

Wadplaat sedimentatie bij Ameland 2000-2022



Johan Krol

Nes, februari 2023

Inhoud

Samenvatting.	3
Inleiding	4
1. Materiaal en methode	5
2. Onderzoeksgebieden en meetstations	8
3.1 Bodemdalingsgebied Oost-Ameland	8
3.2 Referentiegebied West-Ameland.	9
3.3 Referentiegebied Piet Scheveplaat	10
3. Resultaten bodemdalingsgebied Oost-Ameland	11
4.1 Uitwerking per meetstation	11
4.2 Bodemdaling wadplaten Oost-Ameland	11
4.3 Sedimentatie op wadplaat Oost-Ameland	13
4.4 Plaatsedimentatie in relatie tot de tijd	14
4.5 Wadplaats sedimentatie in relatie tot hoogteligging	16
4.6 Wadplaats sedimentatie in relatie tot bodemdaling	17
4. Resultaten referentiegebied West-Ameland	20
5.1 Uitwerking per meetstation	20
5.2 Sedimentatie alle meetstations West-Ameland	20
5.3 Plaats sedimentatie in relatie tot tijd	20
5.4 Plaats sedimentatie in relatie tot hoogteligging	22
5. Resultaten referentiegebied Piet Scheveplaat	23
6.1 Uitwerking per meetstation	23
6.2 Sedimentatie alle meetstations Piet Scheveplaat	23
6.3 Plaats sedimentatie in relatie tot tijd	24
6.4 Plaats sedimentatie in relatie tot hoogteligging	24
6. Discussie	26
7. Conclusies (2000-2022)	28
Literatuur	29
Bijlage A. Meetdata Oost-Ameland.	30
Bijlage B. Meetdata West-Ameland.	31
Bijlage C. Meetdata Piet Scheveplaat.	32
Bijlage D. Grafieken meetstations Oost-Ameland	33
Bijlage E. Grafieken meetstations West-Ameland.	36
Bijlage F. Grafieken meetstations Piet Scheveplaat.	37

Adres Auteurs:

Natuurcentrum Ameland
Postbus 60
9163 ZM Nes Ameland

Mail: johankrol@amelandermusea.nl
Phone: (+)31 0519542737
Mobile: (+)31 0651932645

Disclaimer: In deze rapportage worden de resultaten van een onafhankelijk onderzoek behandeld. Natuurcentrum Ameland heeft een adviserende rol en spreekt zich niet uit over de wenselijkheid van het plan waarop dit onderzoek betrekking heeft. Dit onderzoek is zo zorgvuldig en nauwkeurig mogelijk uitgevoerd. Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend.

Samenvatting.

Ten gevolge van aardgaswinning onder Oost-Ameland vindt sinds 1986 diepe daling plaats in het nabijgelegen deel van de Waddenzee. Het effect van de bodemdaling kan worden gecompenseerd door sedimentatie, maar het kan ook versterkt worden door erosie. Om vast te kunnen stellen hoe veel sedimentatie en/of erosie er in dit gebied optreedt zijn op wadplaten meetstations ingericht. In het gebied ten zuiden van Oost-Ameland wordt de sedimentatie aan het wad oppervlak sinds 2000 gemeten op 17 locaties. In 2006 is een gebied ten zuiden van West-Ameland met 7 meetstations aan het meetprogramma toegevoegd als referentiegebied zonder bodemdaling. In 2014 is als tweede referentiegebied de Piet Scheveplaat toegevoegd met 10 meetstations.

Na een reeks van meetjaren kan een goede indicatie verkregen worden van lokale dynamiek en het effect van diepe daling op de sedimentatie van een groot wadplaatgebied van ongeveer 8 km lengte langs de kust van Oost-Ameland. Daarnaast kunnen de resultaten vergeleken worden met de, zij het kortere, meetreeksen in de beide referentiegebieden.

De berekende daling van de diepe ondergrond (sinds het begin van de gaswinning in 1986) in het onderzoeksgebied Oost-Ameland varieert van ruim 37 cm (ca. 10 mm/j) bij de kustlijn van Het Oerd tot ruim 3 cm (< 1 mm/j) op het wad ten zuiden van Buren.

Indien het bodemdalingsgebied Oost-Ameland als geheel wordt genomen is er slechts bij 2 meetstations sprake van enige erosie in de periode 2000-2022 en is er sprake van een gemiddelde sedimentatie van 4,8 mm/jaar. De gemiddelde diepe daling bij deze meetstations bedraagt 3,9 mm/jaar.

In het referentiegebied (geen bodemdaling) bij West-Ameland (2006-2022) wordt een gemiddelde sedimentatie gemeten van 5,2 mm/jaar en in het referentiegebied Piet Scheveplaat (2014-2022) is sprake van 7,5 mm/j sedimentatie.

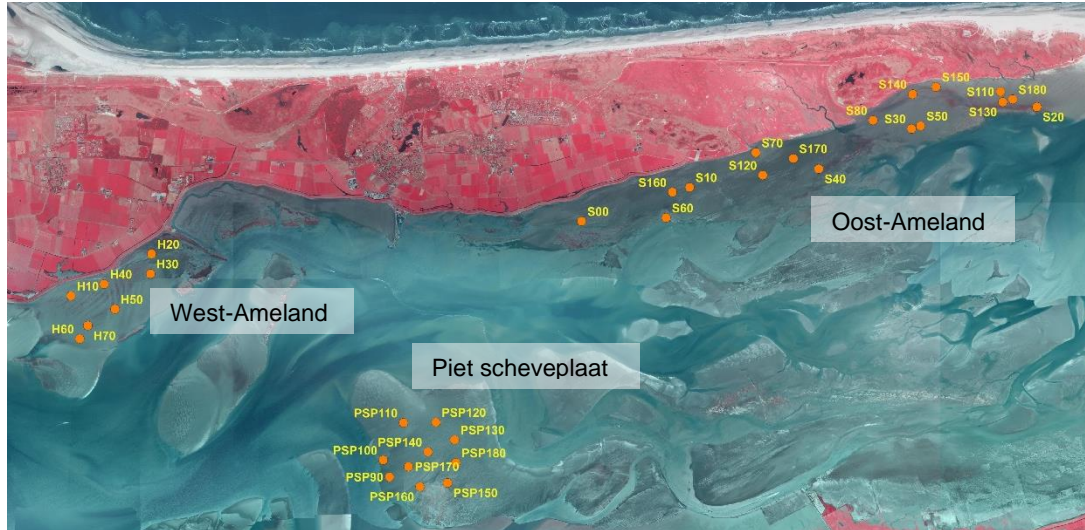
Slechts in een smalle strook van ongeveer 3 km lengte vlak langs de kust bij Het Oerd, waar de bodemdaling maximaal is, is de sedimentatie onvoldoende om de diepe daling volledig te compenseren. De netto maaiveldverlaging bedraagt daar ongeveer 4 mm/j. De oorzaak hiervan is niet met zekerheid aan te geven.

Inleiding

Ten gevolge van aardgaswinning onder Oost-Ameland vindt sinds 1986 diepe daling plaats in het nabijgelegen deel van de Waddenzee (Ketelaar, in de Vlas, 2011; Piening, in de Vlas 2017). Om de mogelijke effecten te onderzoeken is een uitgebreid monitoringprogramma opgesteld. In dit rapport worden de resultaten van de monitoring betreffende de wadplaatsedimentatie behandeld en geëvalueerd. Het effect van de bodemdaling kan worden gecompenseerd door sedimentatie, maar het kan ook versterkt worden door erosie. Om vast te kunnen stellen hoeveel sedimentatie en/of erosie er in het bodemdalingsgebied optreedt zijn er meetstations ingericht. Tevens zijn, als referentie, ook meetstations ingericht op twee wadplaten zonder bodemdaling. Door de steeds langere reeks van meetjaren wordt steeds beter inzicht verkregen in de lokale dynamiek en de resultante van diepe daling en sedimentatie in een wadplaatgebied van ongeveer 8 km lengte langs de kust van Oost-Ameland. Daarnaast kunnen de resultaten vergeleken worden met de (iets kortere) meetreeksen in de referentiegebieden. Droogvallende wadplaten vormen een uiterst belangrijke schakel in diverse voedselketens in de Waddenzee. Het best zichtbare voorbeeld daarvan is het intensieve gebruik door vogels, waarvan veel soorten in grote aantallen lopend foerageren op de wadplaten (Kersten et al., in de Vlas 2017). Verlaging van wadplaten kan van invloed zijn op de leefomstandigheden van bodemdieren en de foerageeromstandigheden van wadvogels.

1. Materiaal en methode

In het gebied ten zuiden van Oost-Ameland wordt de sedimentatie aan het wad oppervlak sinds 2000 gemeten op 17 locaties (figuur 1 en 7). In 2006 is een gebied ten zuiden van West-Ameland met 7 meetstations aan het meetprogramma toegevoegd als referentiegebied zonder bodemdaling (figuur 1 en 8). In 2014 is als tweede referentiegebied de Piet Scheveplaat toegevoegd met 10 meetstations (figuur 1 en 9).



Figuur 1. Een overzicht van het onderzoeksgebied bij Oost-Ameland en de beide referentiegebieden West-Ameland en Piet Scheveplaat, met de meetstations op een infrarood luchtfoto ingetekend.

Om sedimentatie aan het wadoppervlak te kunnen meten is een methode ontworpen waarbij grondankers tot ongeveer 90 cm in de bodem worden geschroefd. Aanvankelijk werden hiervoor grote bouwmarktschroeven gebruikt, later is overgestapt op een nog zwaardere eigenbouw schroef als grondanker (figuur 2). Een meetstation op het wad bestaat uit 4 grondankers (figuur 3) die in een vierkant rond een middelpuntmarkering staan. De afstand van het grondanker tot het middelpunt is ruim 1 meter in de richting van de vier windstreken. Ieder meetstation is met een hand-GPS ingemeten. Vanaf het grondanker loopt een dyneema (niet rekbaar) touw naar het oppervlak en steekt daar ongeveer 40 cm uit met aan het eind een markering en een aluminium ring die gebruikt wordt om de afstand tot de bodem te meten (figuur 6) en daarmee ook de verandering ten opzichte van de vorige meting te bepalen. Dit dyneema materiaal is langdurig (2 jaar) in zout water van het aquarium in het Natuurcentrum Ameland ondergedompeld en regelmatig gemeten. Hierbij is geen enkele krimp of rek vastgesteld. Teneinde een check op de stabiliteit van de ondergrondse ankers te hebben zijn ze twee aan twee waterpas geplaatst. Dit wordt gedaan door de bovengrondse meetringen waterpas aan de dyneema lijnen te bevestigen (figuur 4) en in de loop van de tijd te blijven meten of dit systeem waterpas blijft (figuur 5). Dit is bij vrijwel alle stations het geval. Een enkele keer ontstaat er na verloop van tijd (soms jaren) een klein verschil van 1-2- cm. Dat wordt bij de verwerking van de data gecompenseerd.

Aanvankelijk werd in plaats van een aluminium ring een plastic label gebruikt maar deze zijn minder duurzaam en reageren niet op een metaaldetector. Indien de afleesring/label niet aan het oppervlak zichtbaar is wordt een metaaldetector gebruikt om deze onder het oppervlak op te sporen waarna de dyneema lijn met een haakje uit het sediment wordt gehaald. De metingen vinden 6 maal per jaar plaats waarbij gestreefd wordt naar metingen in de laatste decade van februari, april, juni, augustus, oktober en december. De meetstations worden tijdens laagwater lopend over het wad bezocht. Indien een label van een grondanker langere tijd onvindbaar is, wordt een nieuw grondanker geplaatst en telt de eerste meetwaarde na tenminste 2 maanden weer mee. De methode werkt prima op wadplaten die weinig dynamisch zijn en de sedimentatie of erosie kan tweemaandelijks op millimeterniveau (figuur 6) worden gevolgd. Hierbij wordt een goede indruk gekregen van de sedimentatie in de tijd waarbij vooral ook duidelijk wordt wat lokaal de natuurlijke variatie is. Naarmate de meetreeksen zich uitstrekken over een langere periode winnen ze aan kracht.

Indien een gebied erg dynamisch is en er over een periode van enkele maanden niveauveranderingen in een grootteorde van een decimeter plaatsvinden raken de meetringen en touwtjes snel onvindbaar. In een dergelijk gebied kunnen beter andere methodes worden ingezet om sedimentatie/erosie te volgen in de tijd. In het onderzoeksgebied Oost-Ameland is

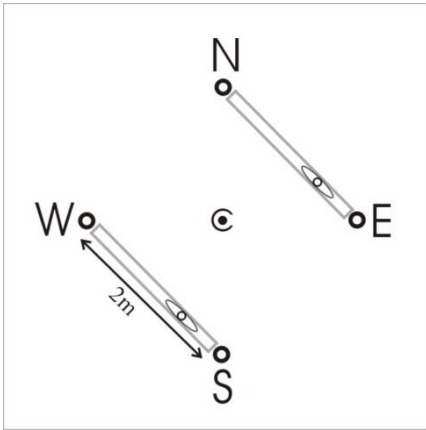
per meetlocatie (S00 t/m S150) sprake van een duplo meetstation op 10 m onderlinge afstand waardoor per meting 8 grondankers opgemeten worden. Dit werd aanvankelijk gedaan vanwege regelmatige verstoring van de meetstations door machinale kokkelvisserij. Deze kokkelvisserij is sinds 2005 gestopt en alle grondankers worden nu in de metingen opgenomen. In het referentiegebied West-Ameland bestaat een meetstation uit een enkele set van 4 grondankers.



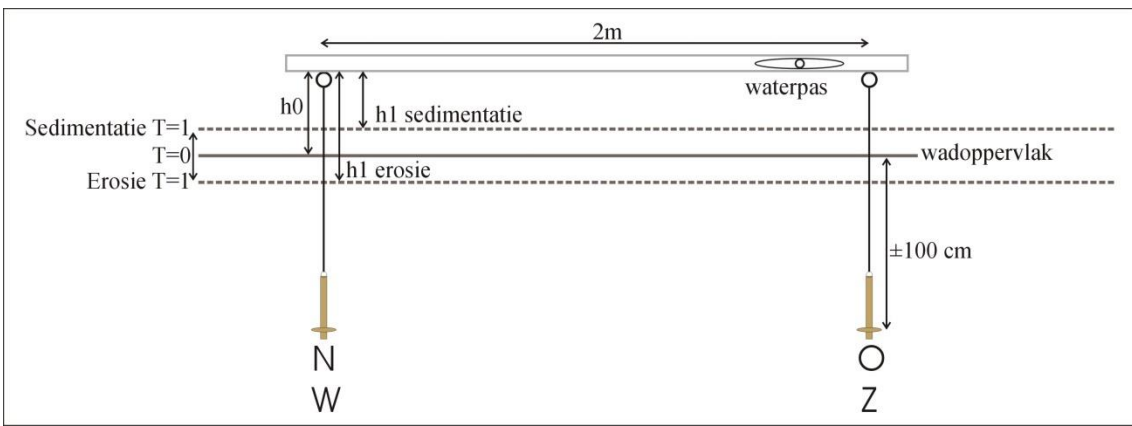
Figuur 2. Eigenbouw grondanker waaraan niet rekkend meettouw bevestigd wordt. Rechts de dop aan het uiteinde van de T-grondboor waarmee het anker in de bodem geschroefd wordt (figuur 3).



Figuur 3. De 4 grondankers die ongeveer 80-100 cm onder het oppervlak worden geschroefd. Hieraan is een dyneema lijn met aan het bovengrondse deel een identificatieblikje en aluminium afleesring bevestigd (figuur 6).



Figuur 4. Verticale aanblik van een meetstation met 4 grondankers (noord, oost, zuid, west). Per tweetal (N-E en W-S) zijn de metingen aan de bovengrondse dyneema lijnen waterpas gezet als check op nazakking.



Figuur 5. Horizontale aanblik van een meetstation en principeschema van de meetmethode om wadsedimentatie te monitoren. Indien na verloop van tijd een langere afstand tussen meting en wadbodem gemeten wordt is er sprake van erosie. Andersom is er sprake van sedimentatie. Er ontstaat dus een meetreeks waarbij de afwijking van de beginmeting in de tijd wordt gevolgd.

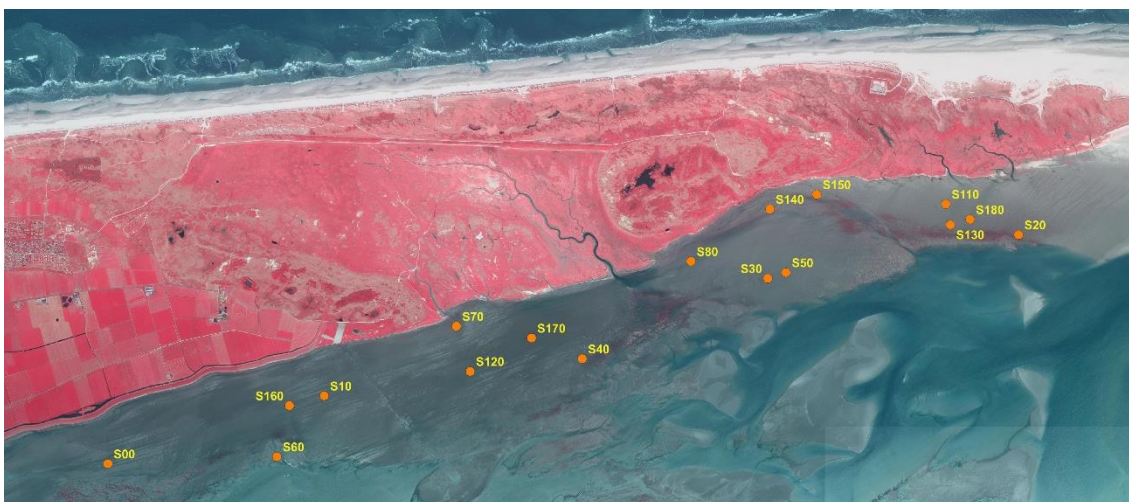


Figuur 6. Meetliniaal met brede meetvoet (niet zichtbaar). Deze wordt steeds op dezelfde wijze op de bodem gezet waarna de lengte van de dyneema lijn langs de schaal wordt afgelezen. In dit geval 45,1 cm.

2. Onderzoeksgebieden en meetstations

3.1 Bodemdalingsgebied Oost-Ameland

De eerste metingen zijn in 2000 begonnen in het bodemdalingsgebied ten zuiden van Oost-Ameland (Kersten 2002; Tabel 1). Vanaf 2004 zijn hier 16 meetstations ingericht (figuur 7) waarbij er steeds sprake is van een duplo vanwege mogelijke verstoring door mechanische kokkelvisserij. Sinds 2005 is deze visserij verboden. Het gebied valt binnen de bodemdalingschotel vanwege de gaswinning onder Oost-Ameland. De meetstations zijn 'op het oog' daar neergelegd waar het terrein geschikt leek voor plaatsing. Hierbij is steeds gekozen voor een zo vlak mogelijk groot gebied rond het meetstation zodat de meting ook iets zegt over sedimentatie van een zo groot mogelijk gebied rondom. De diepe ondergrond in het onderzoeksgebied is sinds 1986 tot 2022 ruim 37 cm (S150) tot ruim 3 cm (S00) gedaald volgens berekening met het NAM-model Ameland_GRIDS_2020. Het meetstation S100 is in 2009 door geulvorming verloren gegaan. Het station S60 is in het voorjaar van 2022 verloren gegaan door werkzaamheden aan de elektriciteitskabel van de vaste wal naar Ameland. In 2011 zijn er drie nieuwe stations (S160 t/m S180) tussengevoegd en deze bestaan ieder uit 4 grondankers. In tabel 1 staan ook de NAP-hoogten van de wadplaat bij de meetstations. Deze zijn in 2013 ingemeten met een RTK/DGPS ontvanger waarbij de meetfout maximaal 20 mm bedraagt.



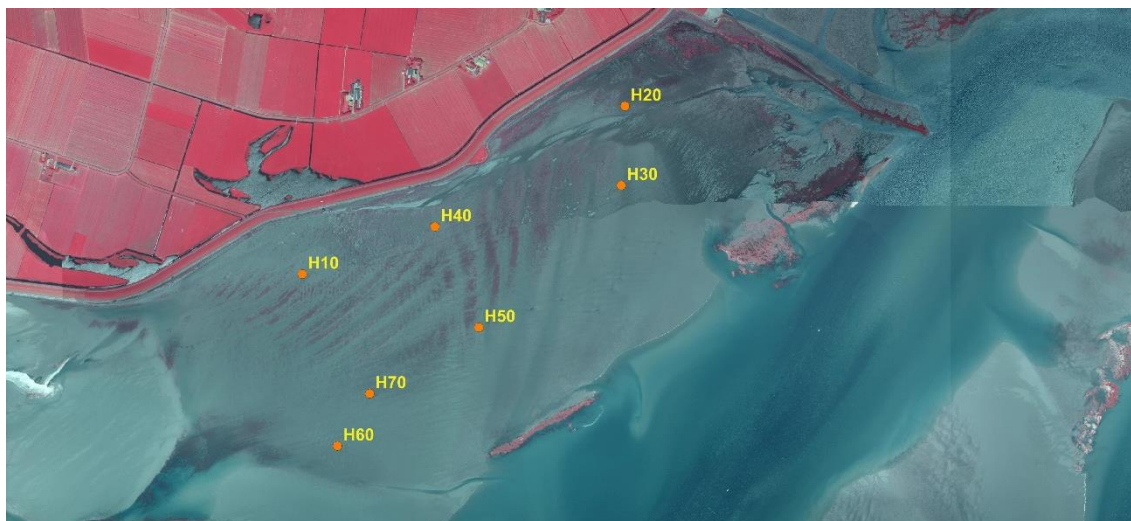
Figuur 7. Luchtfoto (infrarood) met 17 meetstations bij Oost-Ameland ingetekend.

Tabel 1. Coördinaten en hoogteligging van meetstations Oost-Ameland.

LOCATIE	X	Y	Z (cm NAP) 2013	Datum plaatsing
S00	183.915	605.684	-43,6	30-7-2000
S10	185.751	606.260	-3	8-8-2000
S20	191.644	607.626	-9,9	11-8-2000
S30	189.516	607.256	-3,7	11-8-2000
S40	187.941	606.574	-16,7	11-8-2000
S50	189.670	607.305	-5,3	6-3-2001
S60	185.350	605.743	-52,8	27-3-2002
S70	186.873	606.850	4,9	27-3-2002
S80	188.863	607.400	4,7	27-3-2002
S110	191.027	607.886	18,4	27-3-2002
S120	186.990	606.467	-2,5	20-3-2003
S130	191.065	607.710	-5,2	20-3-2003
S140	189.534	607.843	20,3	1-3-2004
S150	189.931	607.967	25,1	1-3-2004
S160	185.456	606.177	-8,7	7-11-2011
S170	187.510	606.750	0,3	20-12-2011
S180	191.233	607.756	-0,3	24-10-2011

3.2 Referentiegebied West-Ameland.

Als referentiegebied zonder bodemdaling is op het wad ten zuiden van West-Ameland in 2006 een zestal meetstations ingericht. In 2012 is hieraan station H70 toegevoegd (figuur 8).



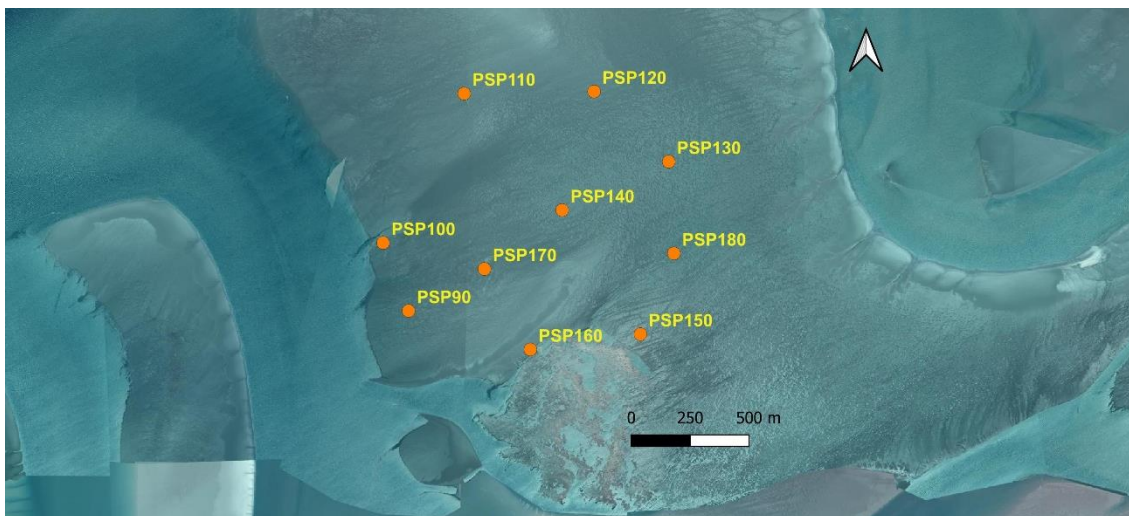
Figuur 8. Infrarood luchtfoto met 7 meetstations bij West-Ameland ingetekend.

Tabel 2. Coördinaten en hoogteligging van meetstations West-Ameland.

LOCATIE	X	Y	Z (cm NAP) 2013	Datum plaatsing
H10	175.248	604.416	49,7	4-9-2006
H20	176.617	605.128	6,1	4-9-2006
H30	176.601	604.792	7,5	4-9-2006
H40	175.811	604.617	44,2	4-9-2006
H50	175.997	604.190	6,4	4-9-2006
H60	175.397	603.687	6,3	4-9-2006
H70	175.534	603.909	22,7	28-2-2012

3.3 Referentiegebied Piet Scheveplaat

In 2014 is een tweede referentiegebied, de Piet Scheve plaat, ingericht met 10 meetstations (figuur 9). De Piet Scheveplaat is een groot plaatgebied zonder diepe daling door gaswinning. Het is gelegen tussen Holwerd en Nes ten westen van de vaargeul naar Ameland. De NAP hoogteligging is in 2019 ingemeten (tabel 3).



Figuur 9. Infrarood luchtfoto met 10 meetstations op de Piet Scheveplaat ingetekend.

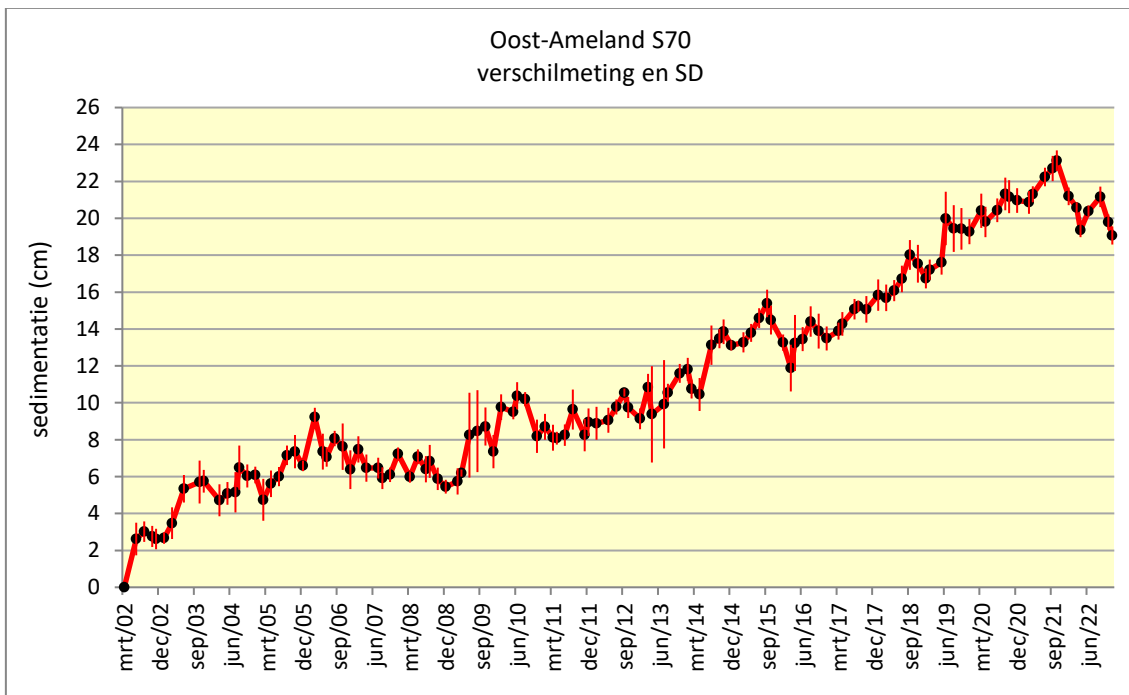
Tabel 3. Coördinaten en hoogteligging meetstations Piet Scheveplaat.

	X	Y	Z (cm NAP) 23-10-2019	Datum plaatsing
PSP 90	180.656	601.336	-17	8-9-14
PSP 100	180.548	601.625	-35,8	8-9-14
PSP 110	180.892	602.259	-0,4	8-9-14
PSP 120	181.443	602.268	-2,3	8-9-14
PSP 130	181.760	601.970	14,1	8-9-14
PSP 140	181.308	601.764	12,8	8-9-14
PSP 150	181.640	601.237	2,9	8-9-14
PSP 160	181.173	601.172	-31,3	8-9-14
PSP 170	180.978	601.514	5,5	8-9-14
PSP 180	181.782	601.580	13,4	19-11-14

3. Resultaten bodemdalingsgebied Oost-Ameland

4.1 Uitwerking per meetstation

Voor de berekeningen van de verandering ten opzichte van het meetbegin zijn per meetstation alle metingen van de beschikbare grondankers meegenomen. In de meeste gevallen betekent dit per meetstation meting aan 8 grondankers die gemiddeld worden. Soms is een touwtje met meetlabel (tijdelijk) onvindbaar en vindt middeling over de wel beschikbare grondankers plaats. Een voorbeeld van een meetreeks staat in figuur 10. De gemiddelde verandering en standaarddeviatie ten opzichte van het meetbegin van de grondankers staat uitgezet tegen de tijd. Op deze wijze zijn alle meetstations uitgewerkt.



Figuur 10. Meetreeks van meetstation S70 in het onderzoeksgebied Oost-Ameland.

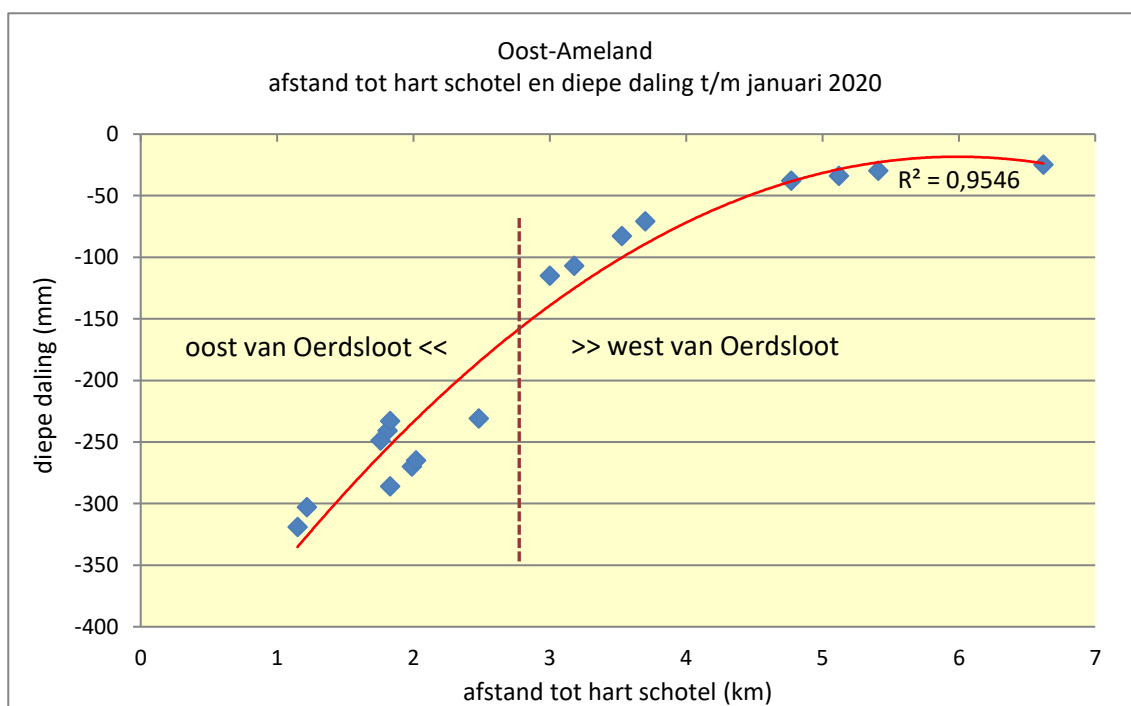
4.2 Bodemdaling wadplaten Oost-Ameland

De bodemdalingsschotel strekt zich uit onder het wad ten zuiden van Oost-Ameland. De afstand van de meetstations op het wad tot het hart van de dalingschotel staat in tabel 3 gegeven. Deze afstand is met handheld GPS bepaald vanaf de zeereep (X189618/Y609065) bij strandpaal 22. De tabel laat zien dat de dichtstbijzijnde stations S140 en S150 op ruim 1 km afstand van het hart van de dalingschotel liggen en dat de maximale afstand oploopt tot ruim 6,6 km voor station S00. De stations S10, S60, S160 en S00 liggen dicht bij 'de rand' van de dalingschotel.

In 2013 is de hoogte van het wad bij de meetstations met RTK/DGPS meting bepaald (tabel 1). De meeste stations liggen tussen +35 cm NAP en -35 cm NAP. De diepe daling op de RD-coördinaat van ieder station is vanaf 1986 t/m februari 2020 uitgerekend met het NAM-model Ameland_GRIDS_2020 en is weergegeven in tabel 3.

Tabel 4. Afstand tot hart van bodemdaling schotel en diepe daling in 1986-2017 bij meetstations berekend met NAM-model Ameland_GRIDS_2020.

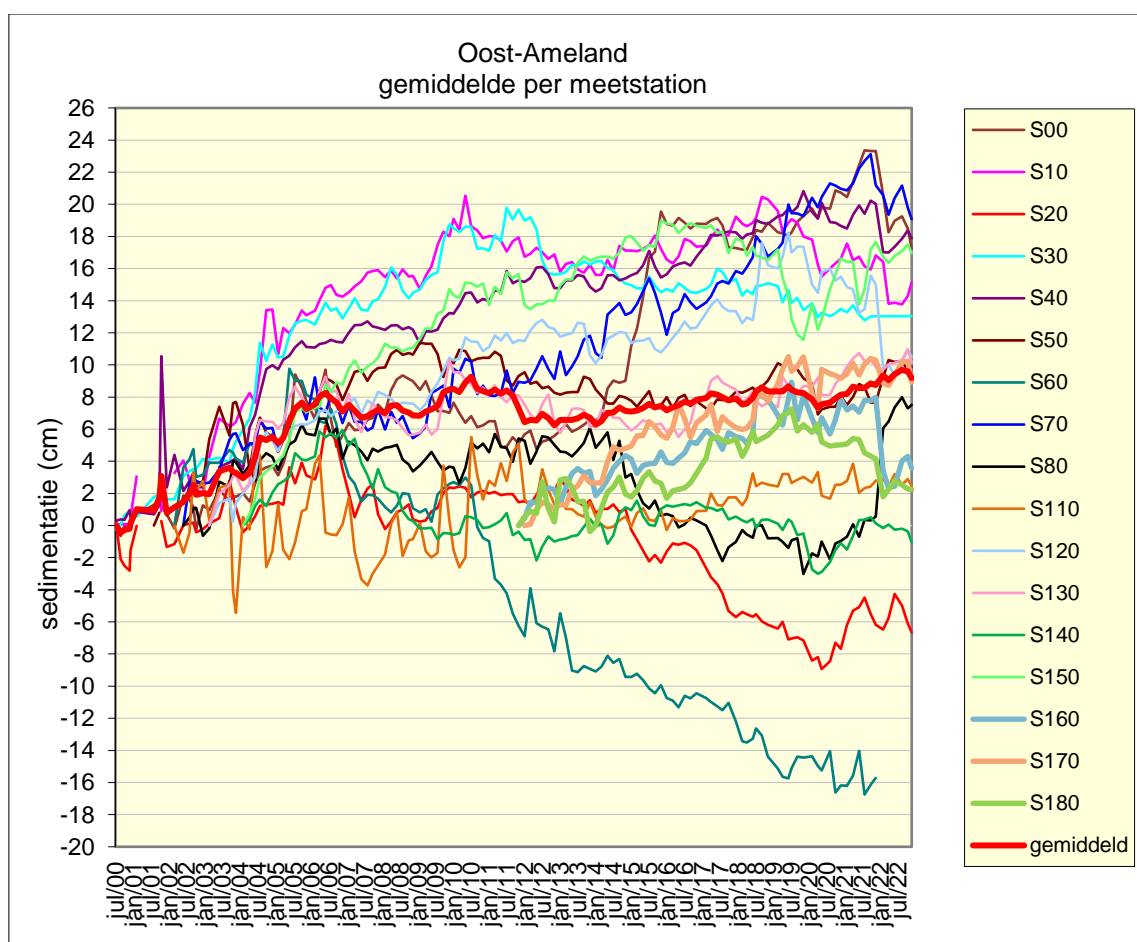
Station	Afstand km	t/m jan 2020 diepe daling mm
S00	6,62	-25
S10	4,77	-38
S20	2,48	-231
S30	1,81	-241
S40	3,00	-115
S50	1,76	-249
S60	5,41	-30
S70	3,53	-83
S80	1,83	-233
S110	1,83	-286
S120	3,70	-71
S130	1,99	-270
S140	1,22	-303
S150	1,15	-319
S160	5,12	-34
S170	3,18	-107
S180	2,02	-265



Figuur 11. Afstand tot hart dalingschotel en de diepe daling van 1986 tot februari 2020. Het wantij ter hoogte van de Oerdsloot vormt een scheiding tussen veel en weinig gedaalde stations.

4.3 Sedimentatie op wadplaat Oost-Ameland

Per meetstation is het verloop van de sedimentatie ten opzichte van het begin van de meetreeks verwerkt in figuur 12. Deze figuur laat dus de sedimentatie aan het oppervlak zien van de wadplaat ten zuiden van Oost-Ameland. Station S110 kent aanvankelijk een grillig verloop. Dit station ligt niet ver van de kwelderrand van de Hon in een gebied waar een soort zandgolven van ongeveer een decimeter hoogte bewogen (figuur 13) tot 2011. Daarna verdwenen deze en verdwijnen de pieken uit de metingen. Station S60 liet aanvankelijk sedimentatie zien maar sinds juli 2005 volgde een doorgaande periode van erosie en waarbij ruim 20 cm sediment verdween. In die periode vormde zich een waaivormig geulensiel vanaf het plaatgebied bij S60 naar de geul langs de wadplaat. Als bizar tastbaar bewijs voor deze forse erosie op deze plaats werden in de loop van 2010 steeds meer stukken aluminium aan het oppervlak zichtbaar. Achteraf blijkt dat het station S60 exact op het wrak van een Engelse Short Stirling bommenwerper is geplaatst die hier op 19-2-1943 werd neergeschoten waarbij de 7 bemanningsleden omkwamen. Dit vliegtuigwrak is decennia onzichtbaar geweest en komt door lokale erosie dan weer boven maaiveld (figuur 14). Dit station is in het voorjaar van 2022 verloren gegaan door graafwerkzaamheden voor de elektriciteitskabel naar Ameland die hier vlak langs bleek te liggen. Naast S60 (einde meting dec 2021) zijn de stations S20 en S140 de enige die aan het eind van de meetreeks, in december 2022, enige erosie aan het oppervlak laten zien. De overige stations laten sedimentatie zien ten opzichte van het meetbegin.



Figuur 12. Sedimentatie van alle meetstations op wadplaat ten zuiden van Oost-Ameland.



Figuur 13. Meetstation S110 op luchtfoto. Zandgolven veroorzaken lokale dynamiek. Na 2010 verdwijnen deze zandgolven en laten de metingen geen hoge pieken en dalen meer zien (figuur 12).

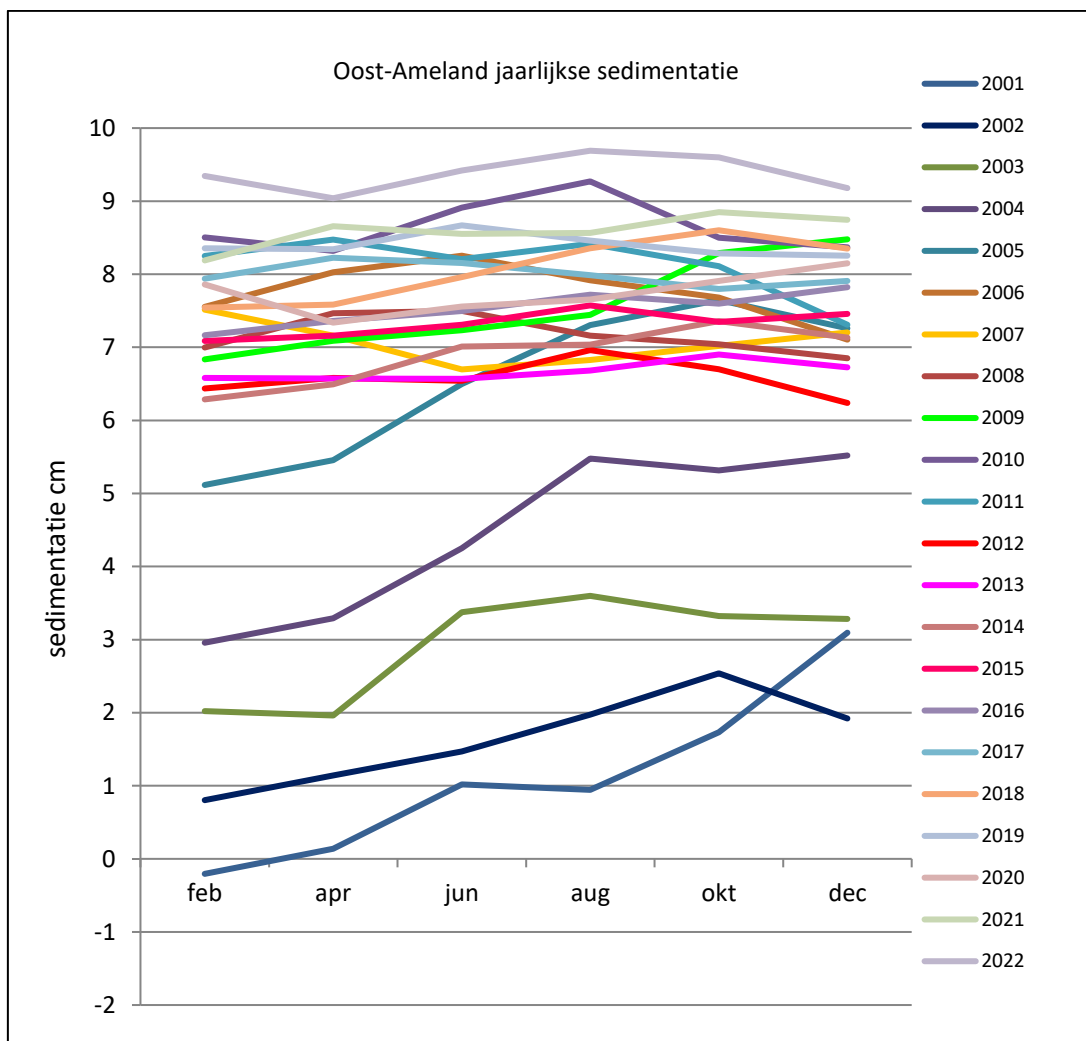


Figuur 14. Station S60, herkenbaar aan witte buisje en scheve paal op voorgrond (zuidelijke station van duplo) met geulvorming en wadplaat in erosiefase. Op achtergrond zijn aluminium onderdelen van een viermotorige Engelse Short Stirling RAF (BF378) bommenwerper zichtbaar die hier op 19 februari 1943 's nachts neergeschoten werd waarbij alle 7 bemanningsleden omkwamen. Tijdens plaatsen van dit station op 27-3 2002 was het gebied vlak en was er niets dat zou kunnen wijzen op een vliegtuigwrak in de bodem (foto 30-6-2011).

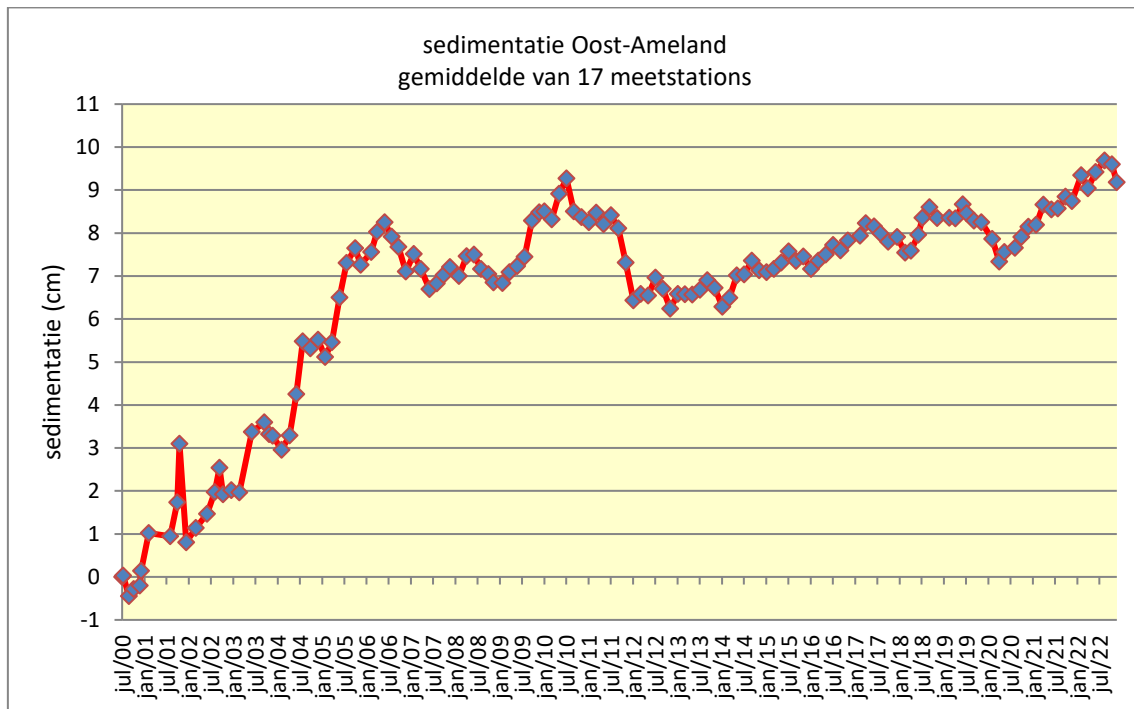
4.4 Plaatsedimentatie in relatie tot de tijd

Om de ontwikkeling van de sedimentatie op de wadplaten te kunnen beoordelen zijn verschilberekeningen gemaakt maken ten opzichte van de vorige meting (bijlage A). Dat levert steeds jaarlijks 6 waarden op voor de 22 complete jaren 2001 t/m 2022. Hierbij moet worden bedacht dat het aantal stations oploopt van 5 in 2001 tot 14 vanaf mei 2004 en 17 vanaf november 2011 (figuur 7). Acht jaren laten erosie zien, 14 jaren laten sedimentatie zien. Indien de data in één grafiek worden samengevat, de lijnen van figuur 15 worden als het ware achter elkaar geplakt, ontstaat figuur 16. Deze figuur geeft een goed overzicht van het plaatgedrag op maaiveldhoogte. Indien de grafiek in meer detail beschouwd wordt kunnen 5 opeenvolgende perioden van sedimentatie en erosie worden onderscheiden. Vanaf het begin van de meting in 2001 volgt een periode van 64 maanden sedimentatie die eindigt in april 2006. Vanaf daar volgt een periode van 26 maanden erosie tot april 2009. Daarna volgt een periode van 17 maanden

sedimentatie tot augustus 2010 waarna 18 maanden snelle erosie volgt tot februari 2012. Daarna volgt een periode van 10 jaar langzame sedimentatie met af en toe een kleine terugval tot het eind van de reeks in december 2022. Indien de reeks globaler beschouwd wordt is er sprake van sedimentatie tot juni 2006 waarna de rest van de reeks stabilisatie laat zien. Uiteindelijk is er in figuur 16 sprake van een gemiddelde sedimentatie van 9,2 cm voor de 17 meetstations die op de wadplaat liggen gerekend over de gehele meetreeks. Dat komt overeen met een gemiddelde sedimentatiesnelheid van 4,8 mm per jaar. In de dagen van 16-20 februari 2022 kwamen in 4 dagen tijd 3 stormen voor (literatuur: website KNMI). Een dergelijke drielingstorm in een vrijwel aaneengesloten periode komt eens in de 100 jaar voor (KNMI). Bovendien was storm 'Eunice' op vrijdag 18 februari langdurig en hoort deze bij de 3 sterkste stormen van de afgelopen 50 jaar. Deze stormen hebben op het wad gezorgd voor een soort nivellering van de plaathoogte bij een aantal meetstations. Sommige stijgende stations zijn gedaald en sommige dalende stations zijn van sediment voorzien. Het gemiddelde laat geen grote uitslag zien bij de eerstvolgende meting in maart 2022, maar in de grafieken van individuele stations zijn de stormen wel herkenbaar (bijlage C). Stijgers waren S50 en S80. Dalers waren S00, S10, S40, S120, S160, S170 en S180.



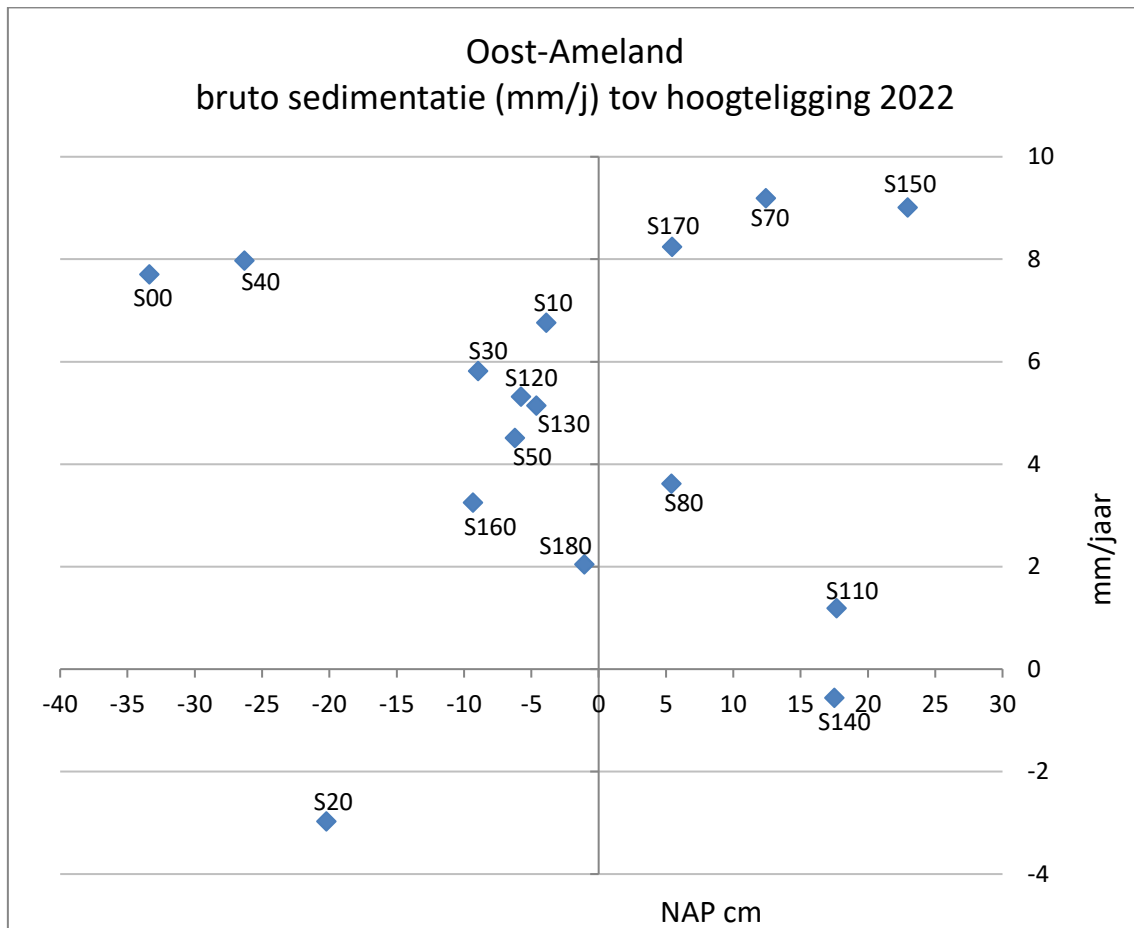
Figuur 15. Jaarlijkse sedimentatie op de stations van de wadplaat onder Oost-Ameland. Gemiddelde van alle meetstations per meting per maand en jaar.



Figuur 16. Sedimentatie op wadplaten op Oost-Ameland. Gemiddelde van alle gemeten stations.

4.5 Wadplaats sedimentatie in relatie tot hoogteligging

Van het gebied Oost-Ameland is de NAP-hoogte van de meetstations met RTK/DGPS ingemeten in 2013 (tabel 1). Hierin kan een onnauwkeurigheid zitten van ongeveer 20 mm, maar desondanks zijn deze data goed bruikbaar om alle meetstations te rangschikken op hoogteligging en te relateren aan de gemeten sedimentatie. De gepresenteerde hoogteligging is de berekende hoogte in december 2022 op basis van de RTK/DGPS-meting in 2013. Deze hoogten zijn gerangschikt en bij iedere hoogteligging is de sedimentatiesnelheid gegeven zoals die tot december 2022 was over de gehele meetperiode van ieder meetstation. Er is alleen sprake van erosie bij station S20 en S140. S20 is het meest oostelijke station en dynamische processen rond de oostpunt van het eiland (het eiland wordt momenteel korter) kunnen hiervan de oorzaak zijn. Bij S140 is sprake van schommeling rond een nulpunt en is geen sprake van een dalende trend (bijlage C). Bij de overige 15 stations is sprake van sedimentatie vanaf een hoogte van +23 cm NAP (S150) tot -33 cm NAP (S00) (figuur 17). Dit betreft vrijwel de volledige hoogterange waarop de stations liggen. In het spreidingsdiagram van figuur 17 lijkt er een optimum in de opslibbing te zijn rond de nul cm NAP-hoogte, maar de correlatie is niet sterk. Dit wordt veroorzaakt door de stations S80, S110 en S140. Deze stations laten een veel lagere opslibbing zien dan stations met vergelijkbare hoogteligging. Indien de ligging van deze stations in ogenschouw wordt genomen (figuur 18) dan valt op dat ze op een gebogen lijn vlak ten zuiden van het eiland liggen waar de diepe daling hoog is geweest.



Figuur 17. Spreidingsdiagram van de sedimentatiesnelheid ten opzichte van hoogteligging eind 2022 van de meetstations bij Oost-Ameland. Sedimentatiesnelheid in mm per jaar over de totale meetperiode die eindigt in december 2022. Meetperiode van de meetstations varieert van 11 tot 21 jaar (tabel 1).

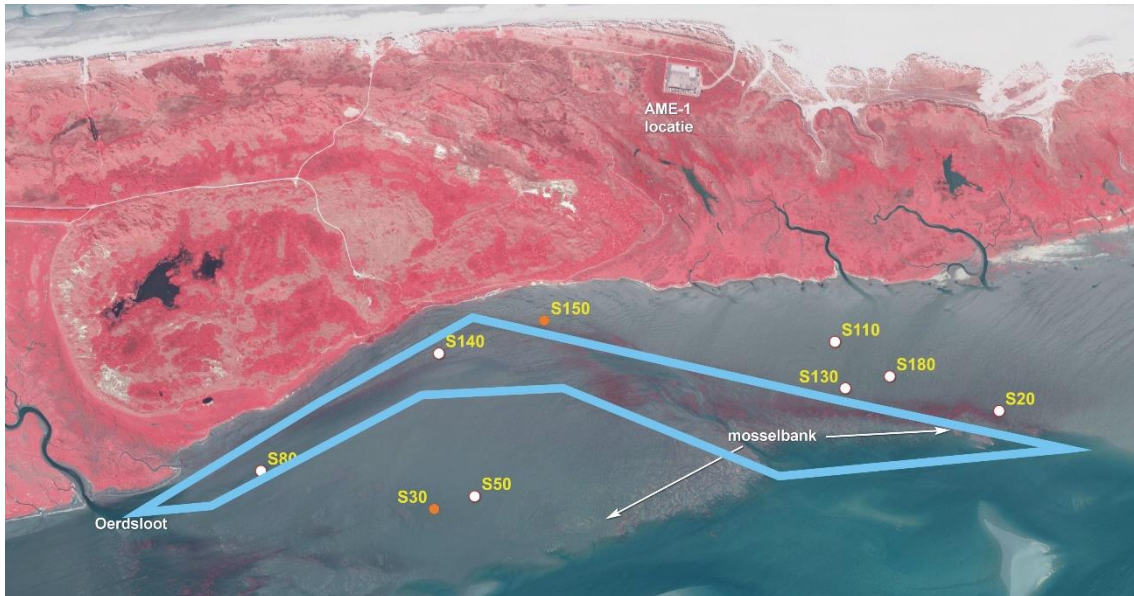
4.6 Wadplaats sedimentatie in relatie tot bodemdaling

In het Waddegebied bij Oost-Ameland zijn de meetstations gedaald door diepe daling vanwege de gaswinning. Tegelijkertijd heeft er ook opslibbing plaatsgevonden aan het oppervlak bij het merendeel van de meetstations als de gehele meetperiode in ogenschouw wordt genomen (paragraaf 3.3, 3.4, 3.5). In hoeverre de opslibbing aan het oppervlak voldoende is om tenminste de diepe daling te compenseren kan per meetstation bepaald worden. Dan blijkt dat het maaiveld bij de twee stations S20 en S140, die tijdens de meetperiode erosie lieten zien (paragraaf 3.5), door de diepe daling versterkt daalt (figuur 19). Bij het merendeel van de stations is er voldoende sedimentatie om de diepe daling volledig te compenseren en vindt er dus geen maaiveldverlaging plaats (figuur 19). Dit is het geval voor alle stations ten westen van de Oerdsloot/ het wantij. In vijf gevallen ten oosten van het wantij is sprake van een maaiveldverlaging veroorzaakt door bodemdaling waar anders een maaiveldverhoging zou zijn geweest. Dit betreft de stations S50, S80, S110, S130 en S180. Alle vijf dalende stations liggen in het plaatgebied bij Oost-Ameland waar een diepe daling van maximaal 6,5 mm/jaar (S140) plaatsvindt, wat bij deze stations resulteert in een netto (sedimentatie minus diepe daling) maaiveldverlaging van 0,5 mm/j (S50, S80, S130) tot 7,9 (S20) mm/j.

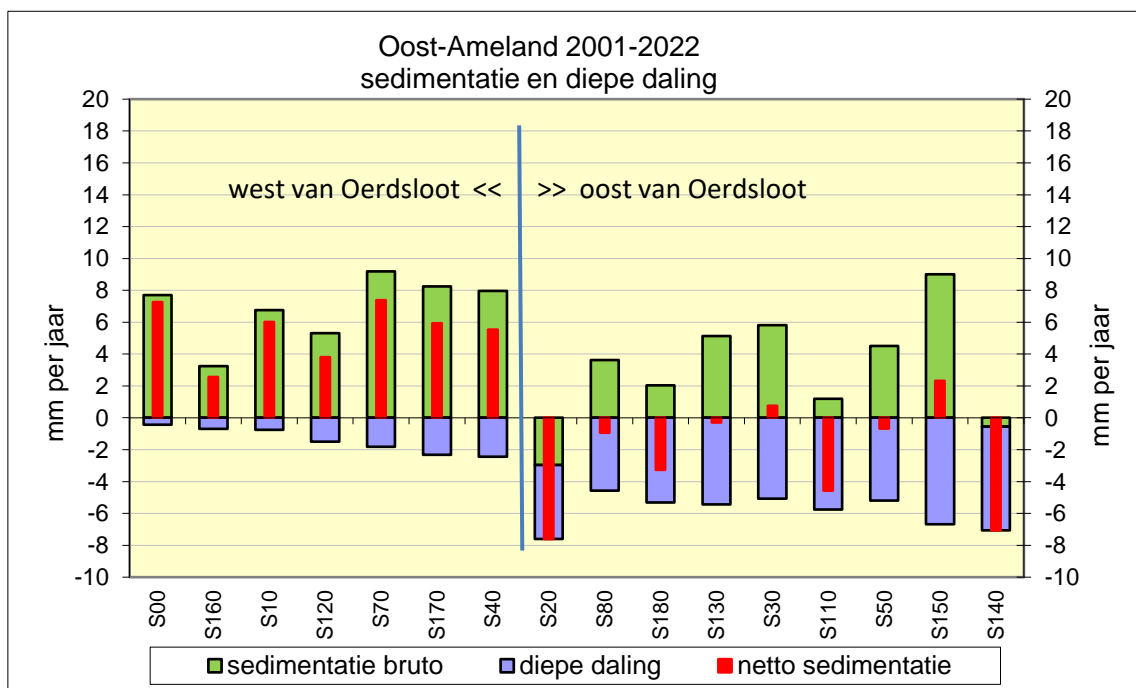
In figuur 18 is handmatig geschetst om welk gebied het gaat waar de stations liggen die in de periode 2000-2022 netto (sedimentatie minus diepe daling) tussen 0,3 en 7,6 mm/jaar dalen. Dit betreft een vrij smalle strook van ongeveer 3 kilometer lengte en beperkte breedte gezien de ligging vlak langs de kust en de sedimentatie bij de omliggende stations. Een ruwe schatting duidt op een sedimenttekort van 3000 m³/jaar, uitgaande van een oppervlak van 75 ha waar ongeveer 4mm/j sedimenttekort is.

Indien alle stations samen worden genomen is er in de periode 2000-2022 sprake van een bruto sedimentatie van 4,8 mm/jaar. Dit is dan een gemiddelde van alle gemiddelde snelheden van alle stations. Dit is rekenkundig niet helemaal juist want de kortere reeksen zijn in deze

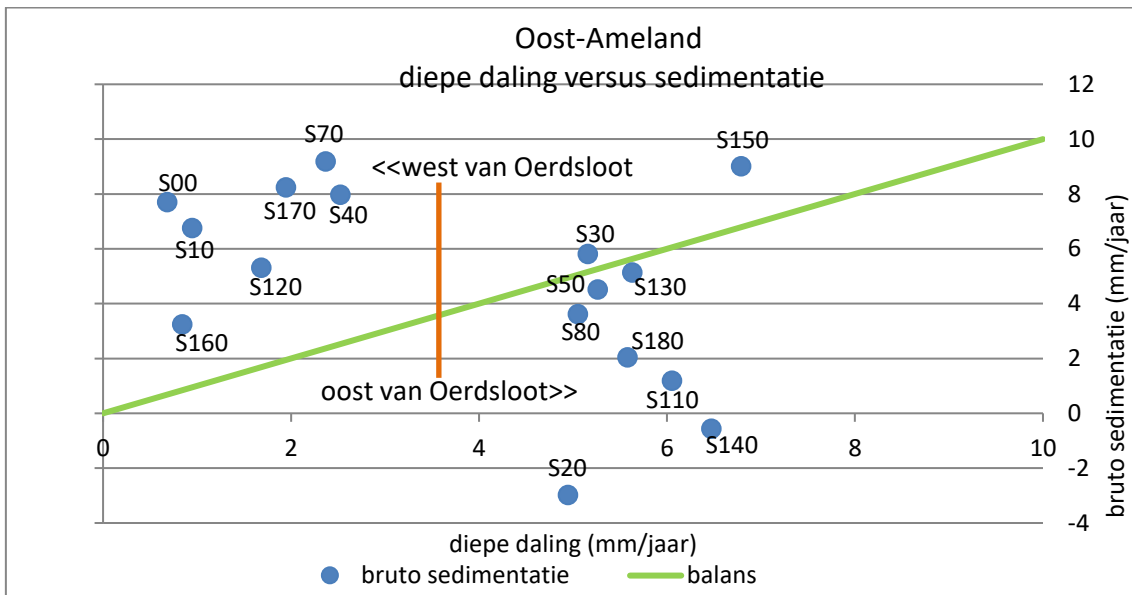
berekening te belangrijk vertegenwoordigd, maar het geeft een goede indicatie. De individuele snelheden per meetstation zijn in de figuren 19 en 20 zichtbaar. Een ruwe schatting duidt op een opslibingsvolume van ruim 19.000 m³/jaar (8000x500x0,0048 m) sediment voor het gehele gebied. Door de diepe daling van gemiddeld 3,9 mm/jaar resulteert uiteindelijk gemiddeld een netto ophoging van 0,9 mm/jaar. Ook in eerdere studies (Hoeksema 2004, De Vlas 2005) is geconcludeerd dat de sedimentatie bij Ameland gemiddeld genomen voldoende is om de diepe bodemdaling door gaswinning te compenseren. Dat is zeker het geval ten westen van de Oerdsloot/het wantij. Maar deze studie laat zien dat ten oosten van het wantij lokaal sprake is van een netto maaiveld daling (figuur 18).



Figuur 18. De stations die met de witte stippen zijn gekleurd laten netto daling van het maaiveld zien ten gevolge van diepe daling door gaswinning. Het met blauw omlinjnde gebied markeert globaal het gebied van netto maaiveld daling. Hierover stroomt/staat water tijdens lage waterstanden als de hogere delen zijn drooggevallen vanaf de monding van de Oerdsloot in oostelijke richting naar de eerste geul van het Pinkegat. Nieuw is een mosselbank die in 2021 op het zuidelijke deel van de wadplaat is ontstaan. Het gaat om ongeveer 20 ha over een lengte van ruim 1,5 km. De mossels waren in december 2022 ongeveer 3 tot maximaal 5 cm lang. Deze bank gaat mogelijk van invloed zijn op de afwatering en sedimentatie van het plaatgebied.



Figuur 19. Snelheid van sedimentatie en bodemdaling en het netto effect per meetstation gedurende de meetperiode. Data t/m december 2022.

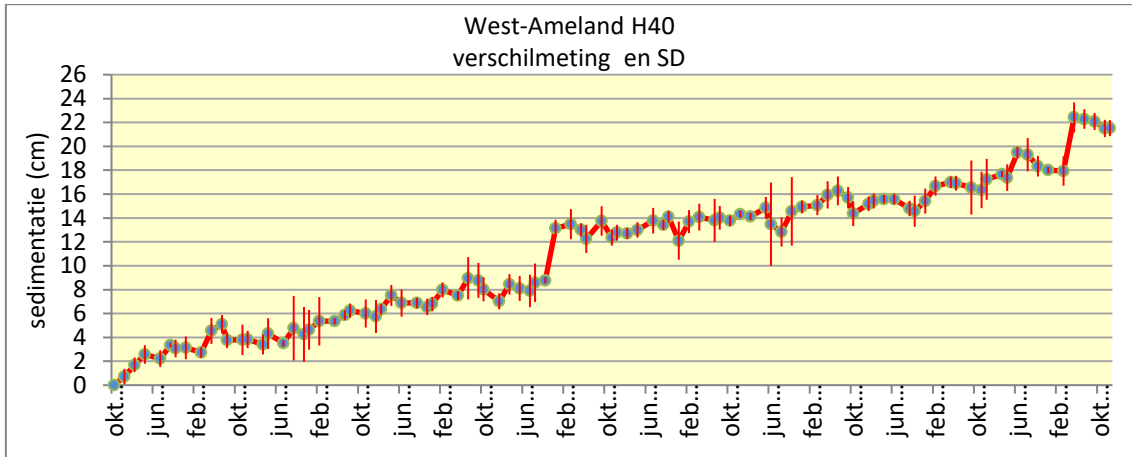


Figuur 20. Verband tussen diepe daling en sedimentatiesnelheid op alle meetstations. Data t/m december 2022. De getrokken groene lijn geeft aan waar bodemdaling en sedimentatie in balans zijn zodat het maaiveld op gelijke hoogte blijft. Met de verticale oranje lijn is de scheiding tussen de stations ten westen en oosten van de Oerdsloot/wantij aangegeven.

4. Resultaten referentiegebied West-Ameland

5.1 Uitwerking per meetstation

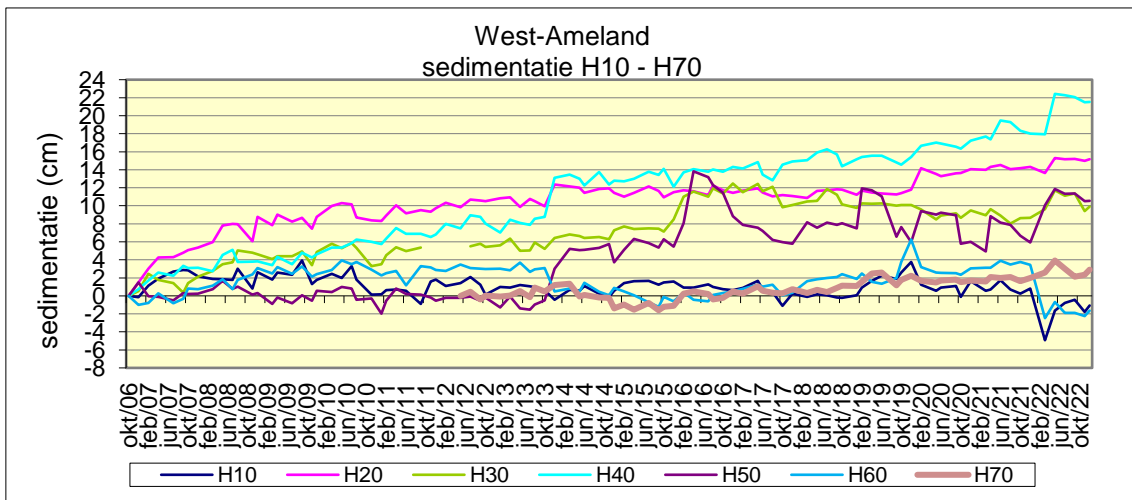
Voor de berekeningen van de verandering ten opzichte van het meetbegin zijn voor iedere meting alle beschikbare grondankers meegenomen. In de meeste gevallen betekent dit per meting per meetstation 4 grondankers die worden gemiddeld. Soms is een touwtje met meetlabel (tijdelijk) onvindbaar en vindt middeling over de wel beschikbare grondankers plaats. Een voorbeeld van een meetreeks staat in figuur 20. De gemiddelde verandering en standaarddeviatie ten opzichte van het meetbegin van de grondankers staat uitgezet tegen de tijd. Op deze wijze zijn alle meetstations uitgewerkt.



Figuur 21. Meetreeks van meetstation H40 in het onderzoeksgebied West-Ameland.

5.2 Sedimentatie alle meetstations West-Ameland

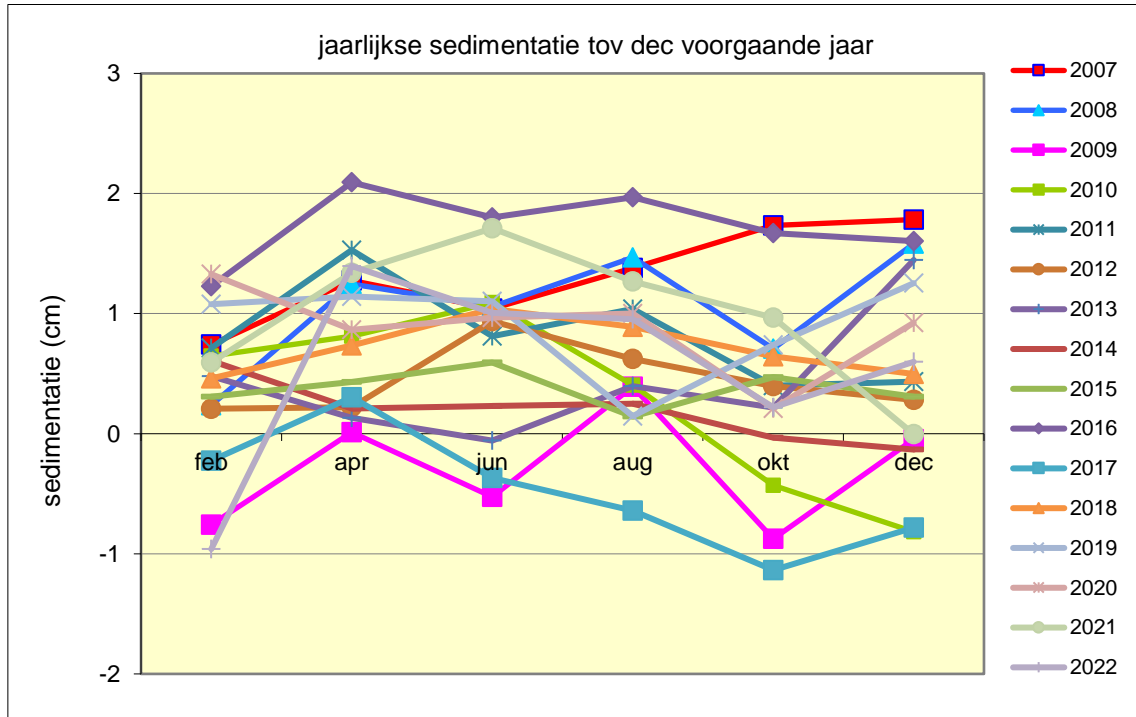
Per meetstation is het verloop van de sedimentatie ten opzichte van het begin van de meetreeks verwerkt in figuur 22. Hieruit blijkt dat de hoogteligging van de stations H10, H60 en H70 vrijwel onveranderd is sinds het meetbegin. De stations H20, H30, H40 en H50 laten sedimentatie zien met station H40 als hoogste met ruim 20 cm in een periode van ruim 16 jaar. In de winter 2013/2014 is sprake van een trendbreuk waarbij de stations H20, H30, H40 en H50 sterk sedimenteren en H60 en H70 juist eroderen. Ook bij West-Ameland is de invloed van de extreme stormsituatie in de periode 16-20 februari 2022 (zie literatuur: KNMI) zichtbaar bij de eerstvolgende meting in maart 2022. Opvallend stijgend was station H10, maar H50 en H60 lieten een sterke erosie zien. Door de stormen daalde het gemiddelde bijna 1 cm, maar twee maanden later steeg dit ruim 2 cm en dit soort waarden valt binnen de normaal voorkomende schommelingen/dynamiek (figuur 24).



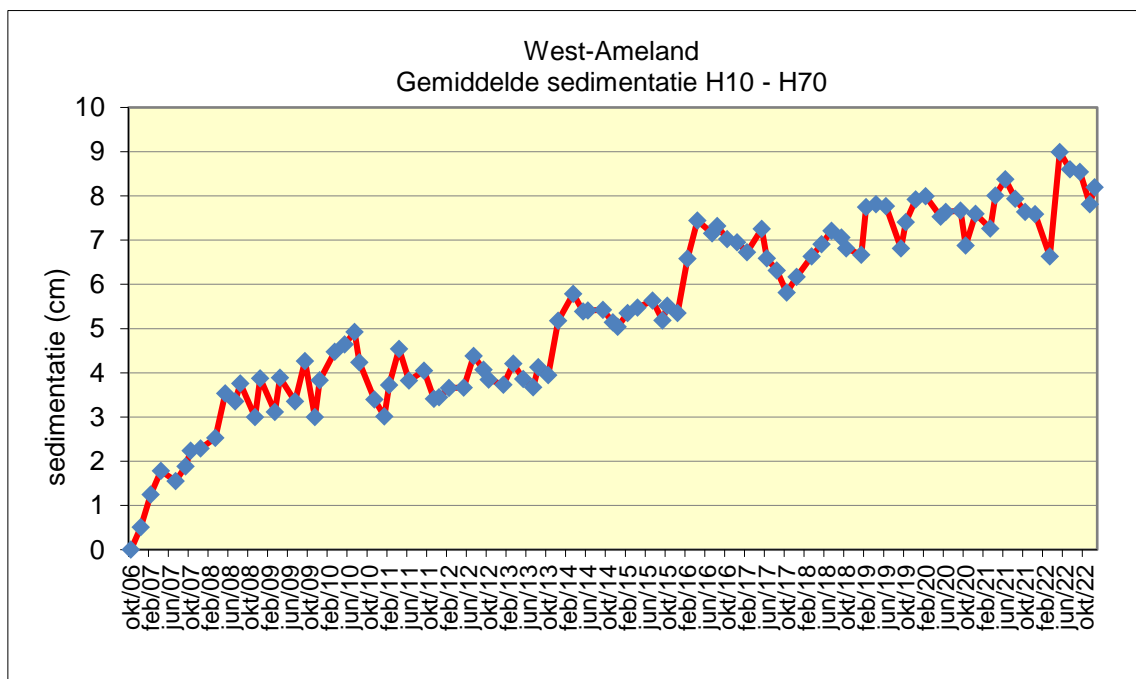
Figuur 22. Gemiddelde sedimentatie van de meetstations H10 t/m H70 in het onderzoeksgebied West-Ameland.

5.3 Plaats sedimentatie in relatie tot tijd

Om de ontwikkeling van de sedimentatie op de wadplaat ten zuiden van Ballum te kunnen beoordelen zijn de resultaten van de zeven stations samengevoegd. Hiermee kan een algemeen jaarlijks beeld van de sedimentatie worden gemaakt door een verschilberekening te maken ten opzichte van december in het voorgaande jaar (Bijlage B, figuur 23). Indien de data in één grafiek worden samengevat, de lijnen van figuur 23 worden als het ware achter elkaar aan geplakt, ontstaat figuur 24. Deze figuur geeft een goed overzicht van het plaatgedrag op maaiveldhoogte. Aan het eind van de meetreeks in december 2022 is gemiddeld sprake van 8,2 cm sedimentatie wat overeenkomt met een gemiddelde opslibbingsnelheid van 5,2 mm/j. De variatie tussen de stations is echter behoorlijk groot (figuur 22) maar zowel de sedimentatie als de gemiddelde snelheid van sedimentatie (Oost-Ameland 4,8 mm/j, paragraaf 3.4) en de variatie tussen de stations zijn daarmee op een vergelijkbaar niveau als op Oost-Ameland.



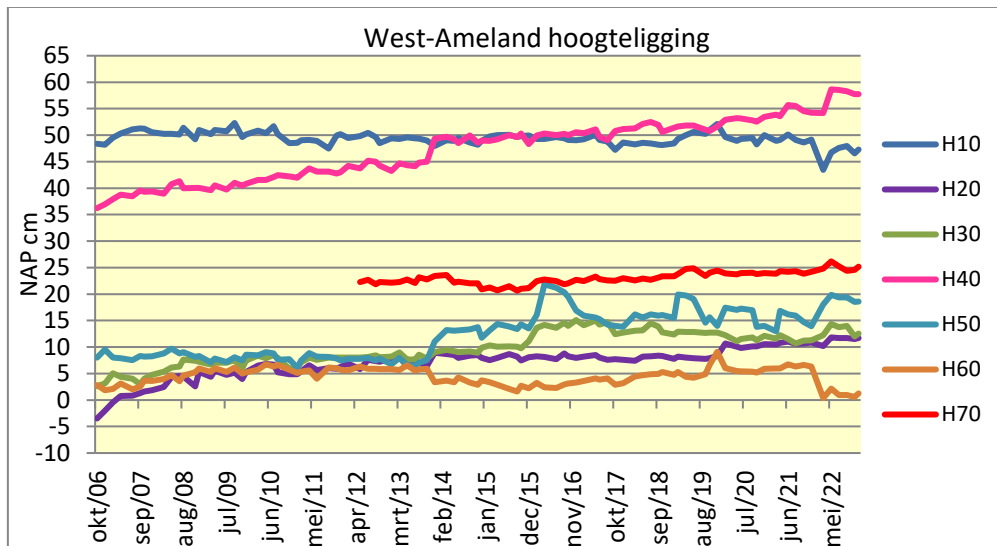
Figuur 23. Jaarlijkse sedimentatie West-Ameland ten opzichte van decembermeting voorgaande jaar.



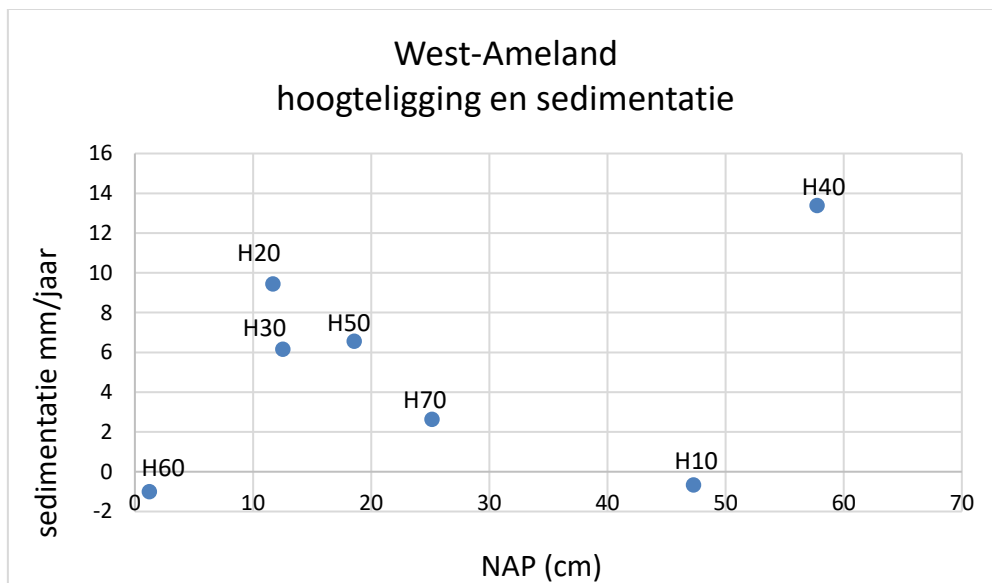
Figuur 24. Sedimentatie op wadplaat bij West-Ameland. Alle meetstations.

5.4 Plaatsedimentatie in relatie tot hoogteligging

Van het gebied West-Ameland zijn de NAP-hoogten van de meetstations met RTK/DGPS ingemeten in 2013 (tabel 2). Hierin kan een onnauwkeurigheid zitten van ongeveer 20 mm maar desondanks zijn deze data goed bruikbaar om alle meetstations te rangschikken op hoogteligging en te relateren aan de gemeten sedimentatie (figuur 25). De stations liggen in december 2022 tussen +1 cm NAP en +58 cm NAP. Het hoogteverloop in de loop van de tijd is in figuur 25 weergegeven.



Figuur 25. Hoogteverloop (NAP cm) van de meetstations op wadplaat bij West-Ameland.

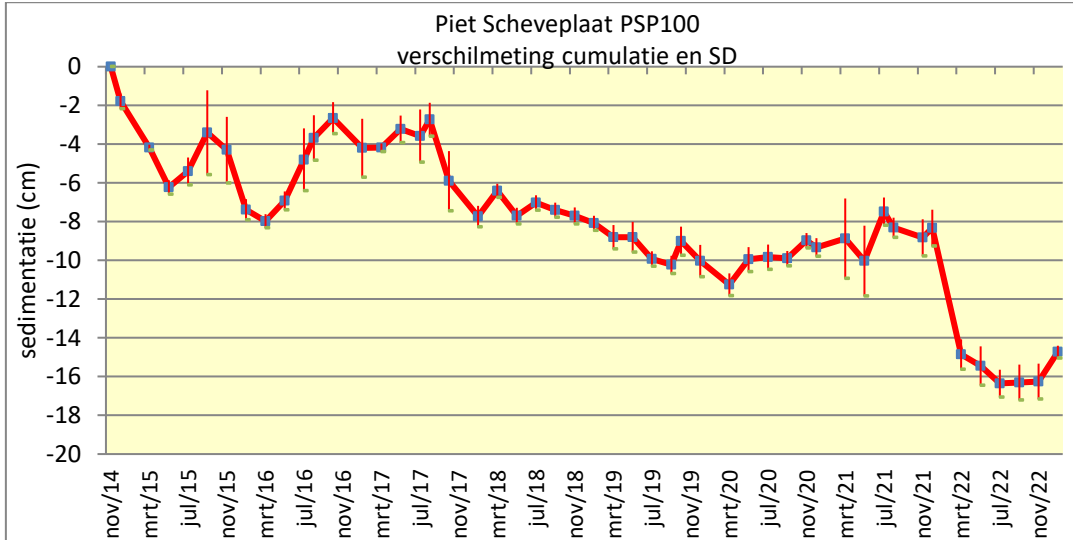


Figuur 26. Sedimentatie in relatie de hoogteligging van alle meetstations op wadplaat bij West-Ameland.

5. Resultaten referentiegebied Piet Scheveplaat

6.1 Uitwerking per meetstation

Voor de berekeningen van de verandering ten opzichte van het meetbegin zijn voor iedere meting alle beschikbare grondankers meegenomen. In de meeste gevallen betekent dit per meting per meetstation 4 grondankers die worden gemiddeld. Soms is een touwtje met meetlabel (tijdelijk) onvindbaar en vindt middeling over de wel beschikbare grondankers plaats. Een voorbeeld van een meetreeks staat in figuur 27. De gemiddelde verandering en standaarddeviatie ten opzichte van het meetbegin van de grondankers staat uitgezet tegen de tijd. Op deze wijze zijn alle meetstations uitgewerkt.

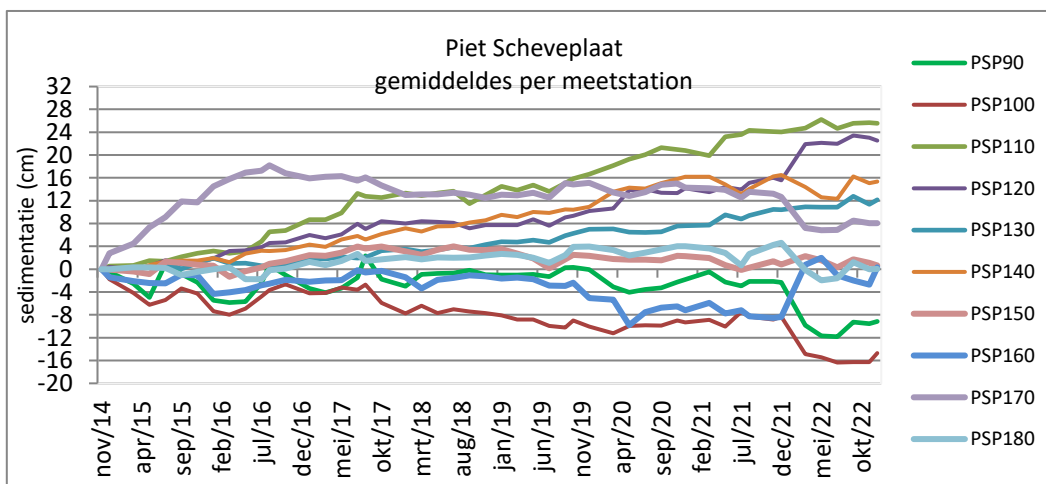


Figuur 27. Meetreeks van meetstation PSP100 in het onderzoeksgebied Piet Scheveplaat.

6.2 Sedimentatie alle meetstations Piet Scheveplaat

Per meetstation is het verloop van de sedimentatie ten opzichte van het begin van de meetreeks verwerkt in figuur 28. Hieruit blijkt dat twee stations (PSP90 en PSP100) een behoorlijke erosie laten zien van >8cm. Drie stations (PSP150, PSP160, PSP180) zijn stabiel gebleven. En vijf stations (PSP110, PSP120, PSP130, PSP140, PSP170) laten sedimentatie van 8 tot 24 cm zien.

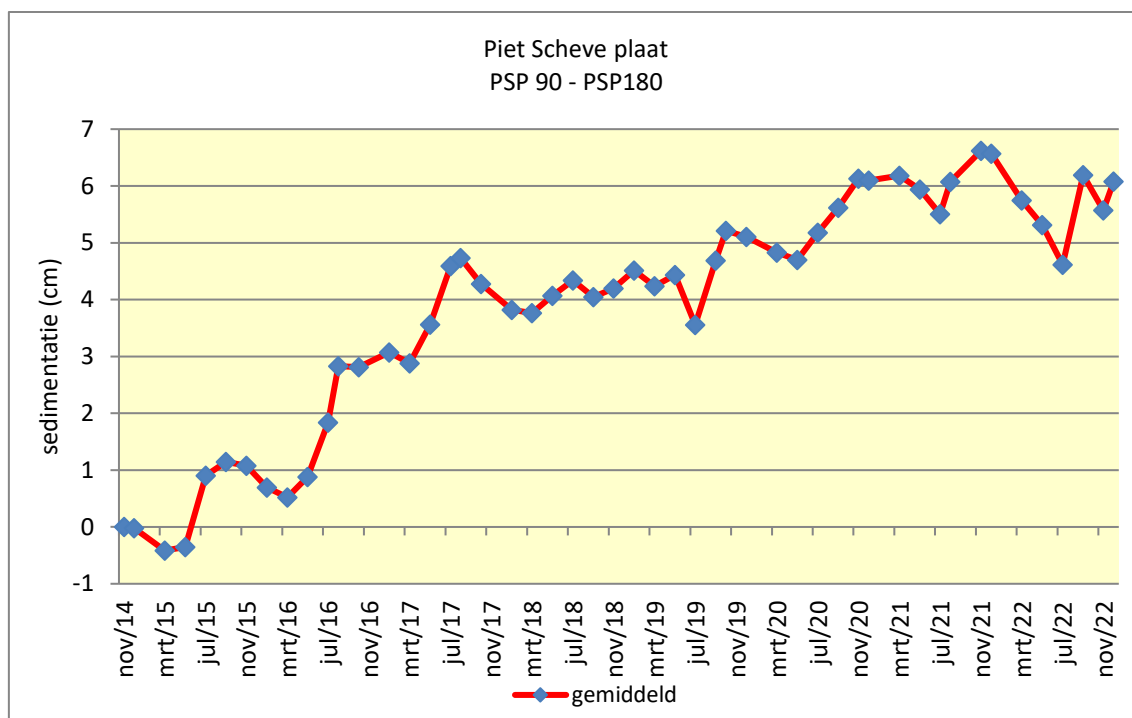
Ook bij de Piet Scheveplaat is de invloed van de extreme stormsituatie in de periode 16-20 februari 2022 (zie literatuur: KNMI) zichtbaar bij de eerstvolgende meting in maart 2022. Opvallend stijgend was station PSP120 en PSP160, maar PSP90, PSP100, PSP140, PSP170 en PSP180, lieten een sterke erosie zien. Door de stormen daalde het gemiddelde bijna 1 cm maar dat is een normale schommeling tussen twee meetdata (figuur 29).



Figuur 28. Gemiddelde sedimentatie van de meetstations PSP90 t/m PSP180 in het onderzoeksgebied Piet Scheveplaat.

6.3 Plaatsedimentatie in relatie tot tijd

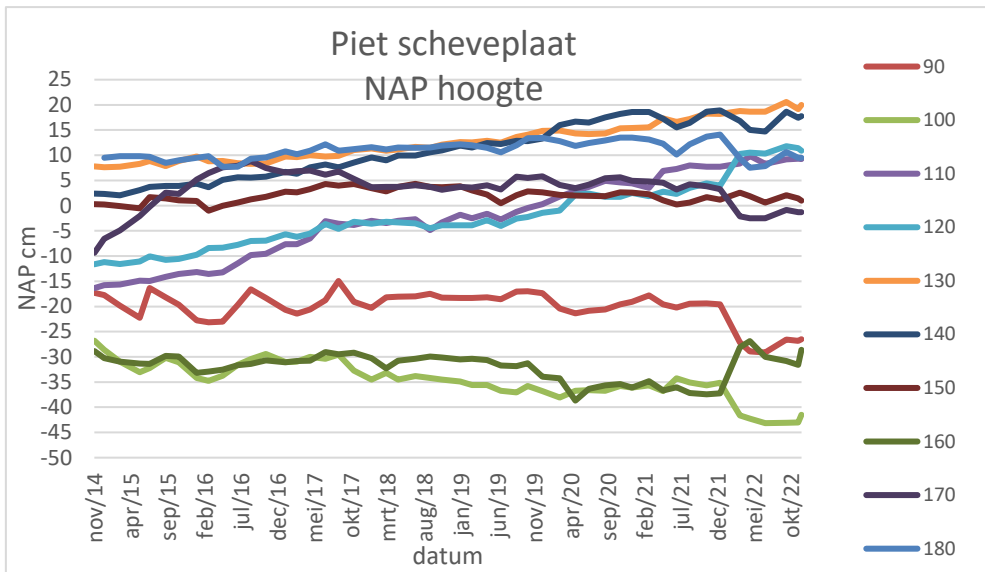
Om de ontwikkeling van de sedimentatie op Piet Scheveplaat in zijn algemeenheid te kunnen beoordelen zijn de resultaten van de zeven stations samengevoegd (figuur 29). Deze figuur geeft een goed overzicht van het plaatgedrag op maaiveldhoogte. Aan het eind van de meetreeks in december 2022 is gemiddeld sprake van 6,1 cm sedimentatie wat overeenkomt met een gemiddelde opslibbingsnelheid van 7,5 mm/j. De variatie tussen de stations is echter behoorlijk groot (figuur 28) maar zowel de sedimentatie als de gemiddelde snelheid van sedimentatie en de variatie tussen de stations zijn daarmee op een iets hoger niveau dan op Oost-Ameland (zie paragraaf 3.4) en West-Ameland (zie paragraaf 4.3). Waarbij in ogenschouw moet worden genomen dat de meetreeks korter is dan die van de andere twee gebieden.



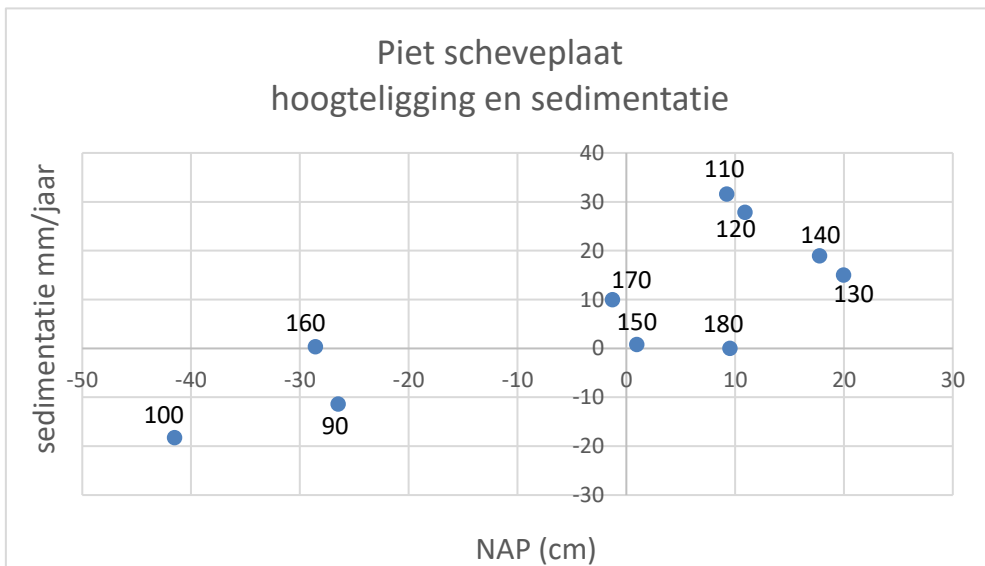
Figuur 29. Sedimentatie gemiddeld op de Piet Scheveplaat. Alle meetstations.

6.4 Plaatsedimentatie in relatie tot hoogteligging

Van het gebied Piet Scheveplaat zijn de NAP-hoogten van de meetstations met RTK/DGPS ingemeten in 2019 (tabel 3). Hierin kan een onnauwkeurigheid zitten van ongeveer 20 mm maar desondanks zijn deze data goed bruikbaar om alle meetstations te rangschikken op hoogteligging (december 2022) en te relateren aan de gemeten sedimentatie (figuur 31). De stations variëren in hoogteligging tussen -42 cm NAP en +20 cm NAP. Er lijkt een positief verband te zijn tussen een hogere ligging en hogere sedimentatie. Figuur 30 laat de hoogteligging van alle stations zien in de loop van de tijd.



Figuur 30. Hoogteverloop (NAP cm) van de meetstations op de Piet Scheveplaat.



Figuur 31. Sedimentatie in relatie de hoogteligging van alle meetstations op de Piet Scheveplaat.

6. Discussie

Teneinde vast te kunnen stellen of er een verdieping plaatsvindt in het deel van de Waddenzee dat binnen de contour van de diepe bodemdaling door gaswinning valt zijn vanaf het jaar 2000 meetstations op wadplaten zuidelijk van Oost-Ameland ingericht. Vanaf 2004 zijn 14 meetstations gevolgd en in 2011 zijn daar nog 3 stations aan toegevoegd. In 2006 zijn op het wad bij West-Ameland 6 referentiestations ingericht in een gebied zonder bodemdaling. In 2012 is daar een 7e station aan toegevoegd. In 2014 is een tweede referentiegebied zonder gaswinning gekozen op de Piet Scheveplaat. Deze plaat ligt tussen Holwerd en Ameland ten westen van de vaargeul naar Ameland. Hier zijn 10 meetstations ingericht die op dezelfde wijze als de andere twee gebieden wordt gemonitord in de tijd. De ligging van de meetstations is zo gekozen dat ze verspreid over het hele plaatgebied voorkomen en in een vlak gebied liggen waardoor de resultaten van de metingen zoveel mogelijk 'zeggingskracht' hebben over een relatief groot gebied. Een aantal meetstations is juist wel in de buurt van een geul, mosselbank of kwelderrand gelegd teneinde een indruk te krijgen van lokale sedimentatie in een meer dynamische omgeving. Indien de dynamiek echter te hoog is zoals langs een plaatrand blijkt de methode ongeschikt door het verdwijnen van de bovengrondse meetlijntjes en draagt de meting bovendien niet mee aan het verzamelen van data van een echte wadplaat.

In hoeverre de meetstations per plaatgebied iets zeggen over de gehele plaat wordt bij iedere meting in het oog gehouden door de omgeving van het meetstation te blijven beoordelen om te zien of het station nog voldoet aan de eisen toen het ingericht is. Daaruit is gebleken dat het merendeel van de meetstations ook na vele jaren nog steeds representatief is voor de directe omgeving en daarmee de sedimentatie op de plaat. In een enkel geval spelen er dynamische processen die dit beeld verstoren. Voorbeelden zijn de stations S100 dat op een plaatrand lag en door dynamiek verloren is gegaan en S60 bij Oost-Ameland waar na verloop van tijd eerst een geul door het meetstation uitgesleten is en het vervolgens in 2022 door graafwerkzaamheden aan de elektriciteitskabel naar Ameland helemaal verloren is gegaan. Soms is de dynamiek ook tijdelijk, zoals bij station S00 bij Oost-Ameland waar in de loop van de tijd de opkomst en ondergang van een mosselbank in de meetreeks kon worden gevolgd en in de periode 2014-2016 een sterke sedimentatie optrad door de ontwikkeling van een rif van zandkokerwormen (*Pygospio elegans*).

Deze metingen moeten worden gezien als een eenvoudige en doeltreffende manier om op een nauwkeurige schaal (mm niveau) met een vrij hoge frequentie (6 maal per jaar) sedimentatie op wadplaten te kunnen volgen. Hierbij wordt een goede indruk gekregen van de sedimentatie in de tijd waarbij vooral duidelijk wordt hoe groot lokaal de natuurlijke variatie door dynamiek is. Naarmate de meetreeksen zich uitstrekken over een langere periode winnen ze aan kracht. Hoe langer de reeks meetjaren is, des te beter zal het mogelijk zijn om langzame processen als bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging te onderscheiden van natuurlijke variatie op kortere tijdschalen. In dit onderzoek blijkt het mogelijk om na een reeks van 21 meetjaren (2000-2022) een goede kwantificatie te kunnen geven van het gecombineerde effect van bodemdaling en sedimentatie van een groot wadplaatgebied van ongeveer 8 km lengte langs de kust van Oost-Ameland. In dit gebied wordt een gemiddelde sedimentatie van 4,8 mm/j gemeten. Ten zuiden van West-Ameland is dit 5,2 mm/j over een kortere (2006-2022) meetperiode en op de Piet Scheveplaat is dit 7,5 mm/j over de periode 2014-2022. Deze vergelijkbare sedimentatiesnelheden wijzen mogelijk op een voor dit deel van de Waddenzee geldend sedimentatiemechanisme, waarbij de midden in zee gelegen plaat iets meer sedimenteert dan de twee aan Ameland gelegen platen. In het grootste deel van het wadplatengebied bij Oost-Ameland is er voldoende sedimentatie om de diepe daling door gaswinning te compenseren. Echter, in een beperkt gebied ten zuiden van het Oerd en de Hon is de sedimentatie minimaal en de diepe daling maximaal waardoor daar netto een verlaging van het maaiveld plaatsvindt met een snelheid van ongeveer 4 mm/j. Dit betekent een daling van ruim 8 cm in de afgelopen 21 jaar. Dit gebied is ook visueel zichtbaar vanaf de Oerdblinkert bij laagwater tijdens rustig weer in de vorm van een soort natte vallei waarin een laagje water blijft staan. De vraag of deze mindere opslibbing en vernatting verband houdt met de gaswinning blijft voer voor speculaties. Aangezien de oostpunt van Ameland van nature behoorlijk dynamisch is (Wang, in de Vlas 2017) en daardoor optredende veranderingen effect zullen hebben op de hydrodynamica van het zeewater, lijkt het waarschijnlijker dat de oorzaak gezocht moet worden in het feit dat het een soort toevoer-/afvoergebied is voor water dat rondom de oostpunt over dit plaatgebied trekt naar de monding van de Oerdsloot en het wantij daar.



Figuur 32. Beeld van het wad ten zuiden van het Oerd en de Hon tijdens laagwater waarop het stroomgebied vanaf het Pinkegat over de wadplaat naar de Oerdblinkert (linksmidden op de foto nog net zichtbaar) en Oerdsloot (achter camerastandpunt) ingetekend is. De arcering bevindt zich in het gebied waar de afgelopen jaren een netto verlaging heeft plaatsgevonden (zie paragraaf 3.6). Foto 26-4-2017.

7. Conclusies (2000-2022)

- De jaarlijkse opslibbing op het wad ten zuiden van Oost-Ameland (4,8 mm/j) verschilt weinig van de opslibbing bij West-Ameland (5,2 mm/j) en op de Piet Scheveplaat (7,5 mm/j). Dit zou kunnen duiden op een voor dit deel van de Waddenzee geldend sedimentatiemechanisme onafhankelijk van bodemdaling.
- De gemiddelde diepe daling door gaswinning bij Oost-Ameland (3,9 mm/j) wordt op het grootste deel van het wadplaatareaal gecompenseerd door een gemiddelde sedimentatie van 4,8 mm/j. Gemiddeld voor het hele gebied resulteert dit in een netto opslibbing van 0,9 mm/jaar.
- In een beperkt wadplaatgebied van 3 km lengte vlak langs de zuidkust bij Oost-Ameland, waar de diepe daling maximaal is en de opslibbing minimaal, ontstaat een netto verlaging van het maaiveld van ongeveer 4 mm/jaar. Een eenduidige oorzaak voor deze verlaging is niet te geven.
- De gekozen methodiek waarbij een ondergronds gefixeerd anker dienst doet als vast punt waarvan de afstand tot de wadbodem gemeten wordt met een dyneema draad werkt uitstekend op een wadplaat met niet te extreme dynamiek.

Literatuur

Eysink, W.D., N. Dankers, K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, C.J. Smit & J. de Vlas. 2000. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 13 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2000.

Hoeksema, H.J., H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde & J. de Vlas. 2004. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004. Rapport RIKZ/2004.025. Haren 2004.

Vlas, J. de, 2005. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 18 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2005.

Vlas, J. de, 2011. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2011.

Vlas, J. de, 2017. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 30 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2017.

Website KNMI: Informatie over drie stormen in korte tijd in voorjaar 2022.
<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/drielingstorm-dudley-eunice-en-franklin>

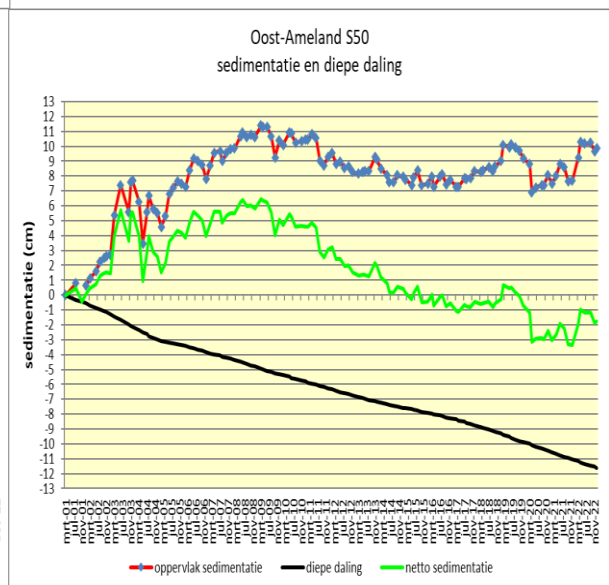
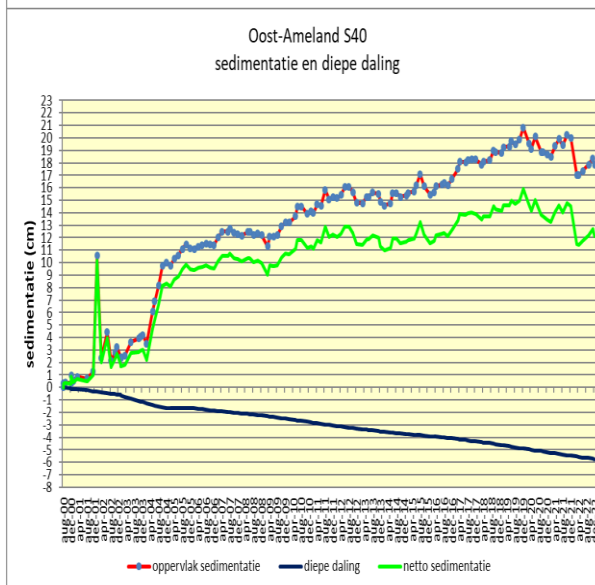
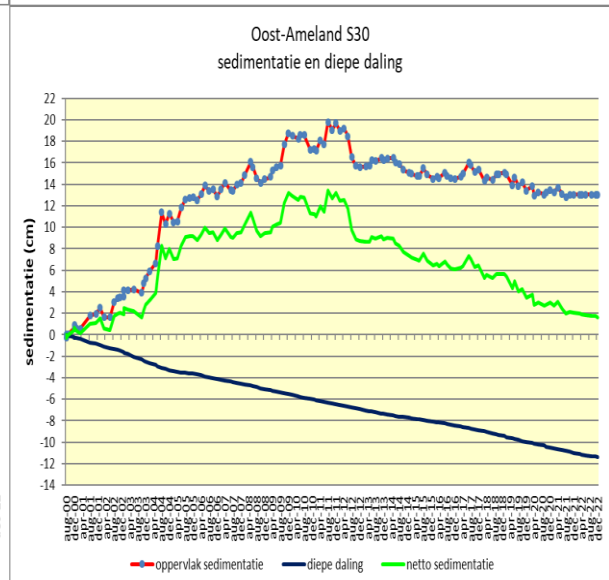
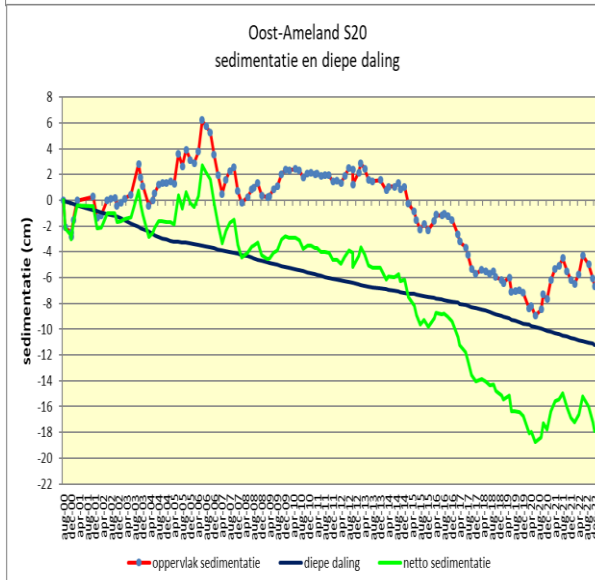
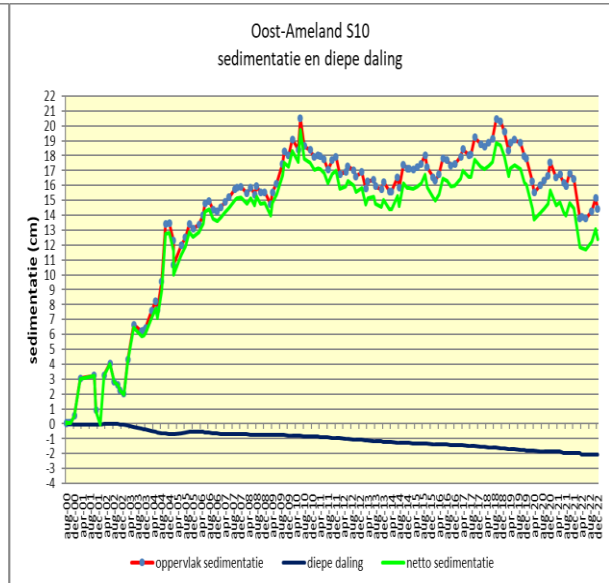
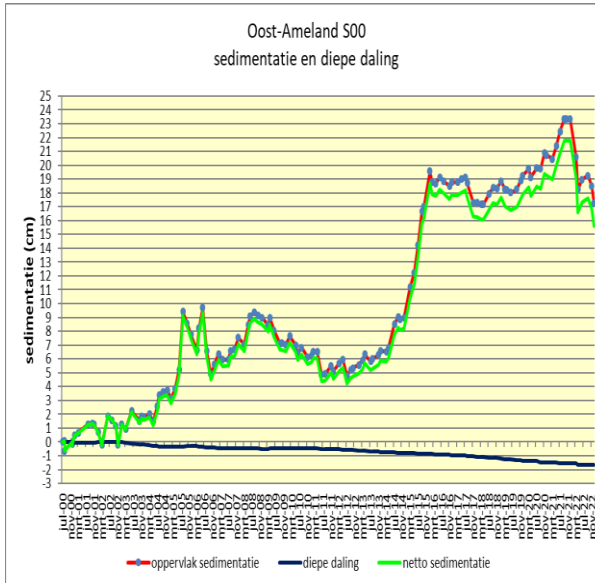
Bijlage B. Meetdata West-Ameland.

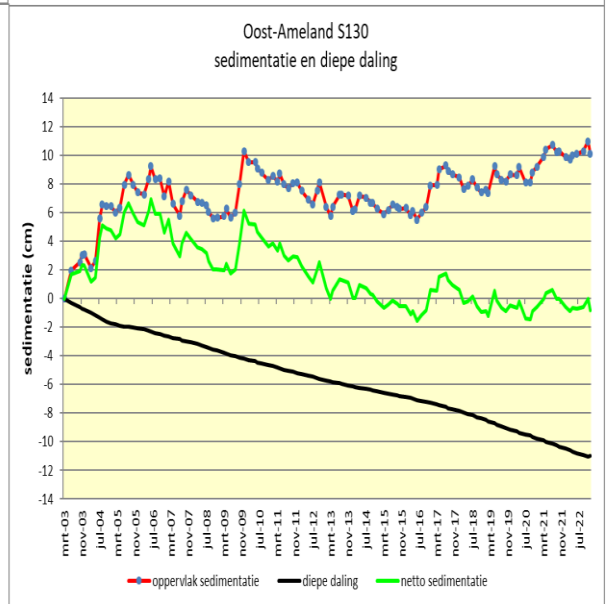
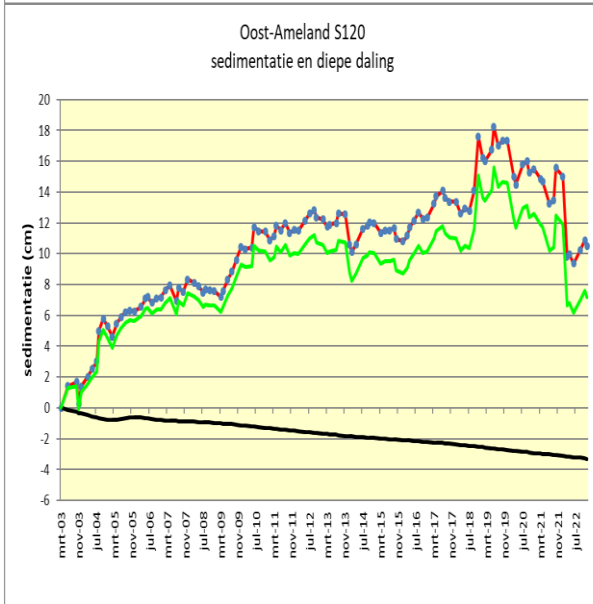
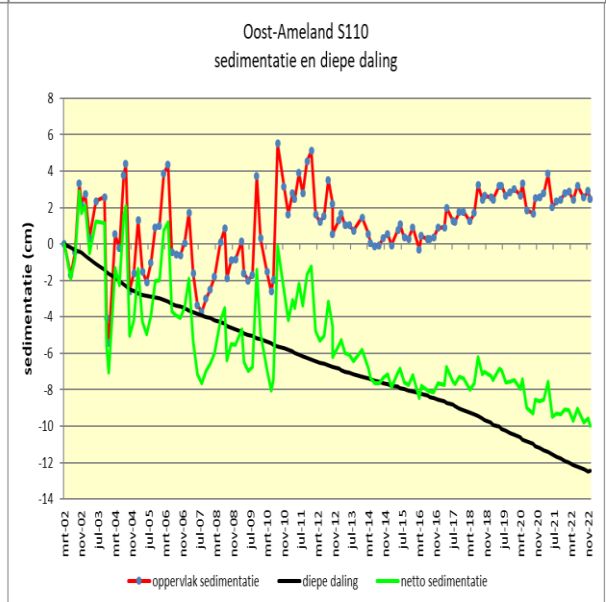
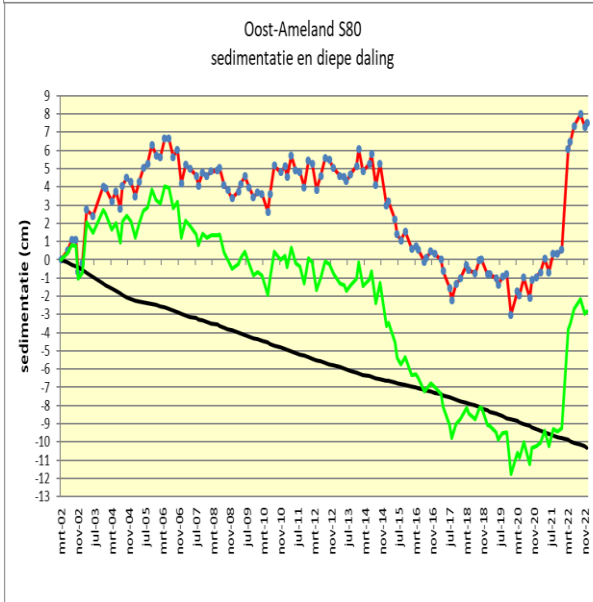
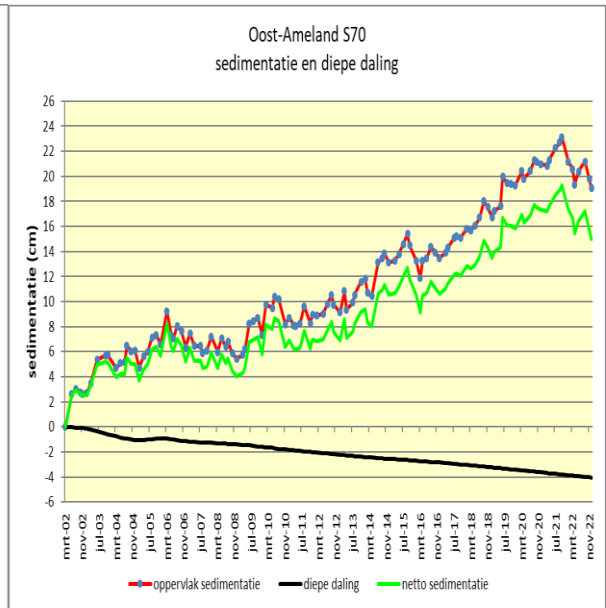
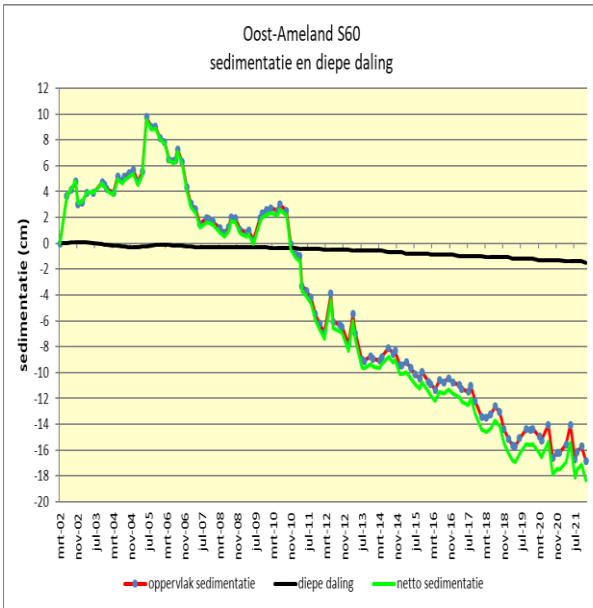
	gemiddelde verschilmetingen						
	H10	H20	H30	H40	H50	H60	H70
30-10-2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
22-12-2006	-0,15	1,48	0,52	0,73	1,48	-1,00	
28-2-2007	1,13	3,03	2,45	1,70	-0,03	-0,78	
24-4-2007	1,93	4,25	1,78	2,58	-0,10	0,28	
4-7-2007	2,70	4,30	1,40	2,23	-0,50	-0,82	
9-9-2007	2,88	4,78	0,35	3,35	0,30	-0,32	
26-10-2007	2,85	5,08	1,43	3,08	0,20	0,82	
22-12-2007	2,18	5,35	2,13	3,13	0,22	0,75	
7-3-2008	1,88	5,95	2,75	2,73	0,75	1,13	
11-5-2008	1,85	7,80	3,50	4,55	1,68	1,85	
5-7-2008	1,78	8,00	3,73	5,10	0,78	0,73	
29-8-2008	3,00	7,95	5,03	3,78	1,03	1,78	
12-11-2008	0,83	6,08	4,80	3,80	0,12	2,38	
10-12-2008	2,63	8,78	4,63	3,83	0,30	3,10	
9-3-2009	1,80	7,85	4,08	3,40	-0,90	2,48	
28-4-2009	2,60	9,03	4,40	4,33	-0,20	3,18	
6-7-2009	2,35	8,23	4,40	3,50	-0,82	2,45	
10-9-2009	3,93	8,65	4,93	4,78	0,05	3,28	
3-11-2009	1,30	7,45	3,40	4,25	-0,53	2,13	
16-12-2009	1,78	8,78	4,85	4,63	0,55	2,40	
3-3-2010	2,45	9,98	5,78	5,35	0,42	2,88	
6-5-2010	2,00	10,30	5,28	5,35	1,00	3,93	
9-7-2010	3,30	10,18	5,88	5,88	0,80	3,50	
30-8-2010	1,80	8,70	5,33	6,25	-0,43	3,75	
3-11-2010	0,13	8,38	3,30	6,00	-0,30	2,90	
5-1-2011	0,18	8,33	3,53	5,75	-1,98	2,28	
24-2-2011	0,65	8,90	4,50	6,35	-0,55	2,50	
26-4-2011	0,70	10,05	5,40	7,53	0,82	2,75	
27-6-2011	0,58	9,15	4,98	6,88	0,20	1,18	
2-9-2011	-0,90	9,53	5,38	6,88	0,12	3,30	
3-11-2011	1,60	9,35		6,55	-0,18	3,15	
22-12-2011	1,80	9,73		6,80	-0,52	2,88	
28-2-2012	1,10	10,33		7,98	-0,23	2,75	
7-5-2012	1,43	9,83		7,50	-0,23	3,48	0,00
3-7-2012	2,08	10,70	5,50	8,95	-0,08	3,08	0,45
4-9-2012	1,25	10,58	5,80	8,78	-0,55	3,03	-0,40
30-10-2012	0,13	10,53	5,43	8,03	-0,20	2,98	0,03
4-1-2013	1,00	10,83	5,60	7,03	-1,28	3,00	-0,07
3-3-2013	0,93	10,95	6,35	8,45	-0,07	2,83	0,03
6-5-2013	1,20	9,88	5,00	8,10	-1,38	3,70	0,53
2-7-2013	1,05	10,75	5,03	7,90	-1,55	2,68	-0,15
22-8-2013	0,95	10,50	5,93	8,58	-0,95	2,95	0,93
23-10-2013	0,63	9,95	5,20	8,78	-0,50	3,08	0,50
9-12-2013	-0,42	12,38	6,43	13,13	3,03	0,50	1,20
4-3-2014	0,68	12,15	6,83	13,48	5,20	0,80	1,35
2-5-2014	0,58	12,00	6,63	13,00	5,08	0,50	-0,07
30-6-2014	1,10	11,43	6,43	12,25	5,10	1,45	0,10
9-9-2014	0,25	11,85	6,55	13,75	5,33	0,45	-0,20
15-11-2014	-0,15	11,95	6,28	12,35	5,75	0,05	-0,22
31-12-2014	0,58	11,45	7,28	12,78	3,73	0,87	-1,38
25-2-2015	1,40	11,00	7,70	12,70	5,13	0,50	-0,97
29-4-2015	1,63	11,43	7,43	13,00	6,33	0,05	-1,53
3-7-2015	1,68	12,15	7,50	13,78	5,85	-0,73	-0,77
1-9-2015	1,25	11,65	7,45	13,43	5,35	-1,23	-1,60
29-10-2015	1,48	10,95	7,13	14,10	6,30	-0,13	-1,23
21-12-2015	1,58	11,53	8,50	12,10	5,48	-0,62	-1,10
24-2-2016	0,93	11,73	11,03	13,70	8,05	0,40	0,23
28-4-2016	0,93	11,63	11,58	14,08	13,83	-0,43	0,50
1-7-2016	1,28	11,18	11,03	13,80	13,18	-0,60	0,20
25-8-2016	1,00	12,25	11,95	14,03	12,30	0,10	-0,40
25-10-2016	0,75	11,73	11,38	13,78	11,45	0,30	-0,22
23-12-2016	0,65	11,43	12,48	14,33	8,85	0,48	0,48
23-2-2017	0,88	11,70	11,50	14,13	7,90	0,78	0,23
1-5-2017	1,68	11,95	12,43	14,85	7,58	1,25	1,08
30-6-2017	0,70	11,48	11,63	13,48	7,23	1,03	0,58
26-8-2017	0,43	11,05	12,10	12,83	6,23	1,23	0,35
25-10-2017	-1,13	11,20	9,83	14,55	5,98	0,03	0,28
28-12-2017	0,25	11,08	10,10	14,93	5,78	0,35	0,73
12-3-2018	-0,12	10,88	10,48	15,08	8,18	1,63	0,33
3-5-2018	0,18	11,65	10,55	15,93	7,55	1,83	0,68
4-7-2018	0,05	11,73	11,88	16,28	8,13	2,00	0,43
6-9-2018	-0,20	11,83	11,23	15,70	7,90	2,10	0,88
22-10-2018	-0,22	11,80	10,15	14,38	8,05	2,43	1,13
23-1-2019	0,08	11,23	9,75	15,18	7,48	1,88	1,10
25-2-2019	0,90	11,68	10,28	15,43	11,93	2,48	1,55
29-4-2019	1,65	11,48	10,23	15,58	11,73	1,55	2,48
24-6-2019	2,23	11,35	10,25	15,58	11,05	1,35	2,60
3-9-2019	1,88	11,28	10,03	14,80	6,58	2,00	1,15
30-10-2019	2,60	11,40	10,10	14,58	7,63	3,78	1,78
17-12-2019	3,75	11,78	10,10	15,40	5,95	6,25	2,23
26-2-2020	1,25	14,18	9,60	16,68	9,40	3,20	1,68
1-5-2020	0,58	13,55	8,50	17,00	9,03	2,60	1,48
30-6-2020	0,90	13,28	8,90	16,90	9,23	2,55	1,70
4-9-2020	1,10	13,60	9,18	16,55	8,95	2,50	1,80
28-10-2020	-0,12	13,63	8,68	16,35	5,78	2,33	1,53
21-12-2020	1,63	14,05	9,50	17,23	6,00	3,05	1,70
3-3-2021	0,55	14,00	8,95	17,68	4,93	3,13	1,60
30-4-2021	0,70	14,30	9,63	17,38	8,83	3,13	2,10
29-6-2021	1,73	14,53	8,93	19,48	8,13	3,90	1,98
31-8-2021	0,70	14,08	8,03	19,30	7,90	3,48	2,08
29-10-2021	0,25	14,18	8,63	18,33	6,68	3,78	1,63
20-12-2021	0,80	14,33	8,65	18,00	5,93	3,45	1,98
9-3-2022	-4,93	13,65	9,63	17,93	10,05	-2,48	2,58
6-5-2022	-1,63	15,30	11,73	22,43	11,85	-0,68	3,93
5-7-2022	-0,80	15,18	11,13	22,28	11,33	-1,90	3,00
14-9-2022	-0,42	15,20	11,35	22,08	11,38	-1,88	2,13
11-11-2022	-1,80	15,00	9,40	21,50	10,50	-2,25	2,35
21-12-2022	-1,08	15,18	9,90	21,53	10,55	-1,63	2,90
Cumulatie cm	-1,08	15,18	9,90	21,53	10,55	-1,63	2,90
meetduur maand	193	193	193	193	193	193	193
snelheid mm/j	-0,7	9,4	6,2	13,4	6,6	-1,0	2,6

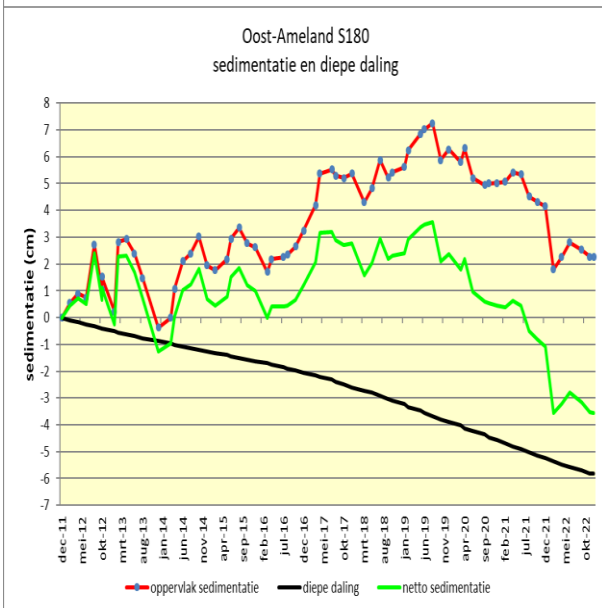
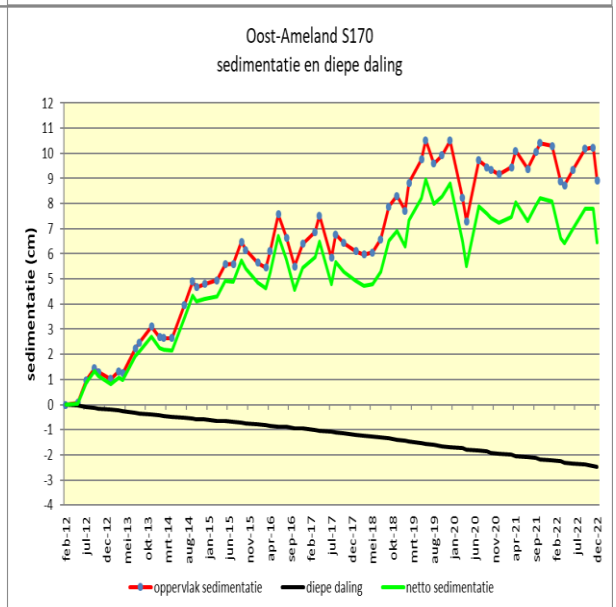
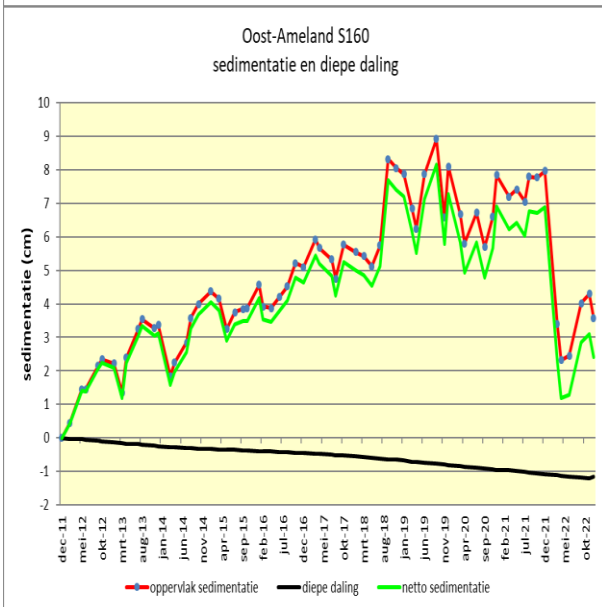
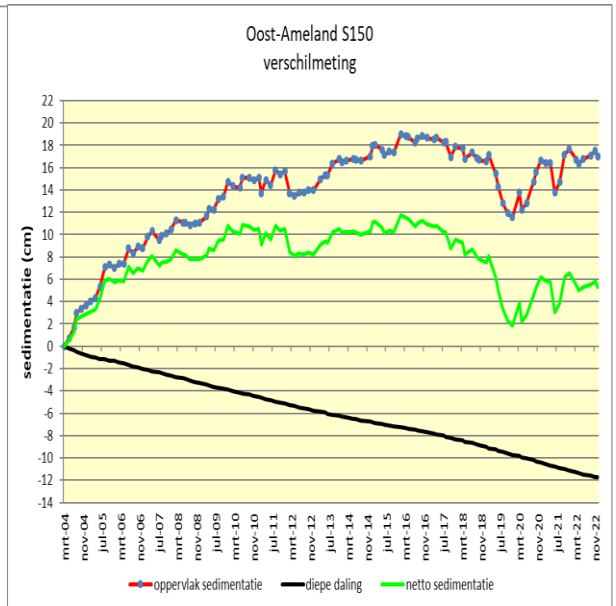
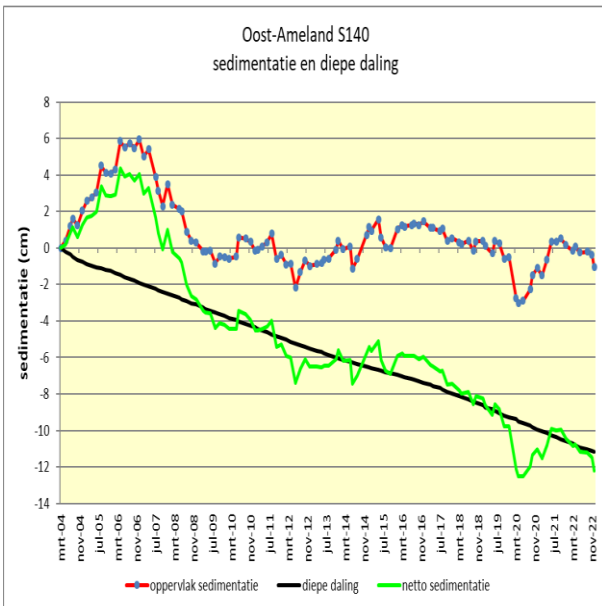
Bijlage C. Meetdata Piet Scheveplaat.

	PSP90	PSP100	PSP110	PSP120	PSP130	PSP140	PSP150	PSP160	PSP170	PSP180
nov-14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
dec-14	-0,45	-1,78	0,58	0,40	-0,17	-0,05	-0,07	-1,40	2,78	0,00
mrt-15	-2,55	-4,18	0,68	0,03	-0,05	-0,35	-0,40	-2,10	4,45	0,32
mei-15	-4,93	-6,23	1,48	0,55	0,50	0,70	-0,85	-2,45	7,33	0,35
jul-15	0,93	-5,40	1,38	1,55	1,08	1,33	1,35	-2,50	9,15	0,20
sep-15	-0,87	-3,40	2,20	0,90	0,05	1,53	1,13	-0,95	11,90	-1,00
nov-15	-2,33	-4,30	2,80	1,08	1,05	1,53	0,75	-1,05	11,70	-0,45
jan-16	-5,48	-7,38	3,18	1,88	1,98	1,98	0,60	-4,33	14,53	0,00
mrt-16	-5,83	-7,98	2,80	3,20	1,00	1,25	-1,33	-4,05	15,83	0,32
mei-16	-5,70	-6,93	3,13	3,30	1,08	2,73	-0,32	-3,68	16,95	-1,75
jul-16	-2,40	-4,80	4,88	3,88	0,63	3,23	0,30	-2,80	17,25	-1,75
aug-16	0,73	-3,68	6,53	4,60	0,53	3,18	0,93	-2,55	18,20	-0,18
okt-16	-1,00	-2,65	6,80	4,68	0,55	3,33	1,40	-1,85	16,83	0,07
jan-17	-3,35	-4,20	8,68	5,98	1,93	4,30	2,45	-2,23	15,90	1,28
mrt-17	-4,10	-4,18	8,70	5,43	1,80	3,90	2,35	-1,98	16,20	0,70
mei-17	-3,30	-3,23	9,85	6,10	2,20	5,23	2,93	-1,90	16,30	1,43
jul-17	-1,45	-3,58	13,28	7,98	1,98	5,80	3,95	-0,18	15,50	2,68
aug-17	2,35	-2,73	12,80	7,05	2,08	5,23	3,65	-0,60	16,10	1,43
okt-17	-1,78	-5,90	12,53	8,43	3,23	6,15	3,98	-0,27	14,68	1,75
jan-18	-3,00	-7,73	13,33	8,03	3,53	7,15	3,15	-1,40	13,03	2,13
mrt-18	-0,90	-6,40	12,90	8,40	3,10	6,60	2,53	-3,40	13,10	1,70
mei-18	-0,75	-7,70	13,33	8,30	3,33	7,53	3,40	-1,88	13,10	2,05
jul-18	-0,70	-7,03	13,68	8,13	3,85	7,58	4,00	-1,53	13,38	2,03
sep-18	-0,18	-7,40	11,50	7,18	3,70	8,20	3,40	-1,08	13,05	2,08
nov-18	-0,95	-7,70	13,03	7,75	4,30	8,58	3,33	-1,25	12,48	2,43
jan-19	-1,03	-8,08	14,53	7,75	4,83	9,53	3,53	-1,63	13,05	2,68
mrt-19	-1,00	-8,80	13,83	7,75	4,78	9,15	2,73	-1,48	12,93	2,53
mei-19	-0,90	-8,80	14,73	8,73	5,08	10,03	1,90	-1,78	13,40	2,00
jul-19	-1,28	-9,93	13,63	7,63	4,70	9,85	0,15	-2,85	12,58	1,10
sep-19	0,28	-10,23	15,10	9,05	5,85	10,48	1,75	-2,95	15,08	2,48
okt-19	0,33	-9,00	15,85	9,35	6,28	10,40	2,53	-2,38	14,88	3,90
dec-19	-0,07	-10,03	16,63	10,18	7,03	10,93	2,35	-5,08	15,15	3,95
mrt-20	-3,10	-11,25	18,15	10,63	7,08	13,58	1,80	-5,35	13,45	3,33
mei-20	-4,05	-9,95	19,28	13,83	6,50	14,28	1,68	-9,80	12,83	2,40
jul-20	-3,55	-9,83	20,05	14,03	6,43	14,10	1,65	-7,50	13,50	2,93
sep-20	-3,28	-9,90	21,28	13,40	6,53	15,08	1,55	-6,75	14,80	3,48
nov-20	-2,28	-8,98	20,98	13,35	7,58	15,83	2,33	-6,50	15,00	4,00
dec-20	-1,80	-9,33	20,80	14,15	7,60	16,18	2,28	-7,20	14,28	4,03
mrt-21	-0,47	-8,88	19,90	13,50	7,73	16,20	1,95	-5,93	14,18	3,63
mei-21	-2,28	-10,03	23,23	14,40	9,50	14,88	0,70	-7,78	13,90	2,85
jul-21	-2,95	-7,48	23,60	13,95	8,80	13,15	-0,12	-7,18	12,58	0,67
aug-21	-2,15	-8,30	24,33	15,15	9,40	14,05	0,28	-8,28	13,58	2,68
nov-21	-2,13	-8,83	24,10	16,05	10,48	16,23	1,38	-8,53	13,20	4,25
dec-21	-2,30	-8,33	24,05	15,58	10,43	16,50	0,85	-8,38	12,65	4,63
mrt-22	-9,85	-14,85	24,73	21,90	10,95	14,38	2,28	0,80	7,23	-0,10
mei-22	-11,65	-15,45	26,23	22,13	10,88	12,60	1,55	2,00	6,83	-1,95
jul-22	-11,83	-16,35	24,68	21,98	10,88	12,33	0,30	-1,10	6,88	-1,60
sep-22	-9,28	-16,30	25,55	23,43	12,78	16,23	1,75	-1,95	8,50	1,20
nov-22	-9,55	-16,25	25,65	23,03	11,38	15,05	1,10	-2,73	8,08	0,00
dec-22	-9,18	-14,73	25,58	22,53	12,18	15,35	0,65	0,30	8,08	0,05
totaal	-9,18	-14,73	25,58	22,53	12,18	15,35	0,65	0,30	8,08	0,05
maanden	97	97	97	97	97	97	97	97	97	95
snelheid mm/j	-11,4	-18,2	31,6	27,9	15,1	19,0	0,8	0,4	10,0	0,1

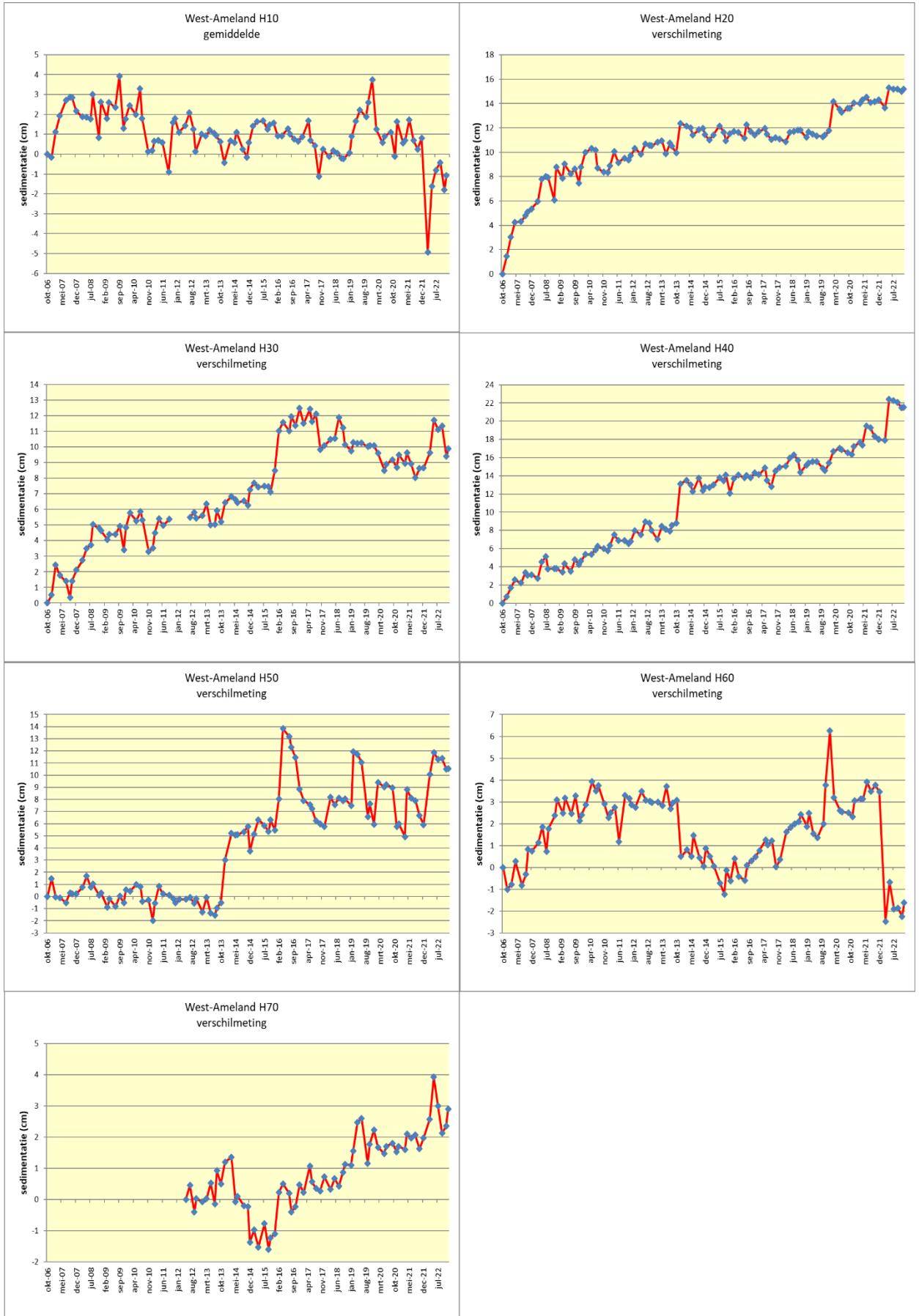
Bijlage D. Grafieken meetstations Oost-Ameland







Bijlage E. Grafieken meetstations West-Ameland.



Bijlage F. Grafieken meetstations Piet Scheveplaat.

