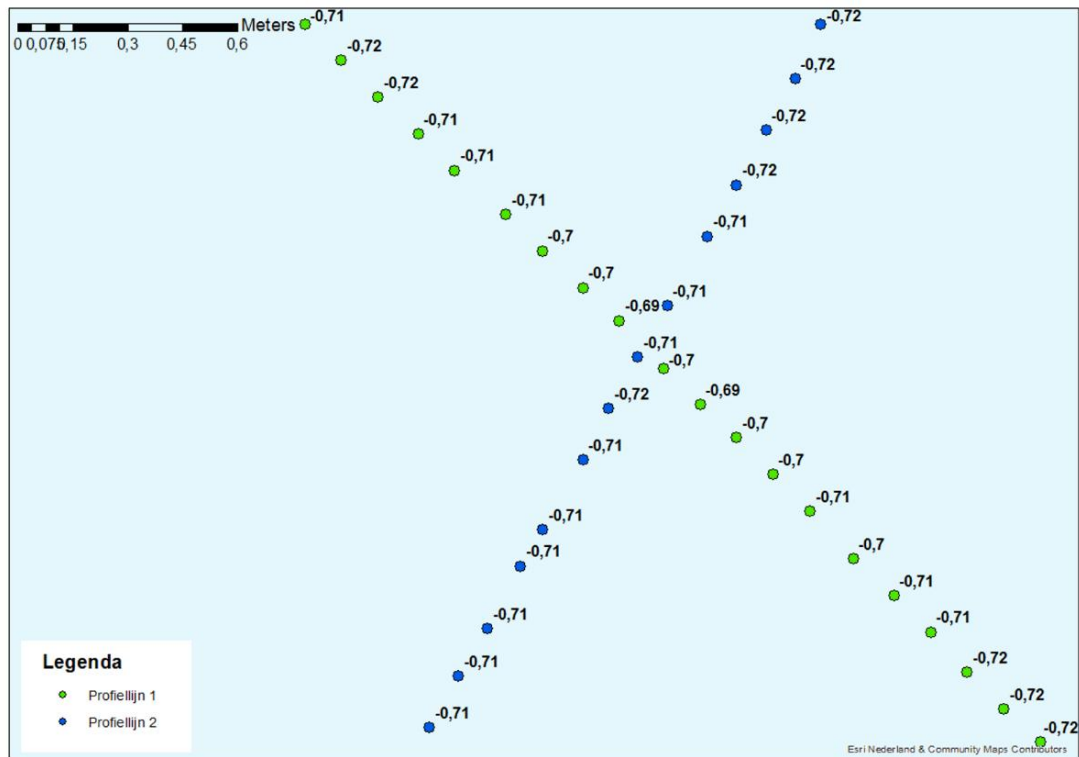
Figuur 9-33 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2017.



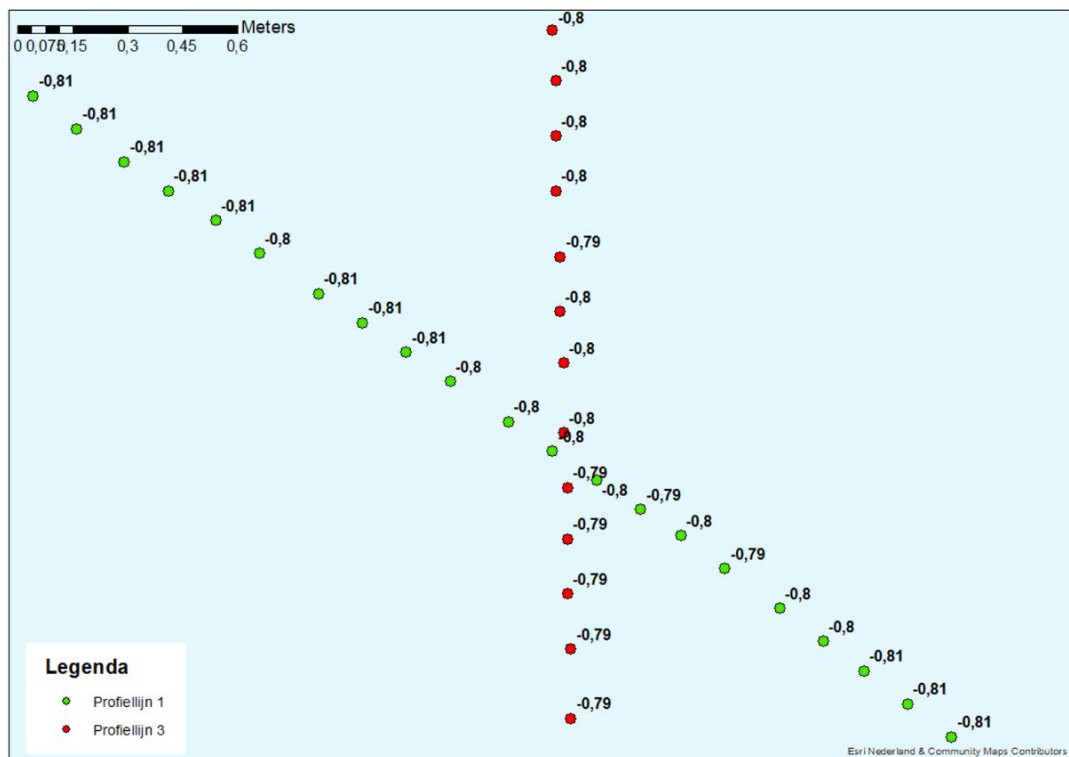
Figuur 9-34 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2017.



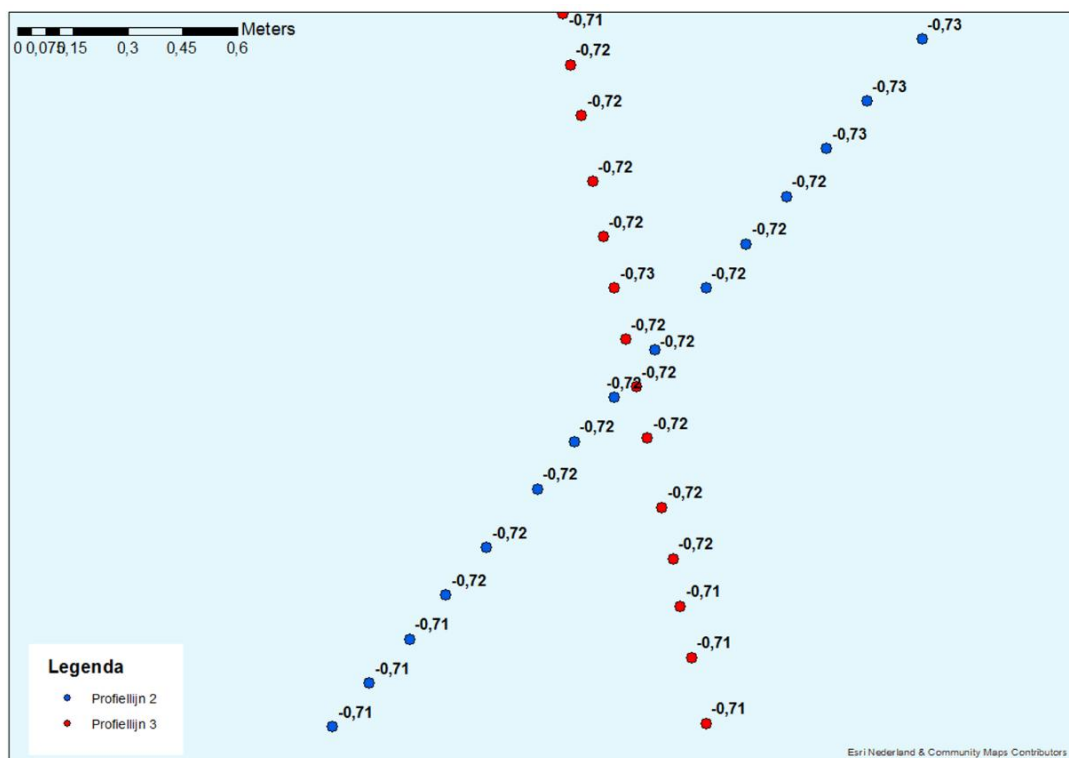
Figuur 9-35 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2017.



Figuur 9-36 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-37 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-38 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2017, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

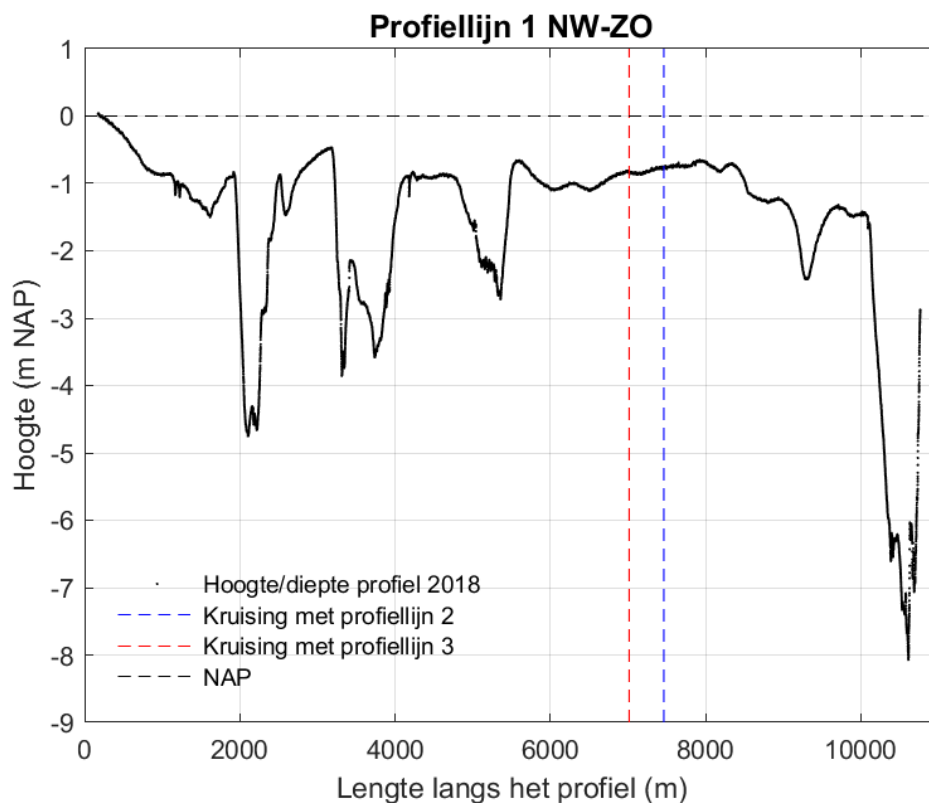
Metingen uit 2018

In onderstaande figuren (zie Figuur 9-39, Figuur 9-40 en Figuur 9-41) wordt de bodemligging getoond in de drie hoogte/diepte raaien die zijn gemeten op 20 maart 2018.

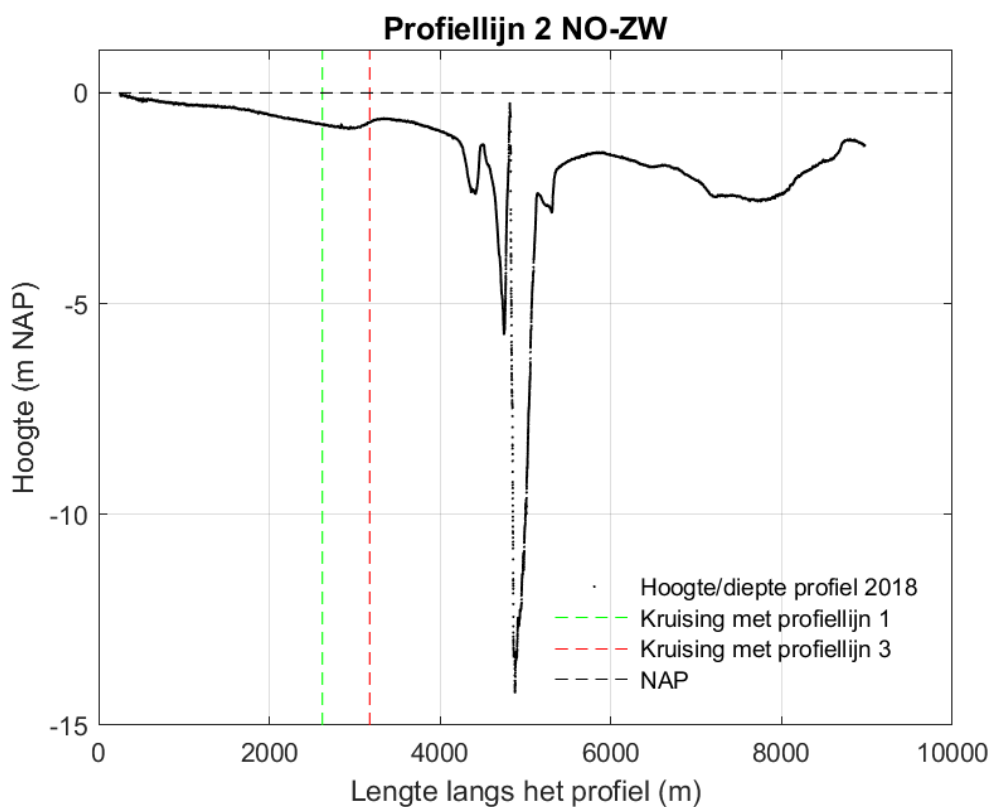
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-42, Figuur 9-43 en Figuur 9-44). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

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

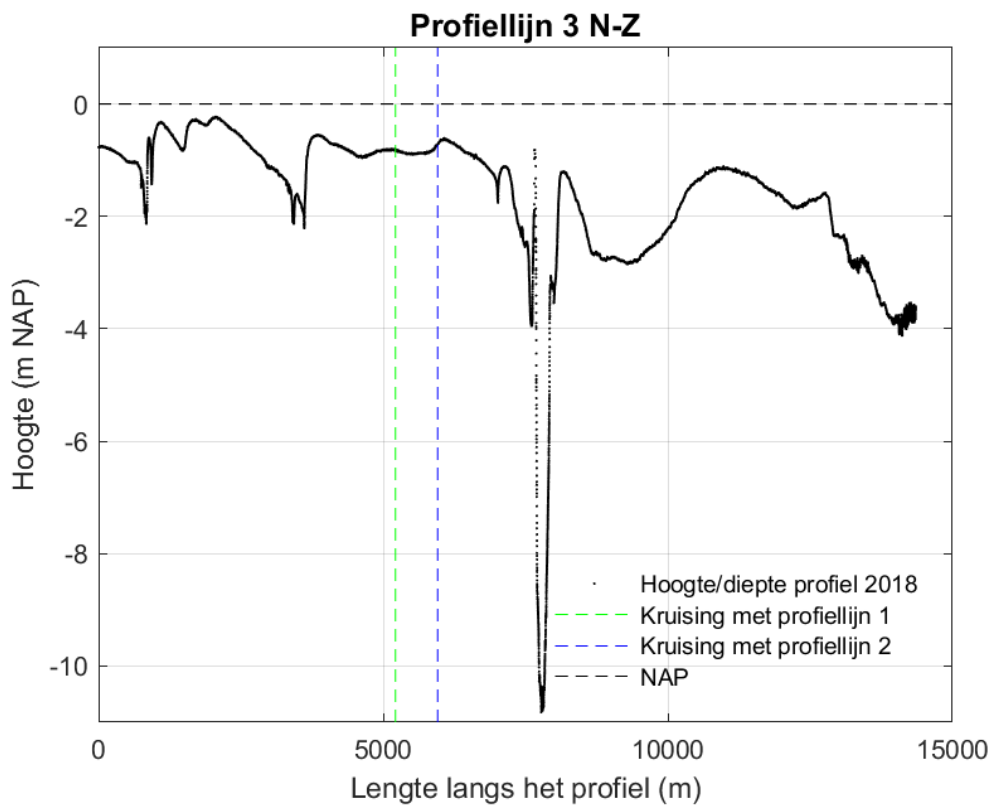
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien zeer goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt ruim binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



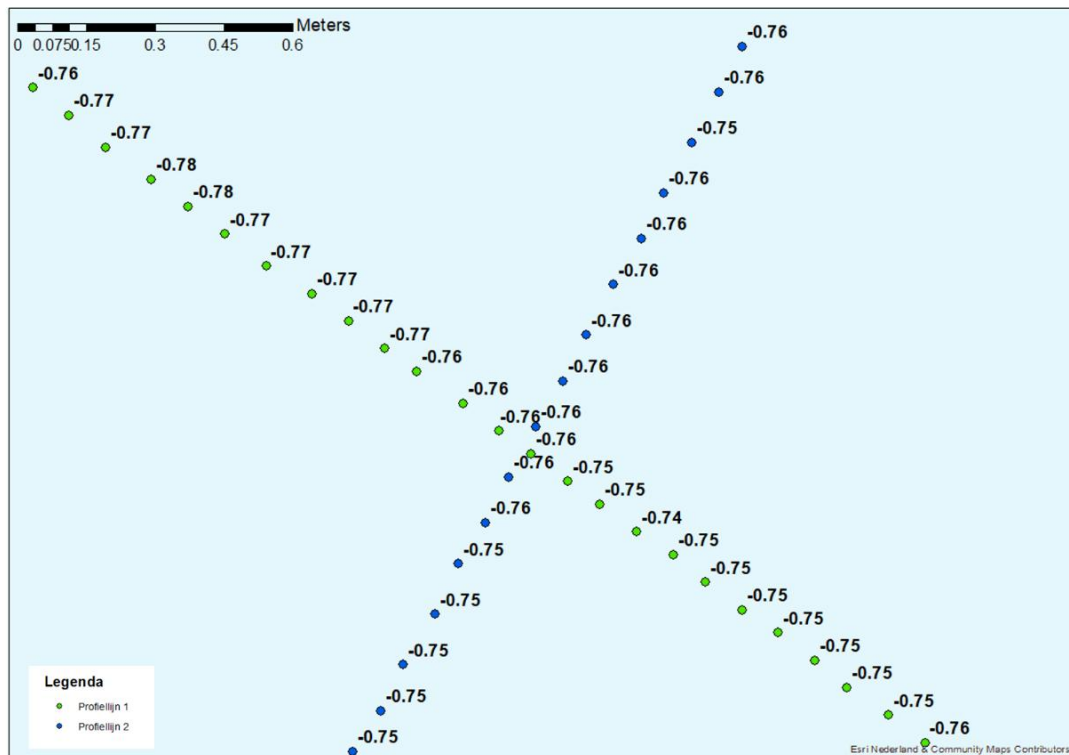
Figuur 9-39 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2018.



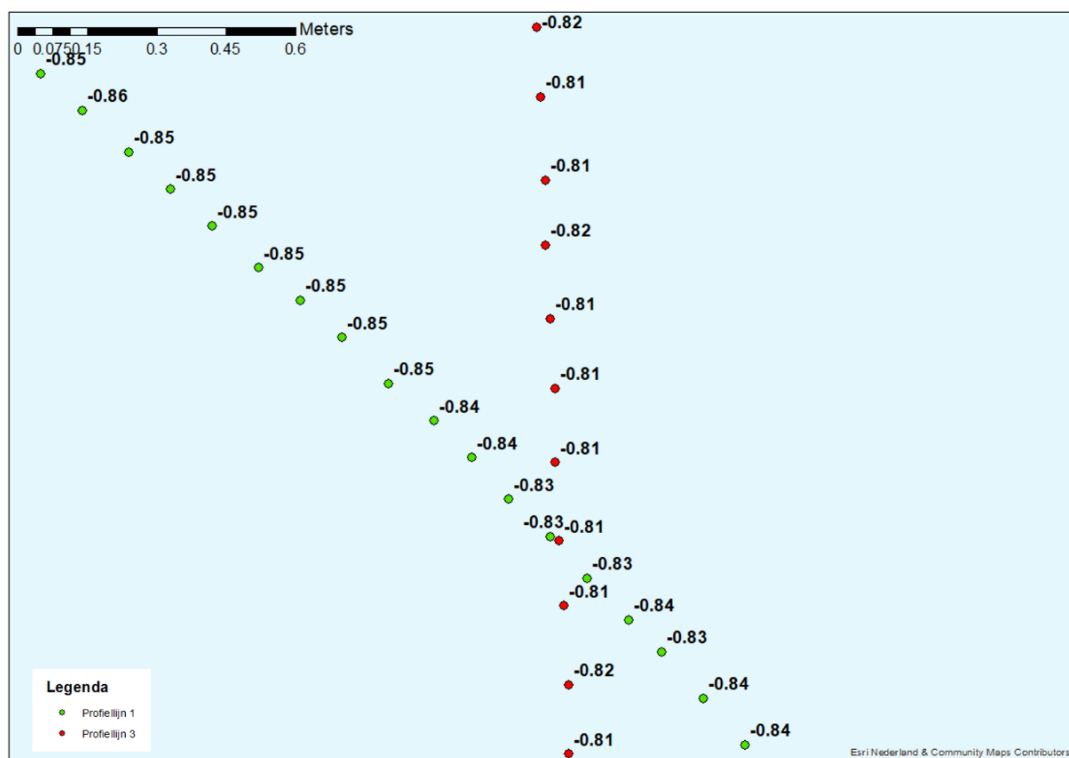
Figuur 9-40 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2018.



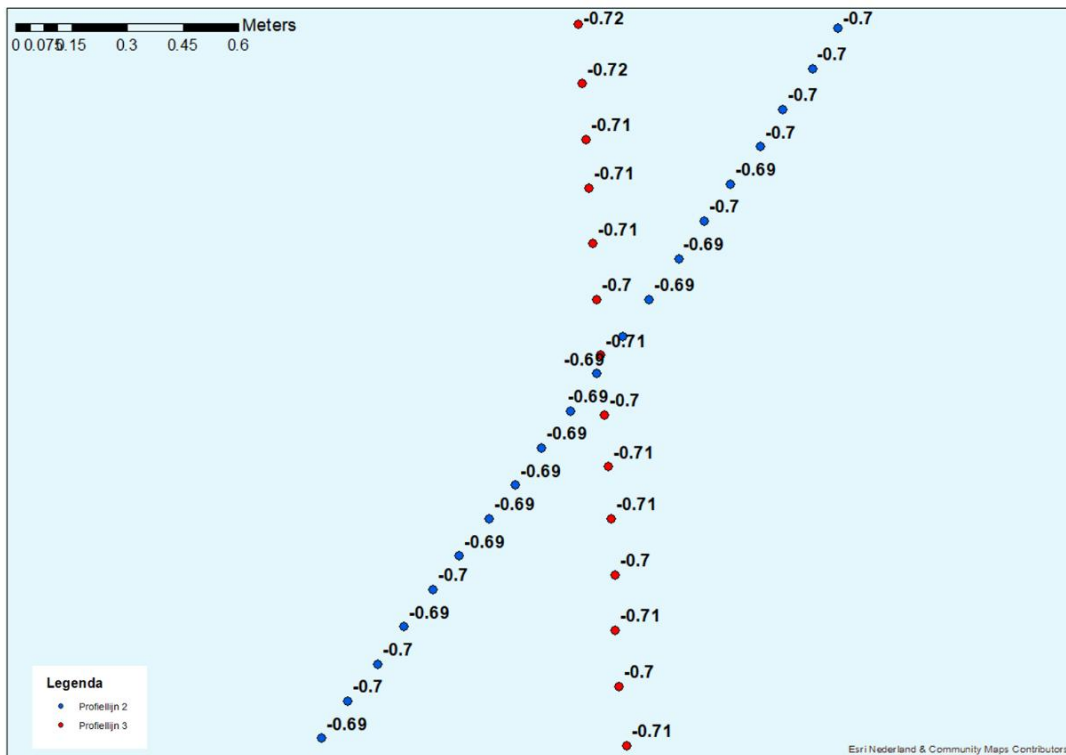
Figuur 9-41 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2018.



Figuur 9-42 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-43 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-44 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2018, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

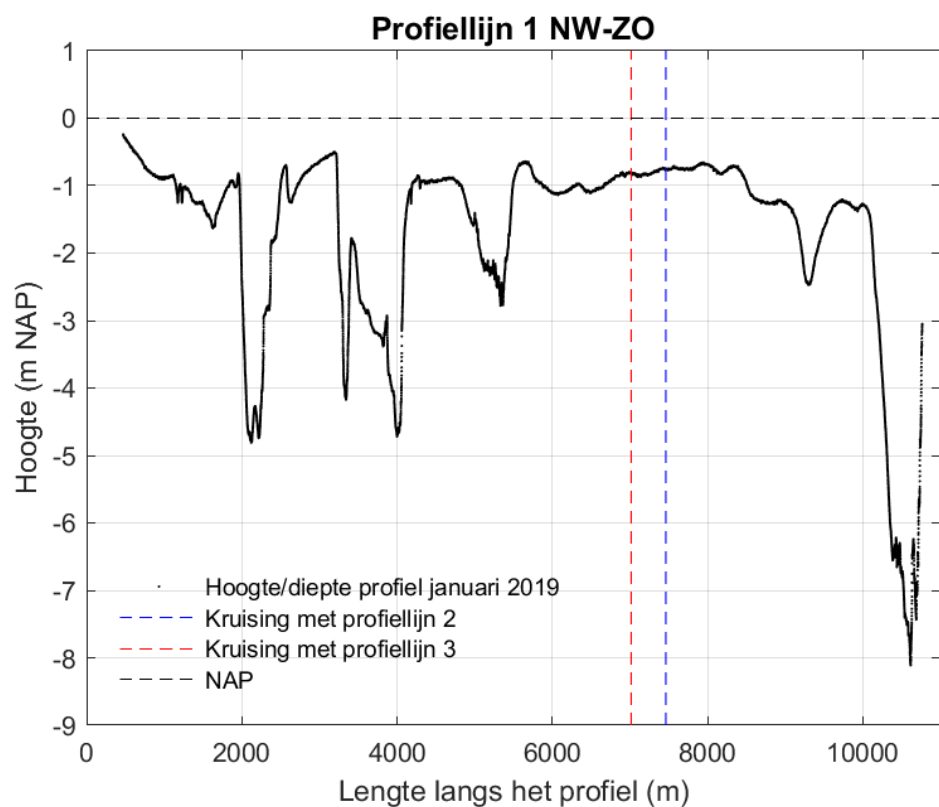
Metingen uit januari 2019

In onderstaande figuren (zie Figuur 9-45, Figuur 9-46 en Figuur 9-47) tonen de hoogte/diepte in de drie raaien, die zijn ingemeten op 25 januari 2019.

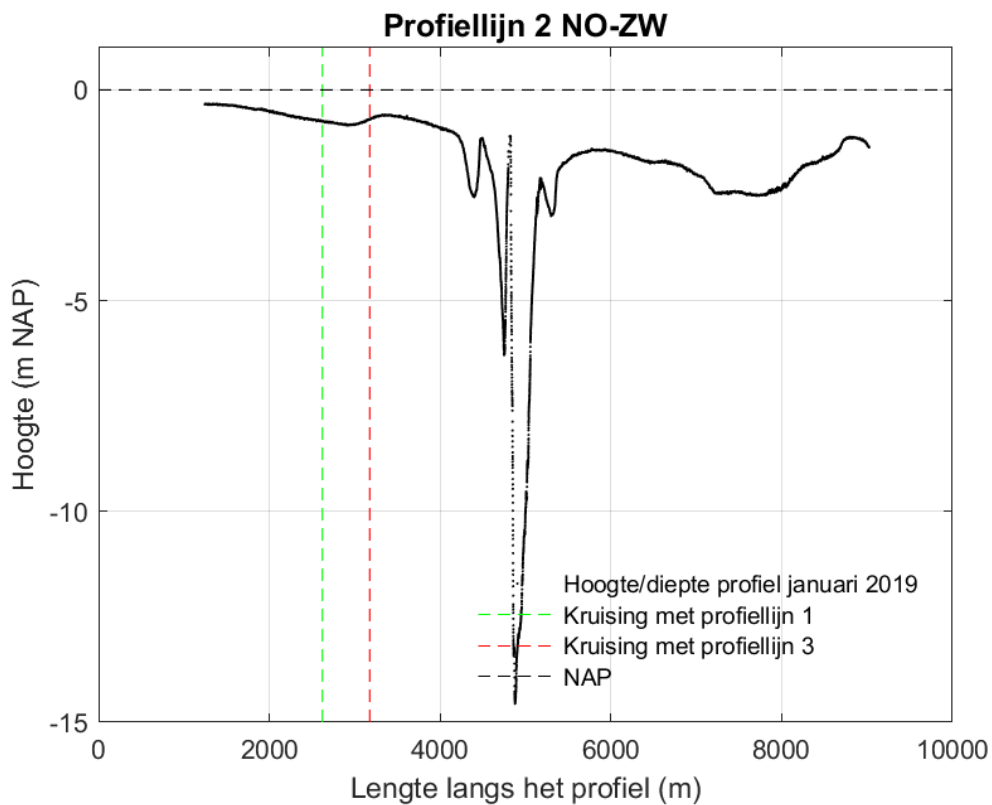
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-48, Figuur 9-49 en Figuur 9-50). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

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

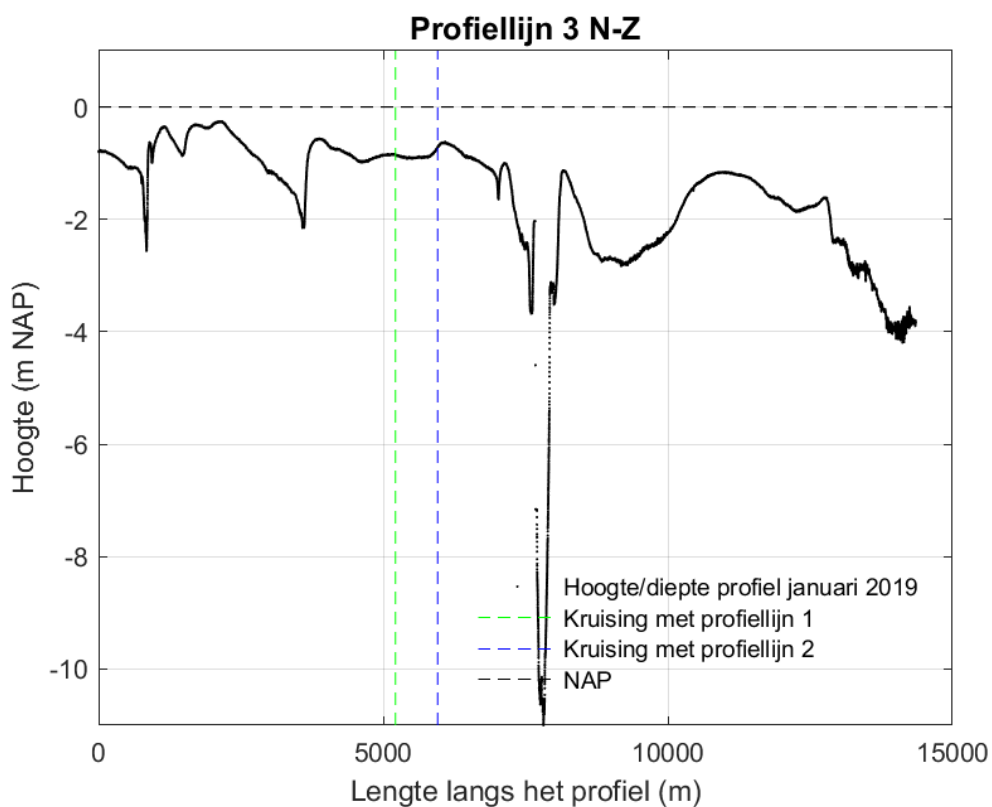
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



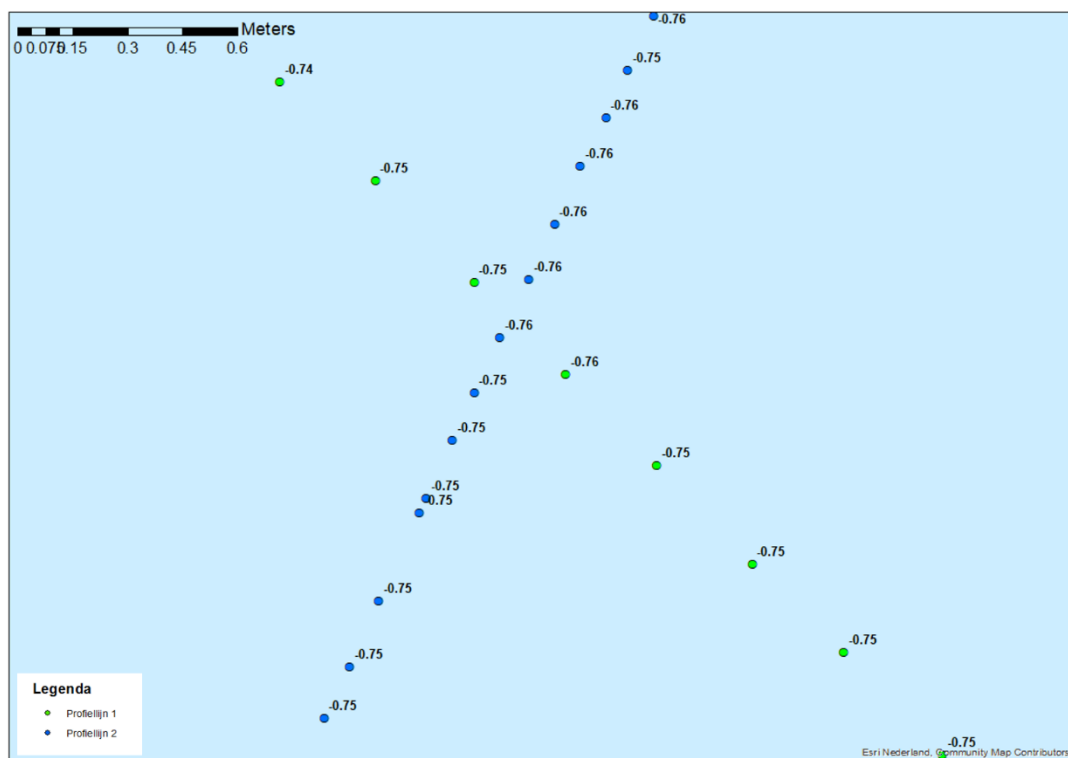
Figuur 9-45 Dwarsdoorsnede langs profiel 1 van noordwest naar zuidoost in januari 2019.



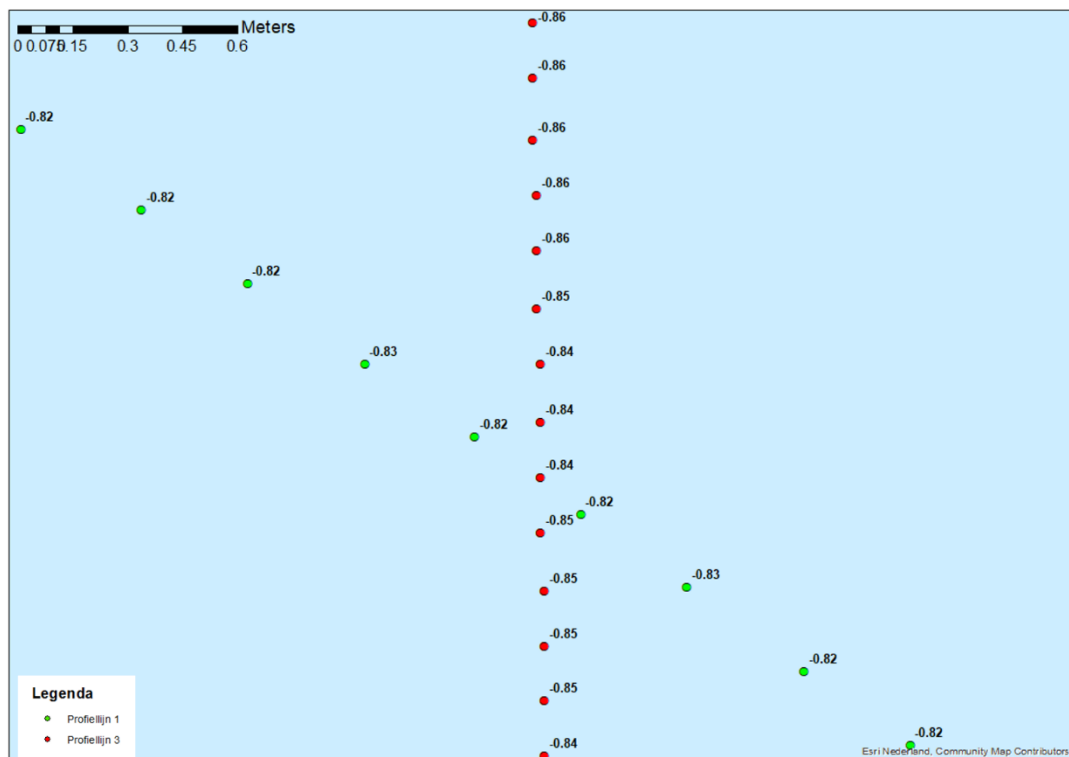
Figuur 9-46 Dwarsdoorsnede langs profiel 2 van noordoost naar zuidwest in januari 2019.



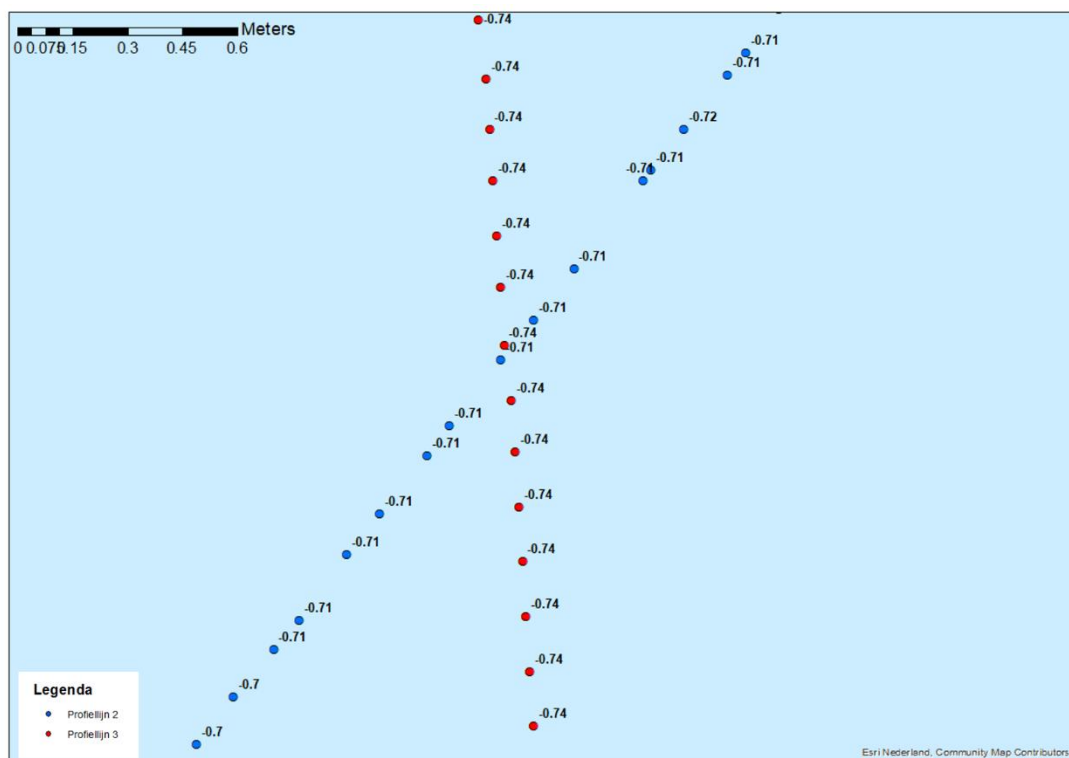
Figuur 9-47 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in januari 2019.



Figuur 9-48 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien januari 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-49 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien januari 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-50 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien januari 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

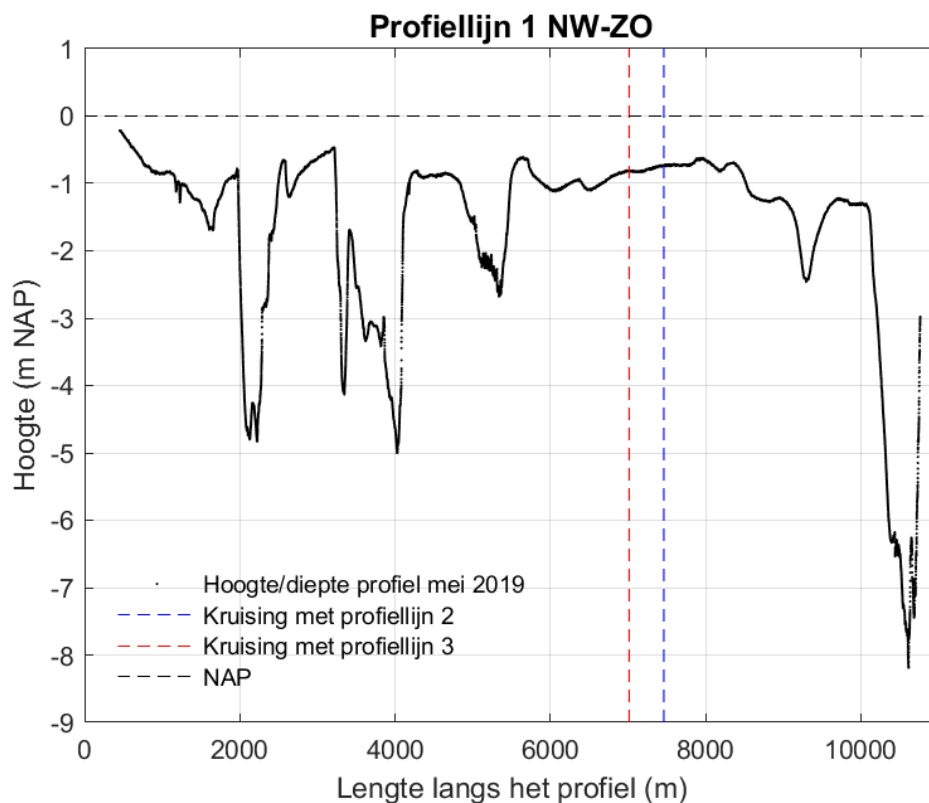
Metingen uit mei 2019

In onderstaande figuren (zie Figuur 9-51, Figuur 9-52 en Figuur 9-53) laten de hoogte/diepte zien in de drie raaien, zoals gemeten op 10 mei 2019.

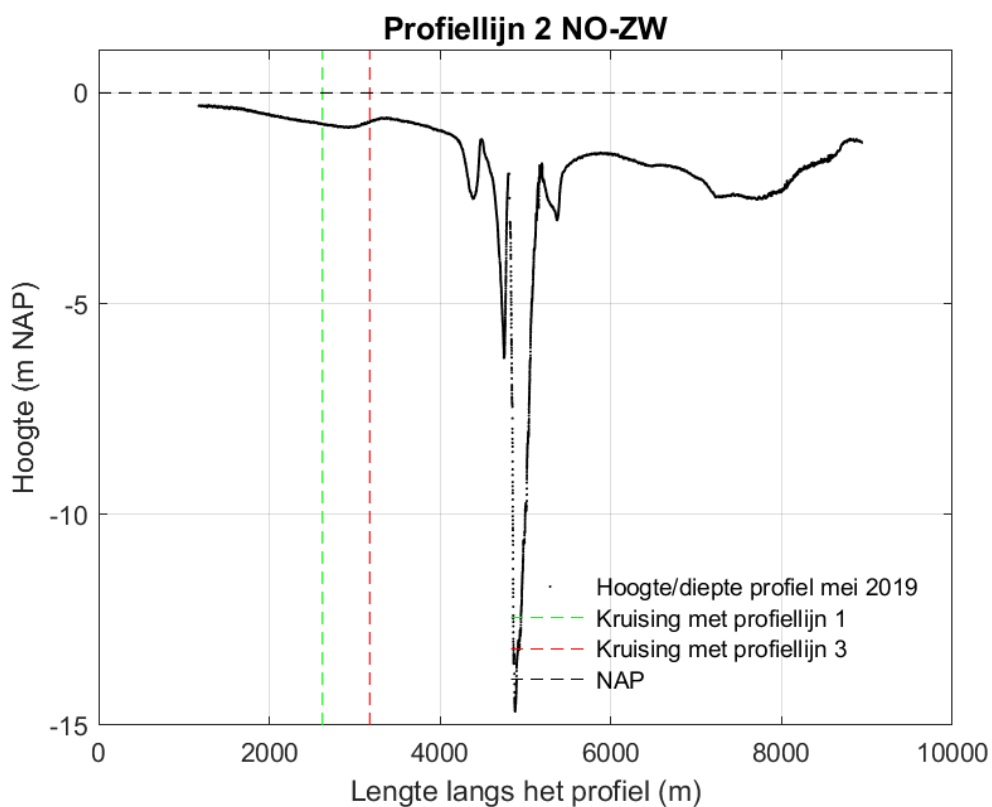
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-54, Figuur 9-55 en Figuur 9-56). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

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

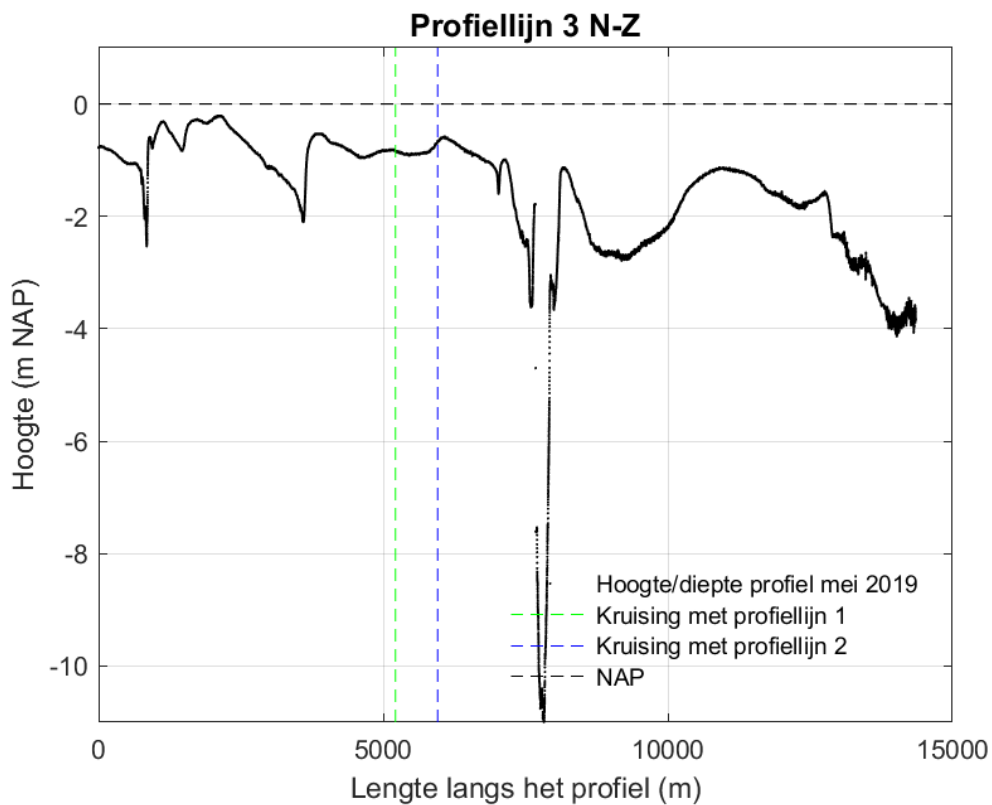
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



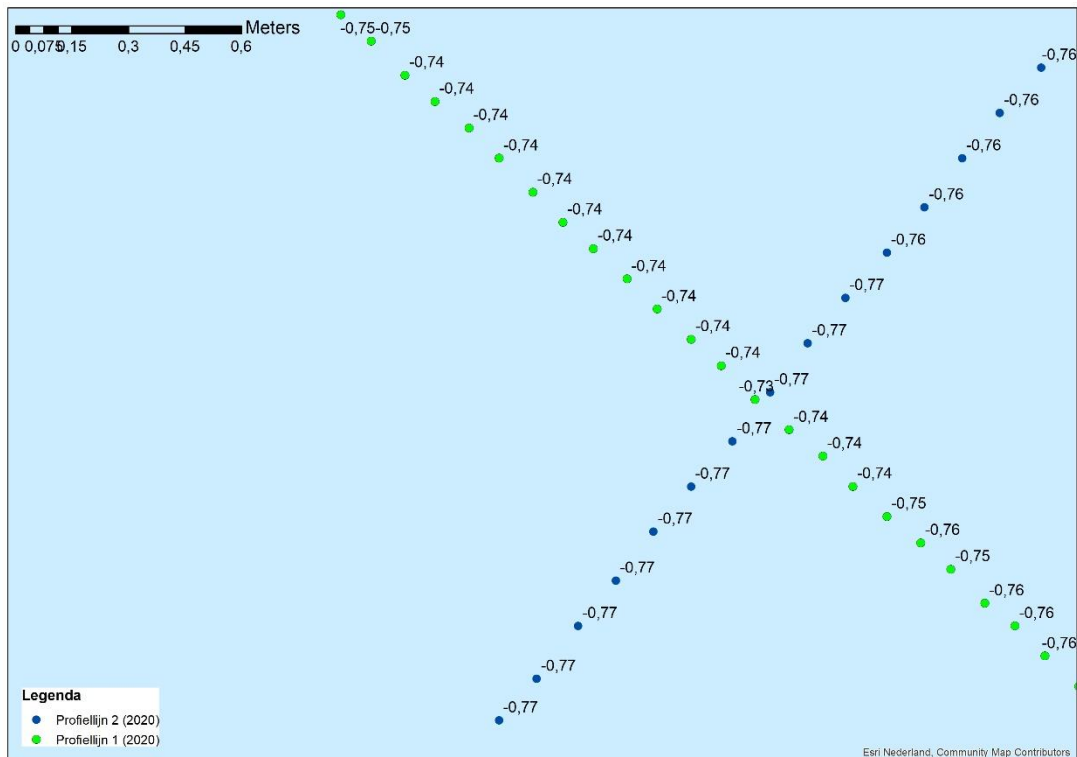
Figuur 9-51 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in mei 2019.



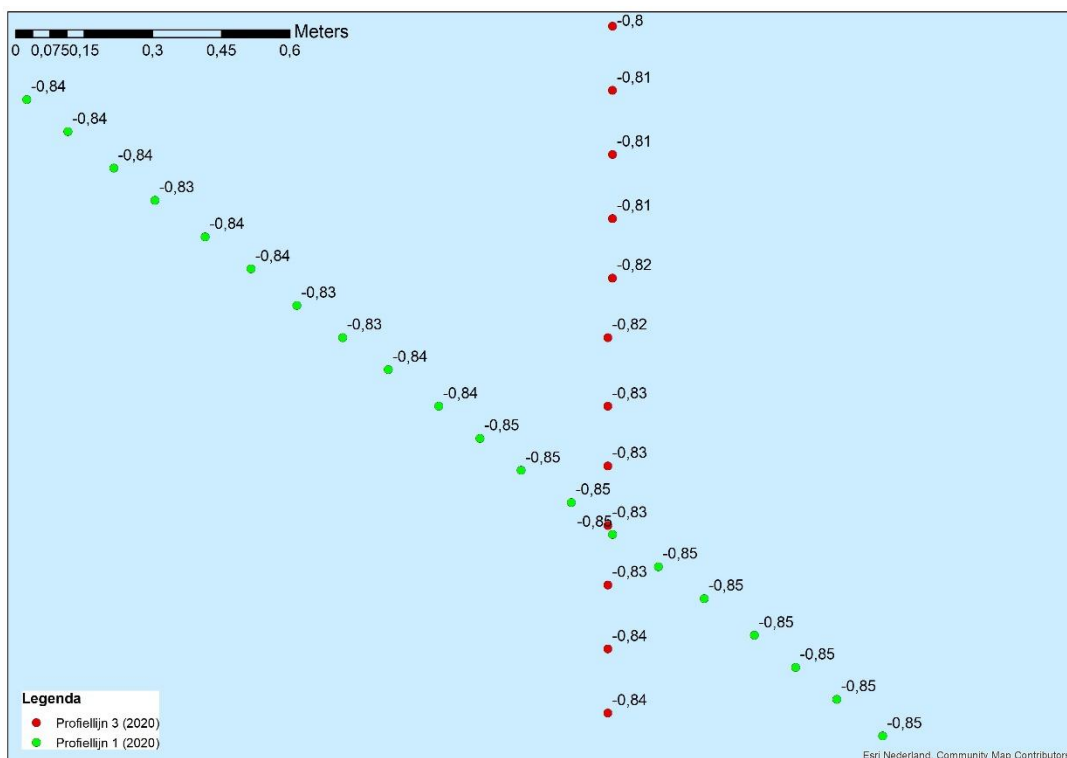
Figuur 9-52 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in mei 2019.



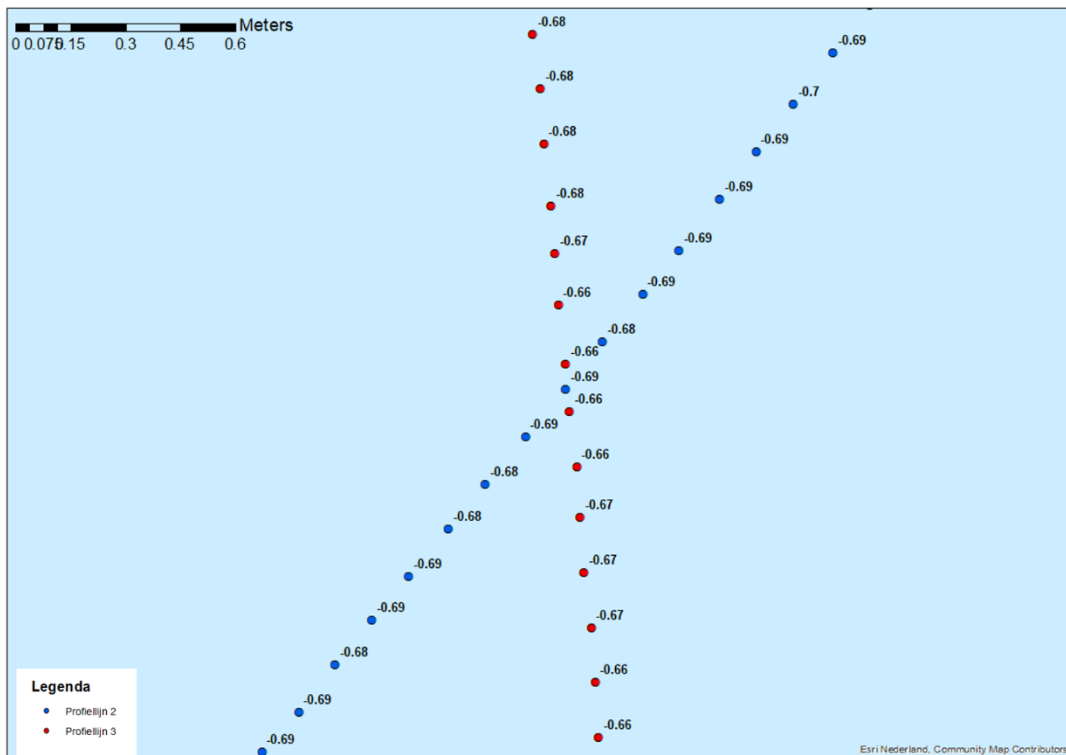
Figuur 9-53 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in mei 2019.



Figuur 9-54 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien mei 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-55 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien mei 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-56 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien mei 2019, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

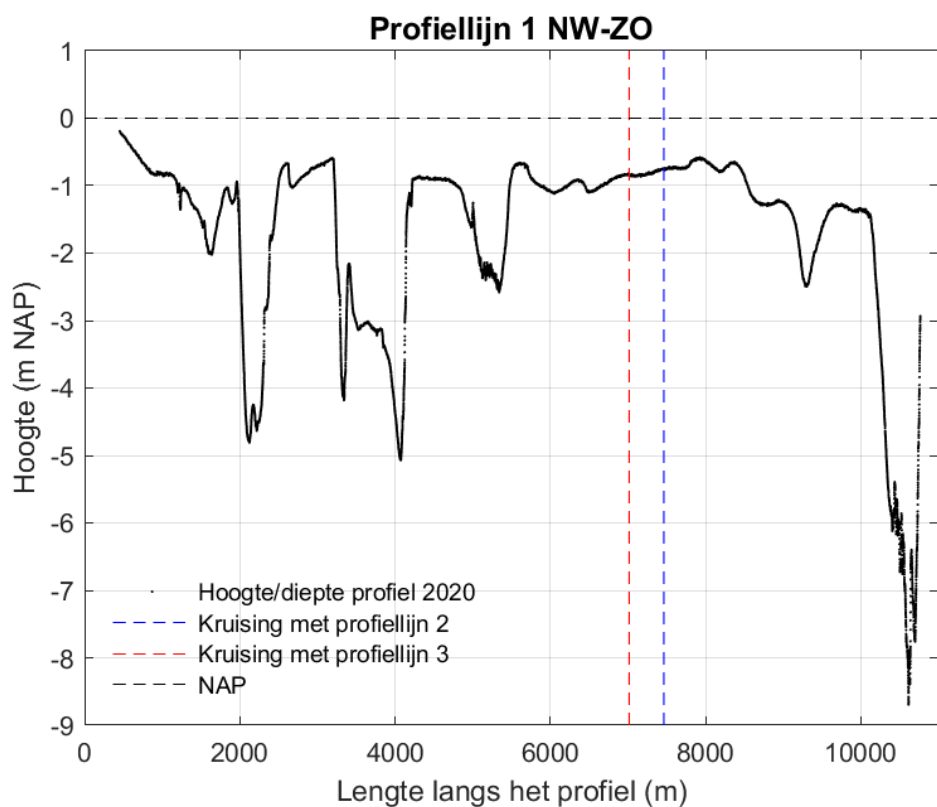
Metingen uit 2020

In onderstaande figuren (zie Figuur 9-57 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2020., Figuur 9-58 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2020. Figuur 9-59 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2020.) laten de hoogte/diepte zien in de drie raaien, zoals gemeten in 2020.

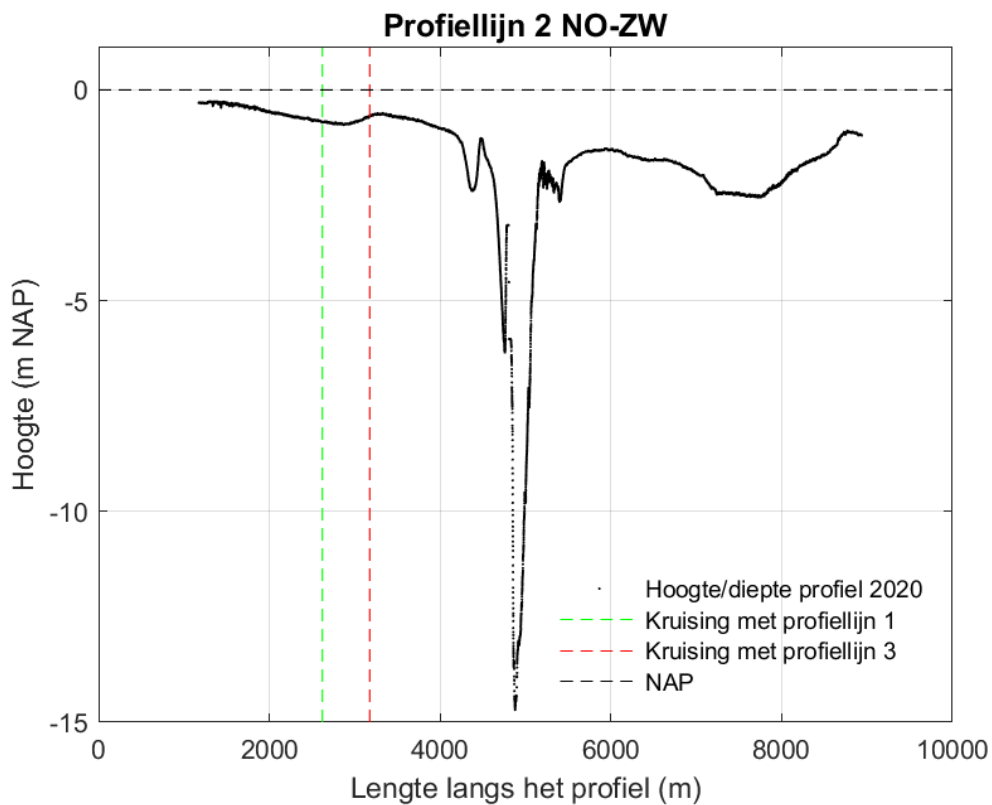
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 3 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-60, Figuur 9-61 en Figuur 9-62). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

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

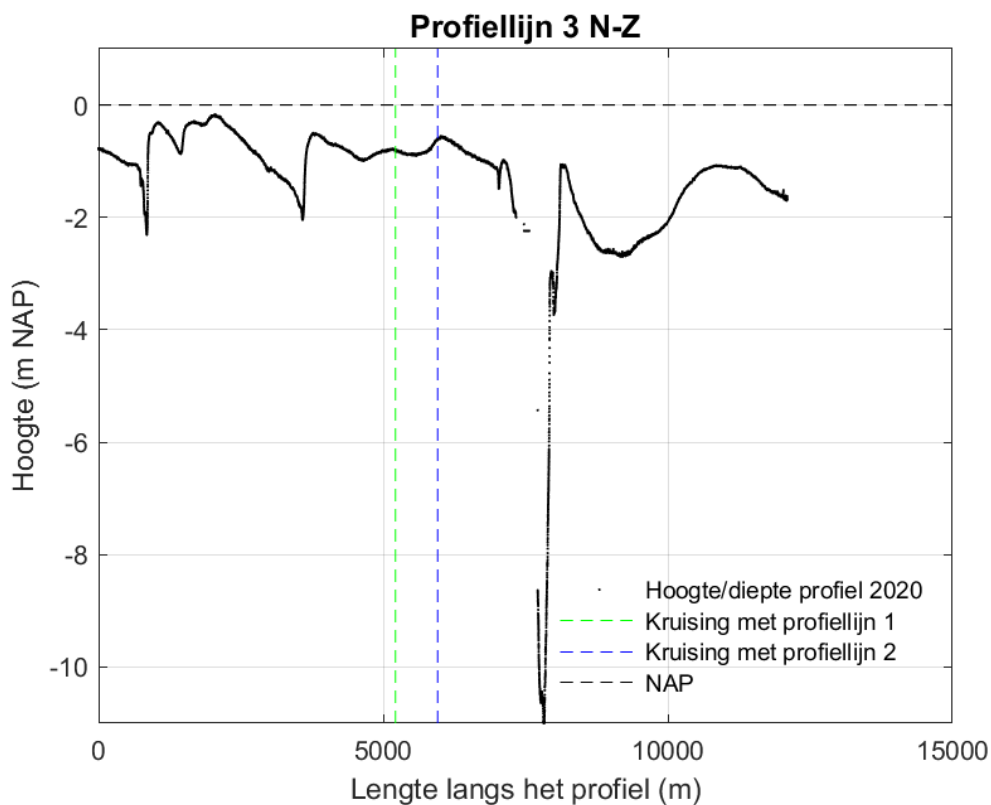
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



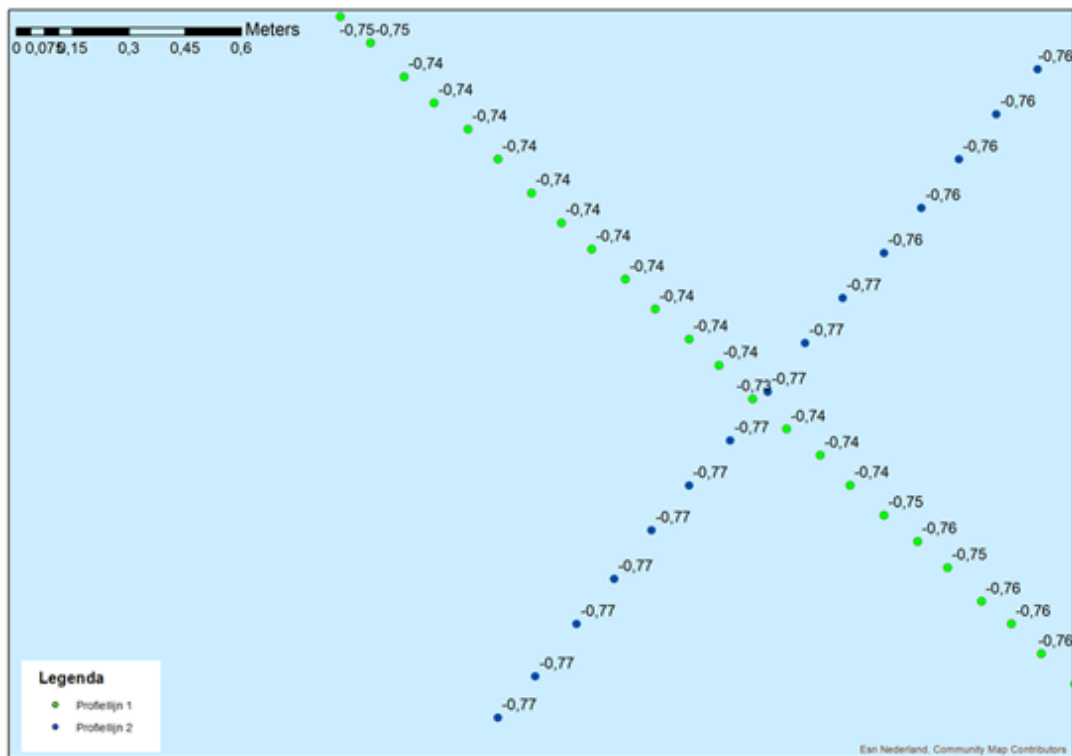
Figuur 9-57 Dwarsdoorsnede langs profiel 1 van noordwest naar zuidoost in 2020.



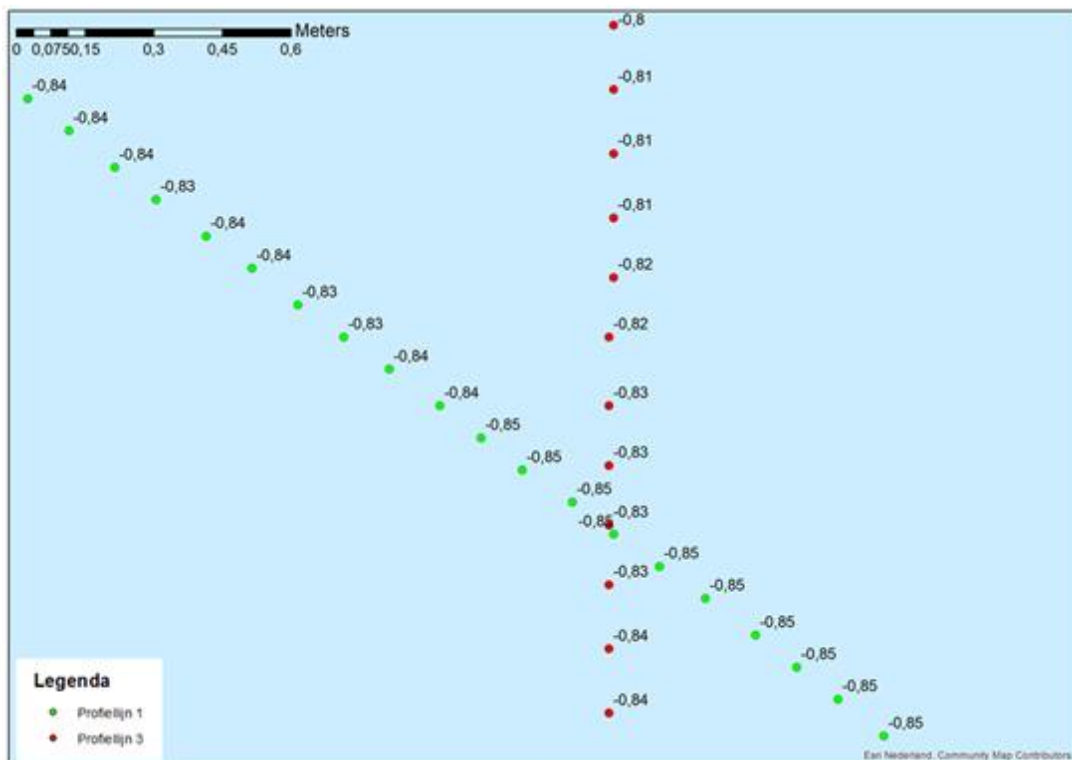
Figuur 9-58 Dwarsdoorsnede langs profiel 2 van noordoost naar zuidwest in 2020.



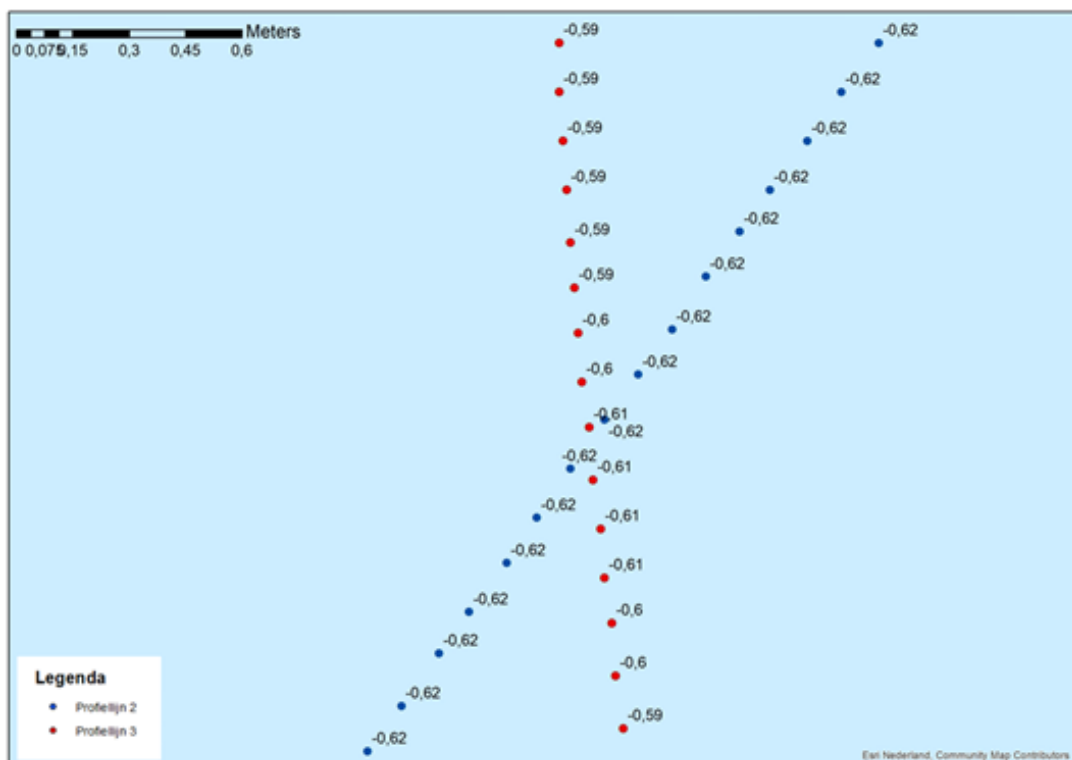
Figuur 9-59 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2020.



Figuur 9-60 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2020, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-61 Detailkaart controlepunt tussen profiel 1 en profiel 3 voor de hoogte/diepte raaien 2020, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-62 Detailkaart controlepunt tussen profiel 2 en profiel 3 voor de hoogte/diepte raaien 2020, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

Metingen uit 2021

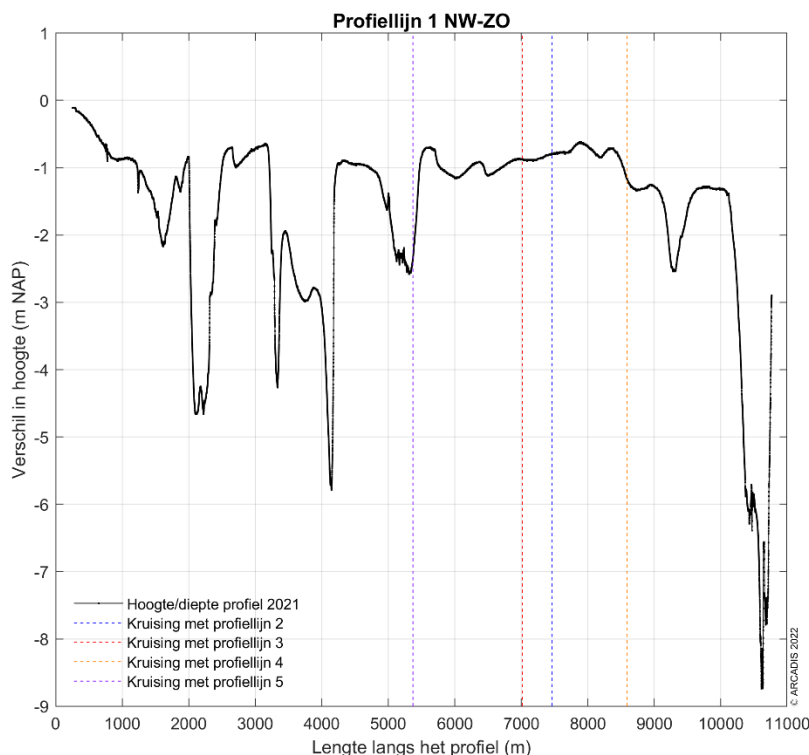
Vanaf 2021 zijn er twee aanvullende raaien ingemeten. Deze raaien (raai 4 en raai 5) worden op dezelfde wijze ingemeten als de raai 1, 2 en 3 die sinds 2016 worden ingemeten.

Onderstaande figuren (zie Figuur 9-63, Figuur 9-64, Figuur 9-65, Figuur 9-66 en Figuur 9-67) laten de hoogte/diepte zien in de vijf raaien, zoals gemeten op 19 en 20 mei 2021.

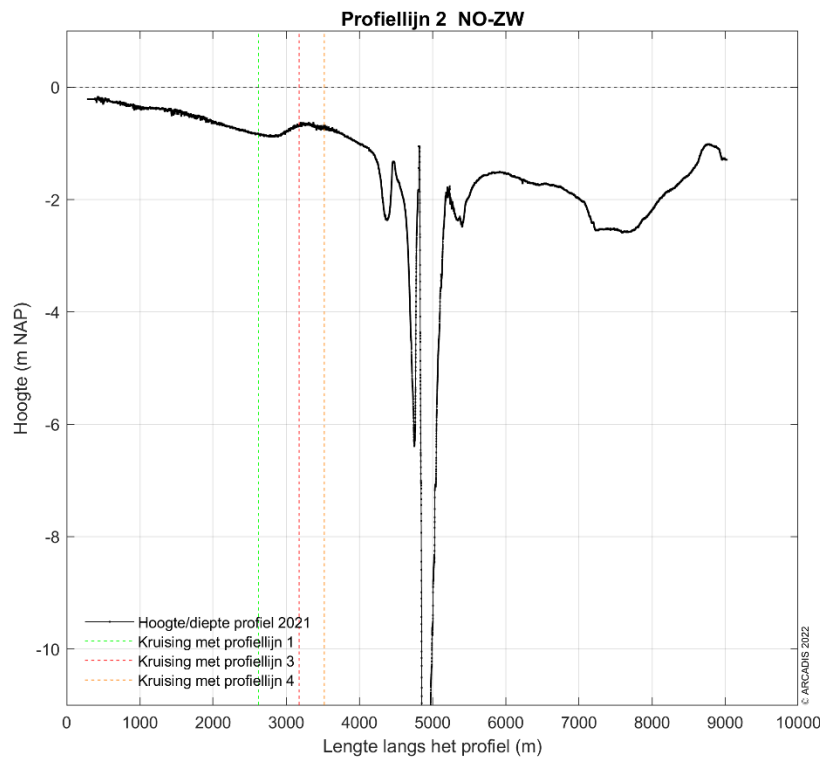
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 9 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-68, Figuur 9-69, Figuur 9-70, Figuur 9-71, Figuur 9-72, Figuur 9-73, Figuur 9-74, Figuur 9-75 en Figuur 9-76). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 4.
- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 5.
- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 4.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 4.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 5.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 4 en profiellijn 5.

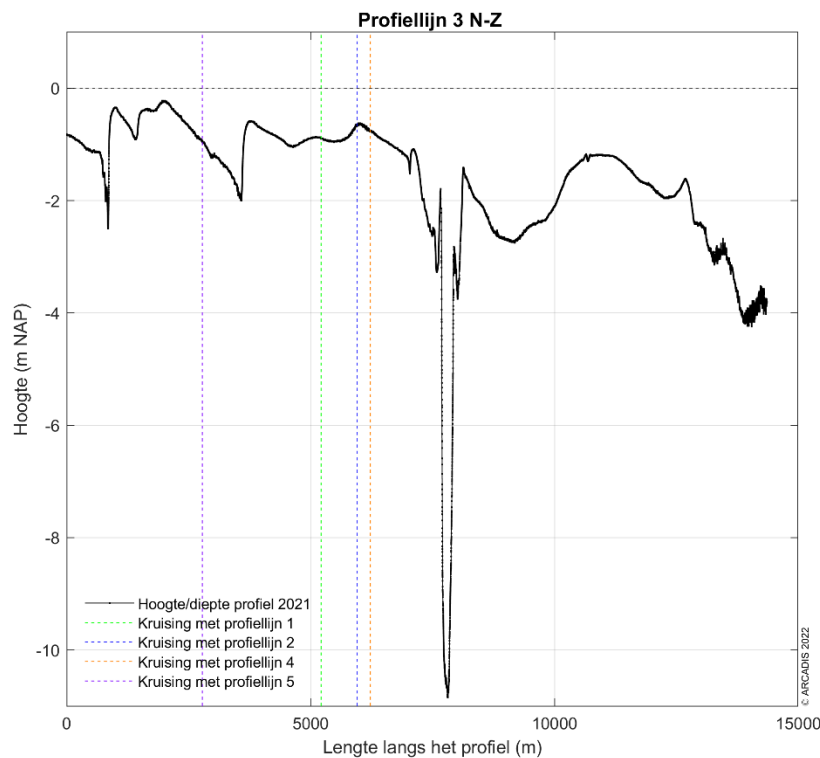
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



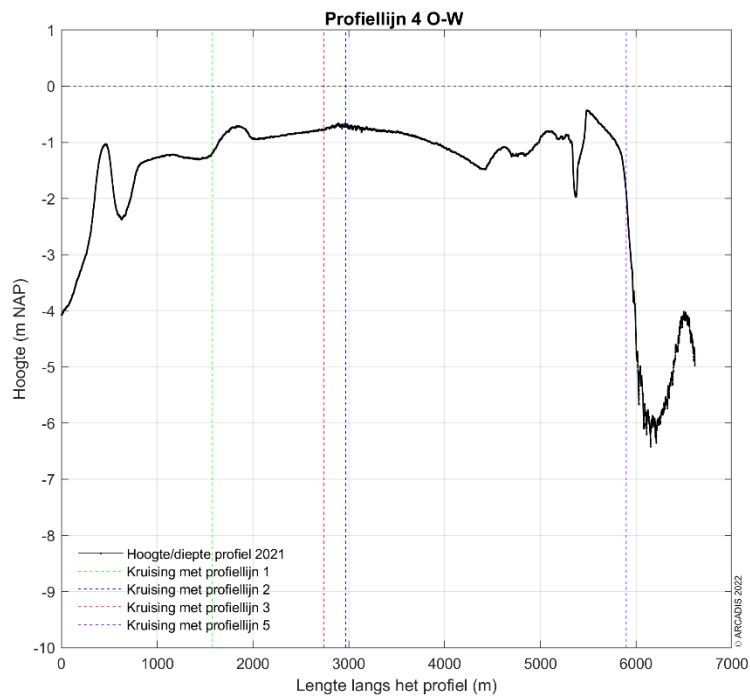
Figuur 9-63 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2021.



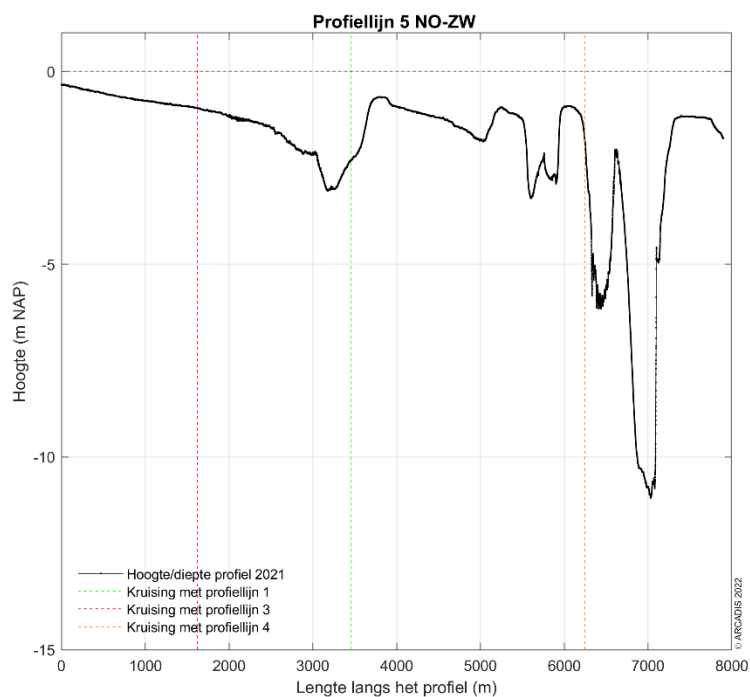
Figuur 9-64 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2021.



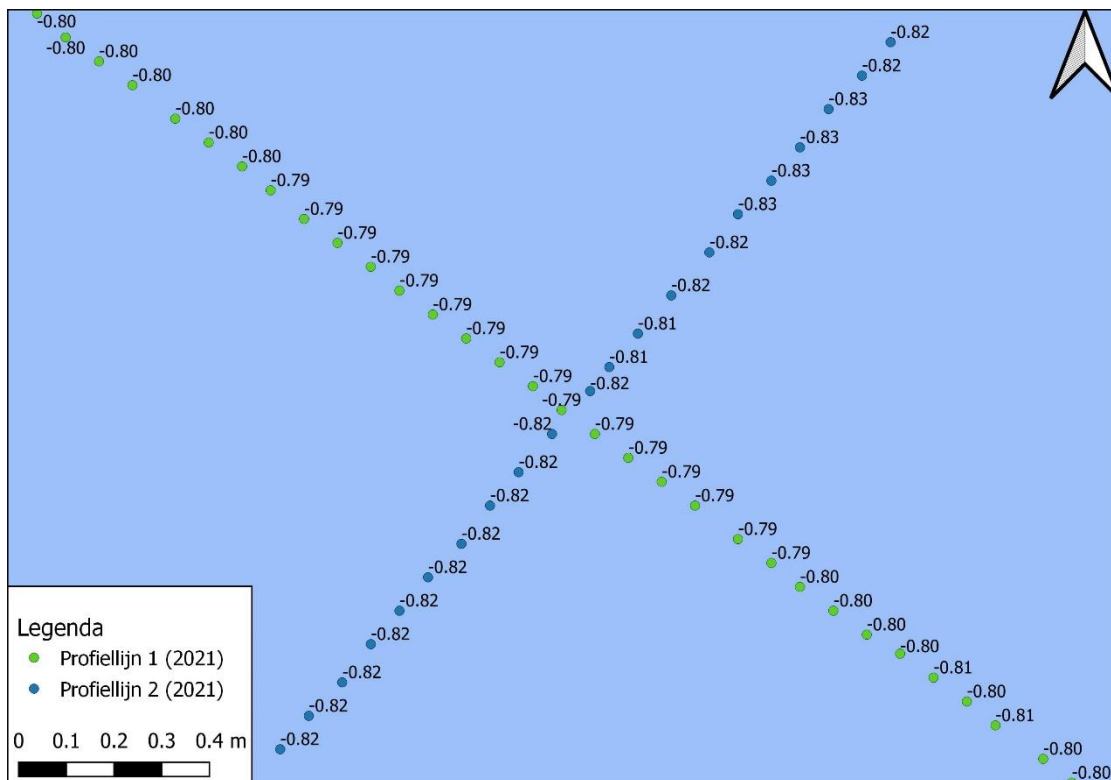
Figuur 9-65 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2021.



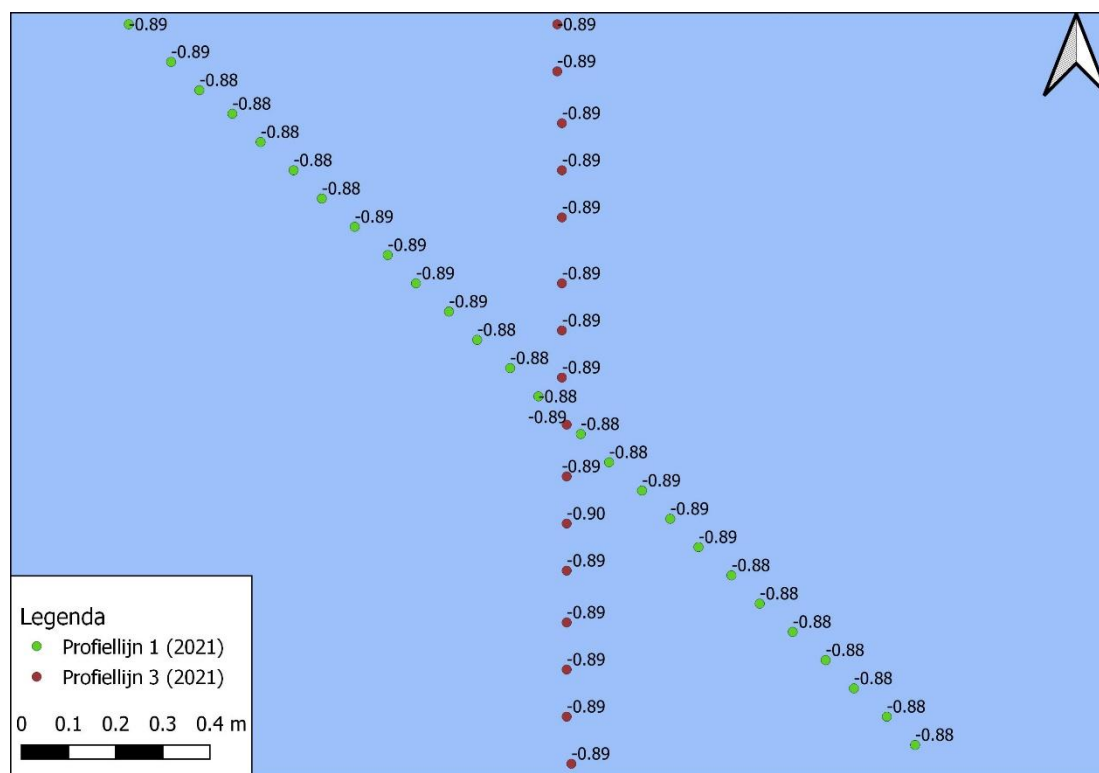
Figuur 9-66 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 4 van oost naar west in 2021.



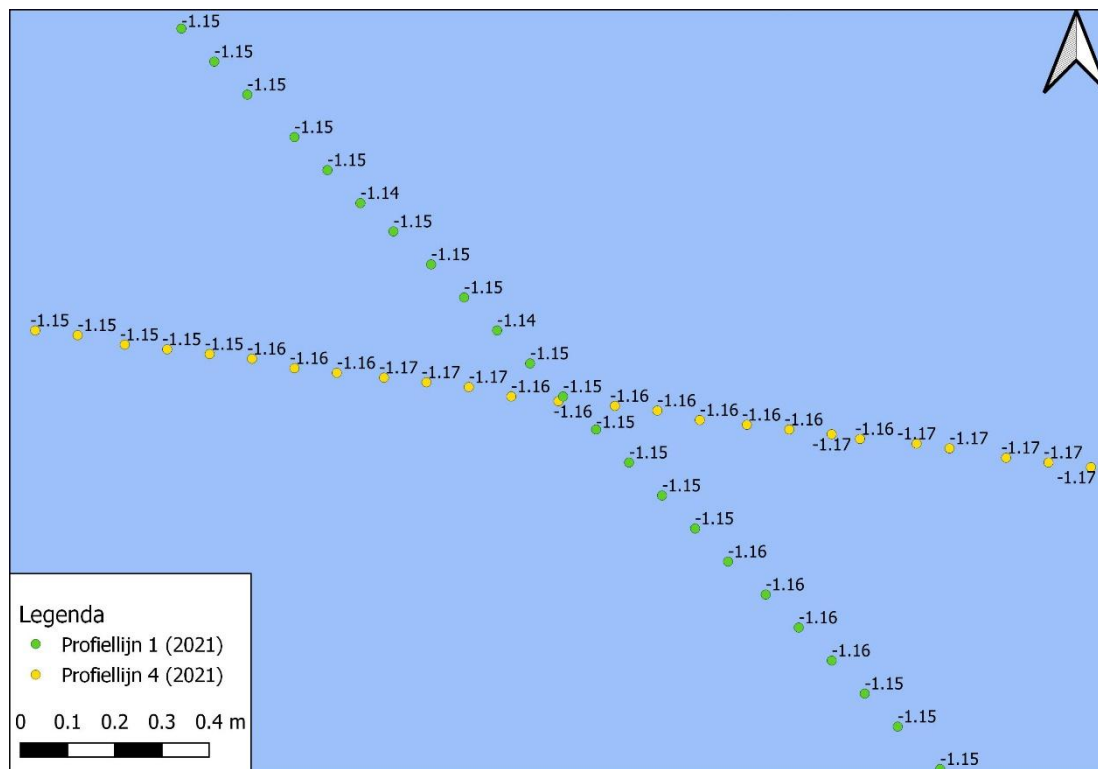
Figuur 9-67 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest in 2021.



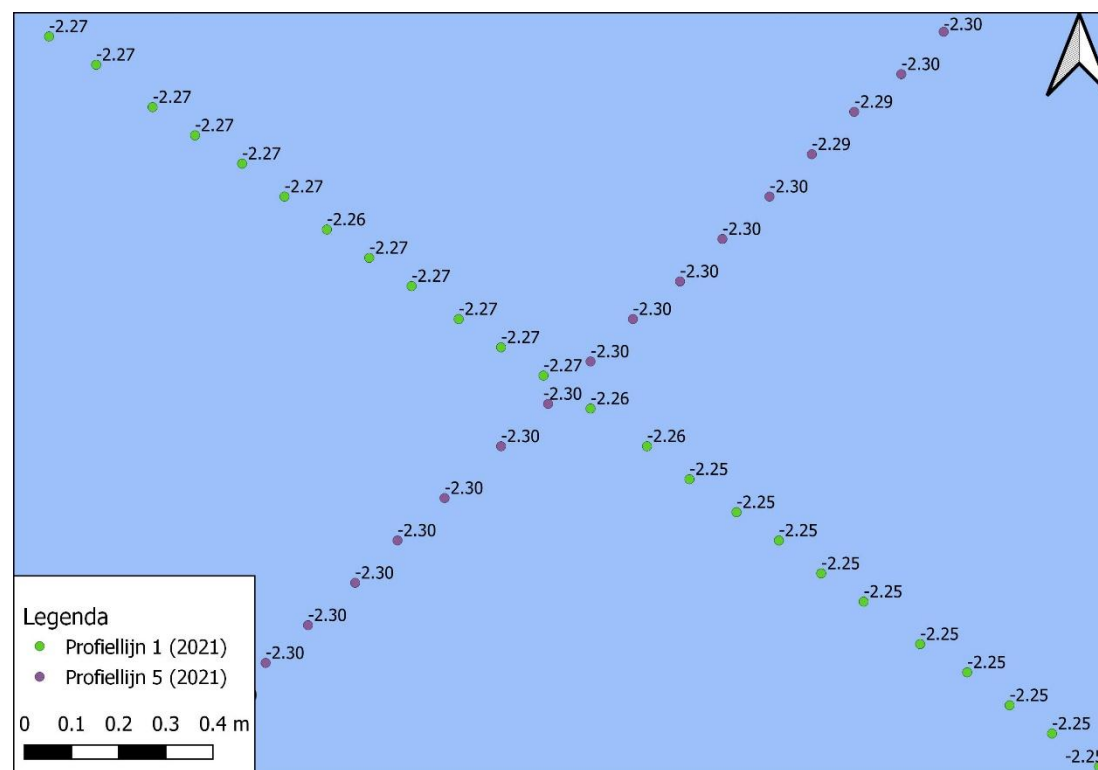
Figuur 9-68 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



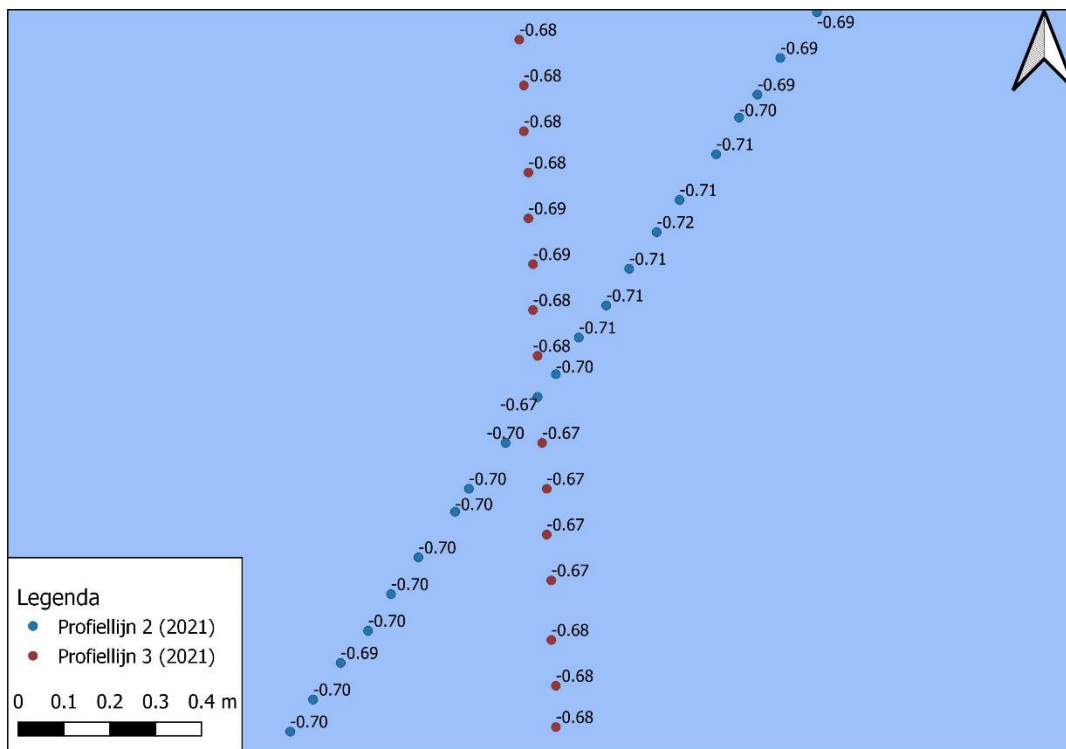
Figuur 9-69 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



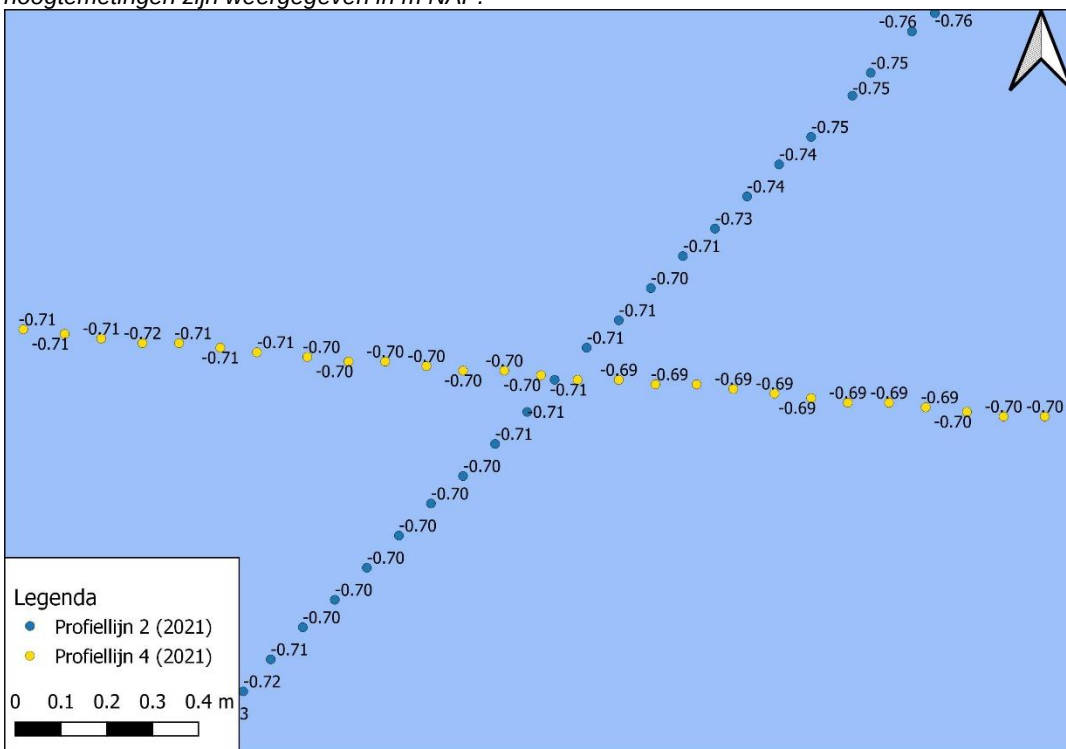
Figuur 9-70 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



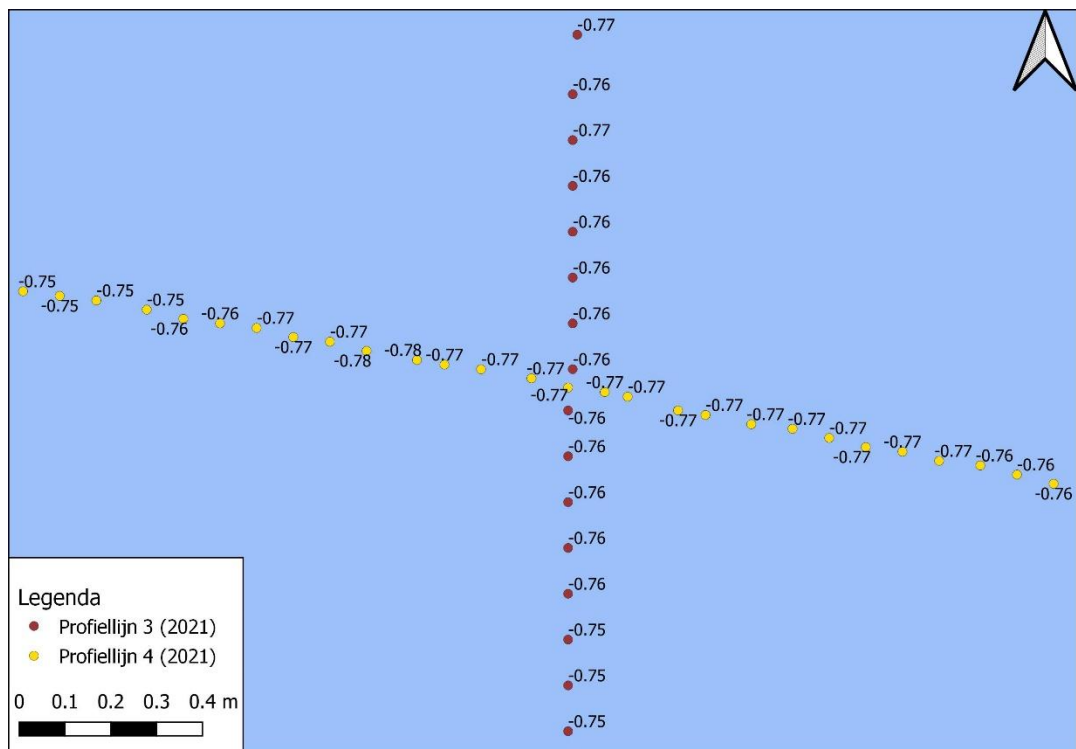
Figuur 9-71 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



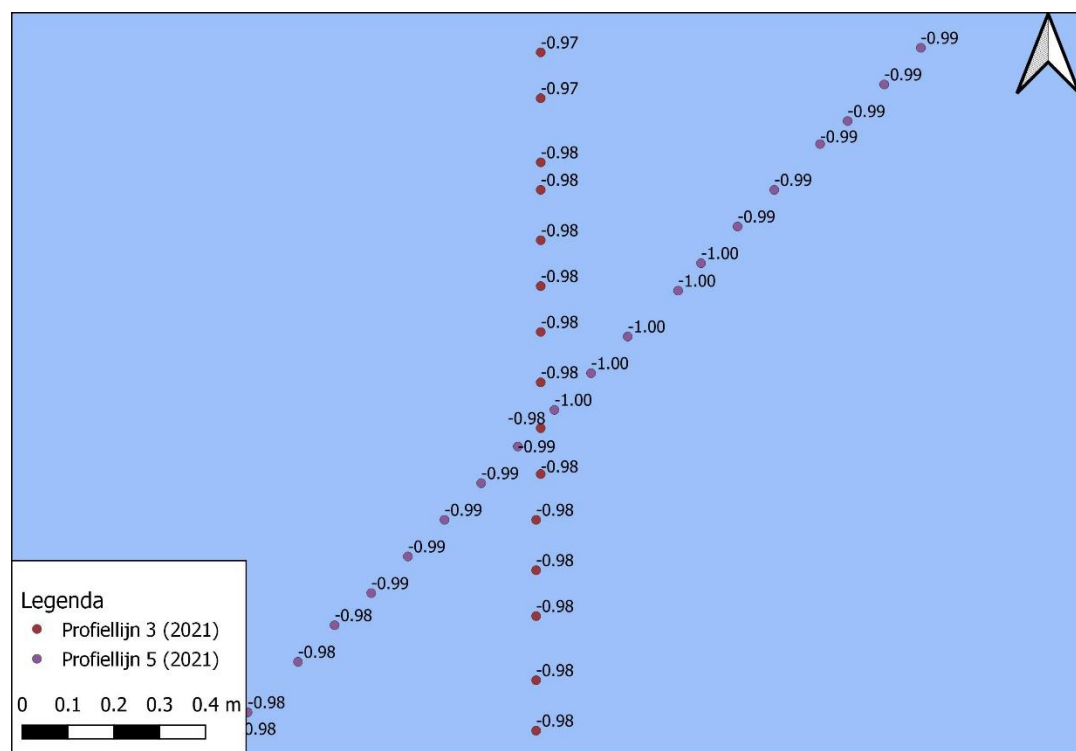
Figuur 9-72 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien mei 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



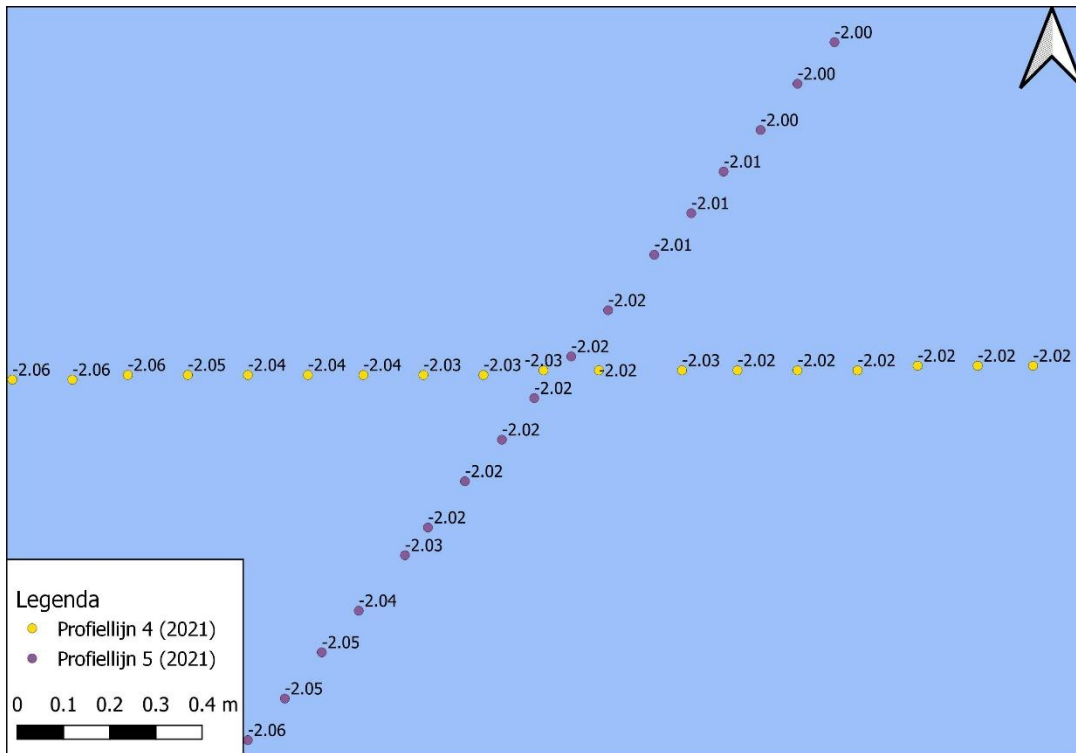
Figuur 9-73 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-74 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-75 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-76 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 4 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2021, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

Metingen uit 2022

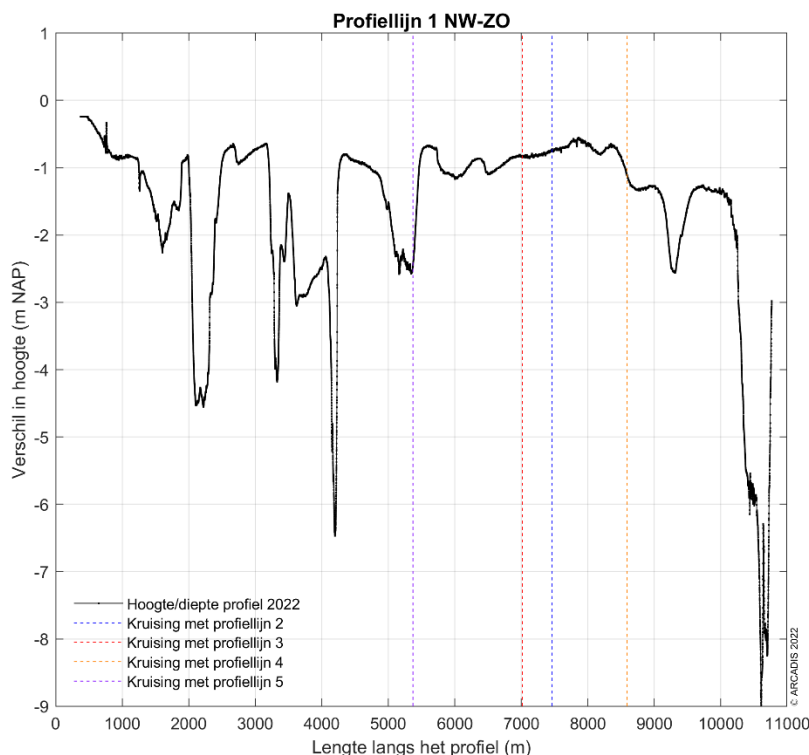
Vanaf 2021 zijn er twee aanvullende raaien ingemeten. Deze raaien (raai 4 en raai 5) worden op dezelfde wijze ingemeten als de raai 1, 2 en 3 die sinds 2016 worden ingemeten.

Onderstaande figuren (zie Figuur 9-77, Figuur 9-78, Figuur 9-79, Figuur 9-80 en Figuur 9-81) laten de hoogte/diepte zien in de vijf raaien, zoals gemeten op 4 tot 6 mei 2022.

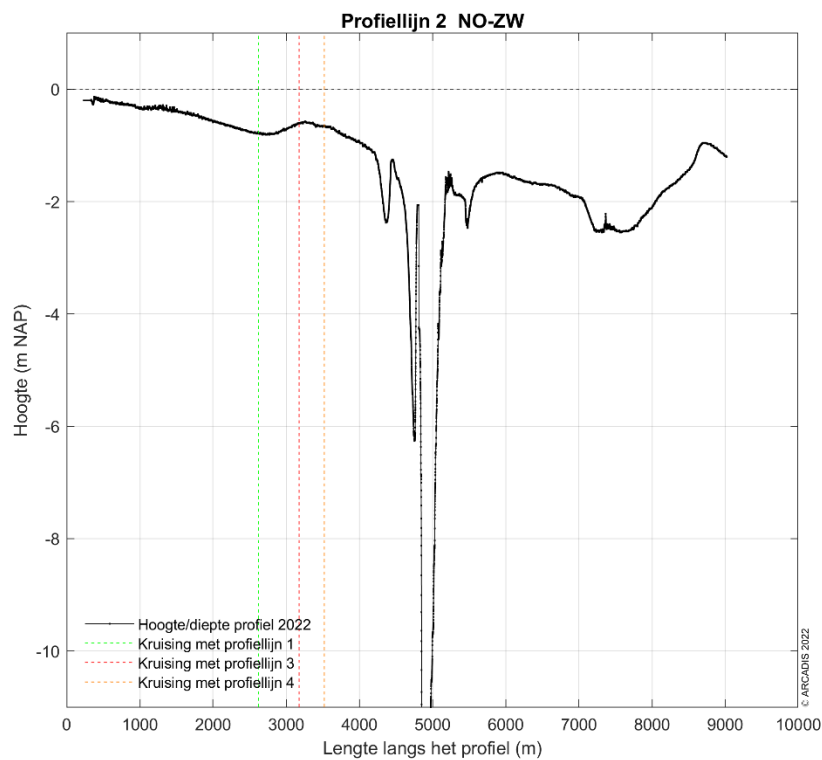
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 9 controlepunten vergeleken (zie Figuur 9-82, Figuur 9-83, Figuur 9-84, Figuur 9-85, Figuur 9-86, Figuur 9-87, Figuur 9-88, Figuur 9-89 en Figuur 9-90). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 0 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 4.
- Verschil van 0 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 5.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 4.
- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 4.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 5.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 4 en profiellijn 5.

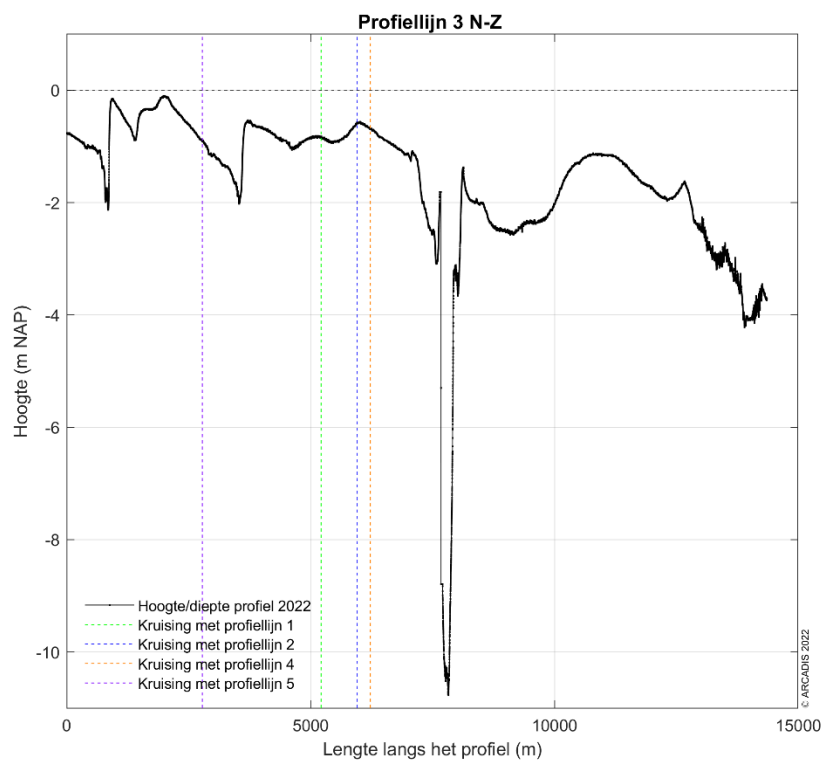
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



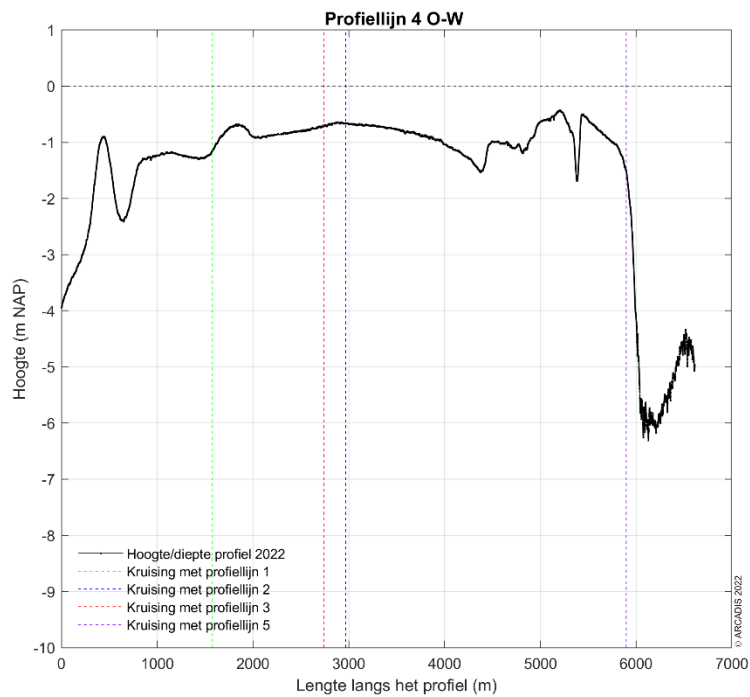
Figuur 9-77 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2022.



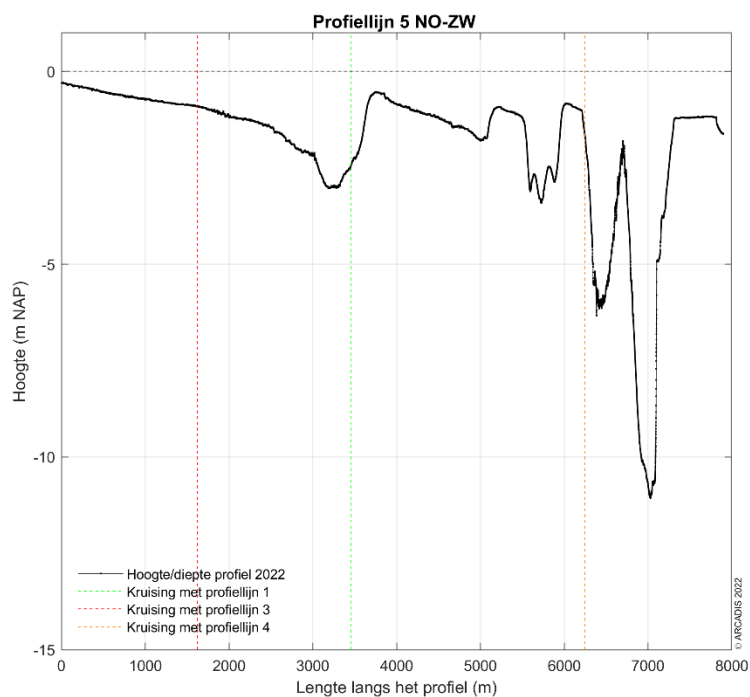
Figuur 9-78 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2022.



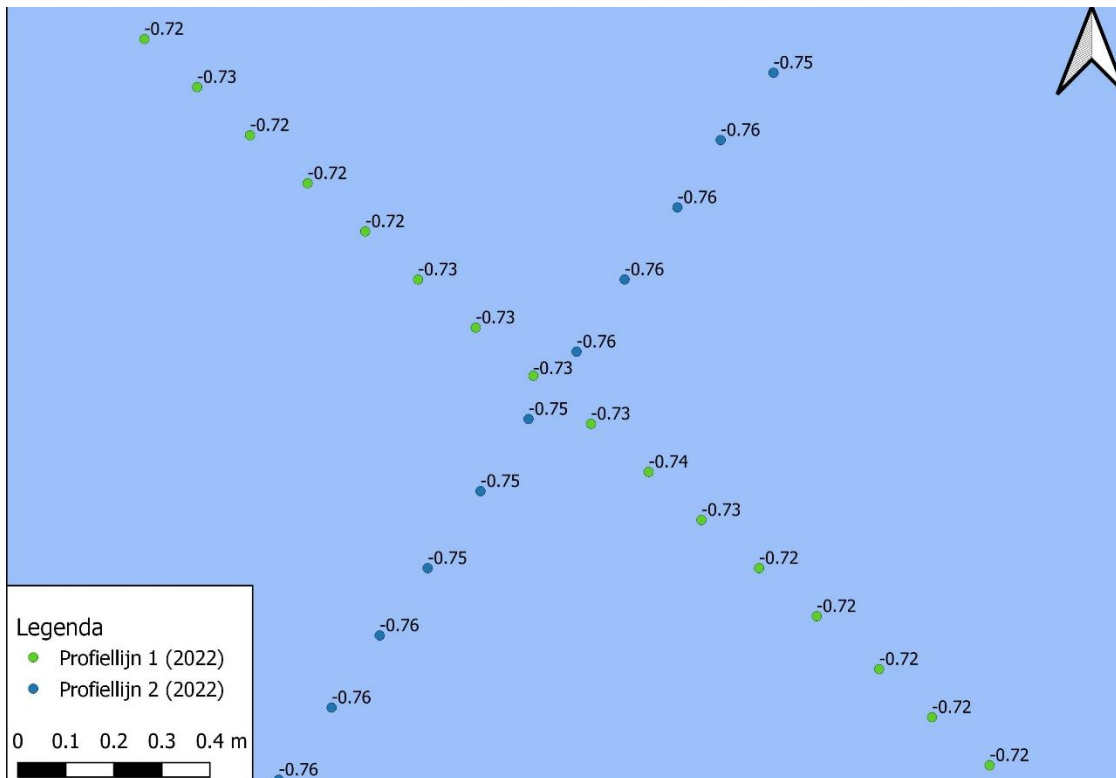
Figuur 9-79 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2022.



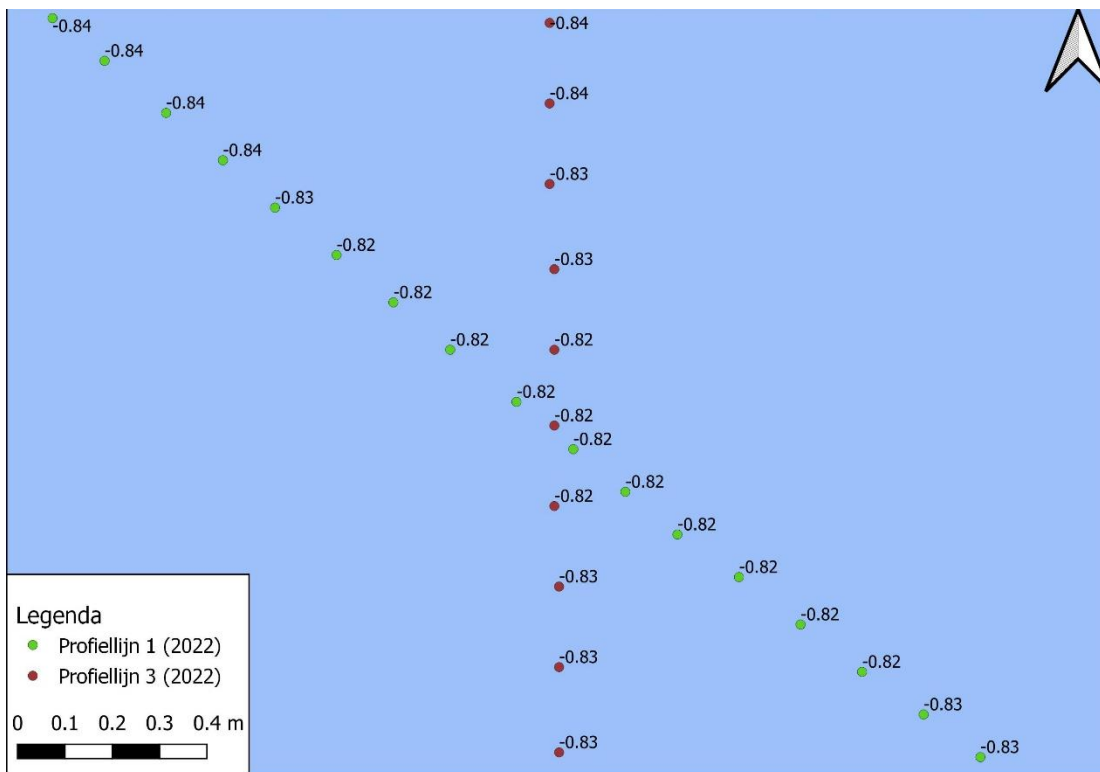
Figuur 9-80 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 4 van oost naar west in 2022.



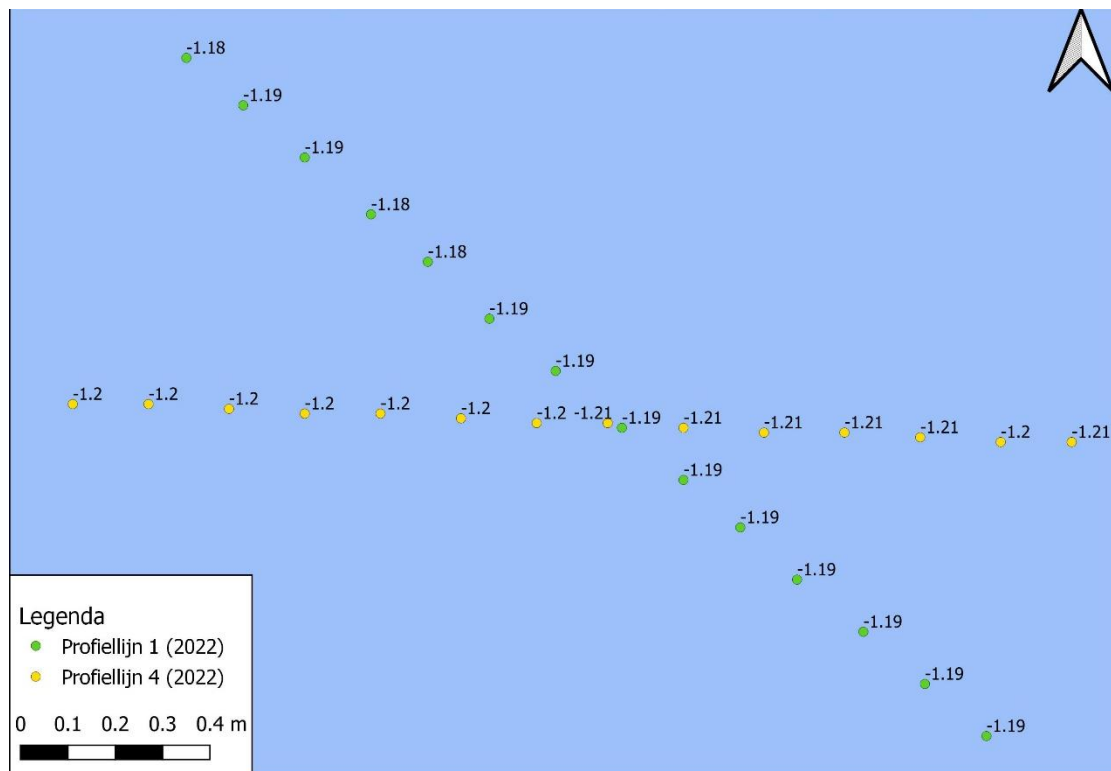
Figuur 9-81 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest in 2022.



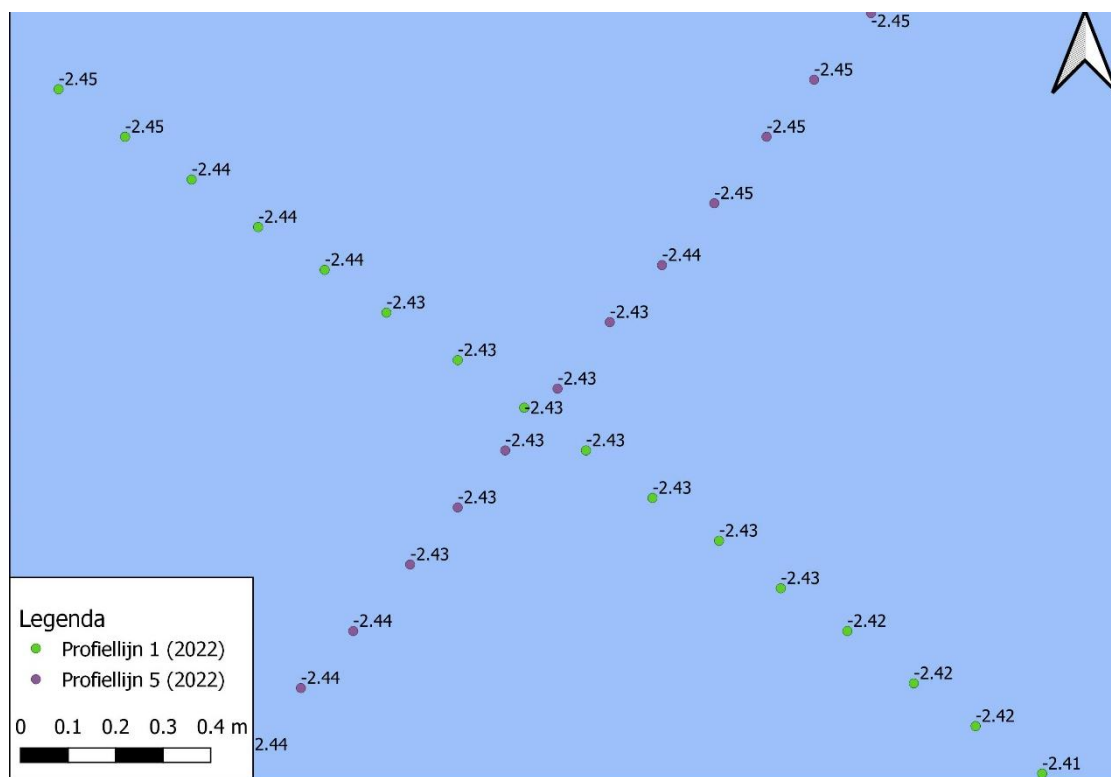
Figuur 9-82 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 2 voor de hoogte/diepte raaien 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



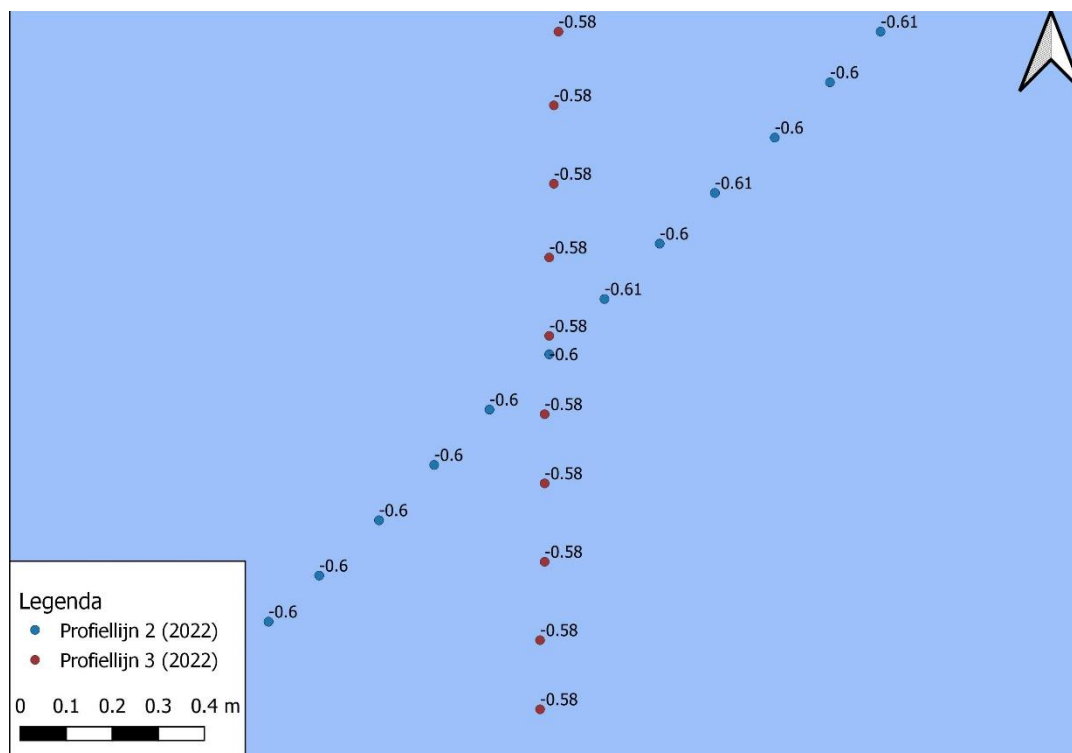
Figuur 9-83 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



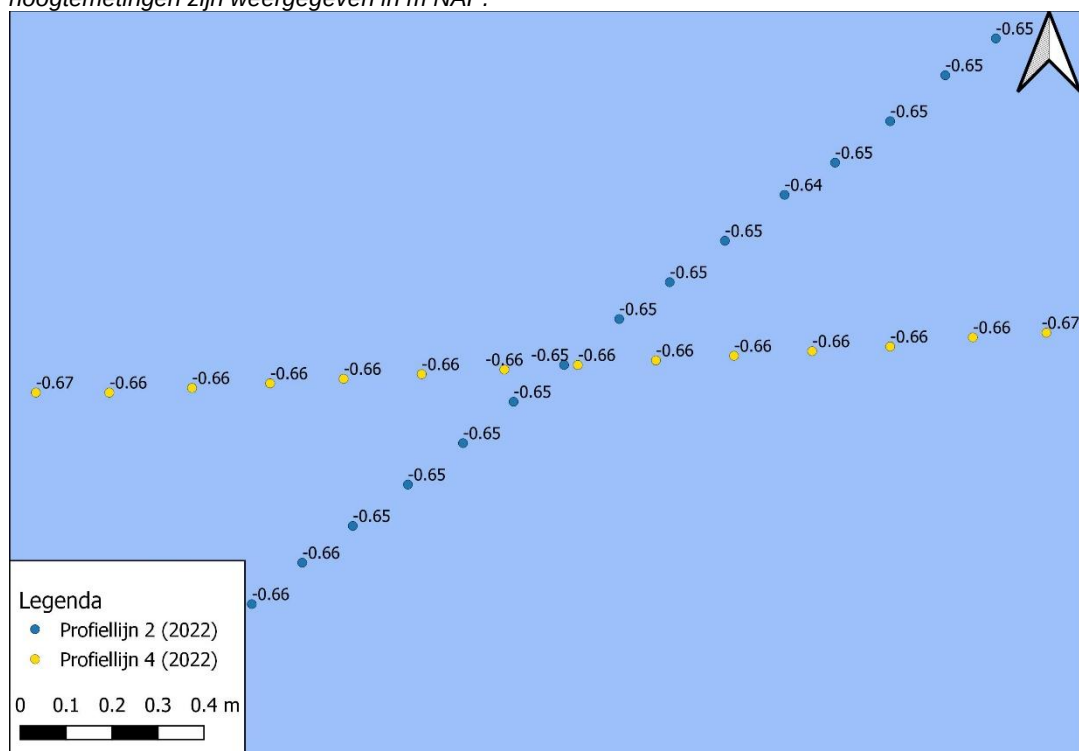
Figuur 9-84 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



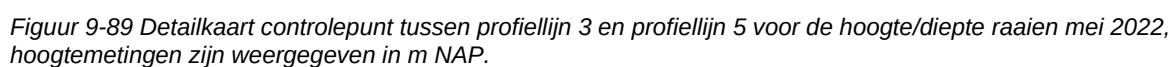
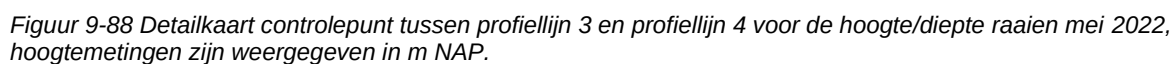
Figuur 9-85 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

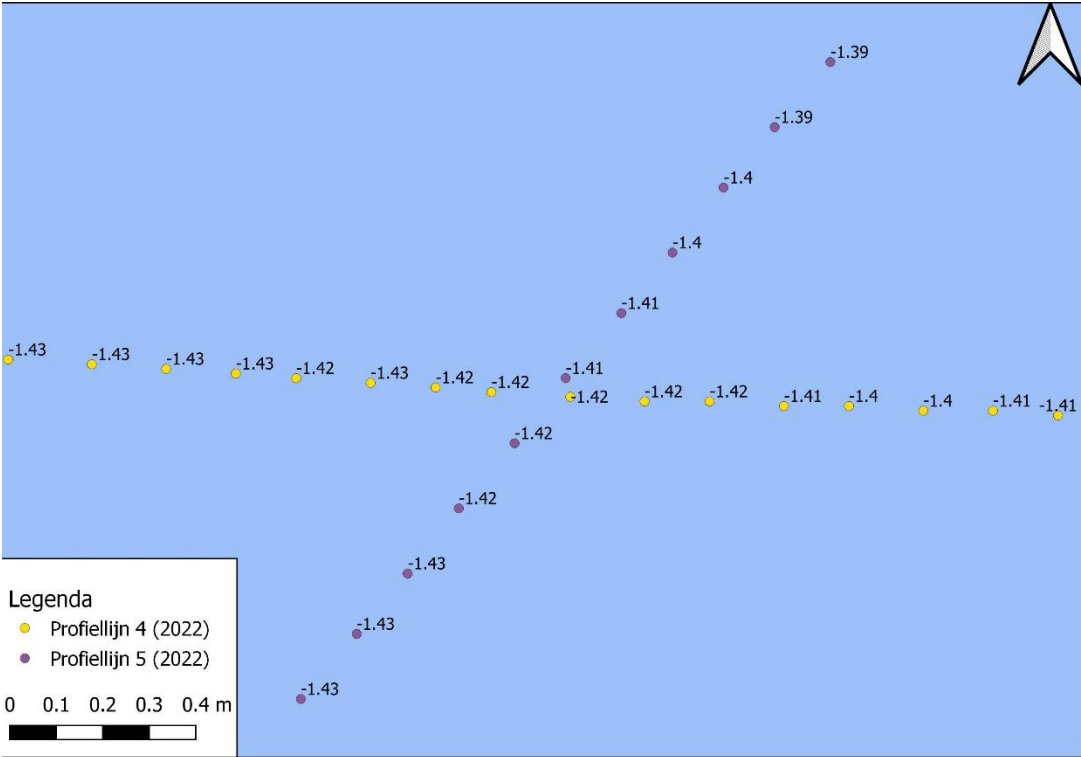


Figuur 9-86 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien mei 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-87 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.





Figuur 9-90 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 4 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2022, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

Metingen uit 2023

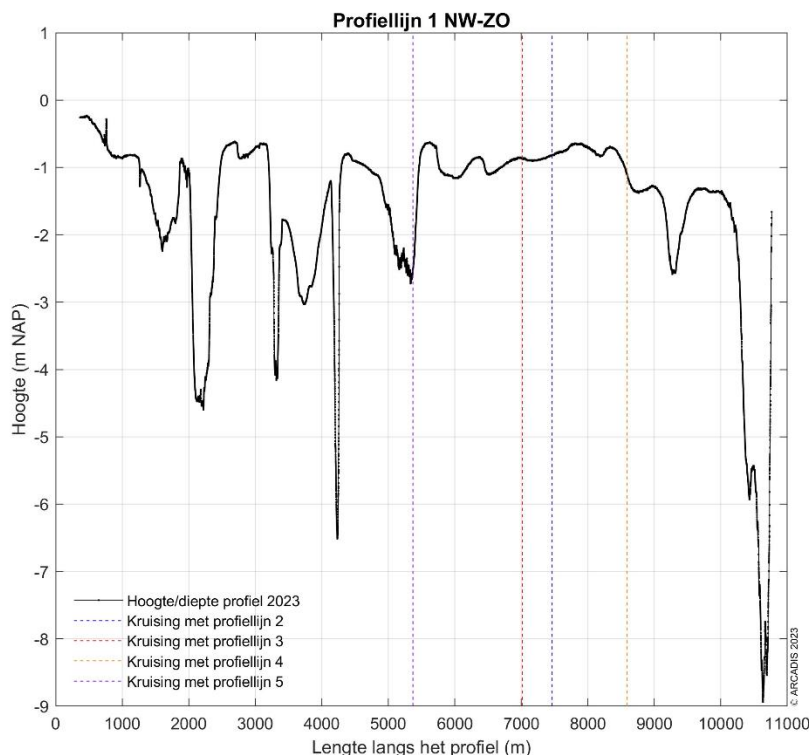
Vanaf 2021 zijn er twee aanvullende raaien ingemeten. Deze raaien (raai 4 en raai 5) worden op dezelfde wijze ingemeten als de raai 1, 2 en 3 die sinds 2016 worden ingemeten.

Onderstaande figuren (zie Figuur 9-91, Figuur 9-92, Figuur 9-93, Figuur 9-94 en Figuur 9-95) laten de hoogte/diepte zien in de vijf raaien, zoals gemeten op 23 mei 2023.

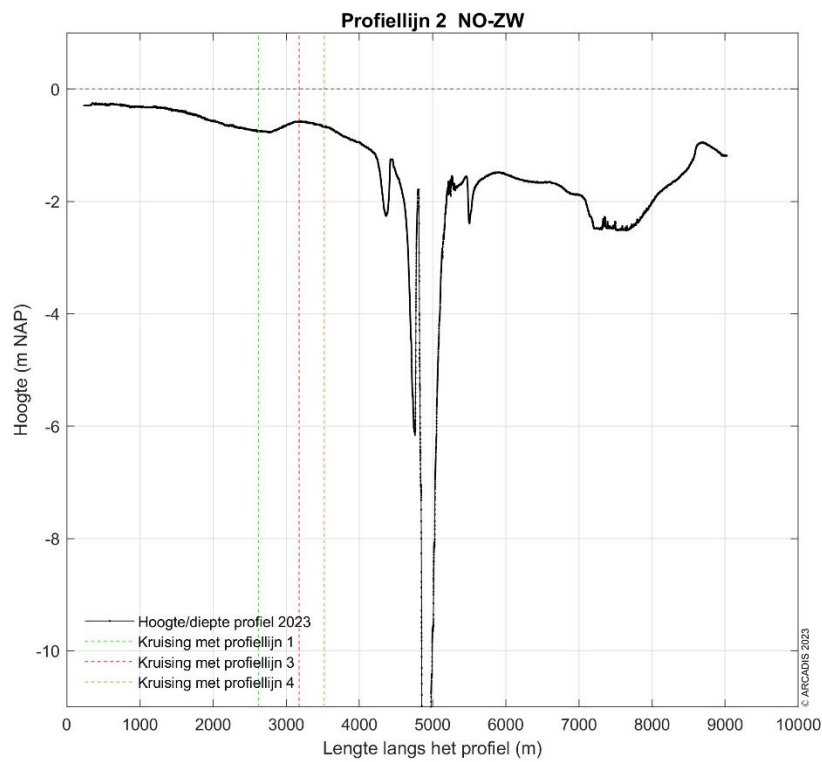
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 9 controlepunten vergeleken (Figuur 9-96, Figuur 9-97, Figuur 9-98, Figuur 9-99, Figuur 9-100, Figuur 9-101, Figuur 9-102, Figuur 9-103 en Figuur 9-104). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Verschil van 6 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 4.
- Verschil van 0 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 5.
- Verschil van 4 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.
- Verschil van 0 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 4.
- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 4.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 5.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 4 en profiellijn 5.

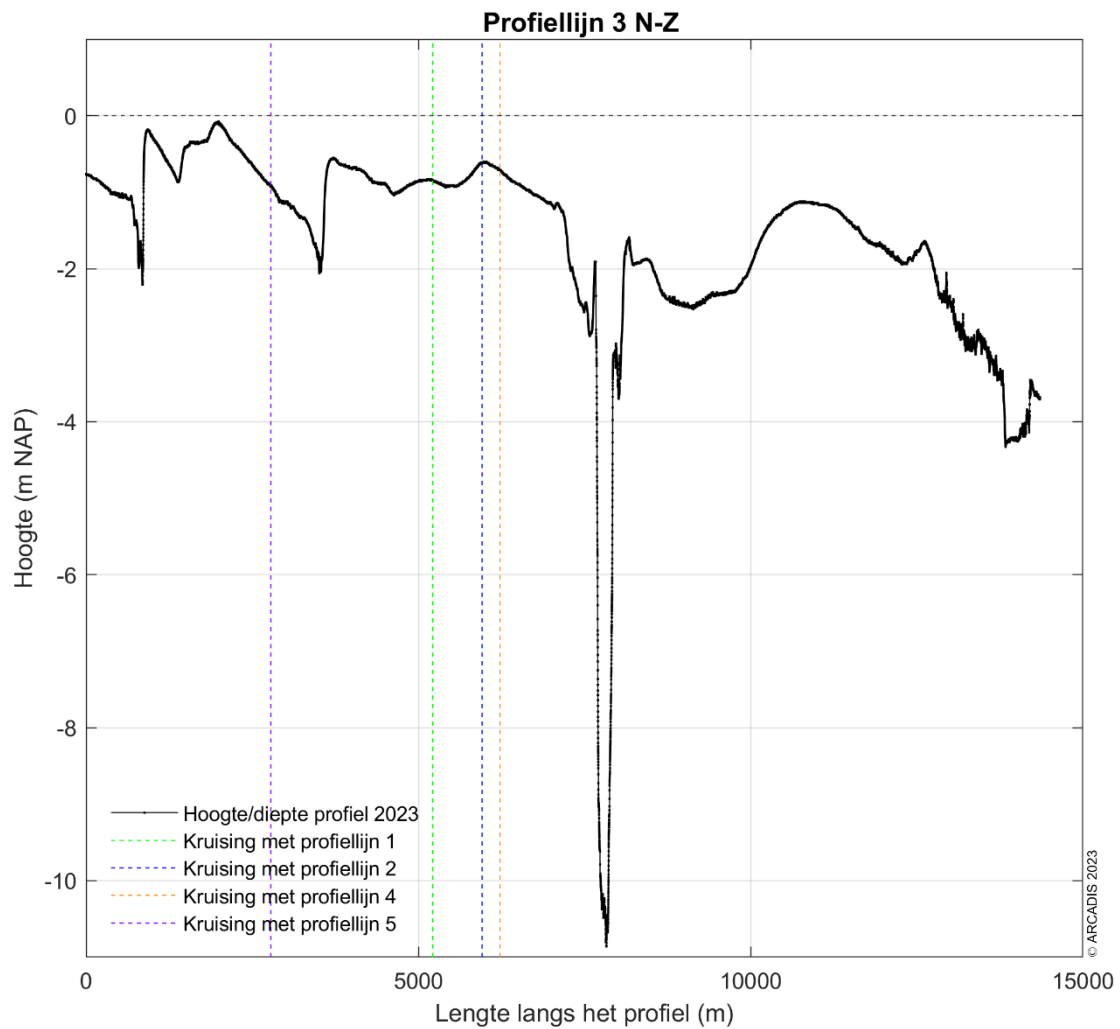
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



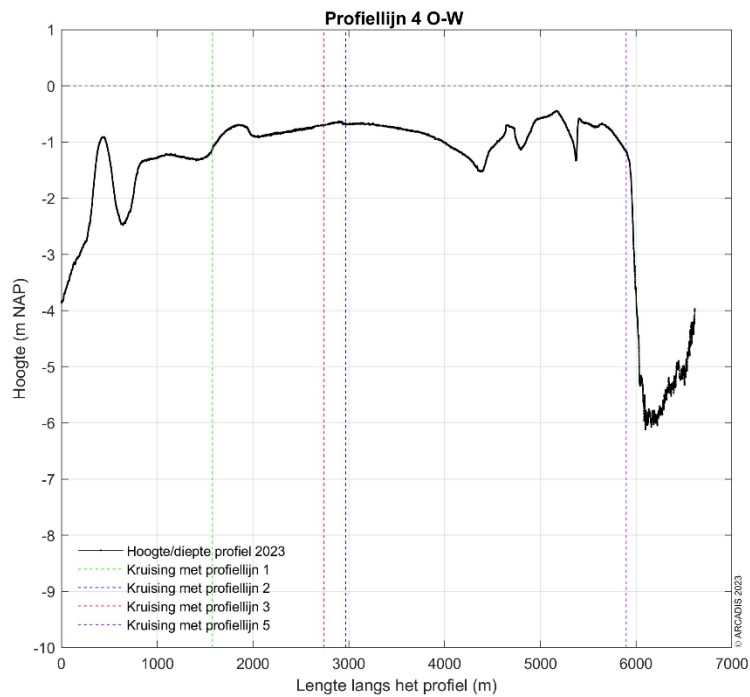
Figuur 9-91 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2023.



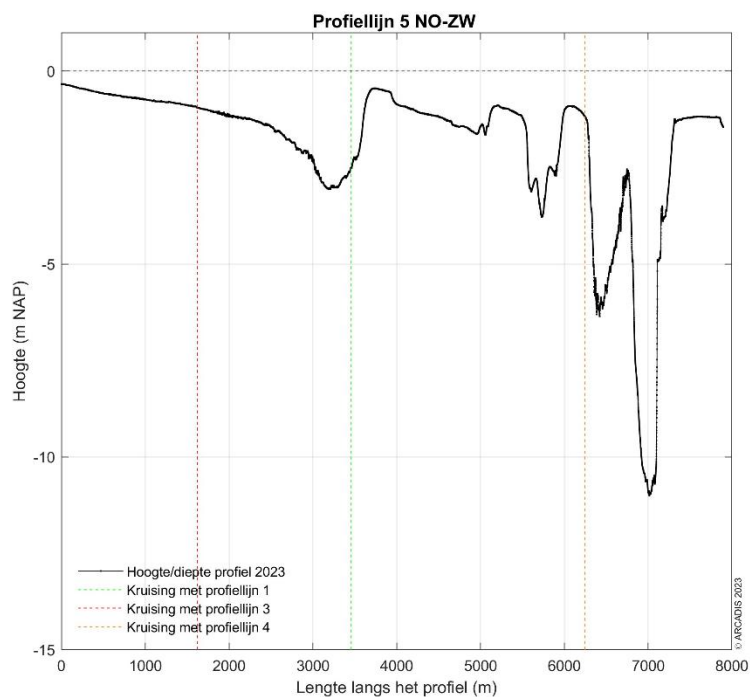
Figuur 9-92 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2023.



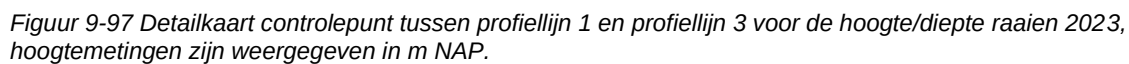
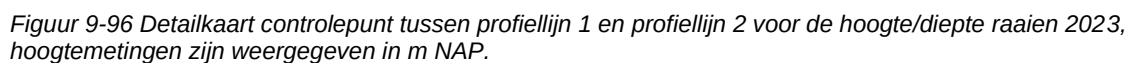
Figuur 9-93 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2023.

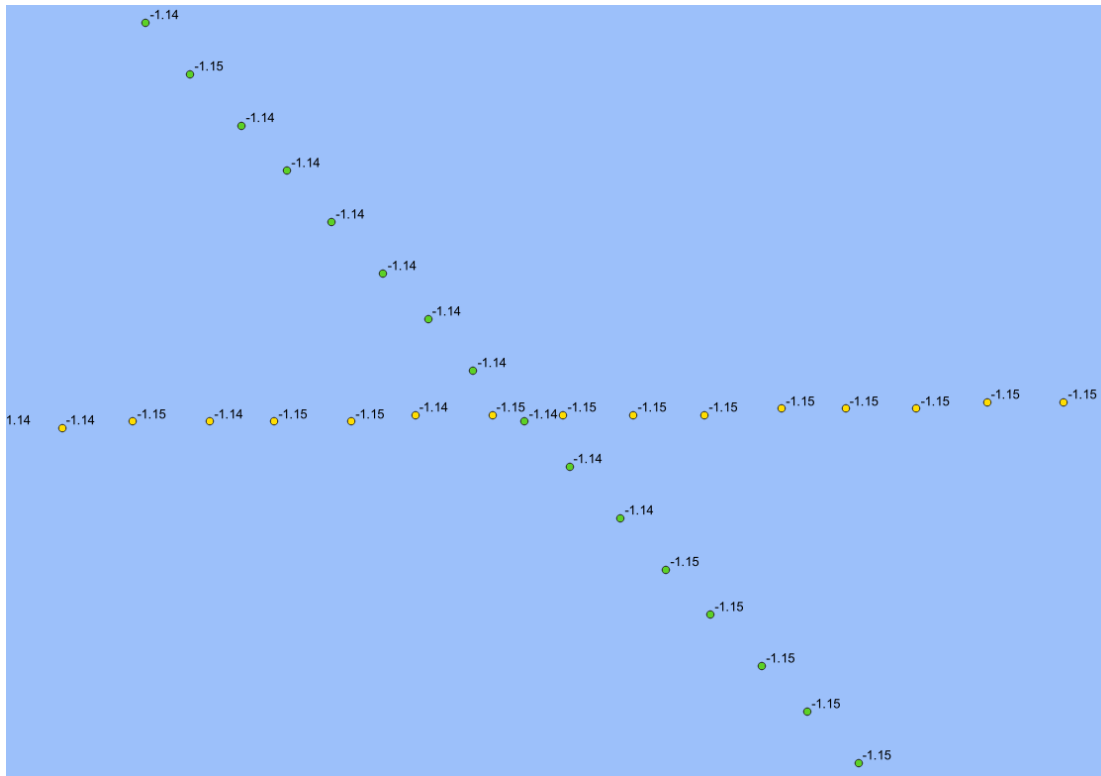


Figuur 9-94 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 4 van oost naar west in 2023.

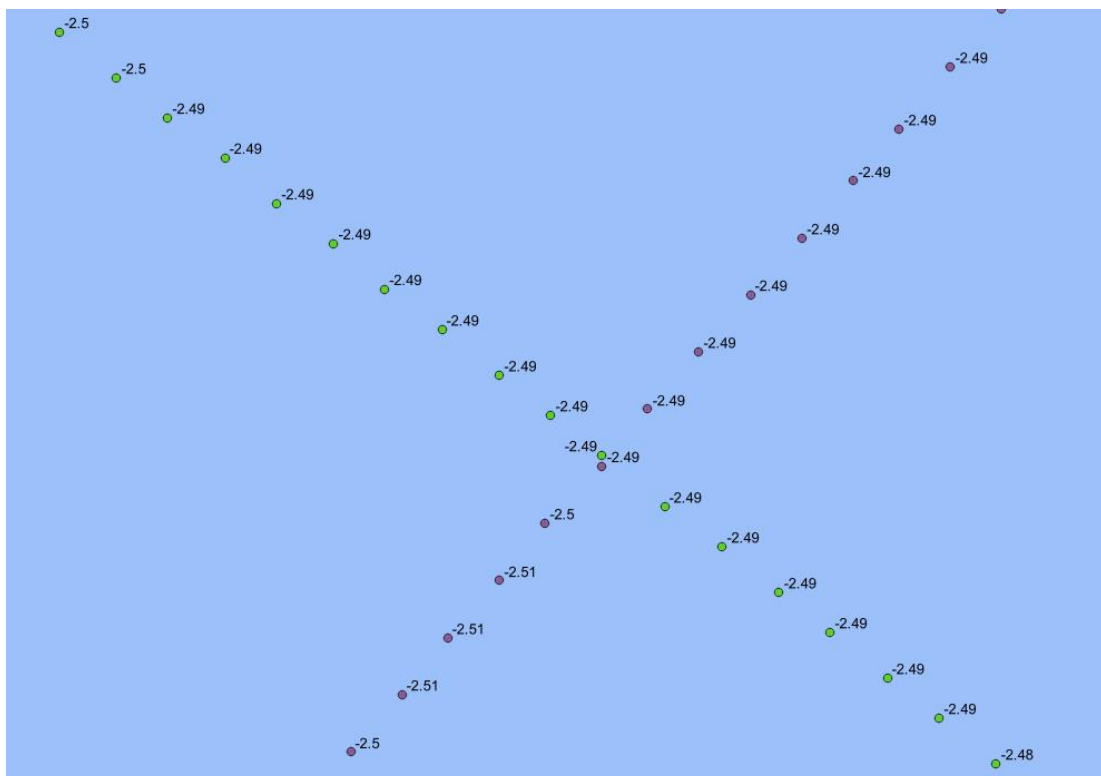


Figuur 9-95 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest in 2023.

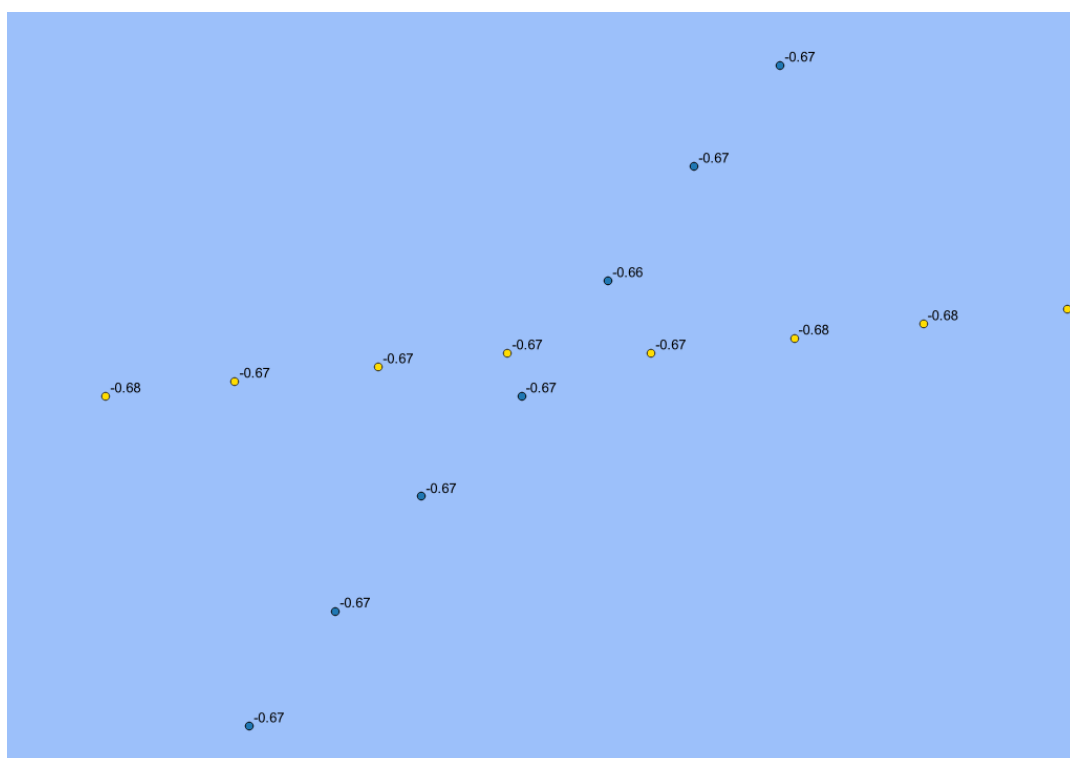
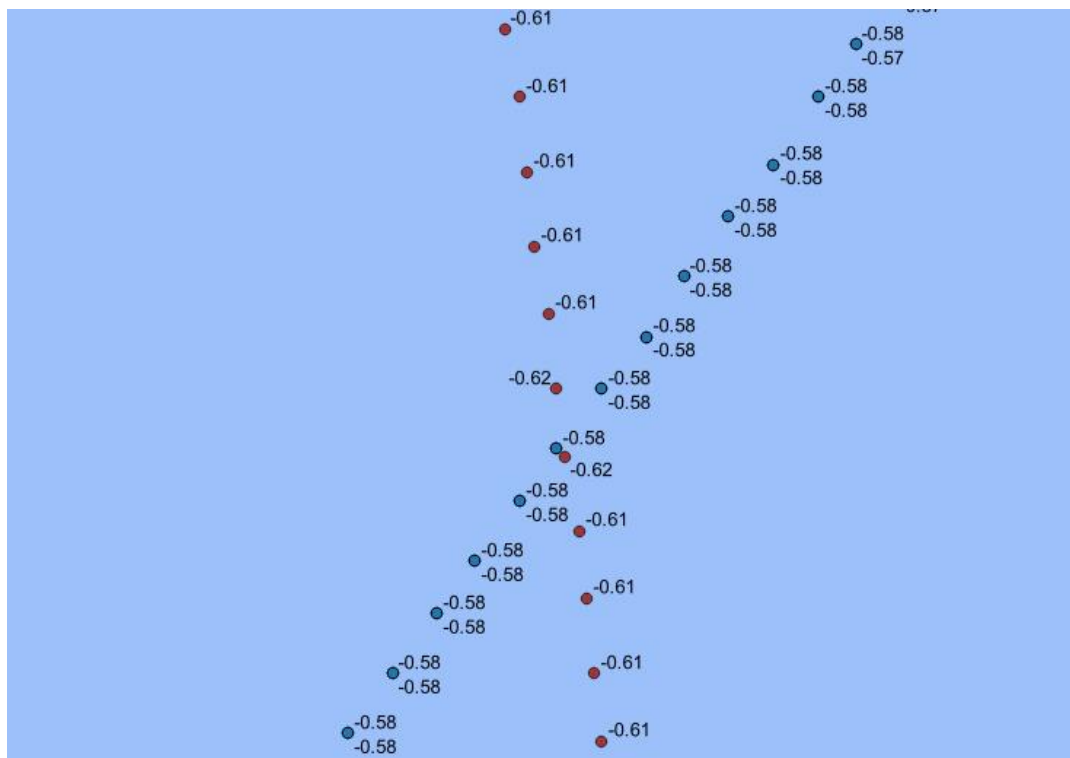


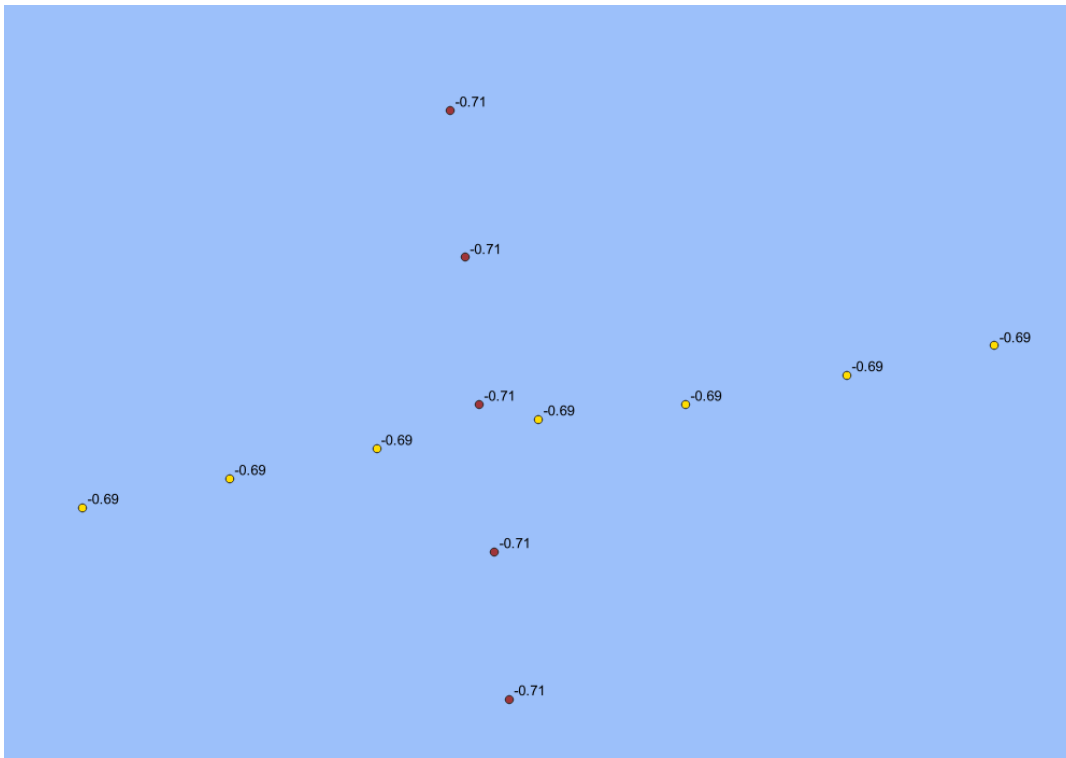


Figuur 9-98 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien 2023, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

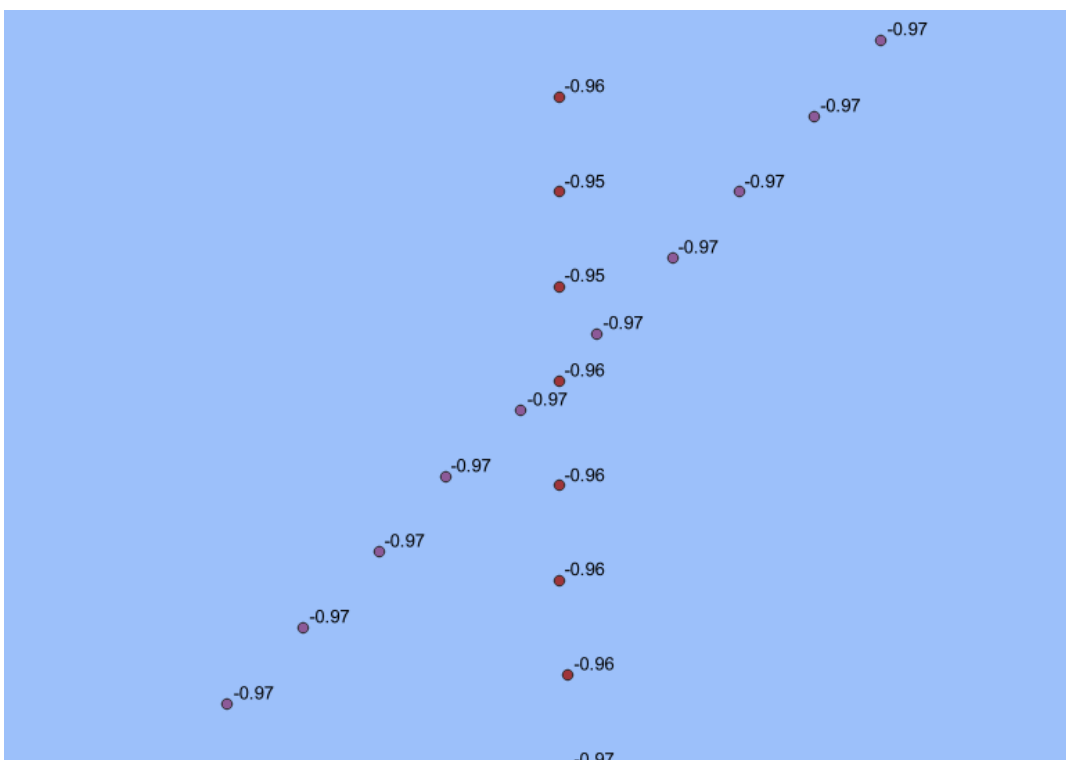


Figuur 9-99 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien 2023, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

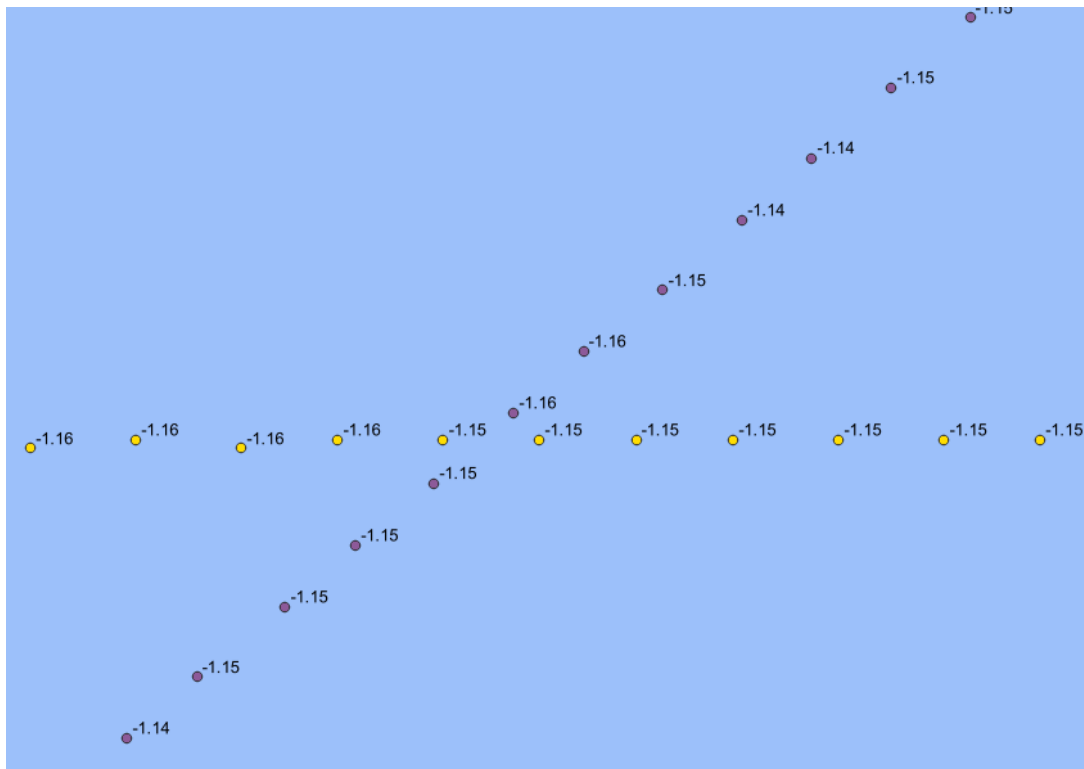




Figuur 9-102 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2023, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-103 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2023, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



131

Metingen uit 2024

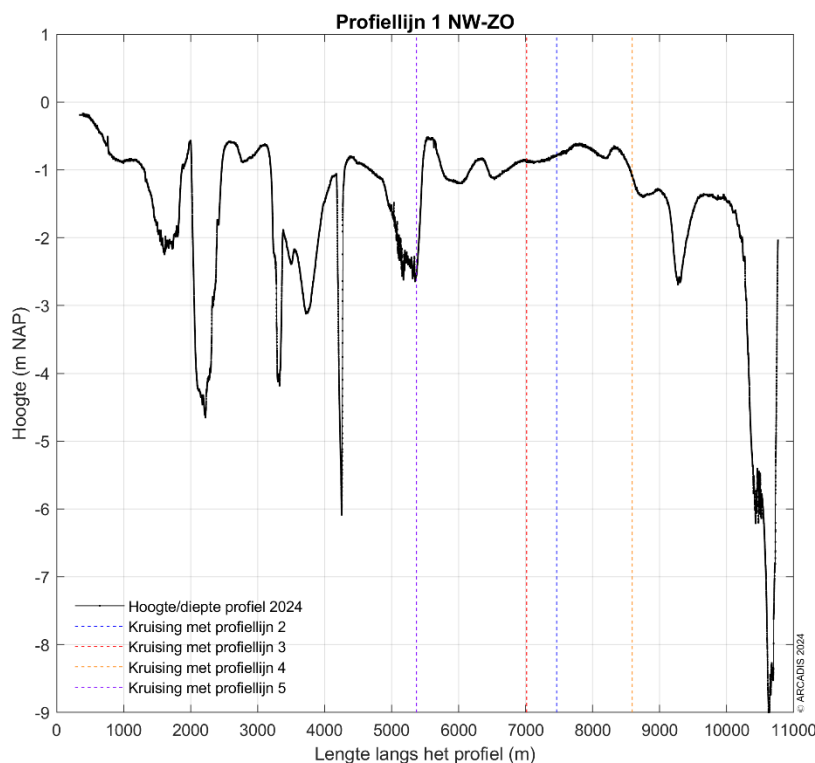
Vanaf 2021 zijn er twee aanvullende raaien ingemeten. Deze raaien (raai 4 en raai 5) worden op dezelfde wijze ingemeten als de raai 1, 2 en 3 die sinds 2016 worden ingemeten.

Onderstaande figuren (zie Figuur 9-105 t/m Figuur 9-109) laten de hoogte/diepte zien in de vijf raaien, zoals gemeten op 22 mei 2024.

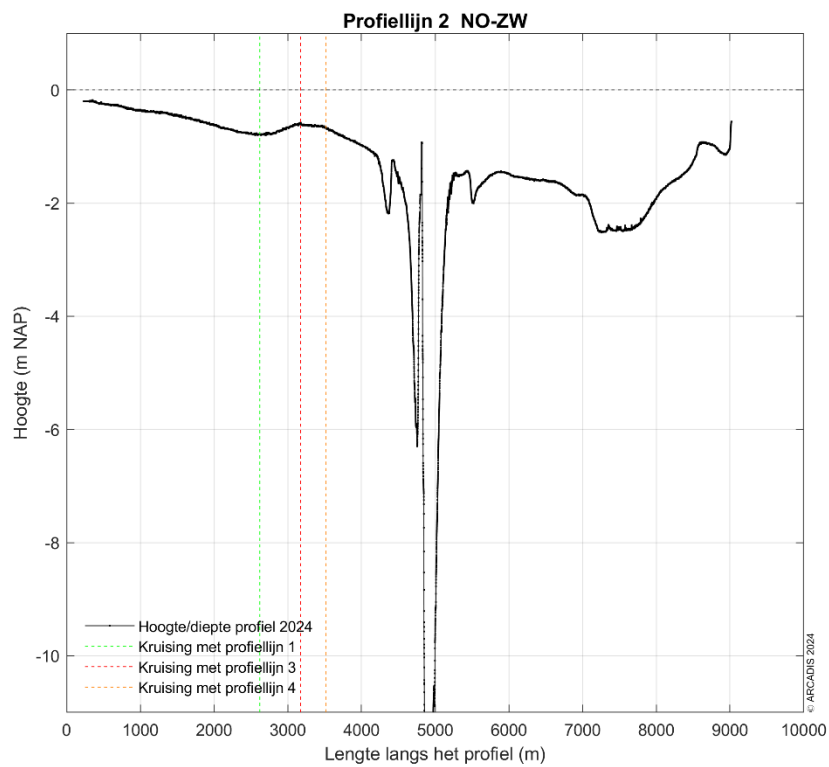
Om te kijken of de hoogte/diepte raaien met elkaar overeenkomen zijn er 9 controlepunten vergeleken (Figuur 9-110 t/m Figuur 9-118). Uit de meetgegevens blijkt dat er een hoogte/diepte verschil van enkele centimeters kan zitten tussen de kruisende raaien:

- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 2.
- Verschil van 4 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 3.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 4.
- Verschil van 5 centimeter tussen profiellijn 1 en profiellijn 5.
- Verschil van 2 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 3.
- Verschil van 3 centimeter tussen profiellijn 2 en profiellijn 4.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 4.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 3 en profiellijn 5.
- Verschil van 1 centimeter tussen profiellijn 4 en profiellijn 5.

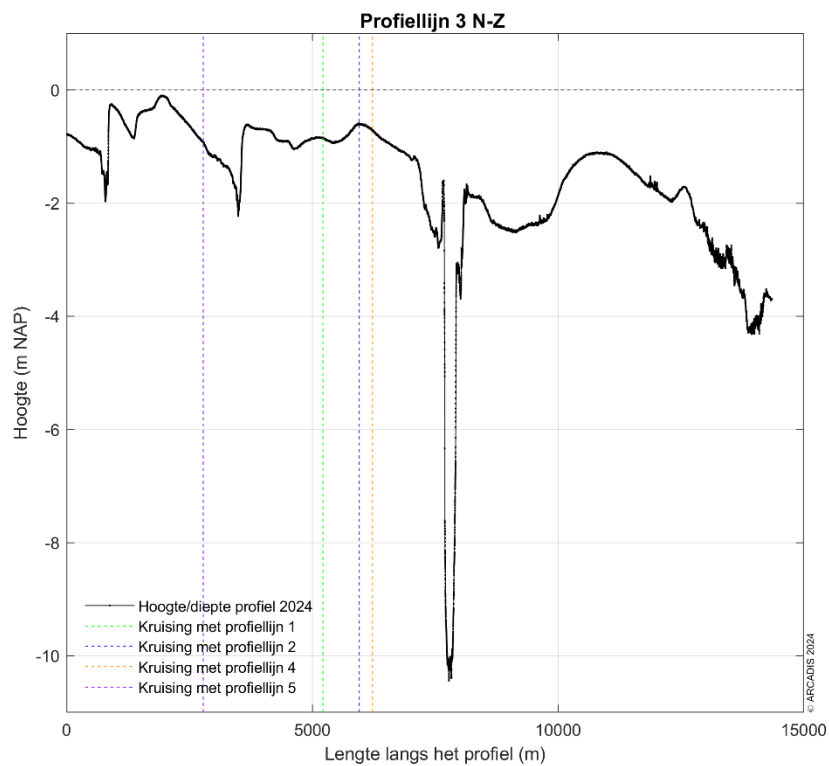
Uit deze controle blijkt dat de data van de verschillende profiellijnen qua hoogte/diepte raaien goed met elkaar overeenkomen. De nauwkeurigheid van de opnamen valt binnen de nauwkeurigheid voor dit type metingen.



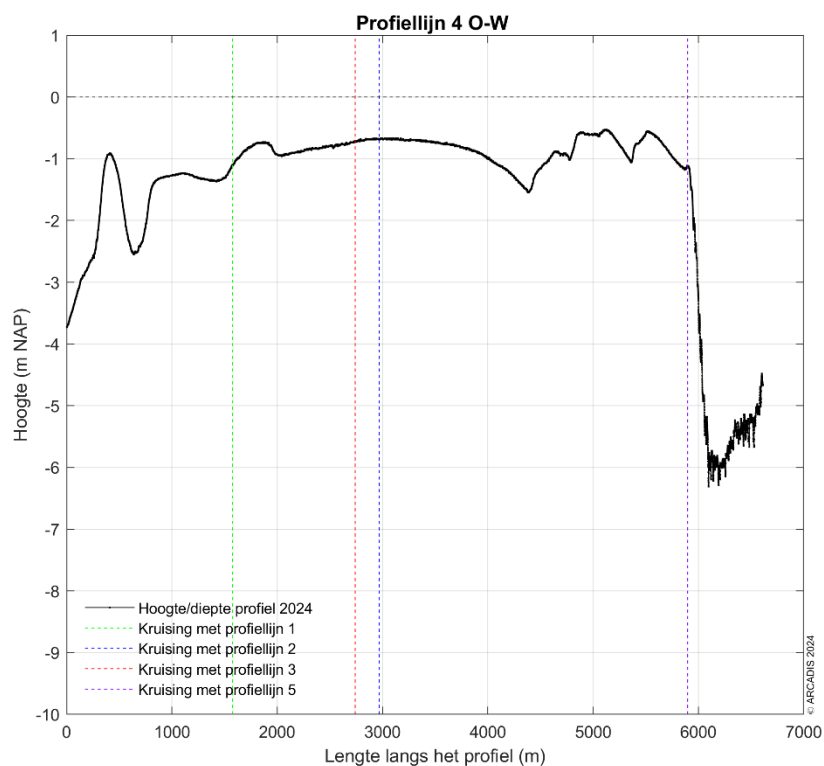
Figuur 9-105 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost in 2024.



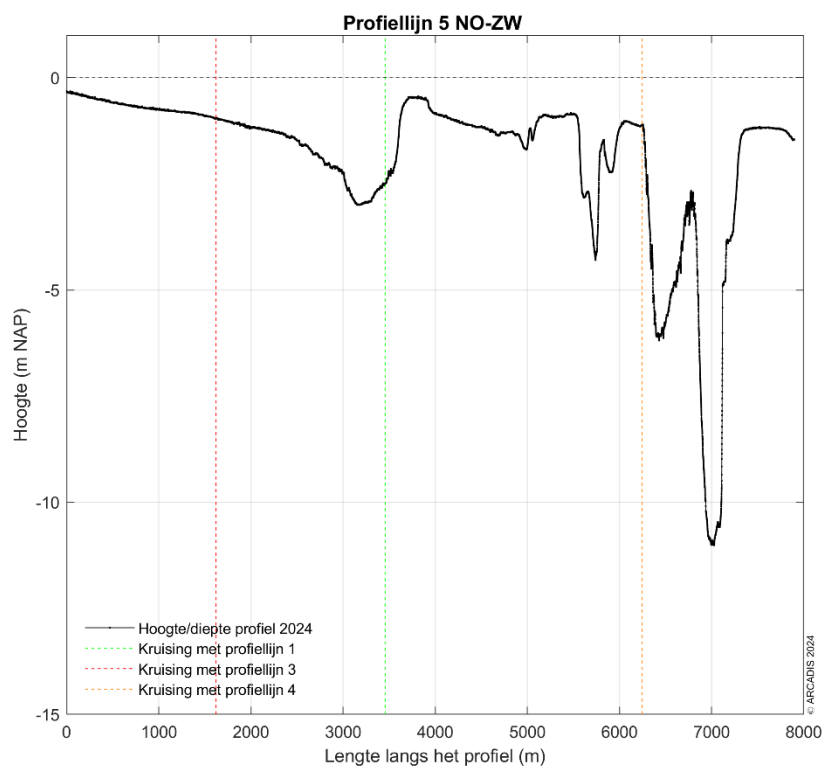
Figuur 9-106 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest in 2024.



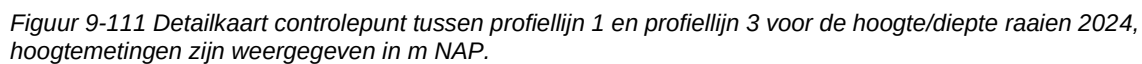
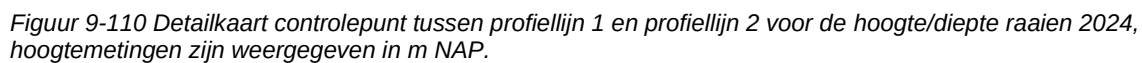
Figuur 9-107 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 3 van noord naar zuid in 2024.

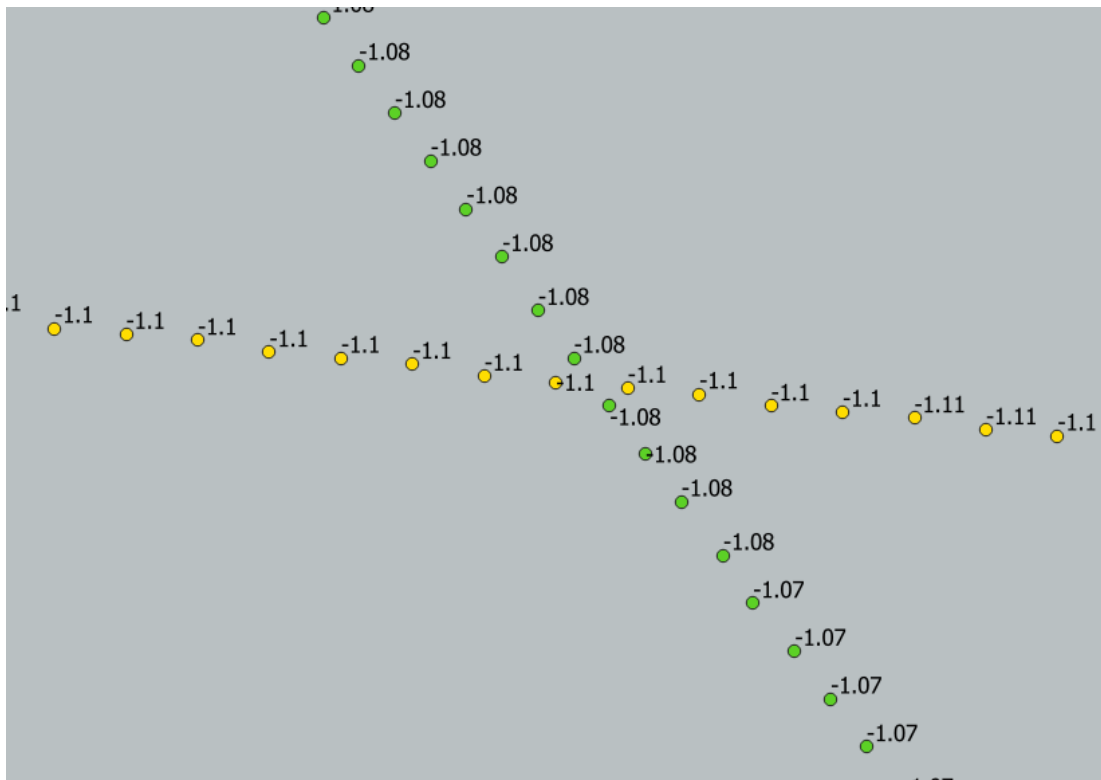


Figuur 9-108 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 4 van oost naar west in 2024.

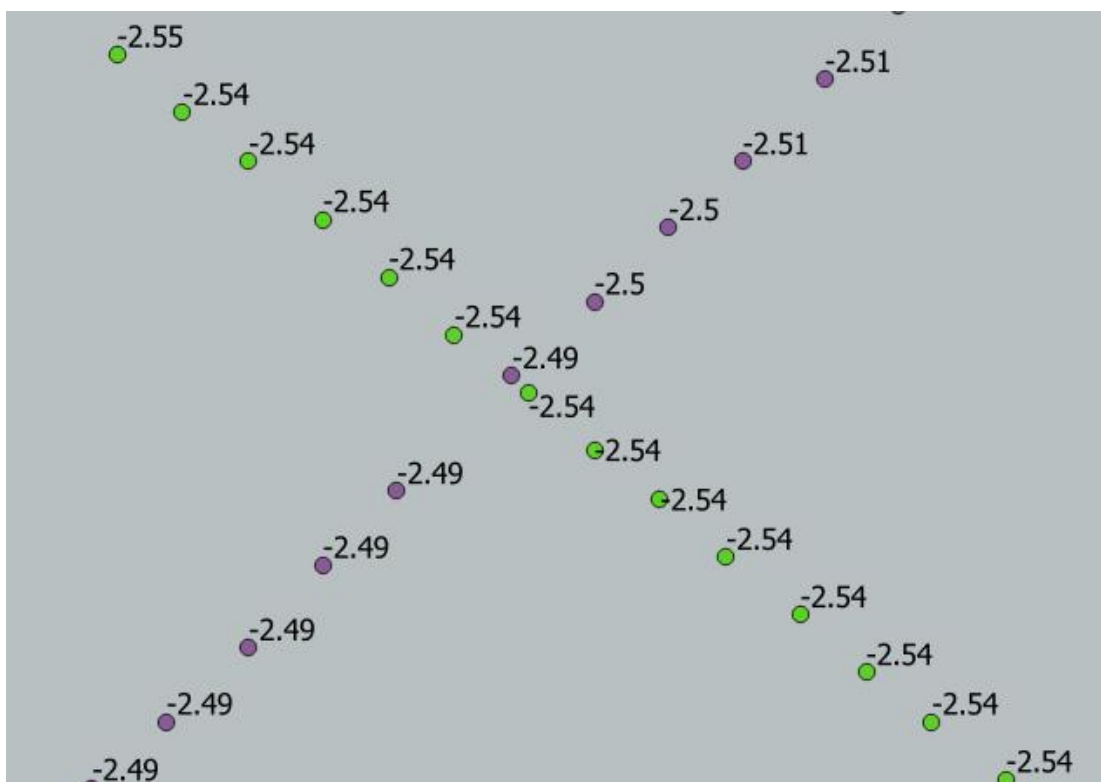


Figuur 9-109 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest in 2024.

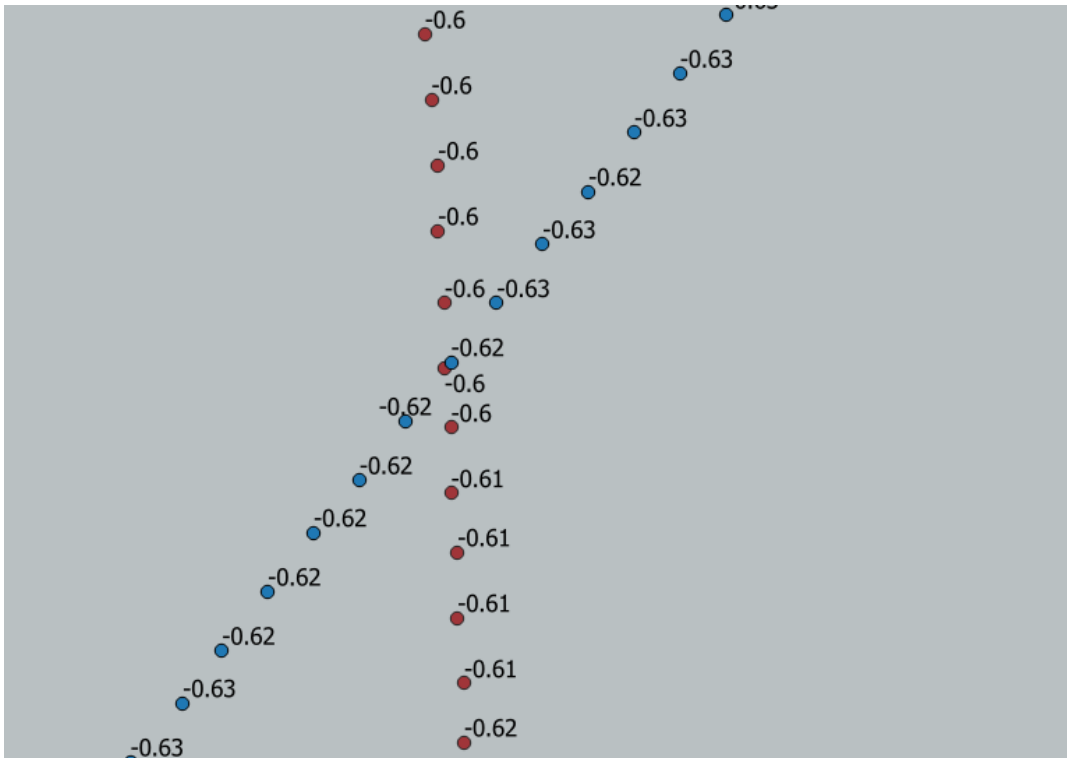




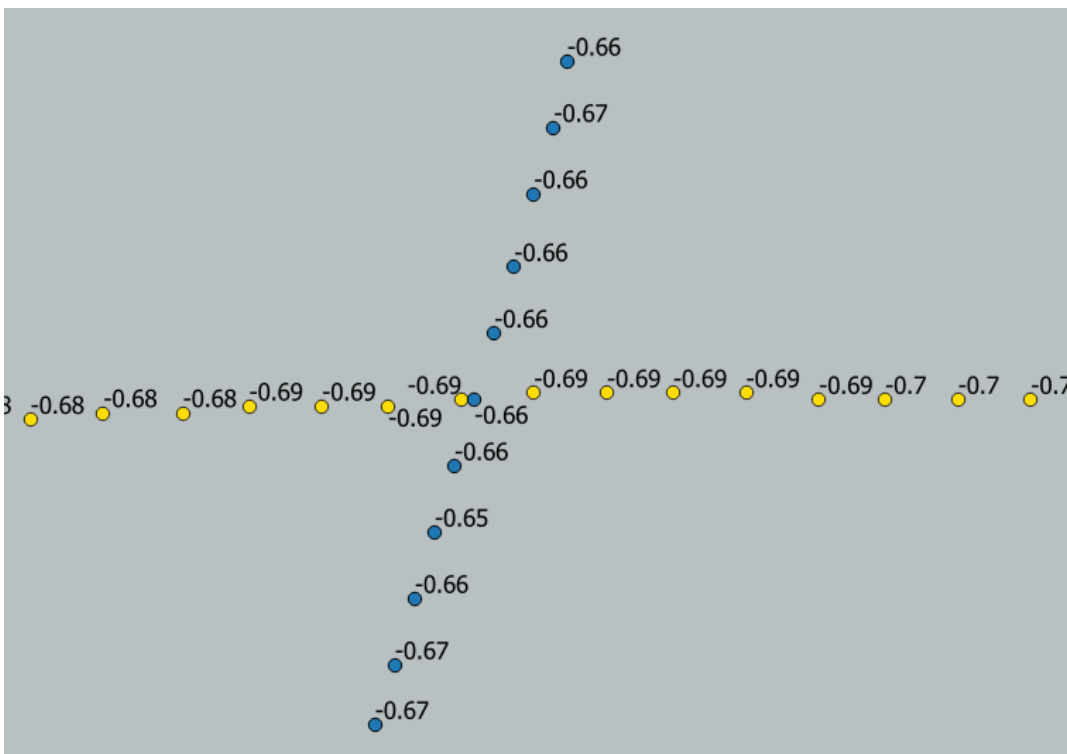
Figuur 9-112 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



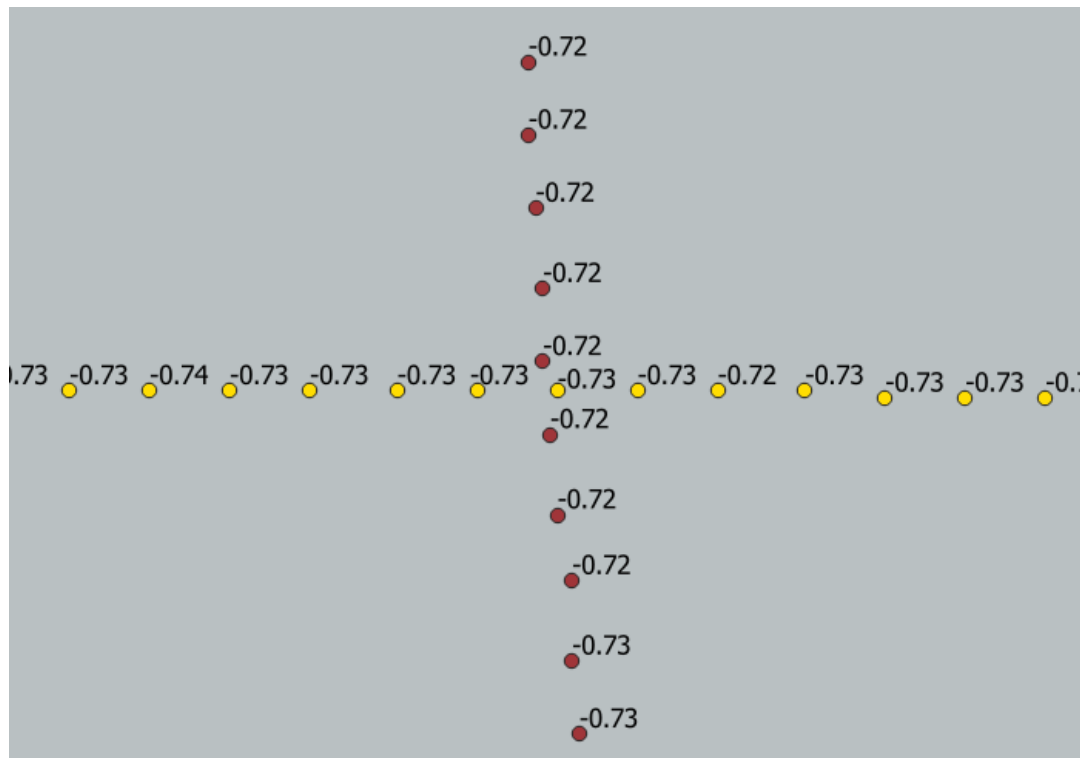
Figuur 9-113 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 1 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-114 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 3 voor de hoogte/diepte raaien mei 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



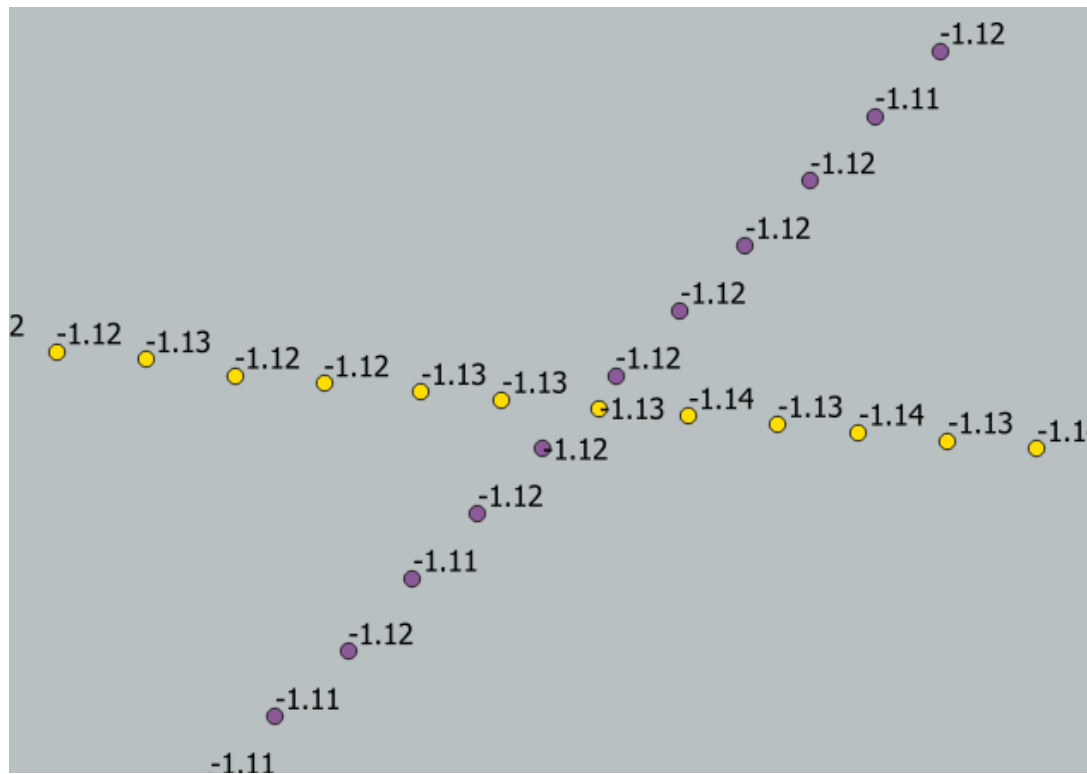
Figuur 9-115 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 2 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-116 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 4 voor de hoogte/diepte raaien mei 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



Figuur 9-117 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 3 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.



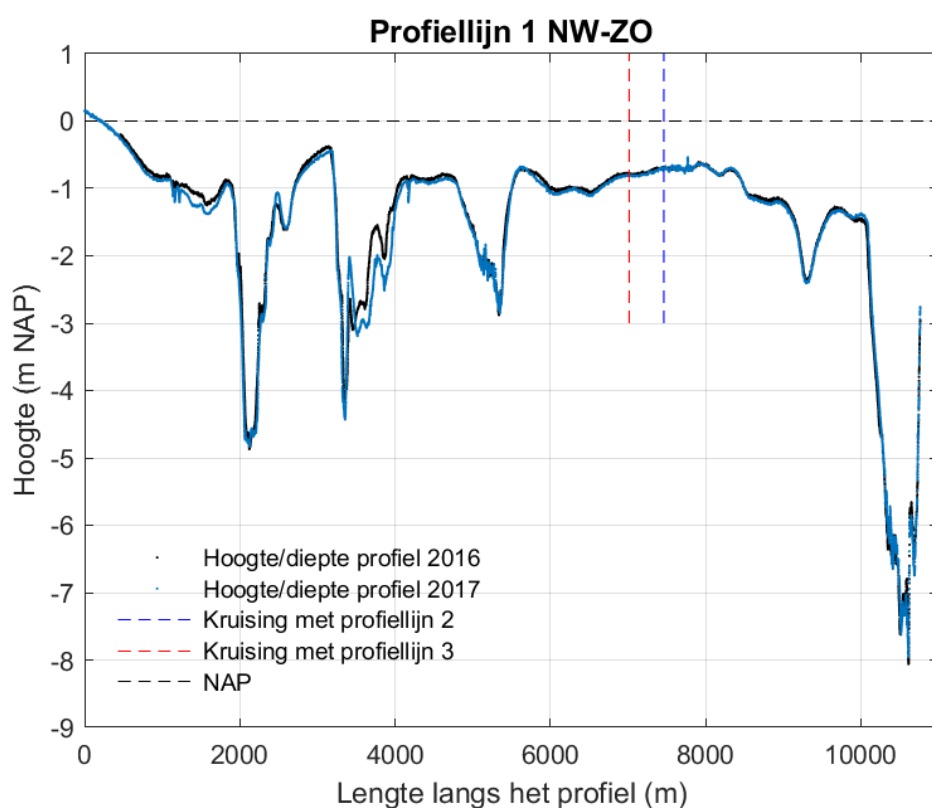
Figuur 9-118 Detailkaart controlepunt tussen profiellijn 4 en profiellijn 5 voor de hoogte/diepte raaien mei 2024, hoogtemetingen zijn weergegeven in m NAP.

BIJLAGE C VERGELIJKING METINGEN OPVOLGENDE JAREN

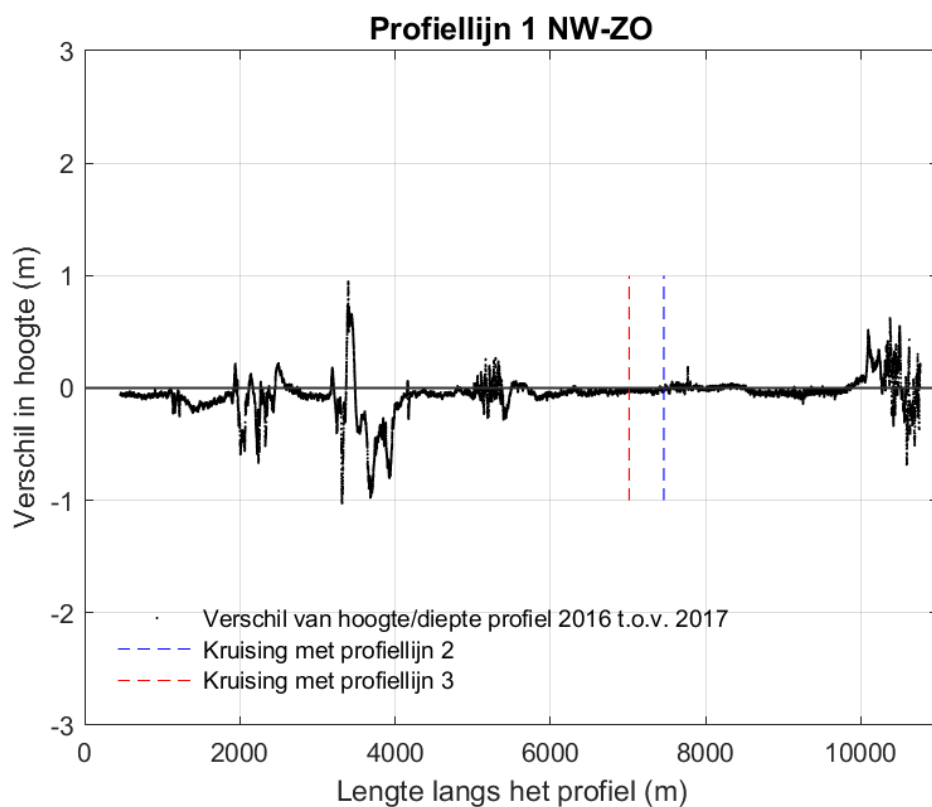
Vergelijking tussen metingen uit 2016 en 2017

In deze sectie worden de hoogte/diepte raadata van 2016 met 2017 vergeleken (zie Figuur 9-119, Figuur 9-122 en Figuur 9-125). De figuren laten zien dat in de periode van één jaar wel morfologische veranderingen zijn opgetreden, maar dat de ligging van de geul en platen (locatie van het begin of einde van de geul/plaat) bijna gelijk is gebleven.

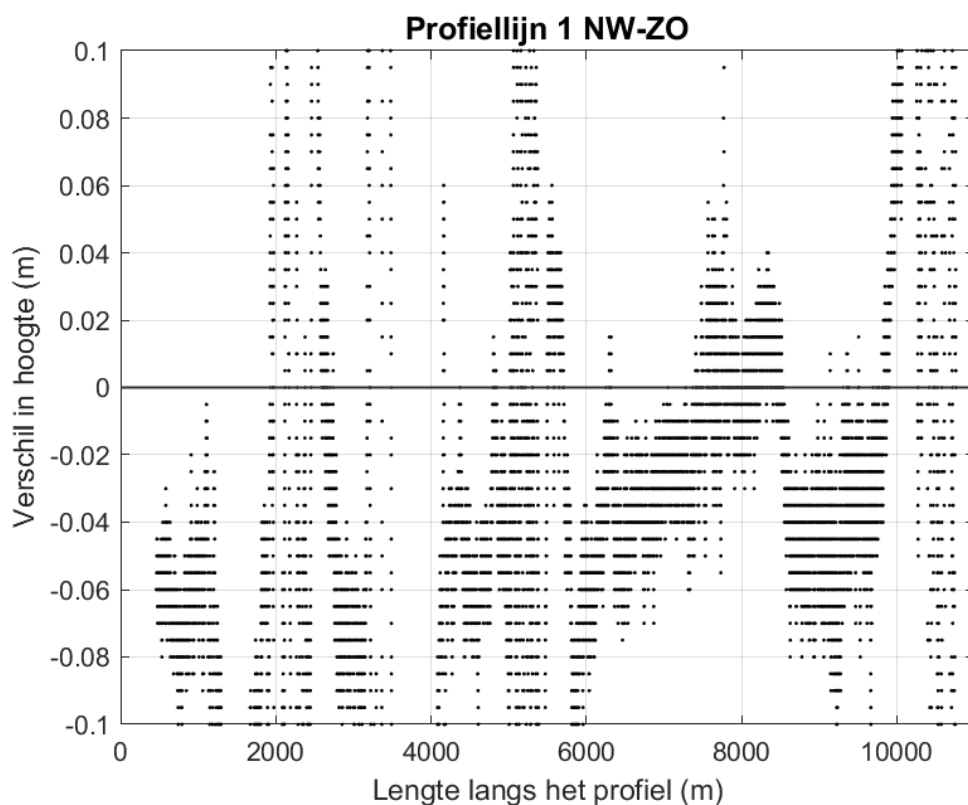
Bij profiellijn 1 is de grootste morfologische verandering te zien rondom de sublitorale geulen, waarbij er 1 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-120, tussen 3000 tot 4000 meter). Dit verschil in diepte is te verklaren door de hoge dynamiek die kan plaatsvinden in en rond de geulen in de Waddenzee. Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen van profiellijn 1, is te zien dat ook op de platen zowel verhoging als verlaging van enkele centimeters plaatsvindt (zie Figuur 9-121, tussen 7000 tot 8000 meter).



Figuur 9-119 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.

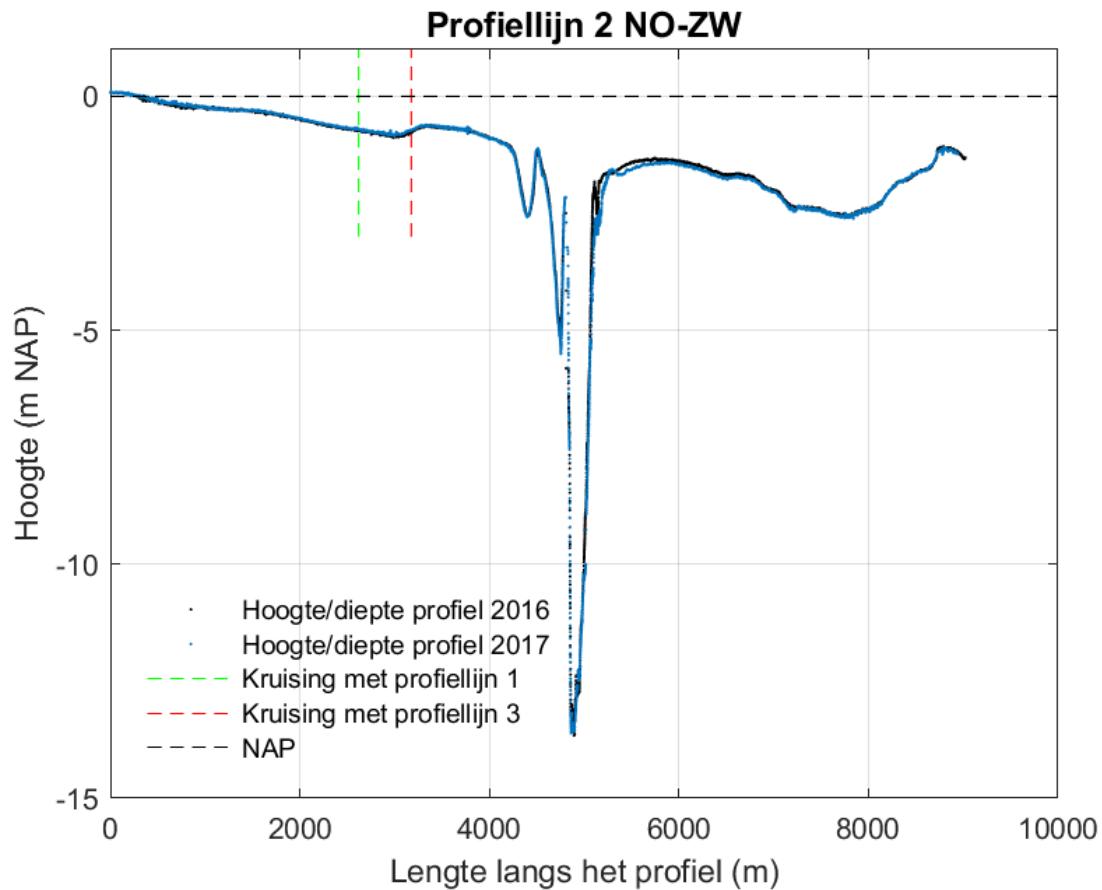


Figuur 9-120 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.

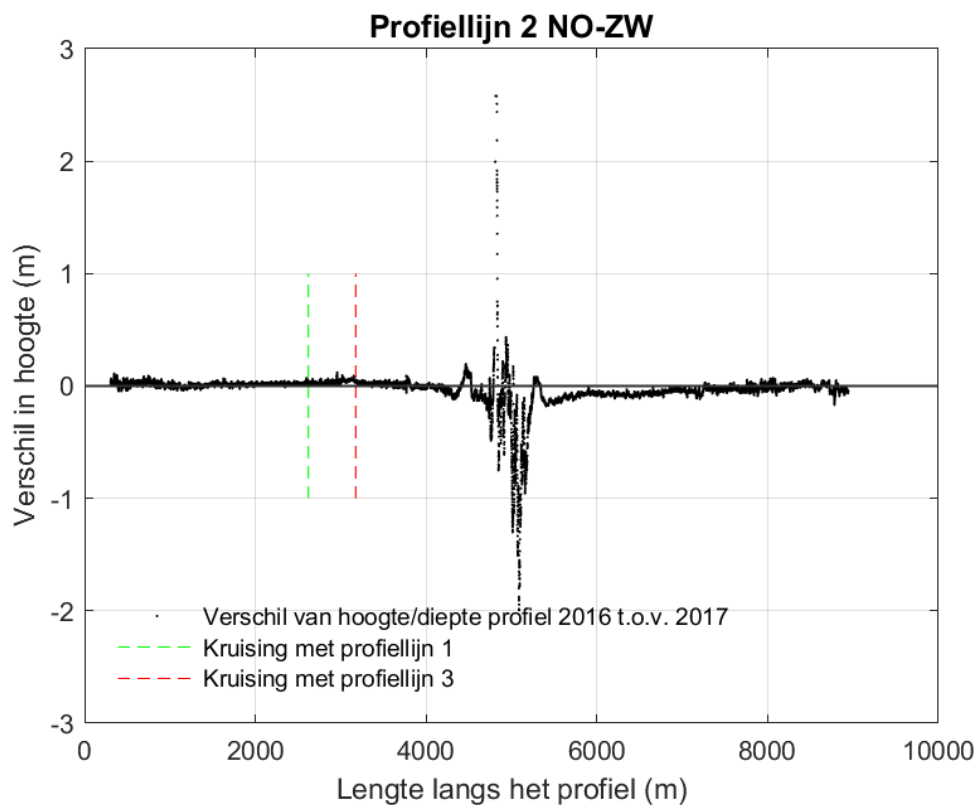


Figuur 9-121 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.

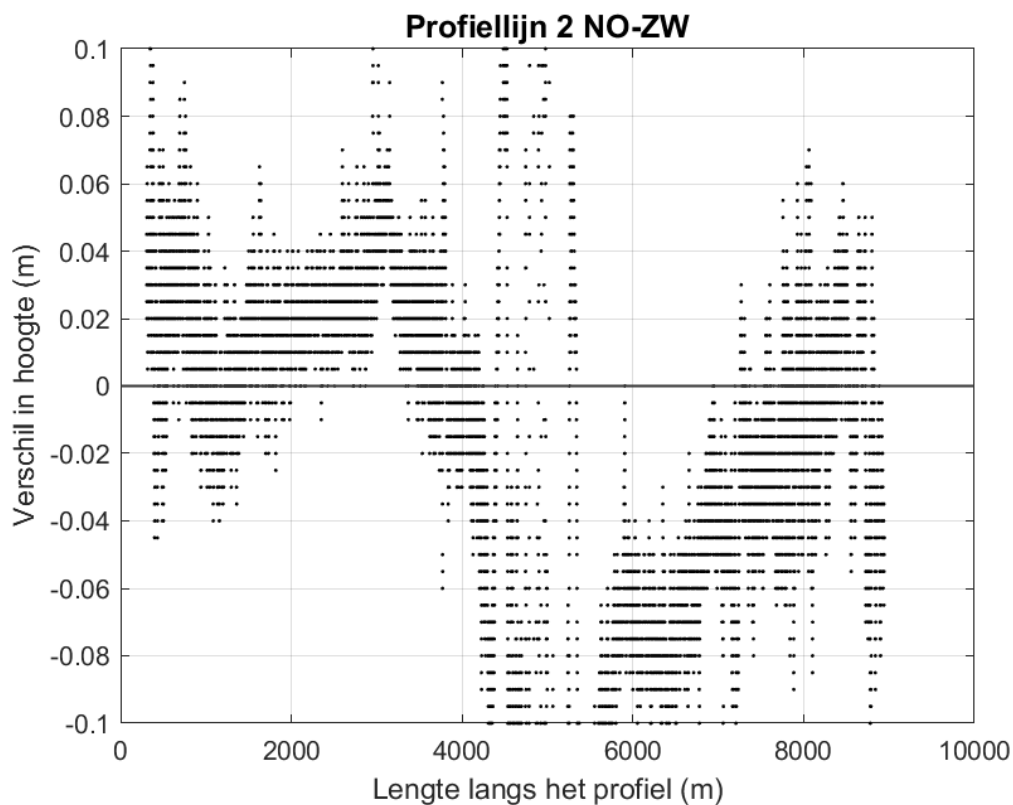
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op een enkele plek tot 2 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geul (Figuur 9-123 tussen de 4000 en 6000 meter). Rondom de hogere wadplaten in de noordoostelijke zijde van deze profiellijn is er vooral een verhoging van enkele centimeters te zien, terwijl er in het zuidwestelijke intergetijde gebied van noordoost naar zuidwest eerst een verlaging van enkele centimeters optreedt in de intergetijde geul en daarna weer een verhoging richting de intergetijde platen (Figuur 9-124 van 6000 tot 9000 m).



Figuur 9-122 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



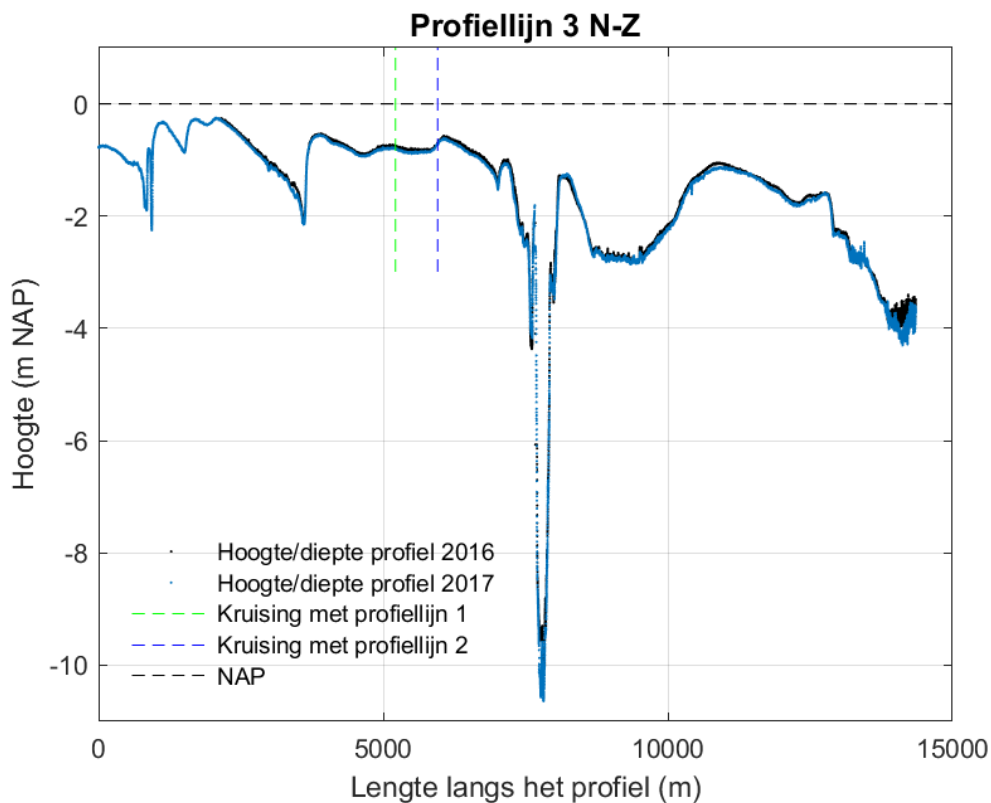
Figuur 9-123 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.



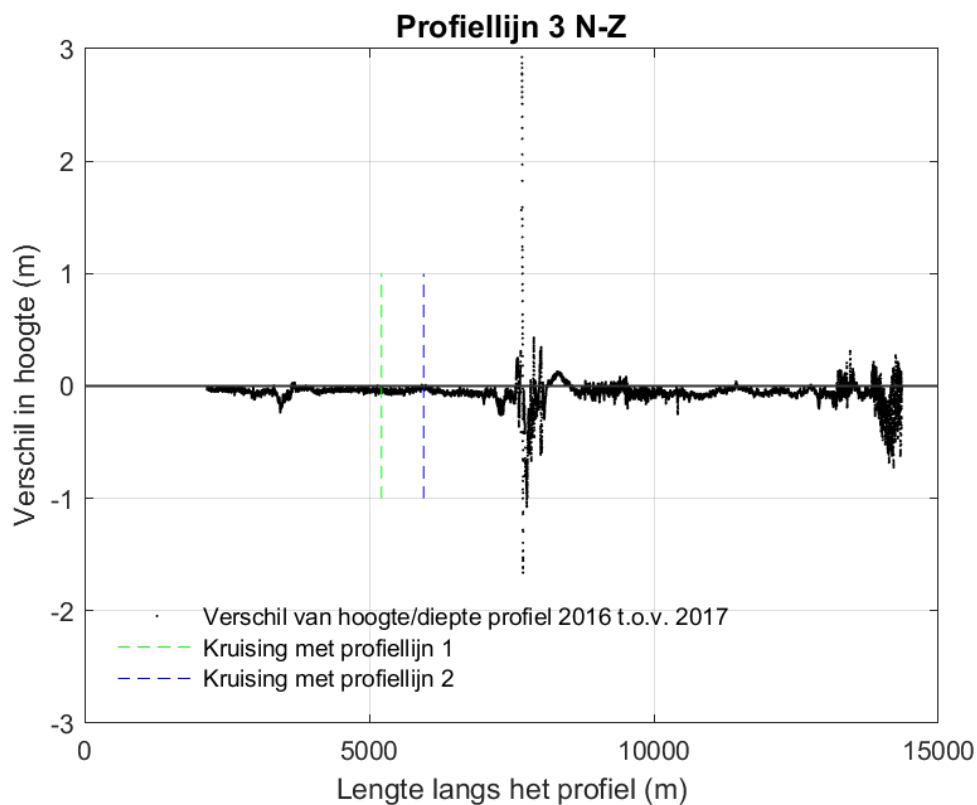
Figuur 9-124: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.

Profiellijn 3 laat rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen een grote morfologische verandering zien, waarbij op enkele plekken tussen 2 à 3 meter hoogteverschil is opgetreden (Figuur 9-126 in het midden). In het algemeen laten de intergetijde platen en geulen een verlaging van enkele centimeters zien (zie Figuur 9-127, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter).

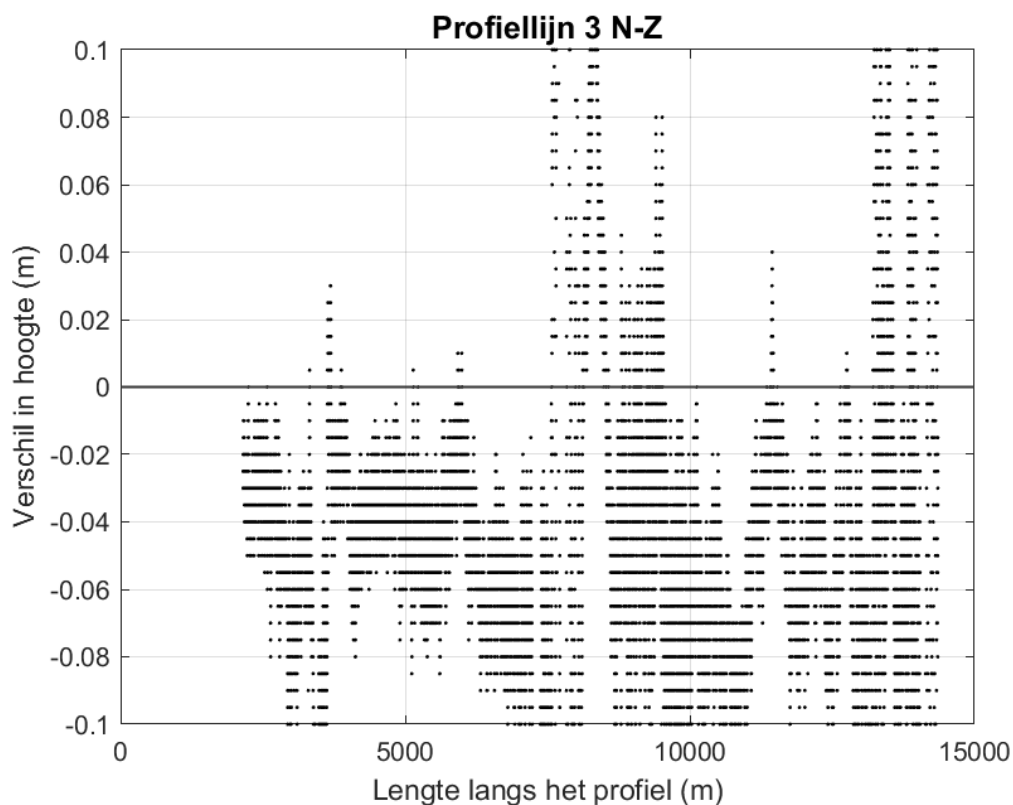
Geconcludeerd kan worden dat de metingen tussen 2016 en 2017 goed met elkaar te vergelijken zijn. In een groot deel van de meetraaien is te zien dat in 2017 (t.o.v. 2016) de hoogte van de meetraaien lager lijkt te zijn. De wadplaten boven -1 meter NAP laten een verhoging zien in 2017 ten opzichte van 2016. De sublitorale geulen laten in het algemeen de grootste morfologische dynamiek zien.



Figuur 9-125 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017.



Figuur 9-126 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.

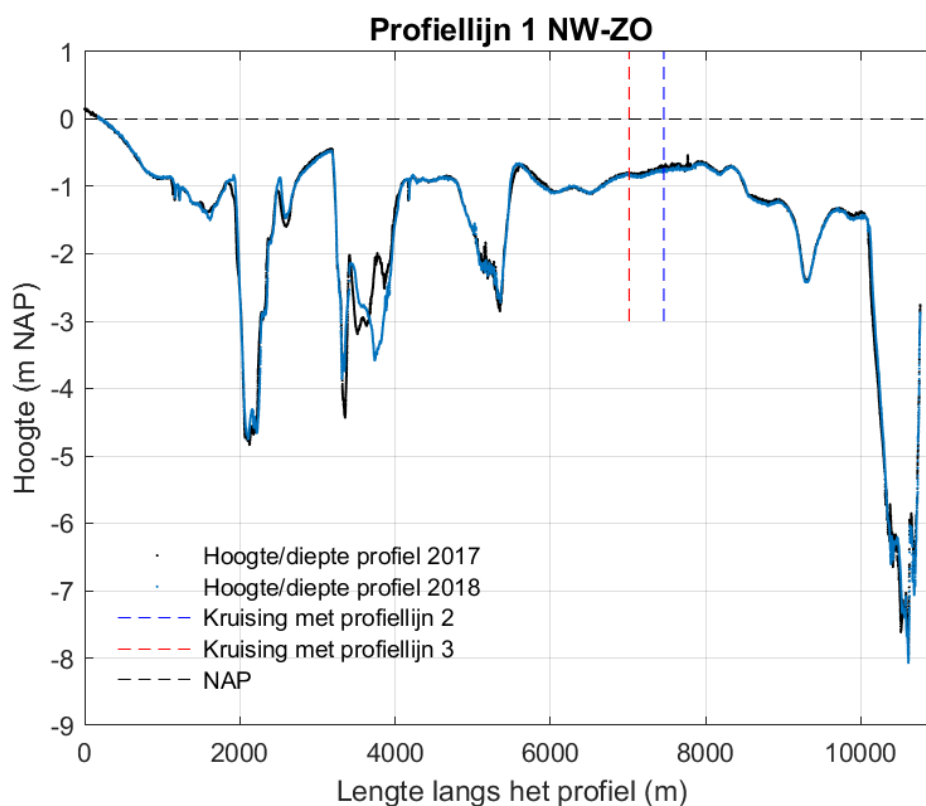


Figuur 9-127 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 en 2017. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2017 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2016.

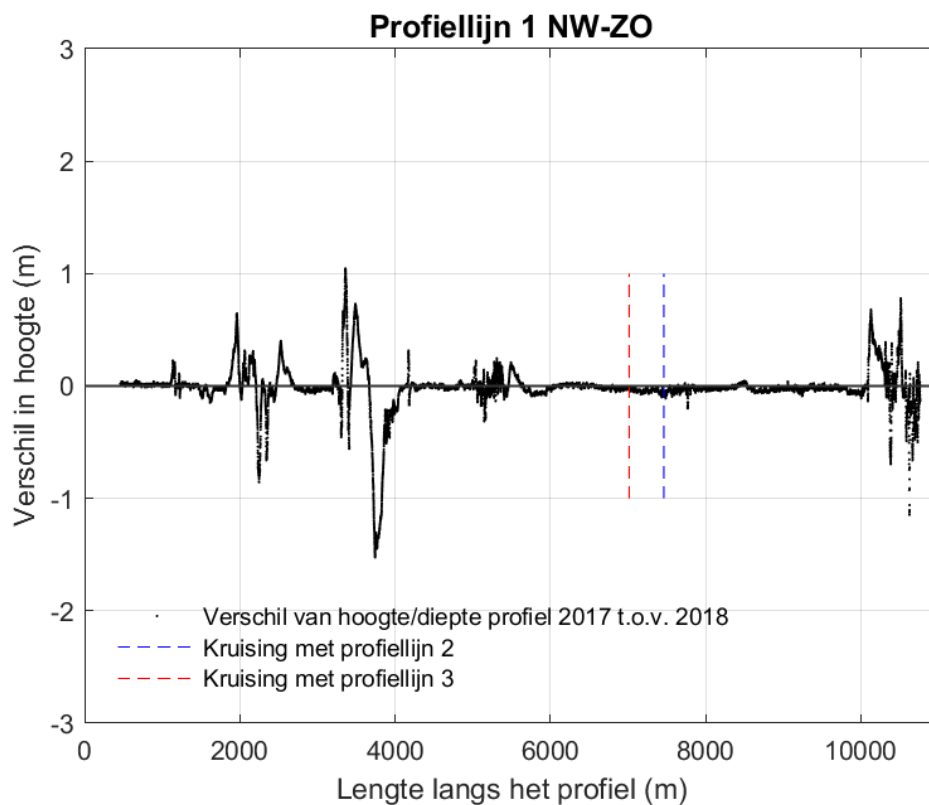
Vergelijking tussen metingen uit 2017 en 2018

In deze sectie worden de hoogtes van 2017 met 2018 vergeleken (zie Figuur 9-128, Figuur 9-131 en Figuur 9-134). De figuren laten de morfologische veranderingen zien die zijn opgetreden binnen dit jaar. De veranderingen betreffen voornamelijk de intergetijde geulen (profiellijn 1 en 3) en in het profiel van noordoost naar zuidwest (profiellijn 2) is te zien dat de bovenzijde van de geul breder is geworden.

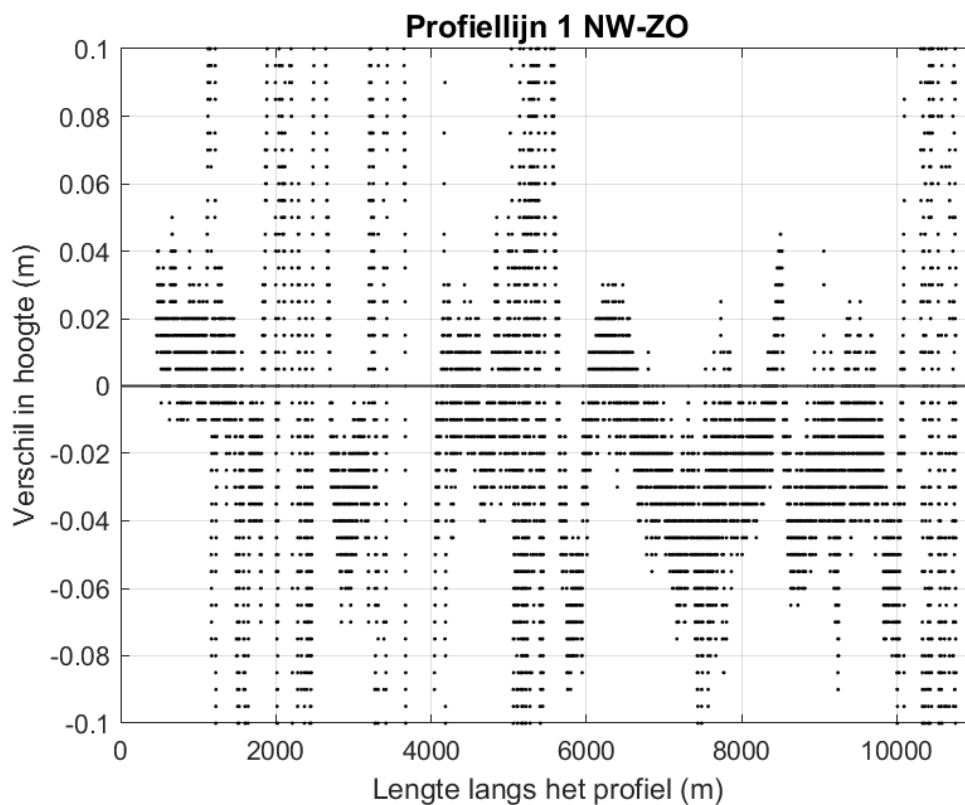
Bij profiellijn 1 zijn de grootste morfologische verandering te zien rondom de sublitorale geulen, waarbij er 1 à 1,5 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-129, tussen 3000 tot 4000 meter). Dit past bij de dynamiek van de geulen in de Waddenzee en was ook in de voorgaande opnamen te zien (sectie 3.2). Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen van profiellijn 1 is te zien dat ook op de platen een verandering van de hoogte plaatsvindt met voornamelijk een verlaging van enkele centimeters (zie Figuur 9-130, tussen 6000 tot 8000 meter).



Figuur 9-128 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.

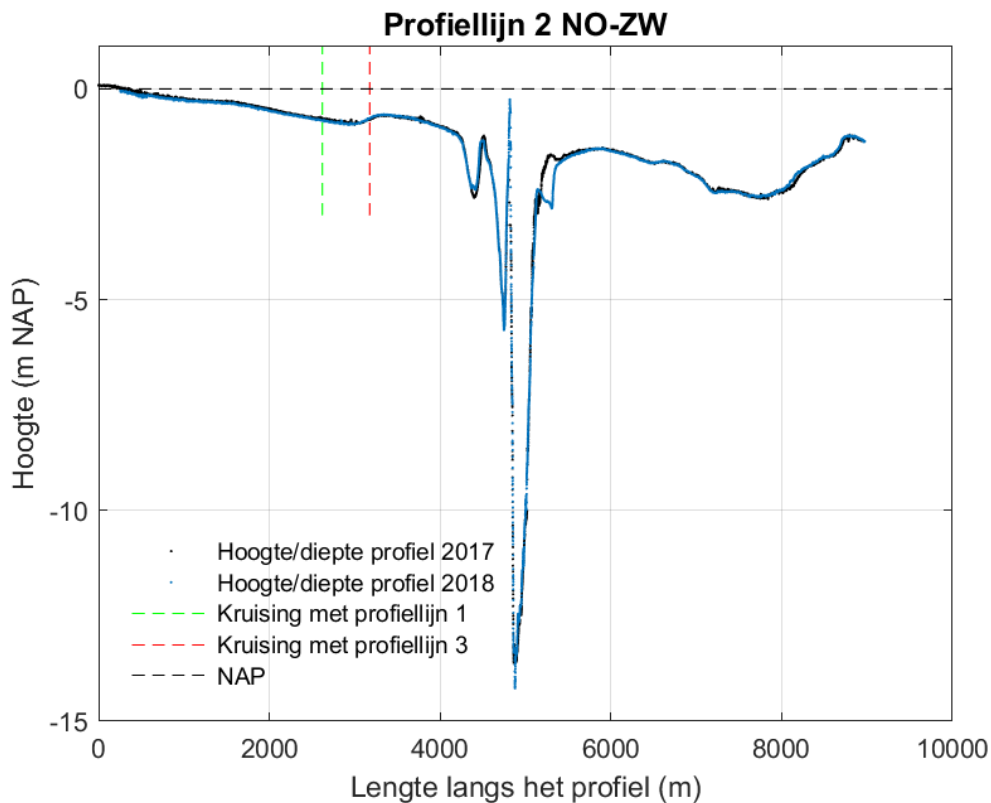


Figuur 9-129 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.

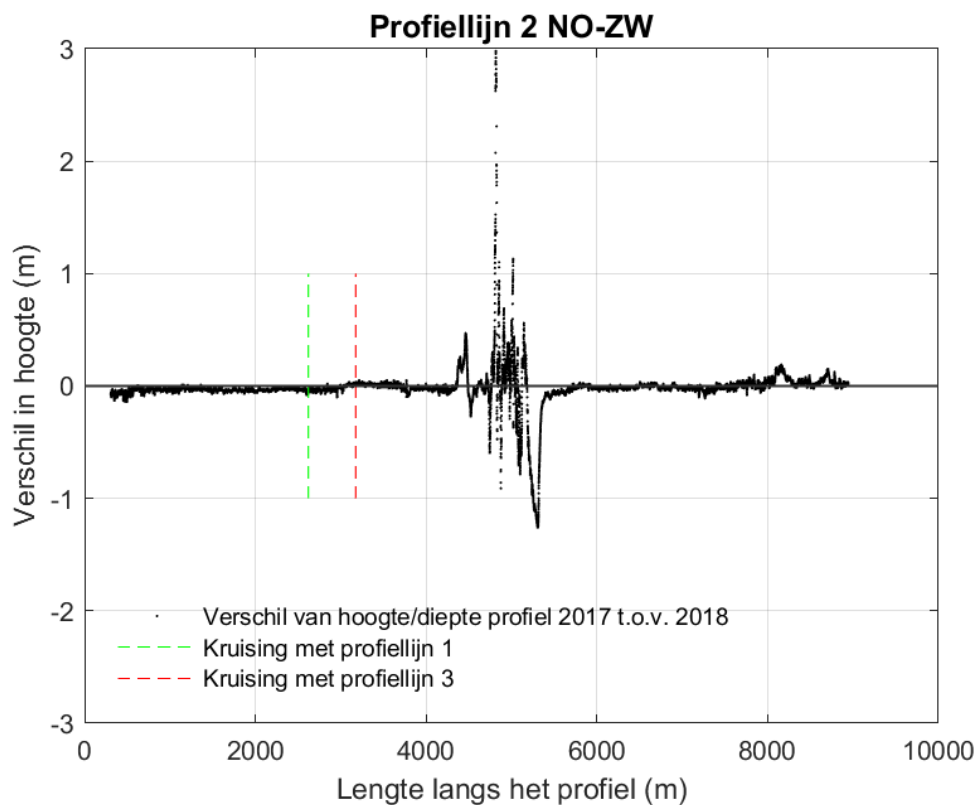


Figuur 9-130 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.

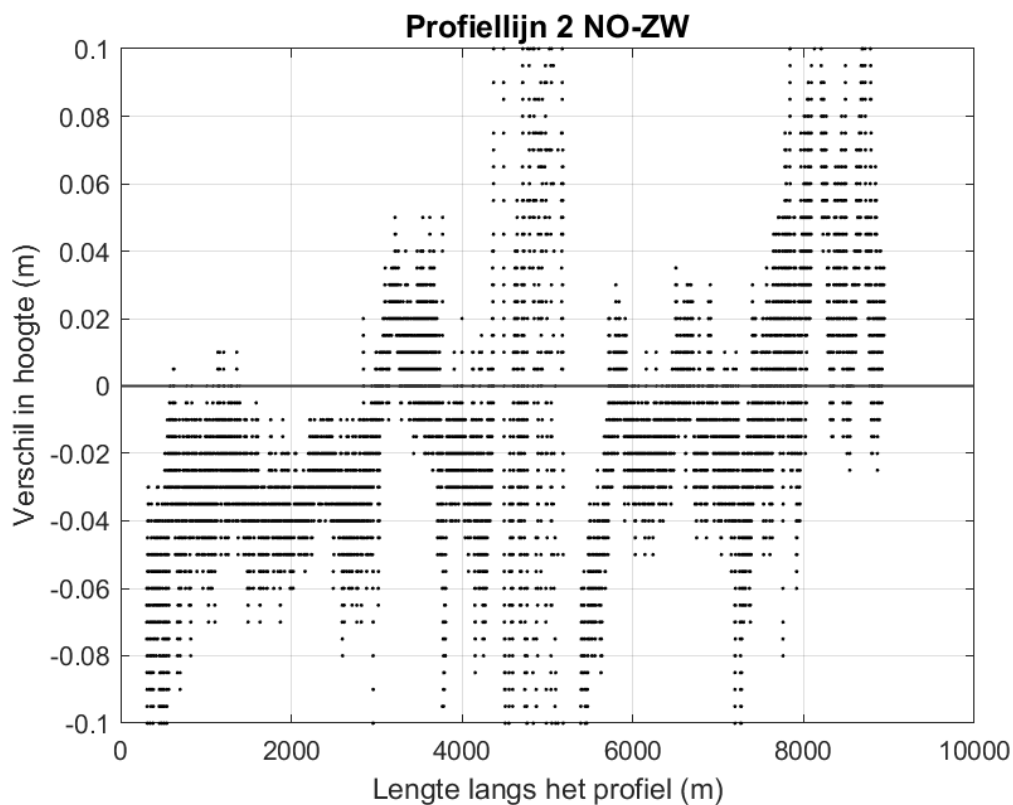
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op een enkele plek tot 1 à 3 meter hoogteverschil is opgetreden (Figuur 9-132, midden van de profiellijn). Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen in profiellijn 2 in Figuur 9-133, tussen 500 tot 3000 meter en tussen 6000 tot 8000 meter, is te zien dat ook op de platen de hoogte verandert, met voornamelijk een verlaging van enkele centimeters.



Figuur 9-131 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



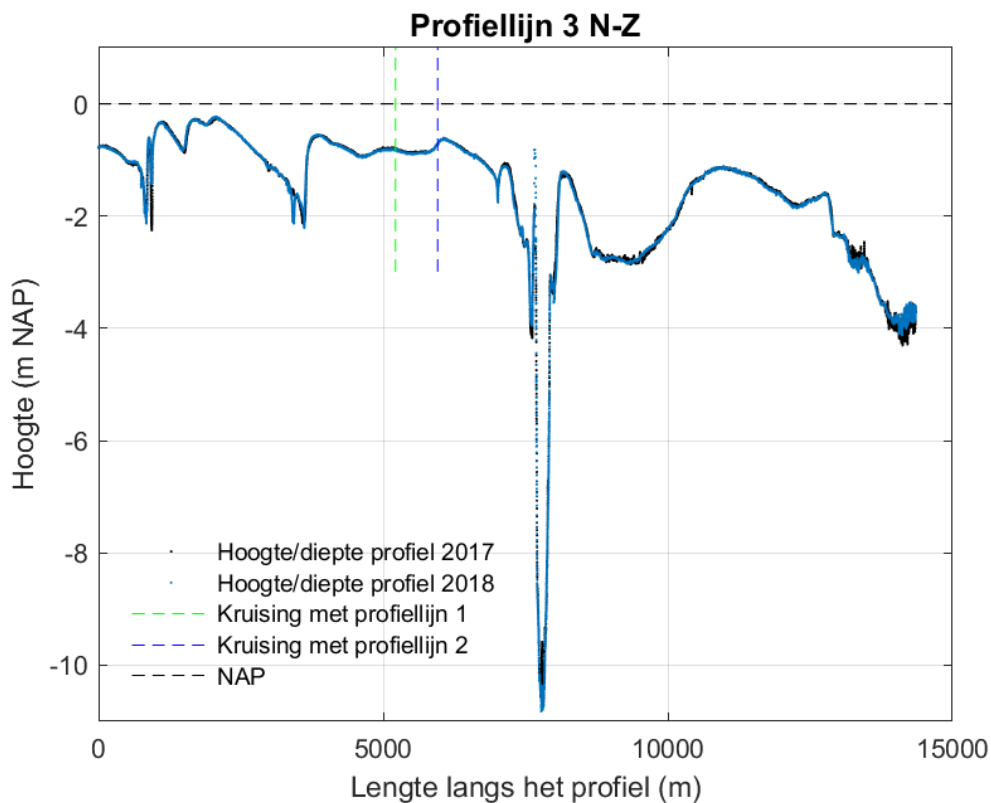
Figuur 9-132 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.



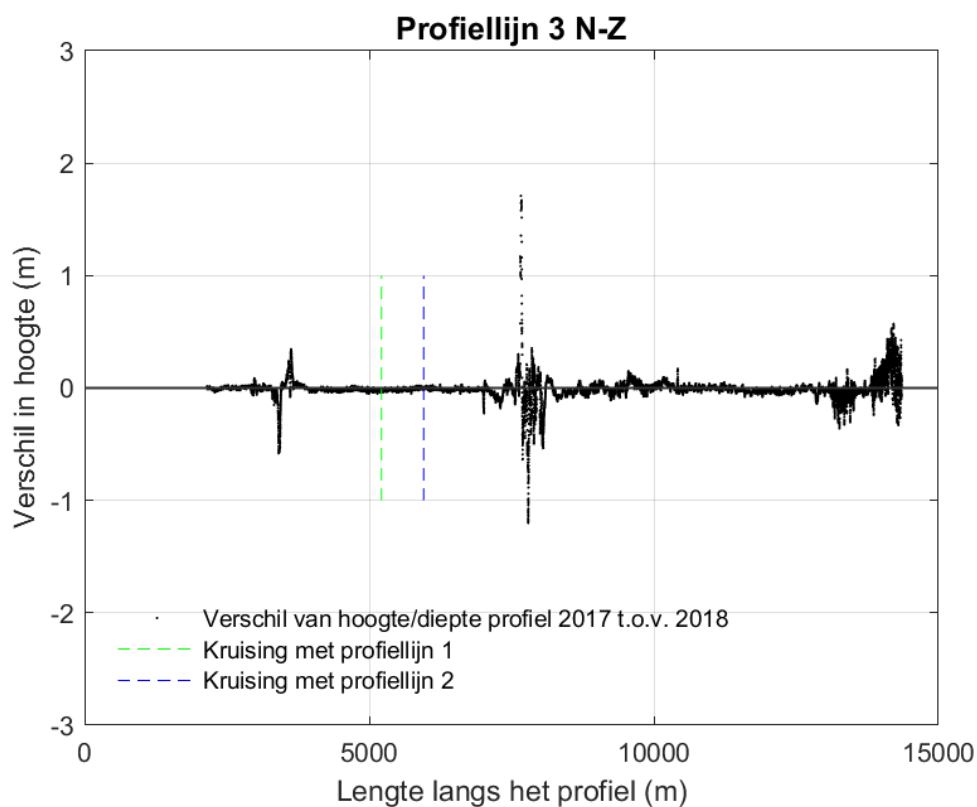
Figuur 9-133 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.

Profiellijn 3 laat rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen relatief kleine morfologische veranderingen zien, met ongeveer 0,5 meter hoogteverschil (Figuur 9-135, beide uiteinden en het midden van de profiellijn). Net als in profiellijn 1 en profiellijn 2, is in profiellijn 3 een verlaging van enkele centimeters te zien van de intergetijde platen (zie Figuur 9-136, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter).

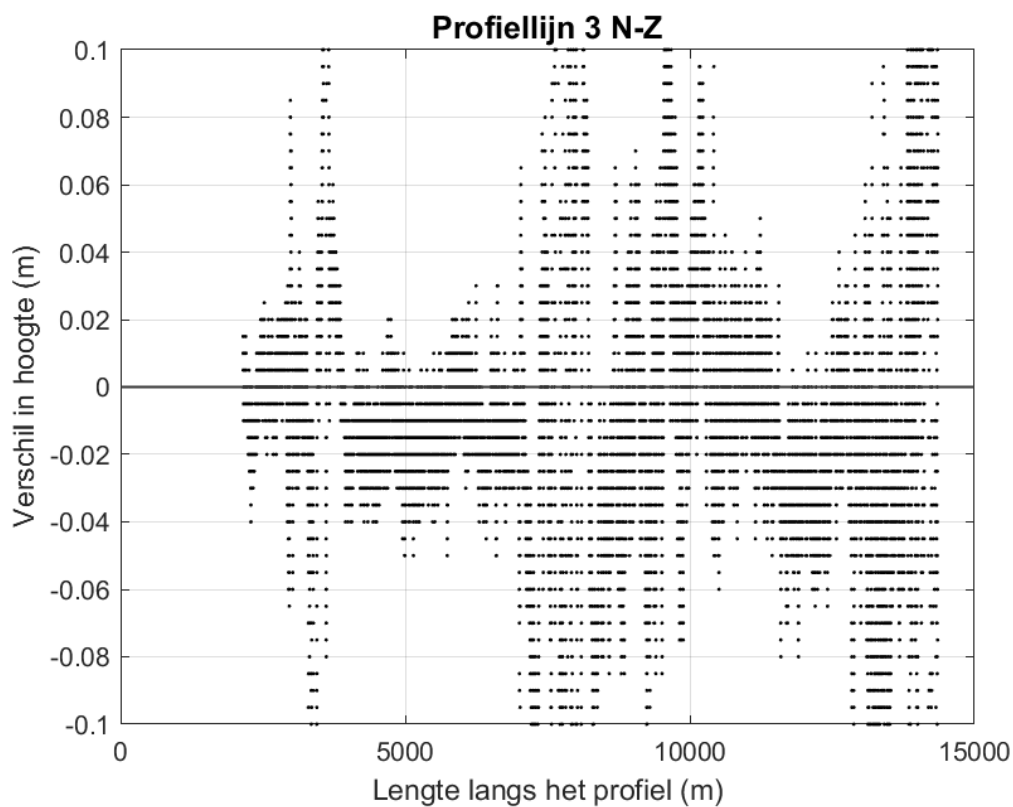
Geconcludeerd kan worden dat de metingen tussen 2017 en 2018 goed met elkaar te vergelijken zijn. In het algemeen is te zien dat er in 2018 (t.o.v. 2017) een verlaging van de intergetijde platen heeft plaats gevonden. In geulen zijn de meest dynamische delen waarneembaar.



Figuur 9-134 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018.



Figuur 9-135 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.

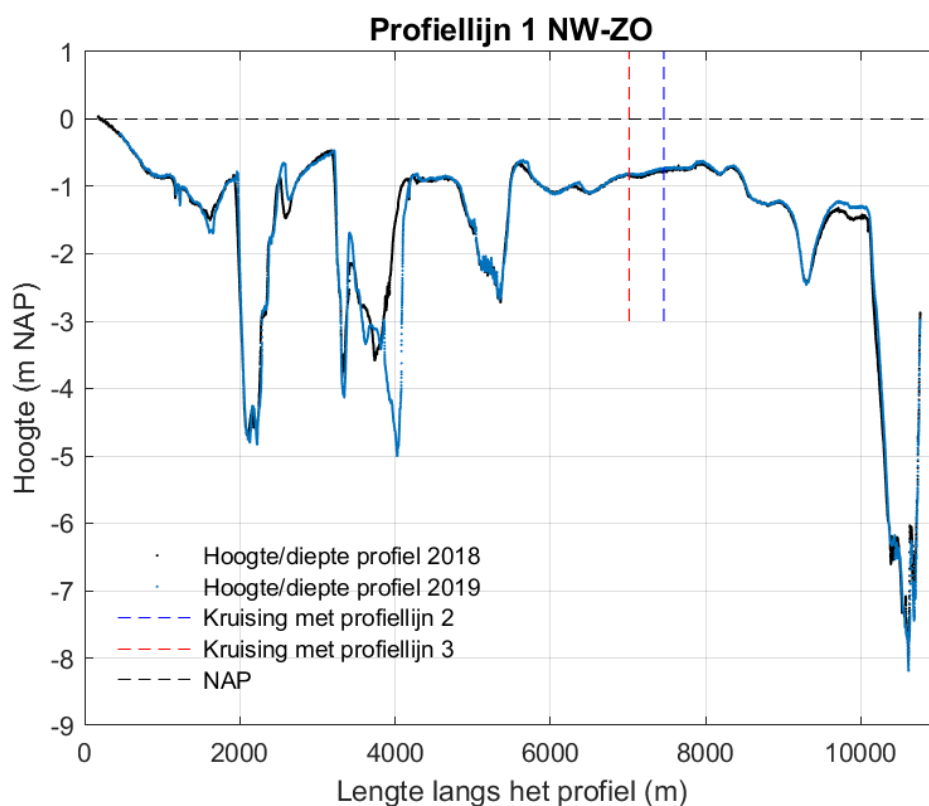


Figuur 9-136 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2017 en 2018. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2018 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van 2017.

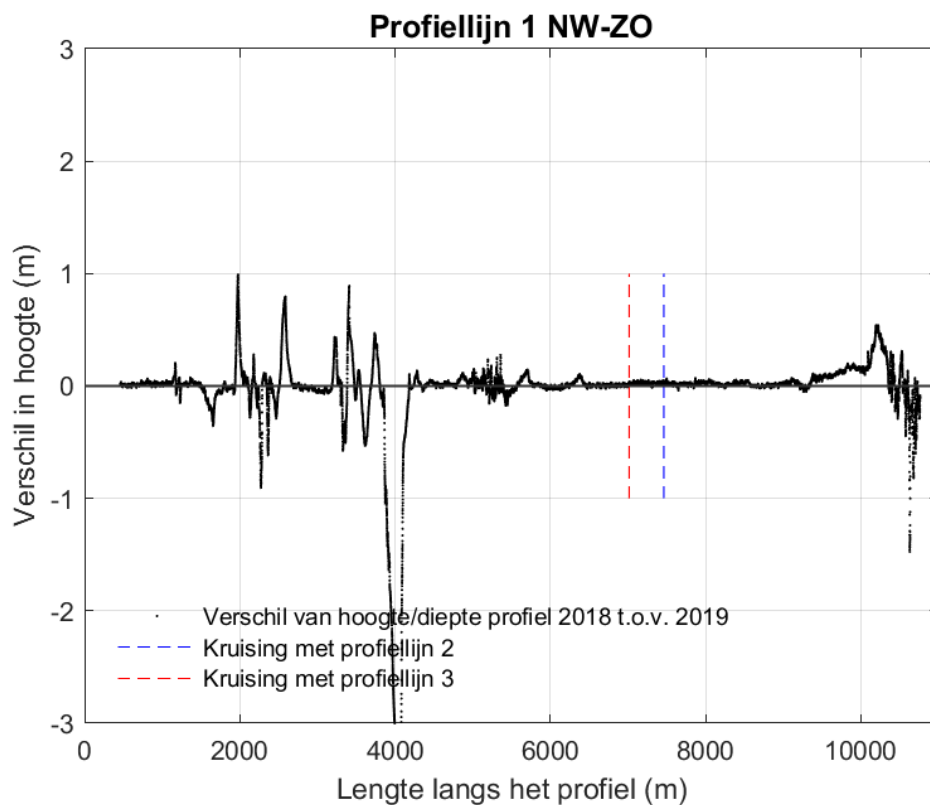
Vergelijking tussen metingen uit 2018 en 2019

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in 2018 met die in mei 2019 vergeleken (zie Figuur 9-137, Figuur 9-140 en Figuur 9-143). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien, waarbij de grootste veranderingen wederom optreden in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

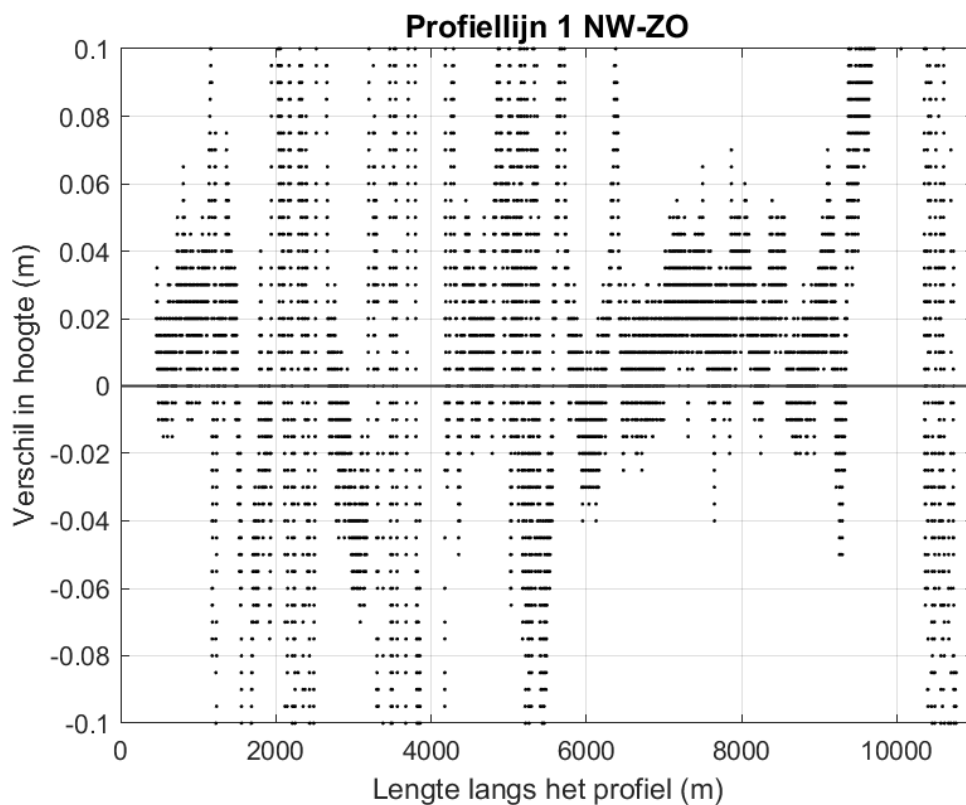
Bij profiellijn 1 is vooral een grote morfologische verandering te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er tussen de 1 à 3,5 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-138, tussen 3000 tot 4500 meter). Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen van metingen in paragrafen 3.2. Inzoomend op de hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 1 is te zien dat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters heeft plaatsgevonden (zie Figuur 9-139, tussen 6000 tot 8000 meter).



Figuur 9-137 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019.

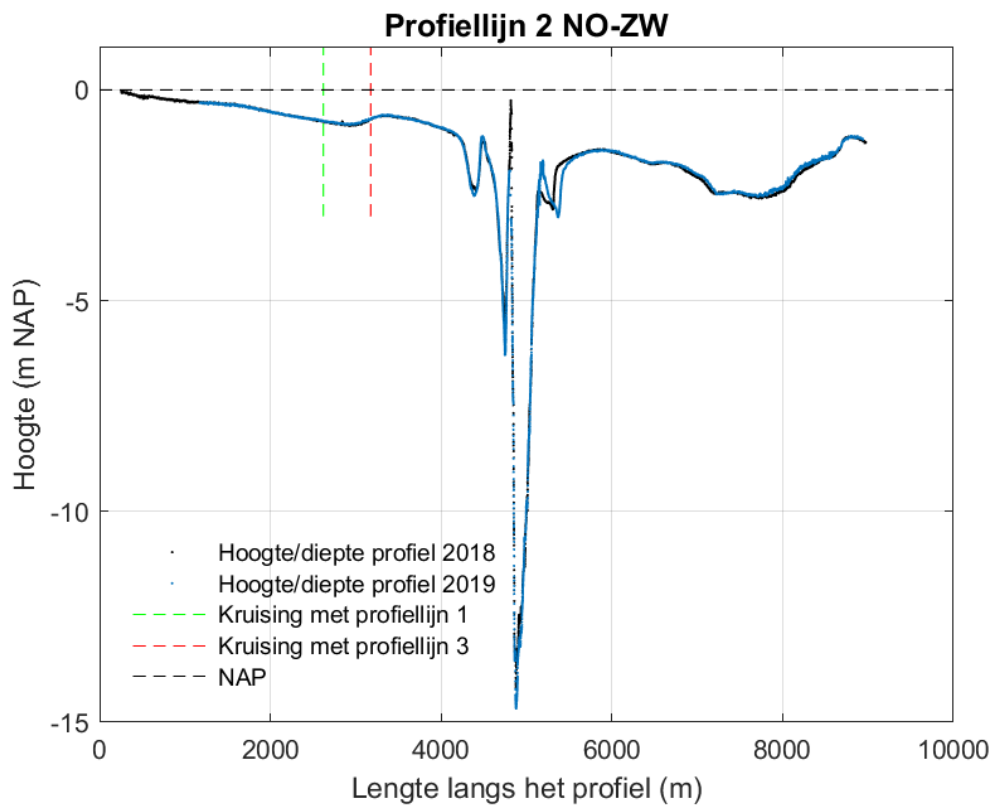


Figuur 9-138 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.

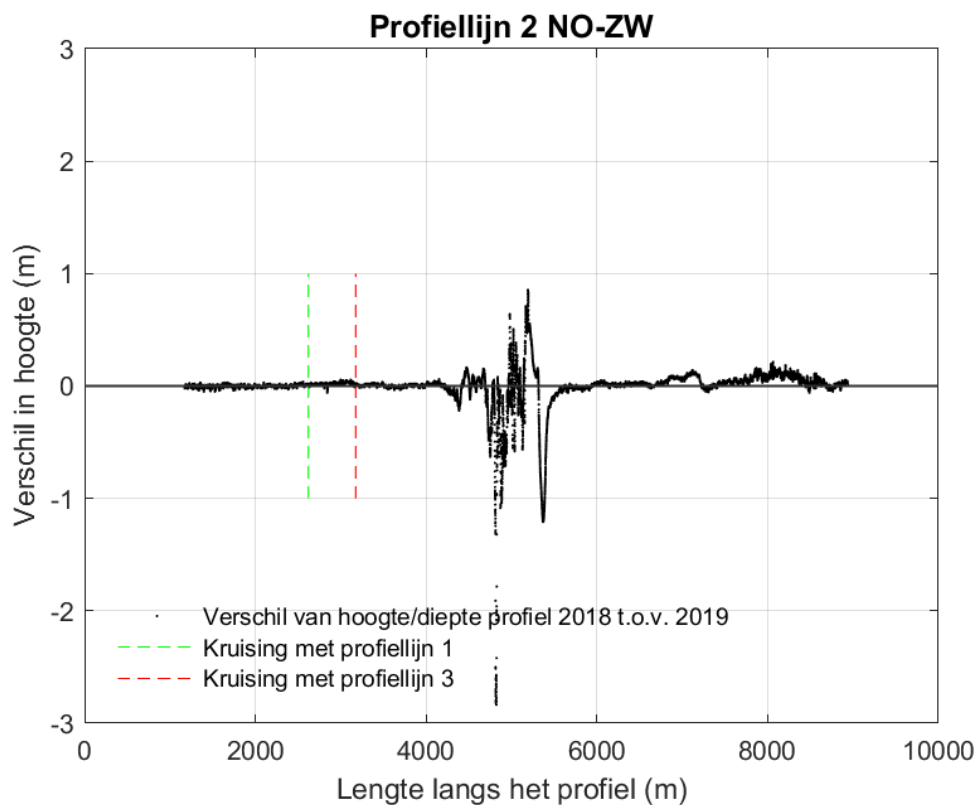


Figuur 9-139 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.

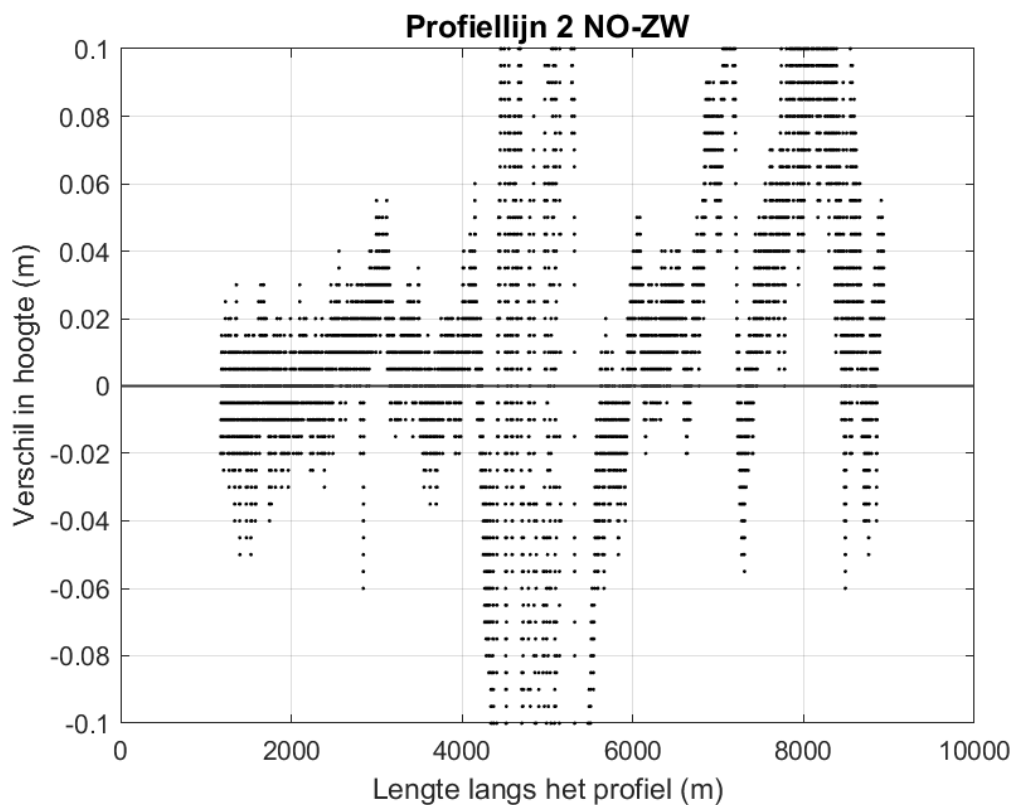
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 1 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 9-141, midden van de profiellijn). De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters zien (zie Figuur 9-142, tussen 1000 tot 3500 meter en tussen 6500 tot 9000 meter).



Figuur 9-140 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019.



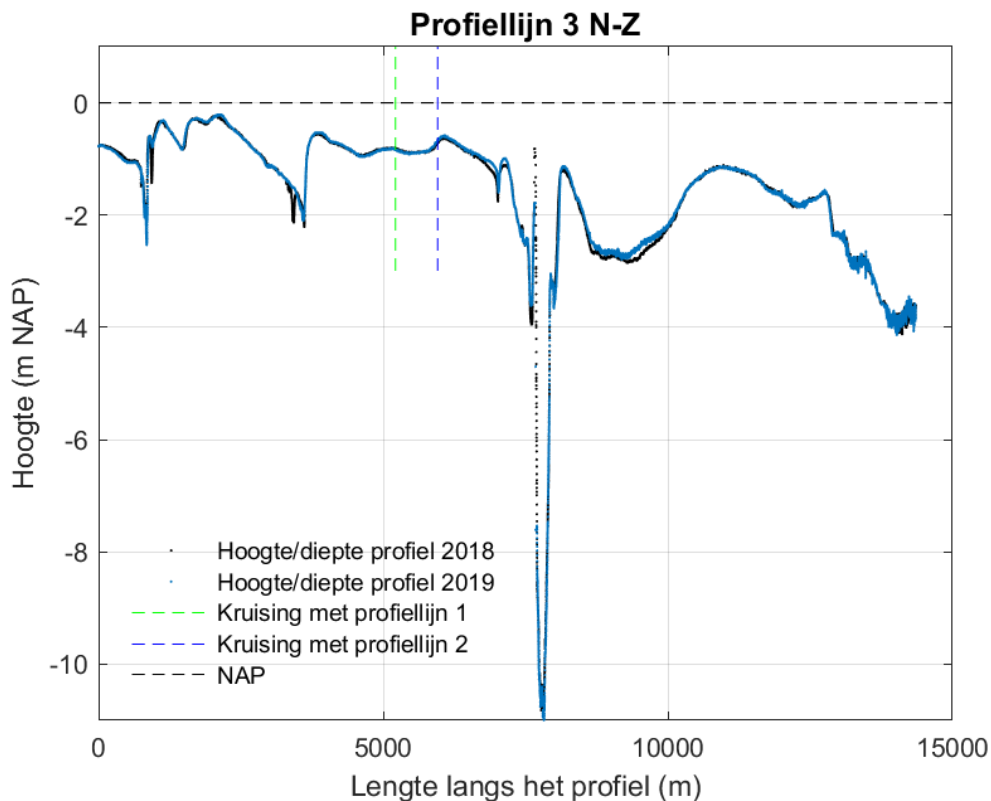
Figuur 9-141 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.



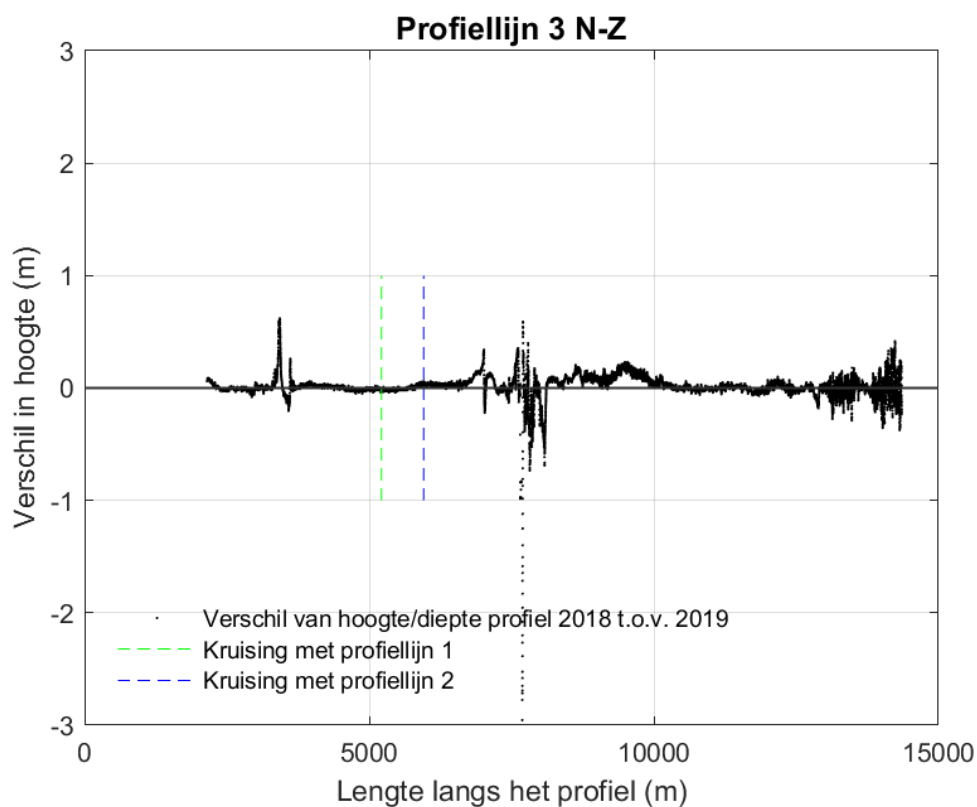
Figuur 9-142 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.

Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen relatief kleine morfologische verandering zien, van ongeveer 0,5 meter hoogteverschil (Figuur 9-144, beide uiteinden en het midden van de profiellijn). Net als in profiellijnen 1 en 2 is in profiellijn 3 een verhoging van enkele centimeters zichtbaar van de intergetijde platen (zie Figuur 9-145, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter).

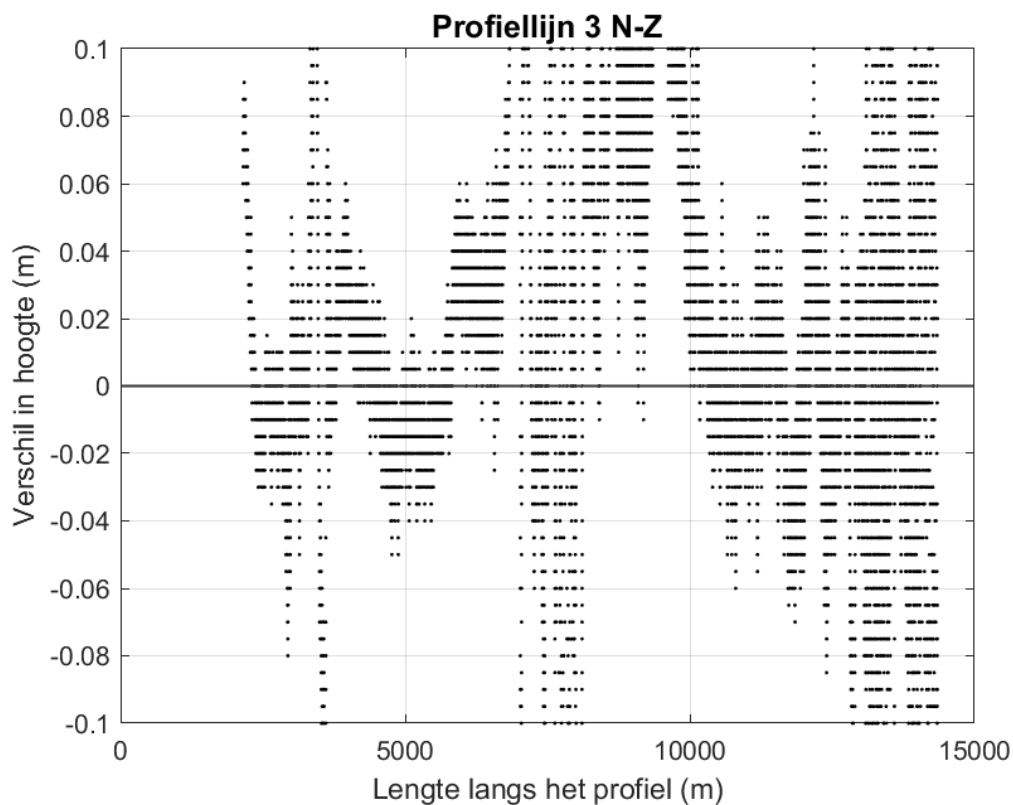
Geconcludeerd kan worden dat de metingen tussen 2018 en mei 2019 goed met elkaar te vergelijken zijn. In het algemeen is te zien dat er in mei 2019 (t.o.v. 2018) de intergetijde platen iets hoger zijn. De dynamiek van de sublitorale geulen komt overeen met de voorgaande hoogte/diepte metingen in de raaien.



Figuur 9-143 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019.



Figuur 9-144 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.

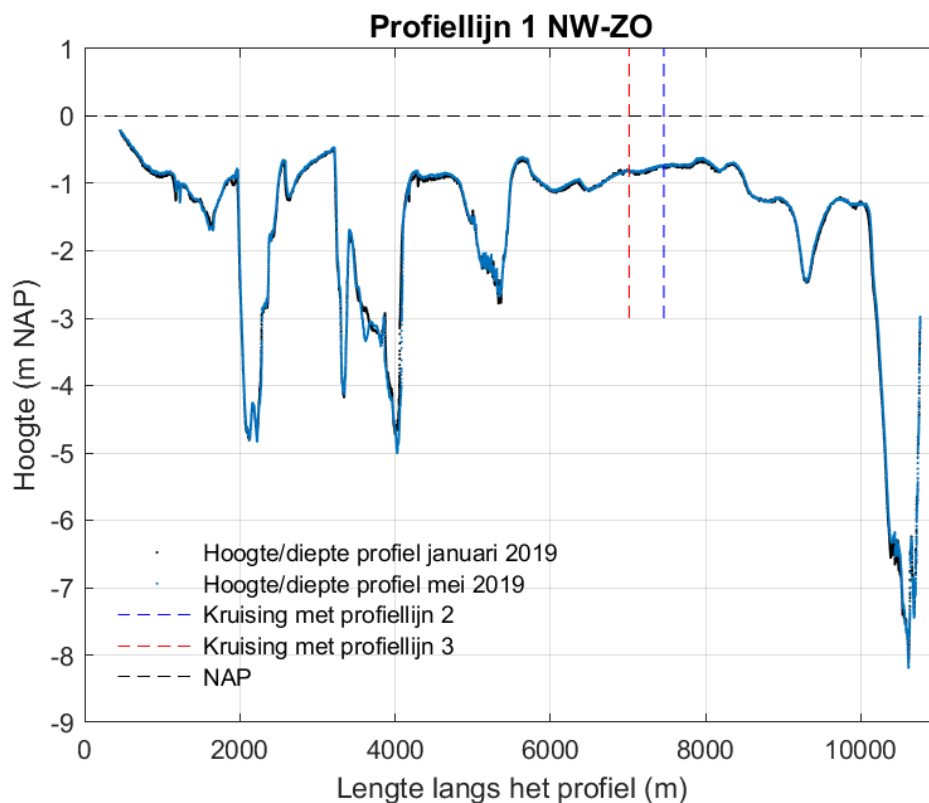


Figuur 9-145 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2018 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2018.

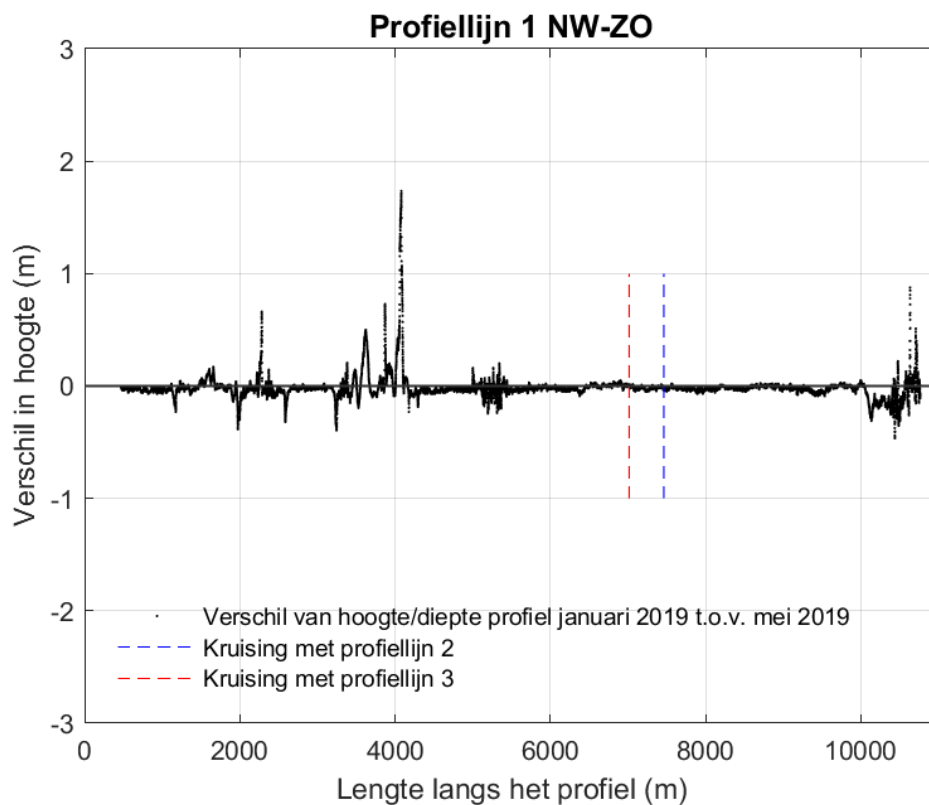
Vergelijking tussen metingen uit januari 2019 en mei 2019

In deze sectie worden de raaidata van januari 2019 met mei 2019 vergeleken (zie Figuur 9-146, Figuur 9-149 en Figuur 9-152). Dit is een extra vergelijking, die mogelijk is vanwege de beschikbaarheid van twee metingen in 2019. Deze vergelijking geeft inzicht in de omvang van de waargenomen veranderingen over een kortere perioden, van vier maanden in plaats van één jaar. De figuren laten zien dat ondanks de relatief korte periode van vier maanden wel morfologische veranderingen hebben plaatsgevonden, met zoals ook eerder zichtbaar, de grootste veranderingen in de sublitorale geulen.

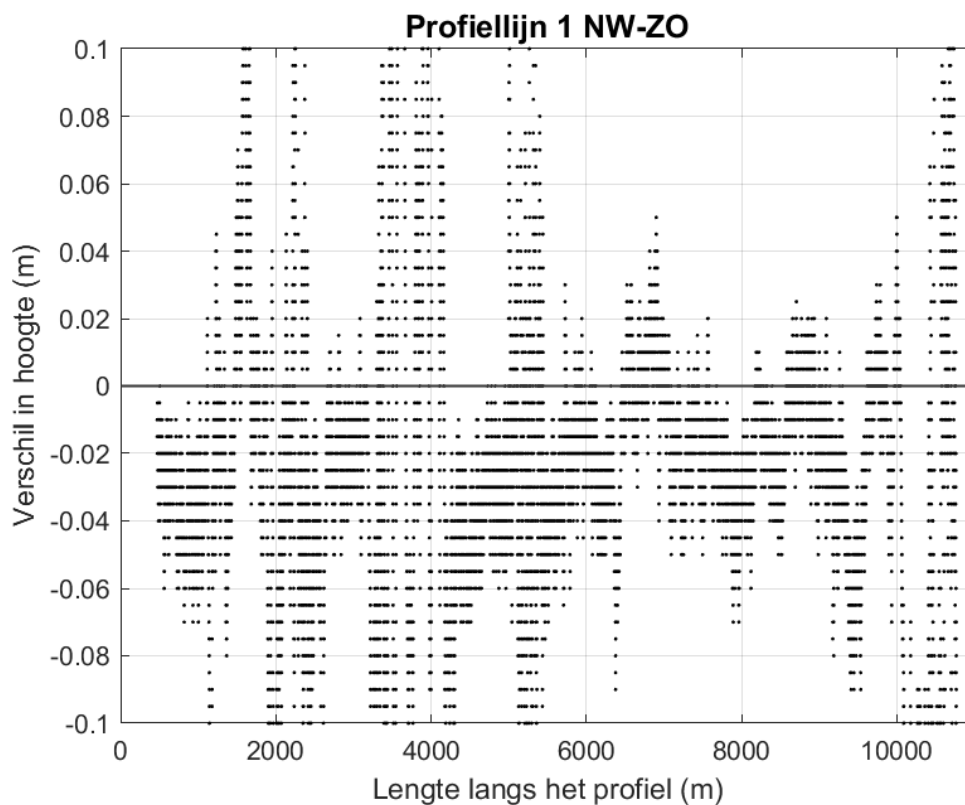
Bij profiellijn 1 is de voornaamste morfologische verandering zichtbaar rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er tussen de 0,5 à 1,5 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-147, tussen 3000 tot 4500 meter). Dit verschil komt overeen met de eerder waargenomen dynamiek bij deze geul in sectie 3.2. Wel valt op dat van januari tot mei 2019 de geul voornamelijk ondieper is geworden. Inzoomend op de morfologische verandering op de intergetijde platen van profiellijn 1 is te zien dat op de platen voornamelijk een verlaging van enkele centimeters heeft plaatsgevonden (zie Figuur 9-148, tussen 6000 tot 8000 meter).



Figuur 9-146 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019.

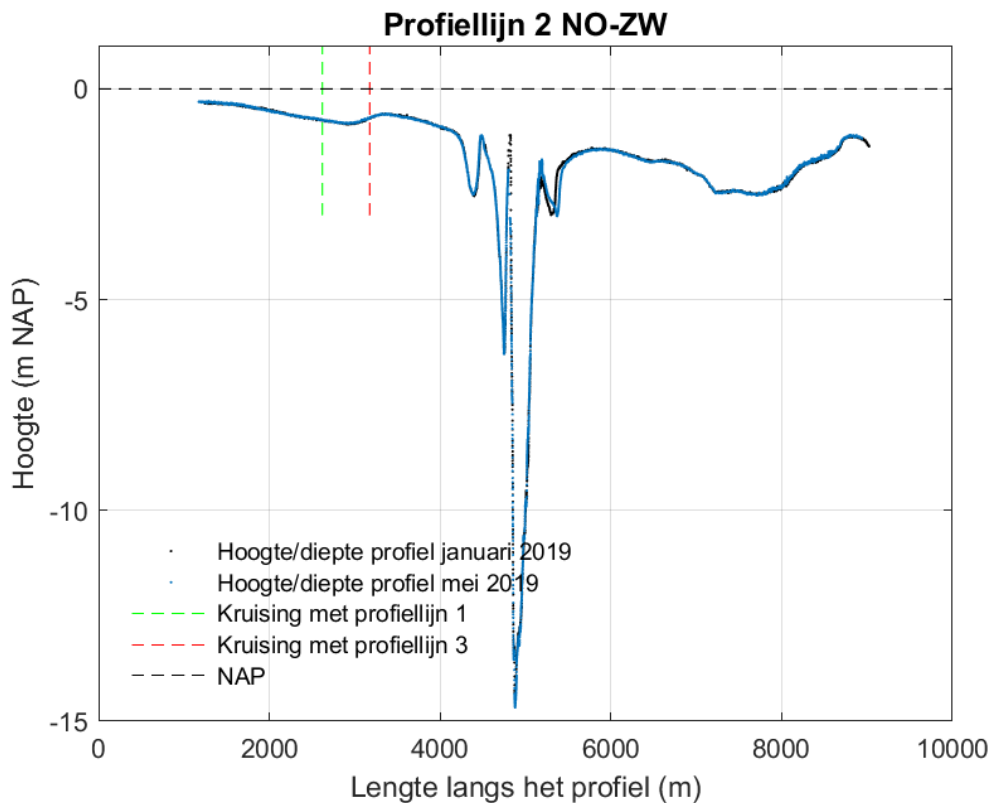


Figuur 9-147 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.

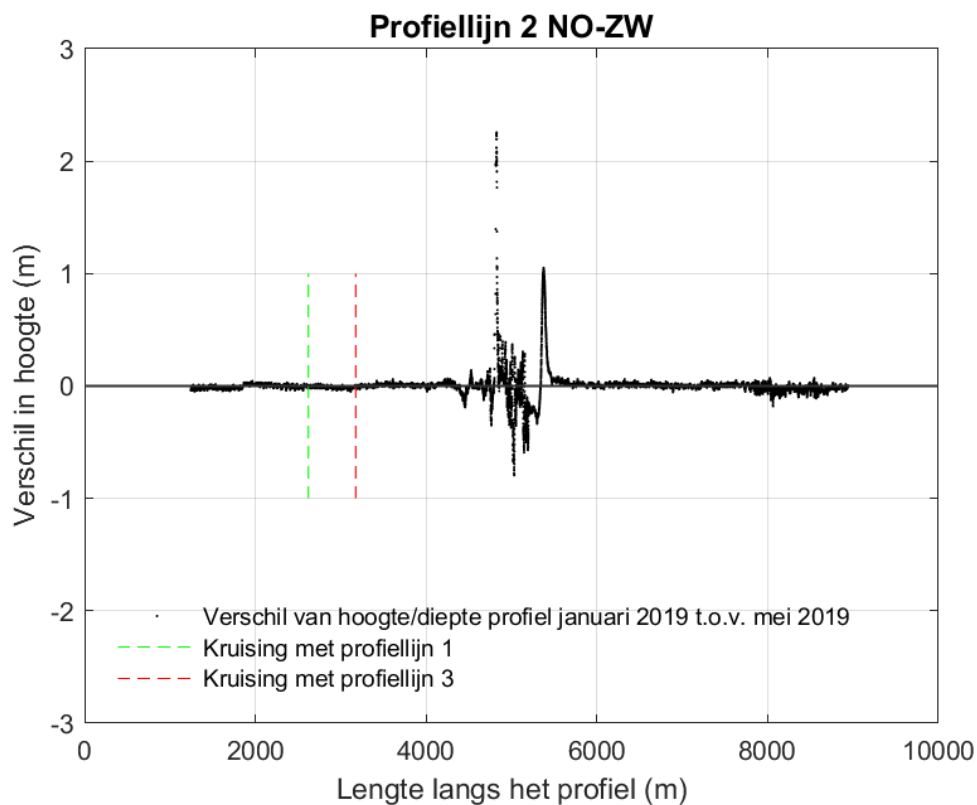


Figuur 9-148 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.

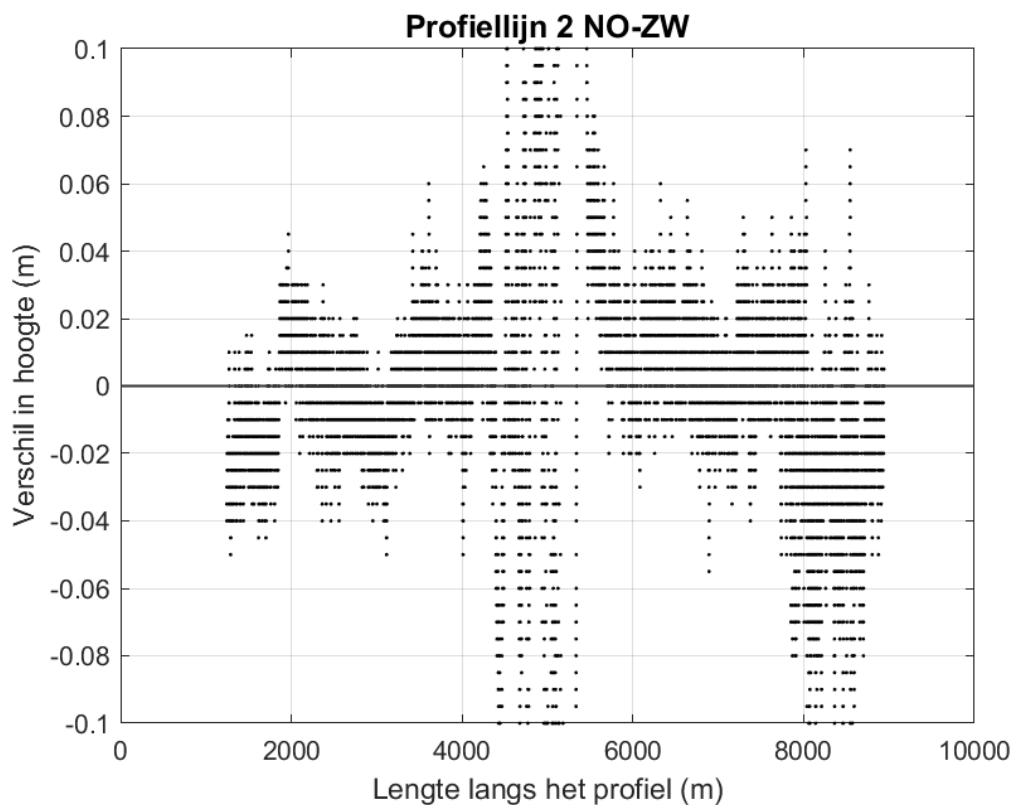
De meest zichtbare morfologische verandering in profiellijn 2 heeft plaatsgevonden rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 2 meter hoogteverschil is opgetreden (Figuur 9-150). De hoogteverschillen op de intergetijde platen van profiellijn 2 laten zien dat op de platen voornamelijk een verlaging van enkele centimeters is (zie Figuur 9-151, tussen 1000 tot 3500 meter en tussen 6500 tot 9000 meter).



Figuur 9-149 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019.



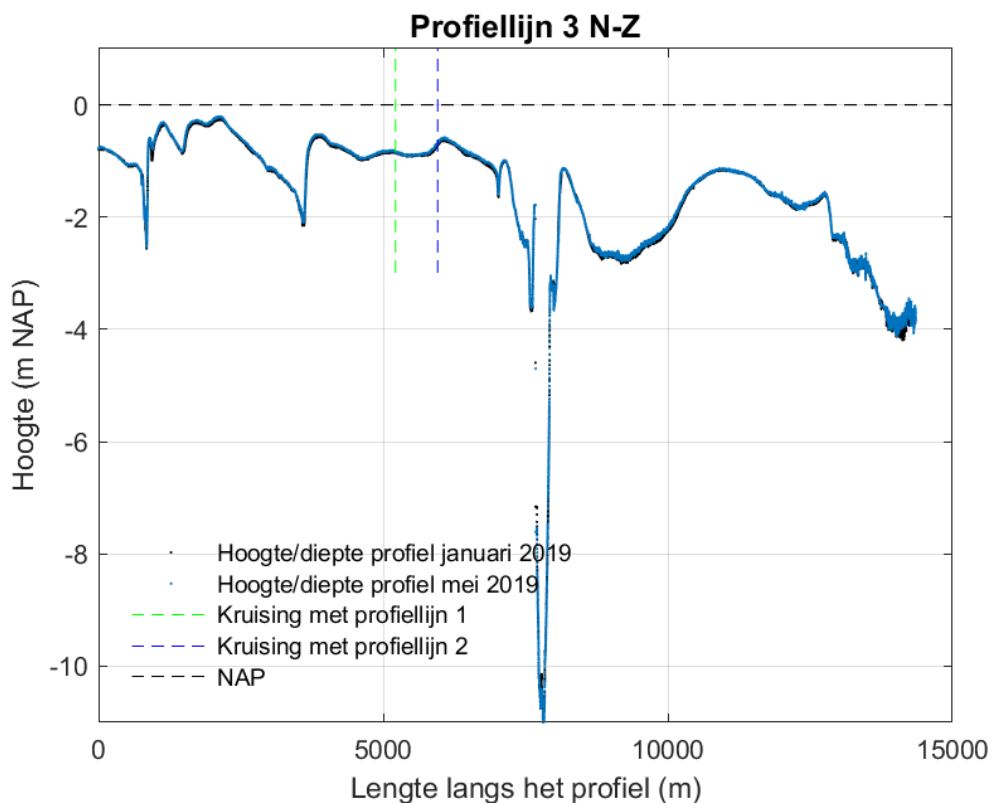
Figuur 9-150 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.



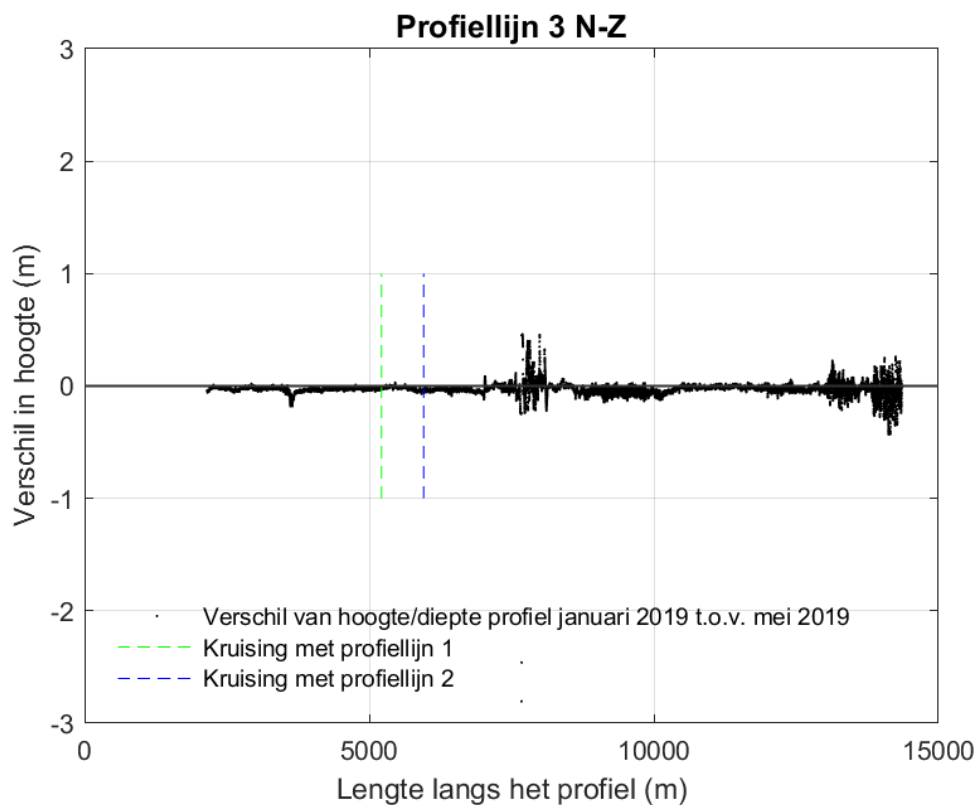
Figuur 9-151 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.

De profiellijn 3 van noord naar zuid laat rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen relatief kleine morfologische verandering zien, van ongeveer 0,5 meter hoogteverschil (Figuur 9-153, beide uiteinden en midden). Net als in profiellijnen 1 en 2 is in profiellijn 3 een verlaging van enkele centimeters te zien van de intergetijde platen (zie Figuur 9-154, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter).

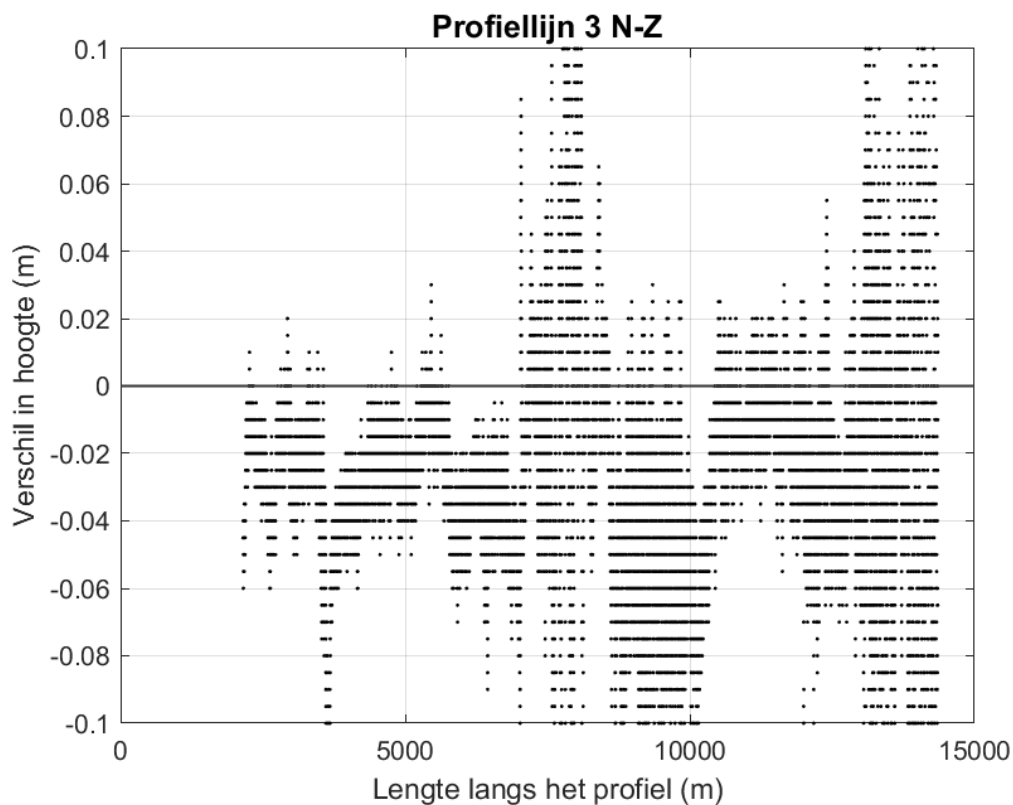
De hoogtes in de drie raaien zijn in januari 2019 en mei 2019 vergelijkbaar. Ondanks de relatief korte periode van enkele maanden, hebben morfologische veranderingen plaatsgevonden, op vergelijkbare wijze als in de opeenvolgende jaren (zie sectie 3.2). Wel is de omvang van de veranderingen in de geulen kleiner in deze korte periode.



Figuur 9-152 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019.



Figuur 9-153 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.

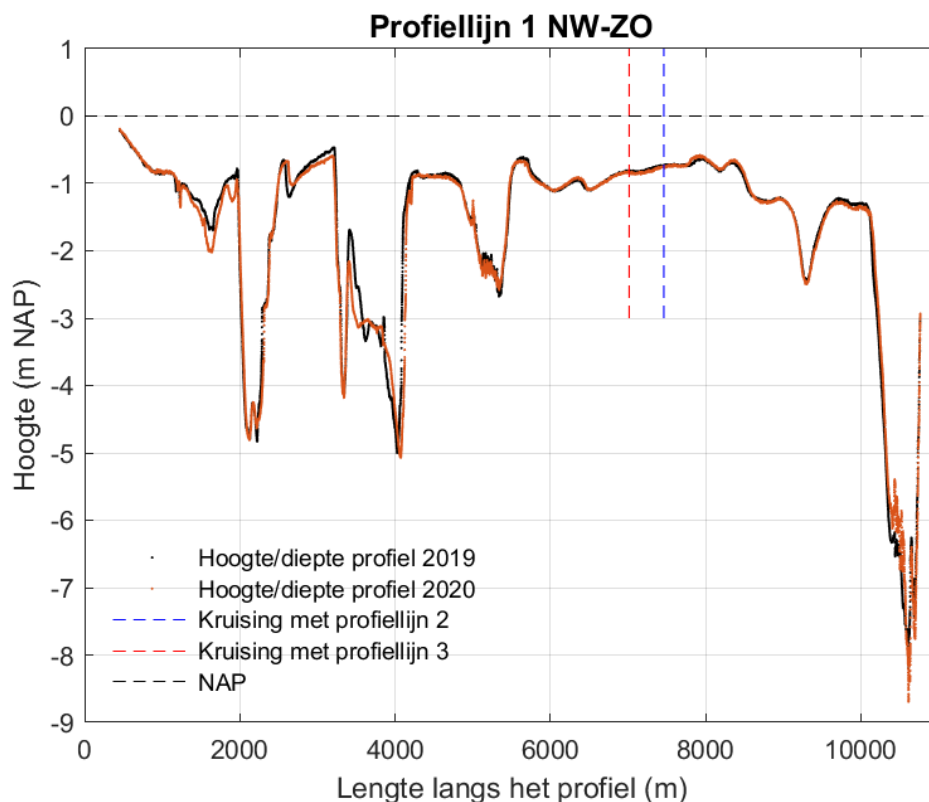


Figuur 9-154 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van januari 2019 en mei 2019. Een negatieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2019 lager ligt dan de hoogte/diepteraai van januari 2019.

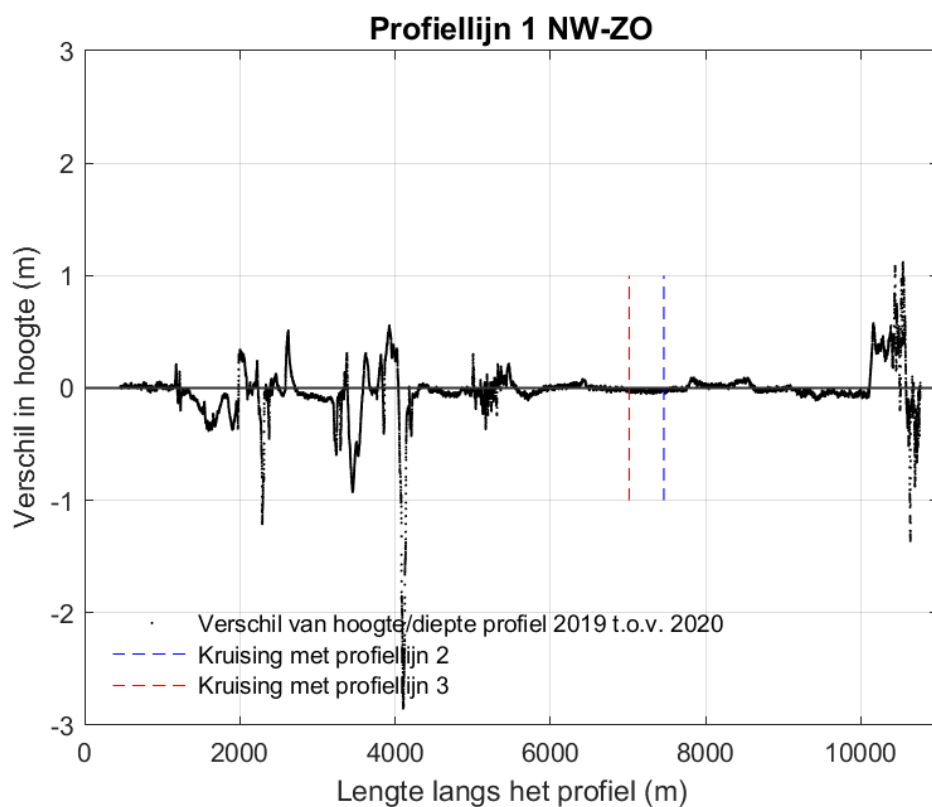
Vergelijking tussen metingen uit 2019 en 2020

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in mei 2019 met die in 2020 vergeleken (zie Figuur 9-155, Figuur 9-158 en Figuur 9-161). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien, waarbij de grootste veranderingen wederom optreden in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

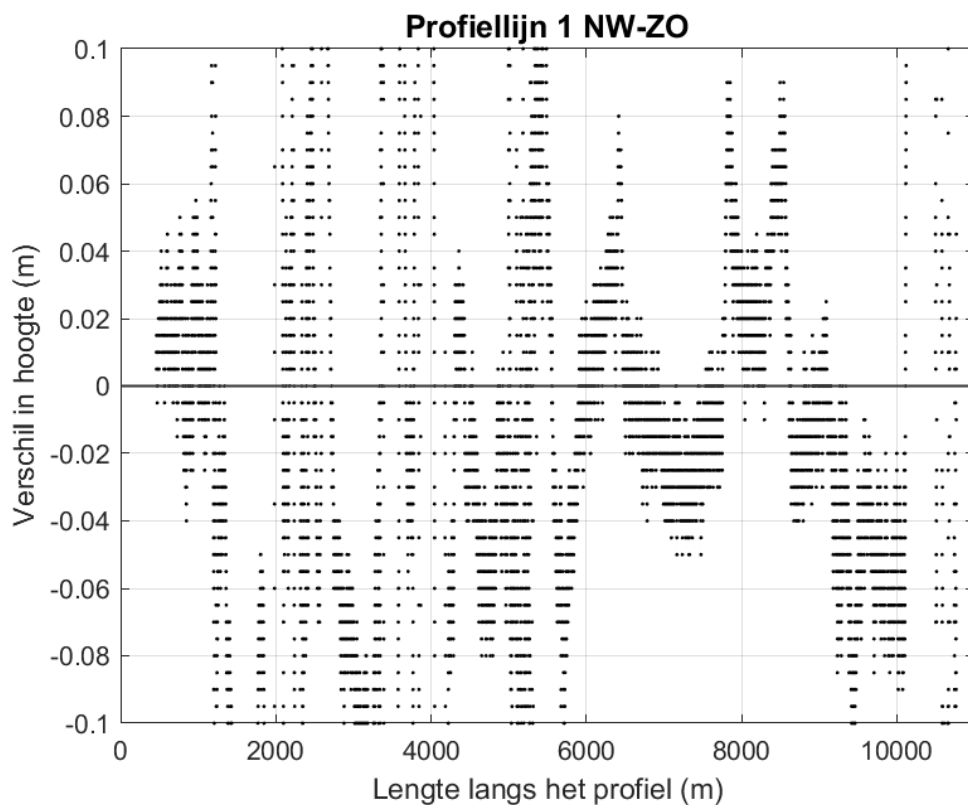
Bij profiellijn 1 is vooral een grote morfologische verandering te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er tussen de 1 à 3,5 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-156, tussen 3000 tot 4500 meter). Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen van metingen in paragrafen 3.2. De eerder ingezette verdieping van de geul (2019) op 4000 meter is gehandhaafd gebleven. Op 1800 meter zet een trendmatige verdieping zich voort, waarbij de verdieping van ca. 30cm van afgelopen jaar noemenswaardig is. Op de bank tussen de eerste twee geulen (2500 tot 3000 meter) heeft het afgelopen jaar sedimentatie plaatsgevonden. Ook deze trend is eerder ingezet en handhaaft zich.



Figuur 9-155 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020.

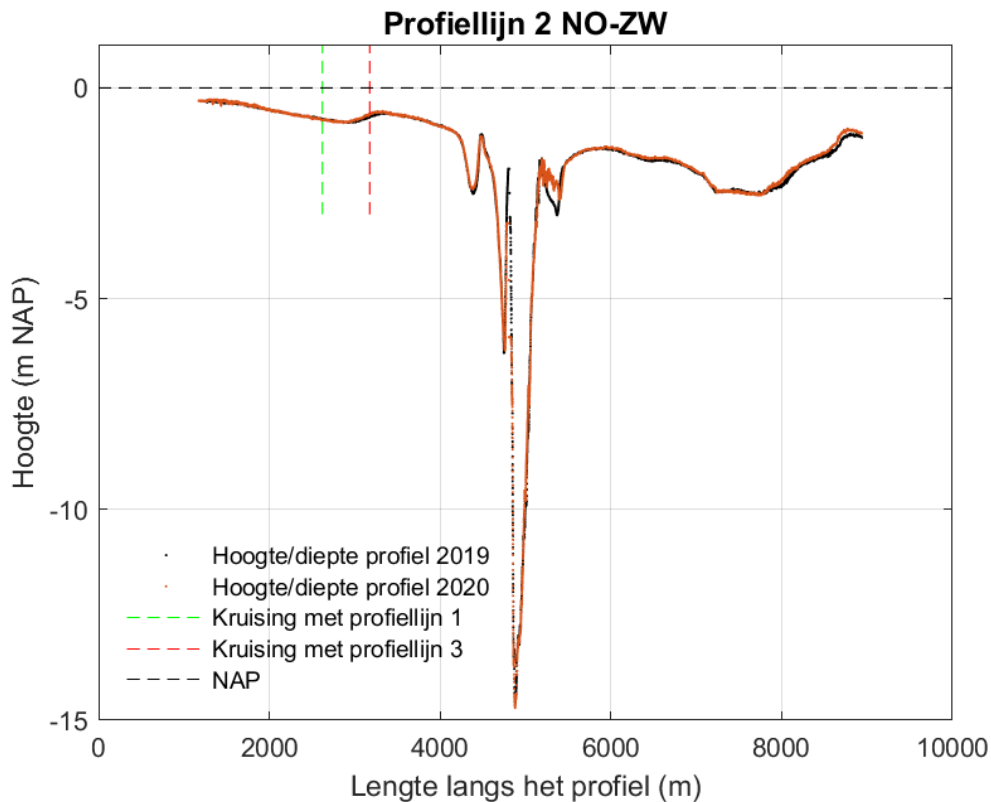


Figuur 9-156 Verschilplot langs profiel lijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.

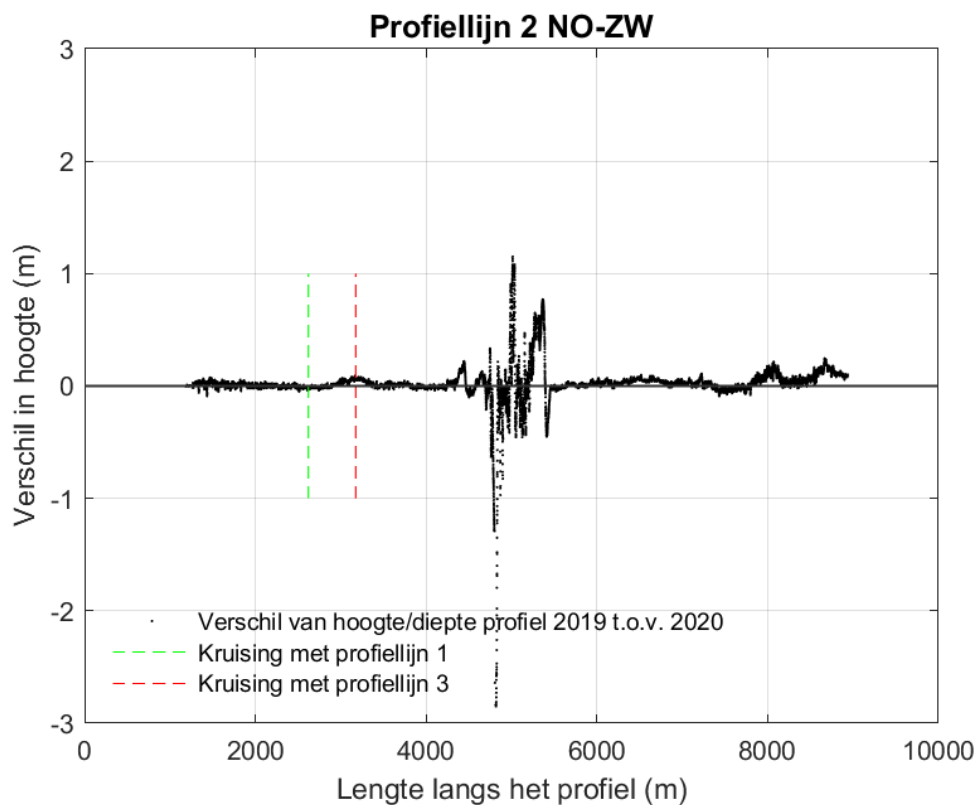


Figuur 9-157 Ingezoomde verschilplot langs profiel lijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.

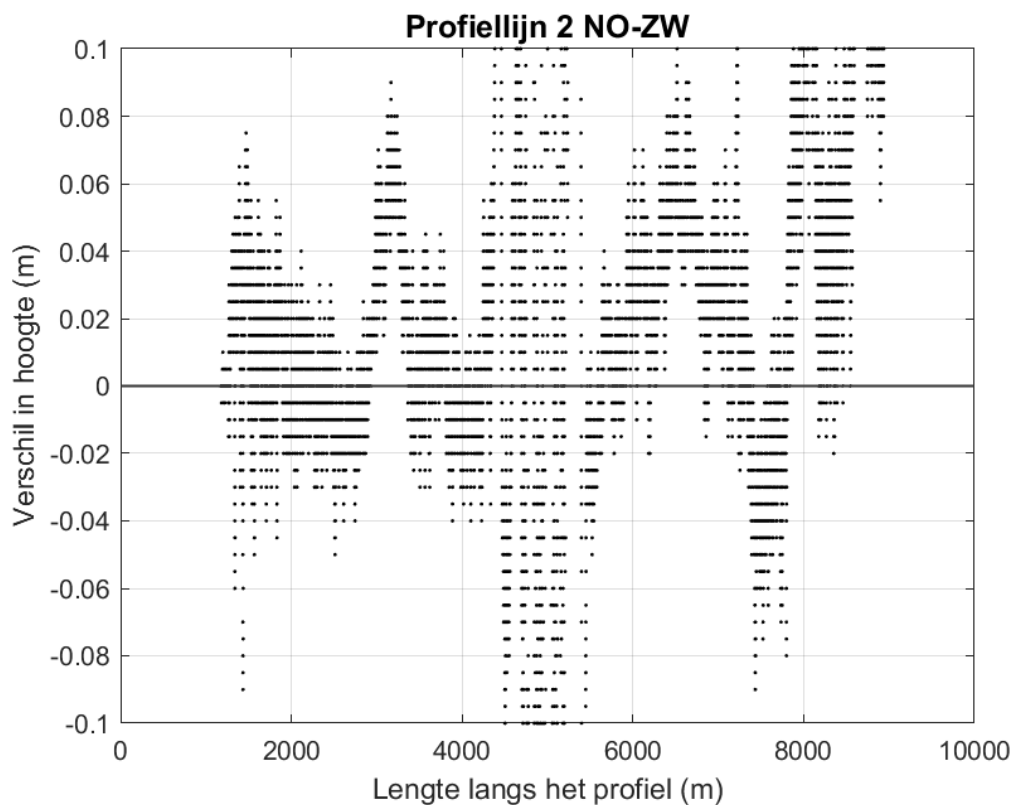
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 1 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 9-158, midden van de profiellijn). Op 5500 meter, tussen de geul langs de Pollendam en De Pollen, heeft de eerder ingesneden zijgeul zich deels weer opgevuld, met een hoogteverschil van ca. 0,5 meter. De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters zien (zie Figuur 9-159, tussen 1000 tot 3500 meter en tussen 6500 tot 9000 meter).



Figuur 9-158 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020.



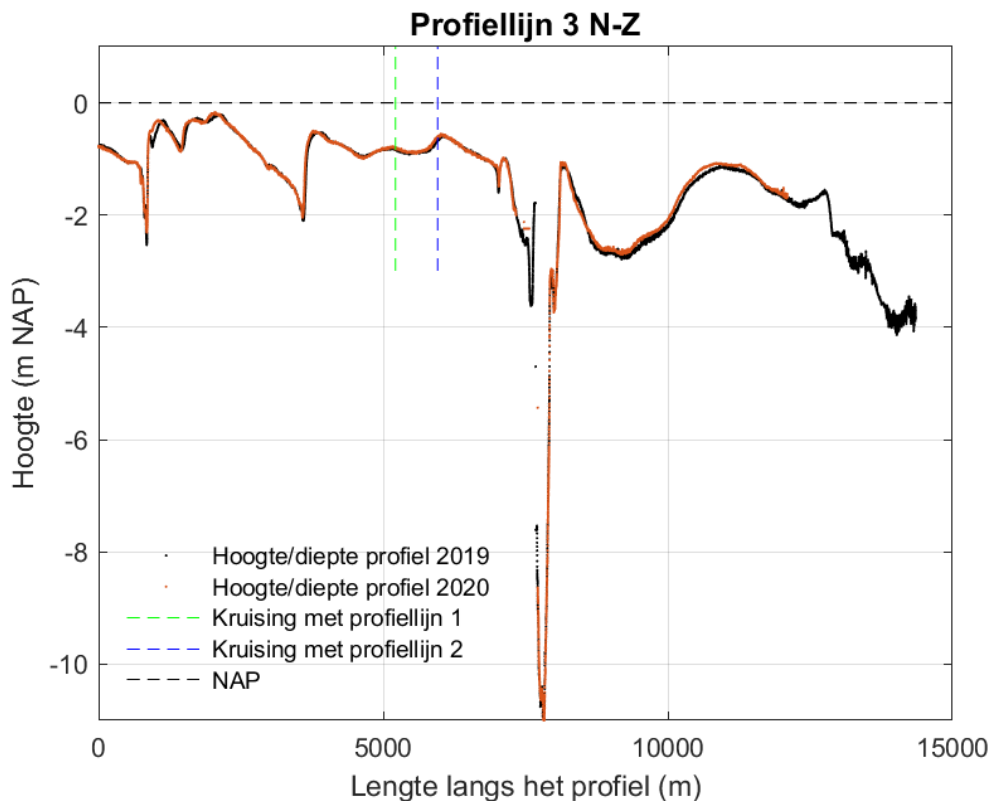
Figuur 9-159 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.



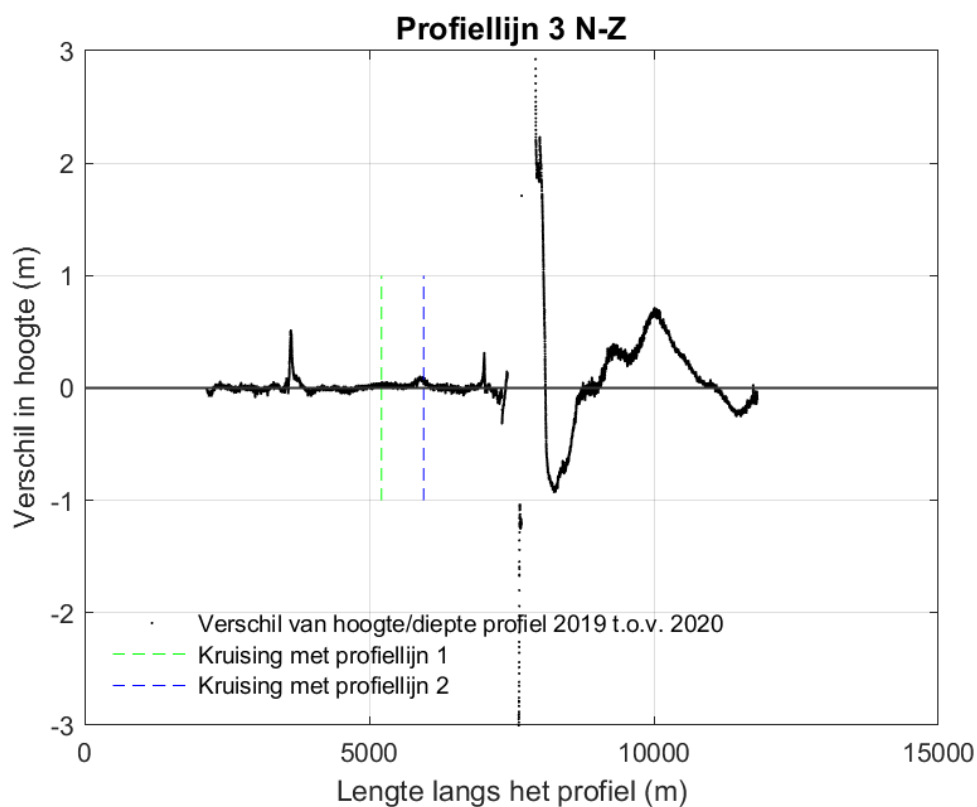
Figuur 9-160 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.

Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat weinig verandering zien tussen 2019 en 2020. De in 2020 gevaren raai is daarnaast korter dan voorgaande jaren, waardoor veranderingen in het meest zuidelijke gedeelte van het traject dit jaar niet in kaart zijn gebracht.

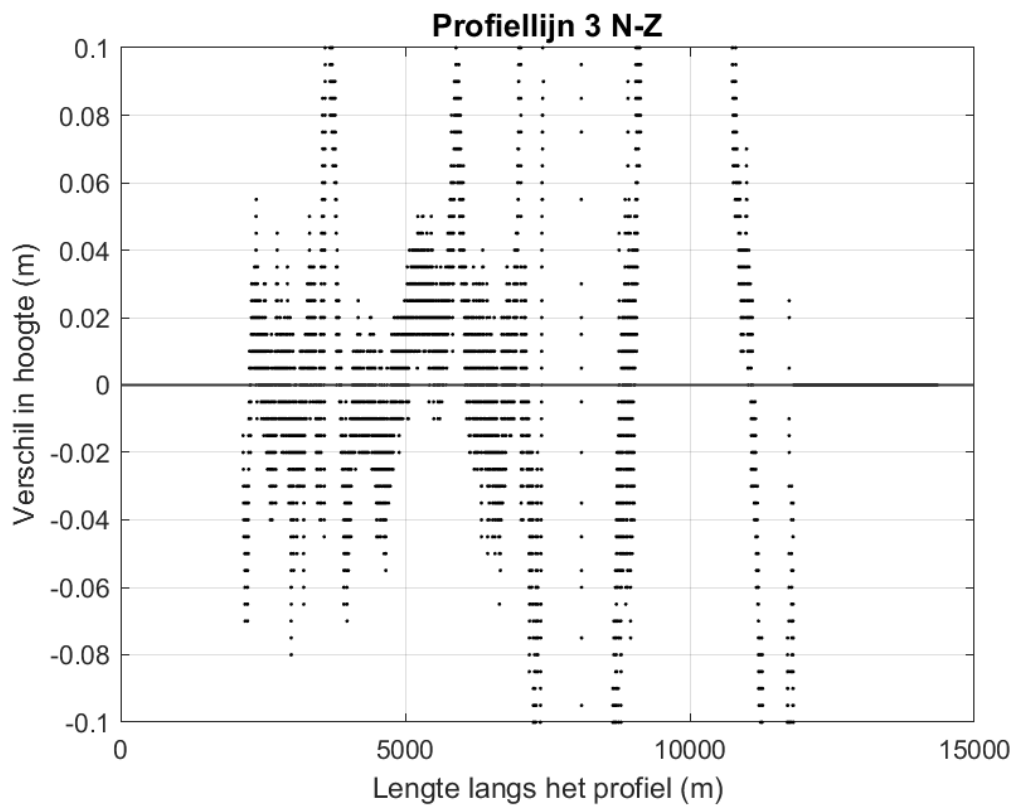
Rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen zijn relatief kleine morfologische veranderingen zichtbaar, van ongeveer 0,5 meter hoogteverschil (Figuur 9-144, beide uiteinden en midden van de profiellijn). Net als in profiellijnen 1 en 2 is in profiellijn 3 een verhoging van enkele centimeters zichtbaar van de intergetijde platen (zie Figuur 9-145, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter). De dynamiek van de sublitorale geulen komt overeen met de voorgaande hoogte/diepte metingen in de raaien.



Figuur 9-161 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020.



Figuur 9-162 Vershilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.

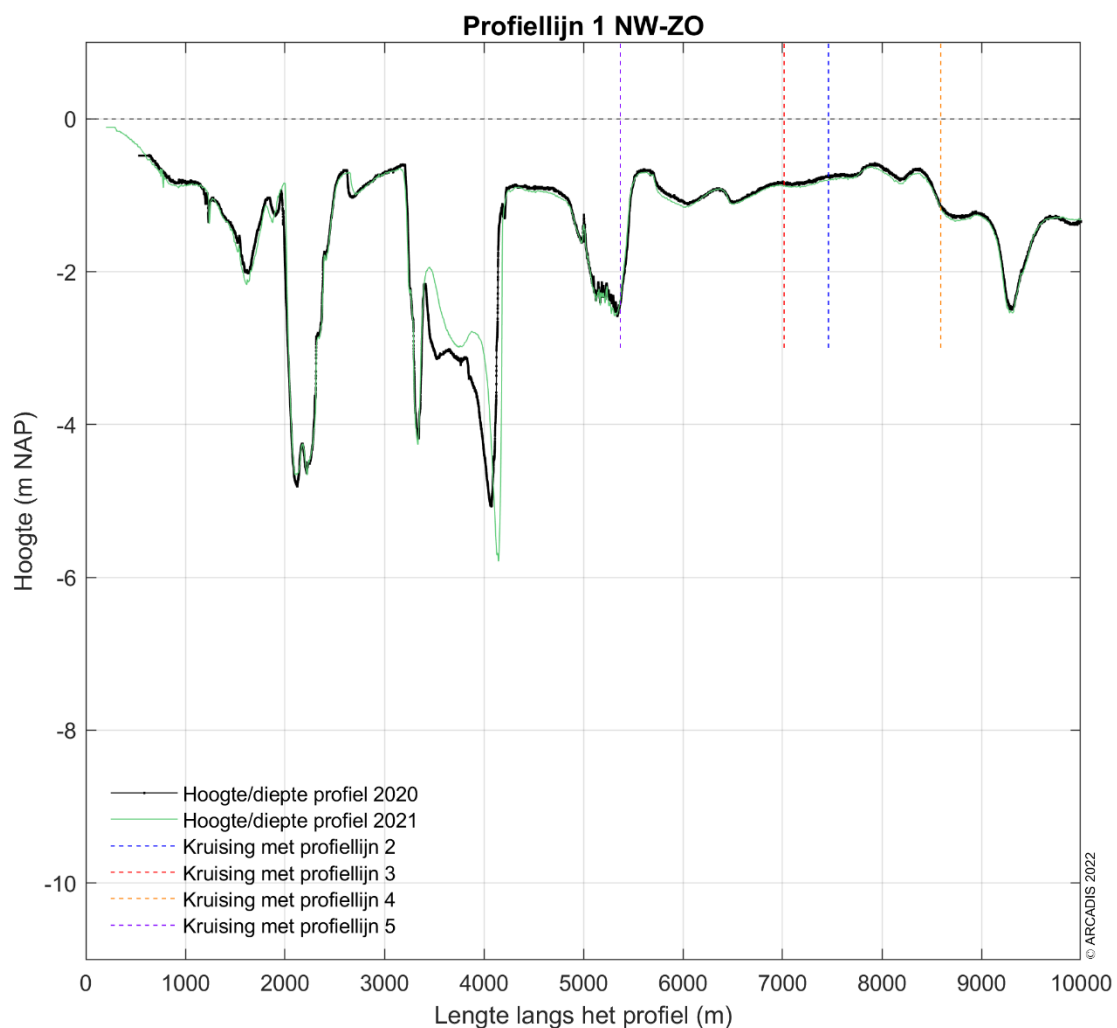


Figuur 9-163: Ingezoomde vershilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2019 en 2020. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2020 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2019.

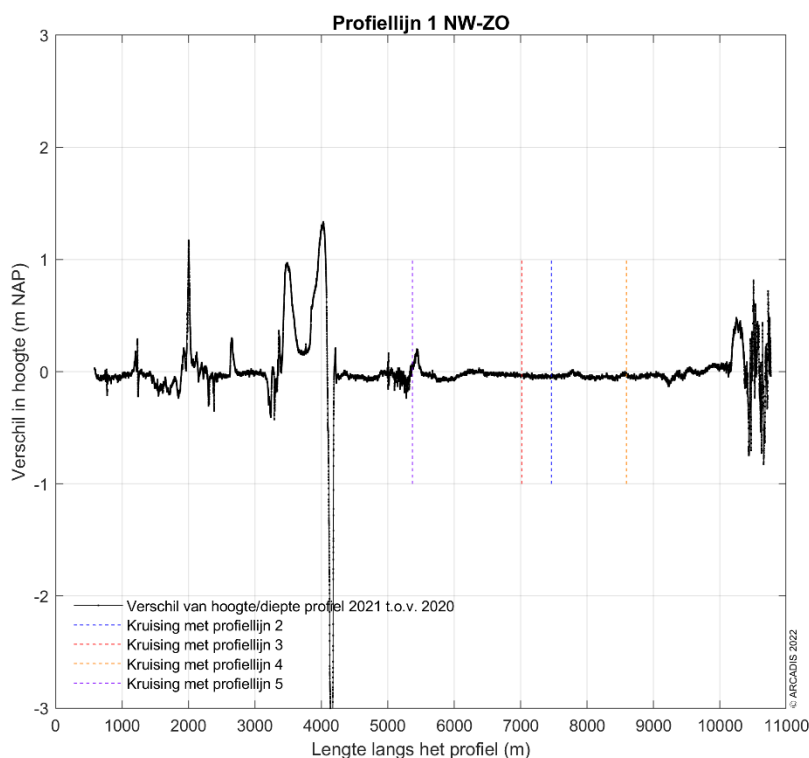
Vergelijking tussen metingen uit 2020 en 2021

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in 2020 met die in 2021 vergeleken (zie Figuur 9-164, Figuur 9-167 en Figuur 9-170). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien, waarbij de grootste veranderingen wederom optreden in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

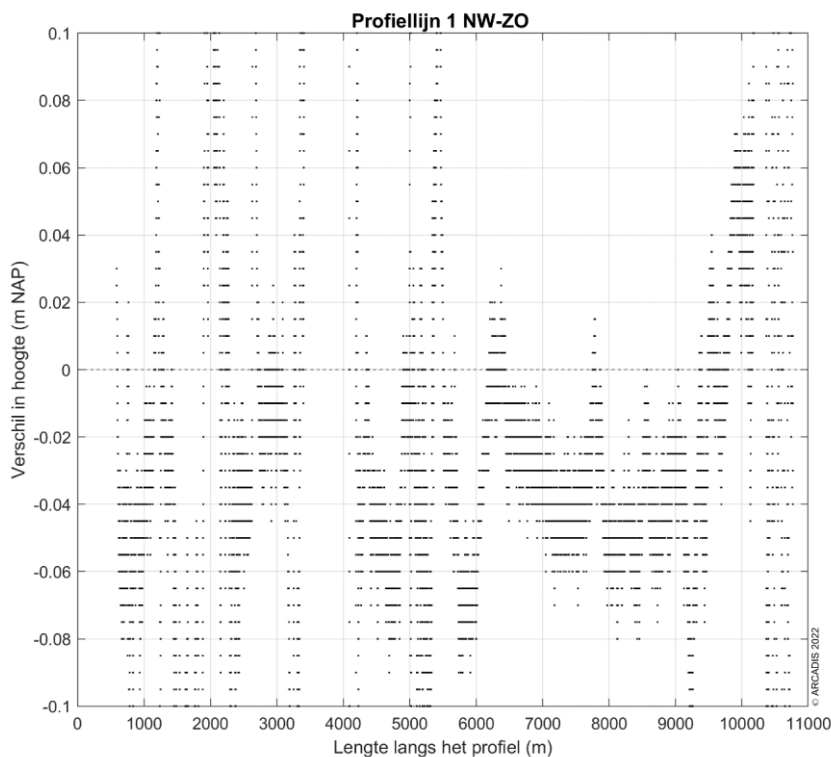
Een grote morfologische verandering te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er tussen de 1 à 4,5 meter hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-165), tussen 3000 tot 4500 meter). Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen. De eerder ingezette verdieping van de geul (2020) op 4000 meter is gehandhaafd gebleven. Op 1800 meter zet een trendmatige verdieping zich voort, waarbij de verdieping van ca. 30cm van afgelopen jaar noemenswaardig is. Op de bank tussen de eerste twee geulen (2500 tot 3000 meter) heeft het afgelopen jaar sedimentatie plaatsgevonden. Ook deze trend is eerder ingezet en handhaaft zich.



Figuur 9-164 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021.

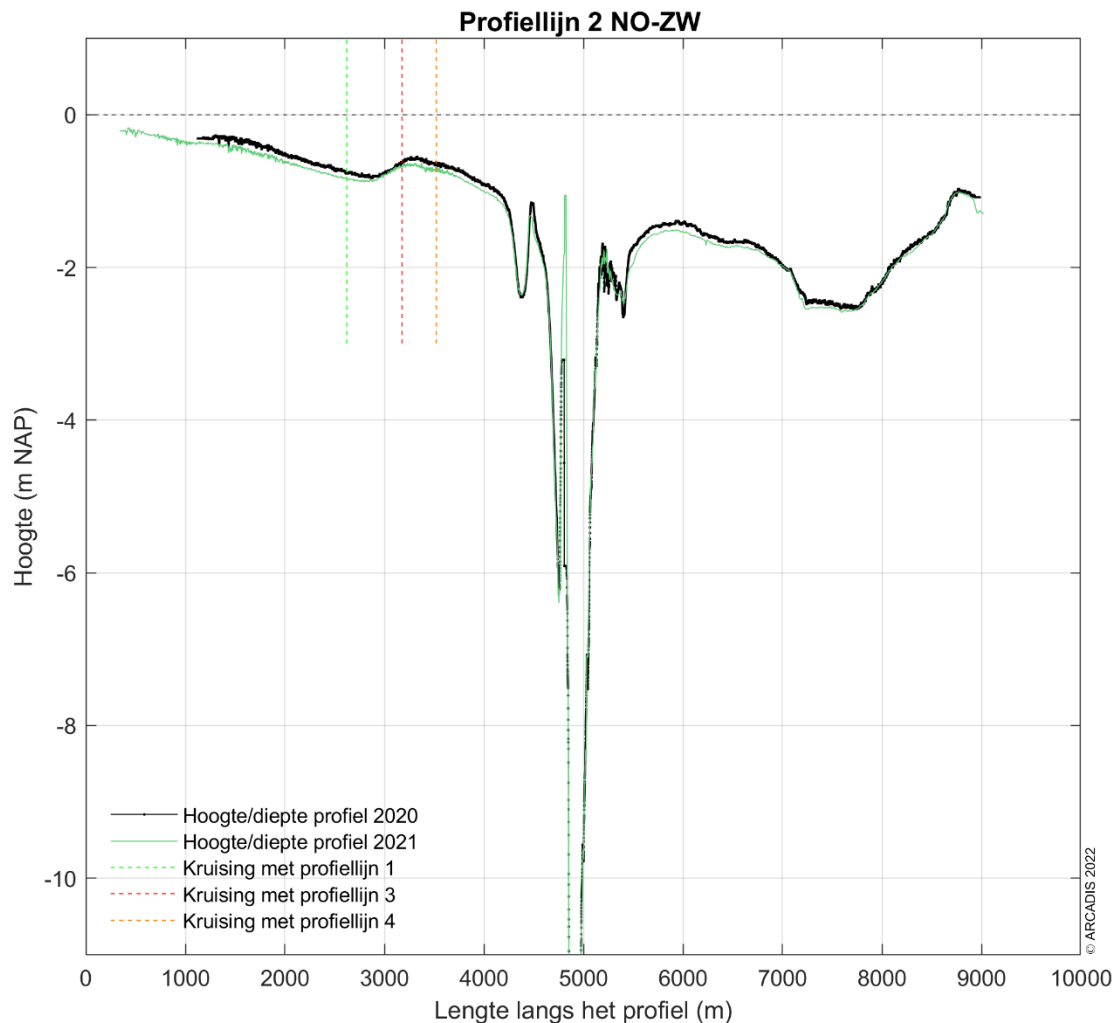


Figuur 9-165 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2-21. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.

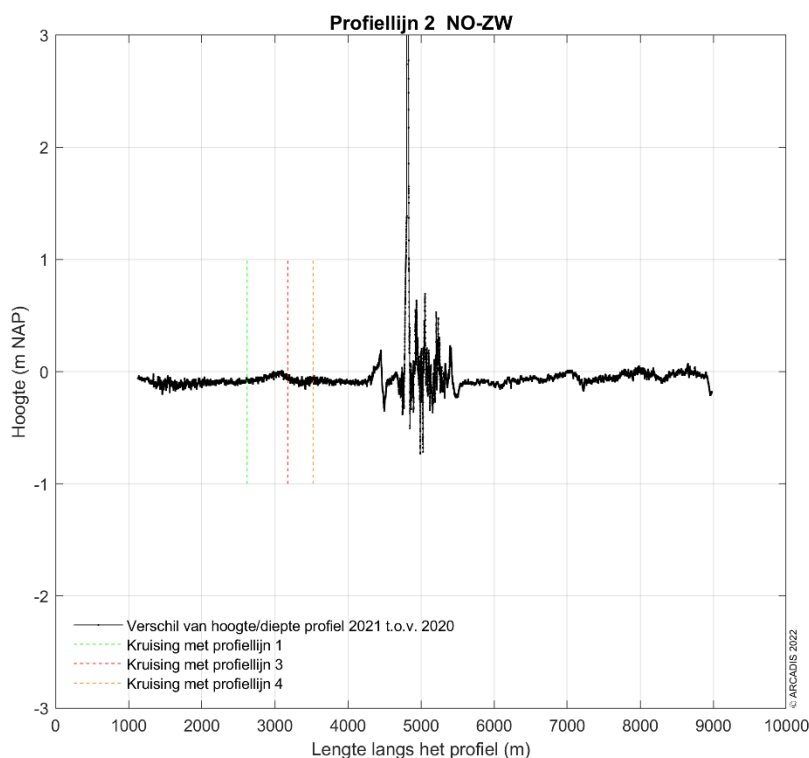


Figuur 9-166 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.

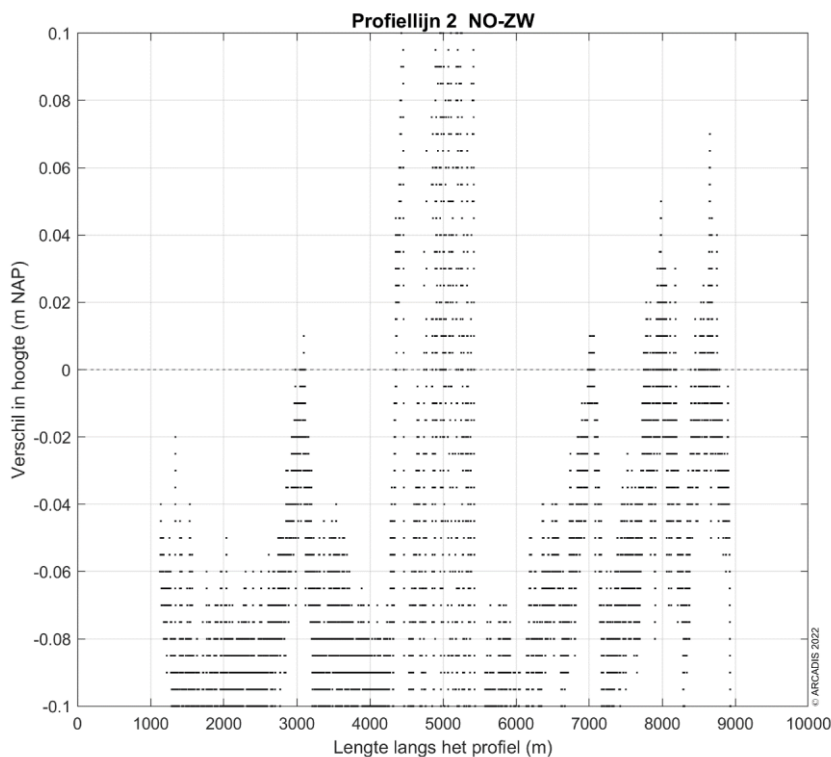
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 1 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 9-168, midden van de profiellijn). Op 4800, tussen de twee geulen is tot 3 meter hoogteverschil opgetreden. De tussenliggende bodem is hier verhoogd. Op 5500 meter, tussen de geul langs de Pollendam en De Pollen, is weinig morfologische verandering opgetreden. De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verlaging van enkele centimeters zien (zie Figuur 9-168, tussen 1000 tot 3500 meter en tussen 6500 tot 9000 meter).



Figuur 9-167 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021.



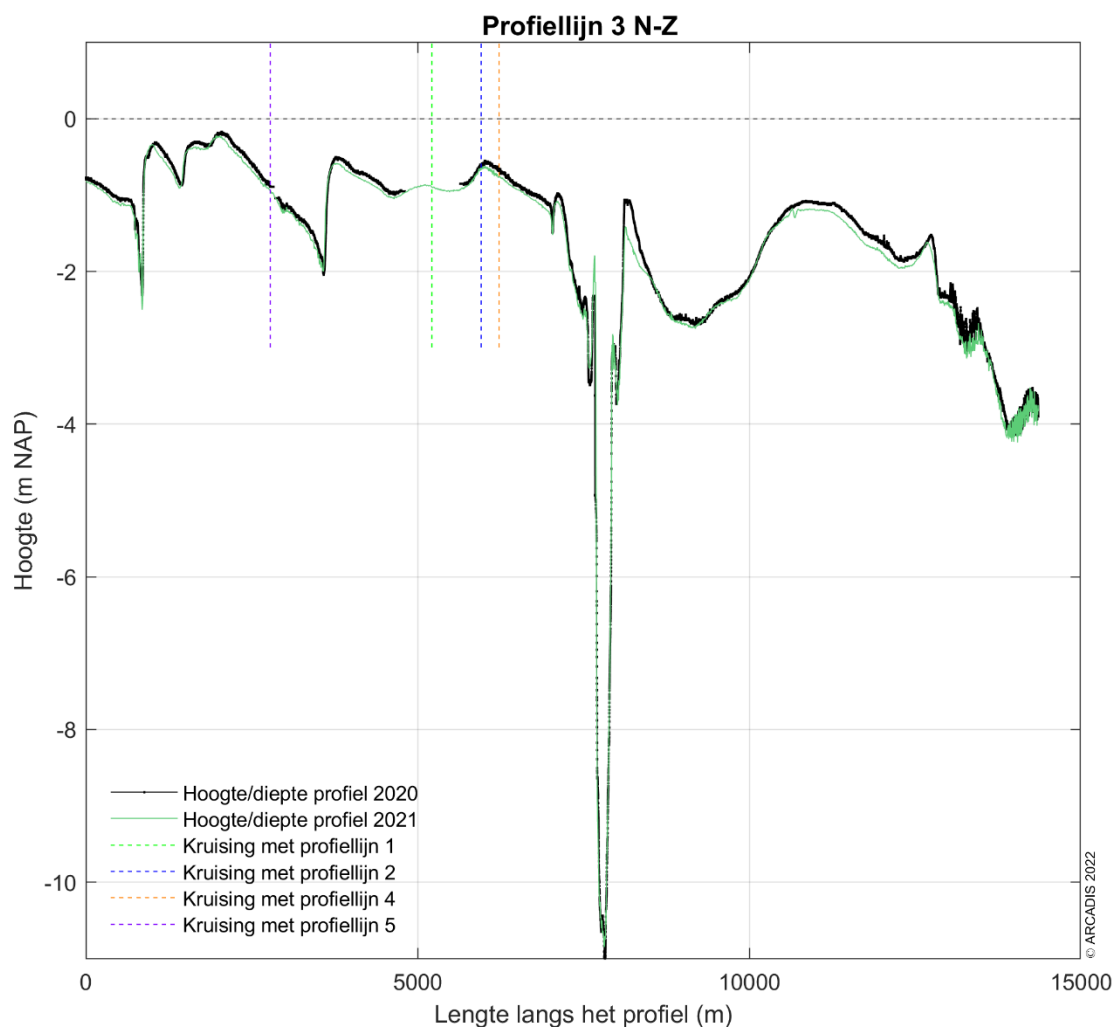
Figuur 9-168 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.



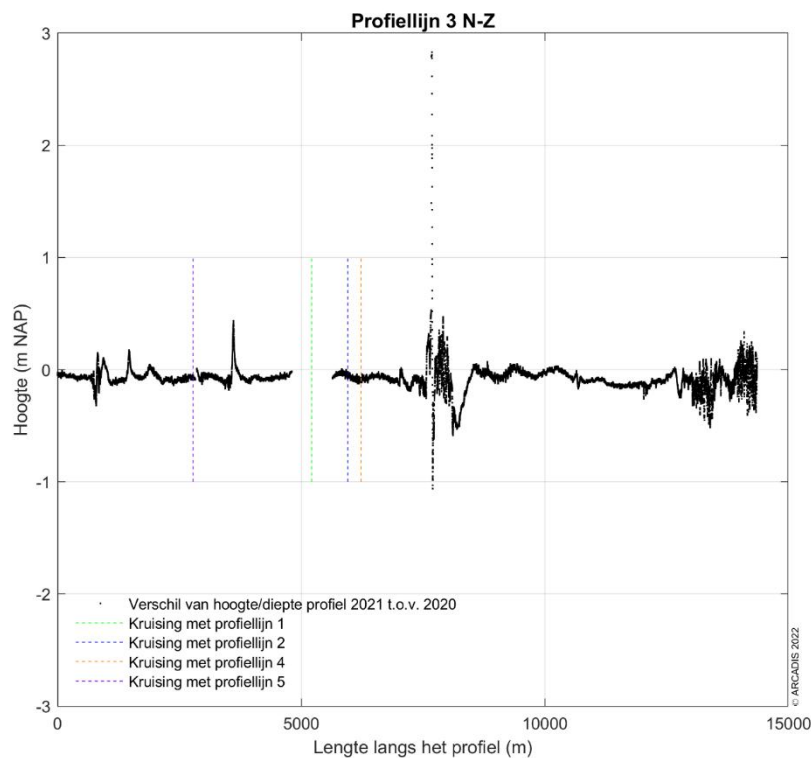
Figuur 9-169 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.

Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat weinig verandering zien tussen 2020 en 2021. De in 2021 gevaren raai mist data rond de 5000m en is daardoor in twee gedeelten beschikbaar waardoor veranderingen in dit traject dit jaar niet in kaart zijn gebracht.

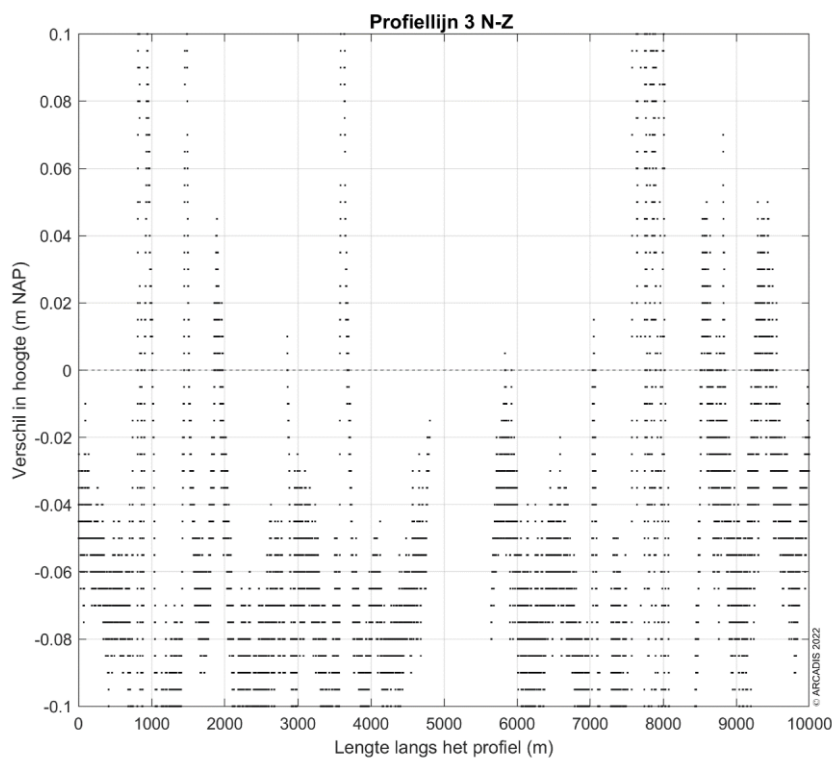
Rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen zijn relatief kleine morfologische veranderingen zichtbaar, van ongeveer 0,5 tot 1 meter hoogteverschil (Figuur 9-171, het rechter uiteinde en midden van de profiellijn). Net als in profiellijnen 1 en 2 is in profiellijn 3 een verlaging van enkele centimeters zichtbaar van de intergetijde platen (zie Figuur 9-145, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 11000 tot 12000 meter). De dynamiek van de sublitorale geulen is tegengesteld aan de voorgaande hoogte/diepte metingen in de raai.



Figuur 9-170 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021.



Figuur 9-171 Verskilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.

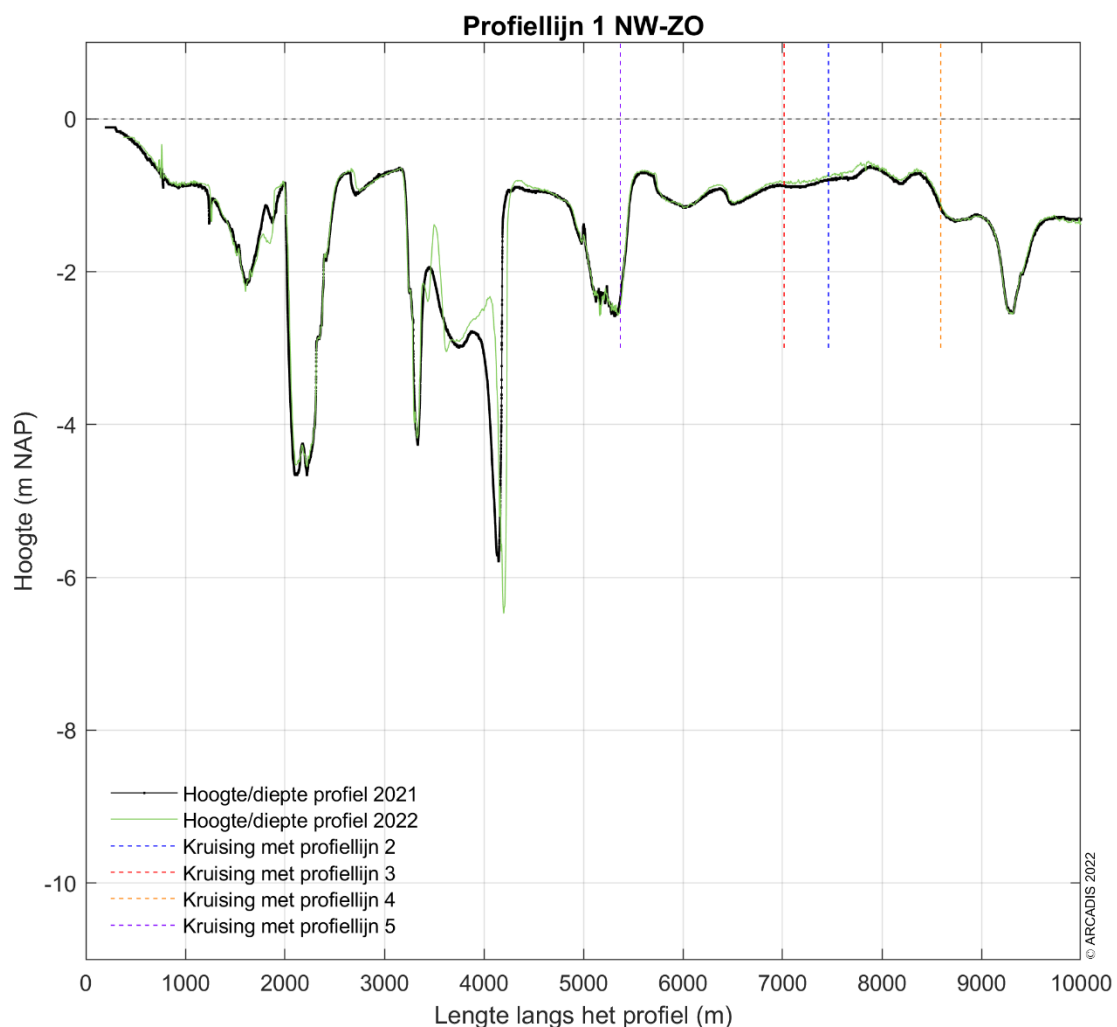


Figuur 9-172: Ingezoomde verskilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2020 en 2021. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2021 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2020.

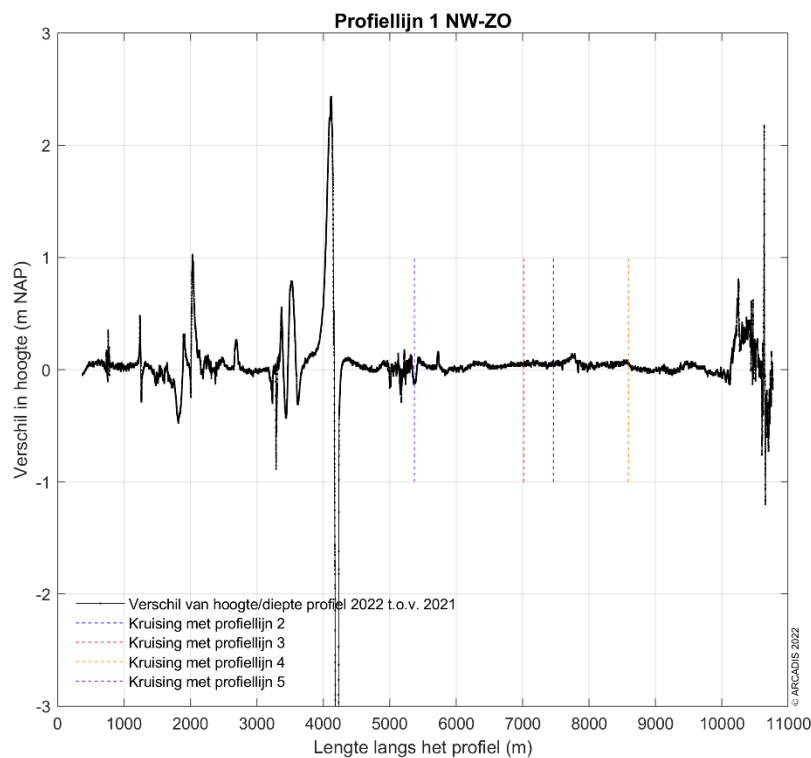
Vergelijking tussen metingen uit 2021 en 2022

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in 2021 met die in 2022 vergeleken (zie Figuur 9-173, Figuur 9-176, Figuur 9-179, Figuur 9-182 en Figuur 9-185). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien, waarbij de grootste veranderingen wederom optreden in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

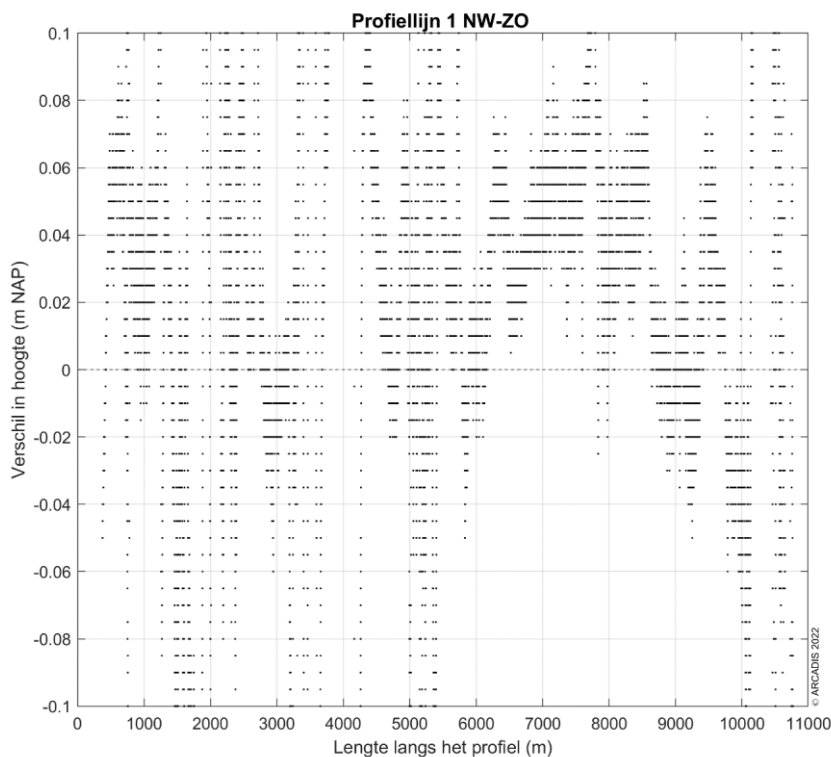
Een grote morfologische verandering te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er enkele meters hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-174, tussen 3000 tot 4500 meter) door het verschuiven van de geul. Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen van metingen in paragrafen 3.2 en 4.8. De eerder ingezette verdieping van de geul (2020) op 4000 meter heeft zich doorgezet. Op 1800 meter zet een trendmatige verdieping zich voort, waarbij de verdieping van ca. 40cm van afgelopen jaar noemenswaardig is. Op de bank tussen de eerste twee geulen (2500 tot 3000 meter) heeft het afgelopen jaar enige sedimentatie plaatsgevonden. Ook deze trend is eerder ingezet en handhaaft zich.



Figuur 9-173 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022.

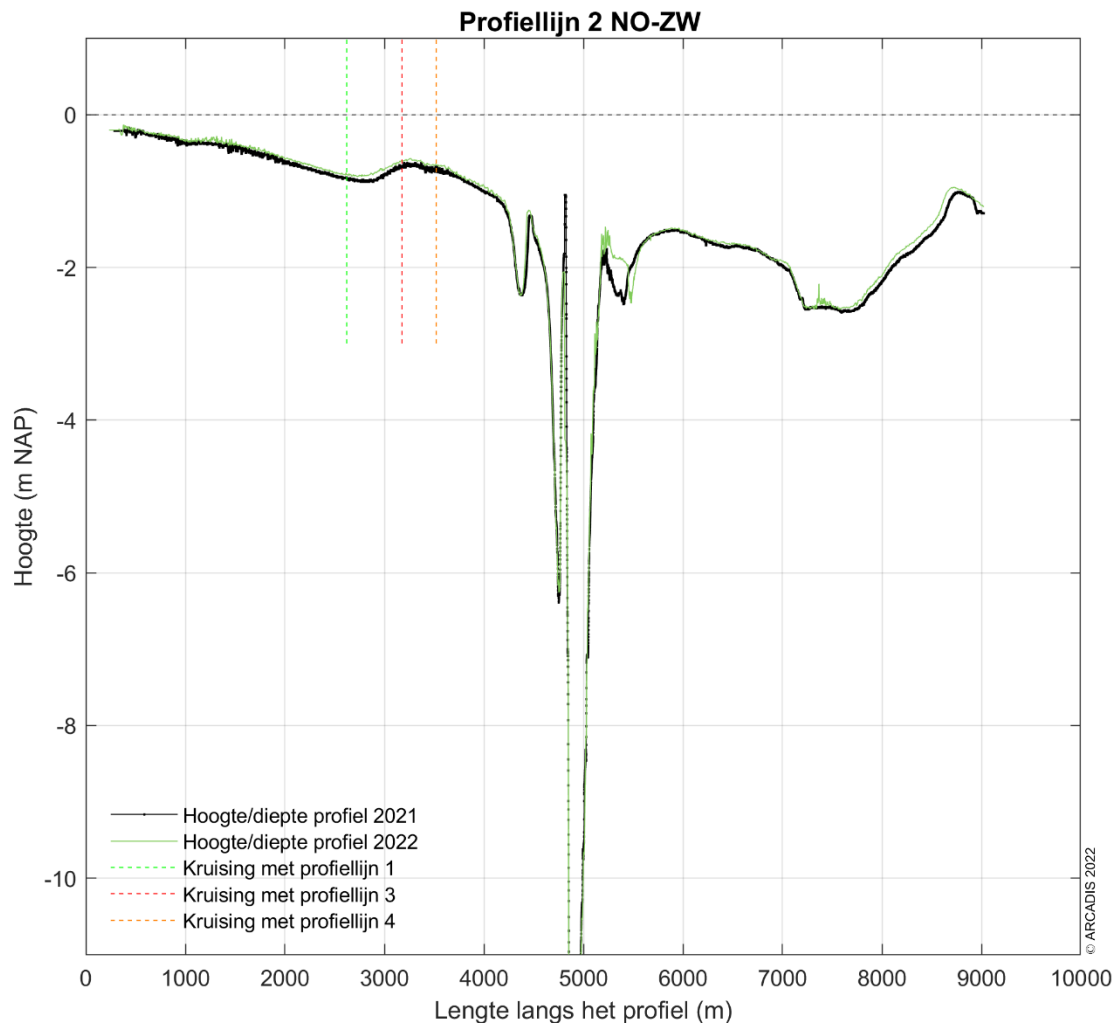


Figuur 9-174 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

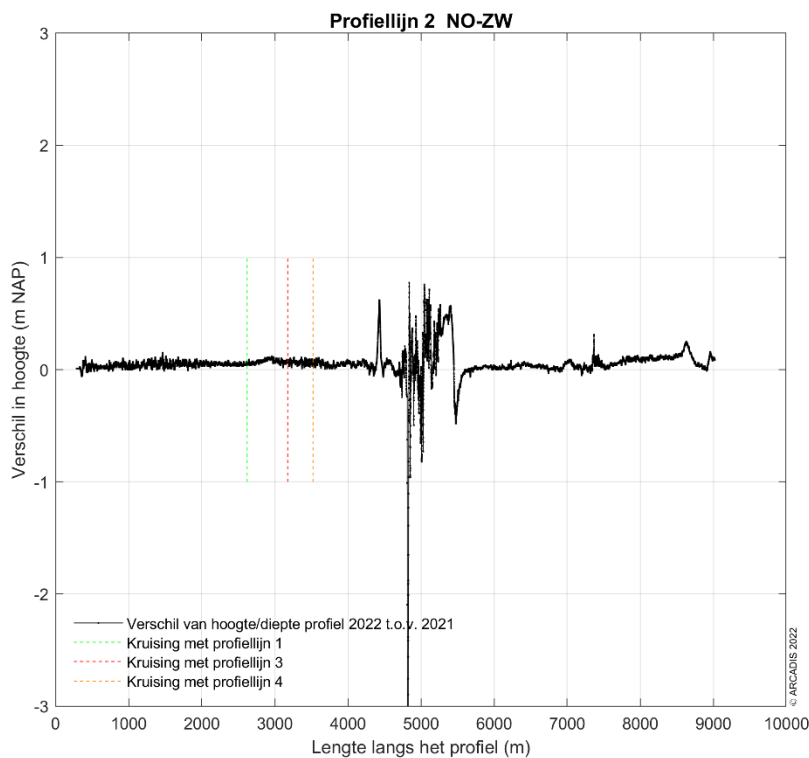


Figuur 9-175 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

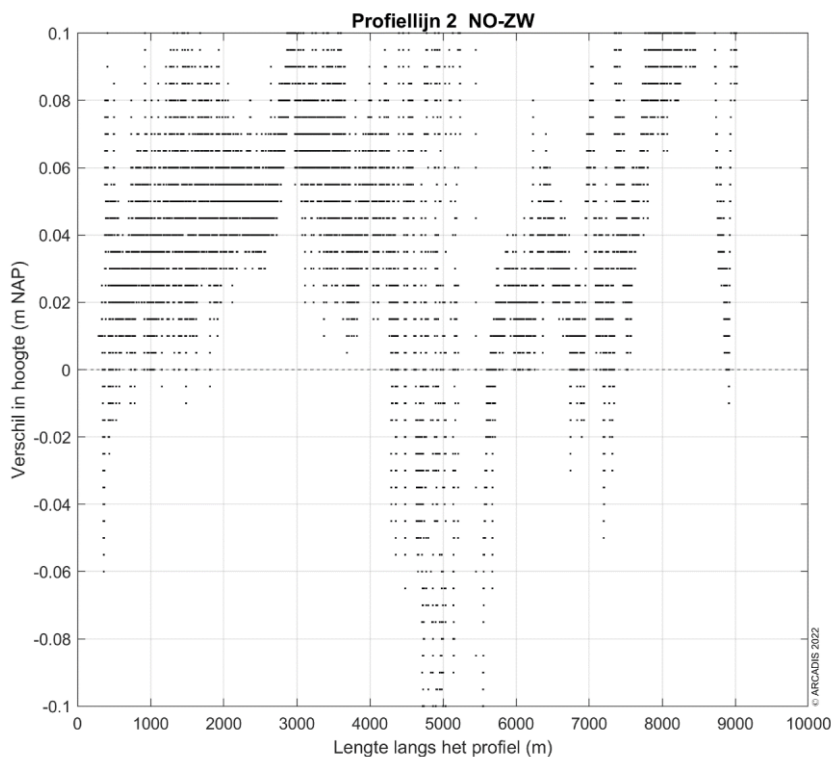
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 1 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 9-177, midden van de profiellijn). Op 4800, tussen de twee geulen is tot 3 meter hoogteverschil opgetreden. De tussenliggende bodem is hier tot 0,5m verhoogd. Tussen 5500 meter en 7500 meter, tussen de geul langs de Pollendam en De Pollen, is weinig morfologische verandering opgetreden. De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters zien (zie Figuur 9-177, tussen 1000 tot 3500 meter) tot enkele decimeters (Figuur 9-177 tussen 6500 tot 9000 meter).



Figuur 9-176 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022.

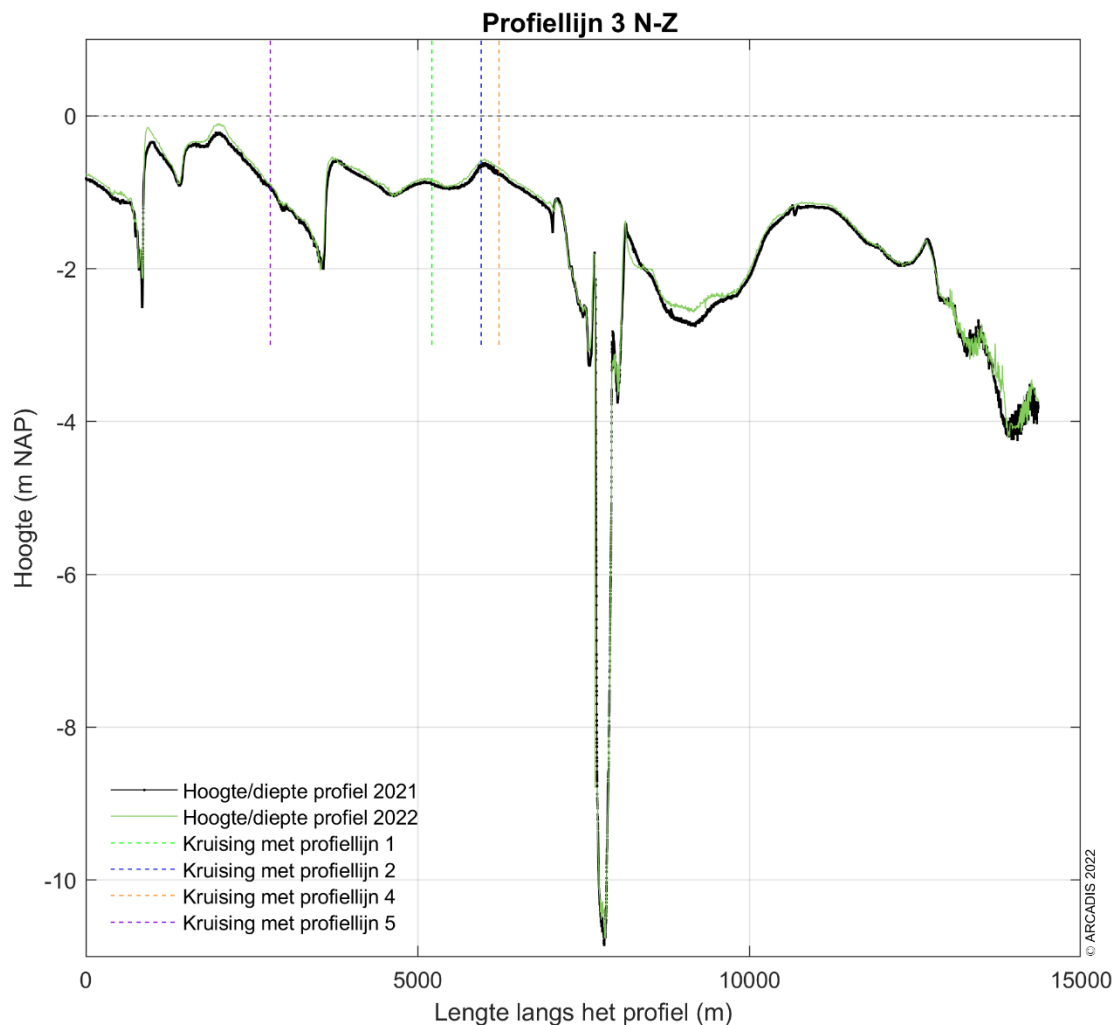


Figuur 9-177 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

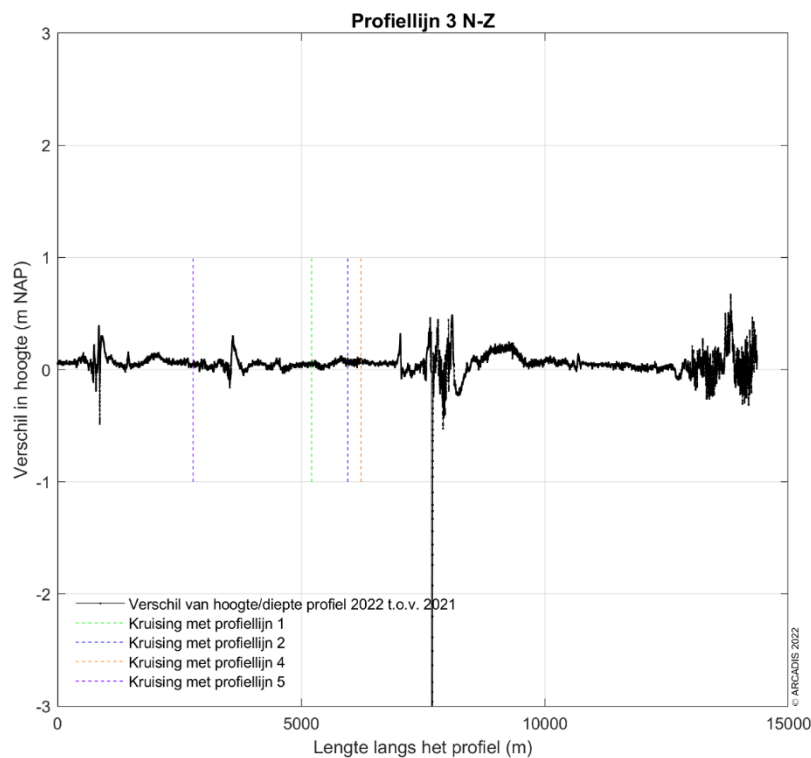


Figuur 9-178 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

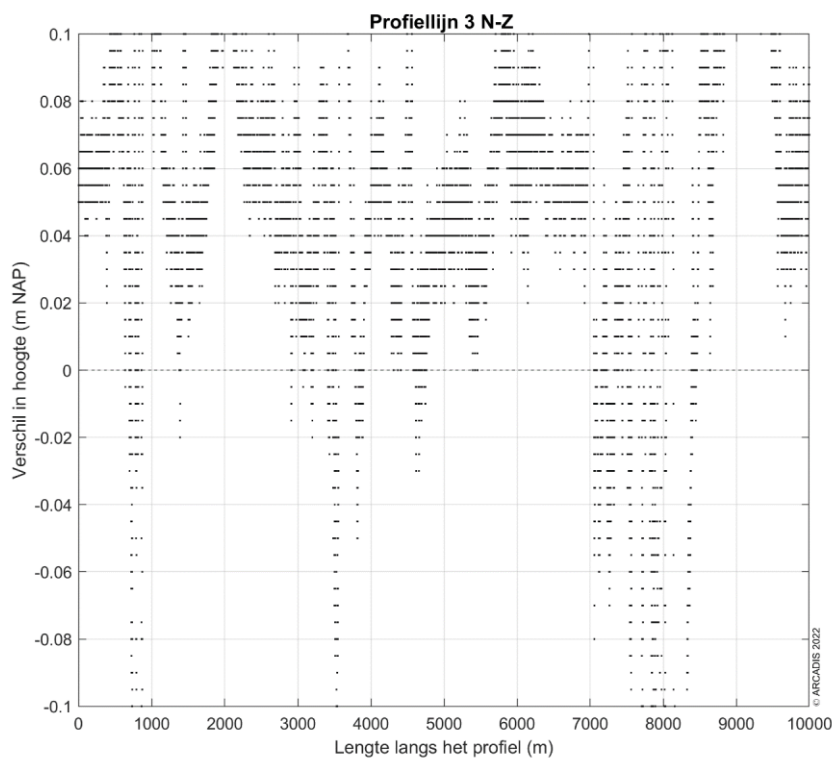
Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat ten opzichte van raai 1 en 2 relatief weinig verandering zien tussen 2021 en 2022. Rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen zijn relatief kleine morfologische veranderingen zichtbaar, tot ongeveer 0,5 (midden van de profiellijn) en tot 0,7 meter hoogteverschil (Figuur 9-180, het rechter uiteinde van de profiellijn). In profiellijn 3 is in tegenstelling tot de vorige meting een verhoging van gemiddeld centimeters met lokaal enkele decimeters zichtbaar van de intergetijdse platen (zie Figuur 9-180, tussen de 3000 tot 6000 meter en tussen 9000 tot 12000 meter).



Figuur 9-179 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022.

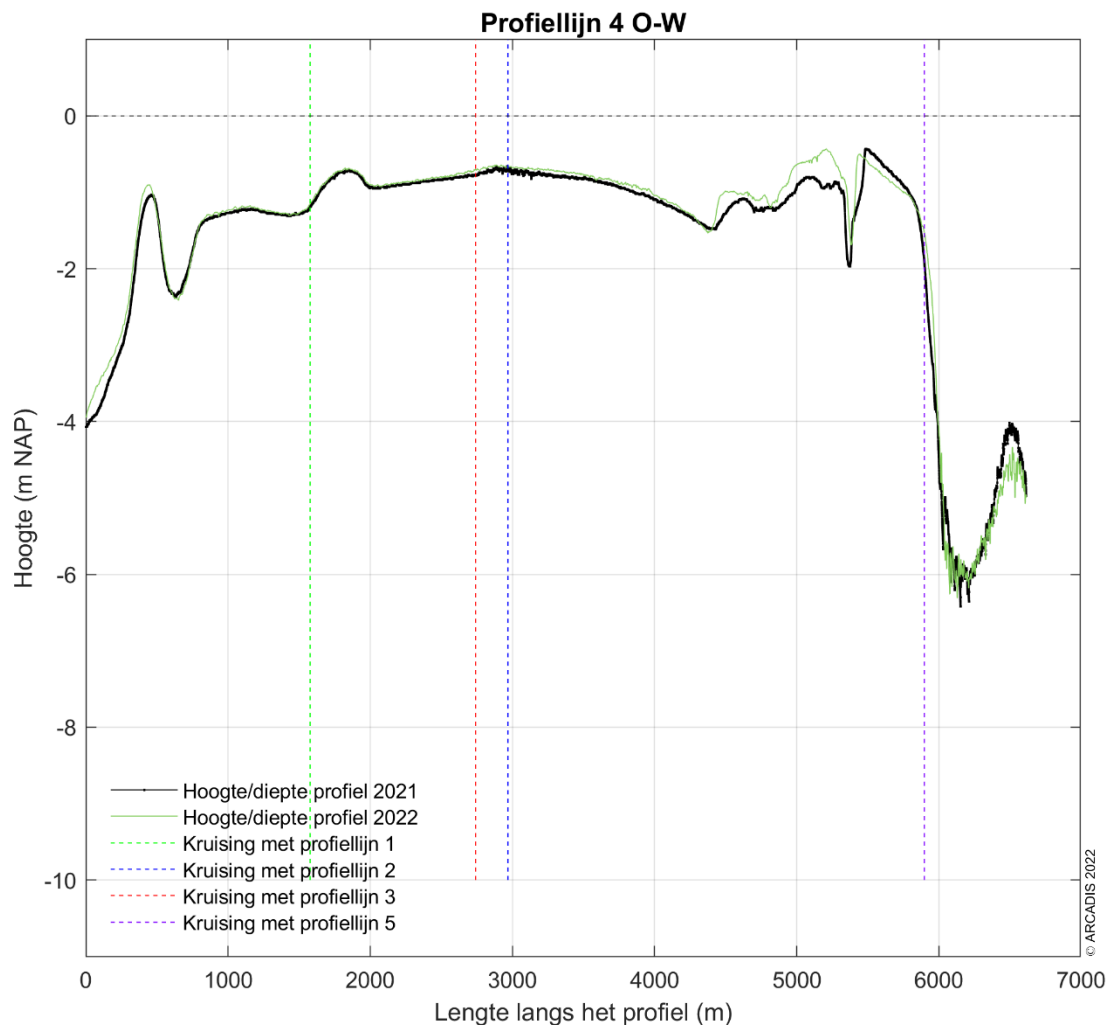


Figuur 9-180 Vershilplot langs profielijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

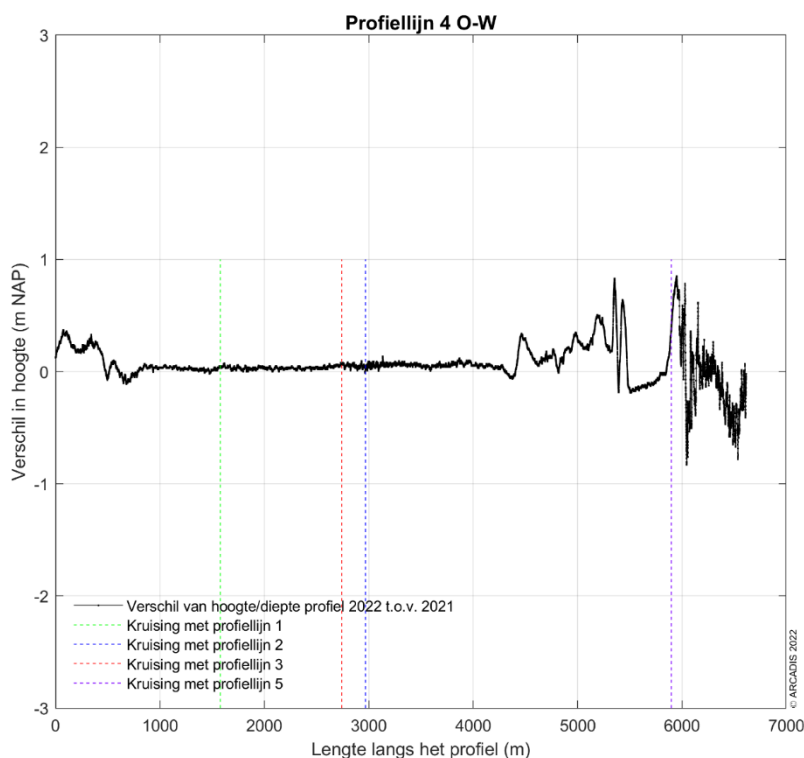


Figuur 9-181: Ingezoomde vershilplot langs profielijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

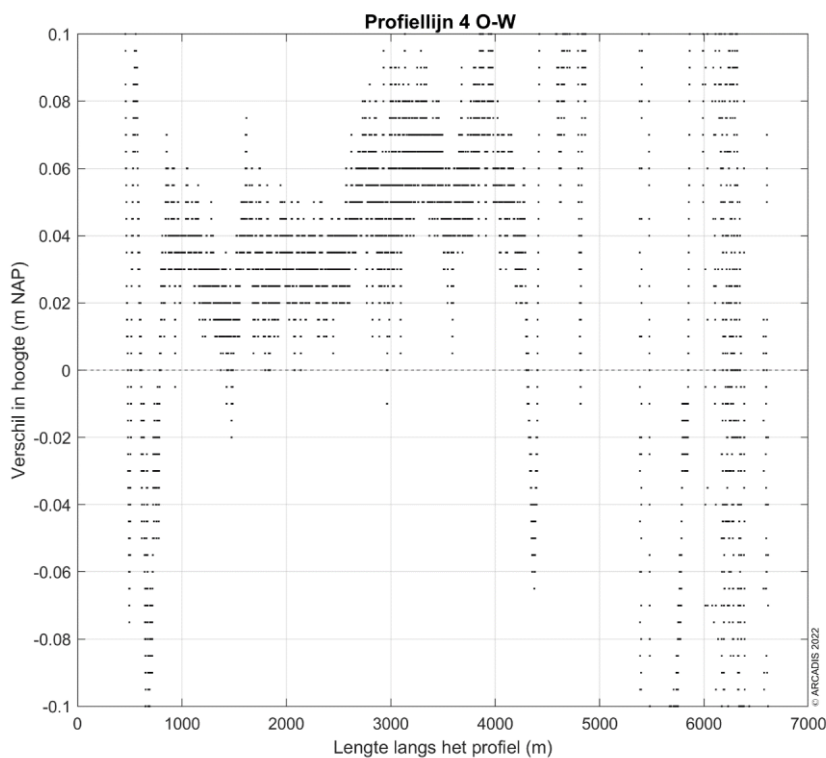
Profiellijn 4, van oost naar west, laat enkele verandering zien tussen 2021 en 2022. Tussen 0 en 500 meter is een verhoging te zien tot 0,3 meter (Figuur 9-183). De Ballastplaat is enkele centimeters verhoogd ten opzichte van 2021 (Figuur 9-183 tussen 800 meter en 4300 meter). Tussen 4300 en 5300 meter zijn enkele decimeters verhoging van de bodem waarneembaar. Tussen 5300 en 5600 zijn grotere verschillen waarneembaar door het verschuiven van het geultje. Ook de grotere geul vanaf 5800 meter tot het einde van het profiel verschuift.



Figuur 9-182 Dwarsprofiel langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022.

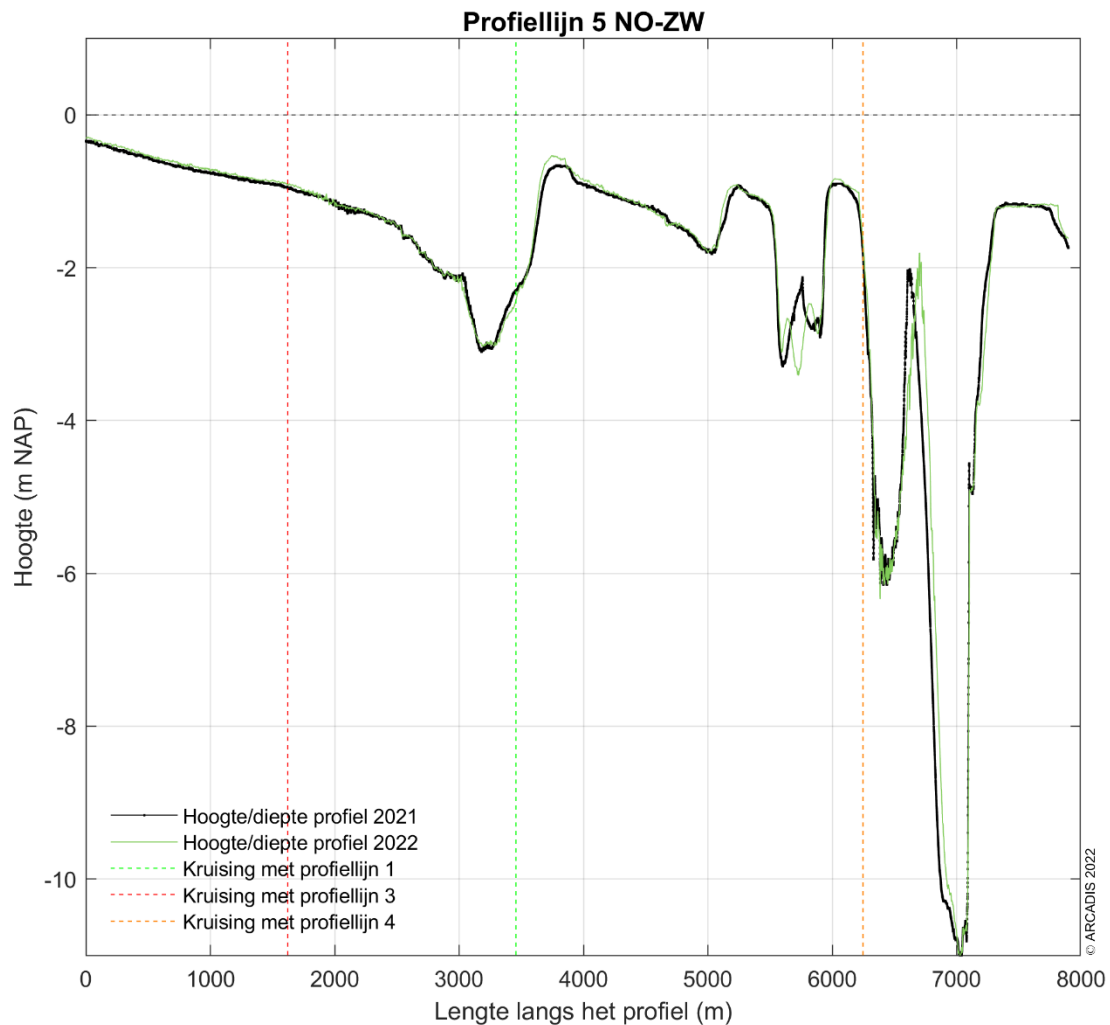


Figuur 9-183 Verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

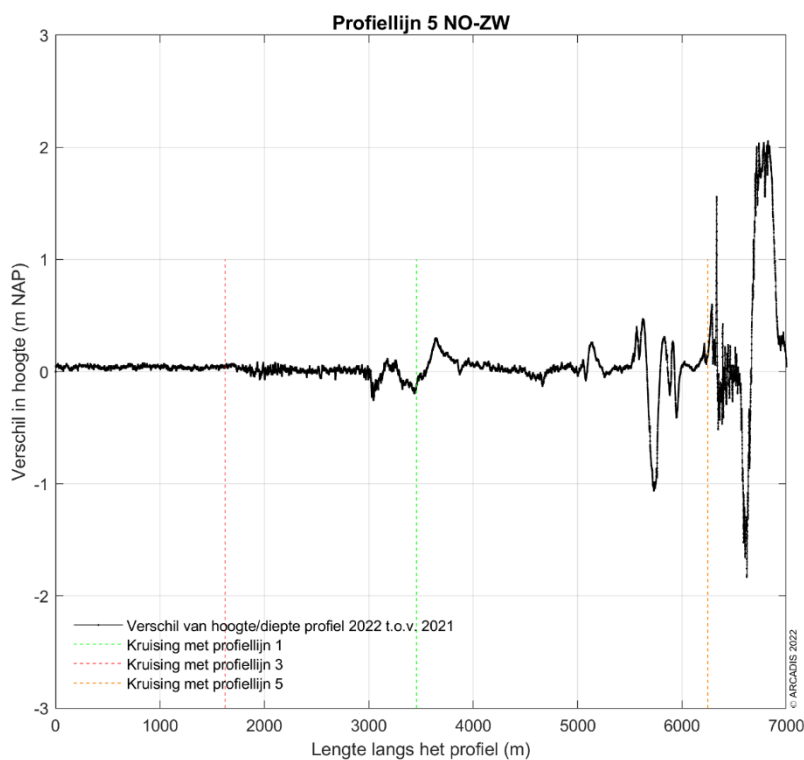


Figuur 9-184: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

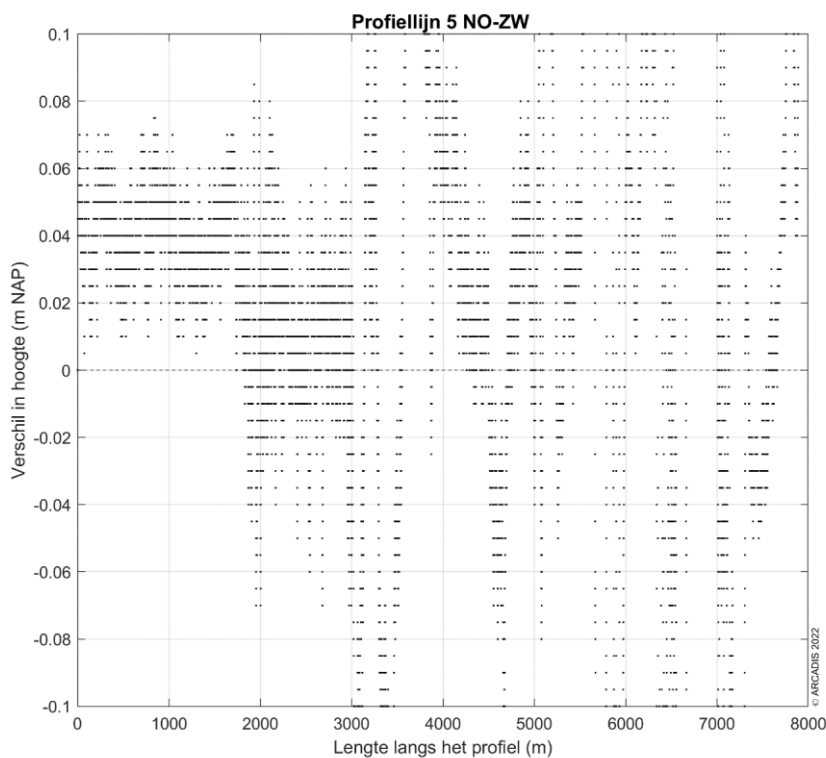
Profiellijn 5, van noordoost naar zuidwest, laat over de Grienderwaard en de eerste geulen weinig hoogteverschil zien tussen 2021 en 2022 (Figuur 9-186, tussen 0 meter en 5500 meter). Alleen tussen 3000 meter en 4000 meter is te zien dat de geul verschuift en plaatselijke verdiepingen en ophogingen van enkele decimeters plaatsvinden. Vanaf 5500 meter zijn verschuivingen van de geulen waarneembaar die plaatselijke hoogteverschillen tot 2 meter laten zien (Figuur 9-186).



Figuur 9-185 Dwarsprofiel langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022.



Figuur 9-186 Verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

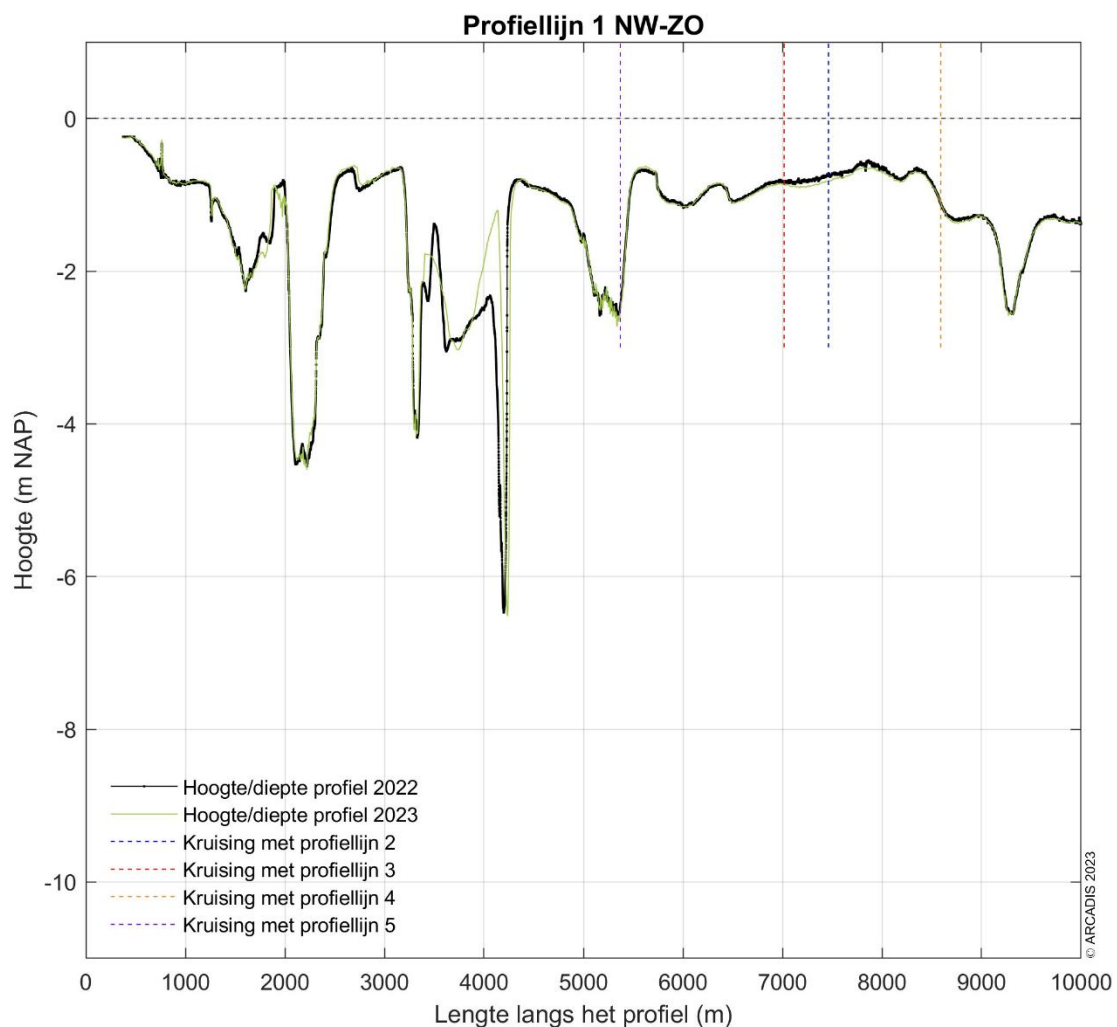


Figuur 9-187: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021 en 2022. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2022 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2021.

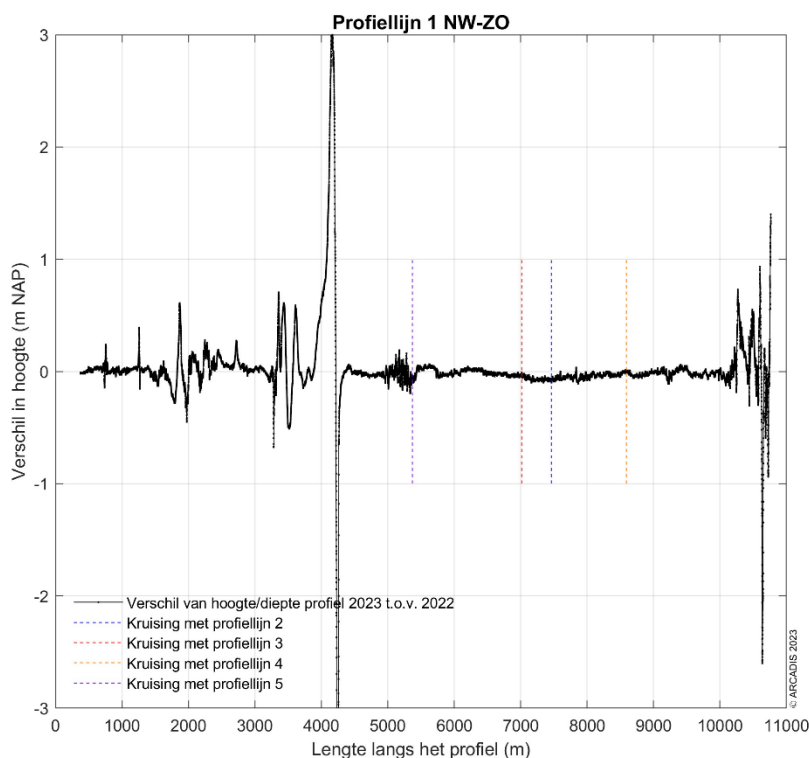
Vergelijking tussen metingen uit 2022 en 2023

In deze sectie wordt de hoogte van de raaien in 2022 met die in 2023 vergeleken (zie Figuur 9-188, Figuur 9-191, Figuur 9-194, Figuur 9-197 en Figuur 9-200). De figuren laten de morfologische veranderingen in deze periode van één jaar zien, waarbij de grootste veranderingen wederom optreden in de sublitorale geulen van de drie profiellijnen.

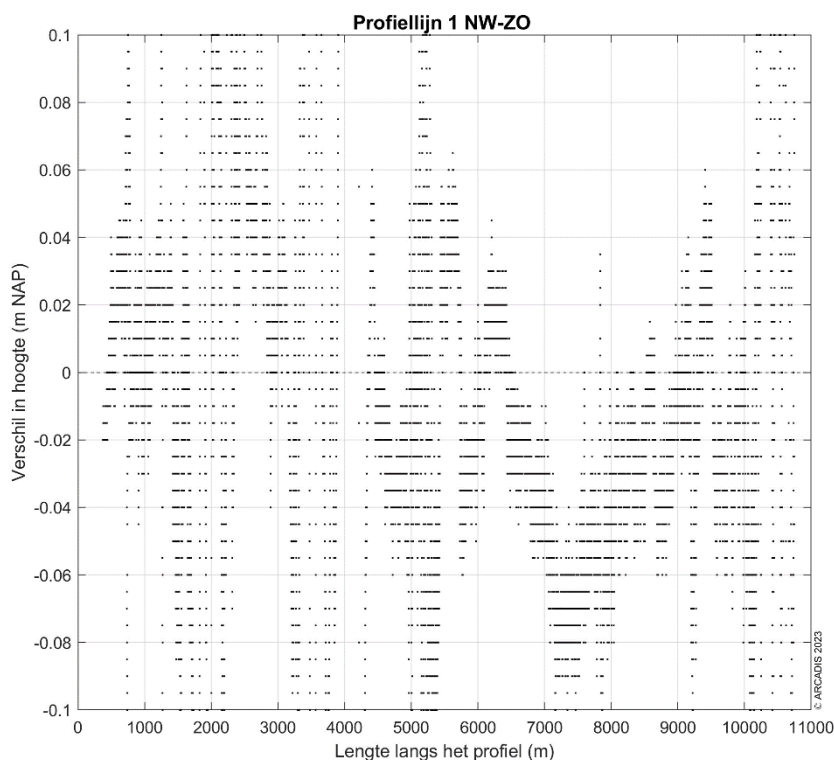
Een grote morfologische verandering te zien rondom een van de sublitorale geulen, waarbij er enkele meters hoogteverschil is opgetreden (zie Figuur 9-189 tussen 3000 tot 4500 meter) door het verschuiven van de geul. Deze dynamiek was ook zichtbaar in de voorgaande vergelijkingen van metingen. De eerder ingezette verdieping van de geul (2020) op 4000 meter heeft zich doorgezet waarbij de geul smaller is geworden met aan twee zijden een nagenoeg even hoge zijkant. Deze geul ligt ondertussen dieper dan 6 meter. Op 2000 meter zet een trendmatige verdieping zich voort. Op de bank tussen de eerste twee geulen (2500 tot 3000 meter) heeft het afgelopen jaar enige sedimentatie plaatsgevonden. Ook deze trend is eerder ingezet en handhaaft zich alhoewel de snelheid afneemt.



Figuur 9-188 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023.

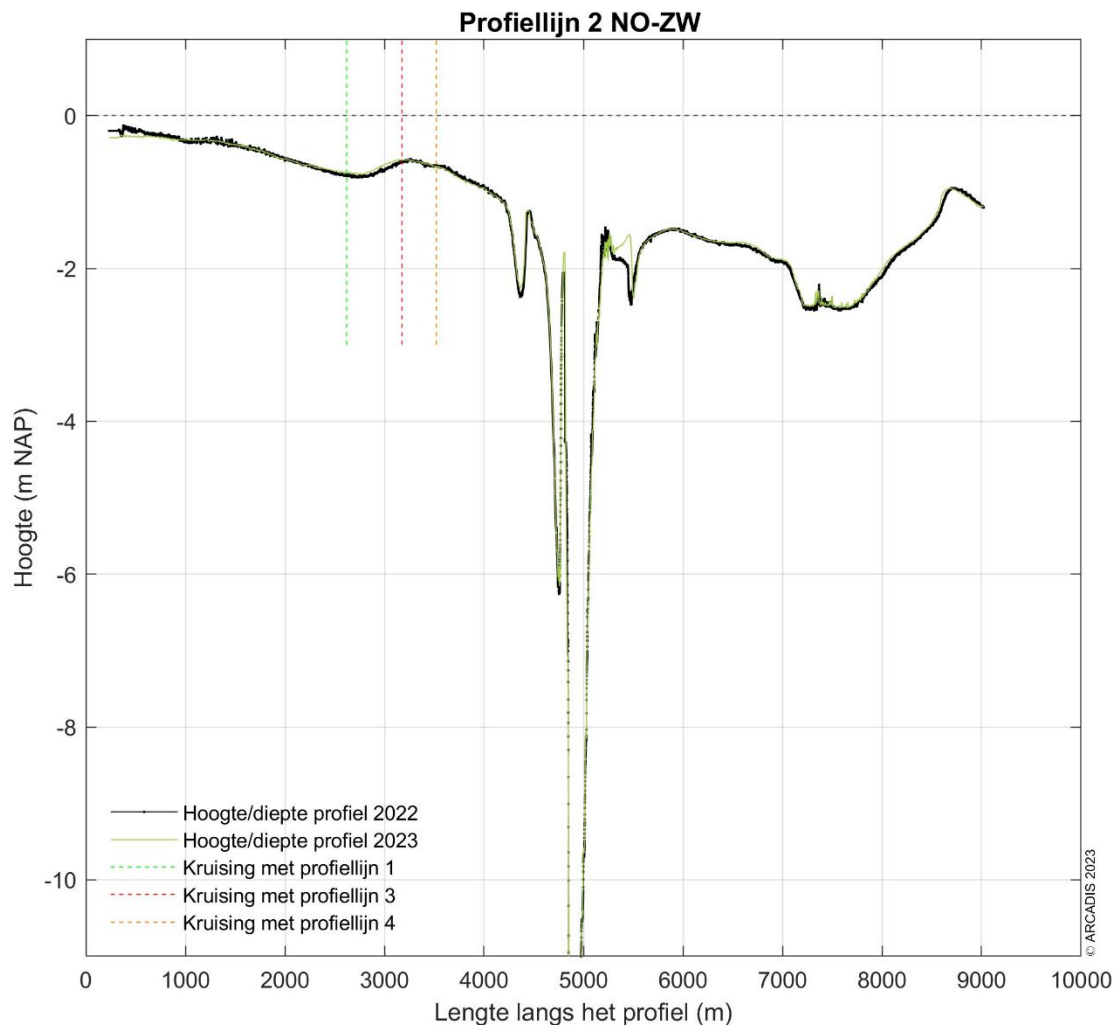


Figuur 9-189 Verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

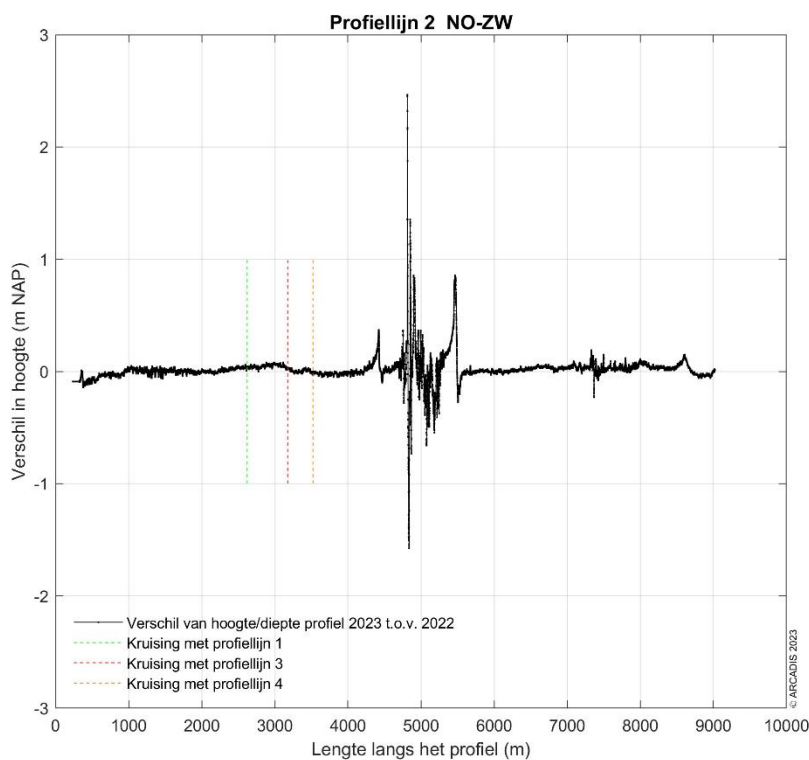


Figuur 9-190 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

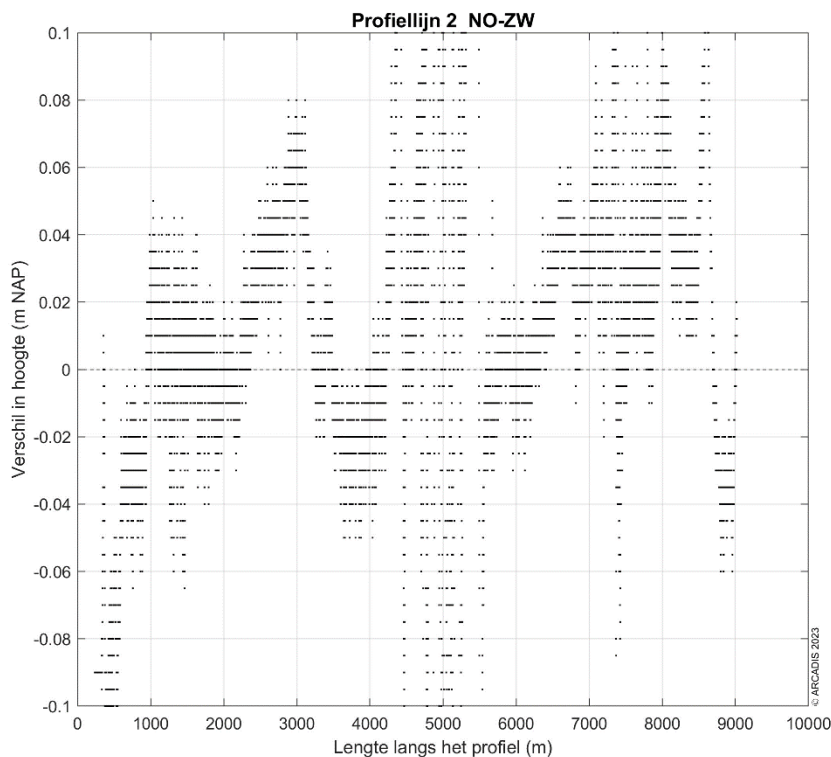
Een morfologische verandering in profiellijn 2 is te zien rondom de sublitorale geul, waarbij er op enkele plekken tot 0,5 à 1,5 meter hoogteverschil is opgetreden rondom de geulen (Figuur 9-192Figuur 3-7, midden van de profiellijn). Op 4800, tussen de twee geulen is tot 2,5 meter hoogteverschil opgetreden. De tussenliggende bodem is hier tot 1m verhoogd of verlaagd. Vanaf 5500 meter, de geul langs de Pollendam en De Pollen, is weinig morfologische verandering opgetreden. De hoogteverandering op de intergetijde platen van profiellijn 2 (NO-ZW) laat op de platen voornamelijk een verhoging van enkele centimeters zien.



Figuur 9-191 Dwarsdoorsnede langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023.

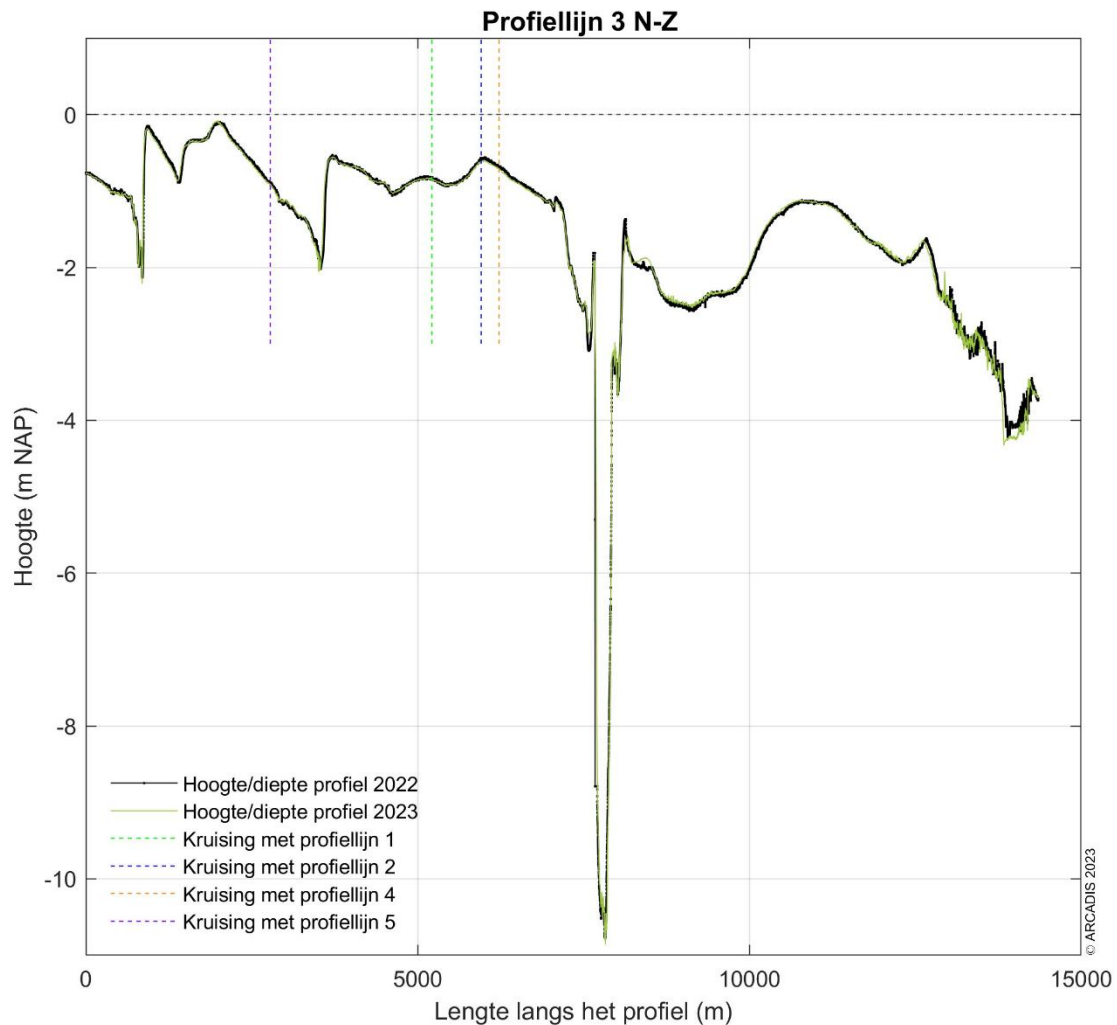


Figuur 9-192 Verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

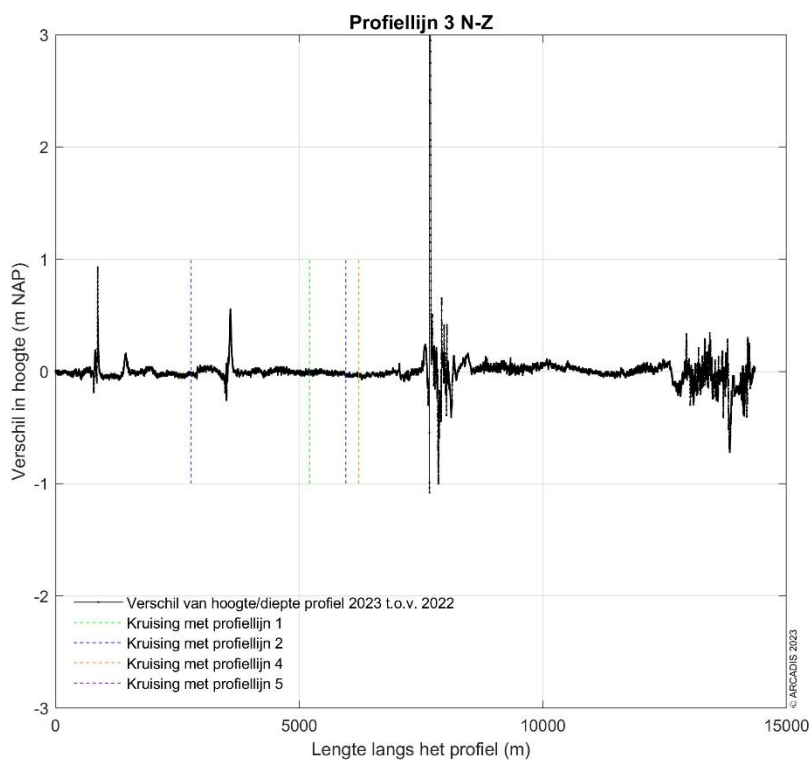


Figuur 9-193 Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

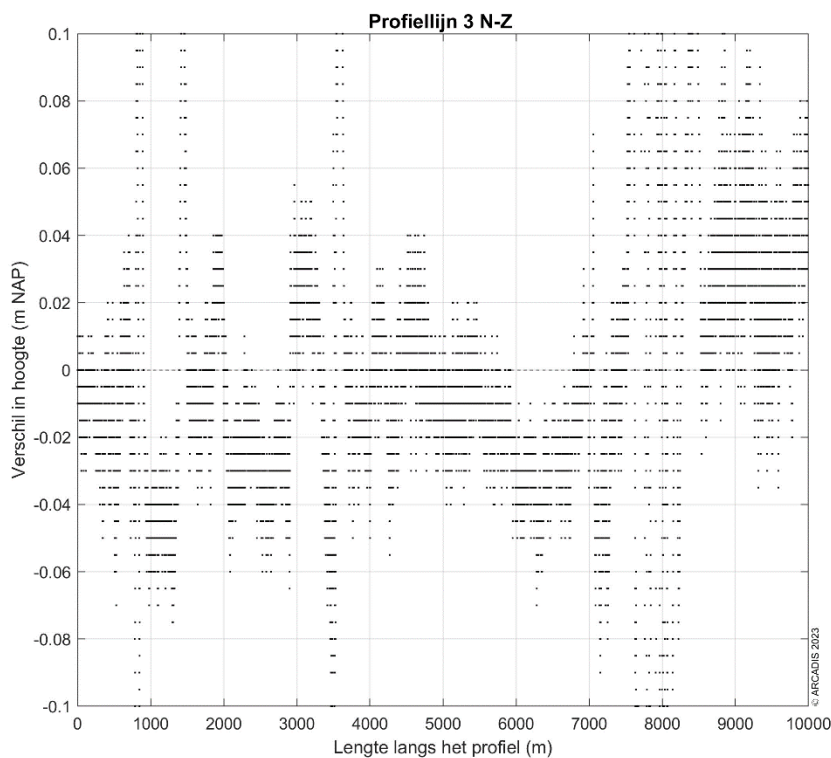
Profiellijn 3, van noord naar zuid, laat ten opzichte van voorgaande jaren meer verandering zien tussen 2022 en 2023. Rondom de intergetijde geulen en de sublitorale geulen zijn de morfologische veranderingen versterkt. Dit is te zien ter hoogte van 800 meter (tot 1 meter verhoging) en 3400 meter (tot 0,6 meter verhoging). Rond 8000 meter is een verdere verschuiving van de geul zichtbaar. Vanaf 1300 meter zijn relatief grote veranderingen merkbaar door het verschuiven van de geulen. Hierbij treedt een hoogteverandering van enkele decimeters op.



Figuur 9-194 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023.

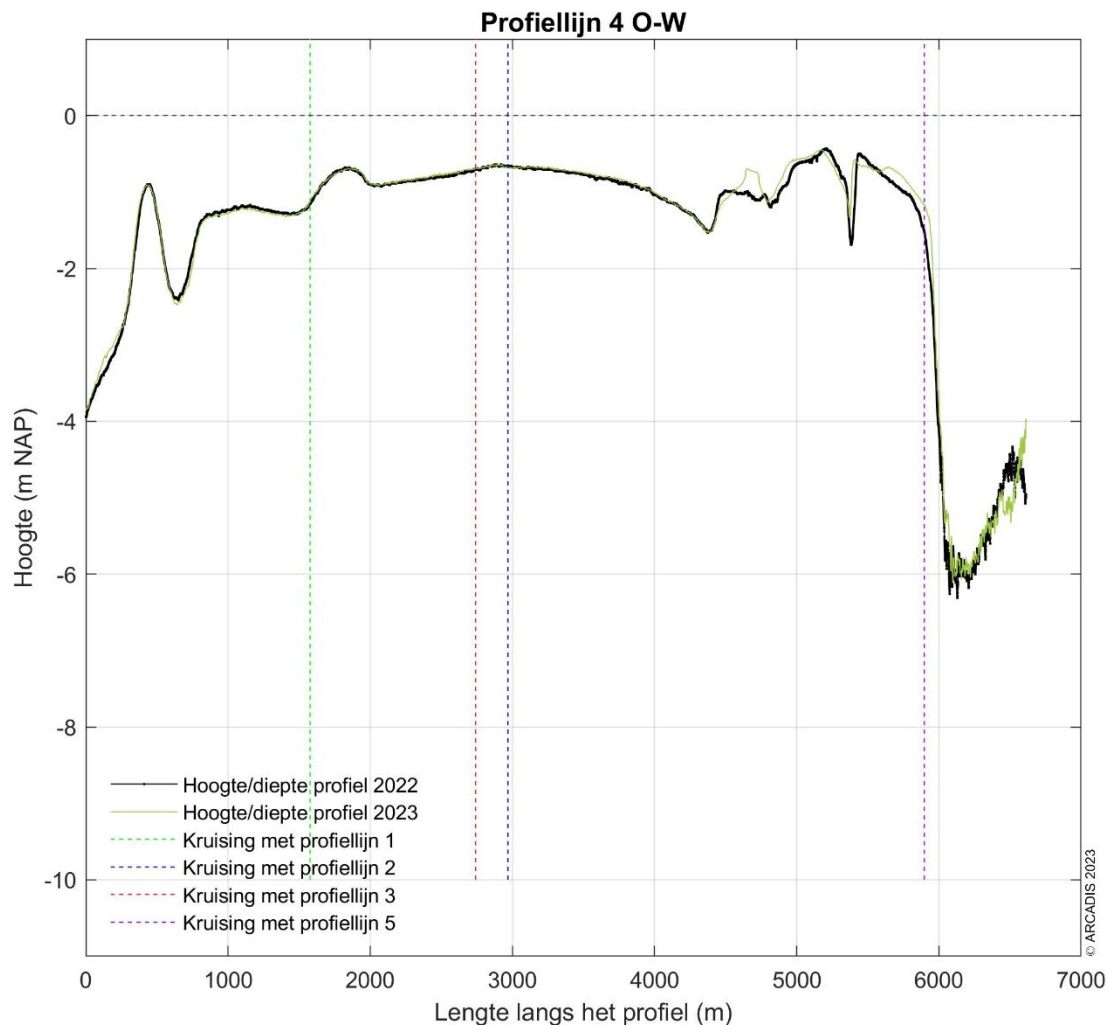


Figuur 9-195 Verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

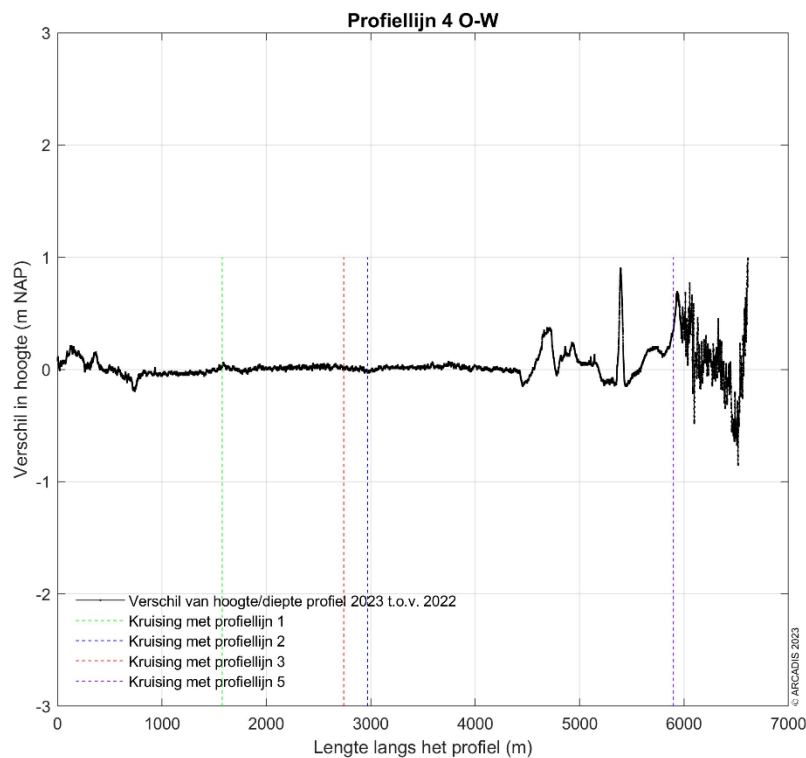


Figuur 9-196: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

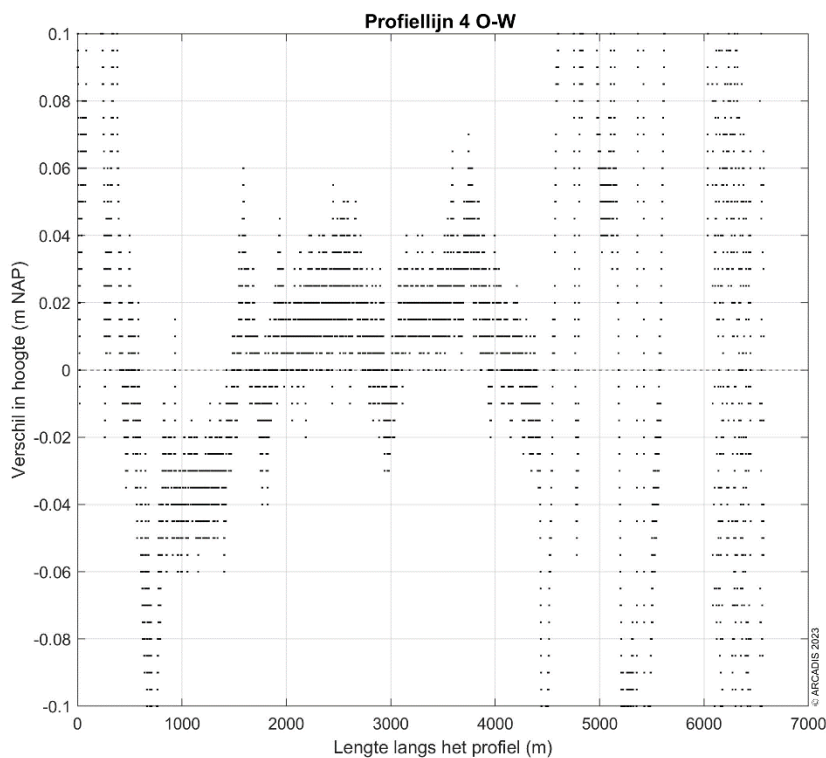
Profiellijn 4, van oost naar west, laat enkele verandering zien tussen 2022 en 2023. Tussen 0 en 500 meter zet de eerder waargenomen verhoging door met 0,1 meter. Op de Ballastplaat zijn bijna geen veranderingen zichtbaar ten opzichte van 2022 (tussen 800 meter en 4300 meter). Tussen 4300 en 5300 meter zet de verhoging door met enkele decimeters. Tussen 5300 en 5600 zijn grotere verschillen waarneembaar door het verschuiven van het geultje. Ook de grotere geul vanaf 5800 meter tot het einde van het profiel verschuift.



Figuur 9-197 Dwarsprofiel langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023.

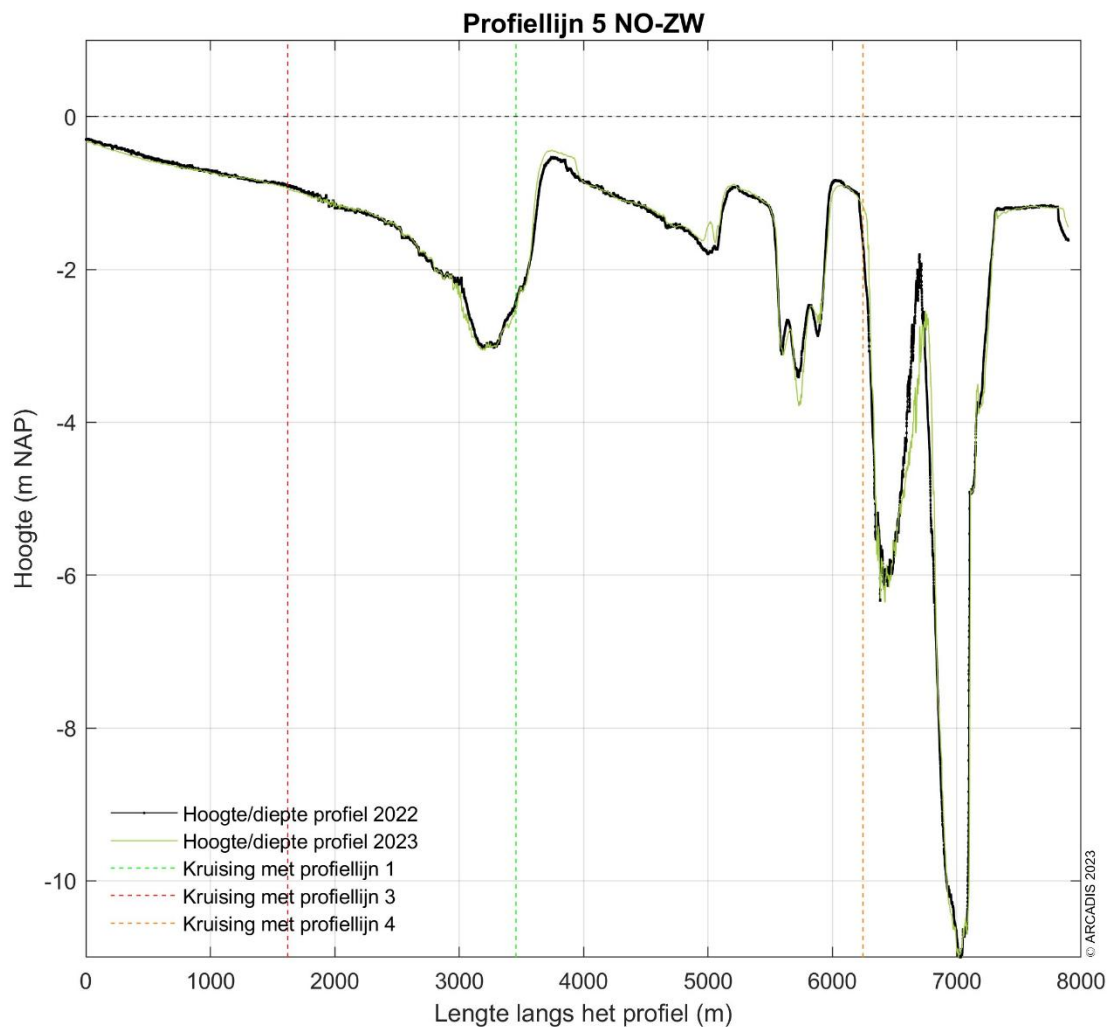


Figuur 9-198 Verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

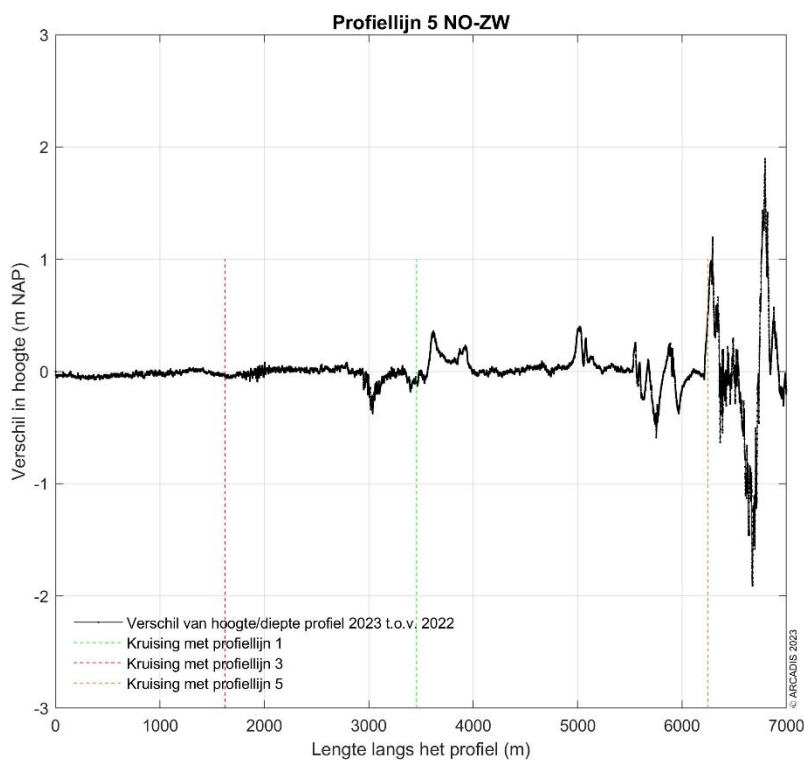


Figuur 9-199: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

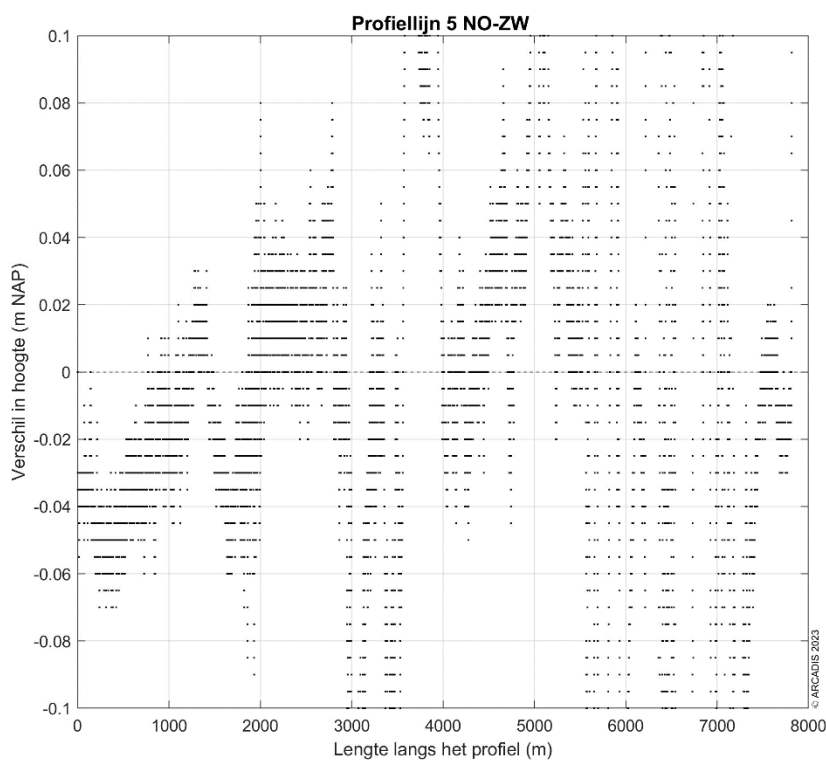
Profiellijn 5, van noordoost naar zuidwest, laat net als vorig jaar over de Grienderwaard en de eerste geulen weinig hoogteverschil zien (Figuur 9-186 tussen 0 meter en 5500 meter). Alleen tussen 3000 meter en 4000 meter is te zien dat de geul verschuift en plaatselijke verdiepingen en ophogingen van enkele decimeters plaatsvinden. Vanaf 5500 meter zijn verschuivingen van de geulen waarneembaar die plaatselijke hoogteverschillen tot 2 meter laten zien.



Figuur 9-200 Dwarsprofiel langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023.



Figuur 9-201 Verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van mei 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.



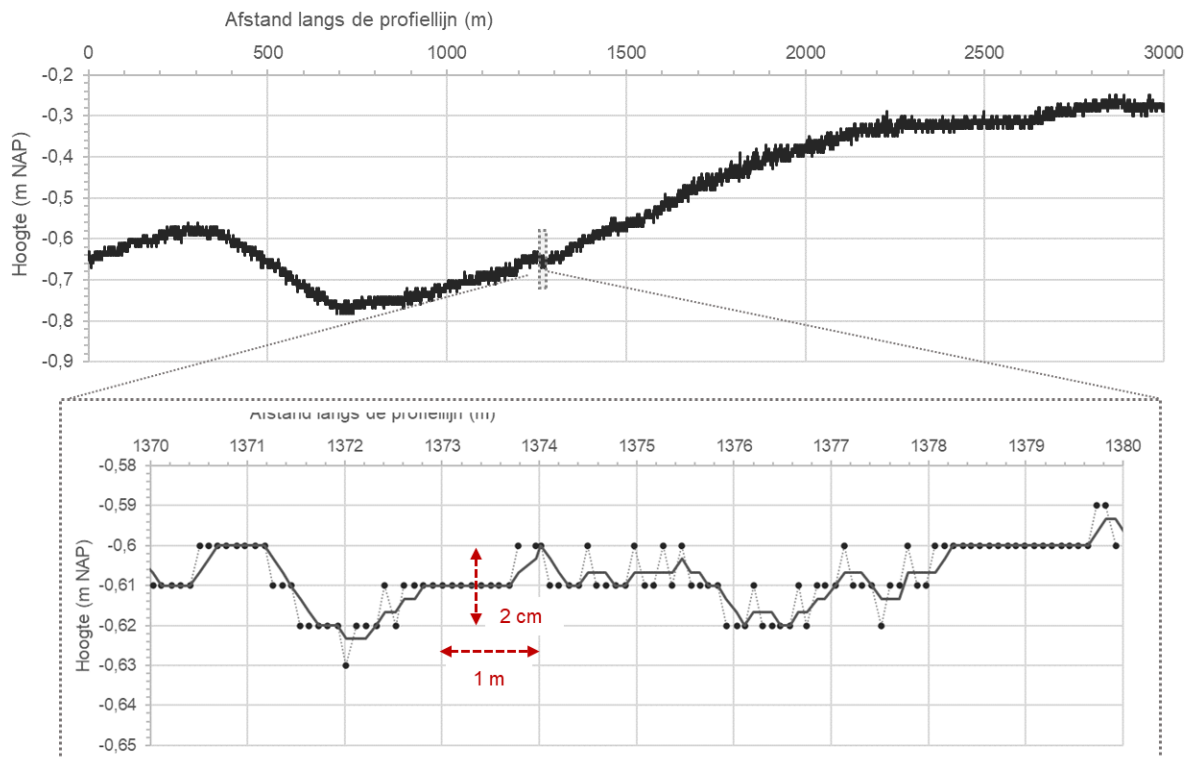
Figuur 9-202: Ingezoomde verschilplot langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2022 en 2023. Een positieve waarde betekent dat de hoogte/diepteraai van 2023 hoger ligt dan de hoogte/diepteraai van 2022.

BIJLAGE D INTERPRETATIE VAN DE VERSCHILLENDE HOOGTEMETINGEN

Inleiding

De uitvoering van het monitoringsprogramma van de zoutwinning onder de Waddenzee levert steeds meer inzicht in de morfologie en de morfologische veranderingen. Daarbij wordt in de praktijk steeds beter duidelijk wat de onderlinge toegevoegde waarde is van de verschillende metingen aan de morfologie. Het totale monitoringsprogramma is geconcentreerd op de droogvallende delen van het studiegebied en dan met name de Ballastplaat. In deze discussie wordt gekeken naar de morfologie en morfodynamiek van de Ballastplaat en de inzichten die (de verschillende onderdelen van) het monitoringsprogramma hebben opgeleverd. Hierbij wordt gekeken naar de nauwkeurigheid van de verschillende metingen. Details in de raaimetingen

De raaimetingen worden jaarlijks uitgevoerd en geven een hoge mate van detail in de hoogtevariëaties langs de raai. De meetpunten op de raaien hebben een onderlinge afstand van ongeveer 1 decimeter. De praktijknauwkeurigheid waarmee de hoogte wordt gemeten bedraagt enkele centimeters. *Figuur 9-203* laat zien in welk de hoogte van de plaat wordt gemeten. De weergave van de meetresultaten over het bereik van 3 kilometer (bovenste deel *Figuur 9-203*) laat een band zien, met een breedte van enkele centimeters. In deze weergave zou de hoogtevariëatie in de band op het eerste gezicht kunnen worden opgevat als meetruis. Inzoomen op een klein deel van deze raai laat zien dat de hoogte over een afstand van 10 meter varieert met stapjes van 1 cm. Dit sluit niet uit dat het meetruis betreft, maar de hoogtevariëaties lijken niet random op treden langs de raai. Hierbij wordt opgemerkt dat de hoogteverschillen overeenkomen met de hoogteverschillen die worden waargenomen tijdens veldbezoeken aan de Ballastplaat. *Figuur 9-204* laat zien hoe deze hoogteverschillen in het veld zichtbaar zijn. Vergelijking met de resultaten van de spijkermetingen, in combinatie met beelden uit luchtfoto's geven meer inzicht in de aard van deze hoogtevariëaties van één tot enkele centimeters die optreden over afstanden van meters.



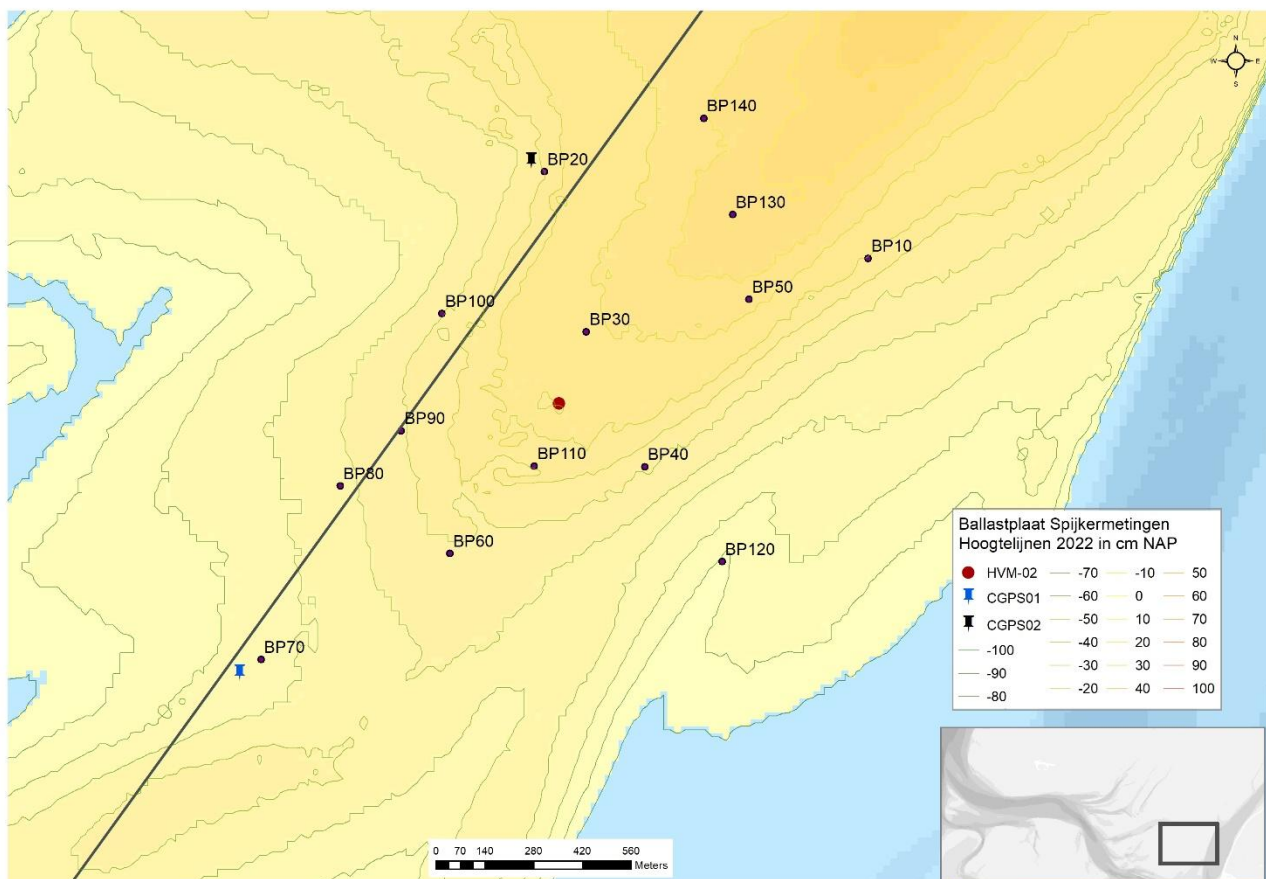
Figuur 9-203 Boven een voorbeeld van de hoogte van de Ballastplaat zoals gemeten in dwarsprofiel langs een stuk van raai 2 van zuidoost naar noordwest. Onder een detail van 10 meter, waarin de bolletjes de meetpunten zijn en de doorgetrokken lijn het 3-punt lopende gemiddelde (meetgegevens 2023).



Figuur 9-204 Ballastplaat met hoogte variaties in de wadbodem die zichtbaar zijn doordat in de lagere delen water blijft staan, terwijl de hogere delen droog zijn gevallen. De donkere verhoging in de verte zijn de restanten van mosselbanken die in 2022 zijn gevormd. Foto genomen tijdens veldbezoek 10 juli 2023, kijkend naar het oosten.

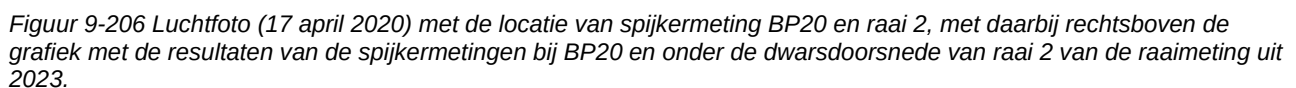
Raaimetingen en spijkermetingen

In de nabijheid van raai 2 liggen 5 spijkermetingen, zoals zichtbaar is in Figuur 9-205. Van de raaimeting ter hoogte van elk van deze spijkermetingen is een dwarsdoorsnede gemaakt, waarin de hoogtevariaties zichtbaar zijn, die zijn weergegeven in Figuur 9-206 tot en met Figuur 9-210. Daarbij is ook een luchtfoto getoond (met uitzondering van Figuur 9-210, omdat bij BP70 de Ballastplaat niet droog lag tijdens het maken van de luchtfoto), waarin in lichter en iets donkerder grijs patronen zichtbaar zijn op de plaat (de keuze voor de luchtfoto van 17 april 2020 is gemaakt vanwege de goede zichtbaarheid van het patroon en de ruimtelijke dekking over vier van de vijf spijkermetinglocaties).

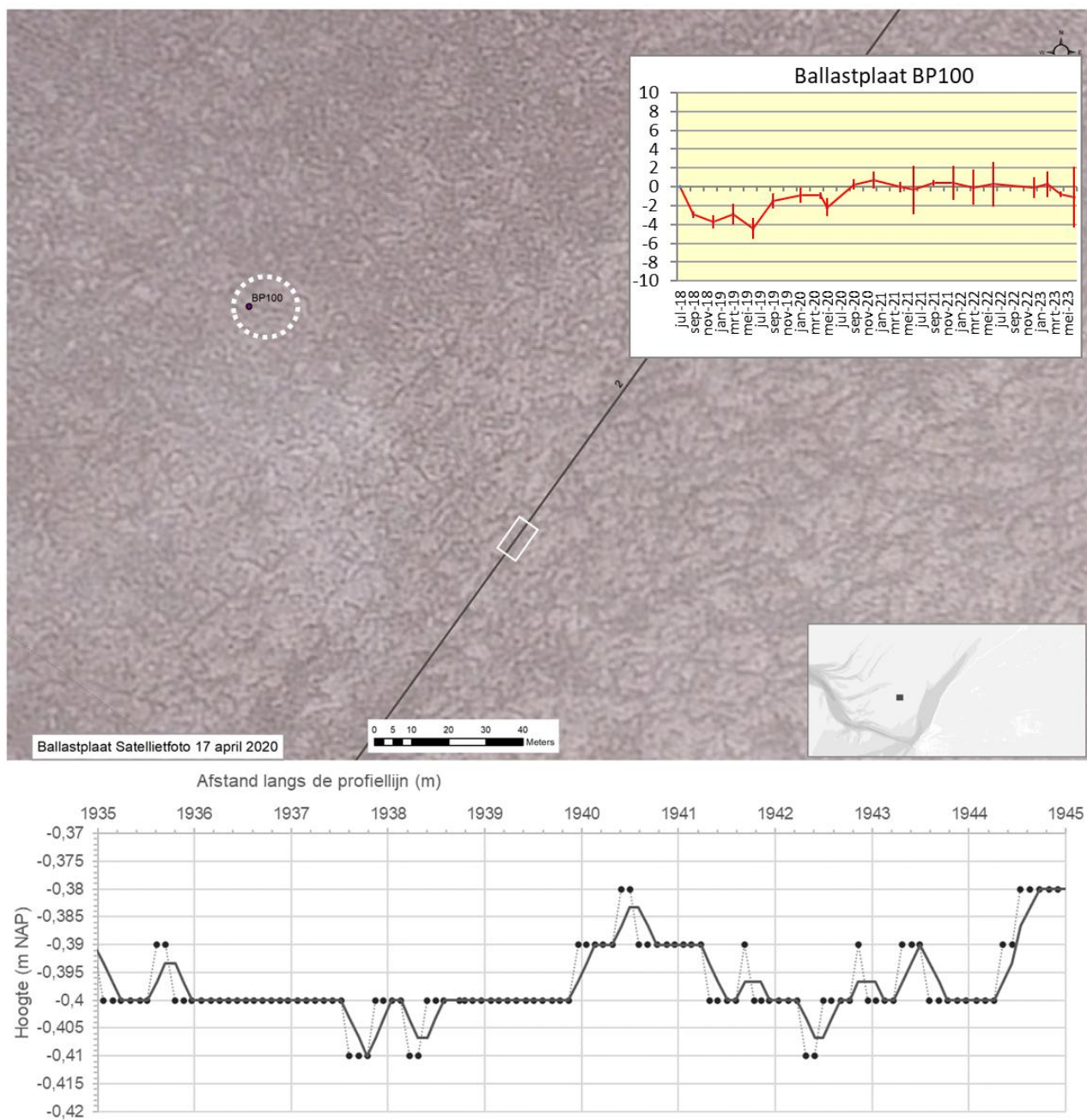


Figuur 9-205 Kaart met de ligging van de spijkermetingen ten opzichte van de raaimetingen in profiellijn 2.

De interpretatie van de verschillende onderdelen in de figuren wordt uitgelegd aan de hand van Figuur 9-206. Zoals gezegd laat de luchtfoto patronen zien in de bodem, door lichte en donkere kleuren. Vanwege het patroon dat geulvormen laat zien in de donkergrijze kleuren aan de linkerbovenzijde interpreteren we de donkere kleur als iets dieperliggend en de lichte keuren als iets droger. In de dwarsdoorsnede is zichtbaar dat er variaties in de bodemhoogte aanwezig zijn van een tot twee centimeter over afstanden van decimeters tot meters. Deze hoogtevariates in de raaimeting komen overeen met de hoogtevariatie die worden geobserveerd bij veldbezoeken (waarvan een voorbeeld is getoond in *Figuur 9-204*) en die zichtbaar zijn in de luchtfoto. Ten slotte geeft de grafiek met resultaten van de spijkermeting ook veel informatie. In de eerste plaats kan de hoogtevariatie rond iedere meting medeverklaard worden door de aanwezigheid van kleine hoogteverschillen over afstanden binnen 1 m (de onderlinge afstand van de vier spijkers die per locatie zijn geplaatst). De andere verklarende factor is de meetfout die optreedt. De hoogteverschillen tussen de opeenvolgende spijkermetingen geven enerzijds een indicatie over de ontwikkelingen van de patronen in de bodem, die kunnen verplaatsen en waarvan de hoogte kan veranderen. Anderzijds geven de opeenvolgende metingen inzicht in eventuele trendmatige sedimentatie of erosie. In het voorbeeld van BP in Figuur 9-206 vindt enige sedimentatie plaats tussen de eerste en de tweede meting, gevolgd door een periode van erosie van ruwweg 4 cm tot medio 2019. Daarna vindt opnieuw sedimentatie plaats, die ongeveer 4 cm bedraagt, wederom gevolgd door erosie van iets meer dan 2 cm. Vanaf mei 2020 si dan opnieuw sprake van 4 cm sedimentatie tot medio 2021, opnieuw gevolg door erosie tot medio 2022, waarna sedimentatie optreedt, gevolg door een relatief stabiele periode. De BP20 laat over de hele meetreeks een kleine netto sedimentatie zien.

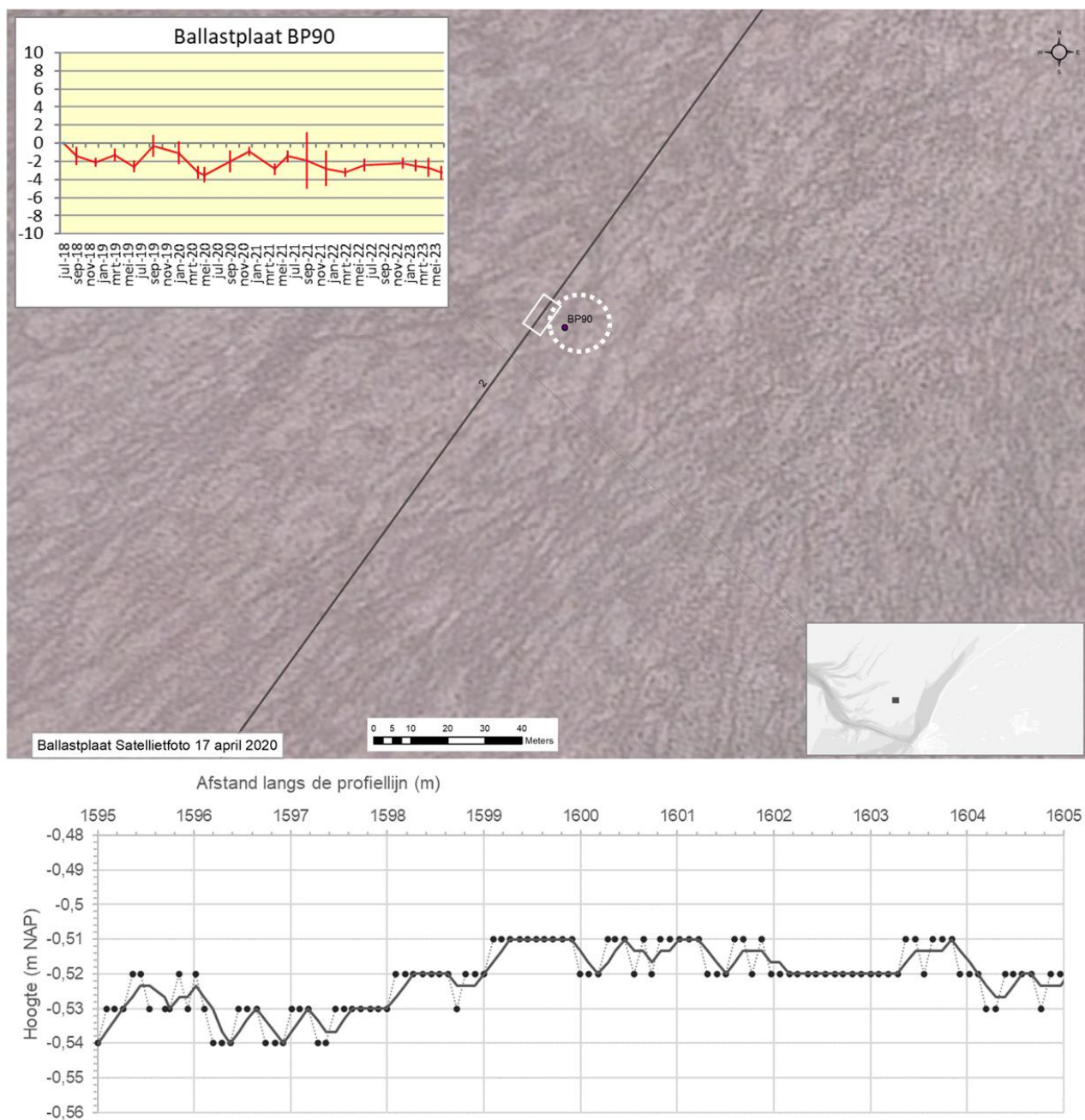


199



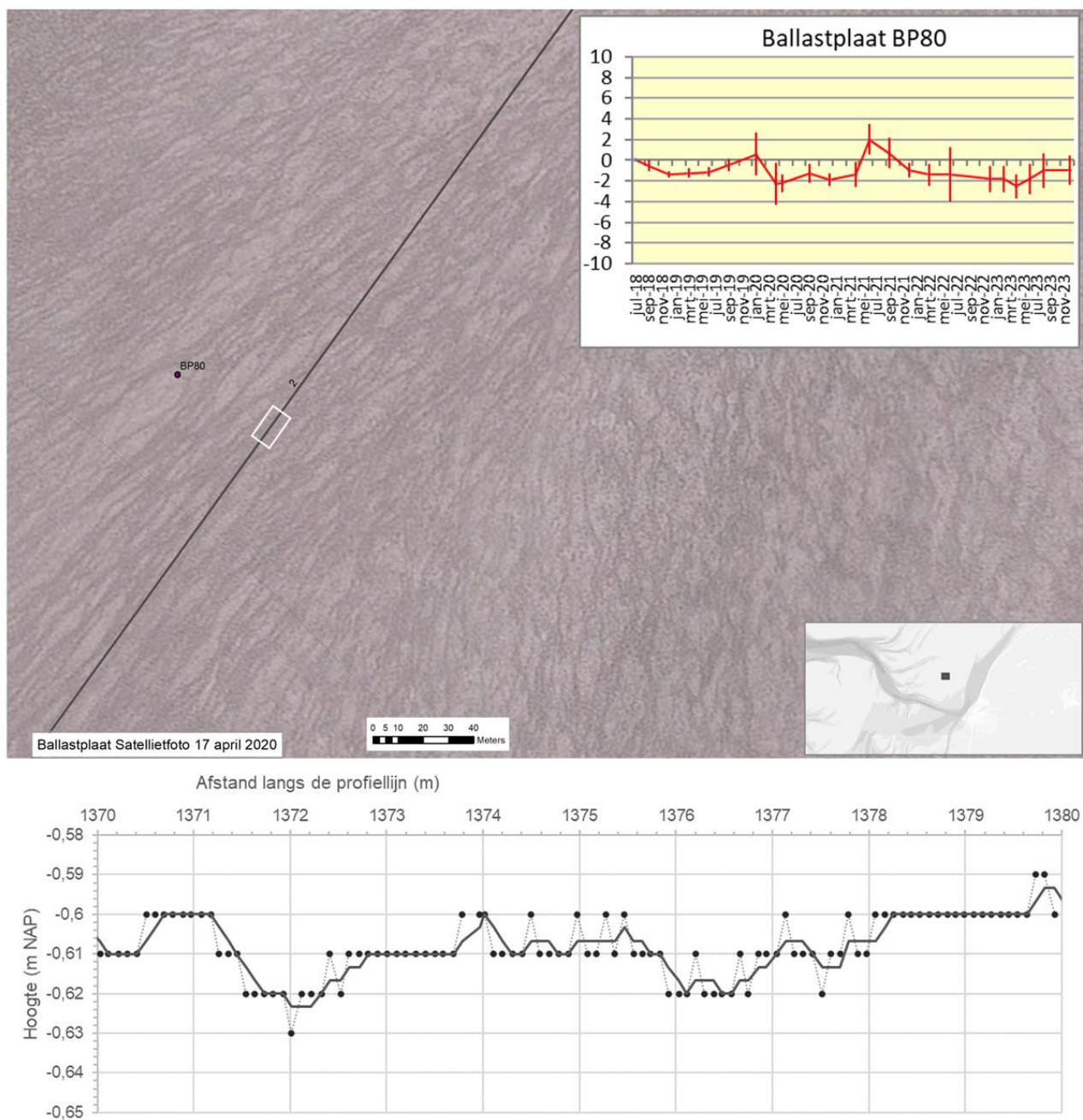
Figuur 9-207 Luchtfoto (17 april 2020) met de locatie van spijkermeting BP100 en raai 2, met daarbij rechtsboven de grafiek met de resultaten van de spijkermetingen bij BP100 en onder de dwarsdoorsnede van raai 2 van de raaimeting uit 2023.

De patronen in de luchtfoto ter plaatse van BP90, zoals getoond in Figuur 9-208 zijn ook weer anders dan in de twee voorgaande figuren. De hoogtevariatie die optreedt in de raaimeting is groter dan in BP100 en komt meer overeen met die in BP20. In de spijkermeting is sprake van beperkte standaarddeviatie en relatief weinig erosie en sedimentatie in de opeenvolgende metingen. Over de hele periode vertonen de spijkermetingen een kleine erosie bij BP 90.



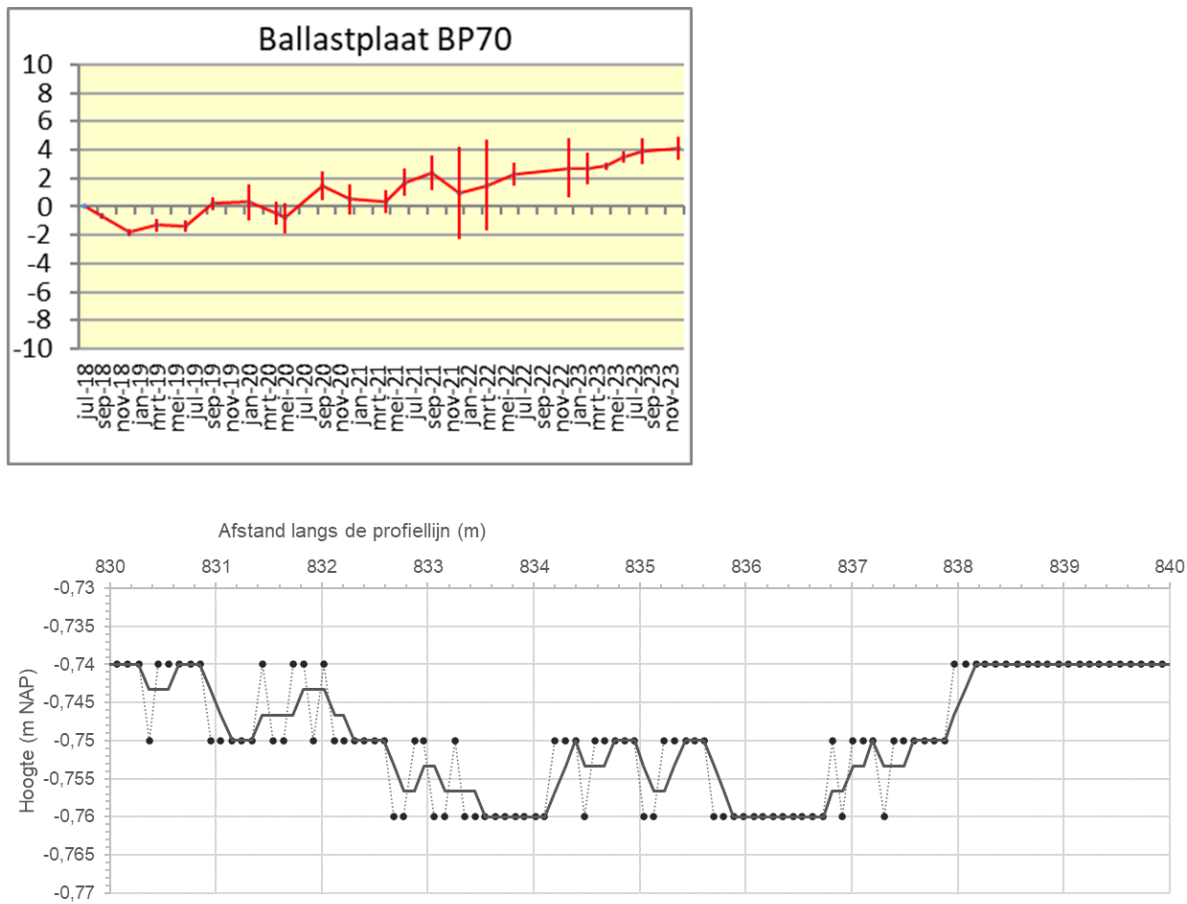
Figuur 9-208 Luchtfoto (17 april 2020) met de locatie van spijkermeting BP90 en raai 2, met daarbij linksboven de grafiek met de resultaten van de spijkermetingen bij BP90 en onder de dwarsdoorsnede van raai 2 van de raaimeting uit 2023.

Gezien de variatie die tot nu toe optreedt in de patronen in de luchtfoto's is het niet verassend dat ook bij BP80 sprake is van een ander patroon. De variaties in de hoogte in de raaimeting bedragen weer steeds maximaal 1 cm over afstanden van decimeters tot meters. De spijkermetingen laten een beperkte standaarddeviatie zien en ook relatief weinig erosie en sedimentatie. Over de complete reeks van de spijkermetingen is vrijwel geen sprake van erosie of sedimentatie.



Figuur 9-209 Luchtfoto (17 april 2020) met de locatie van spijkermeting BP80 en raai 2, met daarbij rechtsboven de grafiek met de resultaten van de spijkermetingen bij BP80 en onder de dwarsdoorsnede van raai 2 van de raaimeting uit 2023.

Ten slotte wordt gekeken naar de raai in de omgeving van BP70. Een luchtfoto is hier niet beschikbaar, omdat dit deel van de plaat niet droog lag op het moment van de opname, zodat alleen naar de raai- en de spijkermetingen wordt gekeken. In de bodemhoogte in raaimetingen zijn beperkte hoogtevariëaties zichtbaar die optreden over meters. Rond de spijkermeting is de standaarddeviatie over het algemeen beperkt, met uitzondering van de periode eind 2021, begin 2022. De omvang van de erosie en sedimentatie in opeenvolgende metingen is beperkt. Van de getoonde spijkermetingen is dit meting met de meest uitgesproken trendmatige sedimentatie over de hele periode.



Figuur 9-210 Grafiek met de resultaten van de spijkermetingen bij BP70 en onder de dwarsdoorsnede van raai 2 ter plaatse van de spijkermeting van de raaimeting uit 2023.

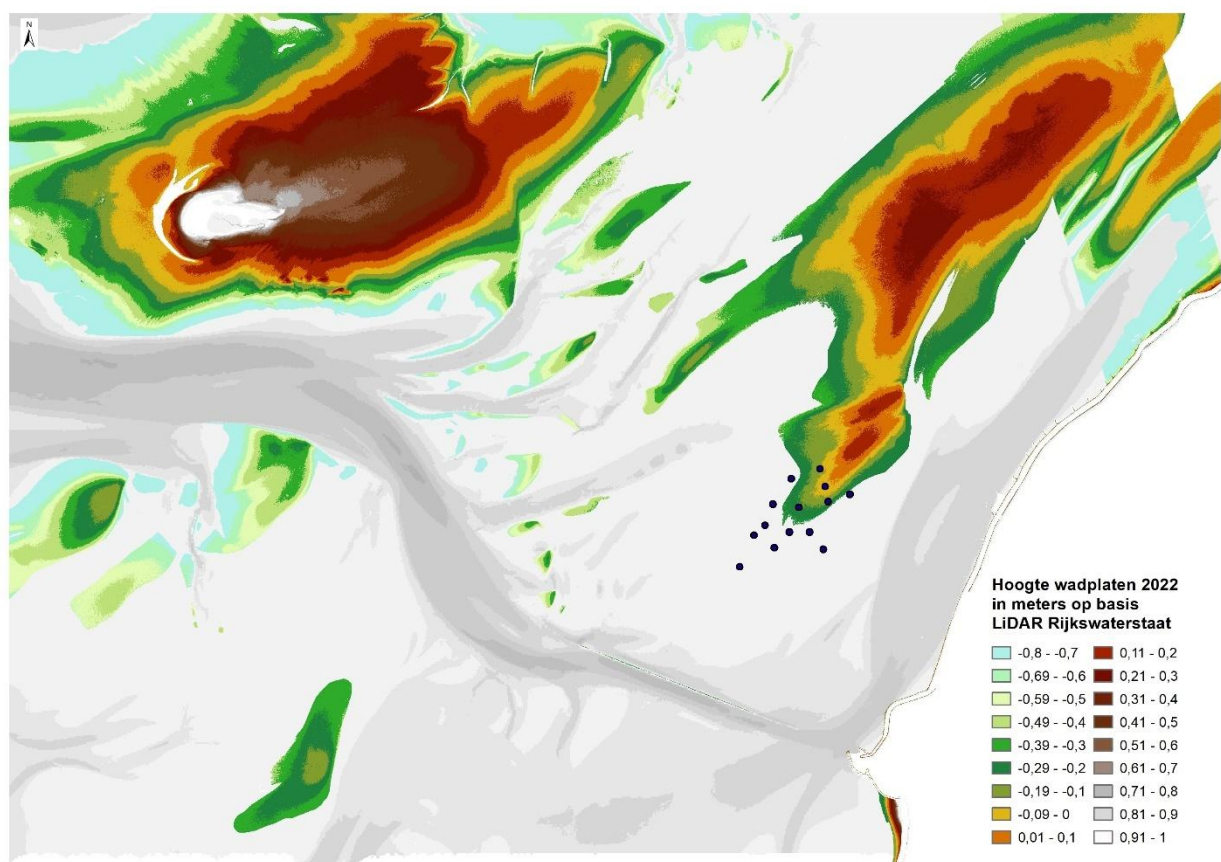
Ter illustratie van de variatie die optreedt in de patronen op de Ballastplaat zijn in Figuur 9-211 twee opnames boven elkaar geplaatst. Duidelijk is dat de type structuren zowel in de ruimte varieert over de Ballastplaat, als in de tijd verandert. De aanwezigheid van deze bodemvormen verklaren de waargenomen bandbreedte rond raaimetingen en de verandering erin verklaren een deel van de sedimentatie en erosie in de opeenvolgende spijkermetingen.



Figuur 9-211 Satellietfoto's van de Ballastplaat van 7 juni 2018 en 17 april 2020.

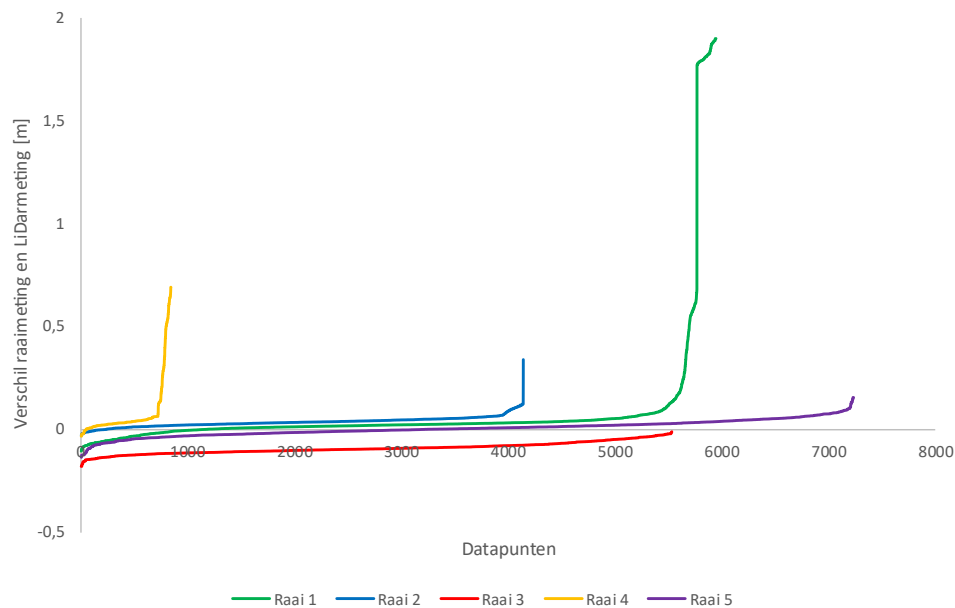
LiDAR opname 2022

De vaklodingen worden samengesteld op basis van single-beam echolodungen van de diepte (vergelijkbaar met de techniek die wordt toegepast voor de raaimetingen uit het voorliggende rapport) en LiDAR metingen van de hoogte (zie hoofdstuk 2 voor een beschrijving van de technieken). Deze gegevens worden door Rijkswaterstaat gecombineerd tot het vaklodingengrid van 20 m x 20 m. De LiDAR hoogtemeting heeft vanwege de aard van de meting een veel gedetailleerder grid, in dit geval is het grid 2 m x 2 m. Met een gedetailleerd grid worden ook kleinere structuren op de droogvallende platen gemeten. Het LiDAR hoogtengrid van de vakloding 2022 is in april 2023 beschikbaar gekomen voor analyse en weergegeven in Figuur 9-212. Op basis van deze kaart wordt vastgesteld dat de ruimtelijke dekking van de droogvallende wadplaten in de opname van 2022 beperkt is. Dit was ook het geval voor de LiDAR metingen van 2016.



Figuur 9-212 Kaart met de hoogte van de wadplaten, zoals in 2022 ingemeten met LiDAR voor de vaklodingen. De zwarte stippen zijn de locaties van de Spijkermetingen op de Ballastplaat.

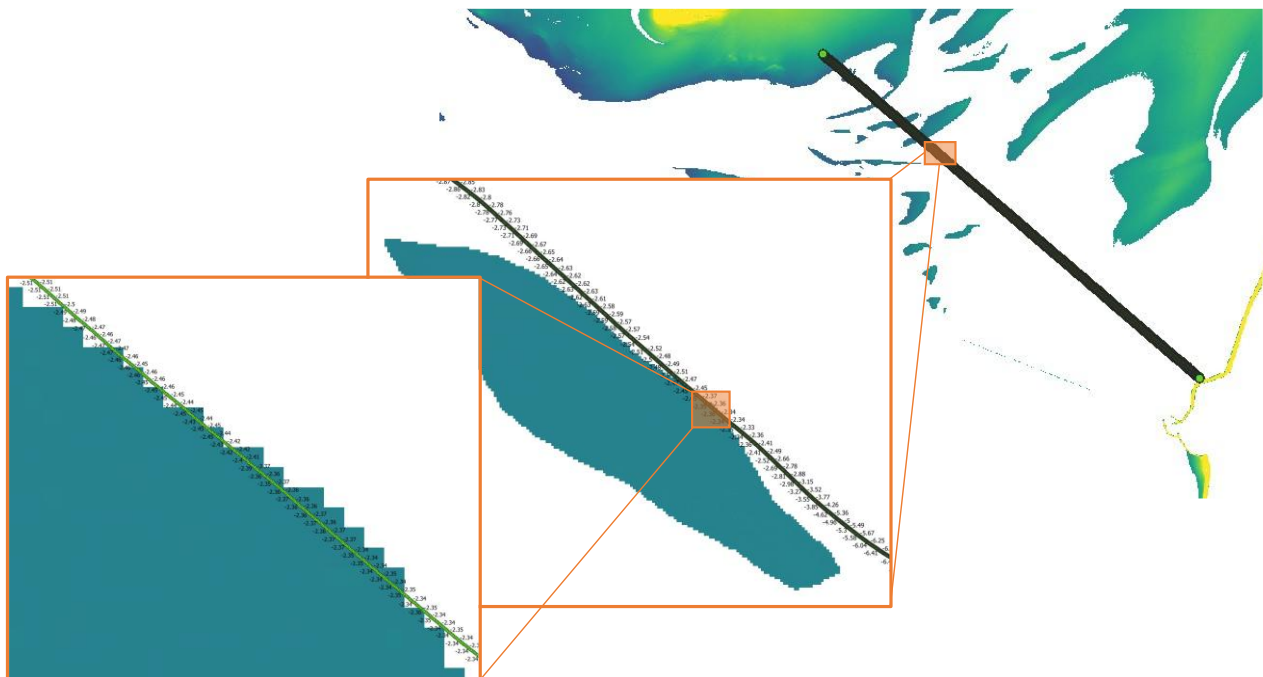
Een vergelijking van de hoogte van de raaimetingen en de LiDarmetingen is weergegeven in Figuur 9-213. Hierbij is de LiDarmeting afgetrokken van de raaimeting. Een positieve waarde betekent dat de hoogtemeting van de raaimetingen hoger zijn dan die van de LiDarmeting. Opvallend zijn de grote waarden te zien in raai 1. Deze geven hoogteverschillen tot 2 meter aan.



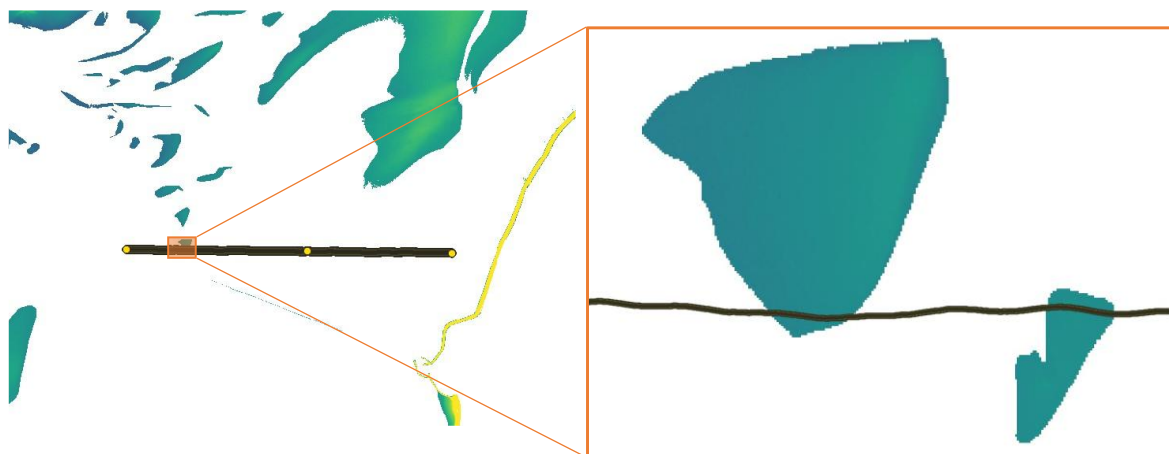
Figuur 9-213: Vergelijking raaimetingen en LiDarmetingen 2022, inclusief extreme waarden.

Extreme waarden

Deze punten waar de extreme verschillen (tot 2 meter verschil) zijn gemeten zijn zoals te zien in Figuur 9-214 gemeten aan de rand van een relatief kleine blootliggende plaat. In deze rapportage is eerder al geschreven over de morfologische processen die plaatsvinden in de Waddenzee. Het verschuiven van geulen en platen is hierin toegelicht. Juist aan de randen van geulen en platen is het mogelijk dat extreme hoogteverschillen worden gemeten als gevolg van deze morfologische processen. De extremere waarden van raai 4 zijn op een soortgelijke wijze te verklaren. Tijdens de LiDARmeting zijn minder dan 1000 meetpunten gemeten die overlappen met de raaimeting. Hierdoor geeft deze meting ons minder informatie over de overeenkomsten dan de andere raaien. Daarnaast vallen deze metingen in de ruimte over twee relatief kleine, beweeglijke platen te zien in Figuur 9-215.



Figuur 9-214: Ligging van de extreme meetwaarden voor raai 1. De extreme waarden zijn precies op de rand van een relatief kleine blootliggende plaat gemeten. Het is niet ongebruikelijk dat hier grotere hoogteverschillen optreden als gevolg van natuurlijke morfologische processen.



Figuur 9-215: Ligging van de extreme meetwaarden voor raai 4. De extreme waarden zijn gelegen op de randen van twee relatief kleine blootliggende plaat gemeten.

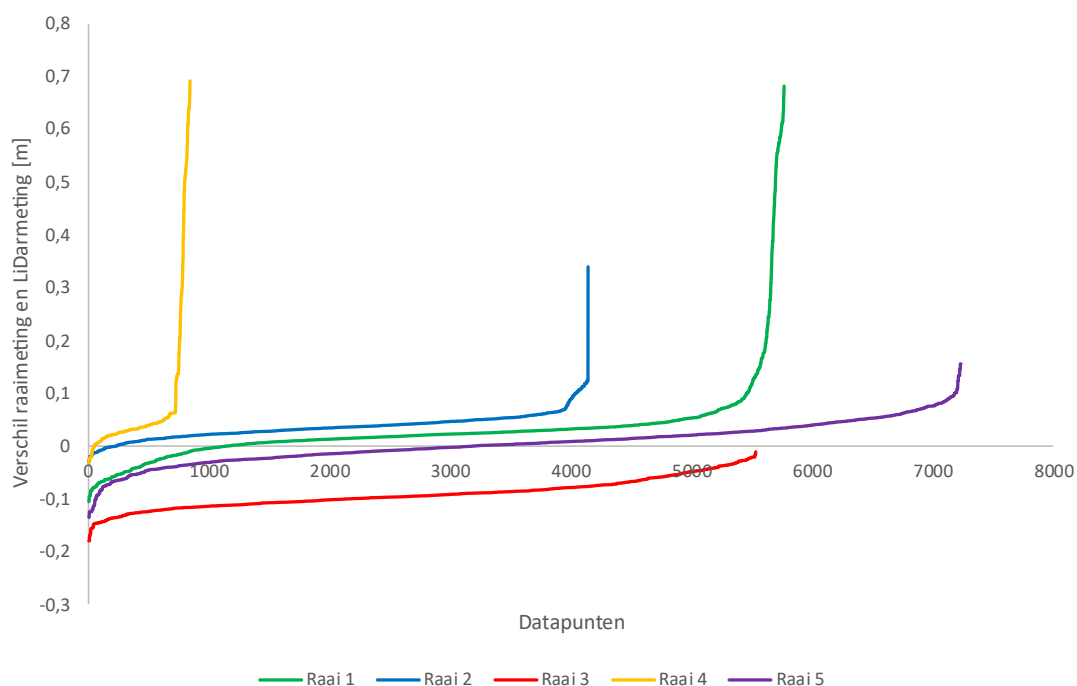
Vergelijking metingen

Een belangrijke factor bij de vergelijking van de metingen is het moment dat meting plaatsvindt. De raaimetingen van 2023 zijn genomen op 23 en 24 mei 2022. De LiDarmeting is gedaan in november 2022. Tussen de metingen zit enkele maanden. Hierdoor is het niet ondenkbaar dat er plaatselijk significante verschillen kunnen bestaan tussen de raaimeting en de LiDarmeting.

Wanneer de extreme waarden boven de 1m hoogteverschil uit de vergelijking worden weggelaten ontstaat een verdeling zoals weergegeven in Figuur 9-216. Hierin is bij elke raai een vergelijkbare verdeling te herkennen. Het merendeel van de metingen ligt binnen de -0,1m en 0,1 meter. Dit houdt in dat de raaimetingen en de LiDarmetingen bij het grootste deel van de meetpunten geen grote verschillen laat zien.

Te zien is ook dat de verdelingen hogere verschillen laten zien aan de positieve kant dan aan de negatieve kant. Een reden hiervoor is dat de LiDarmeting alleen boven de waterlijn meet en de raaimeting alleen onder water meet. Dit zorgt ervoor dat er weinig datapunten beschikbaar zijn die zowel een LiDarmeting als een raaimeting hebben om te vergelijken. De punten die dit wel hebben zijn gemiddeld hoger gelegen. Zo zijn er alleen platen meegenomen in deze vergelijking en geen geulen.

Concluderend kan worden gesteld dat de hoogteverschillen een verwachte verdeling hebben waarbij het merendeel van de metingen binnen acceptabele waarden vallen. De extremere waarden zijn door hun locatie te verklaren. Deze extremen geven grote, maar geen schokkende resultaten.



Figuur 9-216: Vergelijking raaimetingen en LiDarmetingen 2022.

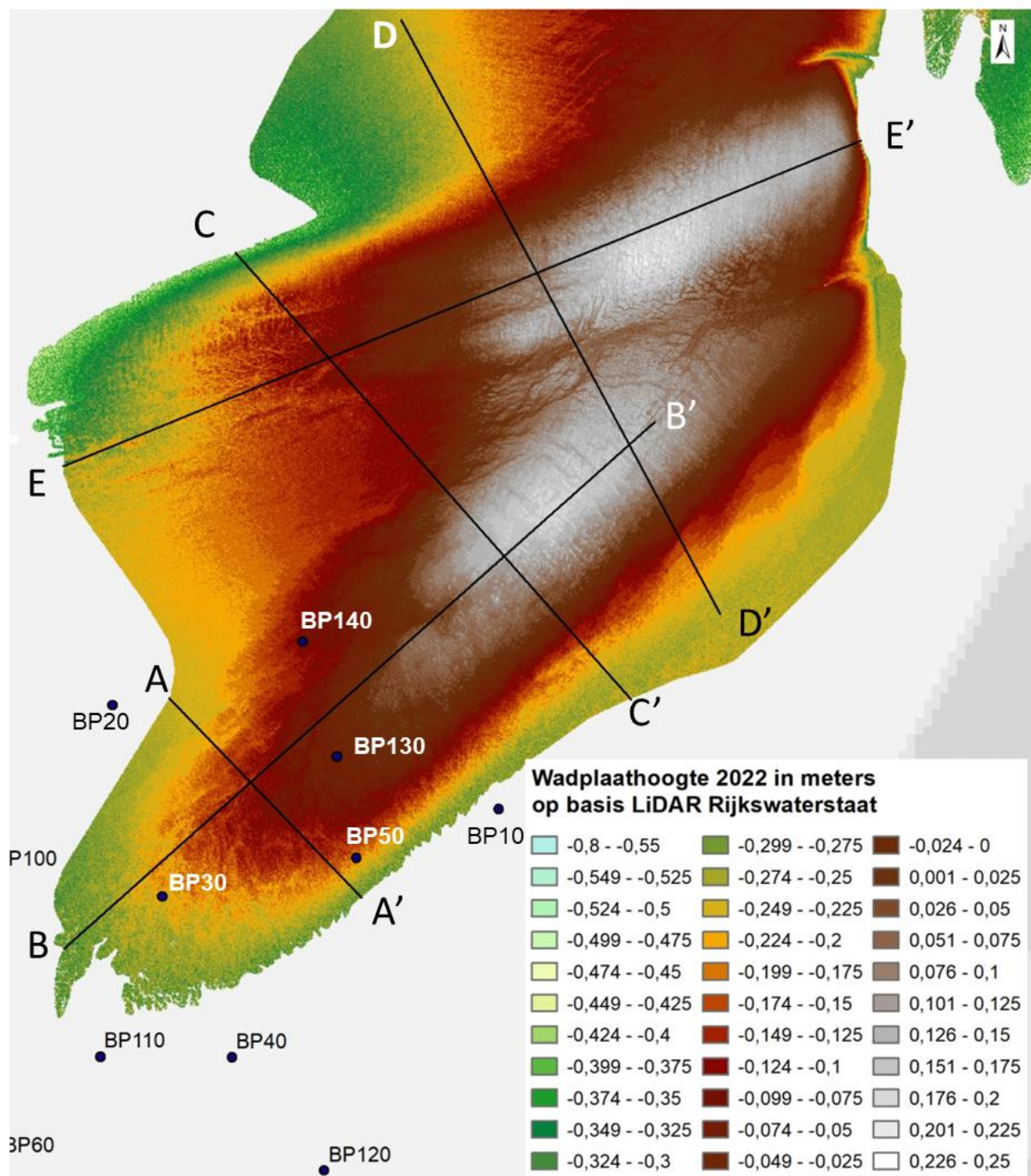
Patronen in de LiDAR hoogtemetingen

De kleine hoogtevariëaties die op een schaal van decimeters tot meters worden gemeten met de raaimetingen zijn gerelateerd aan de hoogtevariëatie die worden waargenomen in het veld en die ook in luchtfoto's zichtbaar zijn. In theorie zijn de gebiedsdekkende LiDAR hoogtemetingen geschikt om dergelijke hoogtevariëaties te meten. In Figuur 9-217 zijn de LiDAR-hoogtemetingen weergegeven met een indeling in hoogteklasse die veel detail laat zien in de hoogteligging. Om de omvang van die variëatie te illustreren zijn dwarsdoorsneden AA' en DD' opgenomen in respectievelijk Figuur 9-218 en Figuur 9-219.

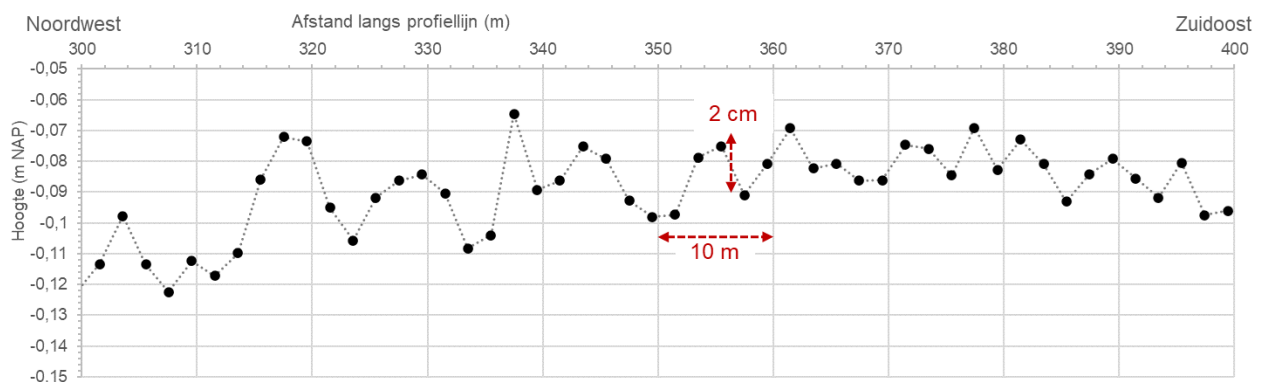
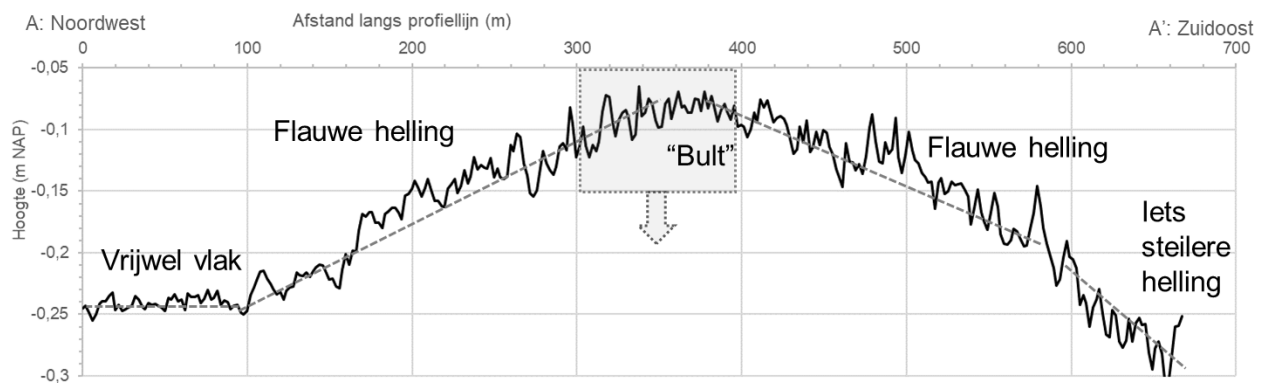
In de totale dwarsdoorsnede AA' aan de bovenzijde van Figuur 9-218 is de grootschalige structuur zichtbaar, die is aangeduid met "Bult", met aan beide zijde flauwe hellingen die in het lagere bereik overgaan in een vrijwel vlak gebied aan de noordwestzijde en een steilere helling aan de zuidoostzijde. Over de hele dwarsdoorsnede zijn variëaties in de bodemhoogte, met een lengte van enkele meters en een hoogte van enkele centimeters tot iets meer dan 5 centimeter. In de detailuitsnede van de dwarsdoorsnede aan de

onderzijde van Figuur 9-218 is zichtbaar dat deze hoogtevariaties steeds een beperkt aantal meetpunten omvatten. Dat is het gevolg van het raster van 2m x 2m waarin de LiDAR metingen zijn opgeslagen. Het betekent dat de variaties die mogelijk aanwezig is op een kleiner schaal, waarvoor aanwijzingen aanwezig zijn in de raaimetingen, in de patronen in luchtfoto's en in veldwaarnemingen niet zichtbaar zijn in de LiDAR hoogtemetingen. Met andere woorden, in raai AA' lijken bodemvormen aanwezig in de raai, maar deze corresponderen waarschijnlijk niet met de bodemvormen die in het veld aanwezig zijn.

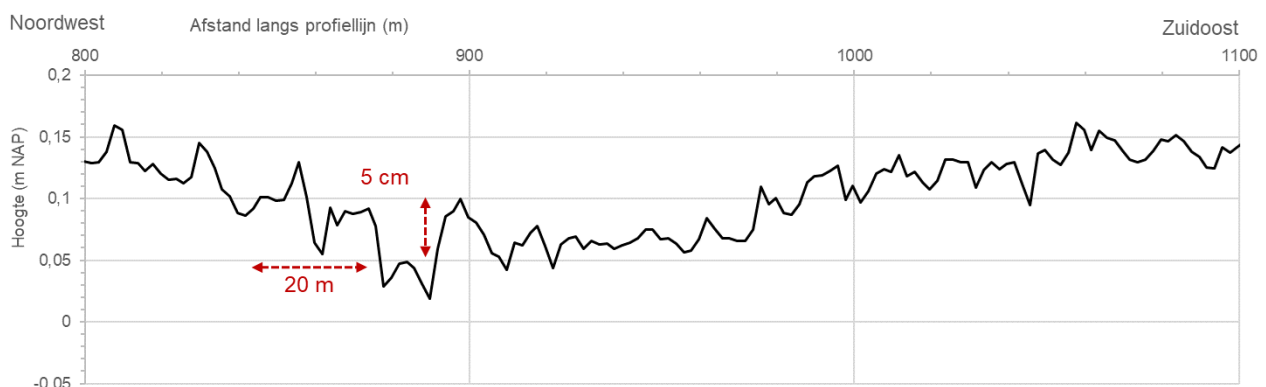
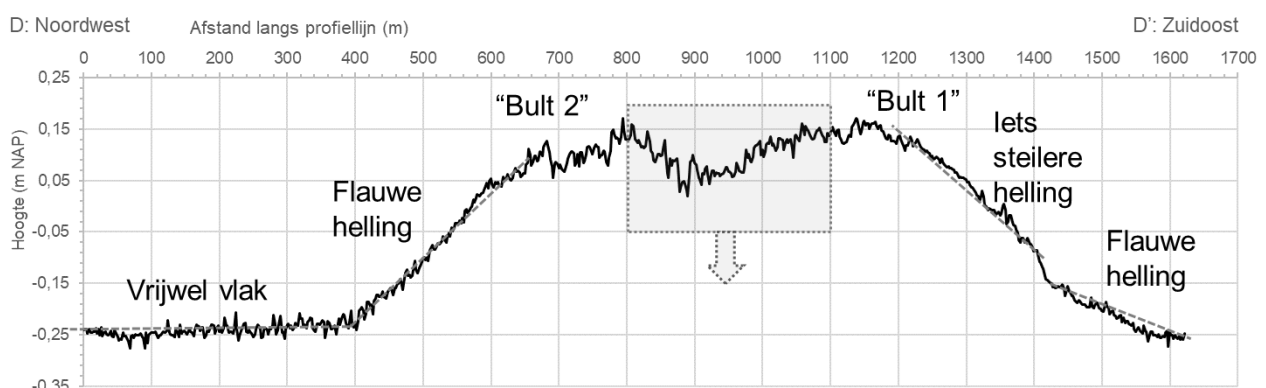
In de totale dwarsdoorsnede DD' aan de bovenzijde in Figuur 9-219 is te zien dat hier twee hoge delen aanwezig op de Ballastplaat (aangeduid met "Bulten"), die van elkaar worden gescheiden door een lager liggend deel. In de kaart in Figuur 9-217 is in dit lager liggende gebied zichtbaar dat er een patroon van vlechtende geultjes aanwezig is. In de dwarsdoorsnede in Figuur 9-219 corresponderen de dieper ingesneden gebiedjes rond 880 m, die ook zichtbaar zijn in de dwarsdoorsnede, met deze geultjes.



Figuur 9-217 Kaart met de hoogte van de wadplaten, zoals in 2022 ingemeten met LiDAR. De zwarte stippen zijn de locaties van de Spijkermetingen op de Ballastplaat. In de kaart zijn 5 profiellijnen gemarkeerd.



Figuur 9-218 Boven: Hoogte van de Ballastplaat volgens de LiDAR 2022 in dwarsprofiel AA' (locatie in Figuur 9-217) van noordwest naar zuidoost. Onder: Detail van 100 meter (bron gegevens Rijkswaterstaat).



Figuur 9-219 Boven: Hoogte van de Ballastplaat volgens de LiDAR 2022 in dwarsprofiel DD' (locatie in Figuur 9-217) van noordwest naar zuidoost. Onder: Detail van 300 meter (bron gegevens Rijkswaterstaat).