

Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog

Rapport 2022



Inhoudsopgave

| | |
|--|----|
| Samenvatting..... | 3 |
| 1. Methode..... | 4 |
| 2. Onderzoeksgebieden..... | 7 |
| 2.1 Oost-Ameland..... | 7 |
| 2.2 West-Ameland..... | 8 |
| 2.3 Piet Scheve plaat..... | 9 |
| 2.4 Paesens..... | 10 |
| 2.5 Engelsmanplaat..... | 11 |
| 2.6 Schiermonnikoog..... | 12 |
| 2.7. Overzicht alle onderzoeksgebieden..... | 13 |
| 3. Resultaten..... | 14 |
| 3.1 Uitwerking per meetstation..... | 14 |
| 3.2 Resultaten sedimentatiemetingen per onderzoeksgebied..... | 14 |
| 3.3 Wadsedimentatie in 2022..... | 20 |
| 3.4 Snelheid wadsedimentatie..... | 22 |
| 3.5 Wadsedimentatie in relatie tot hoogteligging..... | 23 |
| 3.5.1 Sedimentatie en hoogteligging van het gebied Oost-Ameland..... | 23 |
| 3.5.2 Sedimentatie en hoogteligging van het gebied Paesens..... | 25 |
| 3.6 Wadsedimentatie in relatie tot bodemdaling..... | 27 |
| 3.6.1 Oost-Ameland sedimentatie en diepe bodemdaling..... | 27 |
| 3.6.2 Paesens sedimentatie en diepe bodemdaling..... | 29 |
| 4. Andere sedimentatiemetingen bij Paesens..... | 30 |
| 4.1 Vergelijking met sedimentatiemetingen op kwelder Peazemerlannen..... | 30 |
| 4.2 Vergelijking met LIDAR verschilmeting in het onderzoeksgebied..... | 31 |
| 5. Extreme omstandigheden en sedimentatie..... | 32 |
| 6. Discussie..... | 34 |
| 7. Conclusies..... | 36 |
| Literatuur:..... | 38 |
| Bijlage A. Grafieken gemiddelde sedimentatie en SD van alle meetstations onderzoeksgebied Paesens bijgewerkt tm 2022..... | 40 |
| Bijlage B. Contourkaart van diepe daling in onderzoeksgebied Paesens..... | 42 |

Samenvatting.

Ten gevolge van gaswinning bij Oost-Ameland (sinds 1986) en Paesens-Moddergat/Lauwersoog (sinds 2007) vindt diepe bodemdaling plaats in het nabijgelegen deel van de Waddenzee. Om vast te kunnen stellen of in dit deel van de Waddenzee verdieping plaats vindt zijn op 6 wadplaten meetstations ingericht (hoofdstuk 1). De gebieden waar gemeten wordt, zijn Oost-Ameland (sinds 2000), West-Ameland (sinds 2006), Piet Scheve plaat (sinds 2014), Paesens-Moddergat (sinds 2003 en uitbreiding in 2007), Engelsmanplaat (sinds 2007) en Schiermonnikoog (sinds 2007). Alleen in de onderzoeksgebieden Paesens en Oost-Ameland vindt daadwerkelijk diepe daling door gaswinning plaats (figuur 12). Er wordt tweemaandelijks gemeten waarbij de meetstations tijdens laagwater lopend over het wad bezocht worden. Bij ieder meetstation wordt sedimentatie/erosie aan het oppervlak gemeten. Aan de hand van de metingen wordt een gemiddelde sedimentatie/erosie in de tijd per plaatgebied berekend over alle in dat gebied aanwezige meetstations.

In 2022 is op de plaatgebieden Oost-Ameland, West-Ameland, Paesens sprake van enige sedimentatie (4 tot 7 mm). Op de plaatgebieden Piet scheveplaat en Schiermonnikoog is sprake van enige erosie (-2 tot -5 mm). Op het plaatgebied Engelsmanplaat is sprake van een forse erosie van -46 mm.

Gerekend over de gehele meetperiode die tussen de onderzoeksgebieden varieert van de afgelopen 8 tot 21 jaar is er sprake van sedimentatie in alle 6 onderzochte gebieden. Engelsmanplaat is gemiddeld vrijwel stabiel met 0,1 mm/jaar. De overige gebieden laten gemiddeld een halve tot een hele centimeter sedimentatie per jaar zien. Het betreft Oost-Ameland +4,8 mm/j, Paesens +10,6 mm/j, West-Ameland +5,2 mm/j, Piet Scheve plaat +7,5 mm/j en Schiermonnikoog +6,4 mm/j (figuur 26).

Uit cijfers van de diepe daling van de bodem in het gebied bij Oost-Ameland die voor de periode 1986 tot 2020 beschikbaar zijn (bron: NAM module Ameland_GRIDS_2020) blijkt de diepe daling in een beperkt gebied ten zuiden van het Oerd en de Hon te zorgen voor een netto verlaging van de wadplaat. De diepe daling is hier groter dan de sedimentatie aan het oppervlak (figuur 35). Toch dient ook hierbij de gehele oostpunt van Ameland beschouwd te worden en dan blijken grootschalige morfologische en hydrodynamische processen belangrijker dan lokale diepe daling door gaswinning (van der Lugt, 2020).

De metingen bij Oost-Ameland ten westen van het wantij (Oerdsloot) laten zien dat daar voldoende sedimentatie is om de geringere diepe daling door gaswinning te compenseren.

Uit cijfers van de diepe daling van de bodem in het gebied bij Paesens die voor de periode 2009 tot 2020 beschikbaar zijn in de vorm van een contourkaart (bron: NAM) blijkt dat de daling het hoogst is aan de westzijde van het onderzoeksgebied (P180) en bedraagt daar 4 cm over de gemeten 10 jaar. Aan de oostzijde (P80) is in diezelfde periode 2 cm diepe bodemdaling gemeten. De netto sedimentatie (oppervlak sedimentatie minus diepe daling) in de periode 2007-2021 was alleen bij de westelijke stations P170 (-0,1 mm/j) en P180 (-0,1 mm/j) licht negatief. De overige 16 stations bleven na aftrek van diepe bodemdaling een positieve sedimentatiebalans houden (Krol 2022). Een korte periode met 3 zware stormen in februari 2022 bracht meetbare verandering in de sedimentbalans in het gebied. Verder van de dijk vond soms forse erosie plaats waardoor P50 en P60 nu gemiddeld netto erosie laten zien en dichterbij de dijk werd de diepe daling tenietgedaan bij P170 en P180 die nu een positieve balans laten zien (figuur 36). Maar ook hierbij kunnen veranderingen niet los worden gezien van de aanwezigheid van kunstwerken zoals strekdammen, dijken en de afdamming van het Lauwersmeer. Waarschijnlijk worden morfologische en hydrodynamische veranderingen in het gebied tussen Moddergat en Lauwersoog vooral hierdoor gestuurd (Wang, 2007).

Een vergelijking (zie 4.1) van NCA-spijkermetingen met sedimentatie metingen door onderzoeksbureau Artemisia op de overgang van de kwelder Peazemerlanden naar de Waddenzee laat zien dat twee verschillende methodes in dat gebied dezelfde opslibbingstrend en zeer vergelijkbare waarden meten (hoofdstuk 4). In het gebied vlak voor de kwelder Peazemerlanden vindt een forse opslibbing plaats en de bodemhoogte ligt daar inmiddels tussen +60 en +80 cm boven NAP waardoor er goede omstandigheden zijn voor de groei van een uitgebreid stuk pioniervegetatie met Zeekraal.

Een vergelijking (zie 4.2) van NCA-spijkermetingen (dit rapport) met een verschilkaart verkregen uit een LIDAR meting in 2010 en 2017 laat zien dat beide methodes dezelfde trend laten zien en de data zijn ook van dezelfde ordegrrootte. Ook in absolute zin komen de sedimentatiegetallen vrij nauwkeurig overeen.

1. Methode.

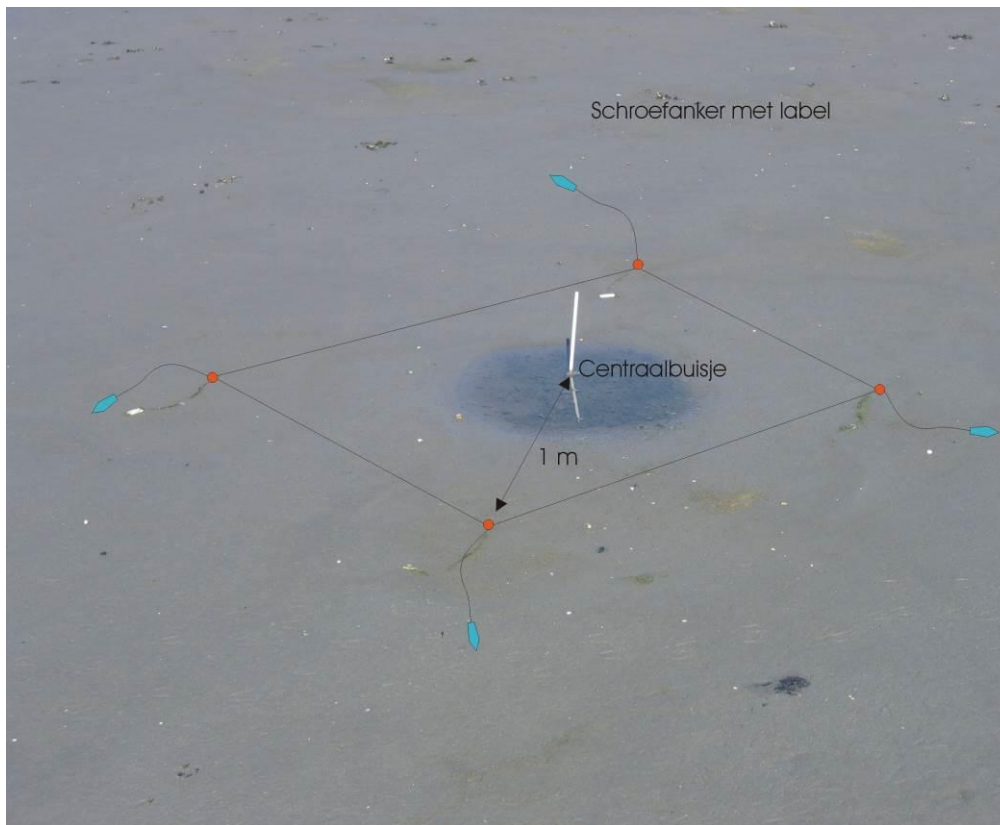
De sedimentatie aan het wadoppervlak wordt gemeten mbv ondergrondse ankers die 60 tot 90 cm onder het wadoppervlak geplaatst zijn. Aanvankelijk werden hiervoor grote bouwmarkt schroeven gebruikt, later is overgestapt op een nog zwaardere eigenbouw schroef als grondanker. Een meetstation op het wad bestaat 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 windrichtingen. Ieder meetstation is met handheld GPS ingemeten. De metingen vinden 6 maal per jaar plaats waarbij gestreefd wordt naar het doen van alle metingen in de laatste decade van feb, apr, jun, aug, okt en dec.



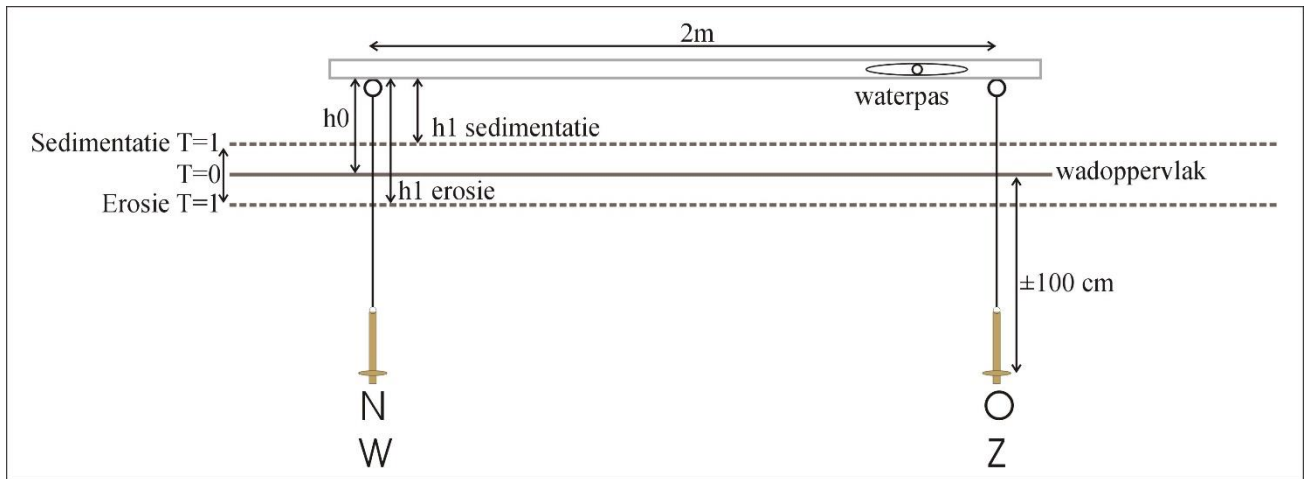
Figuur 1. Eigenbouw grondanker waaraan meettouw bevestigd wordt. Rechts de dop aan het uiteinde van de T-grondboor waarmee het anker in de bodem geschroefd wordt (zie figuur 2).



Figuur 2. Grote T-grondboor met dop aan uiteinde waarmee grondanker in de bodem geschroefd wordt. Het meettouw loopt door de grondboor en hieraan wordt later een identificatieblikje en aluminium afleesring bevestigd.



Figuur 3. Bovengrondse aanblik van een meetstation met 4 grondankers. De meettouwjes en afleeslabels (tegenwoordig aluminium ringen) zijn op de foto zichtbaar. Voor verduidelijking is een schema over de foto getekend. In het onderzoeksgebied Oost-Ameland is sprake van een duplo meetstation op 10m onderlinge afstand waardoor per meting 8 grondankers opgemeten worden. In alle andere onderzoeksgebieden is steeds sprake van 1 meetstation met 4 grondankers.



Figuur 4. Principeschema van de meetmethode om wadsedimentatie te monitoren. Indien na verloop van tijd een langere afstand tussen meetlabel 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 gevolgd wordt.

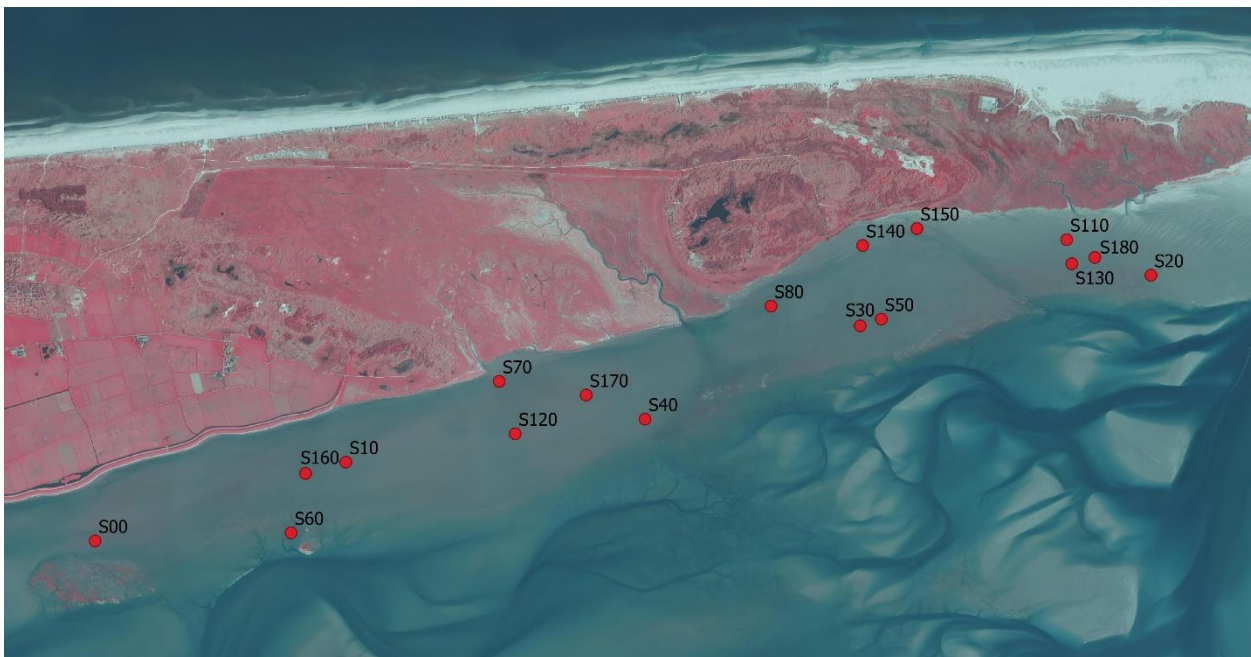


Figuur 5. Meetliniaal met meetvoet. Deze wordt steeds op dezelfde wijze op de bodem gezet waarna de lengte van het meettouw langs de schaal wordt afgelezen. In dit geval 45,1 cm.

2. Onderzoeksgebieden.

2.1 Oost-Ameland.

De eerste metingen zijn in 2000 begonnen in het bodemdalingsgebied Oost-Ameland. Vanaf 2004 zijn hier 16 meetstations ingericht waarbij er steeds sprake is van een duplo. Dat wil zeggen dat op 10 m afstand twee sets van 4 grondankers aangebracht zijn (zie figuur 3). Dit werd aanvankelijk gedaan vanwege regelmatige verstering van de meetstations door kokkelvisserij. De kokkelvisserij is inmiddels verboden en alle grondankers worden nu in de metingen opgenomen. In 2012 zijn de stations S160 tm S180 toegevoegd en hier zijn per station 4 grondankers geplaatst. Het gebied valt binnen de bodemdalingschotel vanwege de gaswinning onder Oost-Ameland. 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. Gemiddeld genomen komt dat neer op een dalingsnelheid van maximaal 6,8mm (S150) tot 0,7mm (S00) per jaar. Het wantij tussen het kombergingsgebied Borndiep en Pinkegat deelt het onderzoeksgebied in tweeën. Dit ligt tussen S40 (watert af naar westen) en S80 (watert af naar oosten) ter hoogte van de Oerdsloot die als kreek in de kwelder op figuur 6 zichtbaar is.



Figuur 6. Luchtfoto (2018) met meetstations bij Oost-Ameland ingetekend.

Tabel 1. Coördinaten meetstations Oost-Ameland.

| LOCATIE | X | Y | NAP cm 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 |

2.2 West-Ameland.

Als referentiegebied zonder diepe bodemdaling is op het wad ten zuiden van West-Ameland in 2006 een zestal meetstations ingericht. In 2012 is H70 toegevoegd.



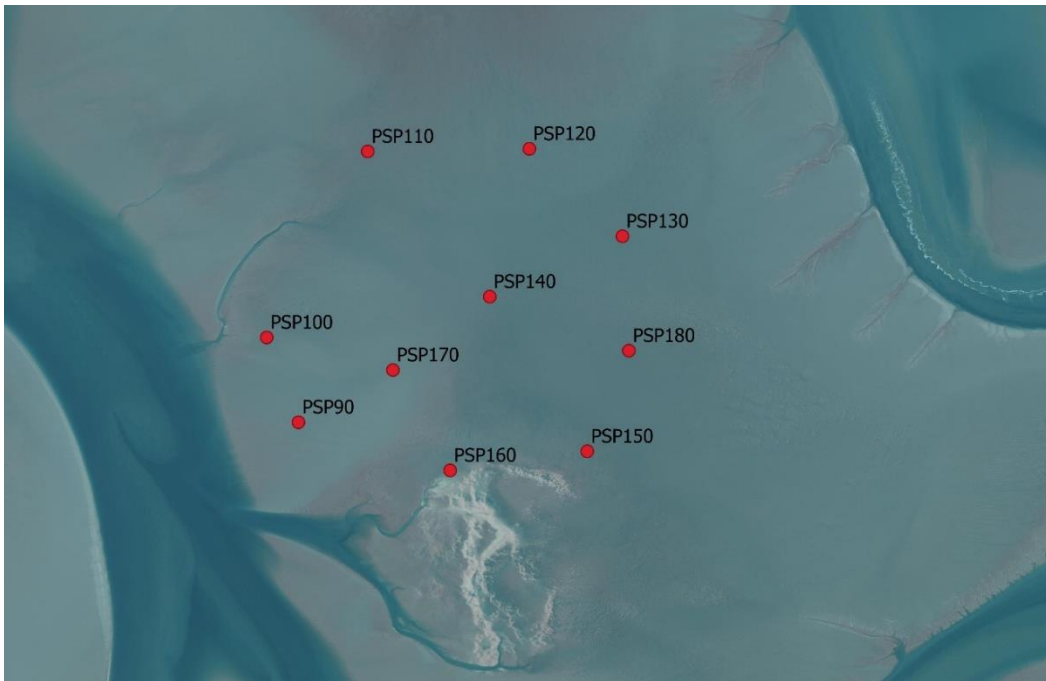
Figuur 7. Luchtfoto (2018) met 7 meetstations bij West-Ameland ingetekend.

Tabel 2. Coördinaten meetstations West-Ameland.

| LOCATIE | RD | | | Datum Plaatsing |
|---------|---------|---------|----------------|--------------------|
| | X | Y | NAP cm 2013 | Datum |
| H10 | 175.248 | 604.416 | 49,7 | 4-9-06 |
| H20 | 176.617 | 605.128 | 6,1 | 4-9-06 |
| H30 | 176.601 | 604.792 | 7,5 | 4-9-06 |
| H40 | 175.811 | 604.617 | 44,2 | 4-9-06 |
| H50 | 175.997 | 604.190 | 6,4 | 4-9-06 |
| H60 | 175.397 | 603.687 | 6,3 | 4-9-06 |
| H70 | 175.534 | 603.909 | 22,7 | 28-2-12 |

2.3 Piet Scheve plaat.

In 2014 is een nieuw referentiegebied ingericht op de Piet Scheve plaat. Hier is geen diepe daling door gaswinning. De NAP hoogteligging is in 2019 ingemeten.



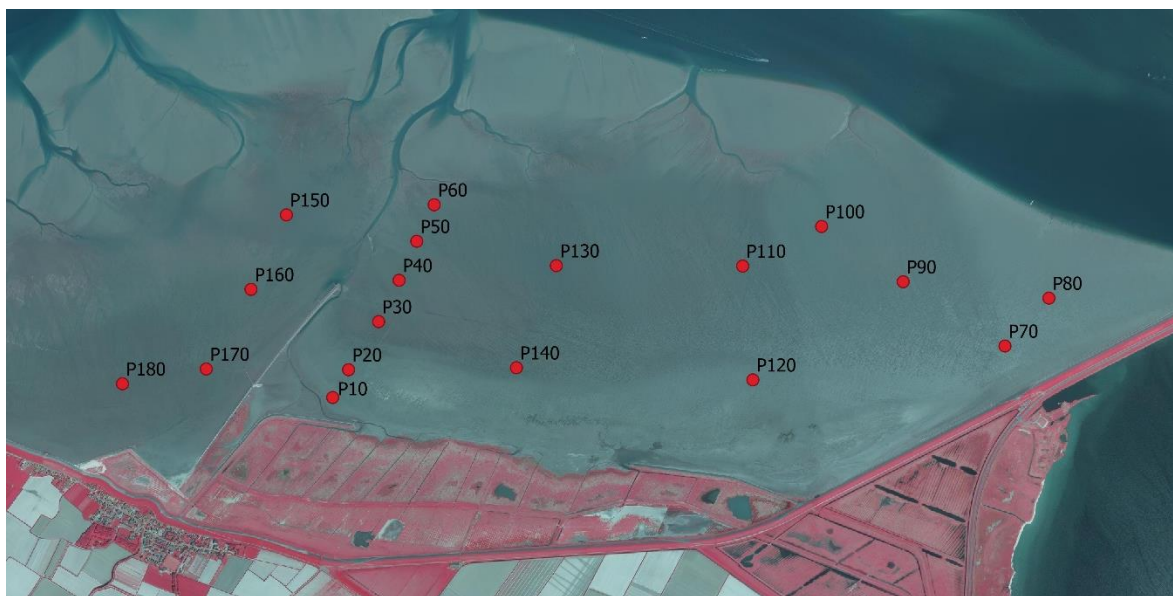
Figuur 8. Luchtfoto (2018) met 10 meetstations op de Piet Scheve plaat op het wad tussen Holwerd en Nes, ten westen van de vaargeul naar Ameland.

Tabel 3. Coördinaten meetstations Piet Scheve plaat.

| | 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 |

2.4 Paesens.

In 2003 is een raai van 6 meetstations (P10 tm P60) uitgezet op het wad ten noorden van Paesens. In 2007 is het gebied uitgebreid en zijn er 12 meetstations toegevoegd waardoor het totaal nu op 18 meetstations komt. Dit gebied sluit aan op het onderzoeksgebied op Engelsmanplaat en ligt binnen de dalingschotel vanwege gaswinning bij Moddergat/Lauwersoog (zie tabel 4).



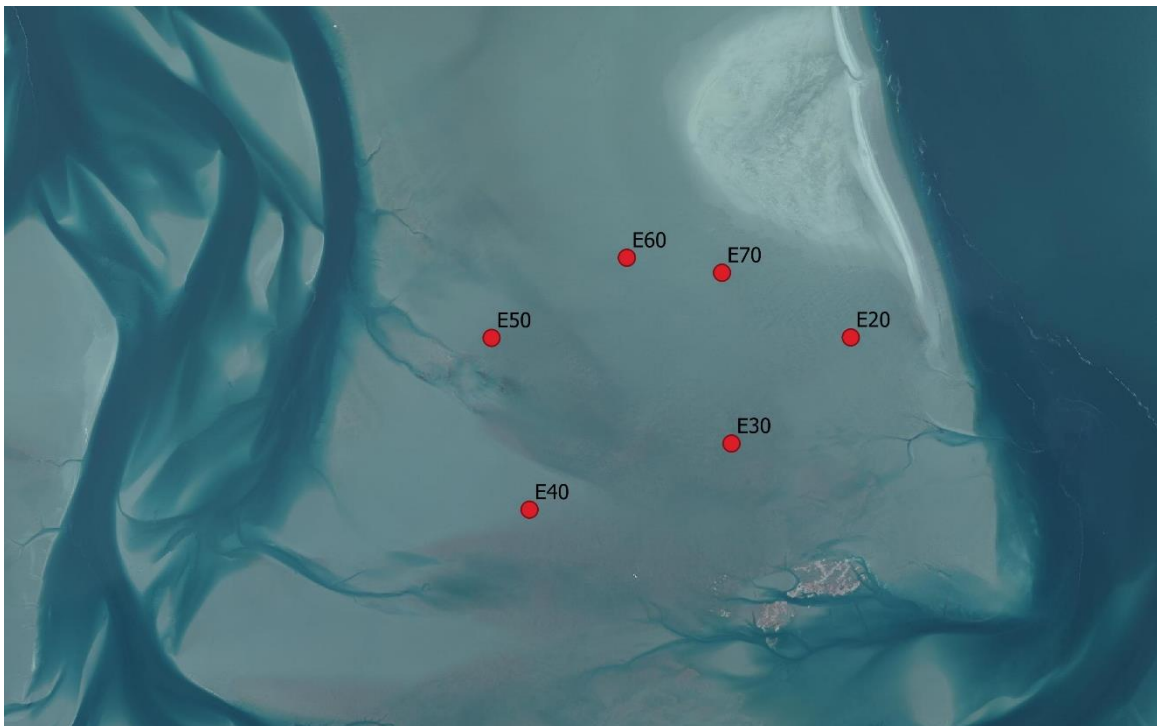
Figuur 9. Luchtfoto (2018) met 18 meetstations bij Paesens ingetekend.

Tabel 4. Coördinaten meetstations Paesens. De diepe daling over de periode 2006-2021 is afgeleid uit de contourkaart in bijlage B.

| Meetstations Paesens | | | 2-9-2013 NAP cm | Datum Plaatsing | Diepe daling 2006-2021 mm |
|----------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|------------------------------------|
| LOCATIE | X (RD) | Y (RD) | | | |
| P10 | 202.334 | 602.742 | 74,2 | 9-9-2003 | 45 |
| P20 | 202.423 | 602.898 | 76,5 | 9-9-2003 | 44 |
| P30 | 202.592 | 603.168 | 41,8 | 9-9-2003 | 40 |
| P40 | 202.707 | 603.400 | 8,1 | 9-9-2003 | 40 |
| P50 | 202.806 | 603.619 | -16,6 | 9-9-2003 | 38 |
| P60 | 202.904 | 603.824 | -29 | 9-9-2003 | 35 |
| P70 | 206.110 | 603.031 | 56,6 | 26-2-2007 | 23 |
| P80 | 206.357 | 603.300 | 19,5 | 26-2-2007 | 20 |
| P90 | 205.538 | 603.392 | 38,1 | 26-2-2007 | 23 |
| P100 | 205.080 | 603.702 | 16 | 26-2-2007 | 24 |
| P110 | 204.637 | 603.480 | 27,6 | 26-2-2007 | 27 |
| P120 | 204.694 | 602.841 | 80,9 | 26-2-2007 | 30 |
| P130 | 203.590 | 603.482 | 10,7 | 27-2-2007 | 32 |
| P140 | 203.366 | 602.909 | 60,8 | 27-2-2007 | 38 |
| P150 | 202.074 | 603.767 | -19,4 | 27-2-2007 | 40 |
| P160 | 201.875 | 603.349 | -3,3 | 27-2-2007 | 45 |
| P170 | 201.624 | 602.902 | 29,2 | 27-2-2007 | 50 |
| P180 | 201.153 | 602.819 | 19,9 | 27-2-2007 | 54 |

2.5 Engelsmanplaat.

In 2007 zijn op het zuidelijke deel van Engelsmanplaat zes meetstations uitgezet. Dit gebied sluit aan op het onderzoeksgebied bij Paesens en ligt binnen de uiteindelijk verwachte dalingschotel vanwege gaswinning bij Moddergat/Lauwersoog en Ameland gecombineerd (ongeveer 4 cm in 2040). In 2012 is station E70 toegevoegd. Station E10 lag op de rand van Engelsmanplaat ten oosten van E20 en dit gebied bleek sinds 2010 enorm dynamisch waarbij het station verloren ging. Inmiddels is er vanuit de gaswinning bij Paesens ongeveer 2 mm diepe daling in de periode 2006-2021. In de verwerking van de sedimentatie aan het oppervlak zoals in dit onderzoek is vastgesteld is hiermee nog geen rekening gehouden. Mochten de cijfers substantiëler worden ten opzichte van de sedimentatie zoals bij Oost-Ameland en bij Paesens dan zal de diepe daling worden verrekend.

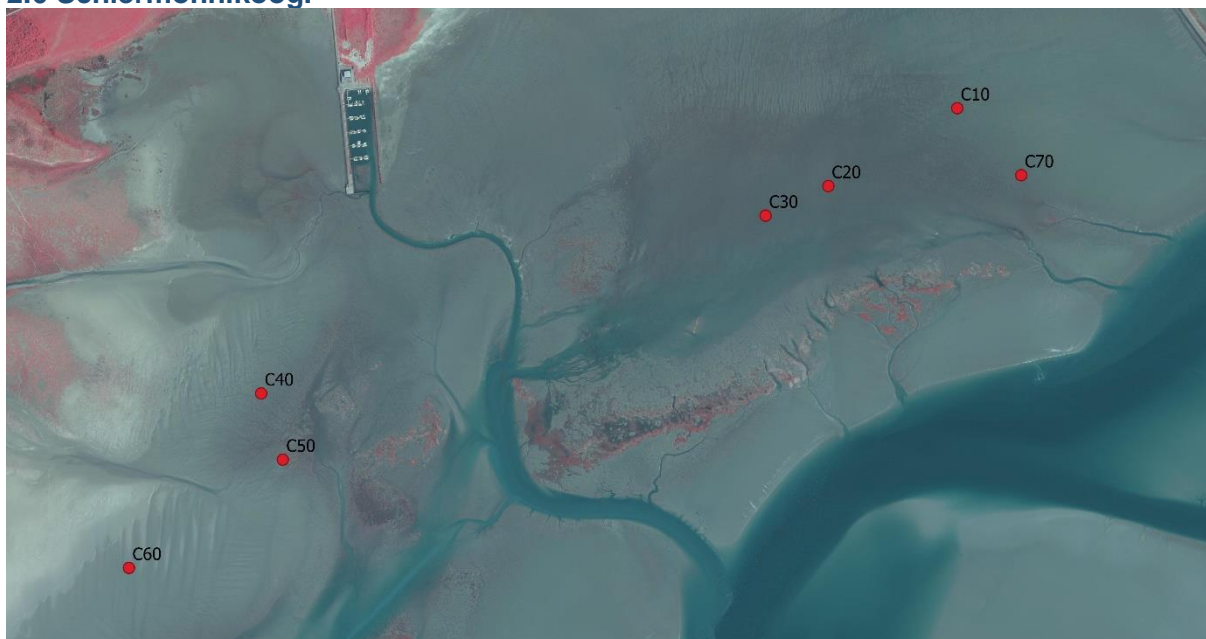


Figuur 10. Luchtfoto (2018) met 6 meetstations op Engelsmanplaat ingetekend. In 2012 is station E70 toegevoegd. E10 is door erosie aan de oostkant van Engelsmanplaat verdwenen.

Tabel 5. Coördinaten meetstations Engelsmanplaat.

| LOKATIE | RD | | | Datum Plaatsing | DiepeDaling 2006-2021 mm |
|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| | X | Y | 3-9-2013 NAP cm | | |
| E10 | 200.099 | 607.019 | | 3-03-07 | 2 |
| E20 | 199.922 | 606.518 | 25,1 | 3-03-07 | 2 |
| E30 | 199.444 | 606.093 | -2,8 | 3-03-07 | 3 |
| E40 | 198.635 | 605.828 | -6,4 | 3-03-07 | 3 |
| E50 | 198.483 | 606.516 | -18,5 | 3-03-07 | 2 |
| E60 | 199.025 | 606.837 | 40 | 3-03-07 | 2 |
| E70 | 199.406 | 606.777 | 50,9 | 20-1-12 | 2 |

2.6 Schiermonnikoog.



Figuur 11. Luchtfoto (2018) met 7 meetstations op Schiermonnikoog ingetekend.

In 2007 zijn 6 meetstations uitgezet ten zuiden van Schiermonnikoog. Drie in het gebied tussen de veerdam en de jachthaven en drie ten westen van de jachthaven. In 2013 is een station C70 toegevoegd. Dit onderzoeksgebied ligt juist op de rand van de voorspelde dalingschotel vanwege gaswinning bij Moddergat/Lauwersoog en dient als referentie voor de gebieden Engelsmanplaat en Paesens. De hoogteligging van de stations is in 2019 ingemeten. Bij Schiermonnikoog is nog geen diepe daling vastgesteld door de gaswinning bij Paesens/Lauwersoog.

Tabel 6. Coördinaten meetstations Schiermonnikoog.

| LOKATIE | RD | | | Datum Plaatsing | Diepe daling 2006-2021 mm |
|---------|---------|---------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
| | X | Y | Z (cm NAP) 24-10-19 | | |
| C10 | 208.225 | 609.566 | 5,5 | 2-03-07 | 0 |
| C20 | 207.915 | 609.379 | -8,8 | 2-03-07 | 0 |
| C30 | 207.764 | 609.308 | -15,3 | 2-03-07 | 0 |
| C40 | 206.551 | 608.881 | 18,1 | 2-03-07 | 0 |
| C50 | 206.603 | 608.722 | -1,1 | 2-03-07 | 0 |
| C60 | 206.233 | 608.462 | 46,7 | 2-03-07 | 0 |
| C70 | 208.379 | 609.405 | -10,1 | 5-04-13 | 0 |

2.7. Overzicht alle onderzoeksgebieden.

In het gebied tussen West-Ameland en Schiermonnikoog zijn momenteel in totaal 64 meetstations uitgezet. Hierbij gaat het om 312 grondankers in totaal. Diepe bodemdaling is in 2022 vooral gaande in het gebied Oost-Ameland. Dit al sinds 1986. Er zijn data van de daling van de diepe ondergrond beschikbaar tot februari 2020. In het gebied Paesens/Engelsmanplaat is gaswinning in 2007 gestart en er zijn data van de daling van de diepe ondergrond beschikbaar over de periode 2006-2021 (bijlage B).

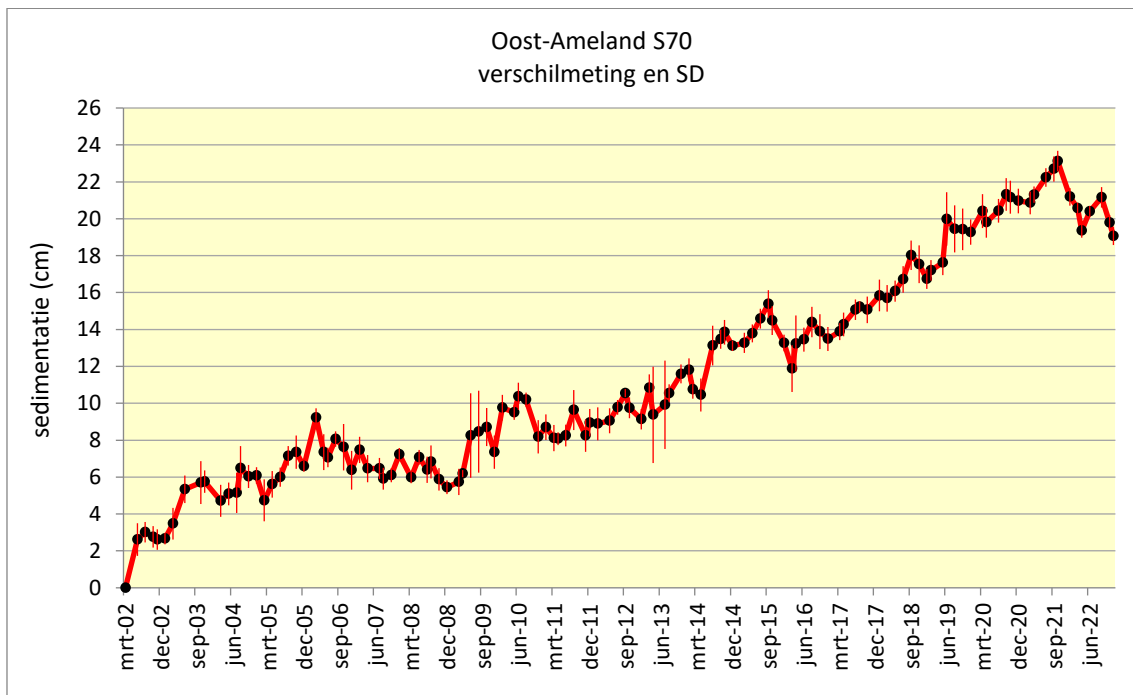


Figuur 12. Een overzicht van alle onderzoeksgebieden en meetstations op een luchtfoto (2018) ingetekend.

3. Resultaten.

3.1 Uitwerking per meetstation.

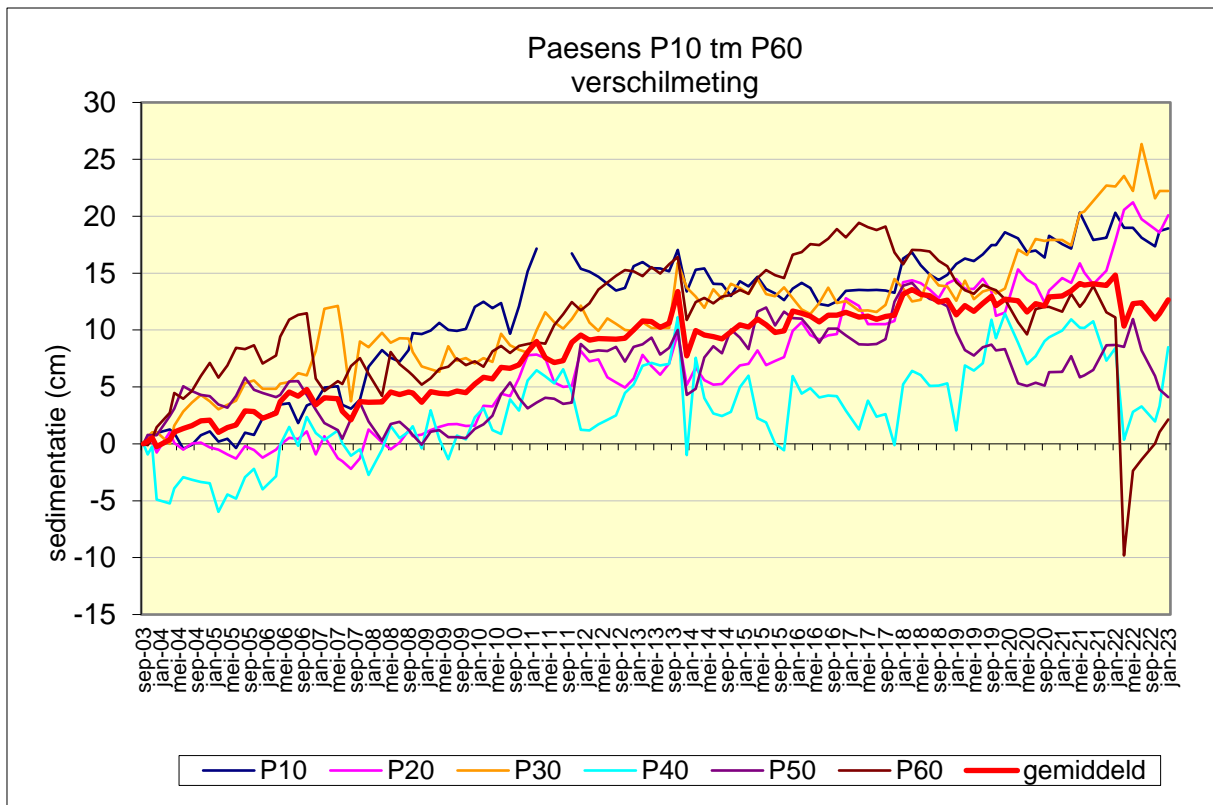
Voor de berekeningen zijn alle beschikbare grondankers meegenomen. In de meeste gevallen betekent dit per meting per meetstation 4 grondankers die gemiddeld worden. Soms is een touwtje met meetlabel (tijdelijk) onvindbaar en vindt middeling over de wel beschikbare grondankers plaats. Een voorbeeld van een meetreeks staat in figuur 13. De gemiddelde verandering tussen iedere meting is gecumuleerd ten opzichte van het meetbegin van het station en de standaarddeviatie van iedere meting is ingetekend. Op deze wijze zijn alle meetstations uitgewerkt.



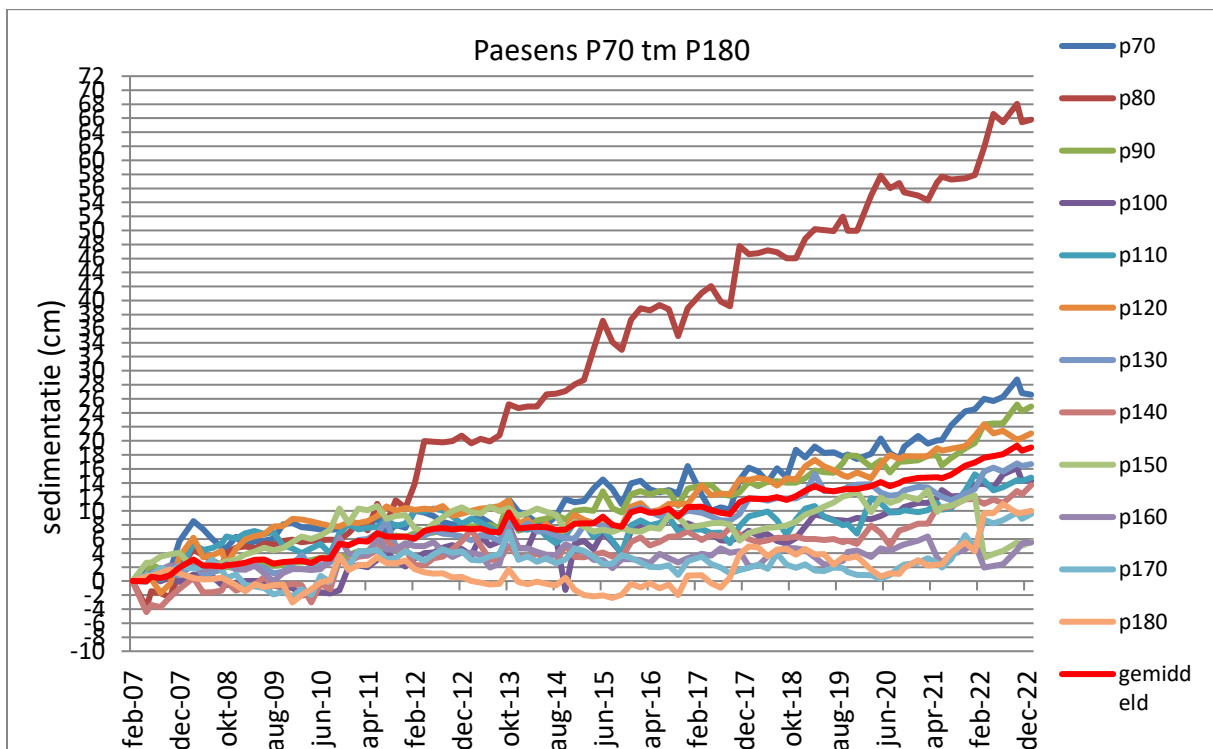
Figuur 13. Meetreeks van meetstation S70 in het onderzoeksgebied Oost-Ameland.

3.2 Resultaten sedimentatiemetingen per onderzoeksgebied.

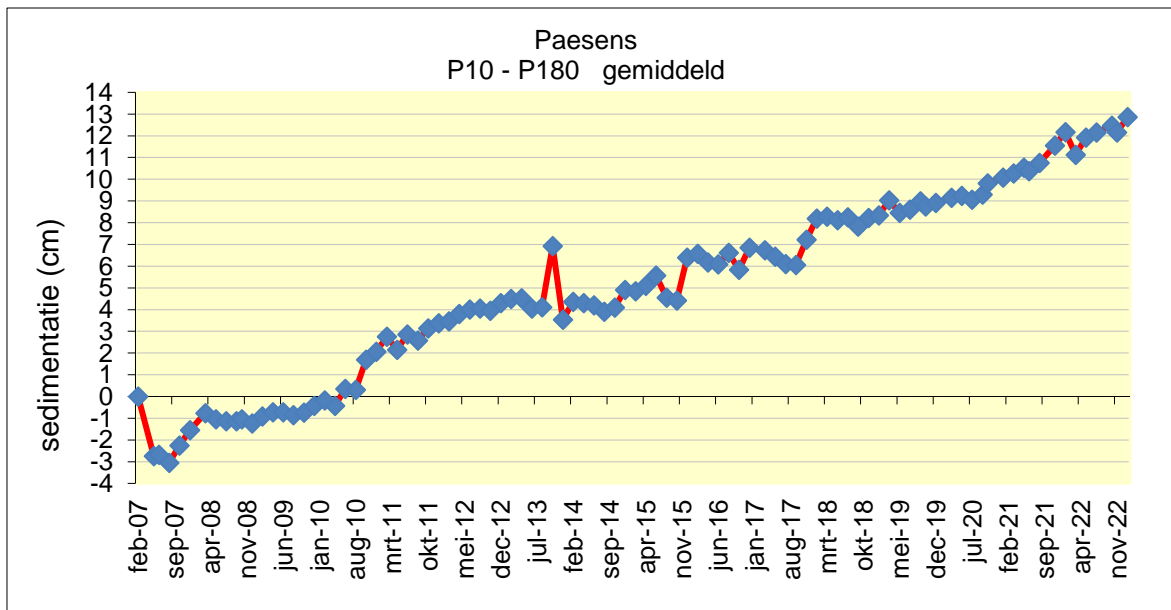
Per onderzoeksgebied zijn de gemiddeldes van ieder meetstation samengevoegd in een grafiek. Een eerste voorbeeld hiervan is figuur 14 waar de gemiddelde sedimentatie van de stations P10 tm P60 uit het onderzoeksgebied bij Paesens is weergegeven. Hierin is ook het gemiddelde van deze 6 meetstations uitgezet als indicatie van de sedimentatie van het gebied waarin de meetstations liggen. Een tweede voorbeeld is in figuur 15 weergegeven waar voor het onderzoeksgebied Paesens het gemiddelde van de stations P70 tm P180 staat. Op deze wijze zijn de meetreeksen van alle zes onderzoeksgebieden uitgewerkt (figuur 14 tm 24). Daarnaast wordt van onderzoeksgebied Paesens de gemiddelde sedimentatie bij alle meetstations gedurende de hele meetperiode weergegeven in Bijlage A.



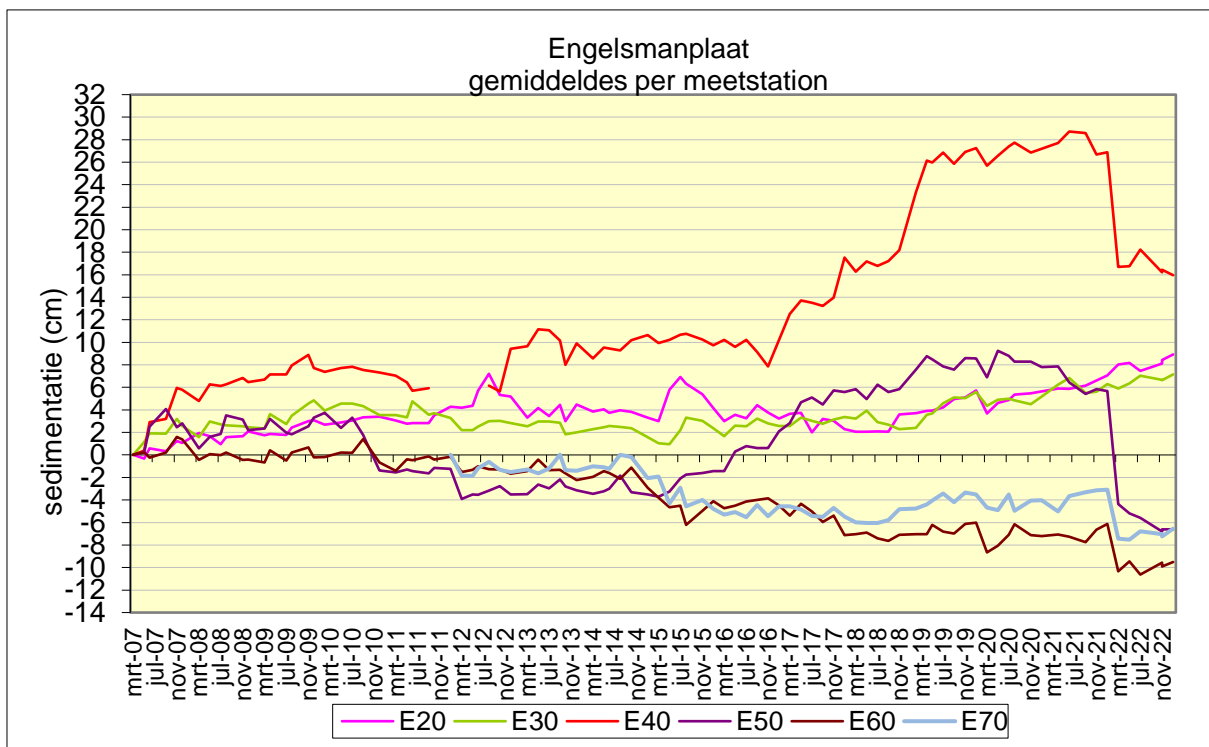
Figuur 14. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations P10 tm P60 in het onderzoeksgebied bij Paesens. Tevens is het gemiddelde (rode lijn) van deze 6 meetlijnen genomen als weergave van de sedimentatie van het gebied waarin de meetstations liggen. De stormperiode in februari 2022 komt vooral in P40 en P60 tot uiting door erosie.



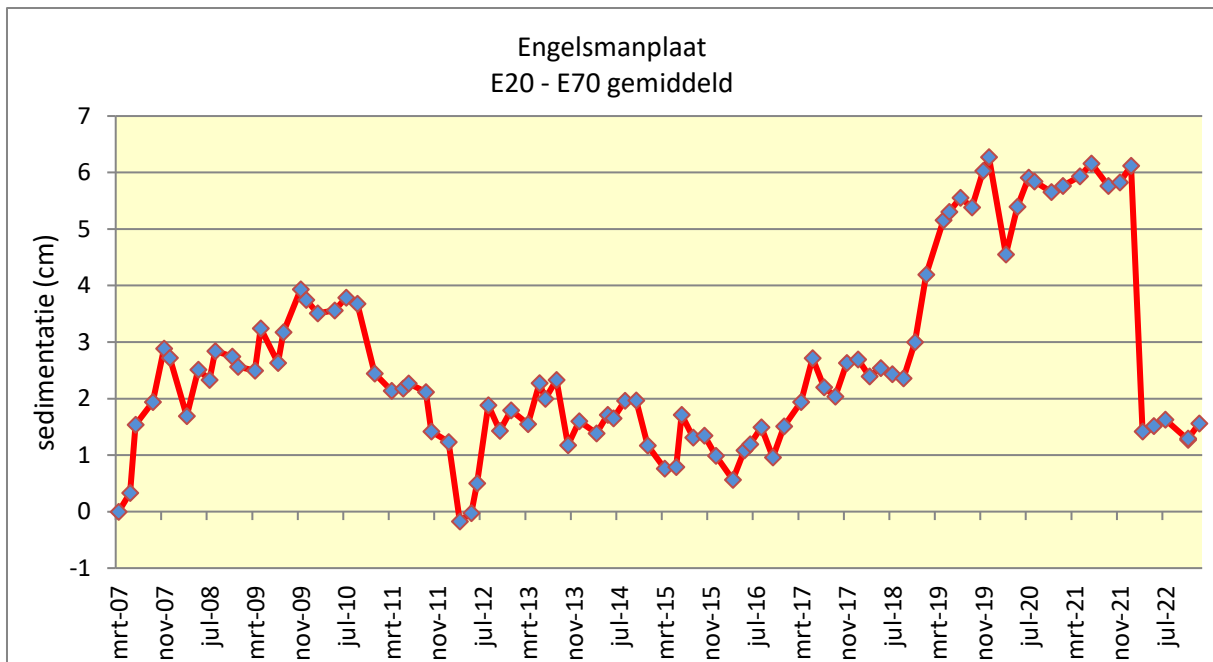
Figuur 15. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations P70 tm P180 in het onderzoeksgebied bij Paesens. Tevens is het gemiddelde (rode lijn) van deze 12 meetlijnen genomen als weergave van de sedimentatie van het gebied waarin de meetstations liggen.



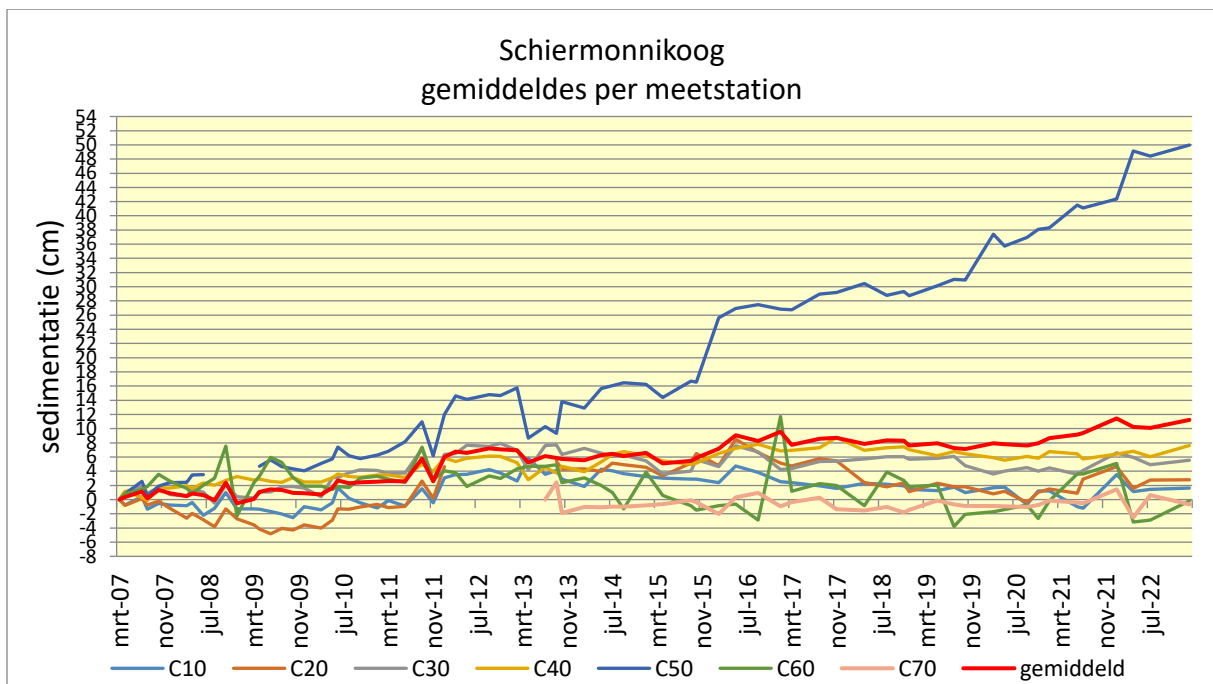
Figuur 16. Gemiddelde verschilmeting van de meetstations P10 tm P180 in het onderzoeksgebied bij Paesens. De stormperiode in februari 2022 komt ook in het gemiddelde tot uiting door erosie.



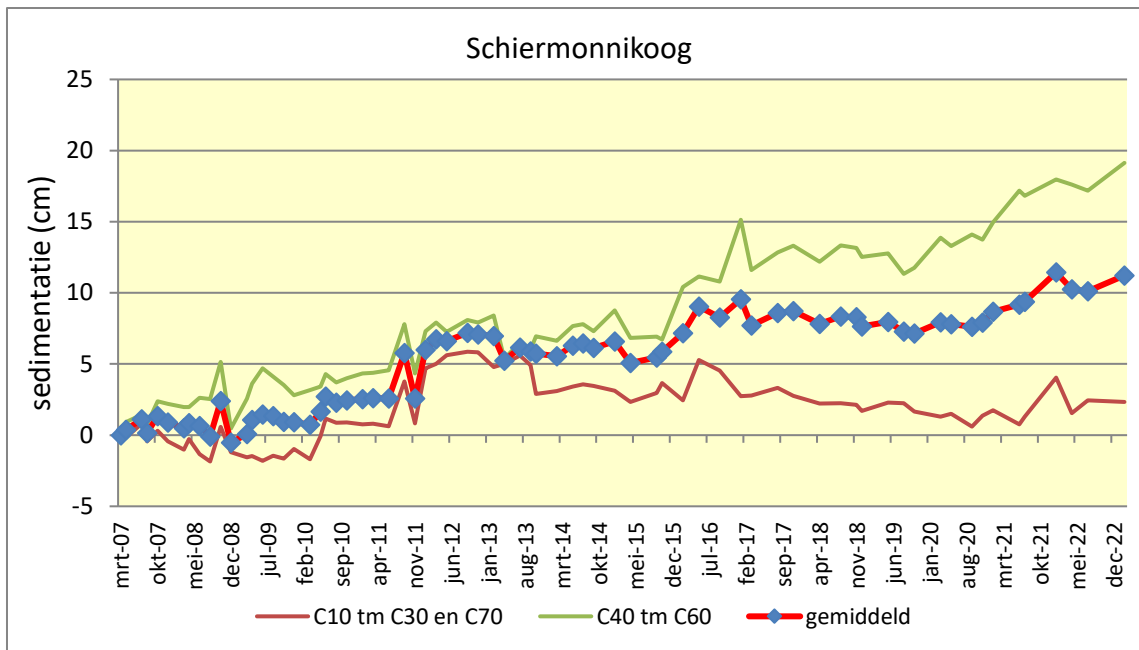
Figuur 17. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations E20 tm E70 in het onderzoeksgebied Engelsmanplaat. De stormperiode in februari 2022 is duidelijk zichtbaar bij alle stations door erosie uitgezonderd E20 en E30.



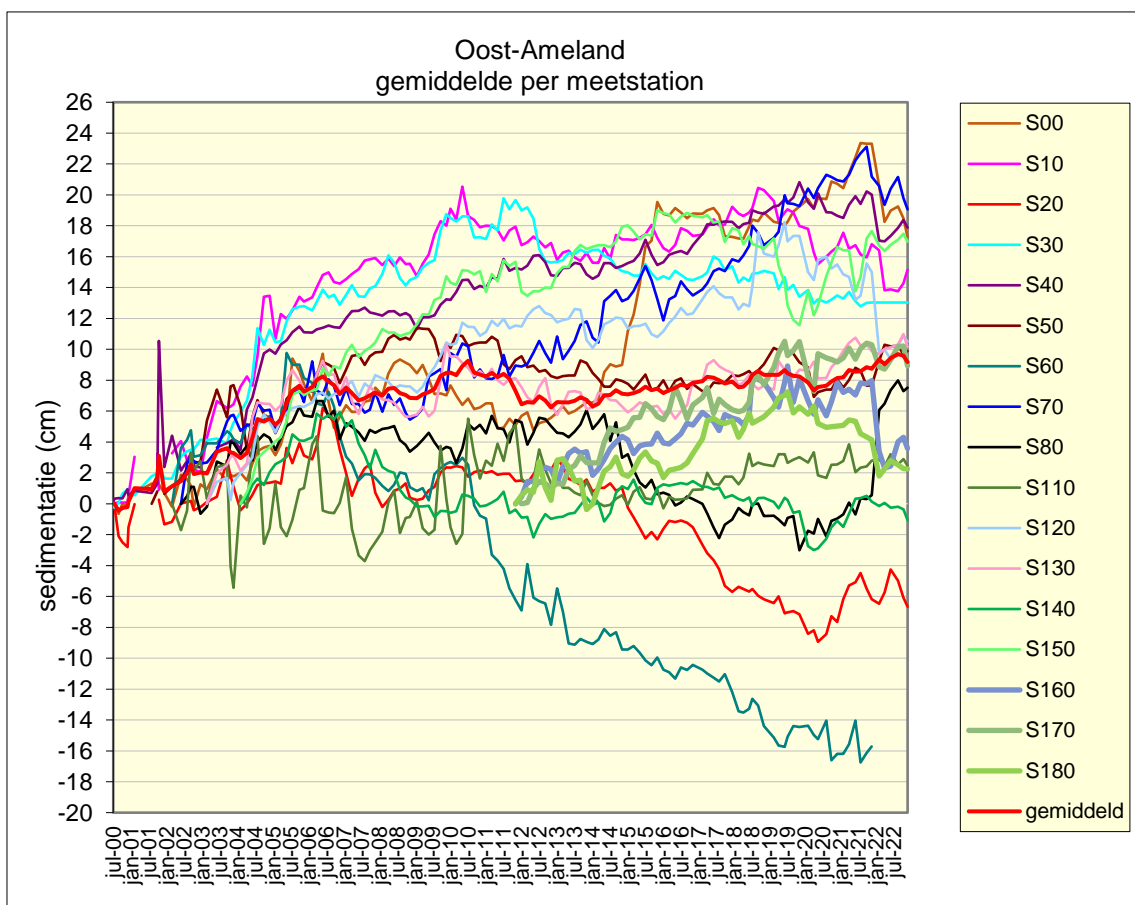
Figuur 18. Gemiddelde verschilmeting van de meetstations E20 tm E70 (zonder E10) in het onderzoeksgebied Engelsmanplaat. De stormperiode in februari 2022 is duidelijk zichtbaar door erosie .



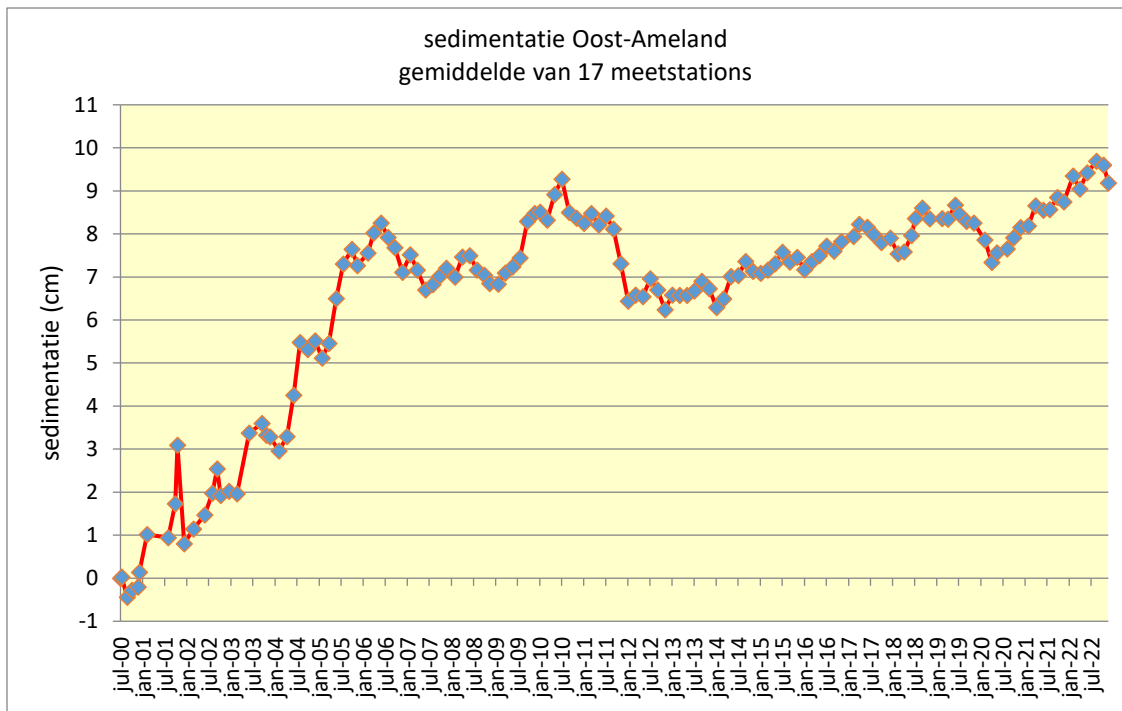
Figuur 19. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations C10 tm C70 in het onderzoeksgebied Schiermonnikoog. Tevens is het gemiddelde van deze 7 meetlijnen genomen als weergave van de sedimentatie van het gebied waarin de meetstations liggen.



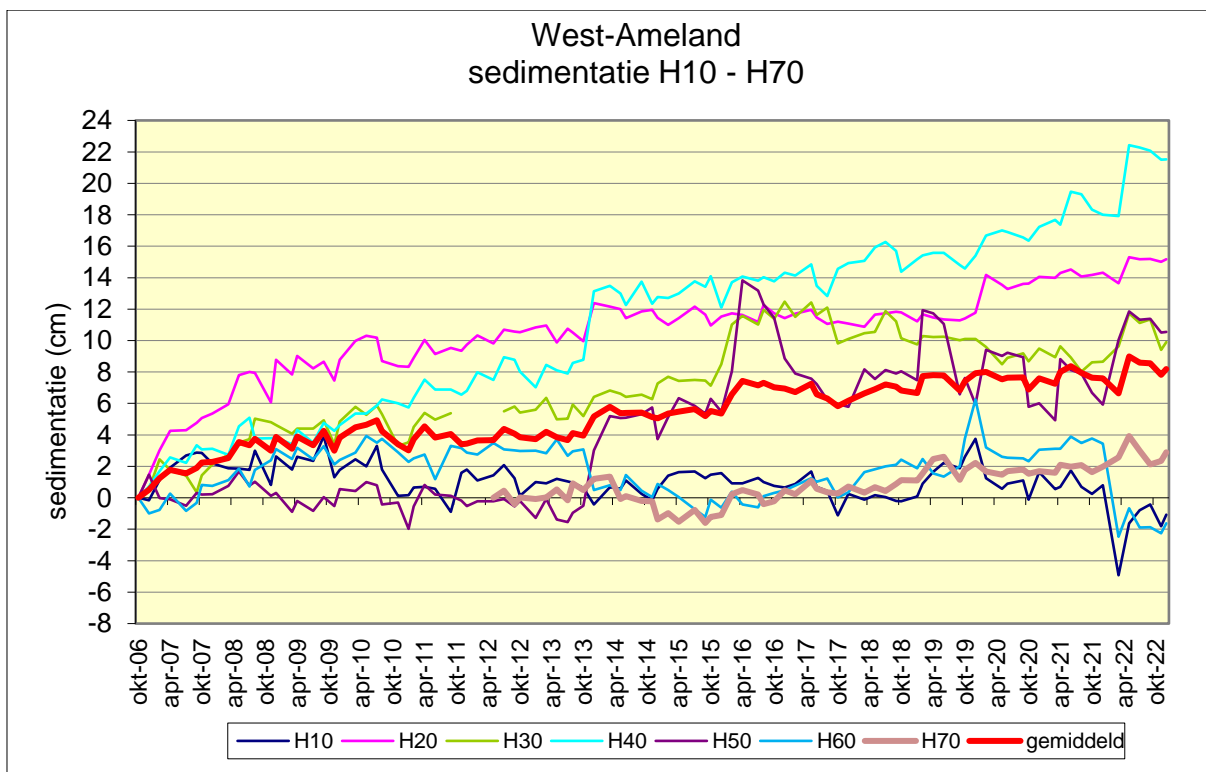
Figuur 20. Gemiddelde van de gebieden C10 – C30 en C70 (oost) en C40 – C60 (west) en het overall gemiddelde van de meetstations C10 tm C70 in het onderzoeksgebied Schiermonnikoog. Er is een duidelijk verschil tussen de twee deelgebieden. De stormperiode in februari 2022 heeft vooral effect op de oostelijke stations door erosie.



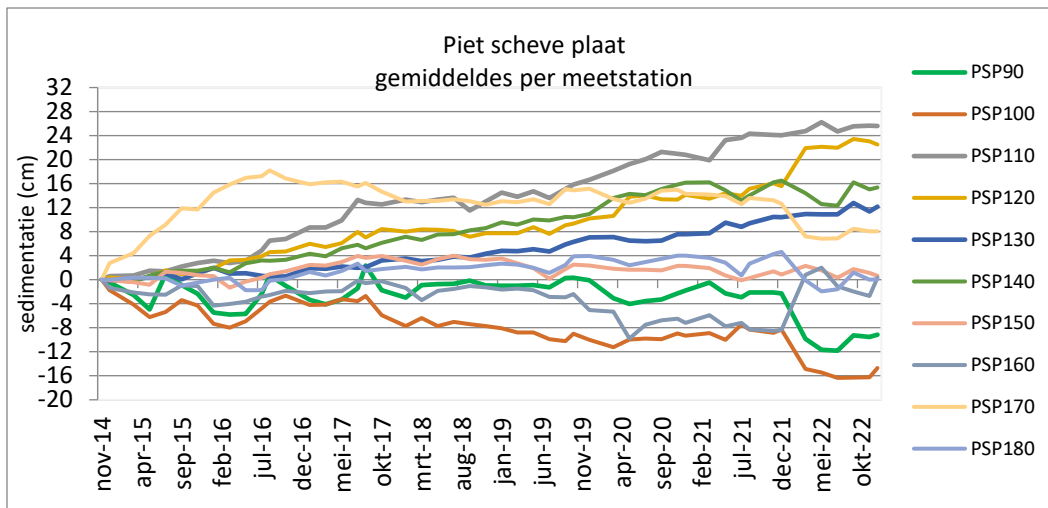
Figuur 21. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations S00 tm S80 en S110 tm S180 in het onderzoeksgebied Oost-Ameland. De stations S160 tm S180 starten in 2012.



Figuur 22. Gemiddelde verschilmeting van de meetstations S00 tm S180 in het onderzoeksgebied Oost-Ameland.



Figuur 23. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations H10 tm H70 in het onderzoeksgebied West-Ameland.



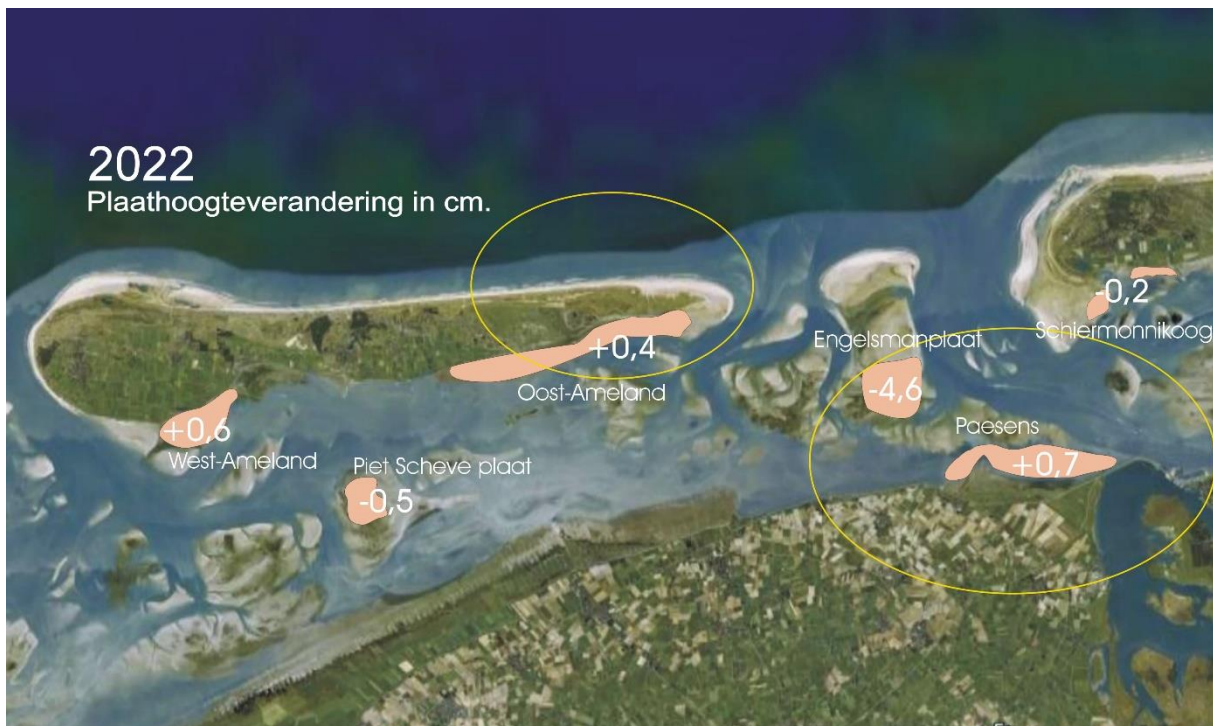
Figuur 24. Gemiddelde meetlijnen van de meetstations PSP90 tm PSP180 in het onderzoeksgebied Piet scheve plaat. Tevens is het gemiddelde van deze 10 meetlijnen genomen als weergave van de sedimentatie van het gebied waarin de meetstations liggen.

3.3 Wadsedimentatie in 2022.

Een onderlinge vergelijking van de onderzoeksgebieden op jaarbasis is goed mogelijk. Hiervoor is een vergelijking gemaakt tussen de december waarden. In tabel 7 zijn ook de sedimentatiewaarden op jaarbasis weergegeven uit voorgaande jaren waar dat mogelijk is. In figuur 25 staat de gemiddelde sedimentatie in 2022 van alle onderzoeksgebieden weergegeven. De meeste reeksen zijn nog kort, maar over het jaar 2022 kan gezegd worden dat de gebieden West-Ameland, Oost-Ameland en Paesens enige sedimentatie laten zien van 4 tot 7 mm. De gebieden Piet Scheveplaat en Schiermonnikoog laten enige erosie zien van 2 tot 5 mm. En op Engelsmanplaat is in 2022 sprake van forse erosie van 46 mm (zie figuur 17 en 18). Dit laatste is vooral veroorzaakt in de dagen van 16-20 februari 2022. Toen 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 een aantal meetstations. Sommige stijgende stations zijn gedaald en sommige dalende stations zijn van sediment voorzien. In grafieken van individuele stations in paragraaf 3.2 zijn deze stormen in februari 2022 vaak wel herkenbaar.

Voor alle gebieden geldt dat de ter plaatse optredende diepe bodemdaling/zeespiegelstijging nog afgetrokken moet worden van de sedimentatie. De tot nu gepresenteerde data betreft uitsluitend lokale bruto sedimentatie aan het oppervlak.

Opvallend is de sedimentatie in het onderzoeksgebied Paesens van station P80 (figuur 15). Dit station ligt op het oostpunt van de wadplaat voor de kust van Hoek van de Bant (figuur 9). Het station sedimenteert erg fors. Waarschijnlijk is er nog steeds sprake van sedimentverplaatsing die nog te maken heeft met de afsluiting van het Lauwersmeer. De indruk bestaat dat sedimentatie bij Paesens al langer gaande is dan deze in 2007 begonnen metingen laten zien. Op het wad voor de kwelderrand bevonden zich namelijk in 2007 ook al plantjes Zeekraal die zich nu op het oog samenvoegen tot een zeekraalveld dat zich over ruim drie kilometer lengte uitstrekt langs de bestaande kwelder en dijkvoet tussen Paesens en Hoek van de Bant. Ook op lager gelegen stations verschijnt steeds meer slik en de indruk bestaat dat de plantjes zeekraal zeewaarts en oostwaarts uitbreiden.



Figuur 25. Gemiddelde van alle sedimentatie metingen per onderzoeksgebied in het jaar 2022. Hiervoor is de gemiddelde hoogteligging in december 2022 met december 2021 vergeleken. Getallen in cm.

Tabel 7. Onderlinge vergelijking van de gemiddelde sedimentatie in cm per jaar van de zes onderzoeksgebieden. Vergeleken is de gemiddelde hoogteligging in december met december van het voorgaande jaar.

| | Oost-Ameland | West-Ameland | Piet Scheve plaat | Paesens | Engelsmanplaat | Schiermonnikoog |
|------------------------|--------------|--------------|-------------------|---------|----------------|-----------------|
| Jaar / Aantal stations | 18 | 7 | 10 | 18 | 6 | 7 |
| 2001 | 1,29 | | | | | |
| 2002 | 0,42 | | | | | |
| 2003 | 1,41 | | | | | |
| 2004 | 2,26 | | | 2,31 | | |
| 2005 | 1,73 | | | 0,17 | | |
| 2006 | -0,16 | | | 1,20 | | |
| 2007 | 0,11 | 1,78 | | -0,92 | | |
| 2008 | -0,38 | 1,58 | | 0,33 | -0,16 | -1,42 |
| 2009 | 1,63 | -0,05 | | 0,77 | 1,19 | 1,45 |
| 2010 | -0,11 | -0,82 | | 2,49 | -1,31 | 1,62 |
| 2011 | -1,01 | 0,43 | | 1,28 | -1,21 | 0,04 |
| 2012 | -0,91 | 0,28 | | 0,74 | 0,47 | 4,50 |
| 2013 | 0,63 | 1,45 | | -0,77 | -0,23 | -1,52 |
| 2014 | 0,58 | -0,04 | | 1,31 | -0,54 | 1,04 |
| 2015 | 0,12 | 0,31 | -0,12 | 1,47 | -0,31 | 0,58 |
| 2016 | 0,37 | 0,32 | 3,01 | 0,32 | 0,43 | 2,38 |
| 2017 | 0,08 | -0,78 | 1,00 | 1,32 | 1,23 | -0,82 |
| 2018 | 0,44 | 0,64 | 0,63 | -0,09 | 1,44 | -1,08 |
| 2019 | -0,10 | 1,25 | 0,59 | 0,58 | 2,08 | -0,45 |
| 2020 | -0,10 | -0,33 | 1,00 | 1,16 | -0,51 | 0,77 |
| 2021 | 0,59 | 0,00 | 0,44 | 2,10 | 0,35 | 3,52 |
| 2022 | 0,44 | 0,60 | -0,49 | 0,69 | -4,56 | -0,21 |

3.4 Snelheid wadsedimentatie.

Eigenlijk zegt één jaarcijfer voor wadbodem sedimentatie niet zo heel veel in een gebied waarin voldoende dynamiek heerst om het jaarcijfer voor de diepe bodemdaling door gaswinning vele malen te overtreffen. Diepe bodemdaling door gaswinningen, zeespiegelstijging en wadbodemsedimentatie zijn langzaam verlopende processen die vragen om een langdurige monitoring (decennia) waarbij zo lang mogelijke datareeksen worden verzameld. In deze paragraaf wordt de gemiddelde sedimentatiesnelheid voor de zes verschillende onderzoeksgebieden gepresenteerd (figuur 26) en voor het gebied Paesens is een uitwerking per meetstation gemaakt en op een luchtfoto geprojecteerd (figuur 27). Hierbij moet worden bedacht dat dit cijfer voor de gemiddelde sedimentatiesnelheid betrekking heeft op de volledige meetperiode per gebied of per meetstation tm december 2022, maar dat deze meetperiodes van verschillende lengte zijn (tabel 7). In ieder geval laten ze de sedimentatiesnelheid over de meest recente periode zien.



Figuur 26. Sedimentatiesnelheid per onderzoeksgebied in mm/jaar. De reeksen waarop het gemiddelde is gebaseerd variëren in lengte van 8 tot 21 jaar (zie tabel 7) maar ze zijn allemaal bijgewerkt tm 2022.



Figuur 27. Gemeten sedimentatiesnelheid per meetstation voor het onderzoeksgebied Paesens in de periode 2007-2022 in mm/jaar (gele cijfers). Data bijgewerkt tm 2022.

3.5 Wadsedimentatie in relatie tot hoogteligging.

In 2013 zijn alle stations met RTK/DGPS ingemeten, uitgezonderd Schiermonnikoog (2019) en Piet Scheve plaat (2019). Hier wordt volstaan met een uitwerking van hoogtemetingen van het gebied Oost-Ameland en het gebied Paesens.

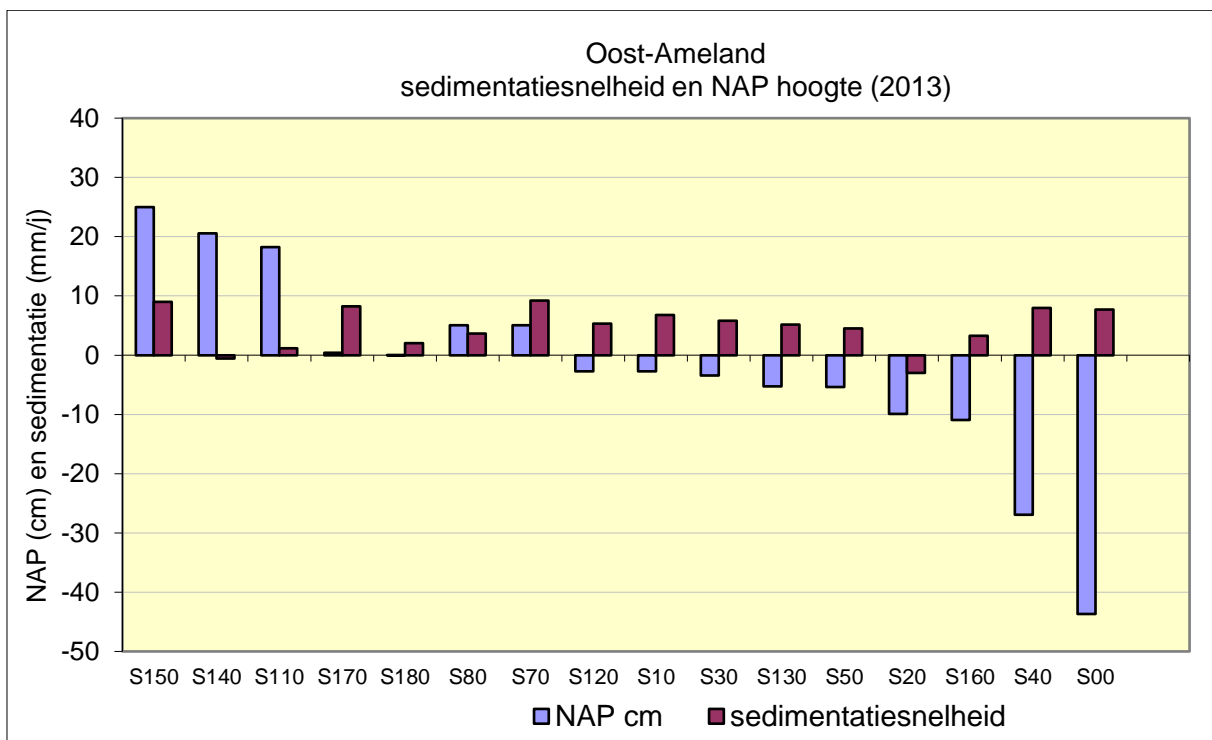
3.5.1 Sedimentatie en hoogteligging van het gebied Oost-Ameland.

Voor het gebied Oost-Ameland wordt gebruik gemaakt van de meest actuele RTK/DGPS meting van 2013. Hierin kan een onnauwkeurigheid zitten van ongeveer 2 cm maar desondanks zijn deze data goed bruikbaar om alle meetstations te rangschikken op hoogteligging en te relateren aan de gemeten sedimentatie. In figuur 29 staan de hoogtes gerangschikt en de sedimentatie zoals die tot december 2022 gevorderd was over de gehele meetperiode van ieder meetstation. In vorige rapportages (Krol 2022) liet station S60 (figuur 6) steeds de meeste erosie zien. Dit was het een na westelijkste station. 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 en niet opgenomen in figuur 29) 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.

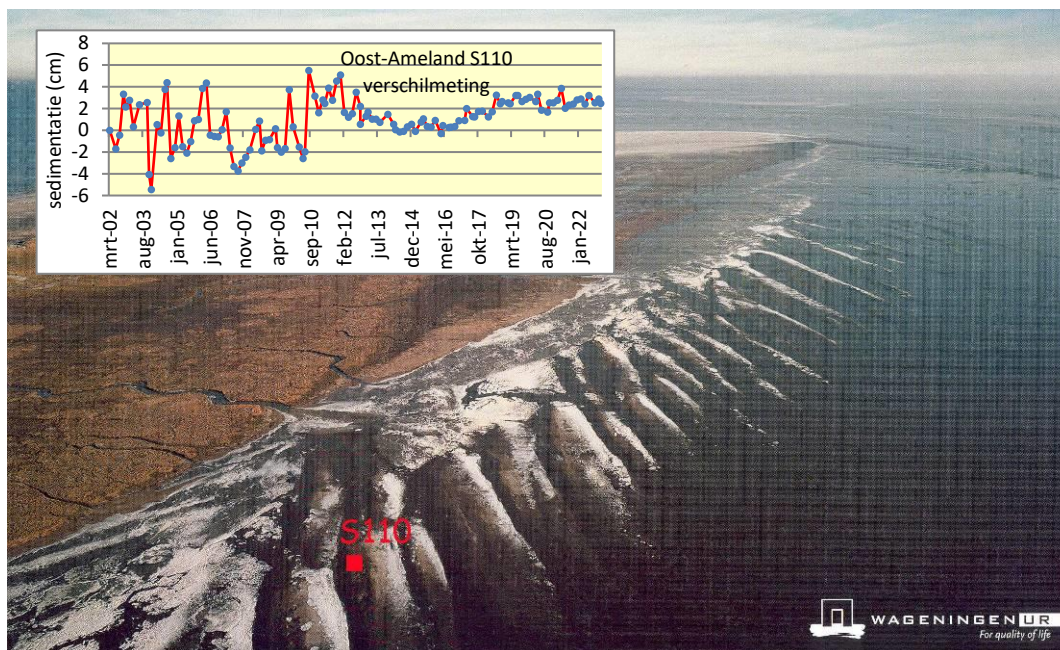
Het station S110 ligt op een plaats waar enige dynamiek van langstrekkende zandlijnen te zien is en dat blijkt ook uit de meetreeks (figuur 30) maar na 2012 neemt de dynamiek sterk af. In zijn algemeenheid blijft het beeld bestaan dat de wadplaten sedimenteren.



Figuur 28. Met DGPS inmeten van station P140 op het wad bij Paesens. Aan de onderkant van de staf is een rooster gemonteerd dat perfect op de wadbodem aansluit en niet wegzakt. De hoogte is ingemeten op de plaats waar het meettouw recht boven het grondanker uit de bodem komt. 2 september 2013. Foto J. Krol.



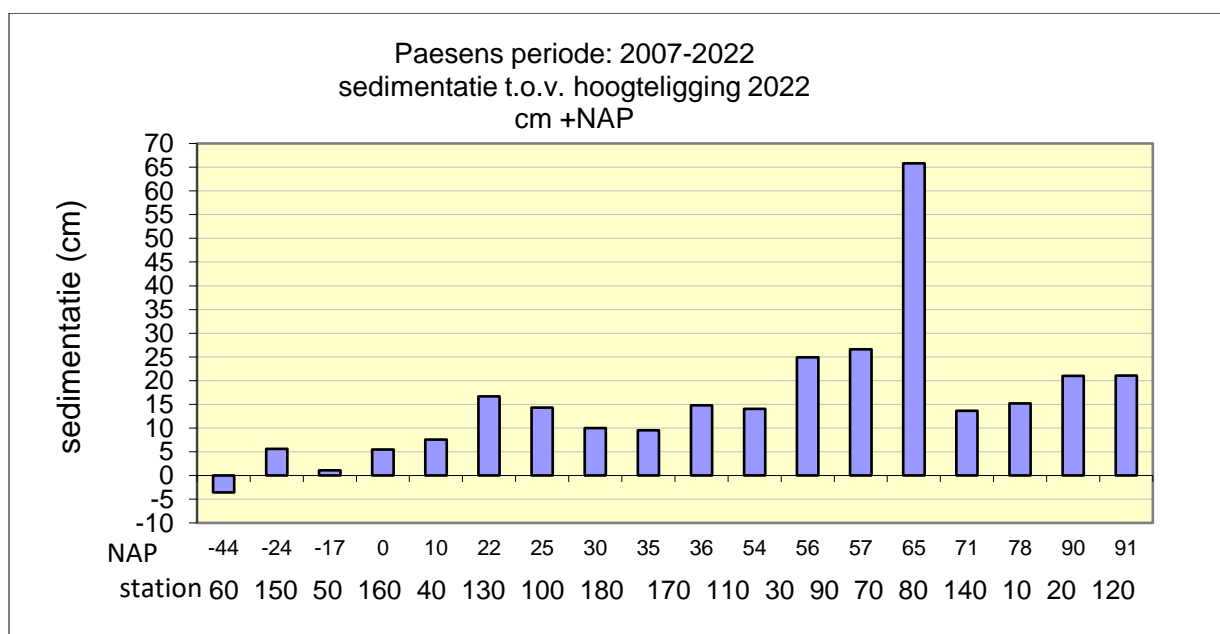
Figuur 29. Wadsedimentatie ten opzichte van hoogteligging in 2013 van de meetstations bij Oost-Ameland. Sedimentatiesnelheid in mm per jaar over de totale meetperiode tm december 2022. Meetperiode van de meetstations varieert van 15 tot 21 jaar tussen 2000 en 2022 (zie tabel 7).



Figuur 30. Meetstation S110 op luchtfoto. Zandgolven veroorzaken lokale dynamiek die na 2011 weer afneemt.

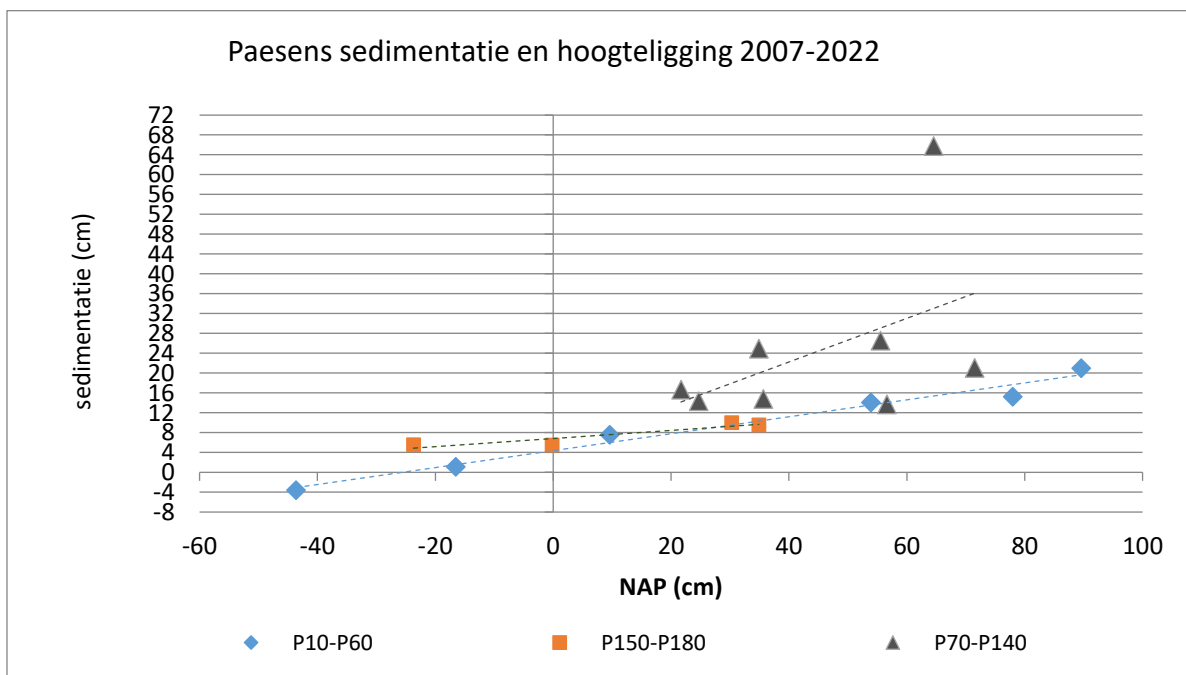
3.5.2 Sedimentatie en hoogteligging van het gebied Paesens.

In september 2013 is de hoogteligging van ieder meetpunt in ieder station bepaald met een RTK/DGPS meting. De nauwkeurigheid bedraagt +/- 2 cm. De data staan in tabel 4. De spreiding van de plaathoogte bij de stations ligt tussen +81 cm boven NAP (P120) en -29 cm onder NAP (P60). Gekeken is naar de sedimentatie in relatie tot de hoogteligging van het meetstation (figuur 31). In deze figuur lijkt een trend zichtbaar van hogere sedimentatie bij hogere ligging (dichter bij de dijk). Opvallend is het meest oostelijke station P80 dat verweg het meest sedimenteert van de reeks. De verklaring moet gezocht worden in de lokale geografie van de kust (figuur 9) en vooral de afsluiting van het Lauwersmeer in 1970 heeft mogelijk nog een groter effect op het meest oostelijke station P80.



Figuur 31. Sedimentatie P10 – P180 in relatie tot de gerekende hoogteligging in 2022.

Indien lokaal gekeken wordt naar de relatie tussen de hoogteligging en sedimentatie van stations ontstaat er wel een trend van hogere sedimentatie bij hogere ligging (figuur 32). Bij de 4 stations ten westen van de lange strekdam (P150-P180) is dit beeld nog niet heel uitgesproken maar bij de stations P10-P60 die in een rechte raai liggen loodrecht op de dijk ten oosten van de lange strekdam ontstaat een duidelijker beeld hogere sedimentatie op hoger gelegen stations, die vooral dicht langs de dijk liggen. Maar ook hier is er een zekere invloed van de naburige kunstwerken te verwachten. In hoeverre de hoogteligging of de lokale geografie van de kust domineert in het sedimentatieniveau blijft onduidelijk, maar voor deze vrij dicht bij de kust liggende stations lijkt de geografische ligging over de langere termijn bepalender. Het sedimentatiepatroon van alle stations komt wel overeen (figuur 14 en 15, figuur 27), er vindt op alle stations sedimentatie plaats. Het universele beeld ontstaat ook bij een ‘extreme event’ zoals de ZW-storm op 28 oktober 2013 waar alle stations een forse sedimentatie laten zien die 6 weken later meer dan teniet wordt gedaan bij alle stations door een NW-storm op 6 december 2013 (figuur 16). Bij dergelijk extreme omstandigheden worden alle stations op dezelfde wijze beïnvloed. Bij langdurige ‘rustige’ omstandigheden kan de geografische ligging wel van invloed zijn zoals bijvoorbeeld bij P40 in de buurt van de kop van de strekdam.



Figuur 32. Hoogteligging (2013) en sedimentatie van meetstations bij Paesens in de periode 2007-2022.

3.6 Wadsedimentatie in relatie tot bodemdaling.

Diepe bodemdaling door gaswinning vindt plaats onder de onderzoeksgebieden Oost-Ameland en Paesens. Voor Oost-Ameland zijn data van de diepe daling beschikbaar van 1986 tot februari 2020. Voor ieder sedimentatie station op het wad kan uitgerekend worden wat de diepe daling was op iedere gekozen datum.

Voor het onderzoeksgebied Paesens zijn data van diepe bodemdaling beschikbaar over de periode 2009-2020 op een door de NAM beschikbaar gestelde contourkaart. Hierop kan per sedimentatie station afgelezen worden wat de diepe daling in die periode van 10 jaar bedroeg. Hieruit kan dus ook een lineaire dalingsnelheid worden berekend en worden vergeleken met de in dit onderzoek gemeten snelheden aan het oppervlak.

3.6.1 Oost-Ameland sedimentatie en diepe bodemdaling.

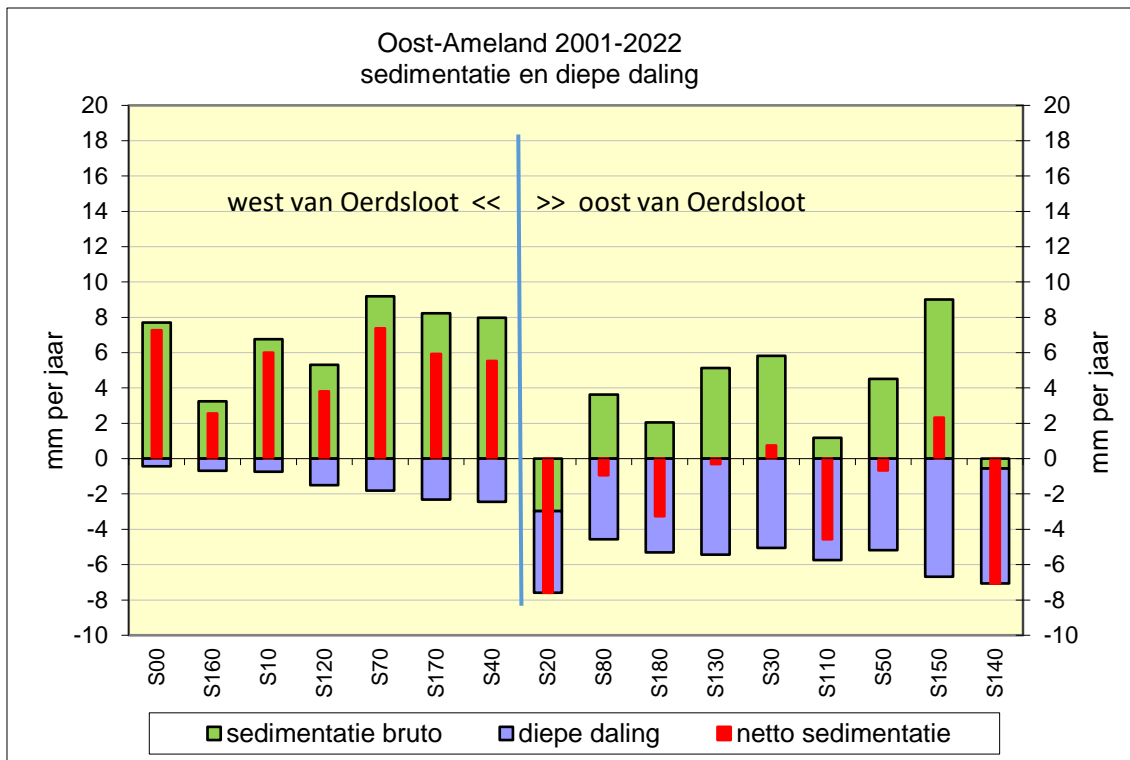
In het gebied Oost-Ameland zijn de meetstations gedaald door diepe daling. In figuur 33 is deze diepe daling per meetstation uitgezet tegenover de sedimentatie en met de rode staaf is steeds het ‘nettoresultaat’ aangegeven. De diepe daling is berekend over de periode 2001-2020 en is verwerkt tot een gemiddelde dalingsnelheid over die periode. De periode is gekozen om overeen te komen met de periode van dit onderzoek waar sedimentatie aan het oppervlak gemeten wordt. Ook de aan het oppervlak gemeten sedimentatie is omgerekend tot een gemiddelde over de gehele meetperiode.

De stations S20 en S140 zijn voorbeelden van plaatsen waar erosie aan het oppervlak gemeten is wat nog wordt versterkt door diepe daling. Hierbij moet goed bedacht worden dat de aan het oppervlak gemeten erosie daadwerkelijk verdwenen sediment betreft en dat de bijdrage van de diepe daling een verlaging van het gehele gebied betreft waardoor het oppervlak lager ten opzichte van bijvoorbeeld NAP komt te liggen. Dit principe geldt uiteraard voor alle meetstations waarbij sprake is van diepe daling door gaswinning.

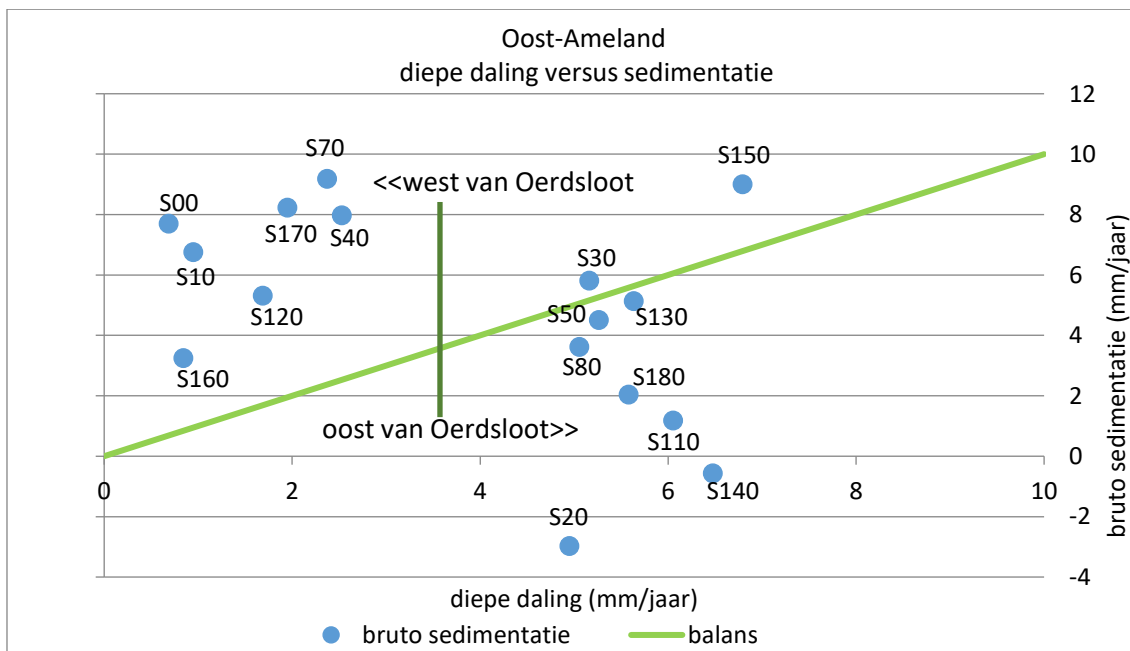
Bij de stations S110, S50, S130, S80 en S180 zorgt diepe bodemdaling voor een netto daling van het plaatoppervlak waar anders sprake zou zijn van ophoging door sedimentatie. Bij S20 en S140 versterkt de diepe daling de erosie. In figuur 34 is op een andere manier grafisch weergegeven hoe de sedimentatie en diepe daling per meetstation samenhangen. Boven de balanslijn is er sprake van ophoging van het plaatniveau (NAP hoogte) en beneden de balanslijn is er sprake van een daling van het plaatniveau (NAP hoogte). Stations onder de balanslijn bevinden zich oostelijk van het wantij. Westelijk van het wantij overtreft de sedimentatie de diepe daling.

In figuur 35 is handmatig geschetst om welk gebied het gaat waarin de stations liggen die in de periode 2000-2022 netto (sedimentatie minus diepe daling) tussen -0,5 en -7,9 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.

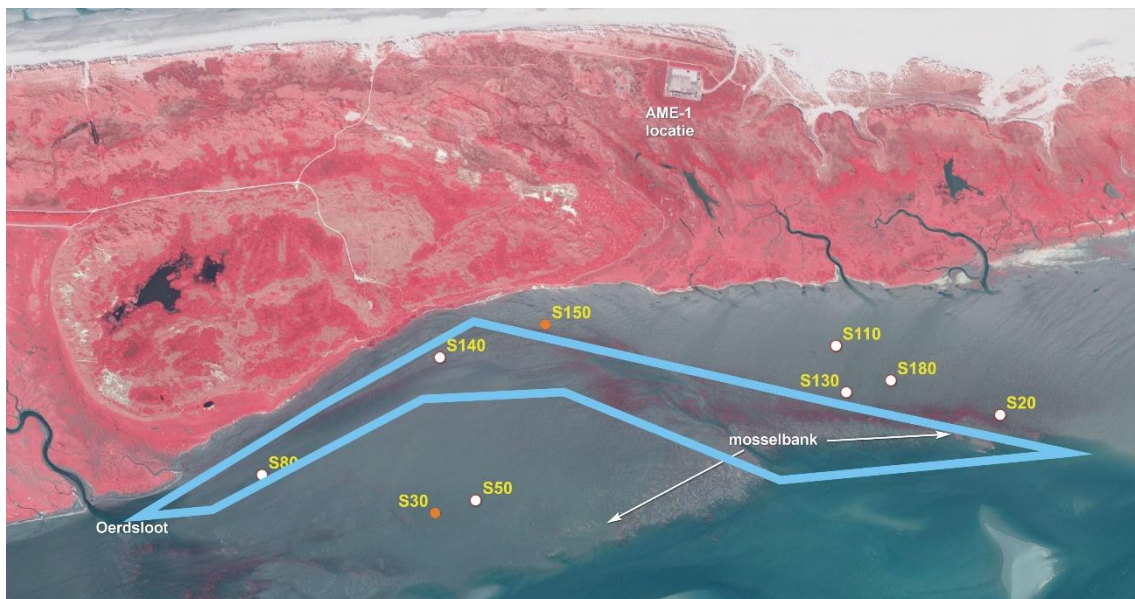
Indien alle stations van Oost-Ameland samen worden genomen is er in de periode 2000-2022 sprake van een bruto sedimentatie van 4,8 mm/jaar. Een ruwe schatting duidt op een opslibbingsvolume van ongeveer 19.000 m³/jaar (8000x500x0,0048 m) sediment voor het gehele gebied. Door de diepe daling van gemiddeld 3,9 mm/jaar resulteert dit uiteindelijk een netto sedimentatie 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.



Figuur 33. Gemiddelde jaarlijkse sedimentatie of erosie, diepe daling en netto-effect op hoogte wadplaat in mm/jaar per meetstation (zie tabel 1). Diepe daling berekend over feb 2001-feb 2020. De sedimentatie of erosie aan het oppervlak is berekend tm 2022.



Figuur 34. Verband tussen diepe daling en sedimentatiesnelheid op alle meetstations. Data tm 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 groene lijn is de scheiding tussen de stations ten westen en oosten van de Oerdsloot/wantij aangegeven.



Figuur 35. 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 omlinjde 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 van het plaatgebied.

3.6.2 Paesens sedimentatie en diepe bodemdaling.

In het onderzoeksgebied bij Paesens zijn dalingcijfers van de diepe ondergrond beschikbaar voor de periode 2006 tot 2021 (bijlage B). Deze daling is nog vrij beperkt en bedraagt ongeveer 54 mm voor het station P180. Dat betekent dat de maximale diepe daling plaatsvindt aan de westzijde van het onderzoeksgebied en dat het oostelijke station P80 over dezelfde periode weinig (20 mm) diepe daling ondervindt. Figuur 36 laat de netto sedimentatie voor het onderzoeksgebied bij Paesens zien. Hierbij is de diepe bodemdaling van de gemeten sedimentatie afgetrokken. Deze figuur kan het best vergeleken worden met figuur 27, waarin de bruto sedimentatie staat. Hierbij moet goed bedacht worden dat de aan het oppervlak gemeten sedimentatie/erosie daadwerkelijk verplaatst sediment betreft en dat de bijdrage van de diepe daling een verlaging van het gehele gebied betreft waardoor het oppervlak lager ten opzichte van bijvoorbeeld NAP komt te liggen. Er is niet gecompenseerd voor andere mogelijk van invloed zijnde factoren zoals zeespiegelstijging. Zeespiegelstijging kan beschouwd worden als een motor voor sedimentatie omdat het waddensysteem op verdieping regeert als verstoring van een balans van het hydraulisch systeem en dat door sedimentatie repareert. Exacte data daarvan voor de meetstations ontbreken. Als alternatief en goede benadering zou de Gemiddelde Hoogwaterstijging gemeten bij Lauwersoog voor Paesens gebruikt kunnen worden. Over de periode 1988-2022 bedroeg die 1 mm/jaar en als naar de periode vanaf het begin van de gaswinning (2007-2021) wordt gekeken bedroeg die 3 mm/j (van Duin, 2022). Indien van de data in figuur 36 nog 2mm/jaar wordt afgetrokken dan blijken alleen de stations rond de kop van de strekdam licht versterkt te dalen. De overige stations blijven ook dan op dezelfde hoogte of aan de positieve kant van de sedimentatiebalans. Of hydraulische omstandigheden zoals gemiddelde- of maximale waterstanden of de overstromingsduur per jaar tijdens de jaren van deze monitoring gecorreleerd kan worden aan de sedimentatie behoeft nader onderzoek dat buiten deze monitoring valt.



Figuur 36. Netto sedimentatie in millimeters per jaar in 2007-2022. Sedimentatiemeting bijgewerkt tm 2022. Diepe daling berekend over periode 2006 tot 2021. Netto betekent dat de diepe daling van de sedimentatie is afgetrokken. Andere compenserende of versterkende factoren zoals zeespiegelstijging zijn niet verwerkt.

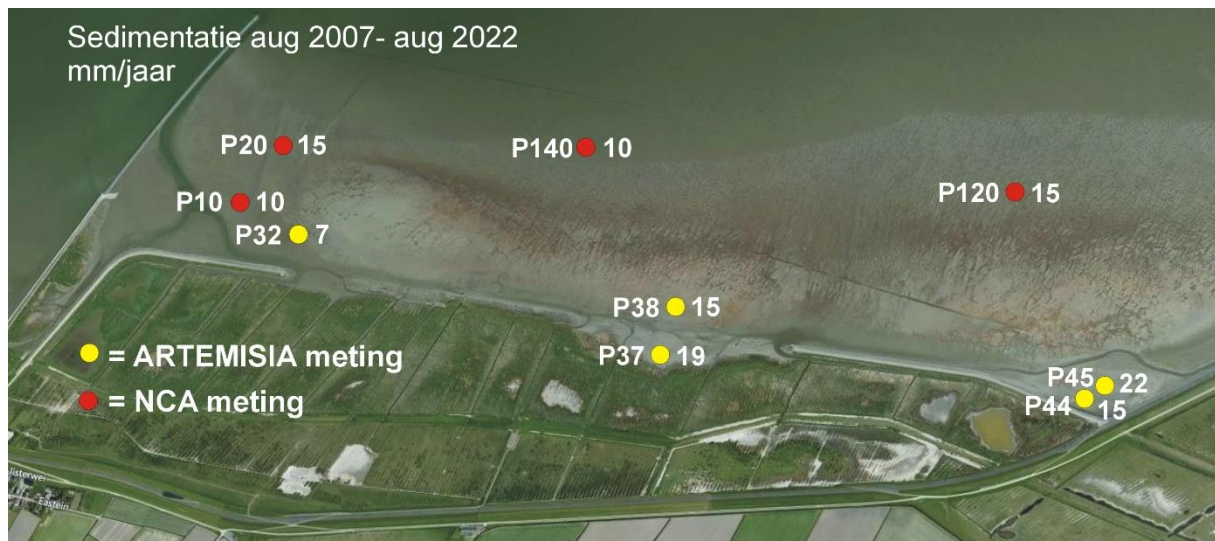
4. Andere sedimentatiemetingen bij Paesens.

4.1 Vergelijking met sedimentatiemetingen op kwelder Peazemerlannen.

Er vinden langjarige sedimentatiemetingen plaats op de kwelder Peazemerlannen. Deze metingen vallen binnen hetzelfde monitoringsonderzoek voor de gaswinning Paesens-Lauwersoog en worden door onderzoeksbureau *Artemisia* (Den Helder) gedaan (van Duin, 2023). *Artemisia* gebruikt een methode waarbij de bodem gemeten wordt met een liniaal ten opzichte van een waterpas balk op een gefixeerde hoogte (Sedimentatie Erosie Balk) en dit wordt SEB-meting genoemd. Dat is dus een andere methodiek dan die van het NCA waarbij ten opzichte van een ondergronds gefixeerde hoogte gemeten wordt met een liniaal. Op de overgang van de kwelder naar het wad liggen een aantal meetstations van het Natuurcentrum Ameland (NCA) en *Artemisia* bij elkaar in de buurt en er is een onderlinge vergelijking gemaakt om te zien of deze stations dezelfde opslibbingstrend aangeven. Omdat de meetreeks van *Artemisia* vanaf augustus 2007 t/m augustus 2022 loopt zijn ook de metingen van NCA over dezelfde periode berekend (zie tabel 8). De data zijn op een kaartbeeld weergegeven (figuur 37) en ook daaruit blijkt dat de data allemaal dezelfde opslibbingstrend laten zien in een vrijwel steeds volledig vergelijkbare orde grootte. Alleen station P32 valt iets lager uit maar sedimenteert voldoende om de diepe daling te compenseren (van Duin, 2019). De gemiddelde sedimentatie van 14 mm/j over de periode 2007-2022 past ook duidelijk bij de waarneming dat het kale wad voor de Peazemerlannen de laatste jaren is overgegaan in een met Zeekraal begroeide pionierzone. De hoogteligging van de NCA stations P10, P20, P120 en P140 ligt tussen +60 en +80 cm boven NAP in september 2013 (tabel 4) en daarmee zijn waarschijnlijk de juiste groeiomstandigheden voor Zeekraal bereikt.

Tabel 8. Vergelijking van sedimentatiemetingen van NCA en *Artemisia* op overgang van kwelder naar Waddenzee. Blauw gearceerd zijn *Artemisia* data.

| | aug. 2007- aug. 2022 |
|---------|-------------------------|
| Station | mm/j |
| P10 | 10,0 |
| P20 | 14,6 |
| P32 | 6,9 |
| P140 | 9,9 |
| P37 | 19,2 |
| P38 | 15,0 |
| P120 | 15,4 |
| P44 | 15,2 |
| P45 | 21,7 |
| | |
| Gem. | 14,2 |

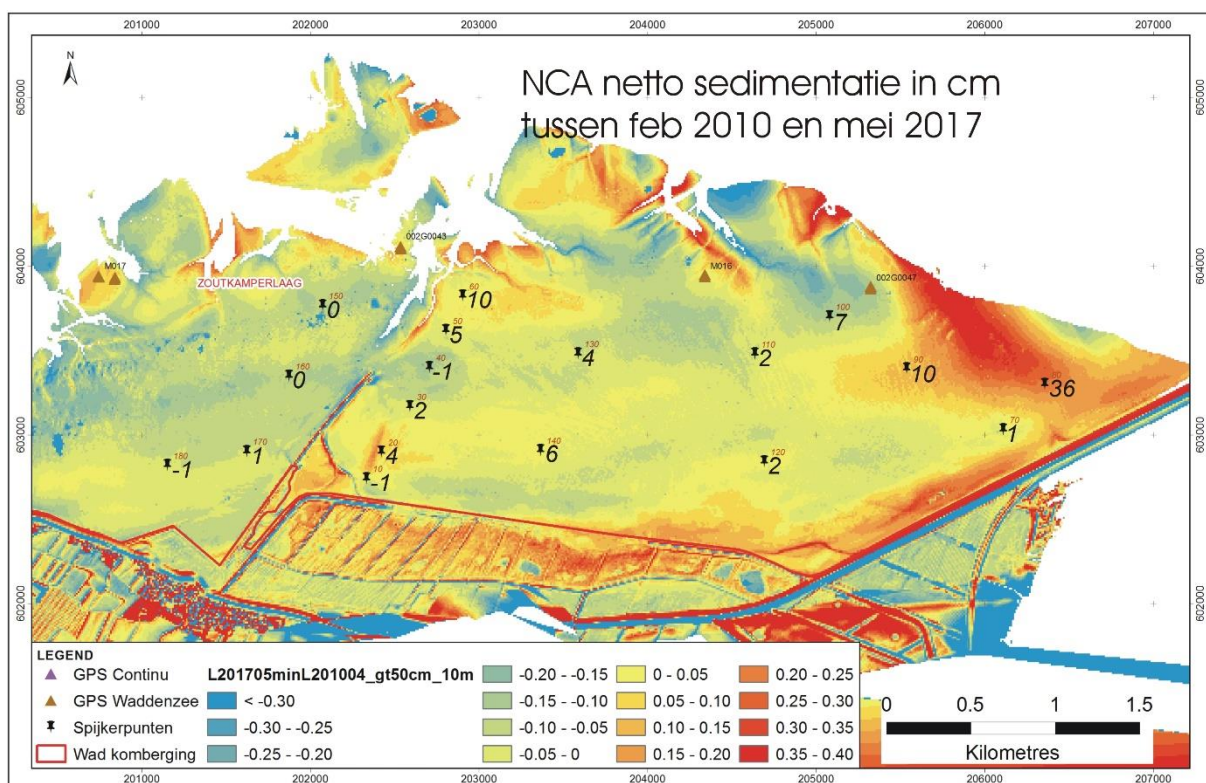


Figuur 37. Kaartbeeld met sedimentatie vergelijking van de meting van NCA en Artemisia. Over periode aug 2007- aug 2022. Rechts van de gekleurde stip waarmee de locatie van het meetstation wordt aangeduid staat de sedimentatie in mm/jaar.

4.2 Vergelijking met LIDAR verschilmeting in het onderzoeksgebied.

In het kader van de monitoring van mogelijke effecten van de gaswinning op het waddengebied worden ook LIDAR metingen gedaan van het gehele kombergingsgebied van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag. Alhoewel er discussie is over de mogelijkheid om hiermee wadhoogteveranderingen nauwkeurig te meten over een korte (enkele jaren) periode (Wang, 2010) is in deze paragraaf een vergelijking gemaakt tussen LIDAR data en NCA spijkermetingen. Wang (2010) geeft aan dat, gezien een meetfout van ongeveer 5 cm, het pas mogelijk is om een trend in hoogteverandering te bepalen met LIDAR na 3 of 4 meetsessies in samenhang met lodingscycli van Rijkswaterstaat die per stuk 6 jaar beslaan. Aanbevolen

wordt om op hogere wadplaten de LIDAR metingen te combineren met andere hoogtemetingen zoals waterpassingen. Voor het gebied waar de NCA sedimentatie stations P10 tm P180 liggen is een LIDAR verschilkaart opgevraagd bij de NAM (H. Piening). Voor de periode 2010-2017 is dit mogelijk door een LIDAR meting in maart 2010 en mei 2017. Op deze verschilkaart zijn de cijfers voor sedimentatie met de NCA-spijkermetingen over dezelfde periode (feb 2010-mei 2017) geplaatst (figuur 38). Hieruit blijkt dat zowel de trend als de ordergrootte van de vergelijking tussen deze twee methodes klopt. Zelfs een nadere beschouwing van de absolute cijfers laat zien dat dit op de meeste NCA-stations vrijwel klopt. Alleen station P100 laat een hogere NCA meetwaarde zien dan de kleur op de kaart. Opvallend is de forse sedimentatie aan de oostzijde van de kaart in het gebied waar het NCA-meetstation P80 ligt. Dit is ongetwijfeld nog steeds een onderdeel van de grootschaliger dynamiek van het hele Zoutkamperlaag systeem wat waarschijnlijk nog steeds in reactie is op de afsluiting van de Lauwerszee in 1969.

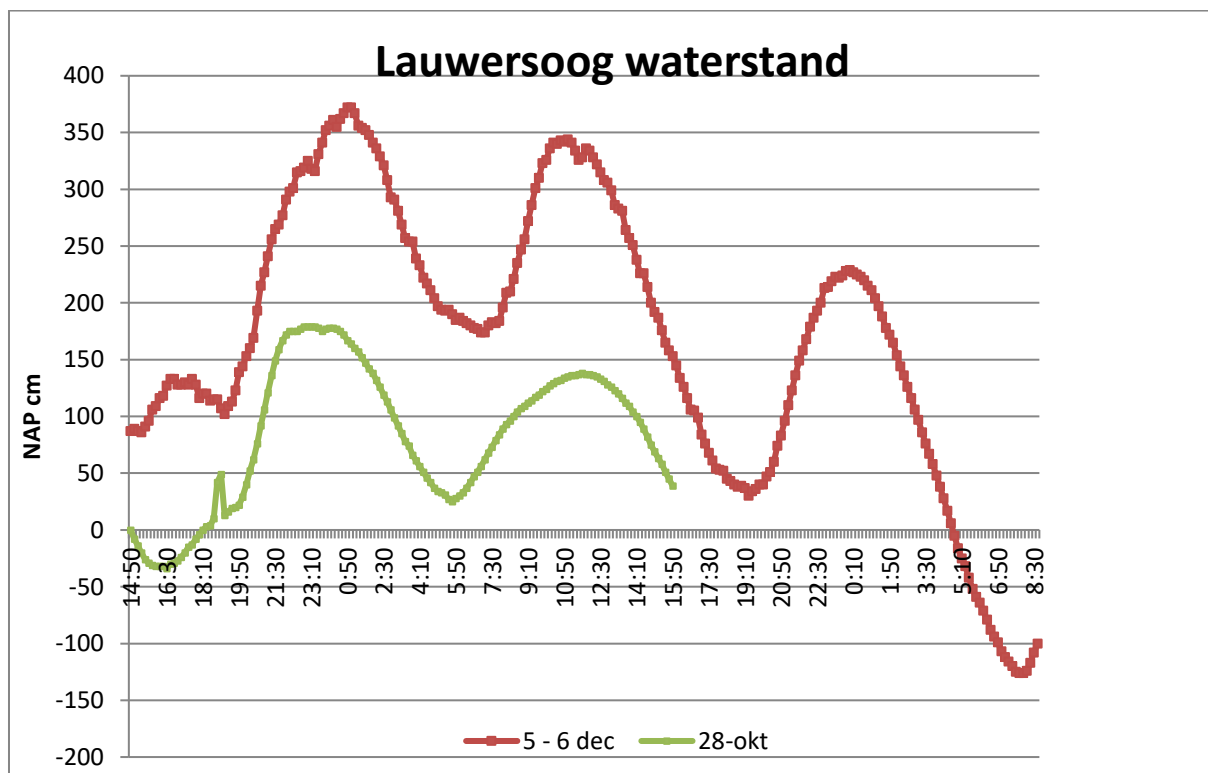


Figuur 38. Verschilkaart met LIDAR gemeten tussen 2010 en 2017. De locatie van de NCA meetstations P10 tm P180 en de bijbehorende door NCA gemeten sedimentatie (zwarte getallen in cm) is hierop geplott. Netto betekent dat de diepe daling door gaswinning van de meetdata is afgetrokken.

5. Extreme omstandigheden en sedimentatie.

De hoogteligging en sedimentatie van wadplaten zal overwegend bepaald worden door de invloed van de jaarlijkse 706 overstromingen. Dit dagelijkse spel tussen de zwaartekracht die op slib- en zanddeeltjes wordt uitgeoefend en stroming door getijwerking en golfwerking door wind die de deeltjes over de bodem wil verplaatsen of weer in de waterkolom op wil nemen bepaalt overwegend de bodemhoogte en bodemsamenstelling. Maar enkele van die 706 overstromingen vallen ver buiten de normale dagelijkse waarden en dat wordt veroorzaakt door extreme windomstandigheden (storm). Eind 2013, op 28 oktober en 5-6 december

vonden twee stormen plaats met opmerkelijke gevolgen voor met name het onderzoeksgebied bij Paesens. De storm van 28 oktober had overwegend een ZW richting en was vrij kort maar kende extreme windsnelheden¹. Door de ZW-richting vond er weinig stuwing van de waterstand plaats (figuur 34) en lag het gebied bij Paesens min of meer 'in de luwte'. In deze 'luwte' heeft een forse afzetting van slib plaatsgevonden. Tijdens de sedimentatiemeting van 31 oktober (3 dagen na de storm) werd dit niet alleen gemeten maar was dit ook duidelijk zichtbaar en voelbaar tijdens het lopen in het gebied. Op bijna alle stations werd een dikke laag zeer 'dunne' blubber (fluid mud) aangetroffen met een consistentie die een forse spetterpartij opleverde indien met een voet op de bodem werd gestampt. Op 2 september werd een gemiddelde sedimentatie van 7,83 cm (P10-P180) gemeten. Op 30 oktober steeg dat tot gemiddeld 10,65 cm (P10-P180). Een gemiddelde sedimentatie van +2,82 cm door de storm van 28 oktober.

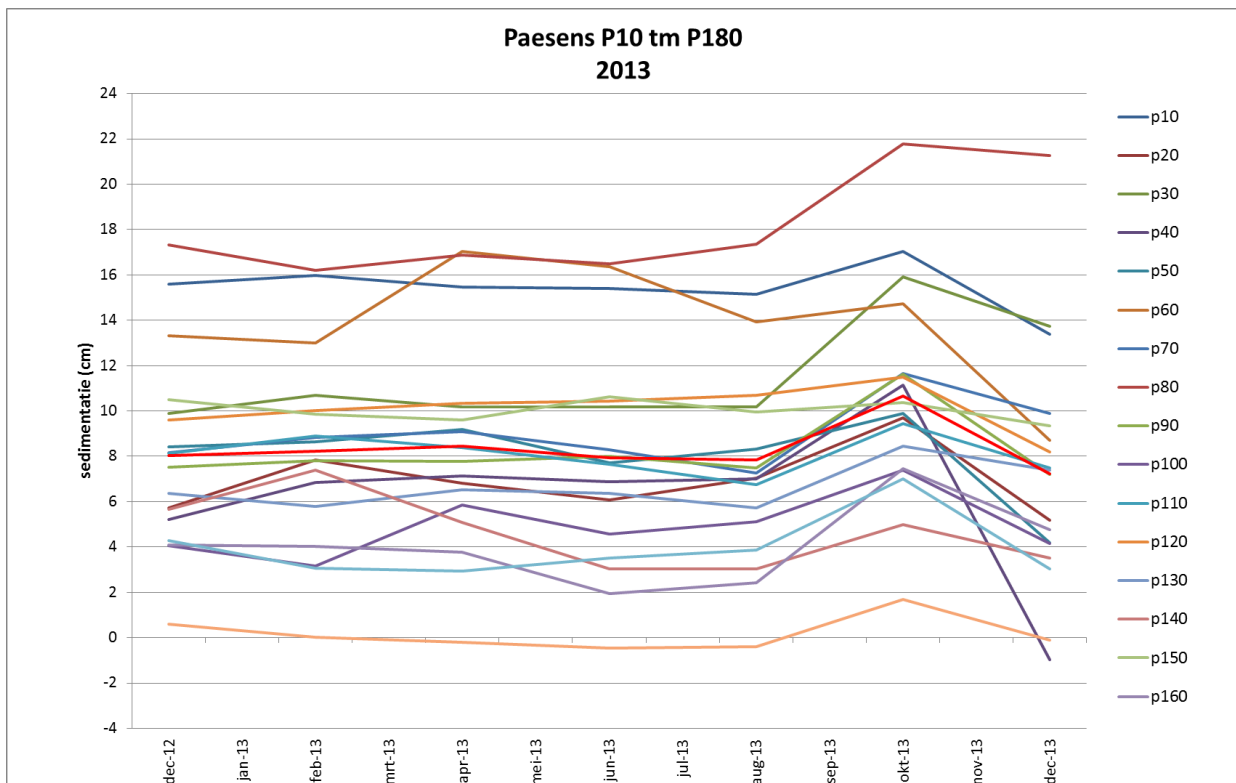


Figuur 39. Het verloop van de waterstand bij het RWS meetstation Lauwersoog tijdens de stormen van 28 oktober en 5-6 december in 2013.

Ruim 5 weken later, op 5-6 december 2013 vond er een langdurige noordwesterstorm plaats in combinatie met springtij en dit leidde tot een stormvloed met zeer hoge waterstanden (figuur 34). Sterke noordwesterstormen, die lang duren, hebben duidelijk effect op de waterstanden in de Waddenzee. Bij een NW-wind is er ook veel golfwerking te verwachten op de kust van Paesens. De twee stormtijden hebben er in dit geval voor gezorgd dat het slib dat er lag compleet is weggevaagd. Tijdens de meting op 12 december was nergens meer de laag blubber van de vorige meting te vinden. Uit de metingen bleek dat de sedimentatie gemiddeld (P10-P180) daalde van 10,65 cm naar 7,24 cm. Een gemiddelde erosie van 3,41 cm over 18 meetstations door deze storm.

¹ http://www.knmi.nl/cms/content/116311/weeralarm_voor_zware_herfstorm (3-3-2014)

In de andere onderzoeksgebieden werd niet een dergelijk sterk effect gevonden. Bij Oost-Ameland en West-Ameland vond juist erosie plaats door de ZW-storm van oktober en sedimentatie door de NW-storm van december. Dit past bij de ligging van de gebieden ten zuiden van Ameland. Bij Schiermonnikoog was dit beeld niet aanwezig. Op Engelsmanplaat zorgde de storm van oktober voor forse erosie wat na de storm van december weer enigszins gecompenseerd werd. Engelsmanplaat ligt erg geëxponeerd voor ZW-wind.



Figuur 40. Sedimentatie in 2013 van de stations P10 tm P180 in het onderzoeksgebied bij Paesens, beginnend met de sedimentatie die vanaf 2007 al was gerealiseerd. Het effect van sterke sedimentatie op 28 oktober 2013 en sterke erosie na de storm van 6 december 2013 is op alle stations zichtbaar.

6. Discussie.

Teneinde vast te kunnen stellen of er een verdieping plaats vindt in het deel van de Waddenzee dat binnen het dalingsgebied van de gaswinning valt, zijn meetstations op wadplaten ingericht. In de onderzoeksopzet is gekozen voor een praktische en pragmatische methodiek. Hierbij is een inschatting gemaakt van het aantal benodigde meetstations per plaatgebied op basis van de grootte en terreineigenschappen (vlakheid) van het gebied en de logistieke inspanning (dikte sliklaag en hoogteligging) om zesmaal per jaar te kunnen meten. De gekozen methode is vooral geschikt voor een weinig dynamische gebied als een vrij vlakke droogvallende plaat. In erg dynamische gebieden als geulranden en in het sublittoraal gaan de meetstations vrij snel verloren of worden onvindbaar omdat ze door een dikke laag sediment bedekt worden. De meetstations zijn zo gekozen dat ze verspreid over het hele plaatgebied voor komen en in een vlak gebied liggen waardoor ze representatief zijn voor een relatief groot gebied. Een aantal meetstations is met opzet in de buurt van een geul, mosselbank of kwelderrand gelegd om een indruk te krijgen van lokale sedimentatie in een meer dynamische omgeving. Overigens wordt tijdens iedere meting de omgeving van het

meetstation op het oog beoordeeld 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 jaren nog steeds representatief is voor de directe omgeving en daarmee de sedimentatie op de plaat. In dit rapport zijn van de 66 stations slechts 4 buiten beschouwing gelaten, omdat ze niet meer aan de gestelde eisen voldeden. Dit betreft twee geulstations op Oost-Ameland (S90 en S100) en één station op Engelsmanplaat (E10). Deze stations gingen door hoge dynamiek (meerdere decimeters sedimentatie/erosie) verloren. Station S60 bij Oost-Ameland ging in 2022 verloren vanwege graafwerkzaamheden voor de elektriciteitskabel naar Ameland die vlakbij bleek te liggen. Als vervanging zijn in dat gebied twee nieuwe stations S190 en S200 ingericht die later in de meetreeks zullen worden opgenomen. In een enkel geval spelen er dynamische processen die een onrustiger beeld geven maar deze stations zijn wel in het plaatgemiddelde opgenomen. Soms is de dynamiek ook tijdelijk, zoals bij station S00 bij Oost-Ameland en P60 bij Paesens waar in de loop van de tijd de opkomst en ondergang van een mosselbank werd gemeten. S00 laat in 2015 een forse sedimentatie zien die veroorzaakt is door het ontstaan van een rif van zandkokerwormen (*Pygospio elegans*).

Het belang van deze metingen moet gezien worden in een eenvoudige en kosten efficiënte manier om op een nauwkeurige schaal (mm niveau) met een vrij hoge frequentie (zesmaal per jaar) sedimentatie op wadplaten te kunnen volgen. Hierbij wordt een goede indruk gekregen van de sedimentatie in de tijd waarbij vooral duidelijk wordt wat lokaal de natuurlijke variatie is zowel op de korte als op de lange termijn. Naarmate de meetreeksen zich uitstrekken over een langere periode winnen ze aan kracht. Pas na meer meetjaren is het mogelijk om langzame processen als diepe bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging door klimaatverandering te onderscheiden van natuurlijke variatie op kortere tijdschalen. Daarmee wordt het mogelijk om deze metingen te gebruiken om het effect van events (zoals de stormen) te onderscheiden van gestage effecten als gevolg van bodemdaling door gaswinning waardoor het 'Hand aan de kraan' principe beter toegepast kan worden (dit rapport). Toch moet steeds bedacht worden dat diepe daling door gaswinning plaatsvindt in een gebied waar per definitie in het heden en verleden meerdere menselijk ingrepen plaats hebben gevonden die waarschijnlijk voor disbalans hebben gezorgd. Wellicht de belangrijkste is de afdamming van de Lauwerszee geweest, wat nog steeds leidt tot herstelreacties van het morfologische en hydrodynamische systeem (Wang, 2007). Met name in het wingebied bij Paesens-Lauwersoog en op Engelsmanplaat speelt dit. Op Oost-Ameland kan de lokale diepe daling door gaswinning niet los worden gezien van het gehele Oost-Ameland gebied. Hierin spelen o.a. activiteiten als de aanleg van stuifdijken, zandsuppleties, aanleg harde kwelderverdediging, bodemberoerende visserij en wegvissen mosselbanken. In dit gehele gebied leidt dit tot morfologische veranderingen boven en onder water wat ook invloed heeft op de wadplaten ten zuiden van Oost-Ameland (van der Lugt et al. 2020).

7. Conclusies.

- In 2022 laten de gemeten plaatgebieden Oost-Ameland (+4 mm), West-Ameland (+6 mm) en Paesens (+7 mm) sedimentatie aan het oppervlak zien. In de gebieden Piet Scheve plaat (-5 mm), Schiermonnikoog (-2 mm) is sprake van enige erosie en op Engelsmanplaat werd een forse erosie gemeten van -46 mm.
- Alle onderzoeksgebieden laten over langere meetperiode, die varieert van 8 tot 21 jaar, gemiddeld sedimentatie zien aan het oppervlak. Het betreft Engelsmanplaat +0,1 mm/j, Oost-Ameland +4,8 mm/j, Paesens +10,6 mm/j, West-Ameland +5,2 mm/j, Piet Scheve plaat +7,5 mm/j en Schiermonnikoog +6,4 mm/j (figuur 26).
- Bij Oost-Ameland is sprake van een netto bodemdaling (verdieping) in een beperkt gebied ten zuiden van het Oerd en de Hon. De diepe daling door gaswinning is hier, ten oosten van het wadij, groter dan de sedimentatie aan het oppervlak. Deze achterblijvende sedimentatie maakt echter waarschijnlijk deel uit van de morfologische en hydrodynamische veranderingen in een veel groter gebied rond Oost-Ameland. Te denken valt hierbij vooral aan de cyclische dynamiek van het Pinkegat en de veranderende lengte van de oostpunt van het eiland, maar ook kustsuppleties en zeespiegelstijging kunnen hierbij een rol spelen (van der Lugt et al. 2020). Tevens is er sprake van afslag van de kwelderrand langs de zuidrand van het Oerd en de Hon en is het debiet van de Oerdsloot toegenomen na verwijdering van betonnen drempels (Kuiters et al. 2020). Dit heeft mogelijk invloed op de waterstroom vanuit de Oerdsloot naar het oosten door het gebied waar de netto daling plaats vindt.
- Bij Paesens is sprake van een gemiddelde netto bodemdaling (verdieping) bij een aantal stations die rondom de kop van de strekdam zijn gelegen. Dit is een situatie die in februari 2022 is ontstaan na een korte maar hevige periode met drie zware stormen. De meeste meetstations blijven na aftrek van diepe daling door gaswinning een positieve sedimentatiebalans houden (figuur 36). De lokale achterblijvende sedimentatie staat niet alleen in causaal verband met gaswinning maar maakt ook deel uit van de veel grootschaliger morfologische en hydrodynamische veranderingen in het hele gebied tussen Moddergat en Lauwersoog door menselijke ingrepen. Te denken valt aan de aanleg van de strekdammen op het wadij bij Paesens, de dijk aanleg langs de kust en de afdamming van het Lauwersmeer (Wang, 2007).
- Twee methodes (NCA spijkermeting op wadijplaat en *Artemisia* SEB meting op kwelder) die naastgelegen gebieden monitoren bij Paesens laten dezelfde opslibbingstrend zien met zeer vergelijkbare waarden (hoofdstuk 4).
- Twee methodes (NCA spijkermeting en NAM LIDAR vluchtmeting) om hoogte ontwikkeling van wadijplaten te volgen laten dezelfde opslibbingstrend zien met vergelijkbare waarden (hoofdstuk 4, van Duin, 2023).
- Biota kunnen lokaal sterk verhoogde sedimentatie van de wadijbodem veroorzaken. Een fraai voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van een wormenrif (*Pygospio elegans*) in 2015 bij meetstation S00 bij Oost-Ameland. Na verdwijnen van de kokerwormen blijft de wadijbodem verhoogd.
- Abiotische events (ijsgang, storm) kunnen snelle en variabele invloed op de hoogteligging van de wadijbodem hebben. Een fraai voorbeeld hiervan is een tweetal stormen in oktober en december 2013. Bij ZW-wind ontstaat opslibbing bij Paesens en bij NW-wind erosie. Twee dergelijke stormen in de herfst van 2013 maakten dit erg duidelijk (hoofdstuk 5). Algemene geldigheden voor de invloed van events op de sedimentatie van de onderzoeksgebieden zijn minder duidelijk aan te wijzen en in dit project niet onderzocht.



Figuur 41. 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. Binnen de arcering bevindt zich het gebied waar een netto verlaging heeft plaatsgevonden (zie paragraaf 3.6). Foto: Valentin Pochmoller, 26-4-17.

Literatuur:

Van Duin, W.E., 2019. Kweldermonitoring in de Peazemerlannen en het referentiegebied West-Groningen: Evaluatierapport 2007-2018. *Artemisia*-rapport 2019-02, *Artemisia*-kwelderonderzoek, Den Helder.

Van Duin, W.E., 2023. Kweldermonitoring in de Peazemerlannen en de referentiegebieden: Jaarrapport 2022. *Artemisia*-rapport 2023-01, *Artemisia*-kwelderonderzoek, Den Helder.

Hoeksema H.J., e.a.. RIKZ. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004. Rapport RIKZ/2004.025.

Krol J., 2022. Evaluatierapport Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog. 2007-2021. Natuurcentrum Ameland, Nes.

Kuiters, A.T. & R.M.A. Wegman, 2020. Veranderingen in morfologie kwelderrand en kwelderdrainage op Oost-Ameland in relatie tot bodemdaling; Monitoring van kustafslag en vegetatie van de kwelderrand onder het Oerderduin en van het drainagesysteem van Neerlands Reid. 2020. Wageningen, Wageningen Environmental Research.

Lugt M van der, Cleveringa, J., Wang, Z.B.. Integrale analyse morfologische effecten bodemdaling door gaswinning Ameland-Oost. 2020. ARCADIS Nederland B.V., 's-Hertogenbosch.

NAM, 2021. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2020. NAM B.V. (document EP202104200793). Assen.

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

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

Wang, Z.B., Cronin, K., van Ormondt, M.. Analyse Lidar data voor het Friesche Zeegat. 2010. Deltares project 1202285-000.

Wang, Z.B. (2007). Morfologische ontwikkeling van het Rif en de Engelsmanplaat, Analyse naar mogelijke invloed van de bodemdaling. WL|Delft Hydraulics rapport Z3973.

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>

Adres auteur:

Natuurcentrum Ameland

Johan Krol
Postbus 60
9163 ZM Nes Ameland

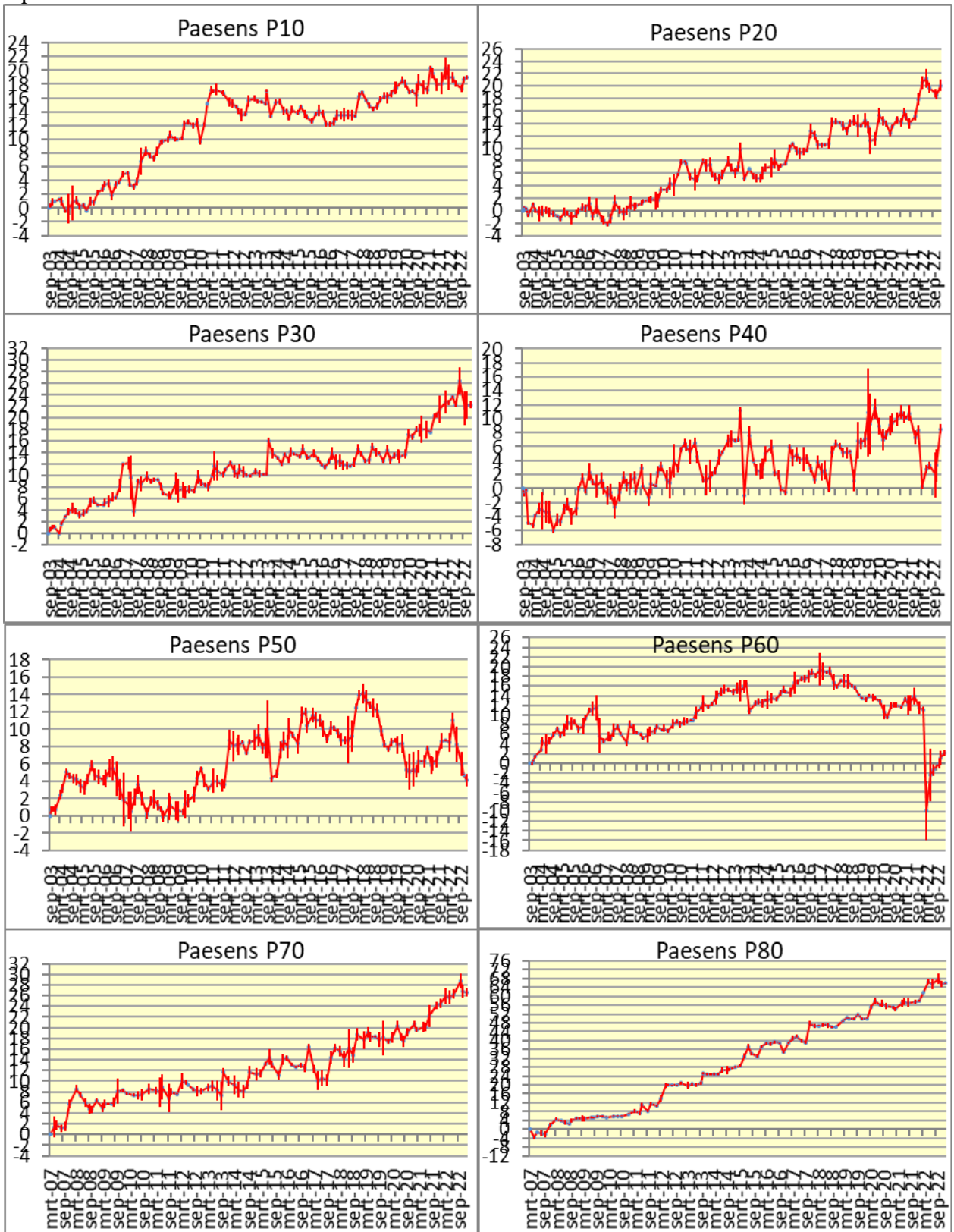
mail johankrol@amelandermusea.nl

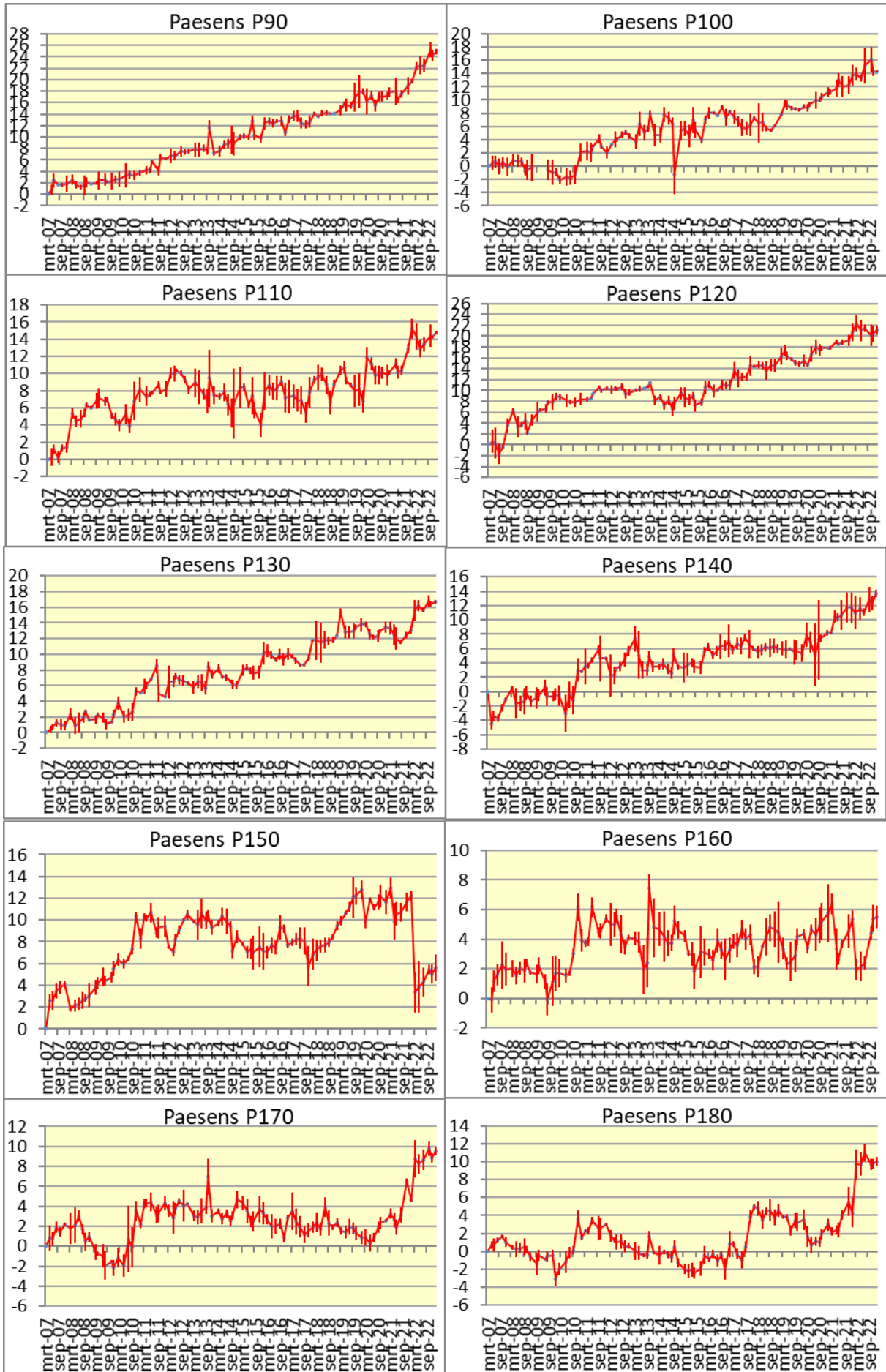
phone +31 (0)519542737

mobile +31 (0)651932645

Bijlage A. Grafieken gemiddelde sedimentatie en SD van alle meetstations onderzoeksgebied Paesens bijgewerkt tm 2022.

Op Y-as sedimentatie in cm.





Bijlage B. Contourkaart van diepe daling in onderzoeksgebied Paesens.

Kaart met de contouren van de diepe daling (cm) over de periode 2006-2021. Bron: NAM.

