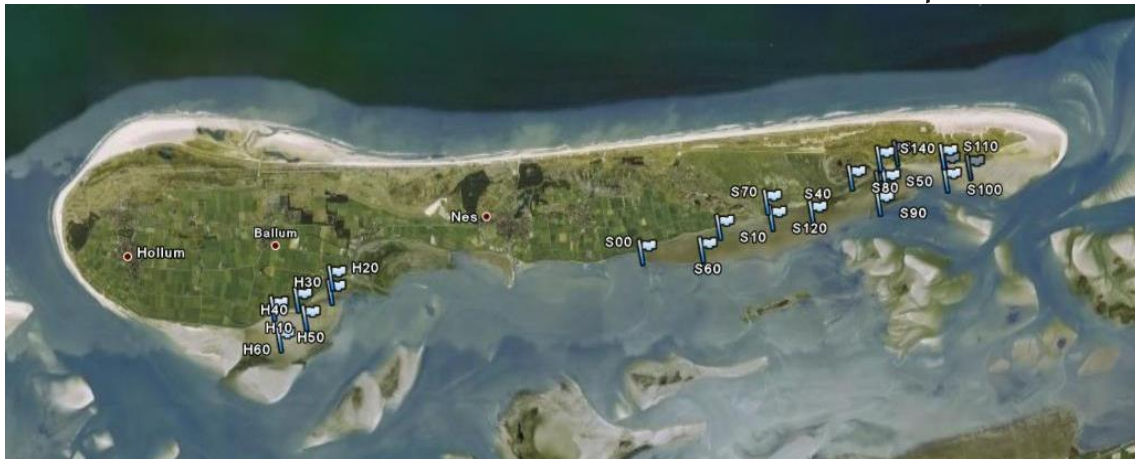


**Wadplaat sedimentatie
bij Ameland
2000-2015**



Johan Krol

Nes, mei 2016

Inhoudsopgave

| | |
|---|-------------------------------------|
| Samenvatting/Summary | 2 |
| Materiaal en methode | 4 |
| Onderzoeksgebieden en meetstations | 8 |
| Resultaten Oost-Ameland | 10 |
| Uitwerking per meetstation | 10 |
| Bodemdaling wadplaten Oost-Ameland | 10 |
| Sedimentatie op alle meetstations Oost-Ameland | 12 |
| Plaatsedimentatie in relatie tot tijd | 14 |
| Sedimentatie aan plaatrand in relatie tot tijd | Error! Bookmark not defined. |
| Wadplaatsedimentatie in relatie tot hoogteligging | 15 |
| Wadplaatsedimentatie in relatie tot bodemdaling | 16 |
| Resultaten West-Ameland | 19 |
| Uitwerking per meetstation | 19 |
| Sedimentatie alle meetstations West-Ameland | 19 |
| Plaatsedimentatie in relatie tot tijd | 20 |
| Discussie | 22 |
| Conclusies | 23 |
| Literatuur | 24 |
| Bijlage A | Meetdata Oost-Ameland |
| Bijlage B | Meetdata West-Ameland. |
| Bijlage C | Grafieken Oost-Ameland |
| Bijlage D | Grafieken West-Ameland |

Samenvatting/Summary

Ten gevolge van aardgaswinning onder Oost-Ameland vindt sinds 1986 bodemdaling plaats in het nabijgelegen deel van de Waddenzee (Ketelaar, dit rapport). 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 waddengebied ten zuiden van Oost-Ameland wordt de sedimentatie aan het wadoppervlak sinds 2000 gemeten. In 2006 is een waddengebied ten zuiden van West-Ameland aan het meetprogramma toegevoegd als referentiegebied zonder bodemdaling (figuur 2.8.1).

In dit onderzoek blijkt het mogelijk om na een reeks van 10 meetjaren een goede indicatie te kunnen geven van lokale dynamiek en het effect van bodemdaling op de sedimentatie van een groot wadplaatgebied van ongeveer 6 km lengte langs de kust van Oost-Ameland.

De berekende daling van de ondergrond (sinds 1986) in het onderzoeksgebied varieert van ruim 30 cm bij de kustlijn van Het Oerd (afstand tot hart dalingschotel ruim 1 km) tot ruim 2 cm op het wad ten zuiden van Buren (afstand tot hart dalingschotel ruim 6 km).

Indien het plaatgebied waarin de meetstations liggen als geheel wordt genomen is er slechts 1 meetstation dat erosie laat zien in de periode 2000-2010 en is er sprake van een gemiddelde sedimentatie van 8,0 mm/jaar. Maar vanwege de bodemdaling halveert de ophoging tot 4,2 mm/jaar. In het gebied bij West-Ameland is geen bodemdaling en daar wordt een gemiddelde sedimentatie gemeten van 7,2 mm/jaar, wat overeenkomt met Oost-Ameland.

Slechts in een smalle strook van ongeveer 2 km lengte vlak langs de kust bij Het Oerd, waar de bodemdaling maximaal is, is de sedimentatie onvoldoende om de bodemdaling volledig te compenseren. De netto maaiveldverlaging bedraagt daar ongeveer 5 mm/j (paragraaf 2.8.3.7).

Bij Oost-Ameland wordt erosie gemeten aan de rand van de wadplaat op de overgang naar de eerste geul die het onderzoeksgebied op ongeveer een km afstand van Ameland begrenst (paragraaf 2.8.3.5). Bodemdaling versterkt dit maar deze bijdrage is niet groot ten opzichte van de natuurlijke dynamiek en het aantal meetstations in dit gebied is te beperkt om stevige uitspraken te kunnen doen.

Due to the natural gas extraction deep below East-Ameland soil subsidence occurs in this area and the adjacent part of the Wadden Sea (Ketelaar, this report). However, sedimentation and erosion could either compensate for, or increase the level of accretion. Since 2000 erosion-sedimentation measuring stations were installed on the mudflats. In 2006 a reference area without soil subsidence south of West-Ameland was added to the monitoring program. The measurements were carried out every 2 months at low tide by foot (figure 2.8.1)

In order to measure sedimentation at the surface of the mudflats a new method was developed in which ground anchors are driven into the soil 60 to 90 cm deep. A measuring station has 4 of these anchors in a small square. From the anchor a non elastic string runs to the surface and protrudes some dm. A marker and an aluminium ring are used to measure the distance of the end of the line to the mudflat surface. The difference to the previous reading is the amount of sedimentation or erosion. This method works fine on tidal flats which are quite stable and the sedimentation/erosion can be followed at a millimeter level every two months.

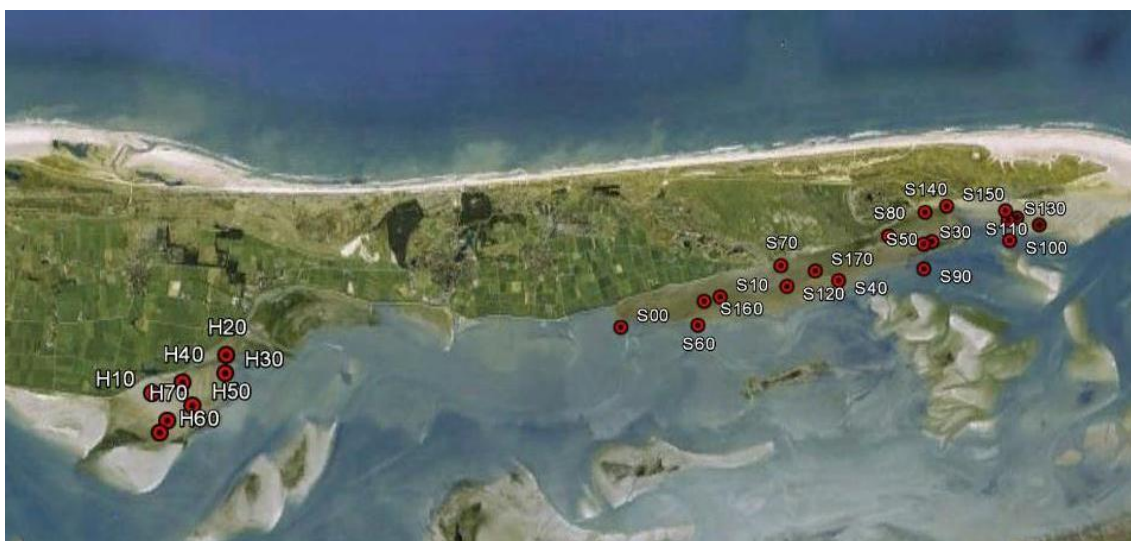
In this investigation sedimentation and erosion of a mudflat area of 6 km length along the coast of East-Ameland was studied. The subsidence (since 1986) in this area varied from over 30 cm close to the coast at 'The Oerd' nature reserve (1 km distance to heart of subsidence dish) to 2 cm at the mudflat south of the village Buren (6 km distance to heart of subsidence dish).

Sedimentation dominated in the entire study area (figure 2.8.7), except for the transition zone near the gully at the southern border of the study area. Erosion in this highly dynamic zone caused additional height loss, but the number of measuring stations (only 2) along this border were too small for reliable calculations.

Considering the whole area without these 2 border stations there was only one station that showed erosion in the period 2000-2010, but the average sedimentation was 8.2 mm/year. Because of soil subsidence the net result was 4.2 mm/year. Only a narrow stretch of mudflat of 2 km length close to the coast at East-Ameland showed a net lowering of the level of the mudflat, because there was not enough sedimentation to compensate for the subsidence.

In the West-Ameland area there was no subsidence and the average sedimentation there was 7.2 mm/year, which is in line with East-Ameland without subsidence.

1. Materiaal en methode



Figuur 1. Een overzicht van beide onderzoeksgebieden ten zuiden van Ameland met de meetstations op een luchtfoto (Google) ingetekend.
An aerial (Google) overview of both research areas south of Ameland with the measuring stations.

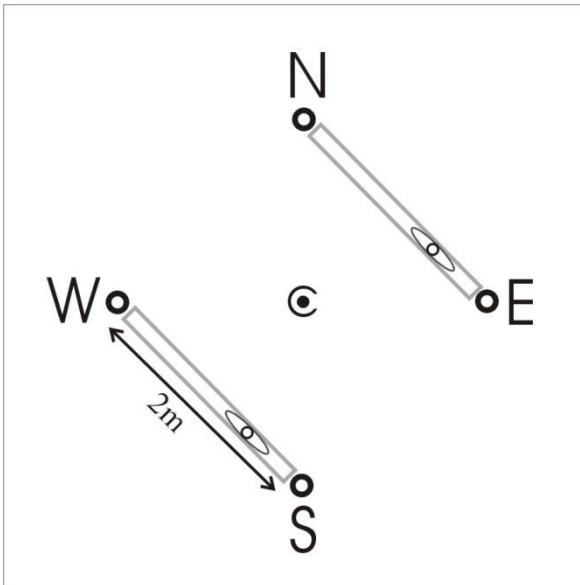
Om sedimentatie aan het wadoppervlak te kunnen meten is een methode ontworpen waarbij grondankers tot ongeveer 90 cm in de bodem worden geschroefd. Aanvankelijk werden hiervoor grote bouwmarktschroeven gebruikt, later is overgestapt op een nog zwaardere eigenbouw schroef als grondanker (figuur 2). Een meetstation op het wad bestaat uit 4 grondankers (figuur 4) 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 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. 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 het touw met een haakje uit het sediment gehaald wordt. 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 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 is sprake van 1 meetstation per meetlocatie met 4 grondankers.



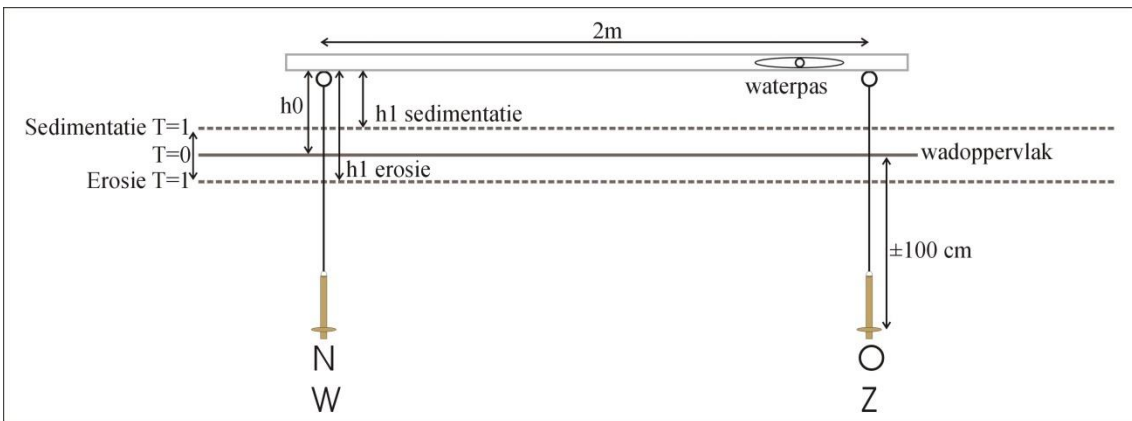
Figuur 2. *Eigenbouw grondanker waaraan niet rekkend meettouw bevestigd wordt. Rechts de dop aan het uiteinde van de T-grondboor waarmee het anker in de bodem geschroefd wordt (figuur 3).
Homemade groundanchor to which a non-elastic string is attached. At right the socket at end of long T-drill with which the anchor is drilled into the soil (figuur 3).*



Figuur 3. *Grote T-dopsleutel 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.
Long T-drill with socket at the end with which the anchor is drilled into the soil. The measuring string runs through T-drill and to this the identification and measuring labels (aluminium) will be attached.*



Figuur 4. Verticale aanblik van een meetstation met 4 grondankers (noord, oost, zuid, west). Per tweetal (N-E en W-S) zijn de metringen aan de bovengrondse touwtjes waterpas gezet als check op nazakking.
 Vertical view at measuring station with 4 ground anchors (north, east, south, west) Per pair (N-E and W-S) the measuring rings at the ropes are tied waterlevel as check for setting after installing..



Figuur 5. Horizontale aanblik van een meetstation en prinsipeschema van de meetmethode om wadsedimentatie te monitoren. Indien na verloop van tijd een langere afstand tussen metring 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.
 Horizontal view and explanation scheme for used method to monitor mudflat sedimentation. Erosion causes an increased distance between measuring ring and mudflat surface, sedimentation leads to a shorter distance.

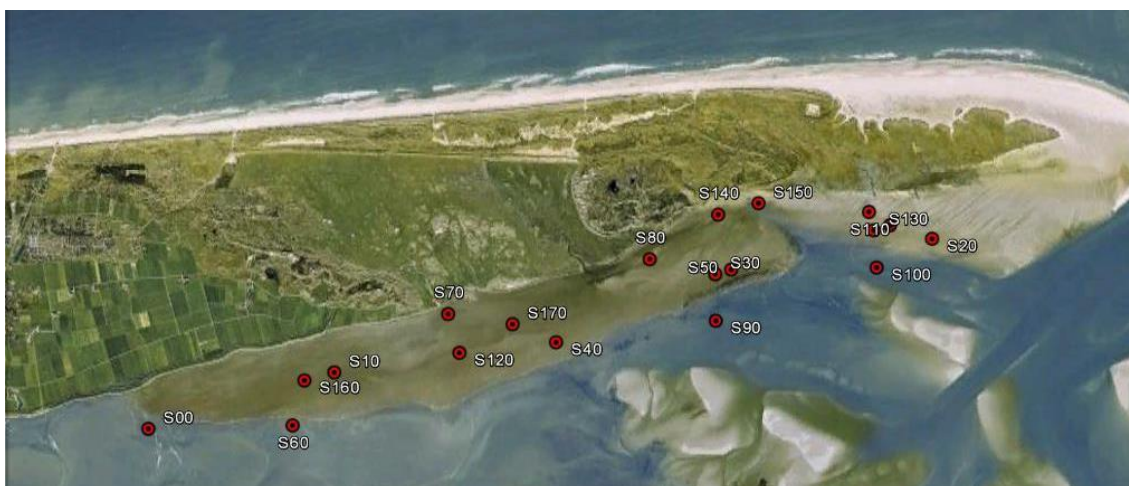


*Figuur 6. Meetliniaal met brede meetvoet (niet zichtbaar). Deze wordt steeds op dezelfde wijze op de bodem gezet waarna de lengte van het meettouw langs de schaal wordt afgelezen. In dit geval 45,1 cm..
Ruler with broad foot (not visible) at base. This is always placed at the soil in the same way and then the length of the rope can be read at the ruler. In this case 45,1 cm..*

2. Onderzoeksgebieden en meetstations

2.1 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 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. Alleen de stations S90 en S100 liggen aan de rand van de plaat op de overgang naar een ondiepe geul. De diepe ondergrond in het onderzoeksgebied is sinds 1986 tot 2014 van 30,5 cm (S150) tot 2,2 cm (S00) gedaald volgens berekening met het NAM-model Ameland_GRIDS_2014 (Piening, dit rapport). Het meetstation S100 is in 2009 door geulvorming verloren gegaan. In 2011 zijn er drie nieuwe stations (S160 tm S180) tussengevoegd en deze bestaan ieder uit 4 grondankers (figuur 7). In tabel 1 staan ook de hoogten van de wadplaat bij de meetstations. Deze zijn in 2013 ingemeten met een RTK/DGPS ontvanger waarbij de meetfout ongeveer 20 mm bedraagt.



Figuur 7. Luchtfoto (Google) met 19 meetstations bij Oost-Ameland ingetekend.
Aerial view (Google) with 19 measuring stations at East-Ameland.

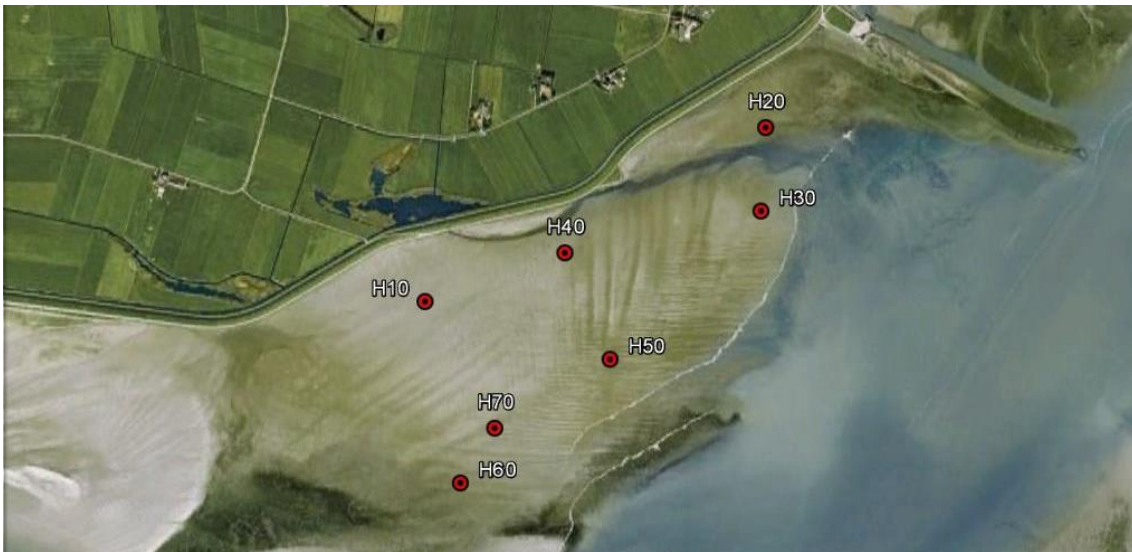
Tabel 1. Coördinaten en hoogteligging van meetstations Oost-Ameland.
Coordinates and height level (Amsterdam Zero) of measuring stations East-Ameland.

| Station | X | Y | Datum plaatsing | NAP meter aug 2013 |
|---------|--------|--------|-----------------|-----------------------|
| S00 | 183915 | 605684 | 30-7-2000 | -0,374 |
| S10 | 185751 | 606260 | 8-8-2000 | 0,012 |
| S20 | 191644 | 607626 | 11-8-2000 | 0,141 |
| S30 | 189516 | 607256 | 11-8-2000 | -0,070 |
| S40 | 187941 | 606574 | 11-8-2000 | -0,304 |
| S50 | 189670 | 607305 | 6-3-2001 | 0,036 |
| S60 | 185350 | 605743 | 27-3-2002 | -0,320 |
| S70 | 186873 | 606850 | 27-3-2002 | 0,076 |
| S80 | 188863 | 607400 | 27-3-2002 | 0,104 |
| S90 | 189523 | 606795 | 27-3-2002 | -0,750 |
| S100 | 191102 | 607337 | 27-3-2002 | -0,786 |
| S110 | 191027 | 607886 | 27-3-2002 | 0,301 |
| S120 | 186990 | 606467 | 20-3-2003 | -0,028 |
| S130 | 191065 | 607710 | 20-3-2003 | 0,044 |
| S140 | 189534 | 607843 | 1-3-2004 | 0,355 |

| Station | X | Y | Datum plaatsing | NAP meter aug 2013 |
|---------|--------|--------|-----------------|--------------------------|
| S150 | 189931 | 607967 | 1-3-2004 | 0,238 |
| S160 | 185456 | 606177 | 7-11-11 | -0,088 |
| S170 | 187510 | 606750 | 7-11-11 | 0,004 |
| S180 | 191233 | 607756 | 7-11-11 | 0,005 |

2.2 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. Luchtfoto (Google) met 7 meetstations bij West-Ameland ingetekend.
Aerial (Google) view of the seven measuring stations at West-Ameland.

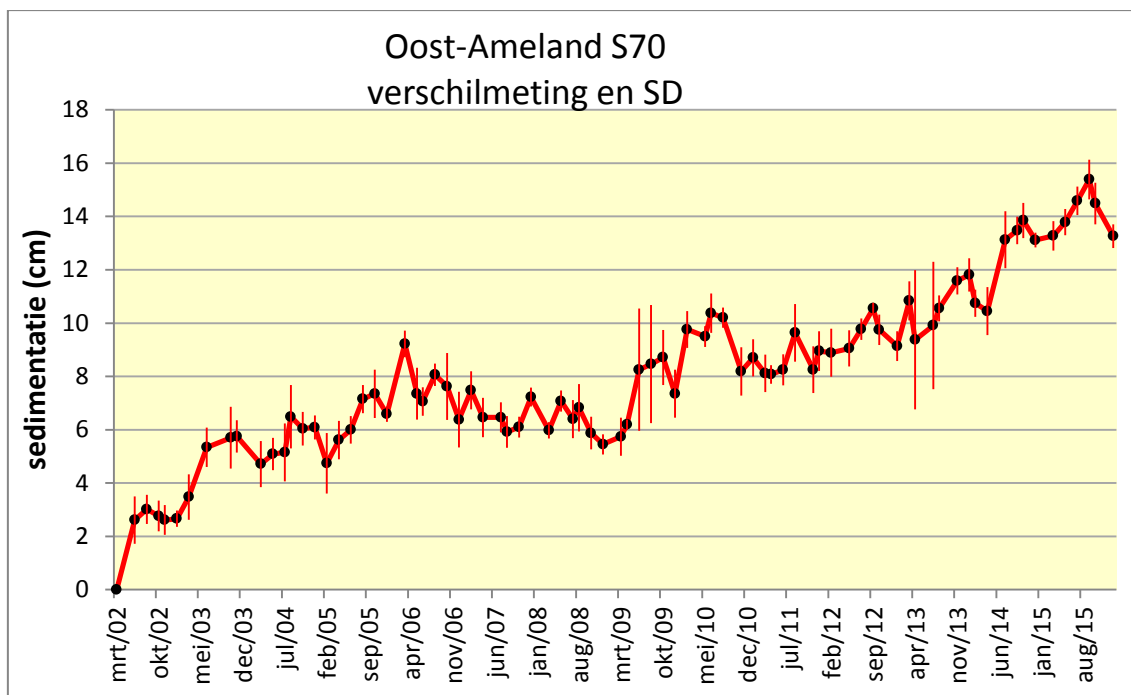
Tabel 2. Coördinaten en hoogteligging van meetstations West-Ameland.
Coordinates and height level (Amsterdam Zero) of the measuring stations at West-Ameland.

| Station | X | Y | Datum plaatsing | NAP meter mei 2013 |
|---------|--------|--------|--------------------|--------------------------|
| H10 | 175248 | 604416 | 4-09-06 | 0,496 |
| H20 | 176617 | 605128 | 4-09-06 | 0,064 |
| H30 | 176601 | 604792 | 4-09-06 | 0,076 |
| H40 | 175811 | 604617 | 4-09-06 | 0,443 |
| H50 | 175997 | 604190 | 4-09-06 | 0,067 |
| H60 | 175397 | 603687 | 4-09-06 | 0,066 |
| H70 | 175539 | 603906 | 28-2-12 | 0,228 |

3. Resultaten Oost-Ameland.

3.1 Uitwerking per meetstation

Voor de berekeningen van de verandering ten opzichte van het meetbegin zijn per meetstation alle metingen aan 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 vind middeling over de wel beschikbare grondankers plaats. Een voorbeeld van een meetreeks staat in figuur 9. 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 1. Meetreeks van meetstation S70 in het onderzoeksgebied Oost-Ameland. Data series of measuring station S70 in the East-Ameland area.

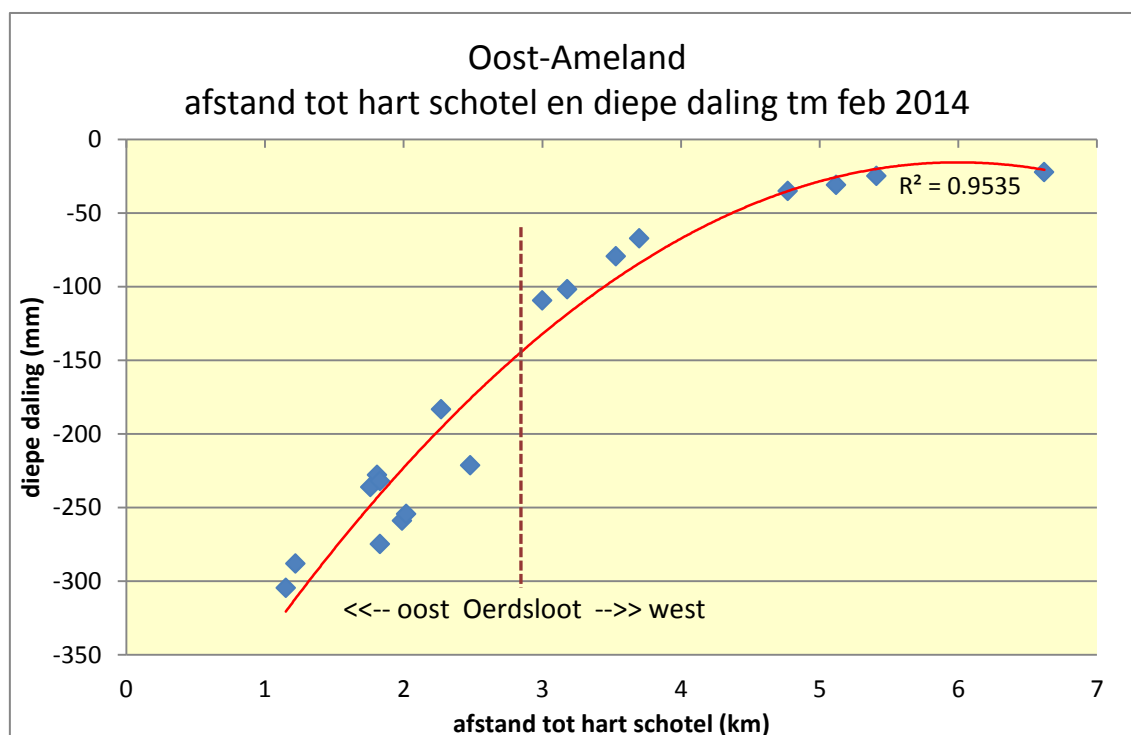
3.2 Bodemdaling wadplaten Oost-Ameland

De bodemdaling schotel strekt zich uit onder het wad ten zuiden van Ameland (Piening, dit rapport). 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 paal 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 en alleen de twee stations S90 en S100 aan de zuidrand van de wadplaat liggen veel lager op ongeveer -80 cm NAP. De diepe daling op de RD-coördinaat van ieder station is vanaf 1986 tm februari 2014 uitgerekend met het NAM-model Ameland_GRIDS_2014 en is weergegeven in tabel 3.

Tabel 1. Afstand tot hart van bodemdaling schotel en diepe daling in 1986-2014 bij meetstations berekend met NAM-model Ameland_GRIDS_2014.
Distance to center of subsidence bowl and deep subsidence in 1986-2014 calculated with NAM-model Ameland_GRIDS_2014.

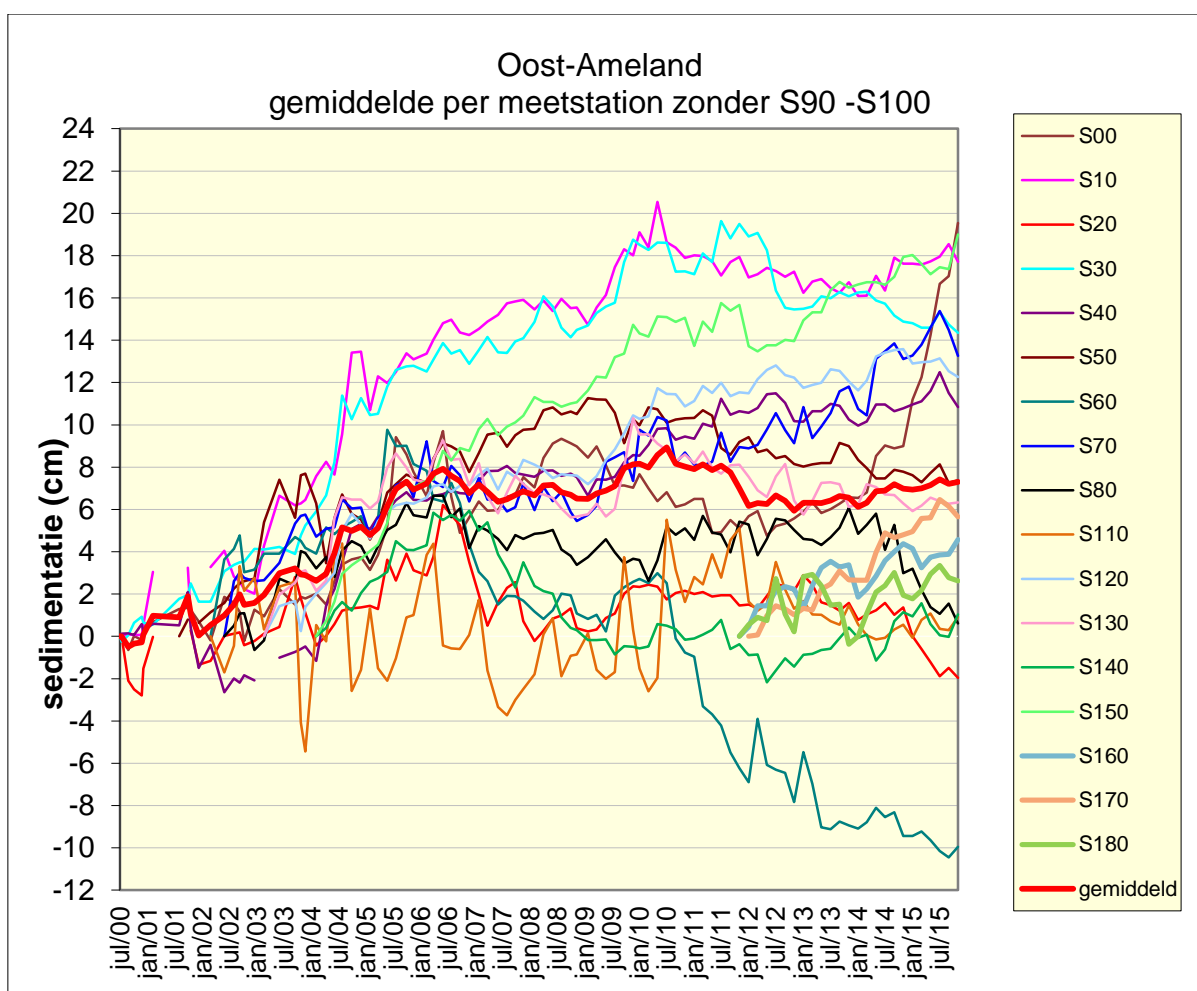
| Station | Afstand tot hart schotel km | 2014 diepe daling mm |
|---------|-----------------------------|----------------------|
| S00 | 6,62 | -22 |
| S10 | 4,77 | -35 |
| S20 | 2,48 | -221 |
| S30 | 1,81 | -228 |
| S40 | 3,00 | -109 |
| S50 | 1,76 | -236 |
| S60 | 5,41 | -25 |
| S70 | 3,53 | -79 |
| S80 | 1,83 | -220 |
| S90 | 2,27 | -183 |
| S100 | 2,28 | -225 |
| S110 | 1,83 | -275 |
| S120 | 3,70 | -67 |
| S130 | 1,99 | -259 |
| S140 | 1,22 | -288 |
| S150 | 1,15 | -305 |
| S160 | 5,12 | -31 |
| S170 | 3,18 | -102 |
| S180 | 2,02 | -254 |



Figuur 10. Afstand tot hart dalingschotel en de diepe daling tm februari 2014. Het wantij ter hoogte van de Oerdsloot vormt een scheiding tussen veel en weinig gedaalde stations.
Distance to center of subsidence disk and deep subsidence till february 2014. The watershed at the Oerdsloot area makes an division between much and little subsided stations.

3.3 Sedimentatie op wadplaat Oost-Ameland.

Per meetstation is het verloop van de sedimentatie ten opzichte van het begin van de meetreeks verwerkt in figuur 11. De beide geulrandstations S90 en S100 (S100 is sinds 2009 verdwenen) zijn hierin niet opgenomen. Deze figuur laat dus de sedimentatie aan het oppervlak zien van de wadplaat ten zuiden van Oost-Ameland. Station S110 kent 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 bewegen (figuur 12). 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 waaiervormig 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 nu weer boven maaiveld (figuur 13). Naast S60 is station S20 het enige dat aan het eind van de meetreeks, in december 2015, erosie aan het oppervlak laat zien. De overige stations laten sedimentatie zien ten opzichte van het meetbegin.



Figuur 2. Sedimentatie van alle meetstations op wadplaat ten zuiden van Oost-Ameland. Average sedimentation of all measuring stations on tidal flat south of East-Ameland.



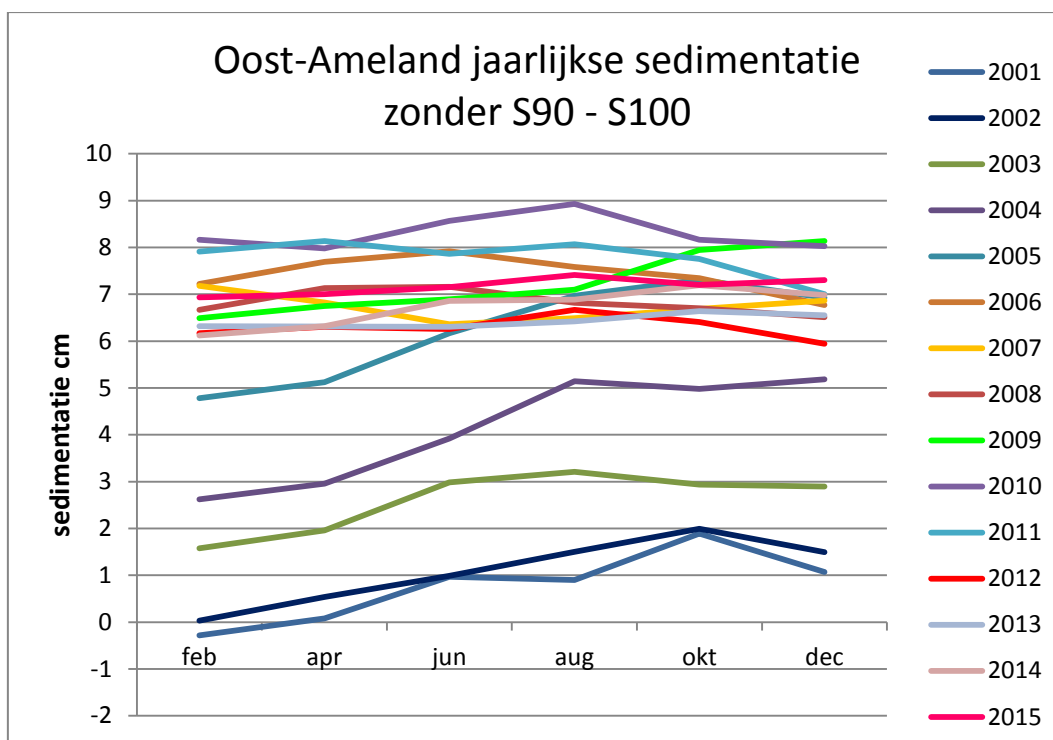
*Figuur 3. Meetstation S110 op luchtfoto. Zandgolven veroorzaken lokale dynamiek.
Measuring station S110 in aerial view. Waves of sand result in high local dynamics.*



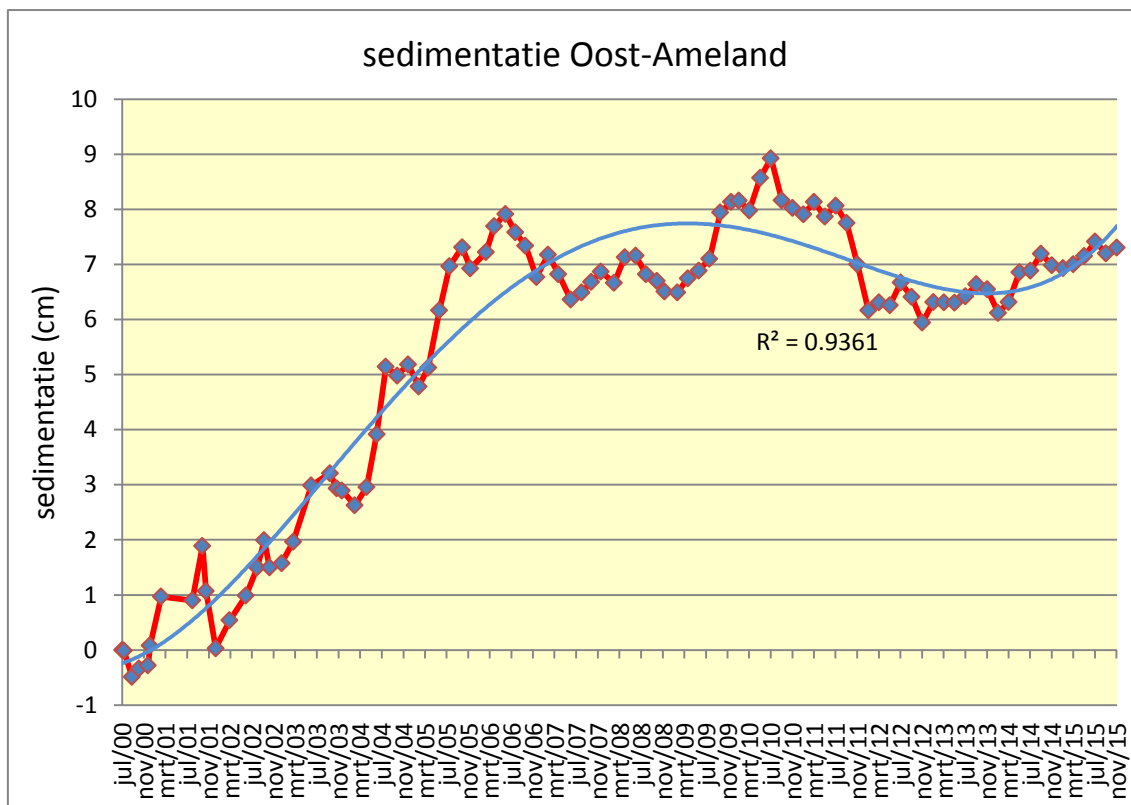
*Figuur 4. Station S60, herkenbaar aan witte buisje en scheve paal op voorgrond (zuidelijke station van duplo) met geulvorming en wadplaat in erosiefase. Op achtergrond zijn aluminium onderdelen van een viermotorige Engelse Short Stirling RAF (BF378) bommenwerper zichtbaar die hier op 19 februari 1943 '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).
Station S60, recognized by white tube and skewed pole in front with gully forming through station and eroding mudflat behind. In the back aluminum remains of British RAF Short Stirling (BF378) bomber are visible. It was shot down at 19th February 1943 in the night and the crew of seven was killed (photograph 30-6-2011). During installation of this station at 27-3-2002 the area was totally flat and nothing could indicate this was the wrecksite of BF378.*

3.4 Plaatsedimentatie in relatie tot de tijd

Om de ontwikkeling van de sedimentatie op de wadplaten te kunnen beoordelen, zijn de beide geulrandstations S90 en S100 buiten beschouwing gelaten omdat ze op de rand van de plaat liggen. Een jaarlijks beeld van de sedimentatie op de wadplaat ten zuiden van Ameland tussen De Hon en de 'oude dam' ten zuiden van Buren kan worden gemaakt door een verschilberekening te maken ten opzichte van december in het voorgaande jaar (bijlage A). Dat levert steeds jaarlijks 6 waarden op voor de 15 complete jaren 2001 t/m 2015. Hierbij moet worden bedacht dat het aantal stations oploopt van 5 in 2001 tot 14 vanaf mei 2004 en 17 vanaf november 2011 (figuur 11). Erosie jaren zijn 2006, 2008, 2010, 2011 en 2012. De overige jaren laten opslibbing zien. Indien de data in één grafiek worden samengevat, de lijnen van figuur 14 worden als het ware achter elkaar geplakt, ontstaat figuur 15. Deze figuur geeft een goed overzicht van het plaatgedrag op maaiveldhoogte. Er is een best passende polynoom doorheen gefit. 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 en daarna 46 maanden langzame sedimentatie tot het eind van de reeks in december 2015. 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 sprake van een gemiddelde sedimentatie van 6,6 mm/j voor de 17 meetstations die op de wadplaat liggen gerekend over de gehele meetreeks.



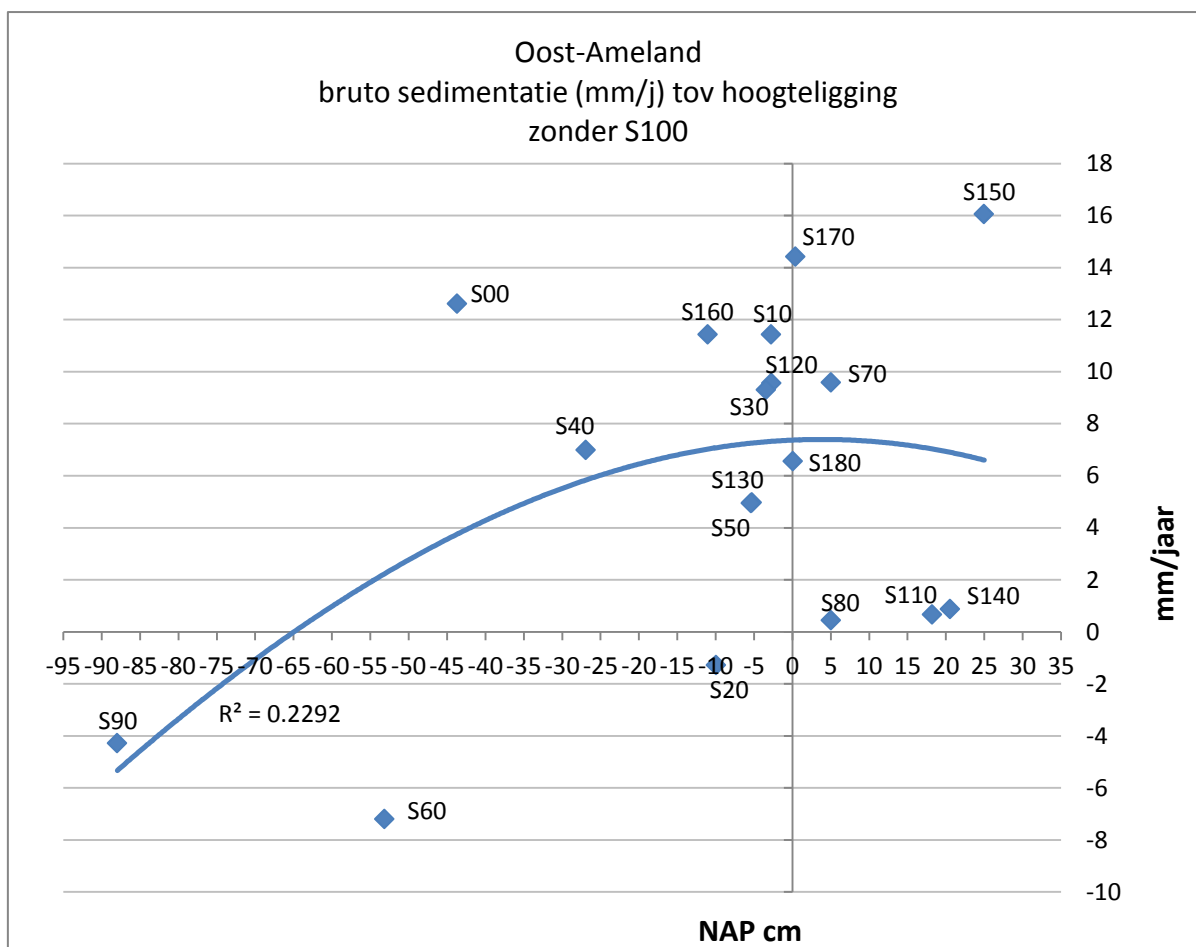
Figuur 5. Jaarlijkse sedimentatie op de stations van de wadplaat onder Oost-Ameland ten opzichte van decembermeting voorgaande jaar. Uitgezonderd S90 en S100.
Yearly sedimentation at East-Ameland related to measurement of December the previous year. Stations S90 and S100 excluded.



Figuur 6. Sedimentatie op wadplaten op Oost-Ameland. Alle meetstations uitgezonderd S90 en S100.
Sedimentation on mudflats at East-Ameland. All measuring stations except S90 and S100.

3.5 Wadplaatsedimentatie in relatie tot hoogteligging.

Van het gebied Oost-Ameland zijn de NAP-hoogten 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 2015 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 2015 was over de gehele meetperiode van ieder meetstation. Als de bijzondere situatie van S60 (lokale erosie) even buiten beschouwing wordt gelaten is er alleen sprake van erosie bij station S20. Dit 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 de overige 15 stations is sprake van sedimentatie vanaf een hoogte van +25 cm NAP (S150) tot -43 cm NAP (S00) (figuur 16). Dit betreft vrijwel de volledige hoogterange waarop de stations liggen. In het spreidingsdiagram van figuur 16 lijkt er een optimum in de opslibbing te zijn rond de nul cm NAP hoogte maar de correlatie is niet sterk.



Figuur 16. Spreidingsdiagram van de sedimentatiesnelheid ten opzichte van hoogteligging van de meetstations bij Oost-Ameland. Sedimentatiesnelheid in mm per jaar over de totale meetperiode die eindigt in december 2015. Meetperiode van de meetstations varieert van 4 tot 15 jaar (tabel 1). Een uitzondering is S100, dit station is in 2009 verloren gegaan door geulvorming. Door de punten is een trendlijn gefit (polynoom). Scatter diagram of speed of sedimentation (mm/yr) in relation to height (Amsterdam Zero) of stations on the mudflats at East-Ameland. Sedimentationspeed is calculated over the total measuring period that varies from 4 to 15 years and ends in December 2015 (table 1). An exception is station S100 that was lost in 2009 due to high local dynamics. A polynomial trend is fitted through the points.

3.6 Wadplaats sedimentatie in relatie tot bodemdaling

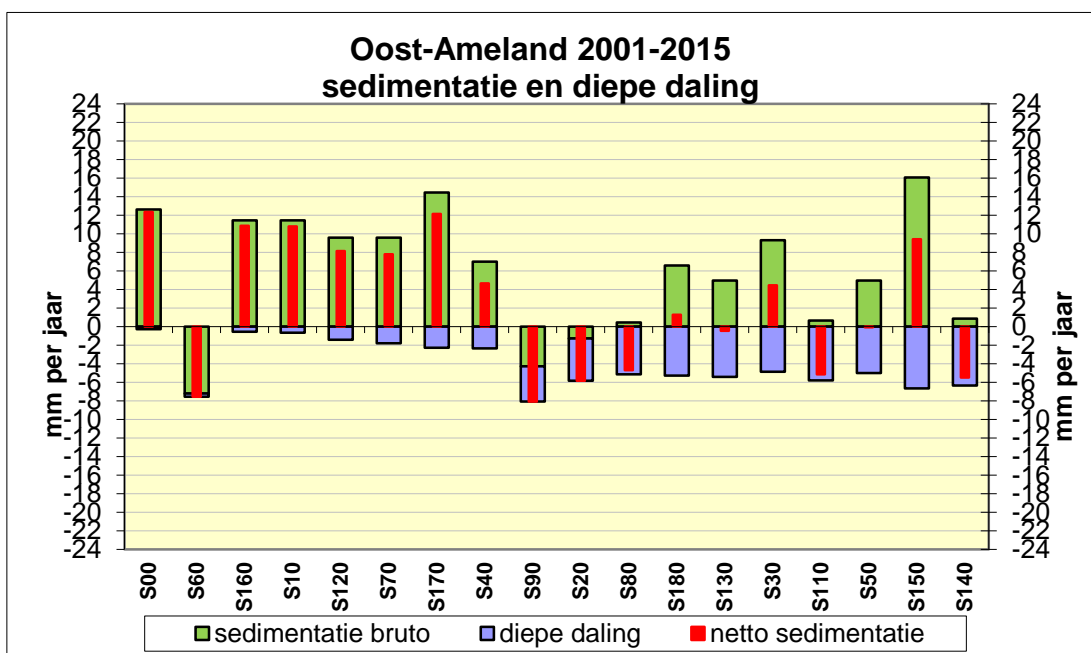
In het Waddegebied bij Oost-Ameland zijn de meetstations gedaald door diepe daling vanwege de gaswinning (figuur 10, tabel 3). Tegelijkertijd heeft er ook opslibbing plaatsgevonden aan het oppervlak bij het merendeel van de meetstations als de gehele meetperiode in ogenschouw wordt genomen (paragraaf 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 (figuur 17). Dan blijkt uiteraard dat het maaiveld bij de drie stations S60, S90 en S20, die tijdens de meetperiode erosie lieten zien (paragraaf 3.5), door de diepe daling versterkt daalt (figuur 18). Bij S60 is dit minimaal aangezien dit station op de rand van de dalingschotel ligt. Bij de beide stations S90 en S20 daalt het maaiveld door diepe daling extra (figuur 19).

Bij het merendeel van de stations is er voldoende sedimentatie om de bodemdaling volledig te compenseren en vind er dus geen maaiveldverlaging plaats (figuur 17). In vijf gevallen is er sprake van een maaiveldverlaging veroorzaakt door bodemdaling waar anders een maaiveldverhoging zou zijn geweest. Dit betreft de stations S50 (minimaal), S80, S110, S130 en S140. Alle vijf gelegen in het meest dalende plaatgebied bij Oost-Ameland waar een diepe daling van maximaal 5 mm/jaar (S140) plaatsvindt wat bij deze stations resulteert in een netto maaiveldverlaging van maximaal 5 (S80, S110, S140) tot 6 (S20) mm/j. Indien op figuur 7 een lijn getrokken wordt tussen deze laatste 4 stations dan is dat het gebied waar bodemdaling resulteert in netto maaiveldverlaging. Dit betreft een vrij smalle strook van ongeveer 3 kilometer

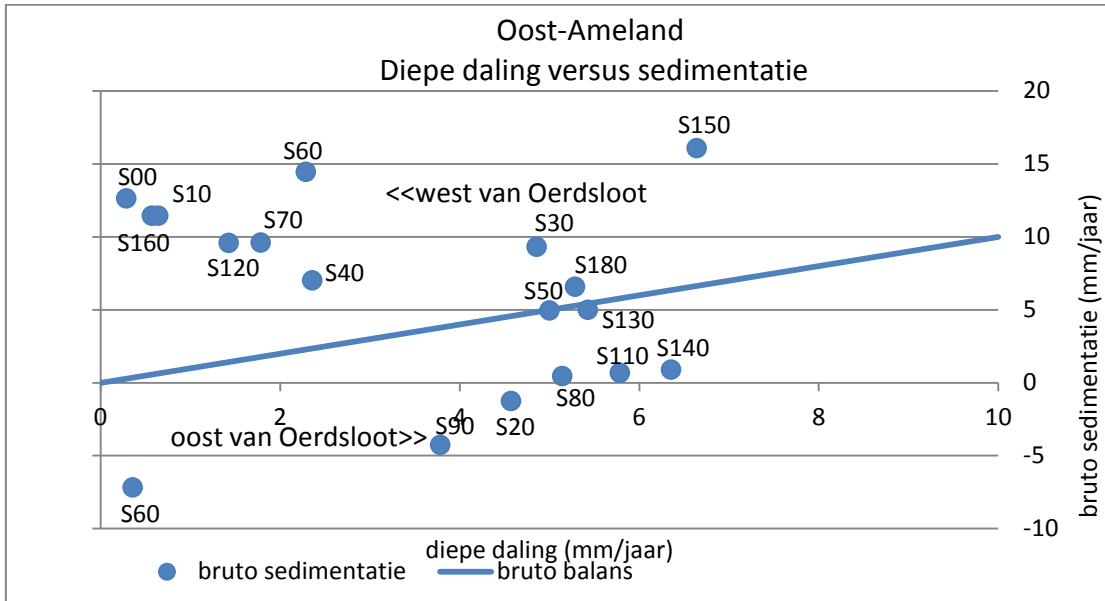
lengte en beperkte breedte gezien de ligging vlak langs de kust en de sedimentatie bij de omliggende stations. Een ruwe schatting duidt op een sedimenttekort van 6000 m³/j (3000x0,005x400) in deze strook om tenminste het maaiveld op gelijke hoogte te houden. Indien alle plaatstations (geen S90), samen worden genomen is er in de periode 2001-2015 sprake van een sedimentatie van 6,6 mm/jaar en dat resulteert in een netto ophoging van 3,1 mm/jaar door diepe daling. Een ruwe schatting duidt op een opslibingsvolume van 32000 m³/jaar (7000x700x0,0066) sediment voor het gehele gebied. Ook in eerdere studies (Hoeksema 2004, De Vlas 2005) is geconcludeerd dat de sedimentatie bij Ameland voldoende is om de diepe daling door gaswinning te compenseren. Maar deze studie laat zien dat lokaal sprake is van een netto maaiveld daling.



Figuur 17. In het oranje gebied is sprake van netto maaiveld daling ten gevolge van diepe daling door gaswinning. Inside the orange area lowering of the surface takes place due to deep subsidence because of gas extraction.



Figuur 18. Snelheid van sedimentatie en bodemdaling en het netto effect per meetstation gedurende de meetperiode. Data tm december 2015. Speed of sedimentation and soil subsidence and the net effect per station during the measuring period. Data actuated to December 2015.

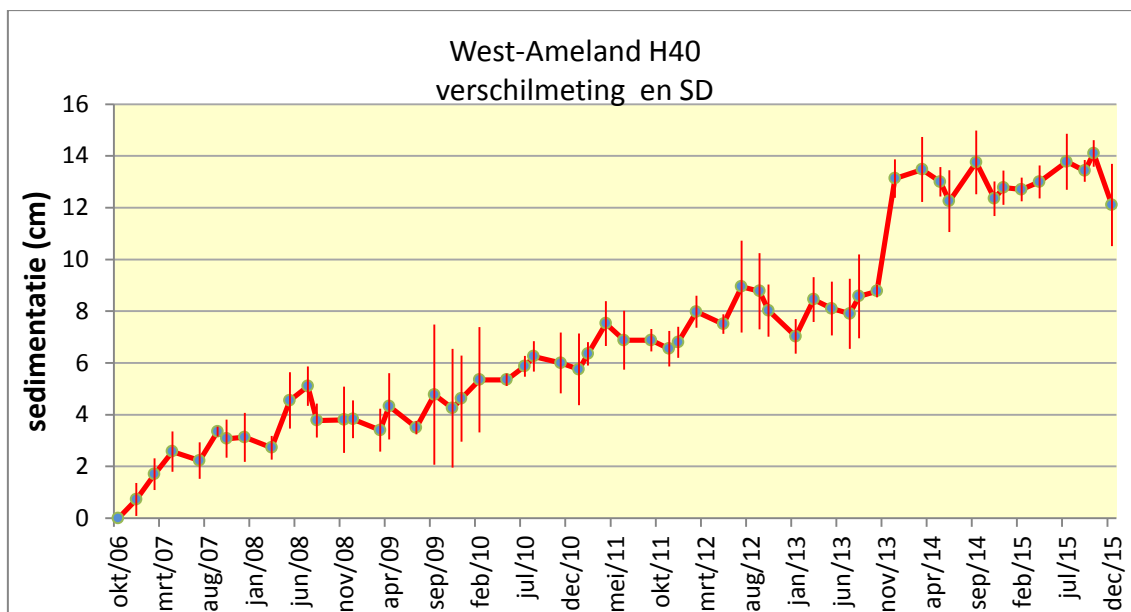


Figuur 19. Verband tussen bodemdaling en sedimentatiesnelheid op alle meetstations. Data tm december 2015. De getrokken lijn geeft aan waar bodemdaling en sedimentatie in balans zijn zodat het maaiveld op gelijke hoogte blijft.
 Relation between soil subsidence and sedimentation speed at all stations. Data actuated to December 2015. The solid line marks the level where subsidence and sedimentation are in balance so the ground level will be maintained

4. Resultaten West-Ameland

4.1 Uitwerking per meetstation

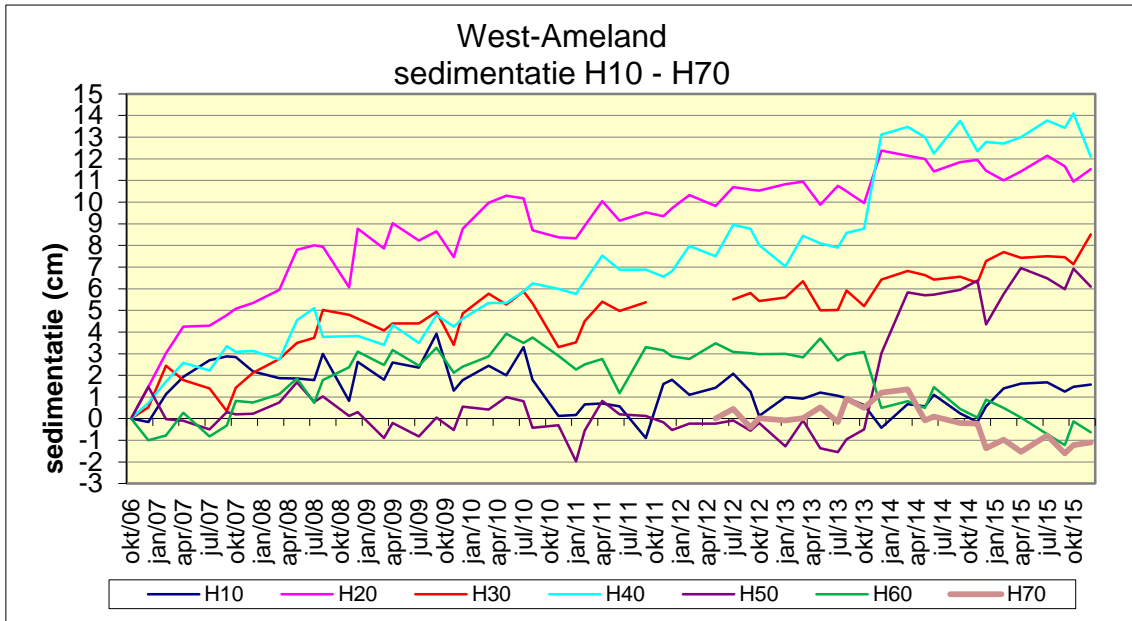
Voor de berekeningen van de verandering ten opzichte van het meetbegin zijn voor iedere meting alle beschikbare grondankers meegenomen. In de meeste gevallen betekent dit per meting per meetstation 4 grondankers die worden gemiddeld. Soms is een touwtje met meetlabel (tijdelijk) onvindbaar en vind middeling 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 20. Meetreeks van meetstation H40 in het onderzoeksgebied West-Ameland.
Data series of measuring station H40 in the West-Ameland area.

4.2 Sedimentatie alle meetstations West-Ameland

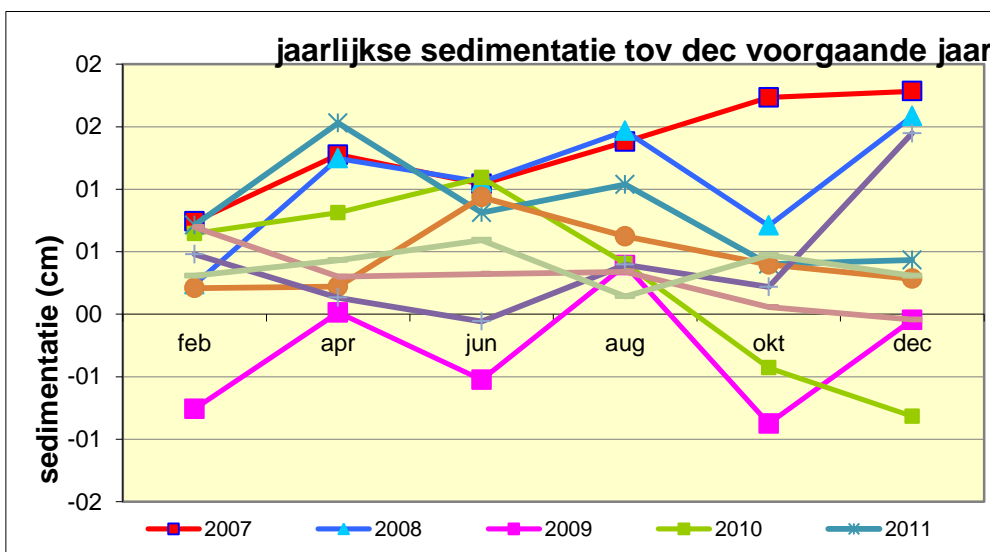
Per meetstation is het verloop van de sedimentatie ten opzichte van het begin van de meetreeks verwerkt in figuur 21. Hieruit blijkt dat de hoogteligging van de stations H10, H60 en H70 vrijwel onveranderd is sinds het meetbegin. Station H10 is na jaren van sedimentatie gevolgd door erosie sinds 2013 aan het eind van de meetreeks weer terug bij het meetbegin. De stations H20, H30, H40 en H50 laten sedimentatie zien met station H40 als hoogste met ruim 12 cm in een periode van ruim 9 jaar. In de winter 2013/2014 is sprake van een trendbreuk waarbij de stations H20, H30, H40 en H50 sterk sedimenteren en H10, H60 en H70 juist eroderen.



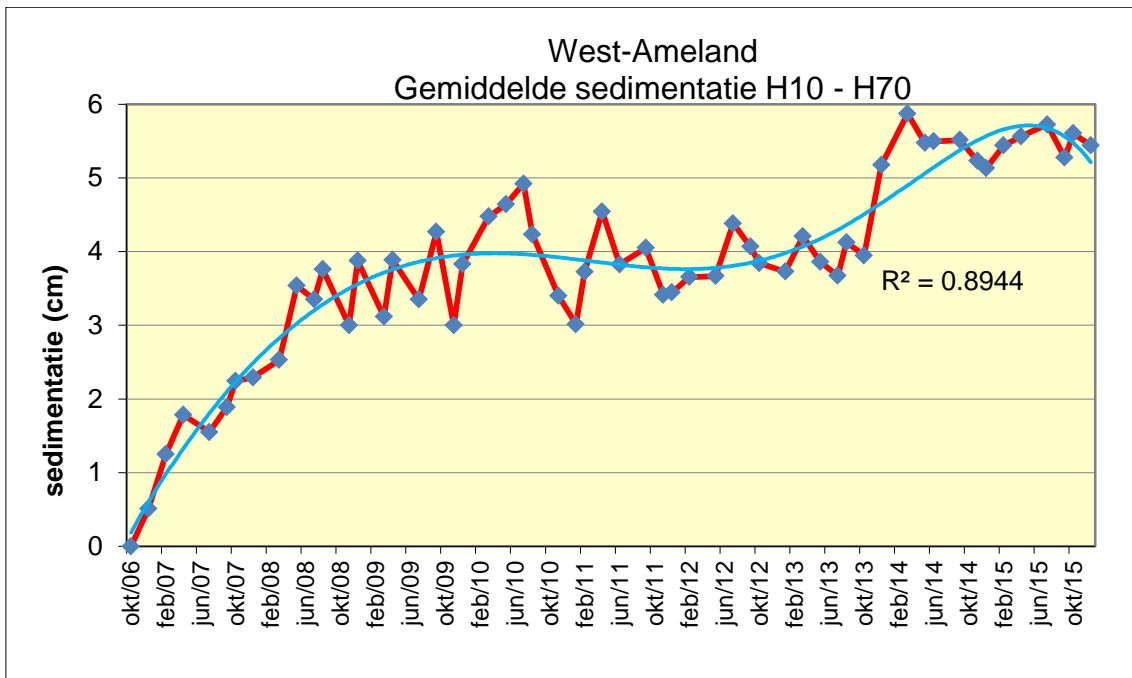
Figuur 21. Gemiddelde sedimentatie van de meetstations H10 tm H70 in het onderzoeksgebied West-Ameland. Average sedimentation of the stations H10 to H70 in West-Ameland.

4.3 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). Er zijn 4 sedimentatiejaren (2007, 2008, 2009 en 2013), drie erosiejaren (2010, 2011 en 2014) en twee stabiele jaren (2012 en 2015) (figuur 22). Indien de data in één grafiek worden samengevat, de lijnen van figuur 22 worden als het ware achter elkaar aan geplakt, ontstaat figuur 23. Deze figuur geeft een goed overzicht van het plaatgedrag op maaiveldhoogte. Er is een best passende polynoom doorheen gefit. Aan het eind van de meetreeks in december 2015 is gemiddeld sprake van 5,4 cm sedimentatie wat overeen komt met een gemiddelde opslibbingsnelheid van 5,8 mm/j. De variatie tussen de stations is echter behoorlijk groot (figuur 21) maar zowel de sedimentatie als de gemiddelde snelheid van sedimentatie (Oost-Ameland 6,6 mm/j, paragraaf 3.6) en de variatie tussen de stations zijn daarmee op hetzelfde niveau als op Oost-Ameland.



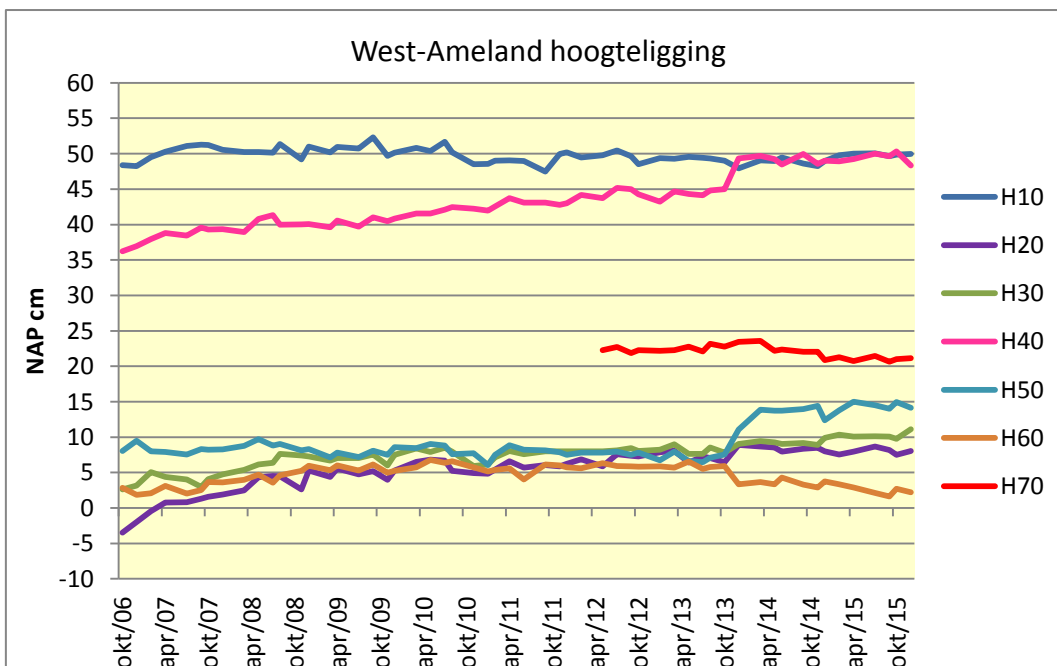
Figuur 22. Jaarlijkse sedimentatie West-Ameland ten opzichte van decembermeting voorgaande jaar. Yearly sedimentation at West-Ameland related to measurement of December the previous year.



Figuur 23. Sedimentatie op wadplaten op West-Ameland. Alle meetstations.
Sedimentation on mudflats at West-Ameland. All measuring stations.

4.4 Plaats sedimentatie 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 24). De wadplaat heeft een hoogteligging rond NAP 0 tot +20 cm gezien de hoogteligging van de meeste stations. De dichterbij de dijk gelegen stations H10 en H40 liggen eind 2015 op ongeveer NAP +50 cm.



Figuur 24. Hoogteverloop (NAP cm) van de meetstations op wadplaat bij West-Ameland.
Height level (Amsterdam level in cm) of all stations on tidal flat at West-Ameland.

5. Discussie

Droogvallende wadplaten vormen uiterst belangrijk gebied in diverse voedselketens in de Waddenzee. Het best zichtbare voorbeeld daarvan zijn de vogels, waarvan veel soorten in grote aantallen lopend foerageren op de wadplaten (Kersten et. al., in de Vlas 2011). Verlaging van wadplaten kan van invloed zijn op de leefomstandigheden van bodemdieren en de foerageeromstandigheden van wadvogels.

Teneinde vast te kunnen stellen of er een verdieping plaats vindt in het deel van de Waddenzee dat binnen de contour van de bodemdaling 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 zevende station aan toegevoegd. 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.

In hoeverre de gezamenlijke meetstations per plaatgebied iets zeggen over de gehele plaat is bekeken met een kriging methodiek. Hieruit bleek dat statistisch gezien geen definitieve uitspraken kunnen worden gedaan over de hoogteverandering van de gehele plaat. Kriging vraagt veel meer stations op onderling heel verschillende afstanden en dat zou praktisch niet uitvoerbaar zijn. Daarom 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 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 en S60 bij Oost-Ameland waar na verloop van tijd een geulontwikkeling door het meetstation geslepen is. 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 sinds 2014 is de sterke sedimentatie het gevolg van de ontwikkeling van een rif van zandkokerwormen (*Pygospio elegans*).

Het belang van deze metingen moet worden gezien in een eenvoudige en goedkope manier om op een nauwkeurige schaal (mm niveau) met een vrij hoge frequentie (zes 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 is. Naarmate de meetreeksen zich uitstrekken over een langere periode winnen ze aan kracht. Pas na een lange reeks meetjaren zal het mogelijk zijn om langzame processen als bodemdaling door gaswinning en zeespiegelstijging door klimaatverandering te onderscheiden van natuurlijke variatie op kortere tijdschalen. In dit onderzoek blijkt het mogelijk om na een reeks van 15 meetjaren (2000-2015) een goede kwantificatie te kunnen geven van het gecombineerde effect van bodemdaling en sedimentatie van een groot wadplaatgebied van ongeveer 7 km lengte langs de kust van Oost-Ameland. In dit gebied wordt een gemiddelde sedimentatie van 6,6 mm/j gemeten. Ten zuiden van West-Ameland is dit 5,8 mm/j over een kortere (2006-2015) meetperiode. De vrijwel gelijke sedimentatiesnelheid wijst mogelijk op een voor heel Ameland geldend sedimentatiemechanisme. Over het geheel genomen is er voldoende sedimentatie bij Oost-Ameland om de diepe daling door gaswinning teniet te doen en nog 3,1 mm/j ophoging mogelijk te maken.

Alleen in een beperkt deel vlak voor de kust van Oost-Ameland is sprake van verdieping van het wad tengevolge van diepe daling door gaswinning.

6. Conclusies

- De jaarlijkse opslibbing op het wad ten zuiden van West-Ameland (5,8 mm/j) verschilt niet van de opslibbing bij Oost-Ameland (6,6 mm/j). Dit zou kunnen duiden op een voor heel Ameland geldend sedimentatiemechanisme onafhankelijk van bodemdaling.
- De opslibbing bij Oost-Ameland (6,6 mm/j) wordt voor bijna de helft teniet gedaan door de diepe daling door gaswinning waardoor er gemiddeld voor het hele gebied een opslibbing van 3,1 mm/jaar netto resulteert.
- In een beperkt wadengebied van 3 km lengte vlak langs de zuidkust bij Oost-Ameland, waar de bodemdaling maximaal is, zorgt de bodemdaling voor een netto verlaging van het maaiveld met ongeveer 5 mm/jaar.
- De wadplaat bij Oost-Ameland hoogt op maar er is een aanwijzing dat de plaatrand op de overgang naar de eerste geul verlaagt. Dit zou kunnen duiden op een versteiling van de overgang van plaat naar geul maar een kleine verplaatsing van de geul kan niet uitgesloten worden.
- De maximale opslibbing bij Oost-Ameland lijkt plaats te vinden op een hoogteligging rond de 0 cm NAP.

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.

Kersten, M. 2002. Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Oost-Ameland. Natuurcentrum Ameland, Nes.

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.

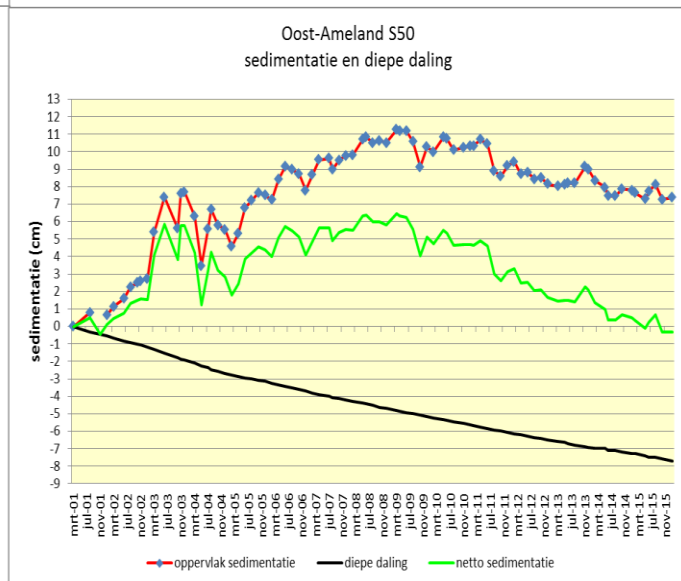
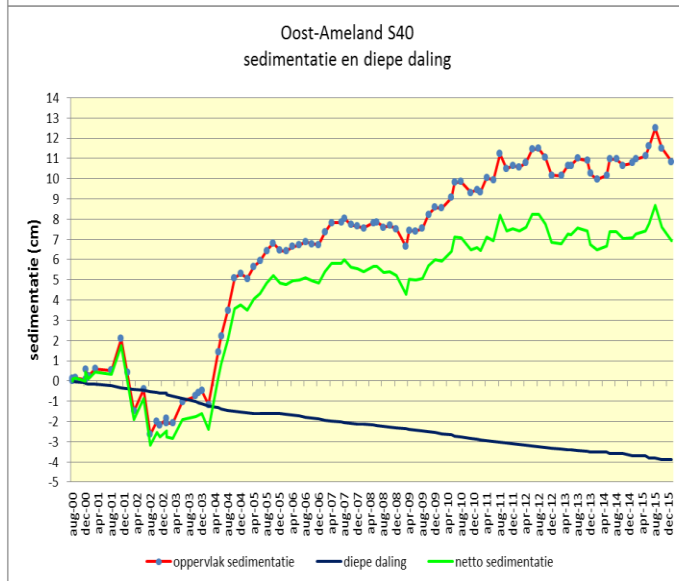
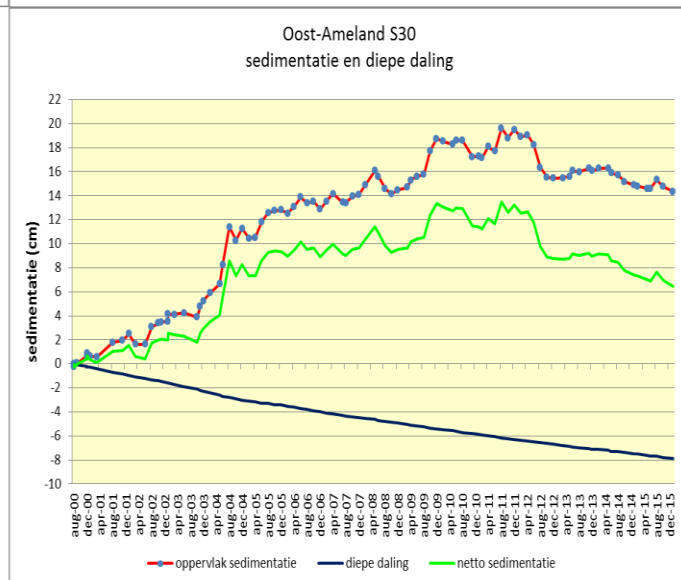
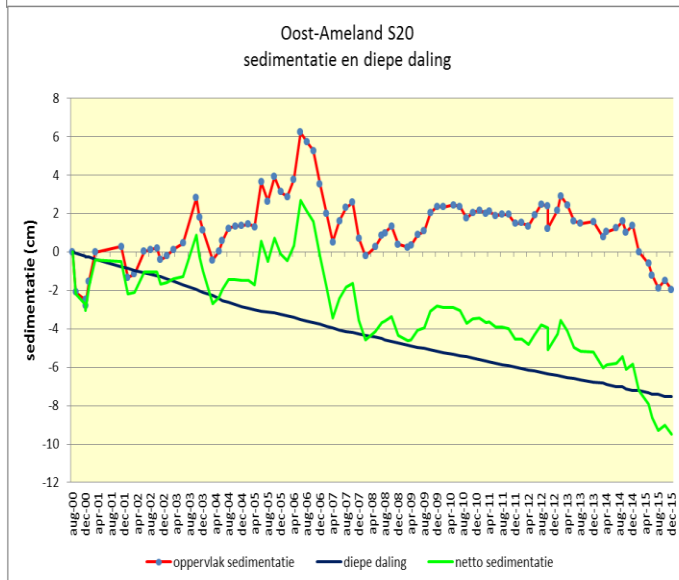
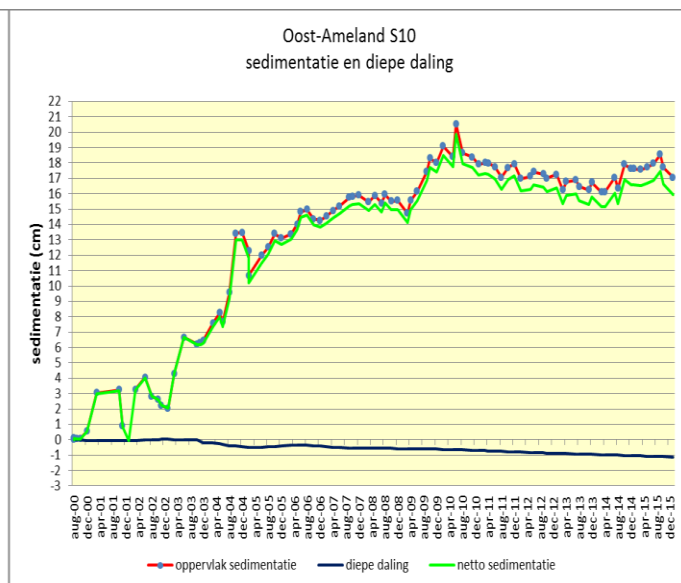
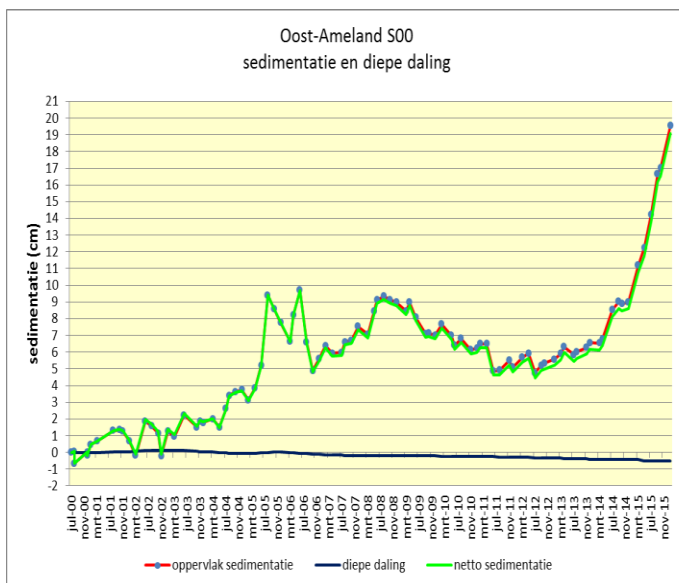
Bijlage A. Meetdata Oost-Ameland.

| DATUM | gemiddelde verschilmetingen cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | S00 | S10 | S20 | S30 | S40 | S50 | S60 | S70 | S80 | S90 | S100 | S110 | S120 | S130 | S140 | S150 | S160 | S170 | S180 |
| jul-00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| aug-00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | -0,25 | 0,13 | | | | | | | | | | | | | | |
| sep-00 | -0,65 | 0,10 | -2,10 | 0,05 | 0,15 | | | | | | | | | | | | | | |
| nov-00 | 0,03 | 0,07 | -2,50 | 0,65 | 0,07 | | | | | | | | | | | | | | |
| dec-00 | -0,17 | 0,07 | -2,80 | 0,93 | 0,57 | | | | | | | | | | | | | | |
| jan-01 | 0,48 | 0,55 | -1,53 | 0,65 | 0,25 | | | | | | | | | | | | | | |
| mrt-01 | 0,68 | 3,05 | -0,02 | 0,55 | 0,60 | | | | | | | | | | | | | | |
| aug-01 | 1,30 | | | 1,78 | 0,52 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | |
| okt-01 | 1,35 | 3,25 | | 1,96 | 2,10 | 0,80 | | | | | | | | | | | | | |
| nov-01 | 1,25 | 0,90 | 0,28 | 2,50 | 0,42 | | | | | | | | | | | | | | |
| jan-02 | 0,70 | | -1,34 | 1,64 | -1,49 | 0,64 | | | | | | | | | | | | | |
| mrt-02 | -0,19 | 3,28 | -1,16 | 1,64 | -0,40 | 1,14 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | |
| jun-02 | 1,88 | 4,05 | 0,02 | 3,07 | -2,64 | 1,59 | 3,63 | 0,00 | 0,00 | 1,76 | -2,69 | -1,70 | | | | | | | |
| aug-02 | 1,59 | 2,83 | 0,13 | 3,39 | -1,99 | 2,26 | 4,13 | 2,61 | 0,50 | 2,03 | -1,40 | -0,45 | | | | | | | |
| okt-02 | 1,15 | 2,60 | 0,19 | 3,50 | -2,19 | 2,50 | 4,77 | 3,01 | 1,09 | 2,86 | -4,10 | 3,33 | | | | | | | |
| nov-02 | -0,21 | 2,24 | -0,41 | 3,53 | -1,84 | 2,61 | 3,03 | 2,76 | 1,10 | 4,63 | -3,63 | 2,16 | | | | | | | |
| jan-03 | 1,26 | 2,03 | -0,21 | 4,14 | -2,09 | 2,74 | 3,15 | 2,61 | -0,64 | 4,10 | -3,13 | 2,76 | | | | | | | |
| mrt-03 | 0,95 | 4,29 | 0,13 | 4,11 | | 5,39 | 3,92 | 2,66 | -0,19 | 3,46 | -2,30 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| jun-03 | 2,24 | 6,65 | 0,45 | 4,23 | -1,01 | 7,40 | 3,92 | 3,48 | 2,74 | 2,50 | -1,66 | 2,35 | 1,43 | 1,98 | | | | | |
| okt-03 | 1,51 | 6,20 | 2,81 | 3,90 | -0,74 | 5,60 | 4,70 | 5,34 | 2,41 | 2,30 | -1,68 | 2,58 | 1,68 | 2,54 | | | | | |
| nov-03 | 1,86 | 6,29 | 1,80 | 4,77 | -0,60 | 7,61 | 4,52 | 5,70 | 4,03 | 1,11 | -1,73 | -4,08 | 0,25 | 3,05 | | | | | |
| dec-03 | 1,79 | 6,45 | 1,11 | 5,24 | -0,47 | 7,69 | 4,18 | 5,75 | 3,94 | 0,74 | -1,64 | -5,44 | 1,39 | 3,13 | | | | | |
| mrt-04 | 2,24 | 7,01 | 7,58 | -0,43 | 5,91 | -1,16 | 6,29 | 3,92 | 4,71 | 3,21 | -0,01 | -1,85 | 0,54 | 2,01 | 2,15 | 0,00 | 0,00 | | |
| mei-04 | 1,50 | 8,25 | 0,03 | 6,67 | 1,45 | 3,46 | 5,15 | 5,09 | 3,75 | -0,40 | -1,24 | -0,24 | 2,53 | 2,64 | 0,40 | 0,74 | | | |
| jul-04 | 2,61 | 7,65 | 0,58 | 8,24 | 2,23 | 5,59 | 4,83 | 5,15 | 2,80 | 0,14 | -1,21 | 3,76 | 3,00 | 5,59 | 1,21 | 1,64 | | | |
| aug-04 | 3,40 | 9,56 | 1,21 | 11,39 | 3,50 | 6,71 | 5,17 | 6,49 | 4,06 | -0,16 | -1,01 | 4,40 | 4,99 | 6,58 | 1,63 | 2,96 | | | |
| okt-04 | 3,64 | 13,41 | 1,33 | 10,27 | 5,08 | 5,79 | 5,42 | 6,04 | 4,50 | -0,80 | -1,16 | -2,59 | 5,80 | 6,48 | 1,23 | 3,36 | | | |
| dec-04 | 3,74 | 13,46 | 1,36 | 11,27 | 5,33 | 5,54 | 5,68 | 6,09 | 4,28 | -1,36 | -0,65 | -1,59 | 5,29 | 6,46 | 2,05 | 3,66 | | | |
| feb-05 | 3,14 | 10,69 | 1,45 | 10,46 | 5,06 | 4,58 | 4,78 | 4,74 | 3,48 | -3,34 | -0,46 | 1,33 | 4,63 | 6,04 | 2,58 | 4,04 | | | |
| apr-05 | 3,85 | 12,29 | 1,30 | 10,53 | 5,66 | 5,31 | 5,53 | 5,61 | 4,26 | -3,64 | -1,00 | -1,51 | 5,45 | 6,38 | 2,75 | 4,34 | | | |
| jun-05 | 5,21 | 11,98 | 3,63 | 11,81 | 5,93 | 6,80 | 9,77 | 6,00 | 5,04 | -2,15 | -0,01 | -2,10 | 5,89 | 7,98 | 3,05 | 5,36 | | | |
| aug-05 | 9,41 | 12,51 | 2,64 | 12,60 | 6,44 | 7,20 | 9,00 | 7,15 | 5,28 | -2,16 | 1,89 | -1,04 | 6,20 | 8,65 | 4,50 | 7,06 | | | |
| okt-05 | 8,60 | 13,39 | 3,91 | 12,76 | 6,81 | 7,65 | 9,02 | 7,35 | 6,30 | -2,78 | 0,59 | 0,90 | 6,31 | 7,98 | 4,10 | 7,31 | | | |
| dec-05 | 7,76 | 13,10 | 3,13 | 12,80 | 6,45 | 7,50 | 8,15 | 6,59 | 5,73 | -4,34 | 2,19 | 1,01 | 6,28 | 7,41 | 4,08 | 7,05 | | | |
| mrt-06 | 6,63 | 13,38 | 2,88 | 12,51 | 6,43 | 7,25 | 7,83 | 9,23 | 5,63 | -4,51 | 2,84 | 3,85 | 6,56 | 7,29 | 4,30 | 7,36 | | | |
| apr-06 | 8,21 | 14,01 | 3,76 | 13,09 | 6,64 | 8,41 | 6,50 | 7,35 | 6,65 | -4,76 | 2,35 | 4,38 | 7,09 | 8,36 | 5,85 | 7,40 | | | |
| jun-06 | 9,71 | 14,81 | 6,21 | 13,87 | 6,73 | 9,14 | 6,38 | 7,06 | 6,65 | -3,43 | 1,93 | -0,44 | 7,19 | 9,26 | 5,50 | 8,78 | | | |
| aug-06 | 6,60 | 14,98 | 5,74 | 13,37 | 6,89 | 8,98 | 7,25 | 8,06 | 5,64 | -4,23 | 2,05 | -0,56 | 6,83 | 8,34 | 5,74 | 8,31 | | | |
| okt-06 | 4,90 | 14,36 | 5,26 | 13,53 | 6,78 | 8,74 | 6,30 | 7,63 | 6,04 | -5,34 | -1,90 | -0,60 | 7,11 | 8,39 | 5,48 | 8,90 | | | |
| dec-06 | 5,63 | 14,25 | 3,53 | 12,89 | 6,74 | 7,78 | 4,35 | 6,38 | 4,18 | -5,16 | -0,06 | 0,06 | 7,16 | 7,15 | 5,94 | 8,76 | | | |
| feb-07 | 6,38 | 14,54 | 1,98 | 13,53 | 7,35 | 8,66 | 3,05 | 7,48 | 5,21 | -3,88 | -1,21 | 1,73 | 7,64 | 8,19 | 5,00 | 9,80 | | | |
| apr-07 | 5,94 | 14,89 | 0,51 | 14,16 | 7,81 | 9,54 | 2,62 | 6,46 | 5,00 | -4,28 | -0,88 | -1,61 | 7,94 | 6,63 | 5,40 | 10,29 | | | |
| jun-07 | 5,98 | 15,20 | 1,61 | 13,43 | 7,84 | 9,63 | 1,50 | 6,46 | 4,61 | -4,53 | -1,29 | -3,34 | 6,94 | 5,81 | 3,89 | 9,51 | | | |
| aug-07 | 6,60 | 15,75 | 2,29 | 13,40 | 8,05 | 8,96 | 1,92 | 5,91 | 4,08 | -6,01 | -2,96 | -3,73 | 7,79 | 6,80 | 3,14 | 9,91 | | | |
| okt-07 | 6,70 | 15,84 | 2,56 | 13,94 | 7,73 | 9,51 | 1,90 | 6,10 | 4,79 | -5,21 | -0,69 | -3,00 | 7,53 | 7,59 | 2,30 | 10,11 | | | |
| dec-07 | 7,53 | 15,91 | 0,71 | 14,10 | 7,65 | 9,76 | 1,68 | 7,23 | 4,60 | -5,75 | 1,06 | -2,49 | 8,34 | 7,21 | 3,50 | 10,44 | | | |
| feb-08 | 7,05 | 15,46 | -0,21 | 14,87 | 7,55 | 9,81 | 1,17 | 5,98 | 4,85 | -6,43 | -3,23 | -1,80 | 8,13 | 6,76 | 2,39 | 11,31 | | | |
| apr-08 | 8,44 | 15,88 | 0,26 | 16,07 | 7,83 | 10,69 | 0,82 | 7,08 | 4,90 | -6,30 | -4,86 | 0,10 | 7,89 | 6,71 | 2,14 | 11,09 | | | |
| jun-08 | 9,11 | 15,39 | 0,84 | 15,60 | 7,85 | 10,83 | 1,23 | 6,40 | 5,03 | -7,86 | -3,66 | 0,85 | 7,48 | 6,54 | 2,01 | 11,09 | | | |
| aug-08 | 9,35 | 15,95 | 0,99 | 14,60 | 7,59 | 10,50 | 2,02 | 6,83 | 4,11 | -8,01 | -6,21 | -1,89 | 7,66 | 6,05 | 0,90 | 10,85 | | | |
| okt-08 | 9,14 | 15,51 | 1,33 | 14,14 | 7,69 | 10,63 | 1,95 | 5,88 | 3,81 | -8,38 | | -0,91 | 7,61 | 5,63 | 0,40 | 11,01 | | | |
| dec-08 | 8,99 | 15,55 | 0,39 | 14,49 | 7,53 | 10,51 | 1,08 | 5,45 | 3,38 | -8,63 | | -0,85 | 7,60 | 5,66 | 0,29 | 11,06 | | | |
| feb-09 | 8,45 | 14,73 | 0,24 | 14,70 | 6,65 | 11,26 | 0,82 | 5,74 | 3,75 | -8,86 | -7,40 | 0,15 | 7,20 | 5,78 | -0,18 | 11,63 | | | |
| apr-09 | 8,99 | 15,55 | 0,33 | 15,29 | 7,43 | 11,20 | 1,02 | 6,19 | 4,15 | -9,39 | -8,59 | -1,59 | 7,58 | 6,28 | -0,18 | 12,28 | | | |
| jun-09 | 8,09 | 16,14 | 0,88 | 15,60 | 7,41 | 11,19 | 0,23 | 8,25 | 4,59 | -10,49 | | -2,00 | 8,33 | 5,66 | -0,14 | 12,24 | | | |
| aug-09 | 7,11 | 17,45 | 1,09 | 15,77 | 7,54 | 10,56 | 1,93 | 8,46 | 3,98 | -10,59 | | -1,69 | 8,84 | 6,03 | -0,85 | 13,20 | | | |
| okt-09 | 7,14 | 18,30 | 2,03 | 17,70 | 8,23 | 9,13 | 2,32 | 8,71 | 3,44 | -11,60 | | 3,74 | 9,60 | 8,03 | -0,46 | 13,38 | | | |
| dec-09 | 7,03 | 18,01 | 2,36 | 18,76 | 8,58 | 10,26 | 2,58 | 7,35 | 3,68 | -11,69 | | 0,31 | 10,44 | 10,31 | -0,49 | 14,73 | | | |
| feb-10 | 7,66 | 19,10 | 2,34 | 18,51 | 8,54 | 9,98 | 2,72 | 9,76 | 3,61 | -10,95 | | -1,53 | 10,29 | 9,54 | -0,57 | 14,33 | | | |
| apr-10 | 7,00 | 18,40 | 2,44 | 18,27 | 9,06 | 10,83 | 2,52 | 9,50 | 2,63 | -11,19 | | -2,60 | 10,40 | 9,55 | -0,48 | 14,18 | | | |
| jun-10 | 6,40 | 20,54 | 2,35 | 18,61 | 9,81 | 10,74 | 2,98 | 10,38 | 3,59 | -15,95 | | -1,96 | 11,73 | 9,11 | 0,59 | 15,13 | | | |
| aug-10 | 6,81 | 18,64 | 1,75 | 18,60 | 9,85 | 10,10 | 2,52 | 10,20 | 5,18 | -17,06 | | 5,51 | 11,46 | 8,80 | 0,51 | 15,09 | | | |
| okt-10 | 6,13 | 18,38 | 2,05 | 17,24 | 9,30 | 10,25 | -0,10 | 8,19 | 4,80 | -17,71 | | 3,15 | 11,44 | 8,28 | 0,34 | 14,86 | | | |
| dec-10 | 6,24 | 17,90 | 2,15 | 17,26 | 9,45 | 10,31 | -0,77 | 8,70 | 5,11 | -17,28 | | 1,63 | 10,87 | 8,60 | -0,16 | 15,06 | | | |
| feb-11 | 6,50 | 18,01 | 2,00 | 17,13 | 9,35 | 10,33 | -0,97 | 8,11 | 4,56 | -16,73 | | 2,80 | 11,13 | 8,18 | -0,10 | 13,73 | | | |
| apr-11 | 6,50 | 17,99 | 2,10 | 18,10 | 10,05 | 10,69 | -3,30 | 8,08 | 5,70 | -17,41 | | 2,46 | 11,84 | 8,74 | 0,09 | 14,88 | | | |
| jun-11 | 4,88 | 17,74 | 1,89 | 17,70 | 9,93 | 10,44 | -3,68 | 8,25 | 4,91 | -17,90 | | 3,89 | 11,51 | 7,99 | 0,31 | 14,40 | | | |
| aug-11 | 4,93 | 17,06 | 1,95 | 19,63 | 11,24 | 8,90 | -4,22 | 9,64 | 4,83 | | | 2,78 | 11,99 | 7,70 | 0,78 | 15,76 | | | |
| okt-11 | 5,50 | 17,70 | 1,95 | 18,81 | 10,48 | 8,59 | -5,48 | 8,25 | 3,98 | | | 4,55 | 11,36 | 8,09 | -0,60 | 15,40 | | | |
| dec-11 | 5,10 | 17,94 | 1,46 | 19,50 | 10,65 | 9,19 | -6,23 | 8,95 | 5,43 | | | 5,11 | 11,54 | 8,11 | -0,37 | 15,66 | 0,00 | | 0,00 |
| feb-12 | 5,69 | 16,98 | 1,51 | 18,91 | 10,56 | 9,43 | -6,90 | 8,89 | 5,29 | | | 1,64 | 11,49 | 7,54 | -0,89 | 13,71 | 0,45 | 0,00 | 0,55 |
| apr-12 | 5,93 | 17,13 | 1,33 | 19,07 | 10,80 | 8,71 | -3,90 | 9,05 | 3,84 | -19,30 | | 1,21 | 12,16 | 6,90 | -0,86 | 13,48 | 1,45 | 0,07 | 0,90 |
| jun-12 | 4,76 | 17,43 | 1,91 | 18,26 | 11,45 | 8,83 | -6,08 | 9,78 | 4,60 | -17,88 | | 1,54 | 12,60 | 6,59 | -2,18 | 13,76 | 1,45 | 0,97 | 0,75 |
| aug-12 | 5,21 | 17,28 | 2,48 | 16,35 | 11,49 | 8,43 | -6,30 | 10,55 | 5,56 | -18,06 | | 3,51 | 12,81 | 7,56 | -1,61 | 13,76 | 2,15 | 1,45 | 2,73 |
| okt-12 | 5,34 | 17,00 | 2,38 | 15,54 | 11,04 | 8,53 | -6,45 | 9,75 | 5,49 | -18,33 | | 2,21 | 12,36 | 8,15 | -1,04 | 14,01 | 2,35 | 1,30 | 1,05 |

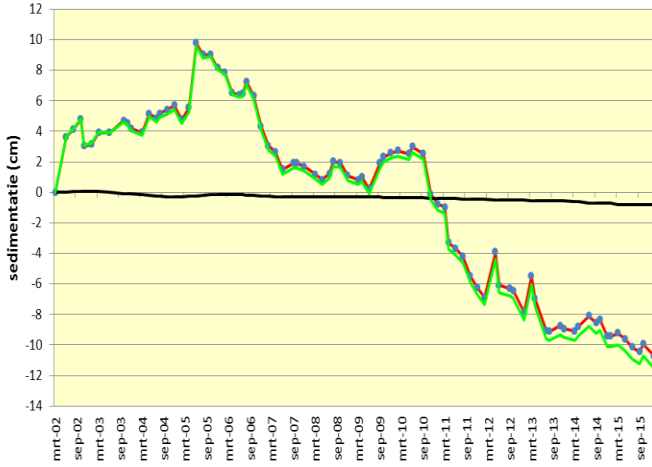
Bijlage B. Meetdata West-Ameland.

| | 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 | 5,83 | 0,80 | 1,35 |
| 2-5-2014 | 0,58 | 12,00 | 6,63 | 13,00 | 5,70 | 0,50 | -0,07 |
| 30-6-2014 | 1,10 | 11,43 | 6,43 | 12,25 | 5,73 | 1,45 | 0,10 |
| 9-9-2014 | 0,25 | 11,85 | 6,55 | 13,75 | 5,95 | 0,45 | -0,20 |
| 15-11-2014 | -0,15 | 11,95 | 6,28 | 12,35 | 6,38 | 0,05 | -0,22 |
| 31-12-2014 | 0,58 | 11,45 | 7,28 | 12,78 | 4,35 | 0,87 | -1,38 |
| 25-2-2015 | 1,40 | 11,00 | 7,70 | 12,70 | 5,75 | 0,50 | -0,97 |
| 29-4-2015 | 1,63 | 11,43 | 7,43 | 13,00 | 6,95 | 0,05 | -1,53 |
| 3-7-2015 | 1,68 | 12,15 | 7,50 | 13,78 | 6,48 | -0,73 | -0,77 |
| 1-9-2015 | 1,25 | 11,65 | 7,45 | 13,43 | 5,98 | -1,23 | -1,60 |
| 29-10-2015 | 1,48 | 10,95 | 7,13 | 14,10 | 6,93 | -0,13 | -1,23 |
| 21-12-2015 | 1,58 | 11,53 | 8,50 | 12,10 | 6,10 | -0,62 | -1,10 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Cumulatie cm | 1,58 | 11,53 | 8,50 | 12,10 | 6,10 | -0,62 | -1,10 |
| meetduur maand | 109 | 109 | 109 | 109 | 109 | 109 | 48 |
| snelheid mm/j | 1,7 | 12,7 | 9,4 | 13,3 | 6,7 | -0,7 | -2,8 |

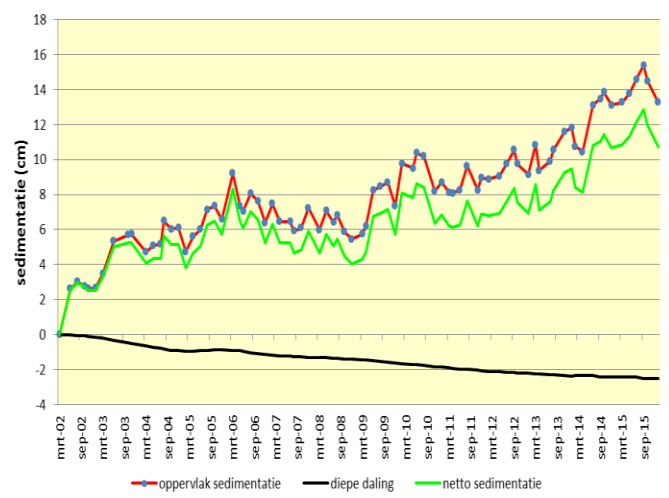
Bijlage C. Grafieken meetstations Oost-Ameland



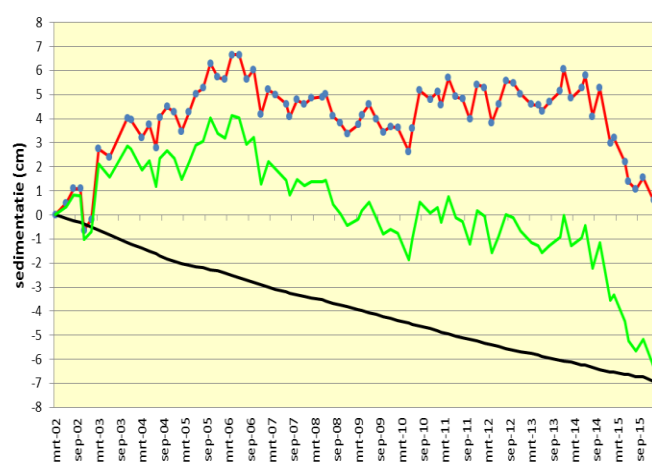
Oost-Ameland S60
sedimentatie en diepe daling



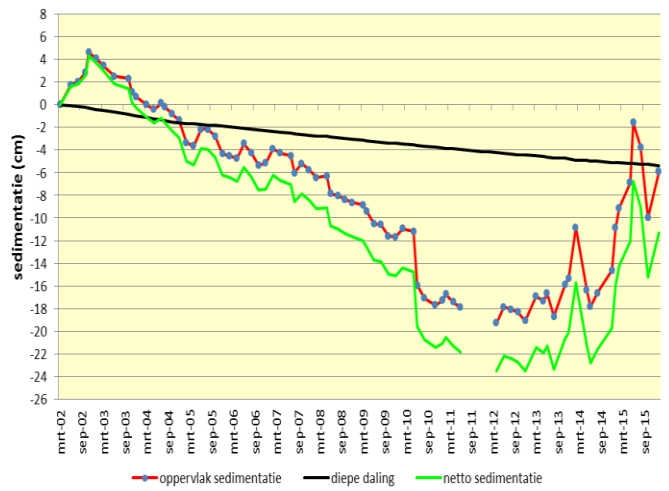
Oost-Ameland S70
sedimentatie en diepe daling



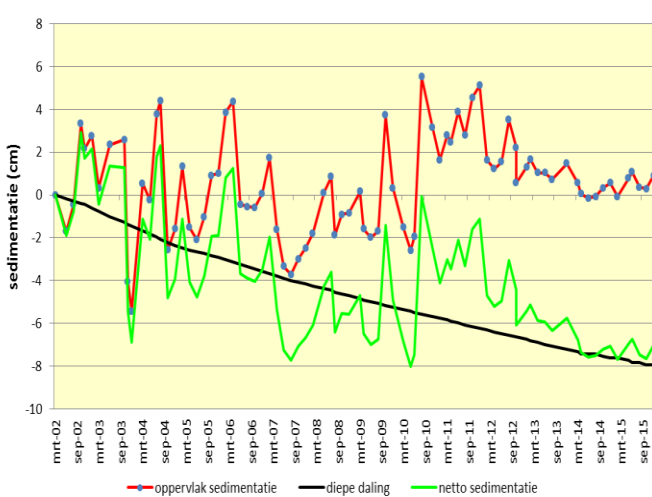
Oost-Ameland S80
sedimentatie en diepe daling



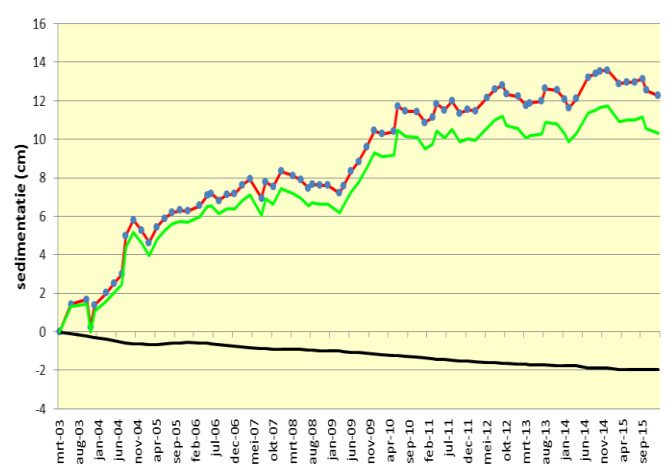
Oost-Ameland S90
sedimentatie en diepe daling

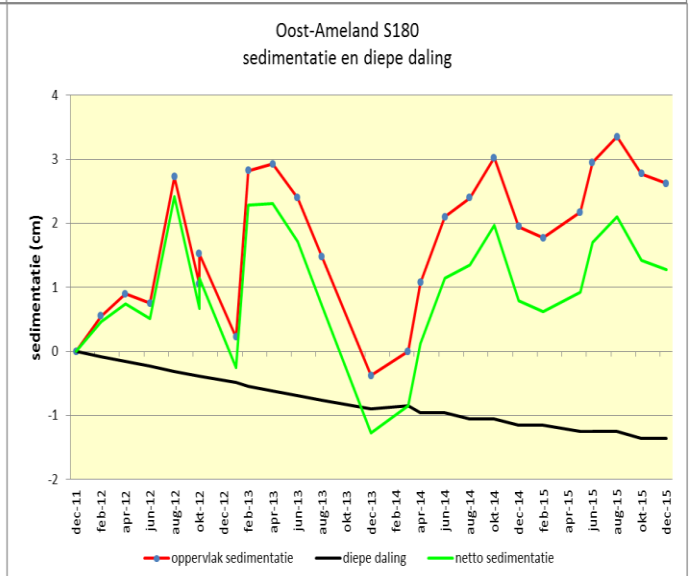
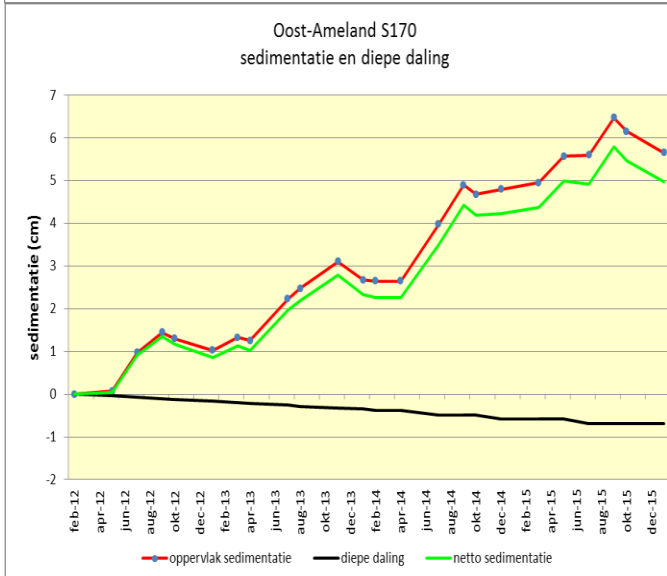
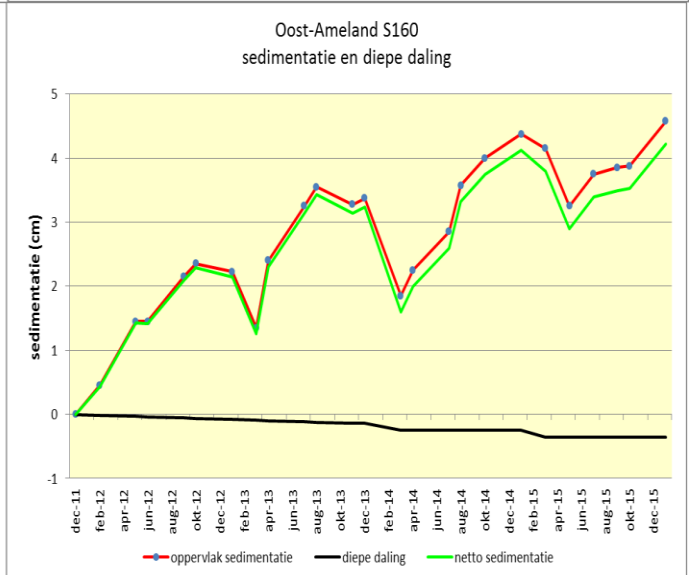
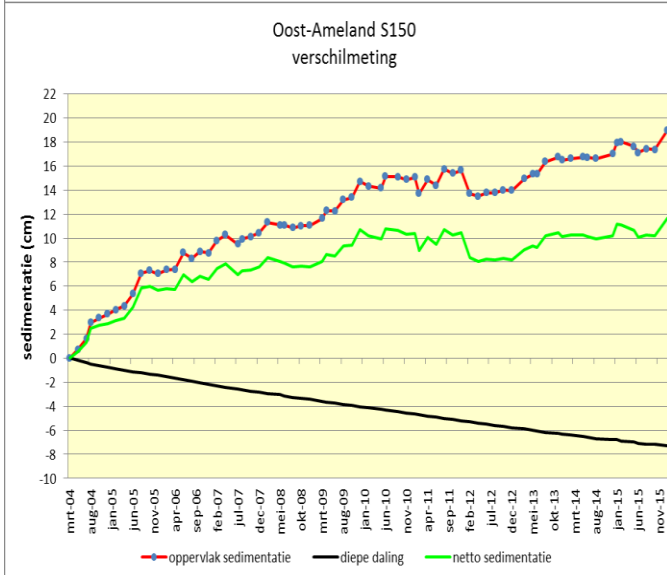
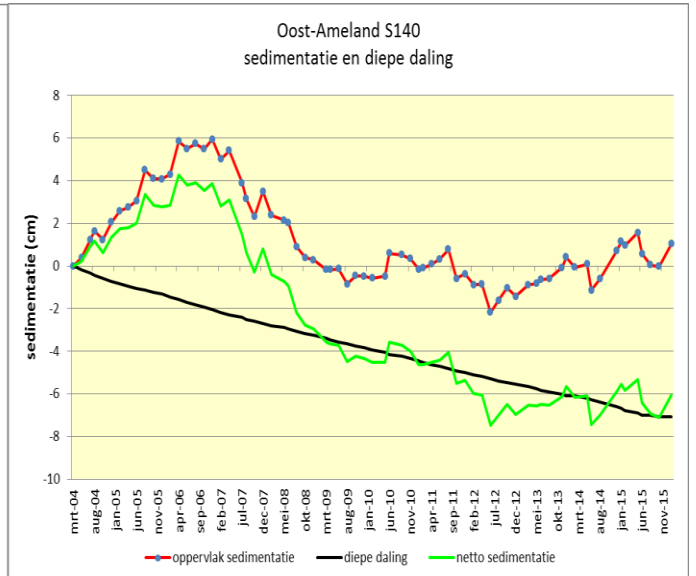
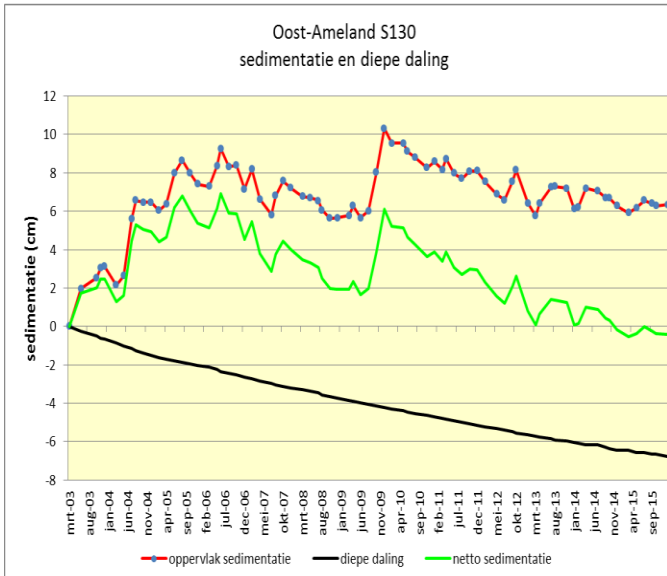


Oost-Ameland S110
sedimentatie en diepe daling

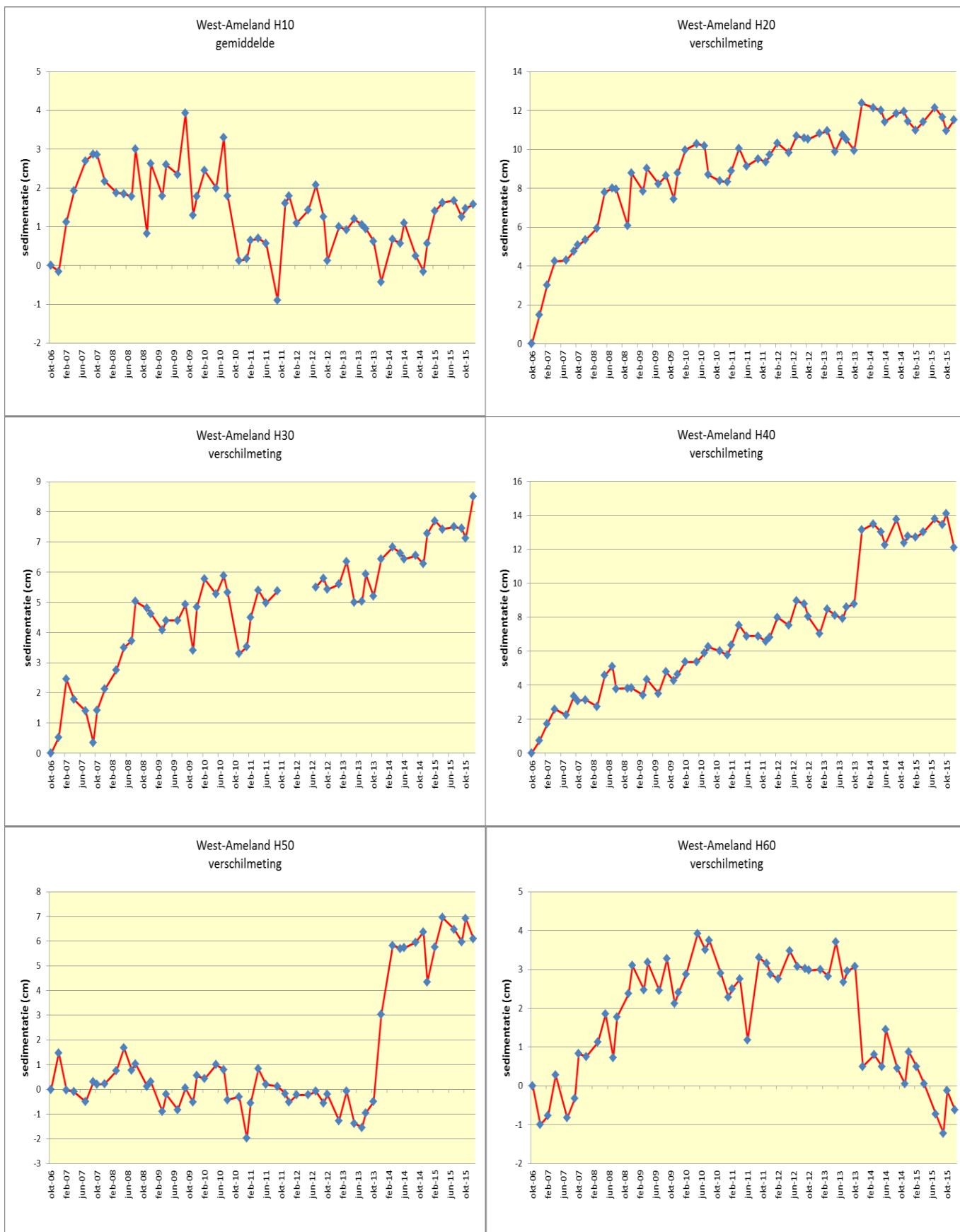


Oost-Ameland S120
sedimentatie en diepe daling





Bijlage D. Grafieken meetstations West-Ameland.



West-Ameland H70
verschilmeting

