

Memo

To

Marian Lazar, Quirijn Lodder, Marga Rommel en Harry de Looff, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL)

Date

18 December 2018

Reference

11202190-000-ZKS-0019

Number of pages

19

From

Edwin Elias
Marlies van der Lugt
Pieter Koen Tonnon

Direct line

+31(0)88 335 8372
+31(0)88 335 8098
+31(0)88 335 8464

E-mail

edwin.elias@deltares-usa.us
marlies.vanderlugt@deltares.nl
pieterkoen.tonnon@deltares.nl

Subject

Effecten van harde kustverdediging op het kustgedrag bij Texel en Vlieland

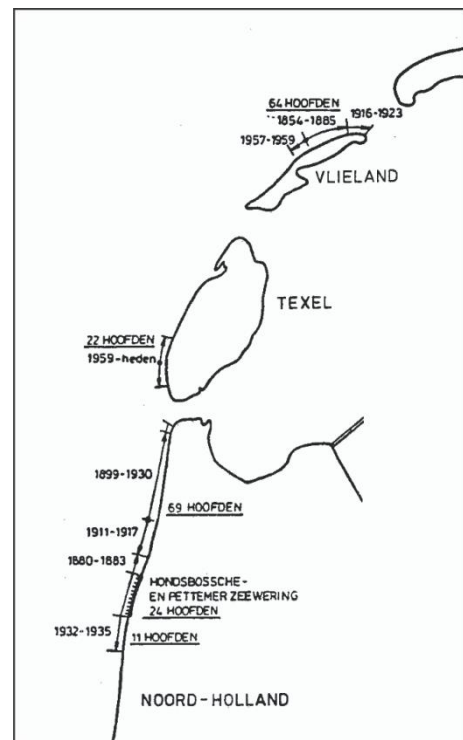
1 Inleiding.

Door de gehele geschiedenis van Nederland vindt er een vorm van kustlijnbescherming plaats. Alleen door de strijd met het water was leven in Nederland mogelijk. Een ongecoördineerde kustlijnverdediging was niet toereikend om succesvol Nederland te beschermen. Pas in de 18^{de} en 19^{de} eeuw ontstond er een meer gecoördineerde aanpak van de kustlijnbescherming. Dit resulteerde in het bouwen van strekdammen en palenrijen langs een groot deel van de kust.

In de Voordelta worden met name palenrijen toegepast en langs de kust van Zuid-Holland en Noord-Holland strandhoofden. Deze strandhoofden strekken zich uit van Hoek Van Holland tot en met Scheveningen, en langs de Noord-Hollandse kust, vanaf de Hondsbosse en Pettemer zeekering noordwaarts. Ook op de 2 meest zuidelijke waddeneilanden vinden we gedeeltelijke kustbescherming door strandhoofden, 22 langs de kust van Texel en 65 langs de kust van Vlieland (Figuur 1).

De studie van Verhagen en van Rossum (1990) geeft een uitgebreide samenvatting van de werking van strandhoofden. Strandhoofden hebben met name invloed op de sediment transporten in de kustlangs richting doordat ze:

- de brandingsstroom belemmeren,
- het circulatiepatroon vastleggen; muiën concentreren zich ter plaatse van het hoofd en
- ze houden de getijstroom weg van de kust.
- De invloed van strandhoofden op de



Figuur 1 : Overzicht van de strekdammen in Noord-Holland en de Waddeneilanden (bron: Verhagen en van Rossum, 1990).

opwoeling door golven is vrij beperkt.

Rakhorst et al. (2001) noemen naast bovengenoemde functies van strandhoofden ook dat het voorkomen dat door duinerosie afgeslagen zand (dwarstransport) wordt afgevoerd door de getij- en/of brandingstroming (langsstroming). Zij werken ondermeer de benodigde lengte van strandhoofden uit op basis van het afslagprofiel.

Verhagen en Van Rossum concluderen dan dat strandhoofden het kustgedrag kunnen beïnvloeden door een verandering van de golf-gedreven brandingstroom en/of beïnvloeding van de getijstroming. Ook wordt geconcludeerd de strandhoofden met name in de locaties waar ze de getijstroming beïnvloeden goed functioneren. Op plaatsen waar strandhoofden als brandingsstroomremmers werken, is hun werking minder aantoonbaar. Alleen als er een duidelijk overheersende golfrichting is lijken de strandhoofden erosie te verminderen.

Studies zoals van Verhagen en van Rossum (1990) en Rakhorst (1984) concluderen dat de strandhoofden de kusterosie wel sterk gereduceerd hebben, maar de erosie niet volledig oplossen. Dit was ook een hoofdreden van de implementatie van “Dynamisch Handhaven” in 1990 (Rijkswaterstaat, 1990; Hillen & de Haan 1993; Hillen & Roelse, 1995). Suppleties zijn sindsdien succesvol in staat het merendeel van de kustlijn op de 1990 positie te handhaven (van Der Spek and Lodder, 2015).

In de evaluatie van de effectiviteit van de suppleties worden vaak de JarKus datasets gebruikt. De JarKus, Jaarlijkse Kustlijn metingen, zijn sinds 1965 digitaal beschikbaar en via open-earth ook makkelijk toegankelijk en bruikbaar. De evaluatie van de effecten van een suppletie vindt dan ook meestal plaats door het gedrag over de periode 1965 tot aanleg, te vergelijken met de periode na aanleg. Wat hier vaak niet duidelijk uit volgt, is dat dit eigenlijk geen evaluatie is van het natuurlijke gedrag. De natuurlijke erosietrend was op veel van de “erosie hotspots” al sterk gereduceerd door aanleg van de strekdammen.

In het kader van KPP B&O kust – Zeegaten, proberen we het kustgedrag van de eilanden beter te begrijpen. We realiseren ons meer en meer dat we niet goed begrijpen hoe de “oude” harde constructies het huidige kustgedrag beïnvloeden. Deze missende kennis proberen we in te vullen door (1) de actualisatie van de database met ingrepen en (2) door een evaluatie van mogelijke analysetechnieken. Deze memo beschrijft het laatste onderdeel.

Het doel van deze memo is te evalueren of we het “natuurlijke gedrag van de kust” inzichtelijk kunnen maken. Dit helpt ons een beter begrip van de effectiviteit van suppleties te verkrijgen. Op zich is dit geen nieuw onderwerp. In oude studies uitgevoerd door de voormalige adviesdiensten van Rijkswaterstaat worden dit soort trends al berekend (zie bijv Rakhorst 1984, Verhagen en van Rossum 1990, en Walhout 1998). Deze studies gebruiken hiervoor zogenaamde bliksemgrafieken.

Wat we in deze memo inzichtelijk willen krijgen is of:

- (1) het mogelijk is gebruik makend van de beschikbare digitale data (Open-Earth datasets) de bliksemgrafieken te reconstrueren;
- (2) het mogelijk is de inzichten zoals bekend vanuit eerdere studies voor de eilandkusten van Texel en Vlieland te reconstrueren.

2 Reconstructie van ‘Bliksemgrafieken’

De meeste strandhoofden zijn aangelegd voordat de JarKus metingen waren begonnen. Deze dataset is dan ook niet geschikt om een analyse van de effecten van de strandhoofden uit te voeren. Vanaf ca. 1850 zijn in Nederland ook strandmetingen uitgevoerd. Hierbij de ligging van de duinvoet, de hoogwaterlijn en de laagwaterlijn vastgelegd ten opzichte van een vaste referentielijn, de RijksStrandPalen (RSP-)lijn. De afstand tussen de raaien bedraagt ongeveer 1-km. Met behulp van deze metingen kunnen er wel uitspraken gedaan worden. De kustlijnmetingen werden ongeveer met 1 km tussenafstand opgenomen. Door deze metingen in door de tijd uit te zetten ontstaat de zogenaamde bliksemgrafiek.

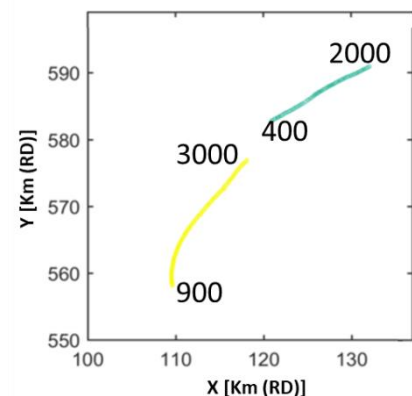
Een bliksemgrafiek geeft voor een aantal raaien een opeenstapeling van een gekozen waterlijn door de tijd. De gekozen waterlijn kan de hoogwaterlijn (*MHW*), laagwaterlijn (*MLW*) of een gemiddelde hiervan zijn: $(MHW+MLW)/2$. Een voorbeeld wordt gegeven in Figuur 2. De naam “Bliksemgrafiek” beschrijft het grillige verloop in de kustlijnliggingen met fluctuaties op verschillende tijdschalen. NB: in Figuur 2 zijn de kustlijnmetingen verder aangevuld met data over de periode 1660-1850. Deze datapunten zijn waarschijnlijk gedigitaliseerd vanaf bestaande analoge kaarten.

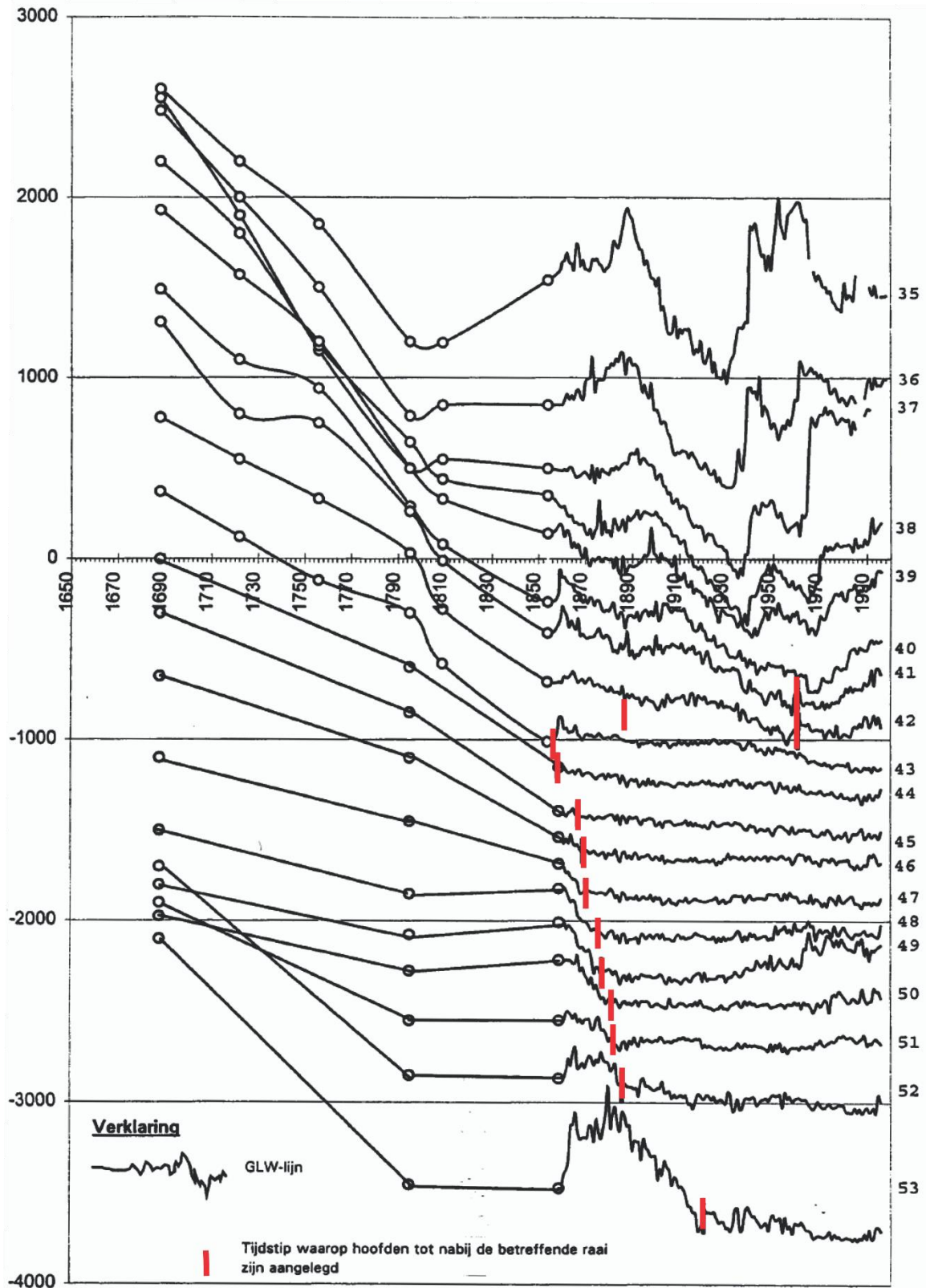
2.1 Data beschikbaarheid.

Als basis van deze studie worden de gemiddelde hoogwater- (*MHW*) en gemiddelde laagwaterlijnen (*GHW*) gebruikt. De focus ligt op de centrale delen van de eilanden van Texel (raai 900 – 30000 ofwel km. 9 – km.30) en Vlieland (raai 400-2000, km. 4-20). Deze zijn in NetCDF format beschikbaar via OpenEarth:

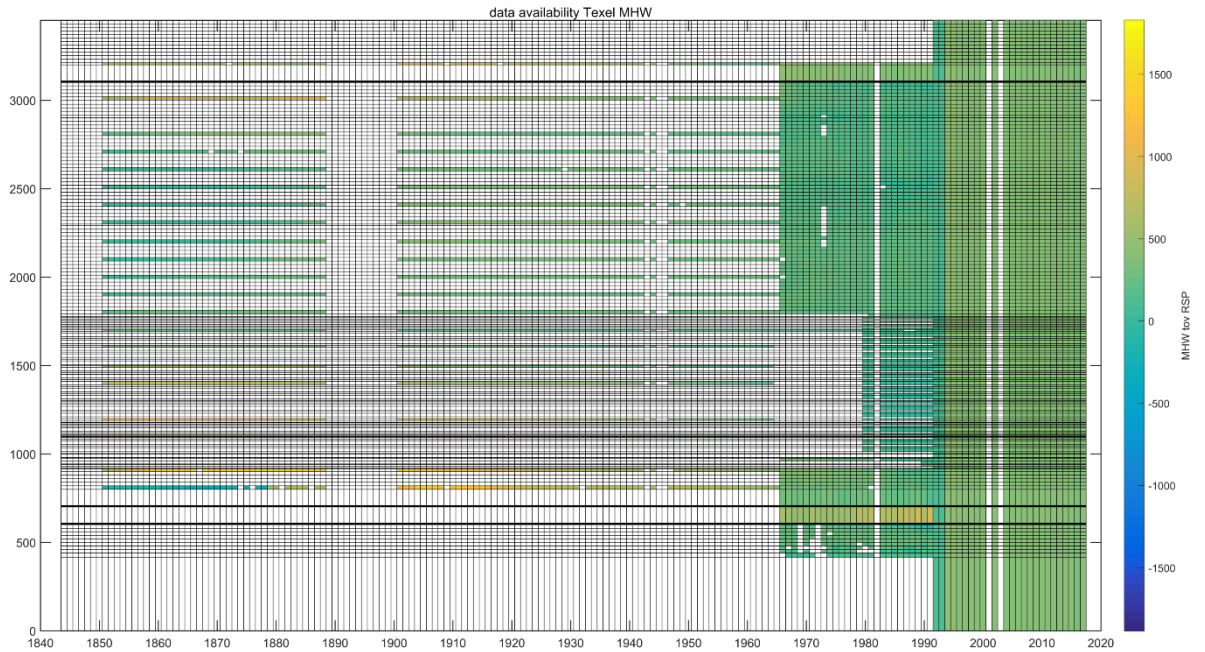
'http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/MHW_MLW/MHW_MLW.nc'

Figuur 3 en 4 geven de databeschikbaarheid weer voor de twee geselecteerde gebieden. In principe zijn beide gebieden opgebouwd door het samenvoegen van uit 2 databestanden. Voor Vlieland zijn deze metingen vrijwel continue. Bij Texel is er een kleine onderbreking in de periode rond 1945 en tussen 1880 – 1900. Deze figuren laten ook duidelijk zien dat vanaf 1965 is de data beschikbaarheid in de tijd en ruimte veel groter dan voor 1965. Dit komt door de beschikbaarheid van de JarKus metingen over deze periode. De JarKus raaien zijn jaarlijks opgenomen met ongeveer 250 m tussenafstand.

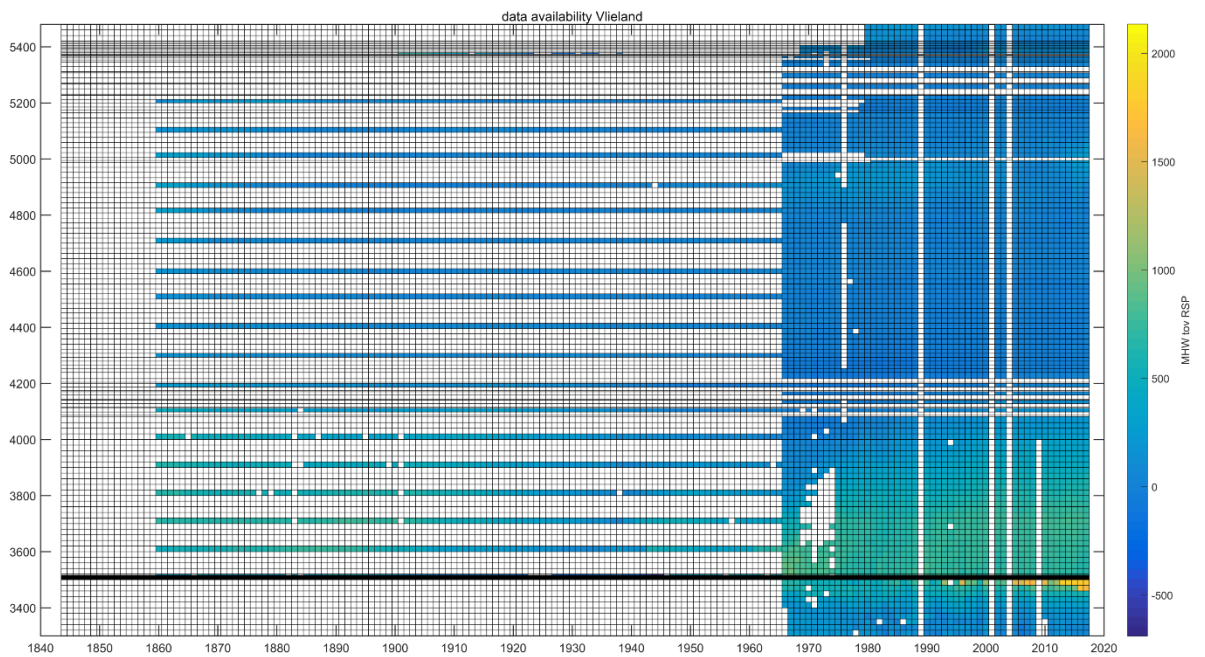




Figuur 2: Verloop van de Gemiddeld Laag Waterlijn over de periode 1690-1995 (uit: Walhout, 1998).



Figuur 3: Databeschikbaarheid MHW voor Texel.



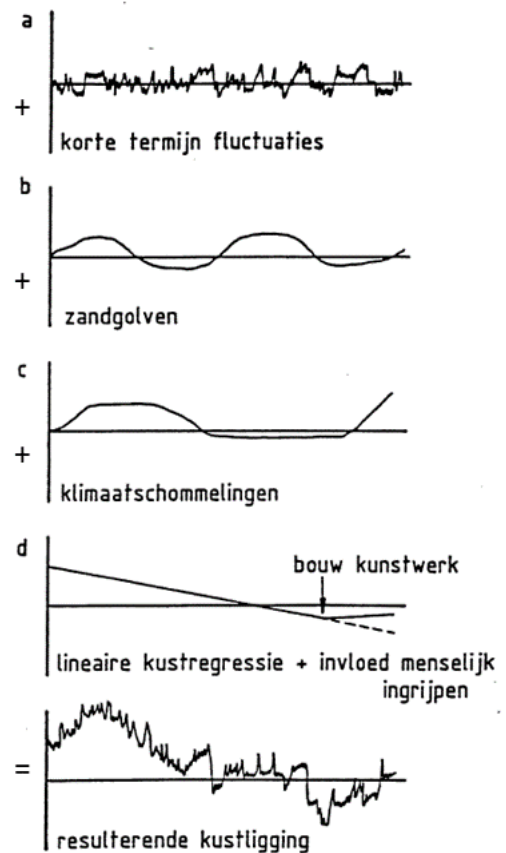
Figuur 4: Databeschikbaarheid MHW voor Vlieland.

2.2 Methode van Analyse (componentenanalyse)

Verhagen (1988) en Verhagen en Van Rossum (1990) geven aan dat de fluctuaties karakteristiek voor de bliksemgrafiek, analyse van de uitkomsten, het doen van uitspraken over de effectiviteit, lastig maakt. Het is dan ook zaak de verschillende processen, en bijbehorende tijdschalen, die een kustvlak kunnen beïnvloeden te onderscheiden.

Er kan binnen de lange-termijn series een onderverdeling in 5 kustprocessen met ieder een eigen tijdschaal gemaakt worden:

- a. Korte termijn fluctuaties. Ieder jaar ligt de kustlijn op een iets andere plaats. Deze jaarlijkse verschillen worden bijvoorbeeld veroorzaakt door het feit dat het niet ieder jaar even stormachtig is.
- b. Zandgolven. Min of meer periodieke erosie en aanzanding van de kust met periodes van 50 - 150 jaar. Op de eilanden hangen deze vaak samen met plaataanlandingen, waarna het volume zich als een "zandgolf" langs het eiland beweegt.
- c. Klimaatschommelingen. Doordat het windklimaat zich zo nu en dan wijzigt, verandert ook de gemiddelde ligging van de kustlijn.
- d. Langjarige kustregressie. Lineaire voor- of achteruitgang van de kust op een tijdschaal van eeuwen. Effect van menselijk ingrijpen, geven een trendbreuk in de langjarige kustregressie, veroorzaakt door de aanleg van kunstwerken, zoals strandhoofden en havendammen.



Het scheiden van al deze processen is echter geen triviale taak. De jaarlijkse fluctuaties zijn eenvoudig te corrigeren door een "lopend-gemiddelde" filter toe te passen. Een periode van 4 jaar geeft hier een goede scheiding van korte-termijn fluctuatie en de overige trends. Veranderingen in de lange-termijn trends kunnen ook makkelijk worden gecorrigeerd door een lineaire kustregressie over de gehele tijdserie toe te passen. Een significante afwijking van deze regressie lijn is dan een indicatie van een verandering in gedrag door bijvoorbeeld een ingreep. Uit analyse van de data blijkt dat correcties voor klimaatschommelingen en zandgolven minder triviaal zijn uit te voeren.

3 Resultaten

3.1 Het Kustgedrag van Texel

Verhagen en Van Rossum (1990) en Rakhorst (1984) geven een beschouwing van de werking van de strandhoofden aangelegd langs de zuidwestzijde van Texel. Tussen 1959 en 1987 zijn er aan de zuidwestzijde 24 strandhoofden aangelegd tussen RijksStrandPaal (RSP) 9 en 18 (zie Figuur 1). Deze aanleg begon in 1959-1960. Rond raai 15 werden over een gebied van 2 km strandhoofden aangelegd. Het veld strandhoofden is sindsdien 2 km in noordelijke en 4 km in zuidelijke richting uitgebreid.



Figuur 5: Strandhoofden langs de zuidwestkust van Texel (ter hoogte van Den Hoorn). Bron: <http://beeldbank.rws.nl>.

Zowel Rakhorst (1984) als Verhagen en van Rossum (1990) geven aan dat de strandhoofden de kustachteruitgang wel (sterk) hebben verminderd, maar niet gestopt. Volgens Verhagen en van Rossum is de erosie met meer dan 50% gereduceerd tussen km 10-12 en rond km 15, terwijl in km 13-14 en 16-17 er vrijwel geen effect van de strandhoofden te zien is.

Rakhorst (1984) geeft aan dat de kustachteruitgang sinds de aanleg in 1959 niet constant is. Dit komt door de wijze van aanleg van de strandhoofden. De strandhoofden zijn aangelegd door een kop op de laagwaterlijn en een verbindingsdam tot de duinvoet. Met terugtrekken van de duinvoet is de verbindingsdam weer verlengd. De strandhoofden worden in de tijd dus steeds langer en krijgen daardoor meer invloed. In 1984 was de oorspronkelijke kustachteruitgang van 6-16 m/j verminderd tot 0-6 m/j (Rakhorst, 1984). Door aanleg van de strandhoofden en frequent terugkerende zandsuppleties ter compensatie van de verliezen kan de kustlijn van Texel worden gehandhaafd.

Rakhorst (1984) geeft een beschouwing over de werking van de strandhoofden bij Texel. De belangrijkste inzichten worden hier herhaald: “Kustachteruitgang wordt veroorzaakt door stroming en golven. De stroming is te splitsen in een langsstroming evenwijdig aan de kust en dwarsstroming (loodrecht op de kust). De langsstroming wordt veroorzaakt door getij en wind en in de brandingszone voornamelijk door golven. De getijstroming langs de Nederlandse kust heeft een maximum snelheid onder normale omstandigheden van 0,5 tot 0,8 m/s. Door winddrift kan de getijstroom versterkt worden tot 1,2 tot 2,0 m/s. De stroming veroorzaakt door golven wordt veroorzaakt door het breken van scheef invallende golven. In de brekerzone worden hierdoor stroomsnelheden opgewekt van maximaal 1,5 - 2,0 m/s. Deze stromingen langs de kust geven alleen kustachteruitgang indien er een langstransportgradiënt aanwezig is. Strandhoofden blokkeren (deels) dit langstransport, hierdoor zal dan geen (of verminderde) erosie optreden, indien de erosie het gevolg was van een langstransportgradiënt. Kustachteruitgang kan echter ook veroorzaakt worden door dwarstransport. Dit dwarstransport wordt veroorzaakt door een zeewaarts gerichte stromingscomponent. Dit dwarstransport kan indien er een positieve langstransportgradiënt aanwezig is afgevoerd worden. Indien er een negatieve langstransportgradiënt is (aanzanding) zal het dwarstransport buiten de brekerzone niet afgevoerd worden en in rustigere perioden weer naar de kust getransporteerd worden. Duidelijk is dat strandhoofden geen effect hebben op het dwarstransport, doch alleen op het langstransport in de effectieve zone van de strandhoofden. De effectiviteit van strandhoofden hangt dus af van de mate waarin de langstransportgradiënt in de strandhoofdenzone wordt beïnvloed en van de verhouding tussen dwarstransport en langstransportgradiënt.

Voor Texel is berekend wat het effect van de, strandhoofden is. Zonder strandhoofden vindt tot maximaal 1000 m uit de kust een erosie plaats tussen km-raai 12 en 16 van 530.000 m³/jaar en buiten de brandingszone sedimentatie van 120.000 m³/jaar. Met strandhoofden verandert met name het getijtransport in de brandingszone, zodat tussen km-raaien 12 en 16 nog maar 245.000 m³/jaar erosie optreedt. De sedimentatie buiten de brandingszone is berekend op 90.000 m³/jaar. Doordat buiten de brandingszone sedimentatie plaatsvindt is het bij stormen aanwezige dwarstransport onbelangrijk. Het door dwarstransport zeewaarts verplaatste zand zal dus niet door langstransport worden afgevoerd. Strandhoofden zullen geen of weinig effect hebben indien het langstransport en/of de langstransportgradiënt in de brandingszone gering is, en er dwarstransport optreedt, terwijl er buiten de brandingszone een langstransportgradiënt aanwezig is waardoor het dwarstransport afgevoerd kan worden. Volgens de berekeningen is dit laatste onder andere het geval aan de noordzijde van Texel. Strandhoofden zullen daar minder effectief zijn. Vermoed wordt dat langs de kust van Noord-Holland met name buiten de brekerzone een geringe langstransportgradiënt aanwezig is. Dwarstransport wordt hierdoor afgevoerd. Vermoed wordt dat er geen of een zeer geringe langstransportgradiënt in de zone van de strandhoofden aanwezig is”.

Figuren 6 geeft een overzicht van de bliksemgrafieken voor raaien 900 – 2900 (km. 0.9 – km 29). De strekdammen zijn aanwezig tussen vanaf km 9 tot km 17. In de linkse en middelste figuur worden de afzonderlijke lijnen voor MLW en MHW getoond. Deze vertonen een vrijwel identiek verloop en rechtvaardigen de analyse van een gemiddelde lijn, (MLW+MHW)/2, zoals gepresenteerd in de rechter figuur. Het verschil in erosie verloop tussen de lijnen voor km 9 – 17 ten opzichte van km 17-29 zou een indicatie moeten geven van de constructie van de strandhoofden (vergelijk de linker en middelste figuren). Toch is dat effect niet direct te herleiden uit deze figuren. Wat vooral opvalt is het grote verschil in (lange-termijn) gedrag tussen de verschillende profielen. De raaien 900 – 1490 worden op de lange termijn

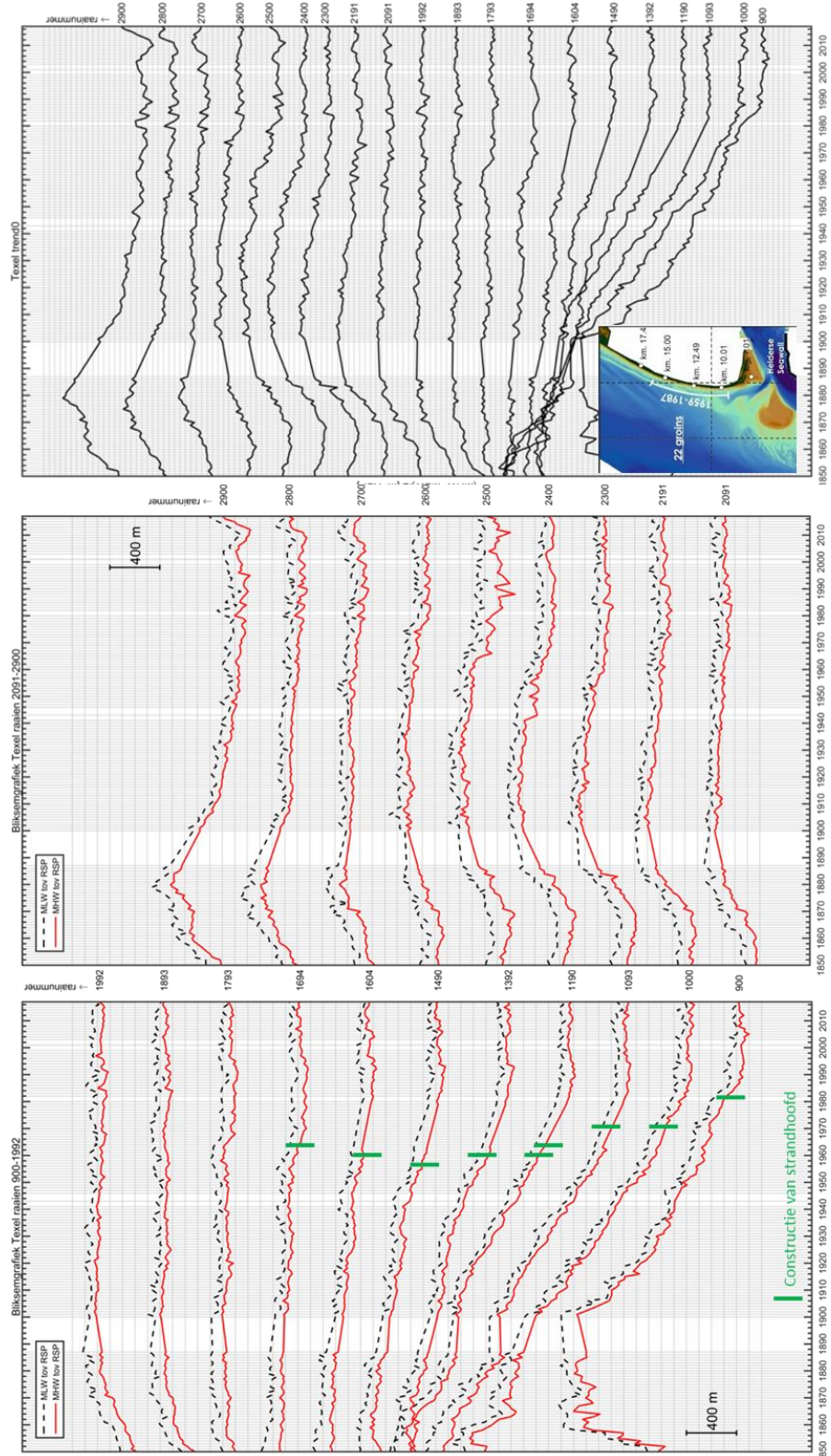
gedomineerd door een sterke kustachteruitgang. Deze achteruitgang gebeurt vrijwel lineair in de periode 1990 tot ongeveer 1980-1990 (afhankelijk van het beschouwde profiel). Sindsdien zien we een duidelijke afzwakking van de trends. Deze kustachteruitgang is waarschijnlijk gerelateerd aan het landwaarts verplaatsen en Noordwaards uitbouwen van de geul Molengat. Na aanleg van de strekdammen gaat de terugtrekking wel door, maar lijkt in een aantal raaien te reduceren. Deze reductie gebeurt niet instantaan, maar treedt eigenlijk op gedurende de periode 1980-1990. Vanaf deze periode is echter ook begonnen met intensief suppleren van het kustvak. Gedeeltelijk zal de afname van de terugtrekking wel gerelateerd zijn aan de strandhoofden maar een exact getal is dan ook moeilijk toe te kennen. Rakhorst (1984) geeft als schatting dat tussen km 9 en 20 de kustachteruitgang afneemt van 6-16 m/jaar tot 0-6 m/jaar. In Tabel 2 zijn op basis van de gemiddelde waterlijn de lineaire trendwaarden bepaald voor het lange termijn gedrag en het huidige gedrag. Hierbij is voor elk profiel op basis van expert judgement de periode bepaald. De trends geven voor de lange-termijn een erosieve trend. Deze trend ligt voor de raaien 900 – 1190 tussen de 10 en 14 m/jaar. Voor raaien 1392-1694 liggen de trendwaarden tussen de -1 en -6 m/jaar. Langs de ongestoorde kust (raai 1793-2900) liggen de trendwaarden tussen de 0 en -5 m/jaar. De huidige trends zijn in de meeste raaien positief. De trendwaarde ligt tussen de 0 en +1 m/jaar. Raaien 2700-2900 vertonen een hogere waarde. Wat uit deze analyse direct duidelijk wordt, is dat door handhaven van de kustlijnligging, de blikemgrafiek voor de huidige periode weinig waarde heeft. Fluctuaties worden waarschijnlijk sterk gedreven door de suppleties.

Naast bovenstaande trends vallen nog een aantal zaken op in de kustlijnliggingen. Bij de eliakoppen vinden er voor 1900 grote variaties in de kustlijn ligging plaats. In het verleden was de kustlijn dus niet alleen erosief. Het periodiek aanlanden van platen en de groei van de zuidwest punt van Texel is wel bekend. Periodes van groei en terugtrekking lijken elkaar af te wisselen. Deze variaties zijn over het algemeen groter dan in de periode sinds 1900. Een opvallende trend in de raaien 2091-2700 is de lange termijn slingering die lijkt op te treden. Op een tijdschaal van ongeveer 100 jaar vind er een kust vooruitgang en achteruitgang plaats. Rond 1920 lag de kustlijn het meest zeewaarts en rond 1990 juist het meest landwaarts. Sindsdien blijft de kustlijn weer in positie.

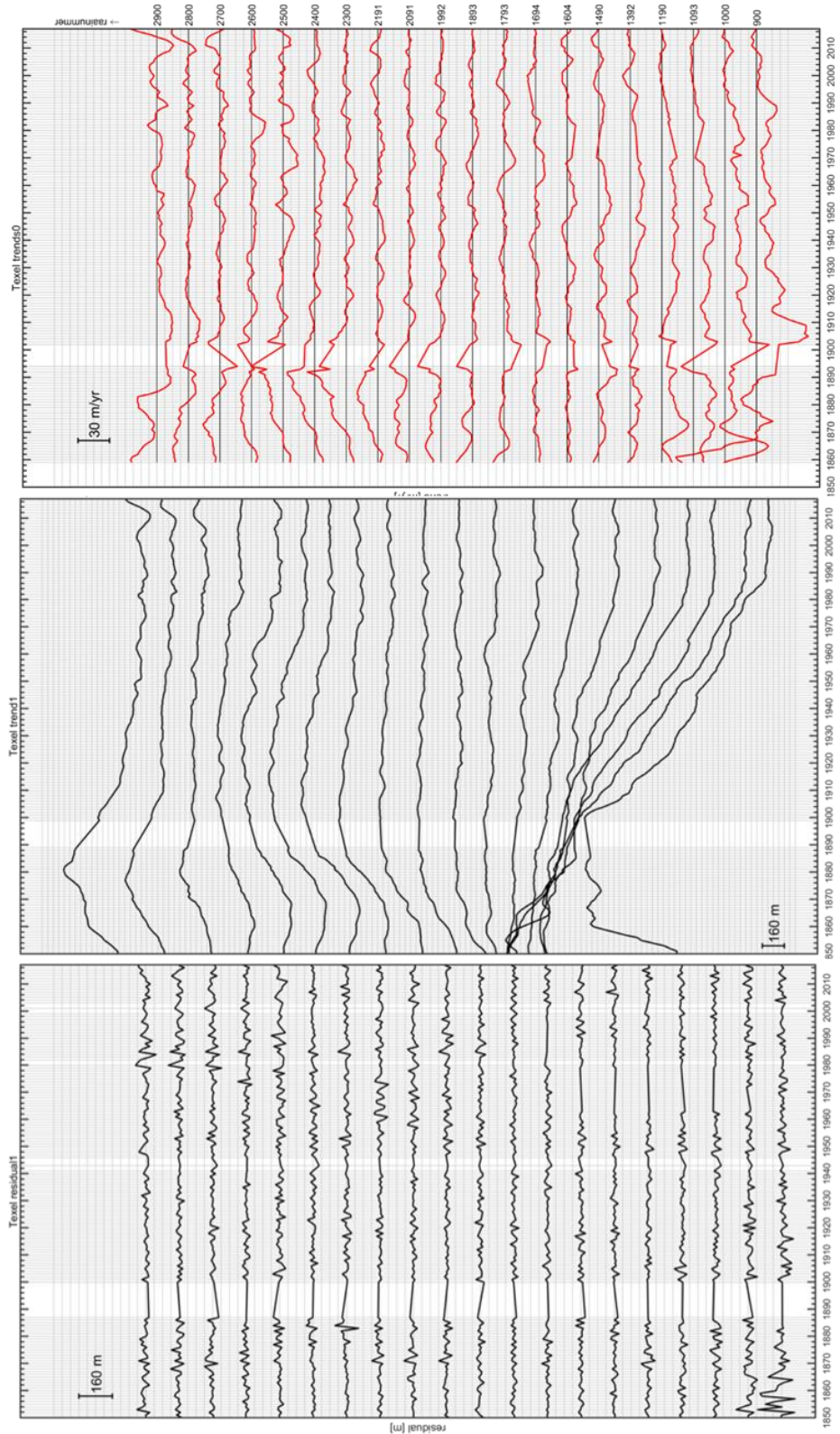
Figuur 7 laat zien dat door scheiding van de korte- en lange-termijn fluctuaties er een netter verloop van het lange-termijn gedrag verkregen kan worden (Figuur 9 midden). De lineaire trendwaarden hiervan zijn echter vrijwel overeenkomstig aan de analyse van het totale signaal. De korte termijn fluctuaties (Figuur 9, rechts) geven wel een indicatie dat er verschillende tijdschalen zijn te onderscheiden. Echter een duidelijk signaal zoals een propagerende zandgolf of grootschalige lopende verandering is niet direct herkenbaar.

Tabel 2: Trends in kustlijnligging bepaald voor lange-termijn en huidige situatie.

| Raai | Strekdam | Trend (lange termijn) | | Trend (huidig) | |
|------|-----------|-----------------------|--------|----------------|--------|
| | | periode | m/jaar | periode | m/jaar |
| 900 | 1978 | 1920-1989 | -10.3 | 1989-2017 | -0.9 |
| 1000 | 1972 | 1870-1982 | -13.6 | 1982-2017 | -1.6 |
| 1093 | 1971 | 1900-1982 | -11.0 | 1982-2017 | +0.2 |
| 1190 | 1963-1968 | 1900-1982 | -11.1 | 1990-2017 | -0.1 |
| 1392 | 1960 | 1850-1982 | -6.1 | 1982-2017 | +0.1 |
| 1490 | 1958 | 1850-1990 | -4.1 | 1990-2017 | +0.8 |
| 1604 | 1961 | 1850-1982 | -2.6 | 1982-2017 | +0.8 |
| 1694 | 1962 | 1850-1969 | -1.3 | 1969-2017 | +0.8 |
| 1793 | | 1900-1968 | +0.1 | 1990-2017 | +0.3 |
| 1893 | | 1900-1990 | -0.2 | 1990-2017 | +0.4 |
| 1992 | | 1900-1990 | -0.7 | 1990-2017 | +0.2 |
| 2091 | | 1900-1990 | -1.1 | 1990-2017 | +1.0 |
| 2191 | | 1900-1980 | -2.1 | 1980-2017 | +1.2 |
| 2300 | | 1920-1980 | -3.8 | 1980-2017 | +0.5 |
| 2400 | | 1930-1980 | -5.3 | 1980-2017 | -0.2 |
| 2500 | | 1930-1980 | -4.0 | 1980-2017 | +0.5 |
| 2600 | | 1930-1980 | -2.6 | 1980-2017 | +0.1 |
| 2700 | | 1940-1990 | -2.2 | 1990-2017 | +3.6 |
| 2800 | | 1940-1990 | -1.7 | 1990-2017 | +2.9 |
| 2900 | | 1940-1990 | -1.5 | 1990-2017 | +2.2 |



Figuur 6: Bliksemgrafieken Texel van de MLW en MHW voor raaien 900-1992 (links), raaien en 2091-2900 (midden). Rechts: bliksemgrafiek van het gemiddelde van MHW+MLW (trend0) voor raaien 900-2900.



Figuur 7 rechts: Bliksemgrafiek van de korte-termijn fluctuaties (residual1); midden, de gefilterde waterlijn (trend0 – residual1); en links de 10-jaar gemiddelde trends van MHW+MLW.

3.2 De Eilandkust van Vlieland

Het centrale deel van het eiland Vlieland is vrijwel geheel beschermd door strandhoofden. In de loop van de jaren zijn er 64 strandhoofden aangelegd en beslaan vrijwel de gehele eilandkust tussen Vliehors en de haven (Figuur 8). Het merendeel van de dammen (53) is gebouwd in de periode 1854-1885. De aanleg begon bij km.43 en werd in oostelijke richting uitgebreid tot km.54. In de periode 1916-1923 zijn deze 8 kilometer oostelijk uitgebouwd door de bouw van 6 aanvullende dammen. In de periode 1957 en 1959 is er ook naar het westen uitgebreid. In 1995 zijn er 2 korte dammen aangelegd op de Noordoosthoek. Gemeten naar het aantal strandhoofden per km, behoort Vlieland tot de zwaarst verdedigde stukjes kust van Nederland.

Studies, zoals die van Walhout (1998) en Rakhorst (1984) laten zien dat na aanleg van de strandhoofden de erosie over het algemeen sterk is afgenomen (zie Figuur 2). In het getoonde kustvlak zijn de strandhoofden in de periode 1862 t/m 1865 aangebracht. Dit is duidelijk te zien in de verandering in trend. Over het algemeen is er tot aanleg een sterke erosie te zien (maximaal tot 20m/jaar). Na aanleg zijn de erosiesnelheden dan beduidend lager. Toch is de erosie niet volledig gestopt. Bij de raaien 43.95 en 45.00 zijn de kustlijnen in de periode 1858 tot 1995 ca. 150 m in landwaartse richting verplaatst. Vanaf km.47 tot km. 52 is de kust sinds 1990-1920 vrijwel stabiel. Bij de raaien 4898 en 5005 zijn de strandhoofden in 1876 en 1880 aangelegd. Ook hier volgt na de aanleg volgt een stabiele periode. Tussen km.48 en km.50 vindt juist (sinds 1920) aanzanding plaats en zijn de strandhoofden geheel onder het zand verdwenen zijn.

In de evaluatie van Rakhorst (1984), wordt het volgende geconcludeerd: *“De bliksemgrafieken (als voorbeeld Figuur 2) laten het volgende zien; Op Vlieland is het grootste gedeelte der strandhoofden aangelegd tussen 1854 en 1885 in een periode van zeer grote kustachteruitgang (maximaal tot 20m/j). Direct na de aanleg nam de kustachteruitgang sterk af en werd later zelfs gestopt. Tussen km.48 en km.50 is zelfs een zodanige aanwas opgetreden, dat de strandhoofden geheel onder het zand verdwenen zijn. Ook de meest noordelijke strandhoofden (hoofden nr. 54 t / m 63) aangelegd tussen 1916 en 1923 en de meest zuidelijke hoofden (nr. C t/m E) aangelegd tussen 1957 en 1959 geven een sterke vermindering van de kustachteruitgang direct na aanleg van de strandhoofden te zien. De oude strandhoofden zijn vrijwel allemaal met de kop op G.L.W. aangelegd, en later soms aangepast (verlaagd). De hoofden rond km.42 hebben een maximale inscharing bereikt van 240 m. Elders is de inscharing veel geringer. De oostelijke hoofden bij km.50, 51 en 52 zijn aangelegd met een inscharing van + 60 m. Bij deze hoofden is de kustachteruitgang geheel of vrijwel geheel gestopt. De hoofden tussen km.45 en km.49 aangelegd op G.L.W. hebben in eerste instantie een inscharing van 50 tot 70 m gekregen. Geconcludeerd kan worden dat de strandhoofden op Vlieland de al eeuwen durende kustachteruitgang gestopt of sterk vertraagd hebben.”*

Verhagen en Van Rossum (1990) presenteren een tabel met de erosiesnelheid van de kustlijn voor en na de aanleg van de golfbrekers (Tabel 3). Op basis van deze tabel zou geconcludeerd kunnen worden dat de strandhoofden de erosie sterk reduceren en de kust zelfs stabiliseren. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat over de periode 1600-1750 de kustlijnligging uit oude kaarten is geschat. Nauwkeurige metingen zijn slechts sinds 1850 beschikbaar en dat correspondeert weer met aanleg van de golfbrekers.

Verhagen en Van Rossum (1990) vatten het effect van de strandhoofden dan als volgt samen:

- De hoofden hebben een stabiliserende invloed gehad op het kustgedrag.
- Het met hoofden versterkte deel van de kust steekt als een soort bolwerk in zee.
- Er is sterke lijzijde-erosie opgetreden, die door nieuwe hoofden gecompenseerd moest worden.

Tabel 3: Erosiesnelheid kustlijn Vlieland (uit Verhagen en van Rossum 1990, pagina 20)

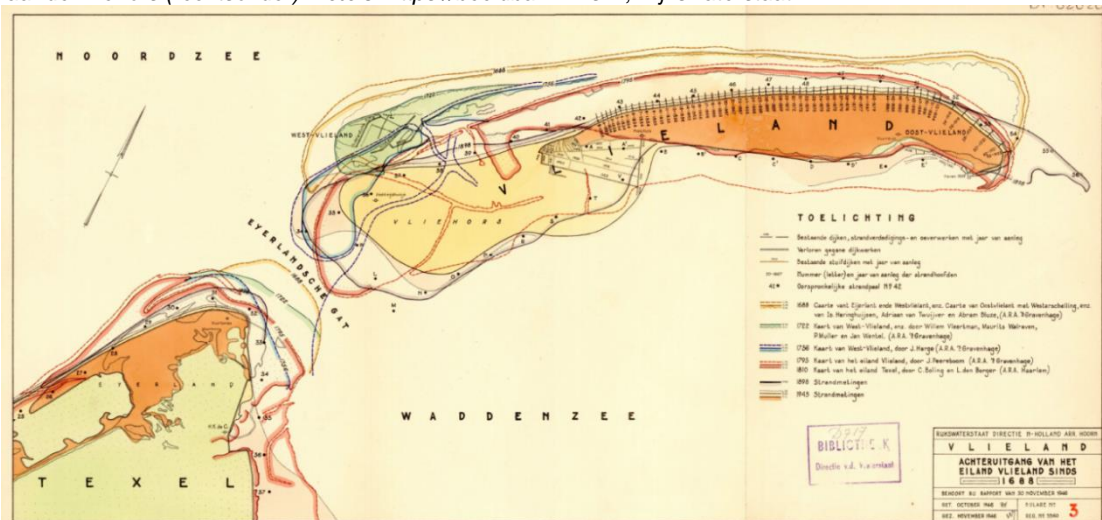
| Raai | Erosiesnelheid m/jaar | | |
|------|-----------------------|-----------|-----------|
| | 1600-1750 | 1750-1850 | 1885-1985 |
| 43 | 7.3 | 3.8 | 0.0 |
| 44 | 6.7 | 4.3 | 1.2 |
| 45 | 5.3 | 3.5 | 1.3 |
| 46 | 4.7 | 4.8 | 0.9 |
| 47 | 3.3 | 3.7 | 0.5 |
| 48 | 3.3 | 3.6 | 0.0 |
| 49 | 3.3 | 3.5 | -0.5 |
| 50 | 3.3 | 2.7 | 0.0 |
| 51 | 3.3 | 2.2 | 0.0 |

Figuur 10 en 11 geven een overzicht van de geconstrueerde bliksemgrafieken voor het gebied tussen raai 3600 (km. 36) tot 5000 (km. 50). Het effect van de aanleg van de strekdammen is uit deze grafieken helaas niet af te leiden. Hiervoor zijn deze tijdseries niet lang genoeg. Het is dus niet mogelijk de schattingen zoals gepresenteerd door Walhout en Rakorst te toetsen. Wel laten deze bliksemgrafieken zien dat de huidige trends inderdaad rond de 0 m/jaar liggen in het gebied beschermd door de strandhoofden (km. 43 - 49).

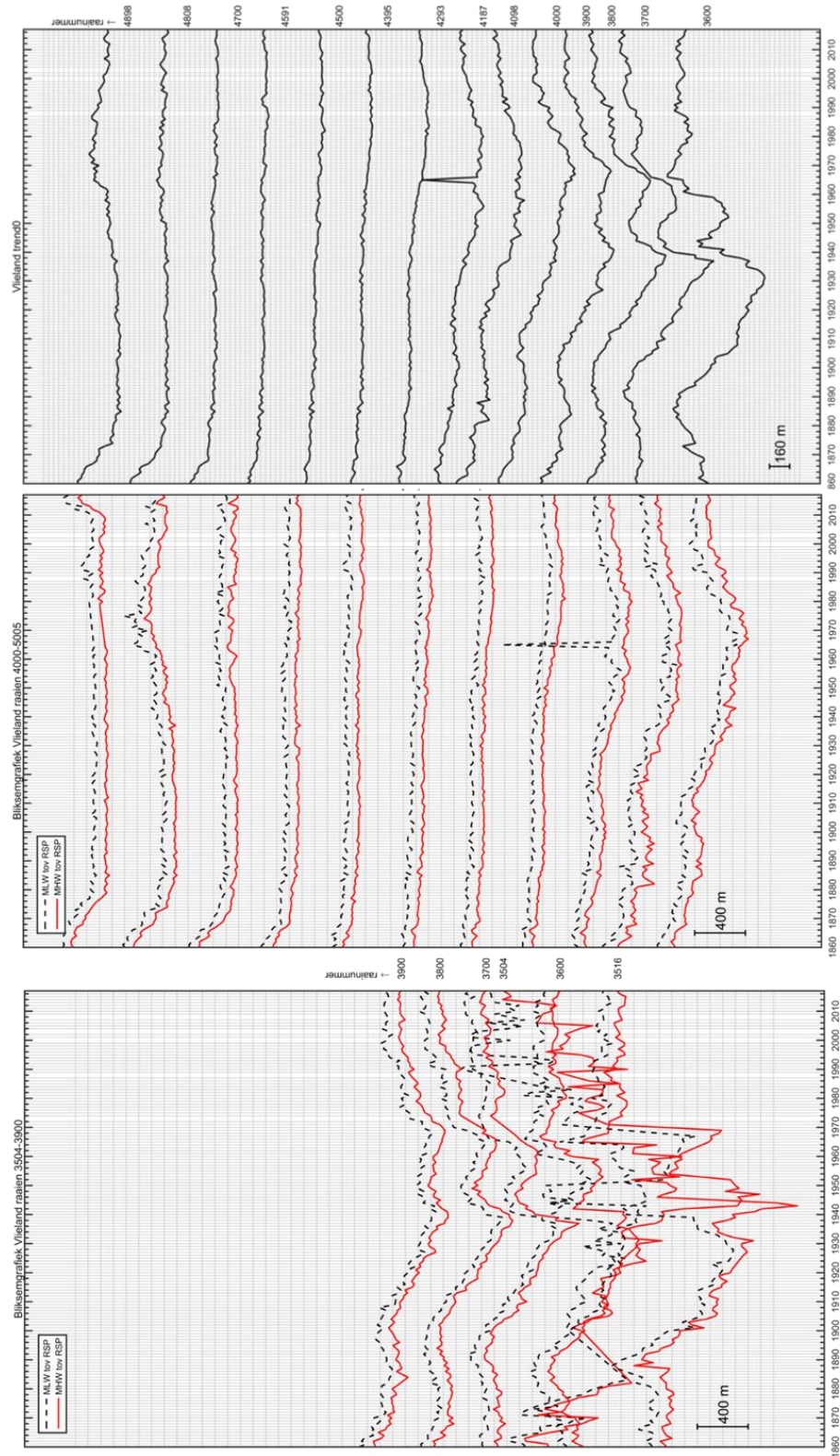
De bliksemgrafieken laten ook duidelijk zien dat in de raaien 3600 tot 4000, net ten zuiden van de strandhoofden, grootschalige fluctuaties voorkomen. Sinds 1930 lijkt hier het eiland (Vliehors) sterk te groeien. Deze aangroei is hoogstwaarschijnlijk gerelateerd aan het aanzanden van plaatgebieden vanuit de buitendelta van het Eierlandse gat. Na aanlanding propageert dan een gedeelte van het sediment als een (uitdempende) zandgolf langs het eiland. Deze zandgolf is met name goed te onderscheiden in het middelange termijn gemiddelde (Figuur 11, rechts). Soortgelijke zandgolven zijn wel te onderscheiden ten zuiden van de strandhoofden, maar lijken in het gebied beschermd door de strandhoofden niet duidelijk voor te komen (km 42-47). Een soortgelijke conclusie wordt ook getrokken in de studie van Verhagen en van Rossum (1990) waar geconcludeerd wordt dat de strandhoofden het uitdempen van de zandgolven versterken. Op grond hiervan kan men dus voorzichtig concluderen dat strandhoofden een stabiliserende werking hebben op de strandligging. In ieder geval zorgen ze voor een vermindering van de dynamiek.



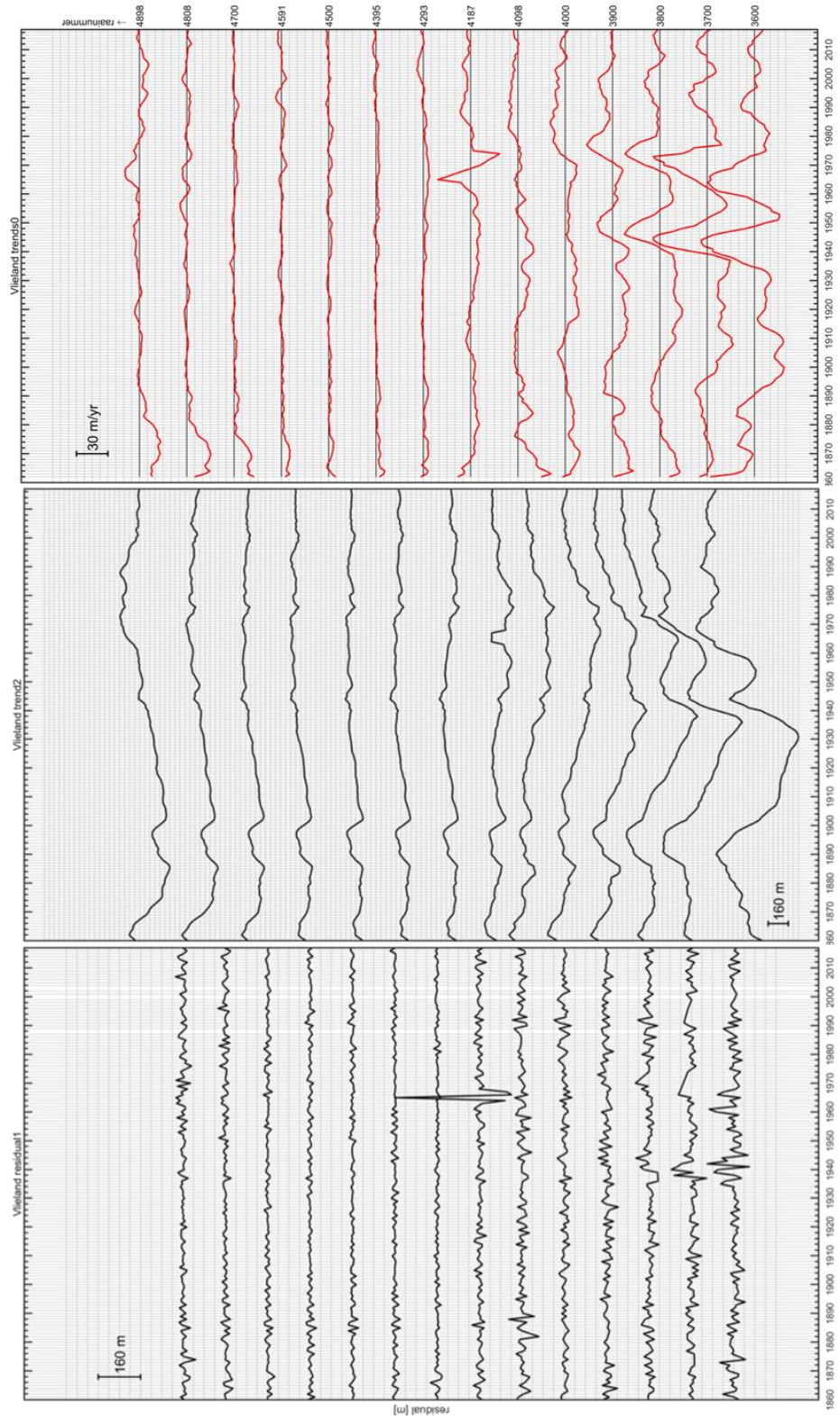
Figuur 8: Boven: ligging van de strekdammen aan de hand van een kaart uit Visser (1946). Onder: Impressie van de strekdammen van Vlieland nabij de NO punt (linksboven en -onder), centrale eilandkust (rechtsboven) en overgang naar de Vliehors (rechtsonder). Foto's: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat.



Figuur 9: Achteruitgang van het eiland Vlieland over de periode 1688-1945 (bron: Visser, 1946).



Figuur 10: Bliksemgrafieken Texel van de MLW en MHW voor raaien 900-1992 (links), raaien en 2091-2900 (midden). Rechts: bliksemgrafiek van het gemiddelde van MHW+MLW (trend0) voor raaien 900-2900.



Figuur 11: Bliksemgrafiek van de korte-termijn fluctuaties (residual1); midden, de gefilterde waterlijn (trend0 – residual1); en links de 10-jaar gemiddelde trends van MHW+MLW.

4 Conclusies

Een significant deel van de de Nederlandse kust is in het verleden versterkt. Deze versterkingen werken ook in het huidige kuststelsel nog door en bepalen mede de morfologische respons. Toch wordt er niet altijd aandacht aan besteed. Door middel van deze memo proberen we bestaande kennis onder de aandacht te brengen en te toetsen of de inzichten kloppen.

Tegenwoordig richten we ons vaak op het Momentane Kust Volume, maar in het verleden was analyse van de (trends in kustlijnligging) een veel gebruikte methode om het kustgedrag te analyseren. Hiervoor werden zogenaamde bliksemgrafieken geconstrueerd. Met behulp van de kustlijnen beschikbaar via de open-earth database is het mogelijk de bliksemgrafieken te reconstrueren. Het gemiddelde van de MLW + MHW geeft een goede representatie van beide lijnen. Door middel van analyse van deze lijnen kan het in het verleden uitgevoerde onderzoek worden gereproduceerd. Gelijkwaardige inzichten worden verkregen voor de kustlijn van Vlieland en Texel. Voor de huidige kustlijn is de methode minder geschikt. Door het dynamisch handhaven van de 1990 kustlijnligging d.m.v. zandsuppleties zijn de trends afgeleid voor de huidige periode over het algemeen nul of positief.

Voor Texel kan op basis van de bliksemgrafieken niet eenduidig het effect van de strandhoofden worden afgeleid. De kustlijnen stabiliseren, maar dat gebeurt niet direct na aanleg van de strandhoofden. Het is waarschijnlijk dat de strandhoofden bijdragen, maar hoeveel is niet af te leiden.

Voor Vlieland kunnen met de nieuw afgeleide bliksemgrafieken geen uitspraken gedaan worden over het effect van de strekdammen. De dataset begint na of tijdens aanleg van de strandhoofden. Wat wel duidelijk zichtbaar is in de dataset is de kleinere dynamiek in het gebied beschermd door de strandhoofden. Zandgolven propageren wel ten zuiden van de strandhoofden, maar niet in het beschermde gebied.

5 Referenties.

Rakhorst, H.D., (1984), Werking strandhoofden Noord-Holland, Texel, Vlieland, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-84.H007, 15 pag., 16 bijlagen.

Verhagen, H. J. en van Rossum, H. (1990). Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Min V&W, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Walhout, T (1998). Het kustgedrag van Vlieland van 1688- 1992 en de rol van de strandhoofden daarin. Werkdocument RIKZ RIKZ/AB-98.80.

Rakhorst, H.D., Roelse, P, van der Heide, P.M.,...[et al.], 2001. De functie van strandhoofden langs de Noord-Hollandse kust. Een gezamenlijk onderzoek van Rijkswaterstaat en Uitwaterende Sluizen

Rijkswaterstaat, 1990. A new coastal defense policy for the Netherlands. Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division (The Hague): 100 pp.

Hillen, R. & De Haan, Tj., 1993. Development and implementation of the coastal defense policy for the Netherlands. In: Hillen, R. & Verhagen, H.J. (eds.) Coastlines of the southern North Sea, American Society of Civil Engineers (New York, NY): 118-201.

Hillen, R. & Roelse, P., 1995. Dynamic Preservation of the Coastline in the Netherlands. Journal of Coastal Conservation, Vol. 1, No. 1: 17-28

Van der Spek, A.J.F. & Lodder, Q., 2015. A new sediment budget for the Netherlands; the effects of 15 years of nourishing (1991-2005). Proceedings 38th International Conference on Coastal Engineering, San Diego, CA.

Visser, J.C. (1946). Rapport Vlieland, Rijkswaterstaat, dir. Noord-Holland, arr. Hoorn.