



Morfologische analyse van de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat en de aangrenzende kust

Edwin Elias
Jelmer Cleveringa

Rapport RIKZ/2003.040

oktober 2003

Samenvatting

In dit rapport staat een analyse van de interactie van de buitendelta van het Zeegat van Texel met de aanliggende kust van Noord-Holland. Het studiegebied omvat het kustgedeelte vanaf Den Helder tot Julianadorp, waarbij de interactie tussen de geul Nieuwe Schulpengat en de aanliggende kust centraal staat.

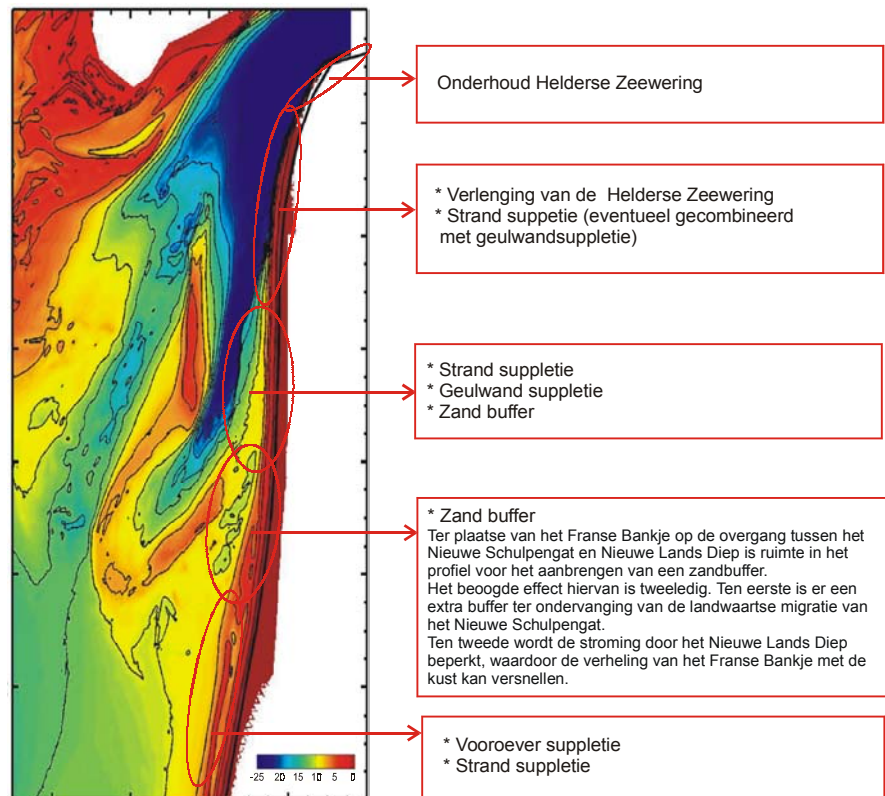
De ontwikkeling van de buitendelta wordt onderverdeeld in drie perioden, op basis van het grootschalige buitendeltagedrag en de variabiliteit in sedimentatie-erosie patronen. De eerste periode, voor afsluiting van de Zuiderzee, wordt gekenmerkt door het "natuurlijke", dynamisch gedrag van de buitendelta. Gedurende de tweede periode, 1933-1975, zijn er grote veranderingen opgetreden in geul- en plaatligging op de buitendelta. Deze veranderingen zijn voornamelijk het gevolg van de effecten van de afsluiting van de Zuiderzee (Elias, 2003b). Tijdens de derde periode, vanaf 1975, zijn de veranderingen veel kleiner, met relatief stabiele posities van geulen en platen op het zuidelijke gedeelte van de buitendelta.

Op de schaal van de kust en het zuidelijke gedeelte van de buitendelta hebben de vorming van de grote, diepe getijdegeulen Schulpengat en later Nieuwe Schulpengat en de interactie van de geulen met de kust van Noord-Holland het kustgedrag gedomineerd. Door de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat heeft sterke erosie en versteilling van de vooroever plaatsgevonden. De dominante veranderingen vonden plaats tot ongeveer 1990. Deze trend wordt duidelijk weerspiegeld door een sterk terugschrijdende kustlijn en een afnemend zandvolume in het kustvak. Na 1990 zijn de veranderingen in zowel de geul als het aangrenzende kustvak klein. Het Nieuwe Schulpengat heeft een maximale lengte bereikt en de positie blijft redelijk stabiel. In combinatie met de uitgevoerde strandsuppleties heeft dit als gevolg dat de kustlijn is gestabiliseerd. Het totale zandvolume van het gehele kustvak neemt sinds 1990 zelfs iets toe.

Voor de beschrijving van het huidige kustgedrag wordt de relatief korte periode na 1990 beschouwd. Op korte termijn worden geen grote veranderingen verwacht ten opzichte van de trend sinds 1990. Op langere termijn (meer dan 25 jaar) is de ontwikkeling van de buitendelta onzeker. De huidige ligging van geulen en platen is "onnatuurlijk" als gekeken wordt naar de historische ontwikkelingen en is waarschijnlijk mede het resultaat van aanpassingen na de afsluiting van de Zuiderzee. Met het oog op mogelijk (positieve en negatieve) veranderingen is het hoofdadvis om de huidige monitoring van de buitendelta te handhaven. Bij mogelijk noodzakelijke ingrepen verdienen "zachte" ingrepen (zandsuppleties) de voorkeur boven "harde" constructies, omdat de zachte ingrepen ruimte laten voor natuurlijke positieve ontwikkelingen en een bijdrage leveren aan het kustfundament van de Nederlandse kust.

Op grond van de morfologie en de kustontwikkeling is het gebied opgedeeld in 4 gebieden. Voor elk deelgebied geldt een aangepast advies voor de kustlijnzorg.

Mogelijke interventies kustvak Den Helder – Julianadorp.



Deelgebied 1, Breewijd:

In het noordelijke deel ligt de geul direct tegen de kust. De aanwezige kustbescherming (steenbestortingen) gaan erosie en verplaatsing tegen. Na 1990 lijken zowel de Helder als het noordelijke gedeelte van de Breewijd gestabiliseerd te zijn in diepte en breedte ontwikkeling. Strandsuppleties blijven noodzakelijk om het zandvolume van het strand en de ondiepe vooroever op peil te houden. Op het moment is er geen directe indicatie dat op korte termijn andere interventies nodig zijn. Mocht de Breewijd landwaarts verplaatsen, dan is verlenging van de steenbestorting in zuidelijke richting een optie zijn. Een alternatief hiervoor is het toepassen van geulwandsuppleties, daar waar de Helderse Zeewering overgaat in de zandige kust.

Deelgebied 2: Nieuwe Schulpengat

In deelgebied 2 is sprake van structurele kusterosie ter plaatse van het knikpunt in het Nieuwe Schulpengat, aan de zuidelijke zijde van de Bollen van Kijkduin (profiel 409). De erosie is gerelateerd aan de uitbocht van de geul, waardoor deze bij het knikpunt landwaarts verplaatst. De landwaartse verplaatsing lijkt te zijn afgenomen na 1995, maar de beschouwde periode is te kort om vast te stellen of de afname blijvend of tijdelijk is. De kustprofielen in dit kustvak wordt gekenmerkt door een steile overgang rond de -15 m, die mogelijk gerelateerd is aan de aanwezigheid van resistente lagen in de ondergrond. Eventuele resistente lagen beperken de verplaatsingssnelheid naar de kust. Het ondiepe deel van het profiel vormt een platform, dat als buffer fungeert tussen geul en kust. De huidige breedte van het platform betekent dat, uitgaande van de huidige landwaartse verplaatsings snelheid, het nog tientallen jaren duurt voordat de geul direct onder de kust ligt. De

kustveiligheid is de komende tien jaar in ieder geval niet in het geding. Door de aanwezigheid van het platform is er geen directe bedreiging van de waterkering.

Het platform tussen kustprofiel en geul biedt de mogelijkheid tot het uitvoeren van onderwatersuppleties. Een onderwatersuppletie kan daarom een belangrijke bijdrage leveren aan de zandbalans van de aangrenzende deelgebieden, maar zal waarschijnlijk geen bijdrage leveren aan het zandvolume van strand en ondiepe onderwateroever.

Deelgebied 3: Nieuwe Landsdiep en Fransche Bankje

In dit deelgebied wordt de vooroever gedomineerd door ondieptes met de kleine getijdegeul Nieuwe Landsdiep. De golfbreking op de ondieptes resulteert in een luwtezone aan de kust, waar uitbouw plaats vindt. De getijdegeul het Nieuwe Landsdiep verplaatst langzaam landwaarts en verdiept en door landwaartse verplaatsing van het Franse Bankje neemt de breedte van de geul af. Ook in de toekomst zal de interactie tussen de geul en het Franse Bankje in grote mate de verdere kustlijn ontwikkeling in dit gebied bepalen. De kustontwikkelingen in dit gebied zijn nog ongewis.

In het deelgebied is voldoende ruimte in het kustprofiel voor het uitvoeren van vooroeversuppleties, wanneer de MKL-ontwikkeling daar aanleiding toe geeft. Wanneer de getijdegeul Nieuwe Landsdiep in de toekomst verder naar de kust beweegt en een potentiële bedreiging voor de kustveiligheid oplevert kunnen andere maatregelen overwogen worden. De noodzaak hiervoor wordt overigens niet binnen vijf jaar verwacht. Een mogelijke ingreep is het aanbrengen van een zanddam dwars op de kust, waarmee het Nieuwe landsdiep geheel of gedeeltelijk afgedamd wordt. Verdere landwaartse migratie van de getijdegeul Nieuwe Landsdiep wordt daarmee voorkomen en het verhalen van het Fransche bankje met de kust wordt versneld.

Deelgebied 4: "Ongestoorde kust"

Ten zuiden van het Fransche Bankje ligt de kust nog in het bereik van de buitendelta van het Zeegat van Texel, de kustlijnontwikkelingen lijken wel sterk op de ontwikkelingen van de 'normale' Hollandse kust. De reguliere zandsuppleties volstaan wanneer de MKL-ontwikkeling aanleiding geeft tot het uitvoeren van suppleties. Zandsuppleties worden bij voorkeur onder water uitgevoerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
Lijst van Figuren	9
Lijst van Tabellen	11
1 Inleiding en probleemstelling	13
2 Het Zeegat van Texel: beschrijving en gegevens	15
2.1 Algemene beschrijving van het studiegebied	15
2.2 Methode en metingen	17
2.3 Overzicht interventies	19
3 Grootschalige ontwikkeling van de buitendelta	21
3.1 Buitendelta ontwikkeling (1925-2000)	21
3.1.1 Periode 1–Voor afsluiting van de Zuiderzee (tot 1933)	22
3.1.2 Periode 2 - Aanpassing aan de gevolgen van de afsluiting van de Zuiderzee (1933-1975)	23
3.1.3 Periode 3 - Dynamisch gedrag, aangepast aan de effecten van de Afsluiting (1975- heden)	27
3.1.4 Overzicht ontwikkelingen 1925-2000	27
3.2 Lange termijn ontwikkeling van de kustlijn	29
4 Interactie Nieuwe Schulpengat en kust	31
4.1 Kust en Nieuwe Schulpengat (1965-2001)	31
4.2 Grootschalige kustlijn ontwikkeling	31
4.2.1 Zandvolumes	31
4.2.2 MKL	32
4.3 Beschrijving deelgebieden	38
4.3.1 Deelgebied 1: Breewijd (Profiel 210)	38
4.3.2 Deelgebied 2: Bollen van Kijkduin (Profiel 409)	41
4.3.3 Deelgebied 3: Franse Bankje (Profiel 708)	44
5 Conclusies morfologische ontwikkelingen	47
6 Verwachte morfologische ontwikkelingen en aanbevelingen voor het kustbeheer	51
6.1 Korte termijn (tot 10 jaar)	51
6.1.1 Deelgebied 1: Breewijd	52
6.1.2 Deelgebied 2: Nieuwe Schulpengat	52
6.1.3 Deelgebied 3: Nieuwe Lands diep en Franse Bankje	53
6.1.4 Deelgebied 4: "Ongestoorde kust"	53
6.2 Lange Termijn (10 jaar en langer)	54
7 Referenties	55
8 Bijlagen	59

Lijst van Figuren

- Figuur 1-1: Cascade van schalen (volgens De Vriend, 1998).
- Figuur 2-1: Overzicht van de platen en geulen in het Westelijke gedeelte van de Waddenzee en het Zeegat van Texel.
- Figuur 2-2: Overzicht van de locatie van de Jarkus doorlodingen.
- Figuur 2-3: Kustbescherming langs de kop van Noord-Holland.
- Figuur 3-1: Grootschalige ontwikkeling van de buitendelta over de periode 1925 tot 2000.
- Figuur 3-2: Model van cyclische ontwikkeling (naar Sha, 1990).
- Figuur 3-3: Getijvoortplanting voor en na afsluiting van de Zuiderzee (volgens Thijsse, 1972).
- Figuur 3-4: Rotatie van de hoofdas van de Helsdeur (1816-2000).
- Figuur 3-5: Ontwikkeling van de maximale diepte van de Helsdeur.
- Figuur 3-6: Gemeten getijgemiddelde debieten door het Westgat en het (Nieuwe)Schulpengat.
- Figuur 3-7: Variabiliteit van de buitendelta.
- Figuur 3-8: (a) Geul ontwikkeling 1933, 1950 en 2000;
(b) Geulontwikkeling (-12.5 m contour);
(c) Geulas ontwikkeling (-10 m contour).
- Figuur 3-9: De ontwikkeling van de Gemiddeld Hoog Waterlijn (1843-2000).
- Figuur 3-10: Gemiddeld Hoog Waterlijn ter plaatse van profiel 308.
- Figuur 4-1: Zand volumes kustvak: (a) 150–808, en (b) 808-1401.
- Figuur 4-2: De ontwikkeling van de MKL (1965-2000).
- Figuur 4-3: Ontwikkeling 'Natte oppervlak' JARKUS profielen (0-600m tot RSP) ten opzichte van 1965.
- Figuur 4-4: Geulen en platen op de buitendelta in 1986.
- Figuur 4-5: Geulen en platen op de buitendelta in 2000.
- Figuur 4-6: Sedimentatie – erosie patroon 1991 – 2000
- Figuur 4-7: Jarkus profiel 210, ontwikkeling gedurende 1965-2000.

- Figuur 4-8: Profiel 210, ontwikkeling Strandlijnen, GLW en DV.
- Figuur 4-9: Profiel 210, ontwikkeling MKL.
- Figuur 4-10: Profiel 210, verplaatsing contouren.
- Figuur 4-11: Jarkus profiel 409, ontwikkeling gedurende 1965-2000.
- Figuur 4-12: Profiel 409, ontwikkeling MKL.
- Figuur 4-13: Profiel 409, ontwikkeling Strandlijnen, GLW en DV.
- Figuur 4-14: Profiel 409, verplaatsing contouren.
- Figuur 4-15: Jarkus profiel 708, ontwikkeling gedurende 1965-2000.
- Figuur 4-16: Profiel 210, ontwikkeling Strandlijnen, GLW en DV.
- Figuur 4-17: Profiel 210, ontwikkeling MKL.
- Figuur 5-1: Sedimentatie-erosie vanuit de ontwikkeling 1990-2000;
- Figuur 5-2: Afgeleide mechanismen en transport richtingen.
- Figuur 6-1: Mogelijke interventies kustvak Den Helder – Callantsoog.
- Figuur 8-1: Jarkus doorlodingen profielen 110-608.
- Figuur 8-2: Jarkus doorlodingen profielen 608 - 1000.

Lijst van Tabellen

- Tabel 2-1: Overzicht van de gebruikte meetdata.
- Tabel 2-2: Overzicht zandsuppleties (1976-2001).
- Tabel 3-1: Migratie van Gemiddeld Hoog Water positie (m tot RSP).
- Tabel 3-2: Migratie snelheid van Gemiddeld Hoog Water (m/jaar).
- Tabel 4-1: Veranderingen in MKL positie (m tot RSP).
- Tabel 5-1: Samenvatting van de ontwikkeling van geulen en platen op de zuidelijke helft van de Buitendelta.

1 Inleiding en probleemstelling

De buitendelta van het zeegat van Texel strekt zich ongeveer 10 km zeewaarts en 15 km langs de kust van Noord-Holland. Het gedrag van de aangrenzende kustvakken wordt sterk bepaald door de interactie met de buitendelta. De veranderingen op de buitendelta na afsluiting van de Zuiderzee zijn van grote invloed geweest op de ontwikkeling van de aanliggende kusten. In het zuidelijke gedeelte van de buitendelta heeft de vorming van een grote, diepe getijgeul (het Nieuwe Schulpengat) en de interactie van deze geul met de aangrenzende kust van Noord-Holland een sterke erosie en versteilling van de vooroever veroorzaakt. De dominante veranderingen vonden plaats tot ongeveer 1990, sindsdien lijken de veranderingen veel kleiner te zijn. Dit kan mede een gevolg zijn van de huidige kusthandhavingspolitiek, waarbij de zandbalans van de ondiepe kustzone op peil wordt gehouden door zandsuppleties.

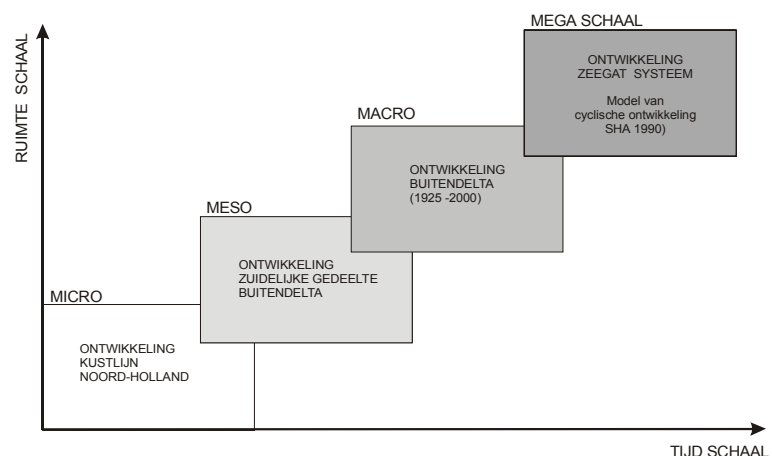
Dit rapport beschrijft een analyse van de interactie van de buitendelta met de aanliggende kust van Noord-Holland. Het studiegebied omvat het kustgedeelte vanaf Den Helder tot Julianadorp, waarbij de uitwisseling tussen de geul Nieuwe Schulpengat en de aanliggende kust centraal staat. Getracht wordt de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Hoe ontwikkelt de geul het Nieuwe Schulpengat zich?
- Hoe wordt deze ontwikkeling bepaald?
- Hoe zal de geul zich in de toekomst gaan ontwikkelen?
- Hoe ontwikkelen strand en vooroever (BKL zone)?

Om de interactie tussen kust en geul te kunnen begrijpen moet een beeld gevormd worden van de ontwikkeling van de geul. Deze maakt deel uit van een zeer complex morfologisch gebied, de buitendelta, waarvan de verschillende onderdelen elkaar sterk beïnvloeden. Met andere woorden, de ontwikkeling van de geul wordt sterk bepaald door de grootschaligere ontwikkeling van de buitendelta. Het is dus van belang om een goed begrip van dit grootschalig gedrag te krijgen.

Figuur 1-1:
Cascade van schalen
(volgens De Vriend, 1998).

Het cascade model toegepast voor het Zeegat van Texel geeft een duidelijk beeld van de interactie tussen de verschillende tijd- en ruimte schalen. Het laat zien dat voor een begrip van de kustlijn ontwikkeling, we ook het gedrag van de buitendelta zullen moeten begrijpen.



De opbouw van dit rapport wordt schematisch weergegeven in Figuur 1-1. De figuur illustreert de verschillende processen, mechanismen en ontwikkelingen die op verschillende tijd- en ruimteschalen spelen en elkaar onderling beïnvloeden. Om een goede analyse van bijvoorbeeld de kustlijn ontwikkeling te maken moet men er zich van bewust zijn op welke tijd en/of ruimteschaal de problematiek speelt en hoe deze samenhangt met de andere schalen.

De eerste stap in dit onderzoek is het begrijpen van de invloed van de afsluiting van de Zuiderzee op de grootschalige ontwikkeling van de buitendelta (*macro-schaal*). Hiertoe wordt het gedrag van de gehele buitendelta beschreven door analyse van de Vaklodingen over de periode 1925 tot 2000. Tevens wordt de kustlijnontwikkeling beschouwd aan de hand van de ontwikkeling van de Gemiddeld Hoogwaterlijn (Hoofdstuk 3).

De interactie tussen geul en kust (*meso-schaal en micro-schaal*) wordt beschouwd aan de hand van de ontwikkeling van de Jarkus profielen en de MKL positie. De beschikbare metingen beschrijven de periode 1965 tot 2000 en strekken zich tot maximaal 3 kilometer op de buitendelta uit (Hoofdstuk 4).

In Hoofdstuk 5 wordt het geheel samengevat, conclusies over opgetreden kustgedrag worden opgesomd en er wordt een vooruitblik naar de verwachte ontwikkelingen in de (nabije) toekomst gepresenteerd.

2 Het Zeegat van Texel: beschrijving en gegevens

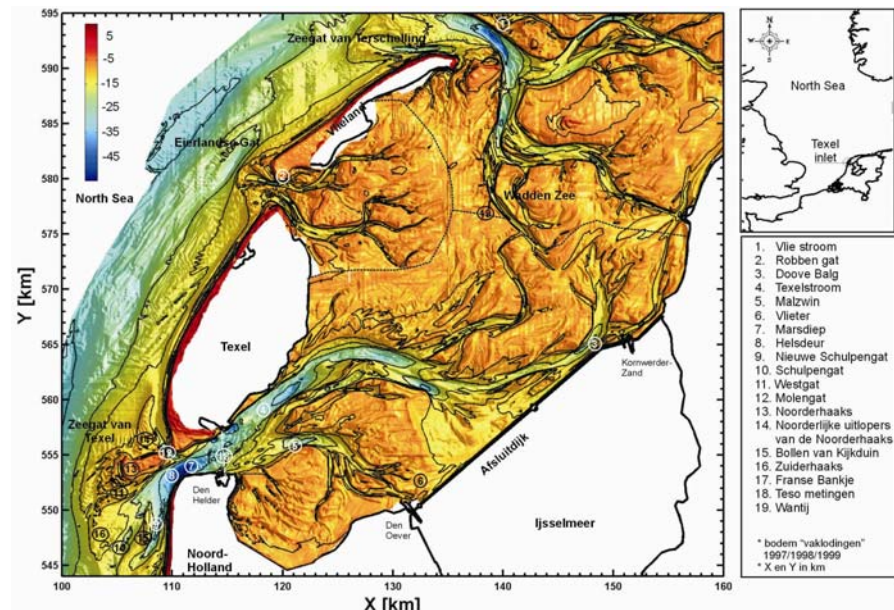
2.1 Algemene beschrijving van het studiegebied

De bathymetrie van het westelijke gedeelte van de Waddenzee en het Zeegat van Texel worden weergegeven in Figuur 2-1. Deze figuur geeft een overzicht van de aanwezige geulen en platen op de buitendelta, in de keel en in het achterliggende getijdebekken.

Figuur 2-1:

Overzicht van de platen en geulen in het Westelijke gedeelte van de Waddenzee en het Zeegat van Texel (rechts) en detailoverzicht van de buitendelta (volgende pagina).

Gebaseerd op de Vaklodingen van 1997 (Zeegat van Texel), 1998 (Zeegat van Terschelling) en 1999 (Eierlandse Gat)

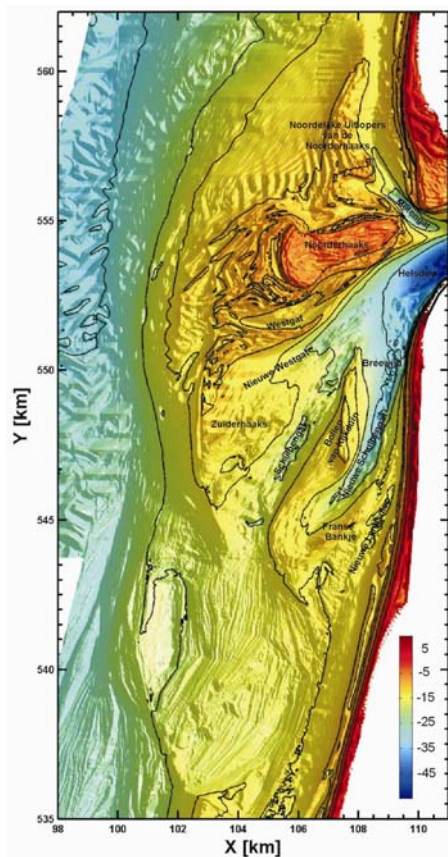


De keel van het zeegat wordt gevormd door het Marsdiep en is ongeveer 2.5 km breed met een maximale diepte van 53m. Het Marsdiep verbindt de hoofdgeul van het getijdebekken (de Texelstroom) met de hoofdgeulen op de buiten-delta (Schulpengat en Nieuwe Schulpengat).

Het getij is dubbeldaags met een gemiddelde getijslag van 1.38 m in Den Helder en een gemiddeld getijprisma door het zeegat van $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Blok, 2001). Zowel eb- als vloed stroomsnelheden liggen tussen de 1 en 2 m/s.

Voor de afsluiting van de Zuiderzee door de Afsluitdijk in 1932 werd het getijdebekken gevormd door het westelijke gedeelte van de Waddenzee en de voormalige Zuiderzee met een totaal oppervlak van ongeveer 4000 km². Na afsluiting van de Zuiderzee werd het oppervlakte van het getijdebekken sterk gereduceerd tot ongeveer 712 km² (Louters and Gerritsen, 1994). De hoofdgeul in het bekken is de Texelstroom die zich uitstrekt langs Texel en ten oosten daarvan afbuigt naar de Afsluitdijk.

De buitendelta strekt zich ongeveer 10 km zeewaarts uit en 25 km in langsricting langs de aanliggende kusten van Noord-Holland en Texel. De hoofdgeulen en platen op de buitendelta zijn:



- Het Marsdiep, dit vormt de keel van het zeegat.
- De Helsdeur, dit vormt het diepste meest zeewaarts gelegen gedeelte van het Marsdiep en is de uitstroomopening naar de buitendelta. De oriëntatie van de Helsdeur is van groot belang voor de oriëntatie van de hoofdgeul(en) op de buitendelta (Ringma, 1953; Battjes, 1962).
- Het Breewijd verbindt de Helsdeur met de geulen Schulpengat en Nieuwe Schulpengat. Het Breewijd is een diepe, brede geul met een zeer diep landwaarts gedeelte en een ondiep zeewaarts gedeelte.
- Het Schulpengat en Nieuwe Schulpengat zijn de twee grote getijgeulen in het zuidelijke gedeelte van de buitendelta. Het Nieuwe Schulpengat ligt langs de Noord-Hollandse kust. Zeewaarts en evenwijdig hieraan ligt het Schulpengat. Debietmetingen laten zien dat het noordelijke geulgedeelte van het Schulpengat een ebdominant debiet heeft (de Reus, 1981,1982; Blok et al., 2001).
- Het Schulpengat en Nieuwe Schulpengat worden gescheiden door de zandbank Bollen van Kijkduin
- Ten zuiden van het Nieuwe Schulpengat vormt de zandbank het Franse Bankje het ebschild van deze geul.
- Tussen het Franse Bankje en de Noord-Hollandse kust bevindt zich een kleinere ondiepe geul, dat in deze studie het Nieuwe Lands Diep wordt genoemd.
- De Noorderhaaks is het grootste plaat oppervlak op de buitendelta. De zandbank is direct voor het Marsdiep gelegen en heeft een oppervlak van ongeveer 4 km² boven Gemiddeld Hoog Water. De plaathoogte ligt tussen de +1.3 en +1.6m NAP (Steijn, 2000).
- De Zuiderhaaks is het grote platengebied ten zuidwesten van de Noorderhaaks.
- De Noorder- en Zuiderhaaks worden gescheiden door een kleine, zich ontwikkelende geul, in deze studie het Nieuwe Westgat genoemd.
- Aan de noordkant van de Noorderhaaks ligt een zandbank in de vorm van een spit, de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks.
- Het Molengat scheidt de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks en de kust van Texel. Deze geul is vloeddominant.

Er zijn al vele studies uitgevoerd naar de ontwikkelingen van het Zeegat van Texel in het algemeen en naar de dynamica en processen van gedeelten van het systeem. Een overzicht van de in deze studie geraadpleegde literatuur wordt hieronder gegeven:

Lorentz (1926), van Veen (1950), Ringma (1953), Beckering Vickers (1951), Battjes (1961), Rietveld (1962), Joustra (1971), Thijsse (1972), Klok (1980), de Reus (1980), Beenker (1981), Rakhorst (1981), de Reus (1982), Dronkers (1984), Doekes (1985), de Reus (1985), Rijzewijk (1986), Glim (1988), Ridderinkhof (1988a,b), Ridderinkhof (1989), Rakhorst (1989), Gerritsen (1990), Sha (1990), Eysink (1992), Allersma (1993), Biegel (1993), Eysink (1993), Louters and Gerritsen (1994), Oost (1995), Steetzel (1995), Steijn (1997a,b), Dronkers (1998), Hartsuiker (1998), Ligtenberg (1998), Steijn (1998), De Leeuw (1999), van Marion (1999), Ridderinkhof (1999), van Santen (1999), Schoorl (1999), Steijn (2000), Blok (2001), Kragwijk (2001), Cleveringa (2001), Luijendijk (2001), Walburg (2001), Bonekamp (2002), Elias (2002), Kragwijk (2002), Elias (2003a,b).

2.2 Methode en metingen

De ontwikkeling van de kustlijn en de interactie met de voorliggende buitendelta wordt geanalyseerd op verschillende tijd en ruimteschalen, hiervoor zijn diverse meetgegevens beschikbaar. Een overzicht van de gebruikte data wordt hieronder weergegeven en samengevat in Tabel 2-1.

Macro schaal analyse - Hoofdstuk 3

De grootschalige analyse richt zich op het beschrijven van de opgetreden veranderingen in de buitendelta na afsluiting van de Zuiderzee (1925-2000). De verplaatsingen van de geulen en platen worden beschreven aan de hand van de *Vaklodingen*, waarvan een overzicht wordt gegeven door De Kruif (2001). De digitaal aanwezige meetdata voor de jaren 1925, 1933, 1950, 1973, 1981, 1986, 1991, 1994, 1997 en 2000 is gebruikt. De metingen tot en met 1981 zijn beschikbaar met een resolutie van 250x250m, vanaf 1986 is de resolutie 20x20m. Als aanvulling hierop wordt ook de kustlijnontwikkeling beschouwd aan de hand van de metingen van *Gemiddelde Hoog Water*, (*GHW*), die beschikbaar zijn voor de periode 1843 - 2001.

Meso schaal analyse - Hoofdstuk 4

Een analyse van de interactie tussen het zuidelijke gedeelte van de buitendelta met de aanliggende Noord-Hollandse kust is gebaseerd op de *Momentane Kustlijn positie (MKL)* en *Jaarlijkse Kustmetingen (Jarkus)*. De MKL is een maat voor de volumeveranderingen rond de waterlijn (TAW, 1995). Als aanvulling hierop worden de Jarkus metingen gebruikt om de ontwikkeling van de vooroever te beschrijven. Jarkus profielen worden ongeveer iedere 250m opgenomen. De profielen reiken vanaf de duinvoet tot een 800m zeewaarts met op iedere 10 tot 20m een dieptemeting. Naast de "normale" Jarkus profielen zijn ook *Doorlodingen* beschikbaar (Figuur 2-2). De Doorlodingen worden iedere 5 jaar gemeten en reiken tot ongeveer 2500m zeewaarts, met een onderlinge raai afstand van ongeveer 1000m. In Wijnberg (1995) wordt een uitvoerige beschrijving en analyse van de Jarkus metingen langs de Hollandse kust gegeven.

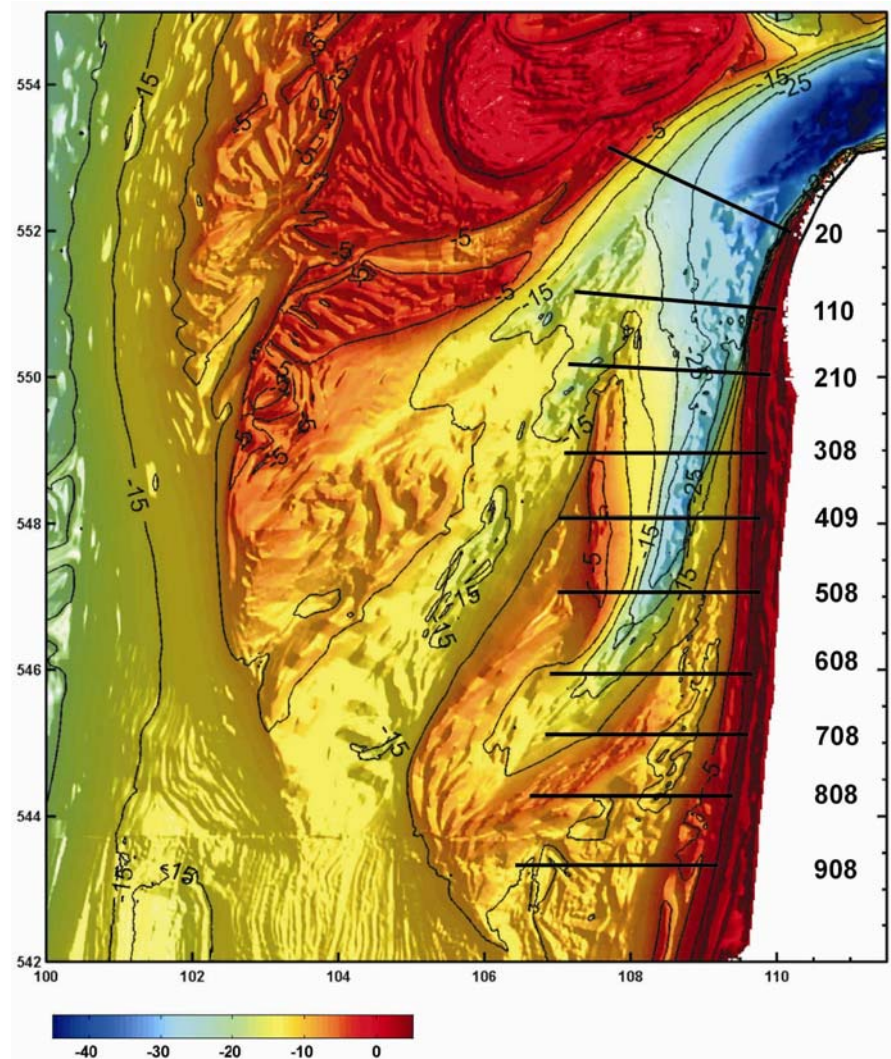
Tabel 2-1:

Overzicht van de gebruikte meetdata

	Beschikbare meetdata	Hoofdstuk
GHW	1843 – 2000	3
Vaklodingen	1925; 1933; 1950; 1973; 1981; 1986; 1991; 1994; 1997; 2000	3
MKL	1964 – 2001	4
Zand volume	1965 – 1990; profielnummers 150 – 1401	4
Jarkus metingen	1964 – 2001, jaarlijks; profielnummers: 20 tot 1000	4
Doorlodingen	1965, 1970, 1975, 1980, 1985, 1990 profielnummers: 110, 210, 308, 409, 508, 608, 708, 808, 908, 1000	4

Figuur 2-2:

Overzicht van de locatie van de Jarkus doorlodingen, dit zijn tevens de profiellocaties en nummers die in Hoofdstuk 4 gebruikt worden.



- | | |
|--------------------|--|
| Profiel 20 | : Overgang Helsdeur Breewijd |
| Profiel 110 | : Breewijd |
| Profiel 210 | : Doorsnijdt het Nieuwe Schulpengat, de bovenkant van de Bollen van Kijkduin het Schulpengat |
| Profielen 308-508 | : Doorsnijden het Nieuwe Schulpengat en de Bollen van Kijkduin |
| Profiel 608 | : Ten zuiden van de Bollen van Kijkduin, doorsnijdt het Nieuwe Schulpengat en vormt de overgang naar het Nieuwe Lands diep |
| Profielen 708-808 | : Doorsnijdt het Nieuwe Lands Diep en het Franse Bankje |
| Profielen 908-1000 | : Deze profielen liggen ten zuiden van het Franse Bankje en vormen de overgang van de buitendelta naar de ongestoorde kust |

2.3 Overzicht interventies

De kustlijn tussen Den Helder en Callantsoog kent een lange geschiedenis wat betreft kustbescherming. Harde kustverdedigingswerken zijn geconstrueerd sinds de tweede helft van de 18de eeuw. De constructie van de Helderse Zeewering langs de kop van Noord-Holland heeft de zuidwaartse migratie van het zeegat van Texel gestopt. Meer recent (1980-1990) heeft er een zuidwaartse verlenging van de zeewering in de vorm van een teenconstructie plaatsgevonden. Tussen 1900 en 1920 zijn een groot aantal strandhoofden gebouwd langs de Noord-Hollandse kust.

De meest ingrijpende interventie binnen dit zeegatsysteem was de aanleg van de Afsluitdijk in 1932, waardoor de voormalige Zuiderzee en Waddenzee gescheiden werden (Figuur 3-1). Een groot gedeelte van het kombergingsgebied van het zeegat werd hierbij afgesloten.

Figuur 2-3:

Kustbescherming langs de kop van Noord-Holland.



In Figuur 2-3 zijn duidelijk de verschillende constructies te zien die de kop van Noord-Holland beschermen. Verschillende strandhoofden zijn aanwezig. Aan de bovenkant van de figuur is de zuidzijde van de Helderse Zeewering te onderscheiden die de kop van Noord-Holland van Huisduinen tot Den Helder beschermt.

Sinds 1990 wordt de kust structureel onderhouden door zandsuppleties. Deze zijn frequent toegepast in het interessegebied (Tabel 2-2). Naast suppleties is er gebaggerd in het Schulpengat. Ter verbetering van de vaarweg naar Den Helder is in 1956 een drempel verwijderd die het Schulpengat van de Helsdeur scheidde. In 1975 is er gebaggerd voor navigatie doeleinden, waardoor de diepte en breedte van het Schulpengat zijn toegenomen.

Tabel 2-2:

Overzicht zandsuppleties (1976-2001)

locatie	jaar	Oppervlakte (km)		Type	Volume [x 10 ³ m3]
		begin	eind		
Callantsoog	1976	12,975	13,75	duin	342,0
Callantsoog	1979	11,15	12,8	duin	470,0
Callantsoog	1986	10,825	13,725	strand	1.242,4
Callantsoog	1986	11,75	12,05	duin	77,9
Zwanenwater	1987	13,755	18,1	strand	1.695,0
Zwanenwater	1987	14,7	17,84	duin	155,0
Callantsoog	1991	11,0	14,0	strand	538,4
Petten	1991	18,0	20,18	strand	371,4
Den Helder	1992/93	1,0	7,5	strand	615,5
Den Helder	1993	3,28	5,68	strand	280,0
Zwanenwater	1995	16,24	17,6	strand	306,8
Petten	1995	18,8	20,4	strand	361,7
Den Helder	1996	1,5	7,5	strand	867,0
Zijpe	1996	10,01	12,13	strand	459,0
Callantsoog	1996	12,2	14,1	strand	459,0
Zijpe	1998	19,25	20,5	strand	228,9
Julianadorp	1999	3,95	6,28	strand	287,5
Callantsoog	1999	10,0	14,0	strand	144,0
Zwanenwater	2000	16,26	16,88	strand	120,0
Den Helder	2001	1,5	5,68	strand	1.290,2

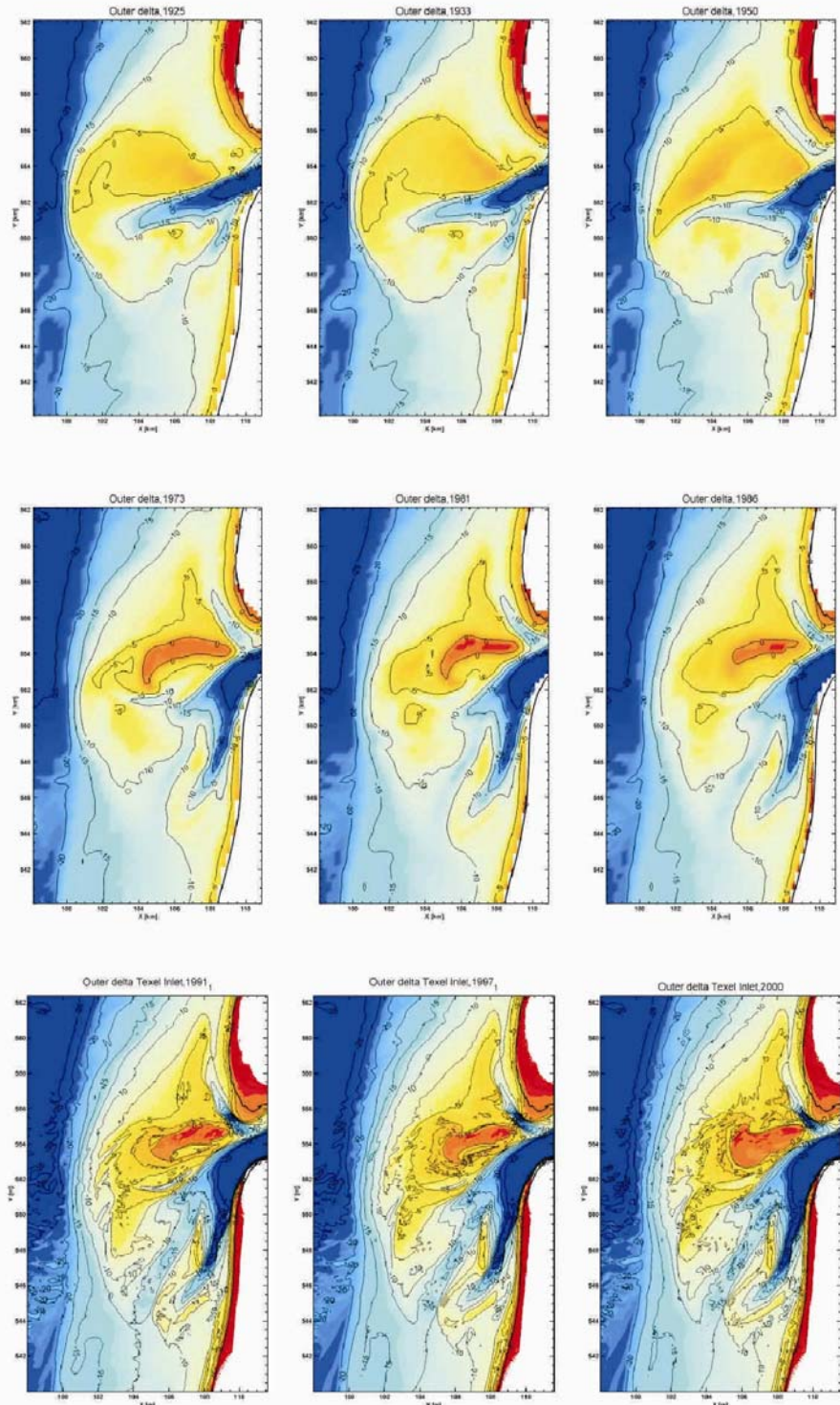
3 Grootschalige ontwikkeling van de buitendelta

3.1 Buitendelta ontwikkeling (1925-2000)

Figuur 3-1:

Overzicht van de grootschalige ontwikkeling van de buitendelta. Aan de hand van de beschikbare digitale bodemgegevens over de periode 1925 tot 2000 (de Kruif, 2001). De ontwikkeling van het gehele zeegat van Texel wordt uitvoerig beschreven in Elias (2003b).

De bodem zoals gemeten in 1986 wordt in meer detail weergegeven in Figuur 4-4 en die van 2000 in Figuur 4-5.

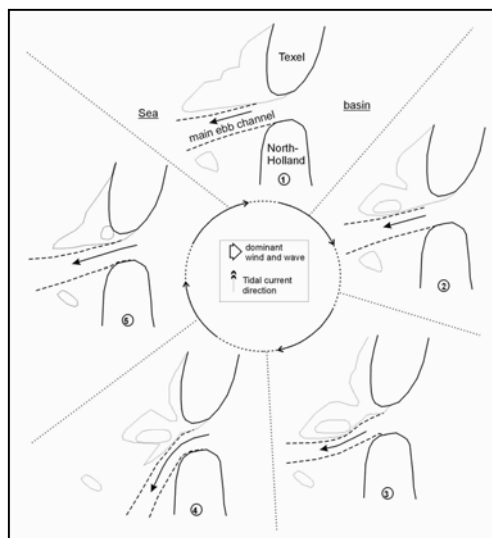


3.1.1 Periode 1–Voor afsluiting van de Zuiderzee (tot 1933)

De relatief stabiele vorm en positie van de buitendelta voor afsluiting van de Zuiderzee geeft aanleiding voor de veronderstelling dat de buitendelta zich in een dynamische evenwichtssituatie bevond (Sha, 1990; Louters and Gerritsen, 1994). Dynamisch omdat er altijd continue (kleine) veranderingen aanwezig zijn door bijvoorbeeld variaties in golf- en getijgedreven stromingen. De hoofd-ebgeul (het Westgat) is westwaarts gericht. De eb-gedreven sediment-transporten induceren daardoor een zeewaartse uitbouw van de delta. Met de van nature altijd aanwezige golven wordt het front van de buitendelta gevormd, dáár waar getij en golfgedreven stromingen in balans zijn. De belangrijkste zandplaat is de Noorderhaaks, die zich voor en ten noorden van het Westgat heeft gevormd. Deze ontwikkeling is waarschijnlijk gerelateerd aan de richting van het residuele wind- en golfgedreven langstransport. Naast het Westgat bevinden er zich nog twee kleine geulen langs de aanliggende kusten: het Molengat langs de kust van Texel en het Schulpengat langs de Noord-Hollandse kust.

Figuur 3-2:

Model van cyclische ontwikkeling
(naar Sha, 1990)



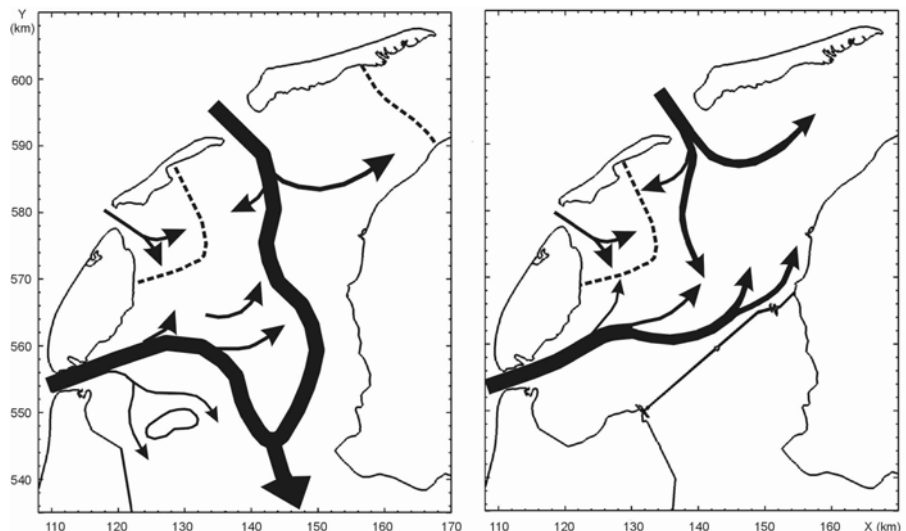
Sha (1990) beschrijft het gedrag van de buitendelta voor de afsluiting van de Zuiderzee met een cyclische ontwikkeling, met een duur van ongeveer 70 jaar. Sha's conceptuele model is geïllustreerd in Figuur 3-2. De cyclus begint met een maximale verlenging van de hoofd-ebgeul (1), vorming van een grote zandbank aan de benedenstroomse zijde van de hoofd ebgeul (2), landwaartse migratie van deze bank door de dominante oostwaarts gerichte golf- en windgedreven stromingen (4), rotatie van het vloedkanaal (4). De cyclus eindigt met aanlanding van de bank met de kustlijn van Texel (5). Deze cyclus is niet duidelijk te onderscheiden in het grootschalige buitendelta gedrag. Op een kleinere schaal (zoals op het noordelijke gedeelte van de buitendelta) is er wel een cyclische ontwikkeling te zien in de vorm van het ontstaan, de migratie en aanlanding van het Noordergat en Molengat.

3.1.2 Periode 2 - Aanpassing aan de gevolgen van de afsluiting van de Zuiderzee (1933-1975)

Door de afsluiting van de Zuiderzee wordt het dynamische evenwicht van periode 1 abrupt verstoord. Ondanks de verkleining van het kombergingsgebied nam het getijprisma door het zeegat toe met ongeveer 20%. Deze tegenstrijdigheid wordt veroorzaakt door de veranderde voortplanting en karakter van de getijgolf in het getijdebekken, geïllustreerd in Figuur 3-3.

Figuur 3-3:

Getijvoortplanting voor en na afsluiting van de Zuiderzee (volgens Thijsse, 1972).

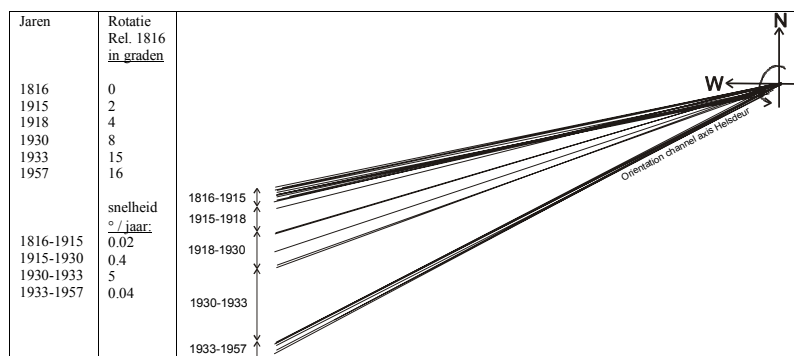


Voor de afsluiting van de Zuiderzee was de totale lengte van het getijdebekken ongeveer 130km, gevormd door de voormalige Zuiderzee en het zuidwestelijke gedeelte van de Waddenzee. Door interactie van de gereflecteerde, uitgaande golf met de inkomende getijgolf nam niet het hele getijdebekken deel aan de wateruitwisseling met de Noordzee. In het zuidelijke gedeelte vond alleen een interne uitwisseling plaats. Door afsluiting van de Zuiderzee reduceerde de getijdebekkenlengte tot ongeveer 35 km, maar het oppervlakte ($\approx 712 \text{ km}^2$) was slechts iets kleiner dan het actieve getijdebekkenoppervlak voor afsluiting. De getijslag in het overblijvende getijdebekken nam toe door de reflectie tegen de Afsluitdijk. Ter plaatse van de Afsluitdijk in Den Oever werd een toename van de getijslag van bijna 100% gemeten, terwijl de toename in het zeegat van Texel (meetstation Den Helder) ongeveer 15% bedroeg.

Figuur 3-4:

Rotatie van de hoofdas van de Helsdeur (1816-2000), bepaald aan de hand van de oriëntatie van de – 40m diepte contour.

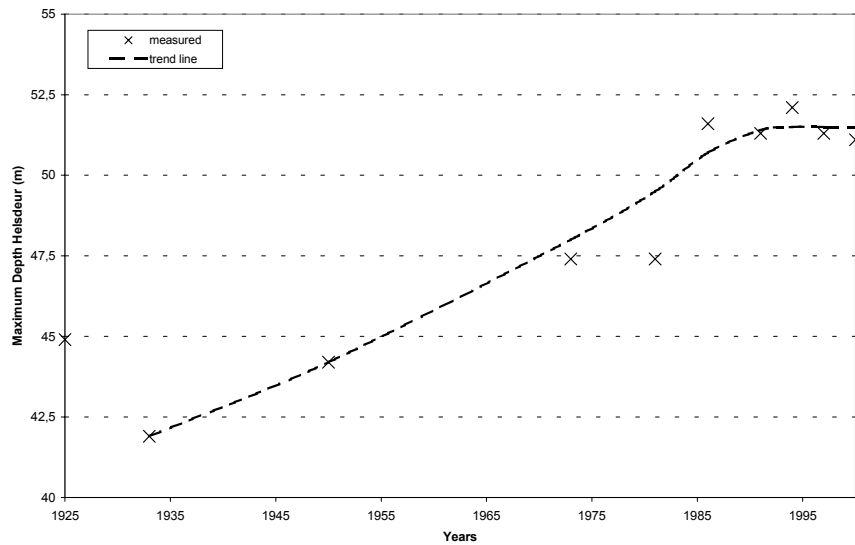
Gedurende de periode 1816 tot 1915 een stabiele oriëntatie van de Helsdeur. Van 1915 tot 1930 een rotatie van ongeveer 0.4 graden/jaar. Van 1930 tot 1933 een rotatie van 5 graden/jaar. Sinds 1933 slechts kleine veranderingen, 0.04 graden/jaar.



Een tweede grote verandering trad op in de voortplantingsrichting van het getij in het getijdebekken. De stroming door de Texelstroom nam toe en dit resulteerde in een meer noordelijke aanstroming door de keel van het zeegat, waardoor verdere draaiing van de Helsdeur (Figuur 3-4). Eerder studies hebben het belang van de oriëntatie van de Helsdeur op de oriëntatie van de geulen in de buitendelta aangetoond (Beckerling Vinckers; 1951, Ringma; 1953, Joustra; 1971, Sha; 1990). De ontwikkeling van de Helsdeur is in grote mate bepaald door de interactie van de eb en vloedstroming met de Helderse Zeewering. Door de vaste positie van de zeewering vindt er een contractie van de stroming plaats, wat grote stroomsnelheden rond dit contractiepunt tot gevolg heeft. Hierdoor heeft de Helsdeur zich sterk kunnen verdiepen en uitbouwen (Figuur 3-5).

Figuur 3-5:

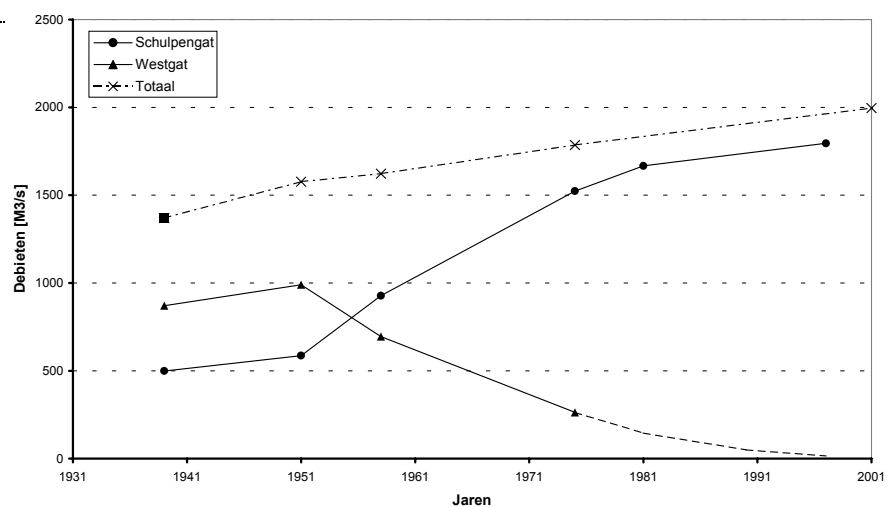
Ontwikkeling van de maximale diepte van de Helsdeur (1816-1997)



Het is niet verbazingwekkend dat de toename in getijprisma en de rotatie van het zeegat na afsluiting grote veranderingen op de buitendelta hebben geïnitieerd. De westwaarts gerichte hoofdgeul Westgat is verdwenen, terwijl een nieuwe zuidelijk georiënteerde hoofd-ebgeul ontwikkelde; het Schulpengat. Initieel ontwikkelt het Schulpengat zich als een enkele geul, maar vanaf 1956 ontstaat er een twee geulensysteem: Schulpengat en Nieuwe-Schulpengat.

Figuur 3-6:

Gemeten getijgemiddelde debieten door het Westgat en het (Nieuwe)Schulpengat.



Het verdwijnen van het Westgat en de groei van het Nieuwe Schulpengat wordt duidelijk weergegeven door de verandering van de debieten door de

geulen (Figuur 3-6). Initieel is er een kleine toename van zowel het debiet door het Westgat als het debiet door het Schulpengat ten gevolge van de toename van getijprisma. Sinds 1950 neemt het debiet door het Westgat sterk af, terwijl het debiet door het Schulpengat evenredig toeneemt. De ontwikkeling van de debieten laat zien dat het Schulpengat sinds ongeveer 1955 de hoofd-geul is en zich sterk verder heeft ontwikkeld tot ongeveer 1977.

Het totale debiet dat door deze geulen getransporteerd wordt neemt gedurende de periode sterk toe. Initieel kan dit veroorzaakt worden door het toegenomen prisma na afsluiting van de Zuiderzee, maar de doorgaande stijging tot 1997 wordt hierdoor niet verklaard. Het totale debiet door het Marsdiep blijft gedurende de periode 1966 (eerste meting) en 1999 nagenoeg gelijk (ongeveer 2125 Mm³). In 1966 stroomt echter maar 80% van het totale debiet door het Westgat en Schulpengat, terwijl dat in 2001 toegenomen is tot 94%. Deze verandering wordt veroorzaakt door de ontwikkeling van de geulen en platen op de buitendelta. Met een toenemende plaathoogte na afsluiting verminderd de hoeveelheid water dat over de platen getransporteerd wordt en neemt het water dat door de geulen stroomt evenredig in grootte toe.

Ook de Noorderhaaks was aan grote veranderingen onderhevig. De zeewaartse flank vertoonde een sterke landwaartse migratie met een afname van het (natte) plaatoppervlak en een toename van de hoogte en dus ook een toename van het plaatoppervlak boven de hoogwaterlijn.

Met de toename van de plaathoogte vindt er meer golfafscherming plaats en ontstaat er aan de landwaartse zijde van de plaat een luwtegebied, waar sedimentatie kan plaatsvinden. Sediment wordt aangevoerd door golfgedreven *wash-over* processen, wind gedreven transporten over de plaat en door de ebtransporten vanuit het zeegat. Hierdoor heeft een sterke plaatgroei aan de landwaartse zijde van de Noorderhaaks plaatsgevonden, direct voor de uitstroomopening van het zeegat. Het is mogelijk dat hierdoor de ebtransporten geblokkeerd en afgebogen zijn in een meer zuidelijke richting.

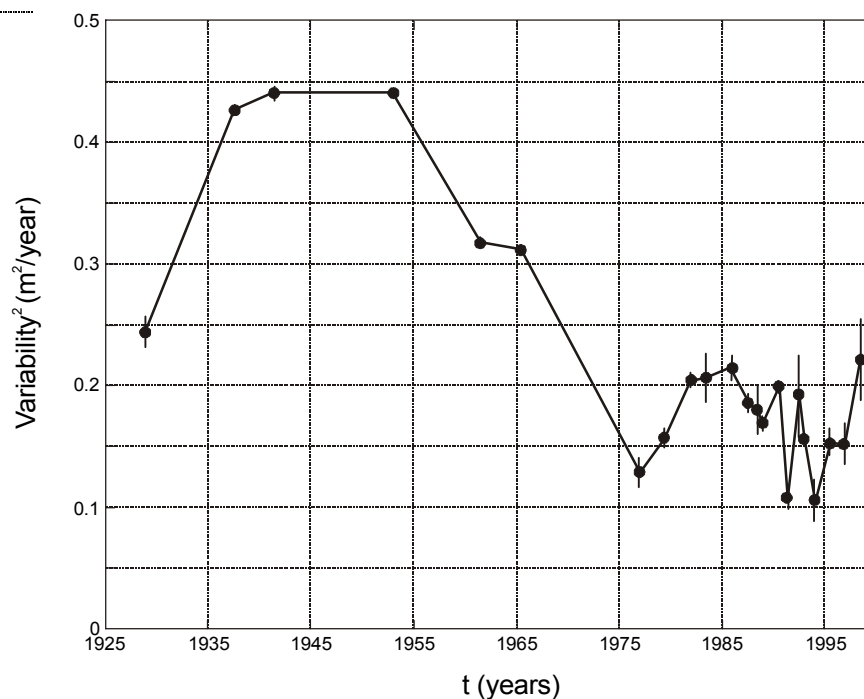
Een duidelijke indicatie van de periode waarin de afsluiting het gedrag van het zeegat bepaald, wordt verkregen door analyse van de sedimentatie-erosie patronen op de buitendelta. De variabiliteit hierin wordt gebruikt als een maat voor de opgetreden veranderingen. De volgende uitdrukking voor de variabiliteit wordt gebruikt voor de jaren 1925, 1933, 1950, 1973, 1981, 1986, 1991, 1994, 1997, 2000:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (z_{jaar2}(x_i, y_i) - z_{jaar1}(x_i, y_i))^2}{n(jaar_2 - jaar_1)} \quad \text{and} \quad t = \frac{jaar_2 + jaar_1}{2}$$

hierin zijn $z_{jaar1}(x_i, y_i)$ en $z_{jaar2}(x_i, y_i)$ de gemeten bodemdieptes voor twee opeenvolgende jaren voor n discrete punten die de buitendelta beschrijven (Figuur 3-7.).

Met uitzondering van 1925 zijn er geen digitaal beschikbare metingen aanwezig ter bepaling van de variabiliteit vóór afsluiting. Een schatting kan wel gemaakt worden aan de hand van de berekende waarde in 1929 (0,25). Deze waarde is bepaald vanuit de 1925 en 1933 metingen. De metingen van 1933 zijn al beïnvloedt door de afsluiting, waarschijnlijk zal de evenwichtswaarde voor afsluiting lager zijn (weergegeven door de twee getrokken lijnen in Figuur 3-7.).

Figuur 3-7:
Variabiliteit van de buitendelta



De ontwikkeling van de variabiliteit impliceert dat de buitendelta een nieuw dynamisch gedrag bereikt na een verbazend korte tijdsperiode van 40 tot 50 jaar. De variaties die de plot domineren sinds 1975, geven een indicatie van het dynamische karakter van dit gedrag. Deze variaties zijn mogelijk het resultaat van fluctuaties in wind- en golfklimaat of van de ontwikkeling van zandgolven (Eysink, 1992).

3.1.3 Periode 3 - Dynamisch gedrag, aangepast aan de effecten van de Afsluiting (1975- heden)

In de "nieuwe" dynamische situatie is er een duidelijk verschil in het gedrag van het noordelijke en het zuidelijke gedeelte van de buitendelta, die worden gescheiden door de Noorderhaaks. In het noordelijke gedeelte zijn de golfgedomineerde transporten dominant. Dit is duidelijk te zien in de landwaartse verplaatsing van de Noorderhaaks en de spitontwikkeling in de vorm van de Noordelijke Uitlopers van de Noorderhaaks. Nadere analyses van dit gebied worden gegeven door Steijn (1997, 2000) en Cleveringa (2001)

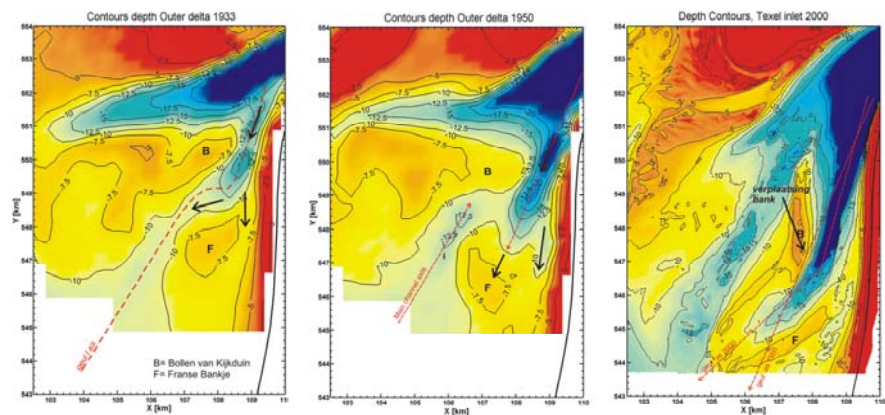
Het gedrag van het zuidelijke gedeelte wordt gedomineerd door de ontwikkeling van grote geulen en de tussenliggende zandbanken. Zowel de Zuiderhaaks als het Franse Bankje vertonen aanzanding. Debietmetingen (de Reus, 1982; Blok et al. 2001) laten zien dat ongeveer 90% van het totale debiet door deze geulen stroomt en slechts 10% door het Molengat. De ontwikkeling van het Franse Bankje als ebschild voor het Nieuwe Schulpengat laat zien dat deze geul eb-gedomineerd is. Debietmetingen ter plaatse van de Breewijd geven tevens een ebdominant debiet door het Noordelijke gedeelte van het Schulpengat. In de ontwikkeling van de bathymetrie van het Schulpengat is deze ebdominantie niet duidelijk te zien. Het is mogelijk dat de dominantie varieert over de geul en het zuidelijke gedeelte juist vloeddominantie vertoont.

3.1.4 Overzicht ontwikkelingen 1925-2000

De ontwikkelingen van het zuidelijke gedeelte van de buitendelta worden samengevat in Figuur 3-8. De 3 figuren bovenaan (figuur 3-8 a) geven een duidelijk beeld van de interactie tussen geul(en) en zandbanken. Voor afsluiting is er 1 geul, het Schulpengat, aanwezig die zich om het Franse Bankje heen kromt. Dit vormt een duidelijke tweedeling in een noordelijk (Nieuwe Schulpengat) en een zuidelijk geulgedeelte (Schulpengat).

Figuur 3-8 a:

Overzicht ontwikkelingen geulen en platen 1933, 1950 en 2000

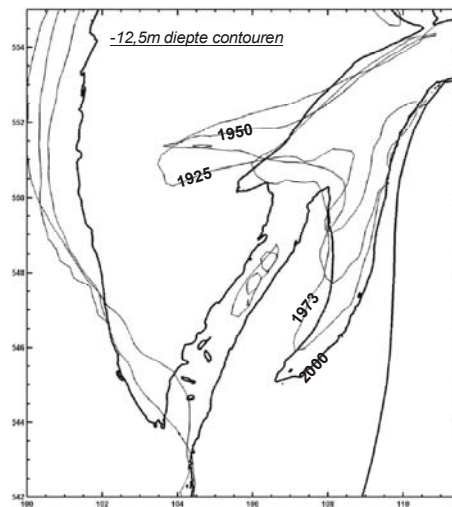


Door plaat-geul interactie van het zich in zuidwaartse richting ontwikkelende Nieuwe Schulpengat met het Franse Bankje (F) en de Bollen van Kijkduin (B) wordt de huidige bathymetrie gevormd. Hier zijn het Schulpengat en het Nieuwe Schulpengat twee afzonderlijke geulen gescheiden door de Bollen van Kijkduin. Het Franse Bankje vormt het ebschild van het Nieuwe Schulpengat.

De ontwikkeling van het (Nieuwe)Schulpengat wordt duidelijk weergegeven door de -12,5m dieptecontour (figuur 3-8 b)

Figuur 3-8 b

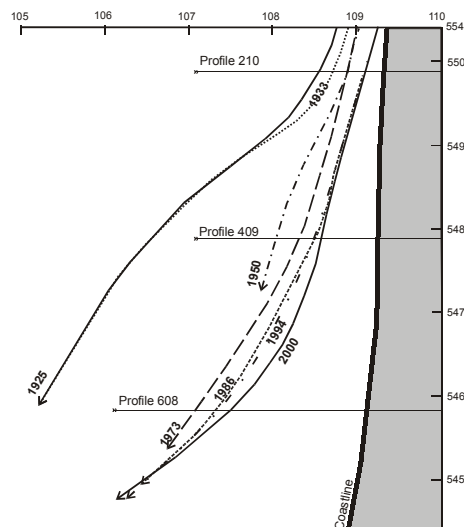
Geul ontwikkeling (-12.5 m contour)



In figuur 3-8 c wordt de ontwikkeling van de geulas van het (Nieuwe)Schulpengat geschetst. Deze is bepaald aan de hand van de -10m diepte contour. Een duidelijke verlenging en landwaartse verplaatsing van de geul is te zien tot ongeveer 1986-1990. Sindsdien blijft de geullengte gelijk en is vindt er hoofdzakelijk een uitbochtiging van het zuidelijke geulgedeelte (profielen 409-508) plaats.

Figuur 3-8 c

Geulas ontwikkeling (-10 m contour)



In de figuur 3-8 a is een mogelijke verklaring voor deze uitbochtiging geschetst in de vorm van de interactie van de Bollen van Kijkduin met de geul. Het noordelijke gedeelte van de geul ligt vast tegen de beschermde Noord-Hollandse kust. Door een zuidoostelijke verplaatsing van de Bollen wordt er een knikpunt gevormd in de geul dat een rotatie ten zuiden hiervan initieert en een landwaartse verplaatsing van de geul t.p.v. het knikpunt. De ontwikkeling van dit gedeelte van de buitendelta wordt duidelijk beschreven door van Santen (1999).

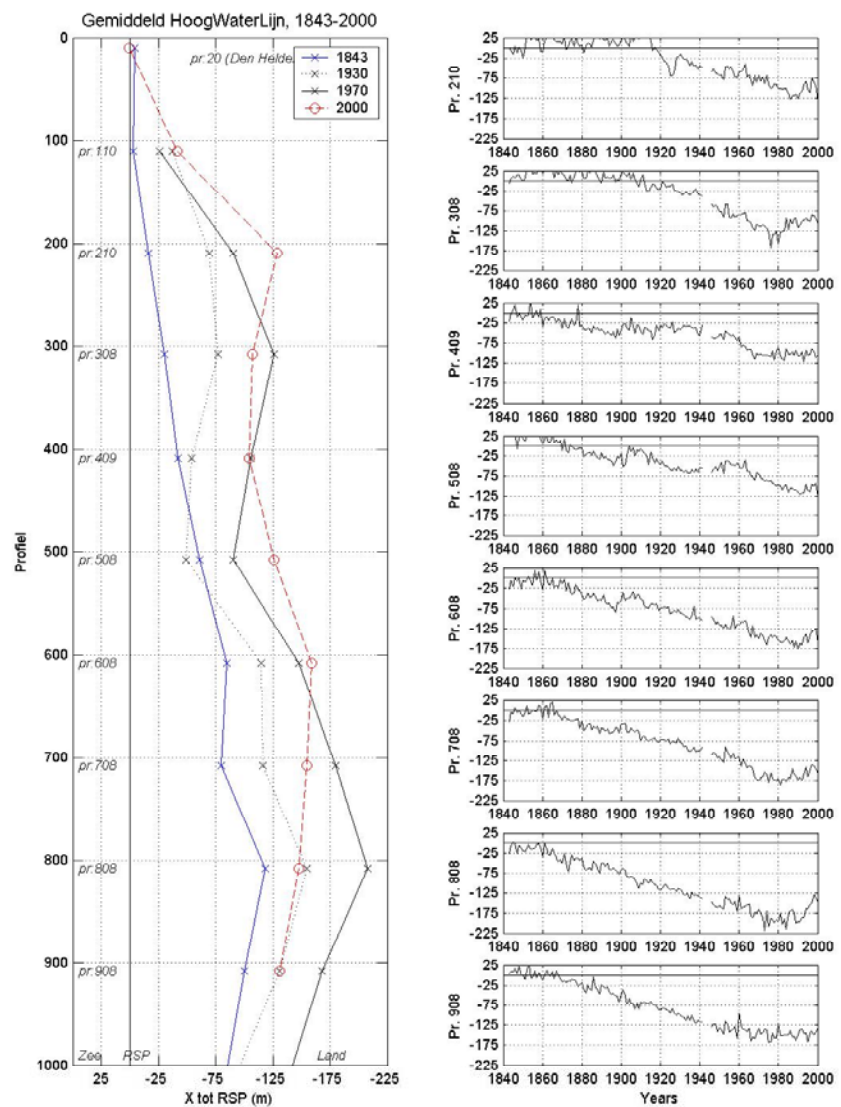
3.2 Lange termijn ontwikkeling van de kustlijn

Analyse van de metingen van de Gemiddeld Hoog Waterlijn (1843-2001) geeft een indicatie van de kustlijnontwikkeling (Figuur 3-9). De totale ontwikkeling wordt gedomineerd door achteruitgang van de kust. Deze is samengevat in Ter illustratie van de afvlakking van de kustachteruitgang sinds 1990 is in Figuur 3-10 de kustlijnontwikkeling van profiel 308 gedurende de periode 1985 - 2001 geplot. Het effect van zandsuppleties is duidelijk te onderscheiden in de sterke zeewaartse verplaatsing van de kustlijn in 1993 en 1997, ongeveer 30 tot 40m. Tabel 3-1 en Tabel 3-2, hierin zijn respectievelijk de migratie als migratiesnelheid per jaar voor de profielen gegeven.

Figuur 3-9:

De ontwikkeling van de Gemiddeld Hoog Waterlijn (1843-2000).

Aan de linkerzijde van de figuur is de ontwikkeling van het kustvak tussen Den Helder tot Callantsoog (Jarkus profielen 0 tot 1000), weergegeven voor de jaren 1843, 1930, 1970 en 2000. In de subfiguren aan de rechterzijde zijn alle metingen per geselecteerd profiel geplot. Hierin is (–) een landwaartse verplaatsing en (+) een zeewaartse verplaatsing



Tot 1970 vindt er een achteruitgang in het gehele kustvak plaats (met uitzondering van profiel 10, dat wordt vastgehouden door de Helderse Zeewering). Zowel in de periode vóór als ná afsluiting vindt er een gemiddelde kustachteruitgang plaats van respectievelijk 0,6 (1843 - 1930) en 1,2 m/jaar (1930-1970). Na 1970 lijkt de kust zich min of meer te stabiliseren, weergegeven door een gemiddelde kustvooruitgang van 13 m (1.31 m/jaar).

Gedurende de laatste periode is er een duidelijke ruimtelijke variatie in het gedrag van het kustvak te zien. Ten noorden van profiel 409 blijft de kustlijn in positie. In het gebied tussen profiel 409 en 608 vindt er achteruitgang plaats en ten zuiden hiervan is er een trend van zeewaartse verplaatsing.

Ter illustratie van de afvlakking van de kustachteruitgang sinds 1990 is in Figuur 3-10 de kustlijnontwikkeling van profiel 308 gedurende de periode 1985 - 2001 geplot. Het effect van zandsuppleties is duidelijk te onderscheiden in de sterke zeewaartse verplaatsing van de kustlijn in 1993 en 1997, ongeveer 30 tot 40m.

Tabel 3-1:

Migratie van Gemiddeld Hoog Water
positie (m tot RSP)

	20	110	210	308	409	508	608	708	808	908	Gem.
1843 – 1930	-3	+1	-14	-38	-32	-66	-63	-65	-107	-102	-49
1930 – 1990	-21	-42	-104	-87	-80	-69	-92	-104	-85	-58	-74
1990 – 2001	+3	-1	+6	+4	-3	0	+23	+20	+70	+9	+13
1843 - 2001	-21	-42	-112	-121	-114	-135	-131	-150	-122	-151	-110

Tabel 3-2:

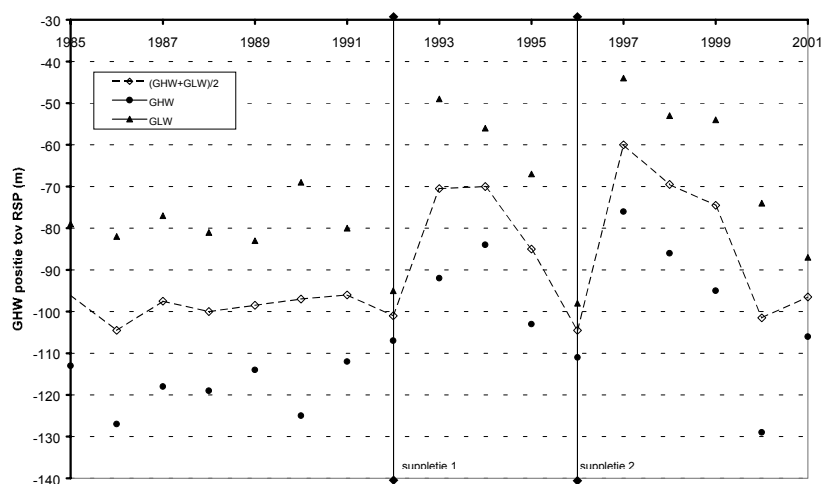
Migratie snelheid van Gemiddeld
Hoog Water (m/jaar)

	20	110	210	308	409	508	608	708	808	908	Gem.
1843 – 1930	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.8	-0.7	-0.8	-1.2	-1.2	-0.57
1930 – 1990	-0.3	-0.7	-1.7	-1.3	-1.3	-1.2	-1.5	-1.7	-1.4	-1.0	-1.23
1990 – 2001	+0.3	-0.1	+0.6	+0.4	-0.3	0.0	+2.3	+2.0	+7	+0.9	+1.31
1843 - 2001	0.1	-0.3	-0.7	-0.8	-0.7	-0.9	-0.8	-1.0	-0.8	-1.0	-0.70

Figuur 3-10:

Gemiddelde, Hoog en Laag Waterlijn
ter plaatse van profiel 308.

Na een zandsuppletie vindt er een sterke landwaartse verplaatsing plaats. De oorspronkelijke situatie (de positie voor suppletie) wordt na ongeveer 3 tot 4 jaar bereikt



4 Interactie Nieuwe Schulpengat en kust

4.1 Kust en Nieuwe Schulpengat (1965-2001)

In het vorige hoofdstuk is de lange termijn ontwikkeling van de gehele buitendelta beschreven. Deze beschrijving wordt verder aangevuld met een analyse van het recente gedrag van de interactie tussen de kust en de aangrenzende buitendelta. Hiervoor worden de ontwikkeling van de Momentane KustLijn positie en de ontwikkelingen van de Jarkus profielen geanalyseerd. De analyse richt zich op de periode 1965 tot 2001 en beslaat het kustvak tussen Den Helder en Callantsoog (profielen 20 - 1000).

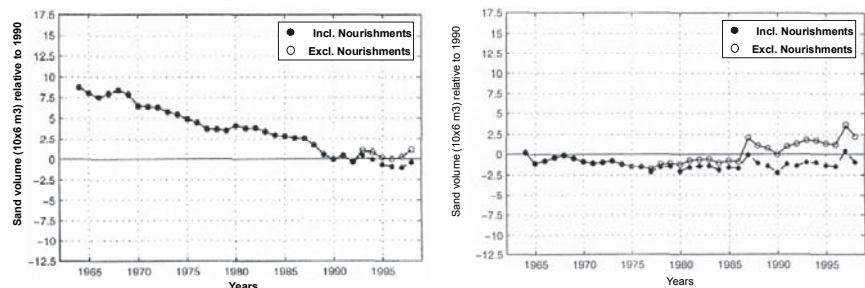
4.2 Grootschalige kustlijn ontwikkeling

4.2.1 Zandvolumes

In Figuur 4-1 worden twee zandbalansen getoond die het gebied beschrijven (Walhout, 2000). De zandvolumes zijn bepaald aan de hand van Jarkus metingen en geschaald met het aanwezige zandvolume in 1990. De linkerfiguur laat het verloop van het zandvolume in het kustvak direct grenzend aan het Nieuwe Schulpengat (begrensd door profielen 150 en 808) zien, gedurende de periode 1964 –1997. De ontwikkeling tot 1990 wordt gekenmerkt door een voortschrijdende erosie met een gemiddelde snelheid van $0,33 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Na 1990 neemt de erosiesnelheid sterk af. Met de inachtneming van zandsuppleties vindt er zelfs een (kleine) toename in zandvolume plaats.

Figuur 4-1:

- (a) Zand volume kustvak:
150–808 (links)
- (b) Zand volume kustvak:
808–1401 (rechts)



De rechterzijde van de figuur toont het zandvolume van het kustvak ten zuiden van het Nieuwe Schulpengat. Dit balansgebied bevindt zich in een overgangsgebied van buitendelta naar 'ongestoorde' kust: er vindt dus geen directe interactie met de hoofdgeulen van de buitendelta plaats. Het zandvolume, inclusief zandsuppleties, neemt langzaam toe. Na correctie voor zandsuppleties is er sprake van een relatief stabiel volume gedurende de gehele periode.

De ontwikkeling van de zandvolumes in deze twee kustvakken leidt tot de voorlopige conclusie dat er vòòr 1990 een structurele erosie van het noordelijke kustvak heeft plaatsgevonden. Deze erosie is mede gerelateerd aan de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat, zoals beschreven in Hoofdstuk 3. Sinds 1990 heeft het Nieuwe Schulpengat zich maximaal ontwikkeld en lijkt de erosie van de kust te zijn gestabiliseerd. Er vindt geen afname van de totale zandhoeveelheid plaats, alhoewel er lokaal wel erosieproblemen aanwezig zijn. Deze worden nader beschouwd door middel van een gedetailleerde analyse van de individuele Jarkus profielen binnen dit kustvlak.

4.2.2 MKL

Een duidelijk beeld van de ruimtelijke variatie in kustlijn ontwikkeling ter plaatse van de buitendelta wordt verkregen uit de veranderingen in MKL posities (Figuur 4-2). Het verloop van de MKL is consistent met het geobserveerde verloop van de GHW (Figuur 3-9) en zandvolume (Figuur 4-1). Het MKL verloop wordt samengevat in Tabel 4-1.

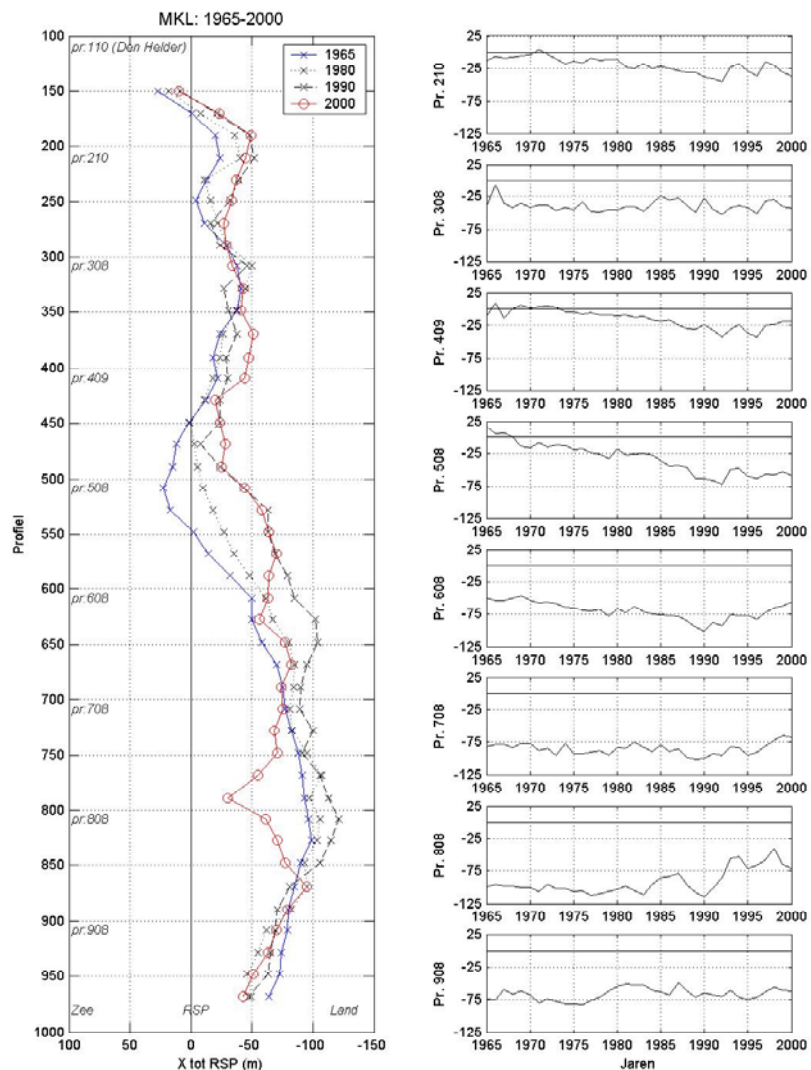
Er is een duidelijke trend van landwaartse migratie, met andere woorden: kusterosie, gedurende de periode 1965-1990 in het kustvlak direct grenzend aan het Nieuwe Schulpengat (profielen 100-908). De grootste landwaartse verplaatsingen vinden plaats in het gebied begrensd door profielen 508 tot 808. Sinds 1990 zijn de veranderingen aanmerkelijk kleiner. Erosie blijft plaatsvinden in het gebied begrensd door de profielen 308 en 608, terwijl ten zuiden hiervan een (sterke) zeewaartse verplaatsing van de MKL te zien is.

Figuur 4-2:
Ontwikkeling van de MKL
(1965-2000).

De figuur aan de linkerzijde geeft de MKL ontwikkeling weer in het kustvak Den Helder – Callantsoog (Jarkusprofielen 0 tot 1000), voor de jaren 1965, 1980, 1990 en 2000.

In de subfiguren aan de rechterzijde, zijn alle beschikbare metingen per geselecteerd Jarkusprofiel geplot.

In de figuren is (–) erosie en (+) sedimentatie van de kust



Door de definitie van de MKL (TAW, 1995) geeft deze vooral een beeld van de verplaatsing van het kustgedeelte rond de gemiddelde waterhoogte. Ter aanvulling hierop wordt het gedrag in de vooroever beschouwd door analyse van de volume veranderingen in het gebied van 0 tot 600m tot de RSP, begrenst door profielen 20 en 1000. In Figuur 4-3 worden de resultaten weergegeven voor het gehele kustvak voor een aantal geselecteerde jaren. Het berekende 'natte oppervlak' is uitgezet ten opzichte van het aanwezige 'natte oppervlak' van 1965. De resultaten voor de jaren 1970, 1980, 1990 and 2000 zijn geplot, waarbij een toename van het oppervlak erosie weergeeft en een afname sedimentatie.

Tabel 4-1:

Veranderingen in MKL positie (m tot RSP)

Jaren	210	308	409	508	608	708	808	908
1965 – 1990	-28	+8	-8	-66	-35	-11	-25	+11
1990 – 2000	+7	-12	-13	-1	+22	+14	+60	-1
1965 – 2000	-21	-4	-21	-67	-13	+3	+35	+10

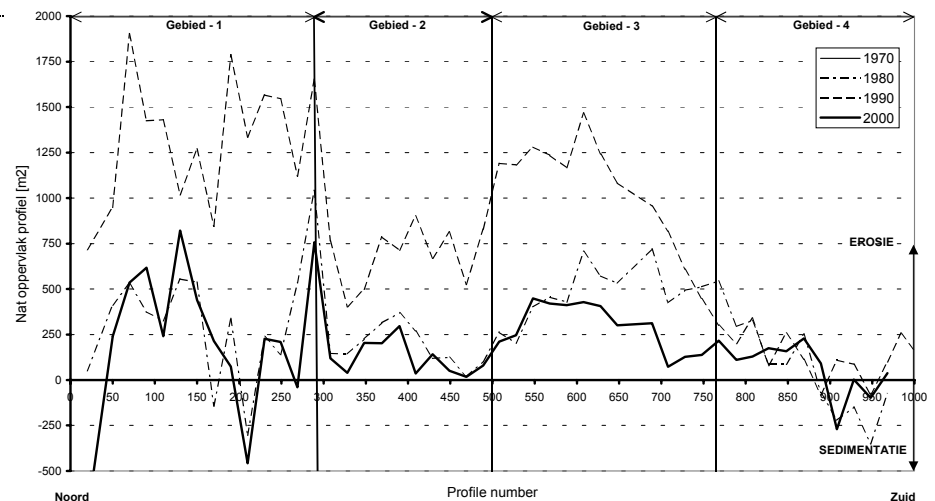
- = landwaartse migratie (erosie), + = zeewaartse verplaatsing (sedimentatie)

De resultaten komen overeen met de geobserveerde ontwikkeling van MKL en Zandvolume. Er vindt, gemiddeld over de totale periode, erosie in het gehele kustvak ten noorden van profiel 780 plaats. Ten zuiden van profiel 708 is de situatie stabiel. Het erosiegebied strekt zich voornamelijk uit in de directe invloedssfeer van het Nieuwe Schulpengat. Het is dan ook waarschijnlijk dat het grootste gedeelte van deze erosie gerelateerd is aan de ontwikkeling van vooral het Nieuwe Schulpengat langs de kust (zoals beschreven in Hoofdstuk 3).

Figuur 4-3:

Ontwikkeling 'Natte oppervlak' JARKUS profielen ten opzichte van 1965.

'Natte oppervlak' in deze definitie is het gebied tussen NAP en bodem begrenst en tussen x = 0 en 600 m



De geobserveerde ontwikkeling van de JARKUS profielen in de tijd geeft aan dat er een onderverdeling gemaakt kan worden in 4 deelgebieden, waarbinnen een andere ontwikkeling heeft plaatsgevonden. Deze deelgebieden worden weergegeven door gebied 1 t/m 4 in Figuur 4-3. Een korte beschrijving per deelgebied wordt hieronder gegeven. Een overzicht van de opgetreden veranderingen in de het gehele gebied kan gevonden worden in Figuur 4-6, die gebaseerd is op de waargenomen ligging van kust, geulen en platen in 1986 (Figuur 4-4) en in 2000 (Figuur 4-5)

Deelgebied 1 - Breewijd

De ontwikkelingen binnen dit deelgebied worden gedomineerd door een sterke erosie, vooral gedurende de periode 1980-1990. Sindsdien is de situatie relatief stabiel. De erosie wordt veroorzaakt door een sterke landwaartse migratie van het Nieuwe Schulpengat. Een gedetailleerde beschrijving van de profielontwikkeling wordt gegeven in sectie 4.3.1 aan de hand van analyse van profiel 210.

Deelgebied 2 - Nieuwe Schulpengat

Deelgebied 2 wordt gekenmerkt door een continue erosie vanaf 1965 tot 2000. Deze is waarschijnlijk gerelateerd aan de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat. Sinds 1990 is dit voornamelijk een rotatie en landwaartse migratie van het zuidelijke gedeelte van de geul. Een gedetailleerde beschrijving van de profielontwikkeling wordt gegeven in sectie 4.3.2 aan de hand van profiel 409.

Deelgebied 3 – Nieuwe Lands diep en Franse Bankje

De ontwikkeling van deelgebied 3 is identiek aan die in deelgebied 1. De dominante veranderingen vinden plaats in de periode 1980-1990. De erosie wordt vooral veroorzaakt door de ontwikkeling van de aangrenzende geul Nieuwe Lands Diep. Met een verminderde invloed van de geul in zuidelijke richting worden de veranderingen zuidwaarts kleiner. Een gedetailleerde beschrijving wordt gegeven aan de hand van profiel 608 in sectie 4.3.3.

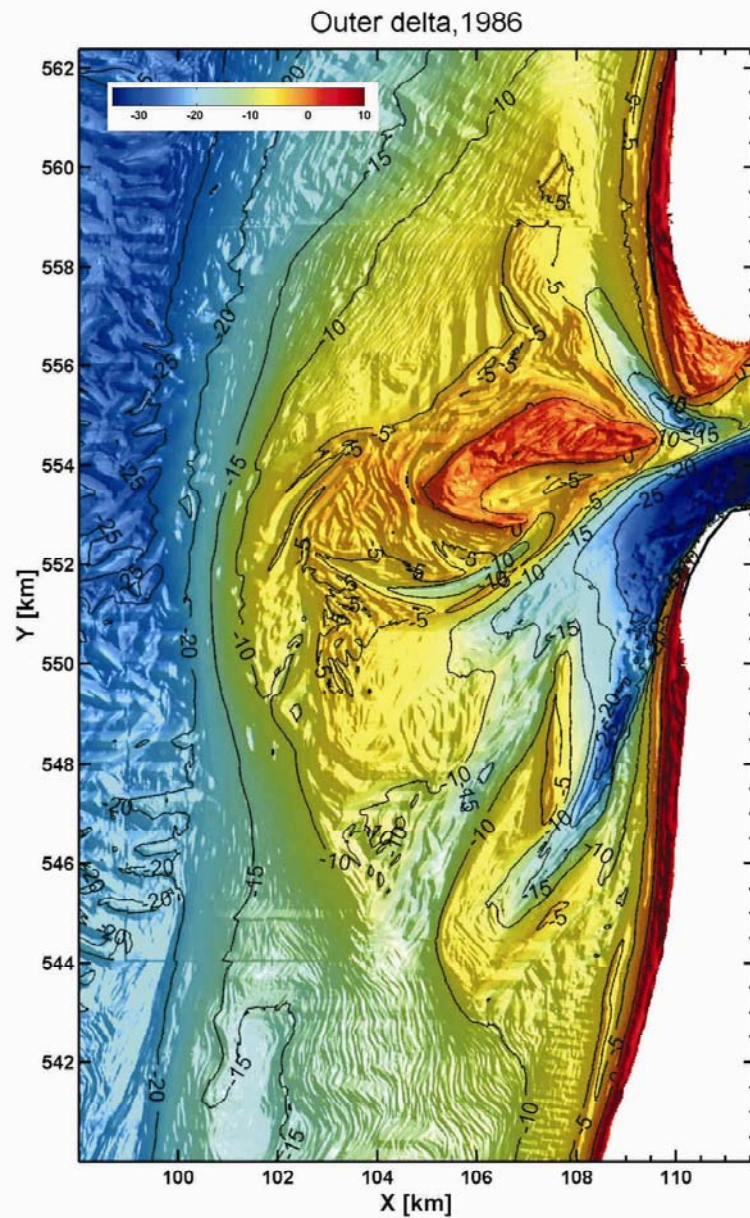
Deelgebied 4 – "Ongestoorde kust"

In het vierde gebied, ten zuiden van profiel 750 vinden relatief kleine wijzigingen plaats in de vorm van afwisselende periodes van erosie en sedimentatie. Vooral in de periode 1990-2000 vindt er sedimentatie plaats.

Figuur 4-4:

Geulen en platen op de buitendelta in 1986

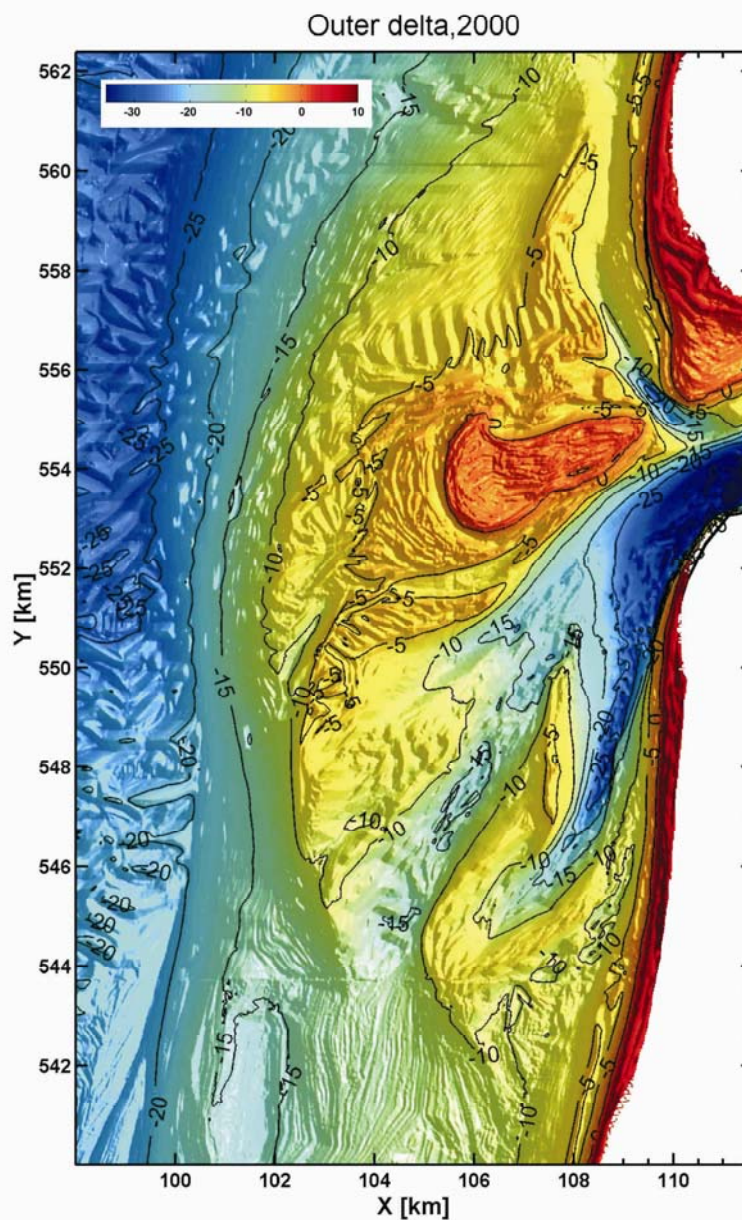
Opgebouwd uit metingen van 1986 en 1997 (ten zuiden van Y=544 km).



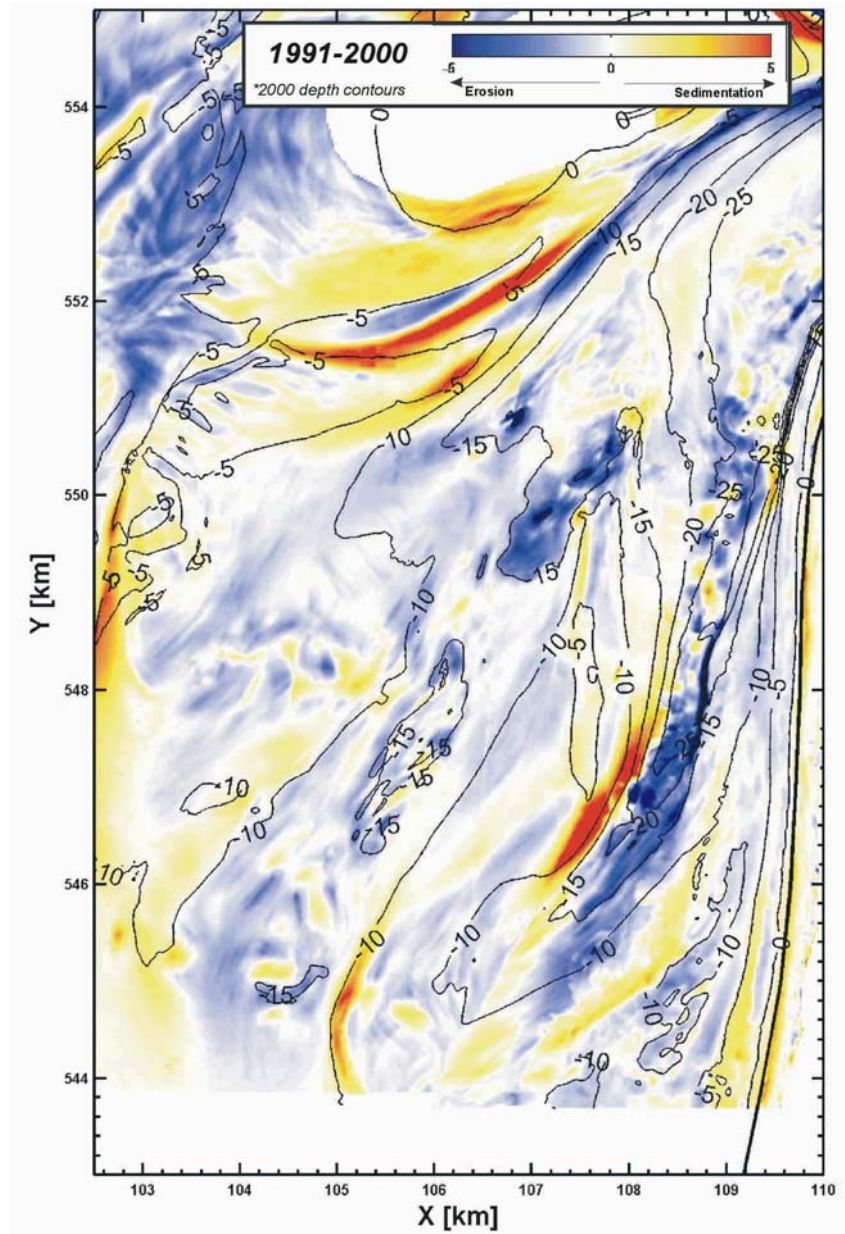
Figuur 4-5:

Geulen en platen op de buitendelta in 2000

Opgebouwd uit metingen van 2000 en 1997 (ten zuiden van Y=544 km).



Figuur 4-6:
Sedimentatie – erosie patroon
1991 - 2000

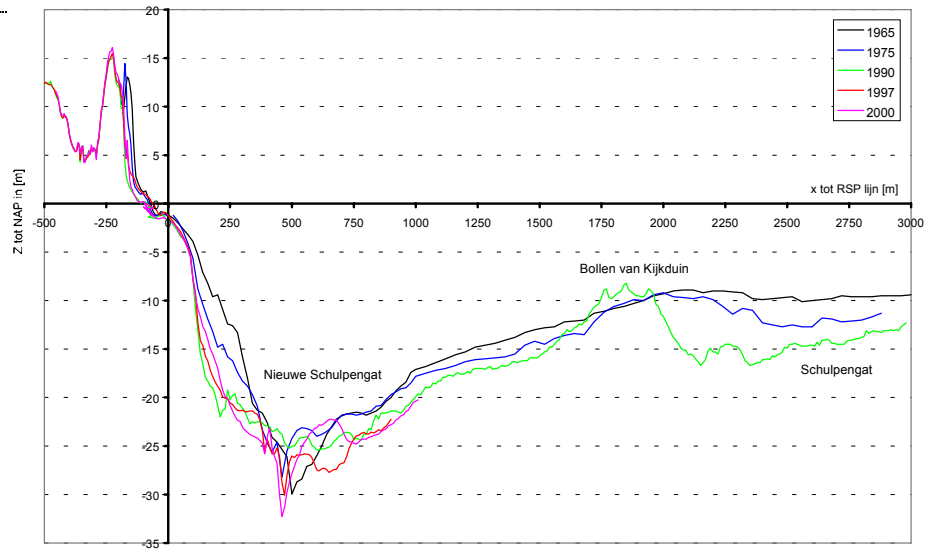


4.3 Beschrijving deelgebieden

4.3.1 Deelgebied 1: Breewijd (Profiel 210)

In het meest noordelijke deelgebied (1) ligt het Nieuwe Schulpengat direct langs de kustlijn. Door de relatief grote getijstroomsnelheden door deze geul wordt een grote invloed uitgeoefend op de zandhuishouding van de aanliggende kust. Een representatief profiel om het gedrag van dit deelgebied te beschrijven is aan de hand van profiel 210, weergegeven in Figuur 4-7. Het profiel doorsnijdt het Nieuwe Schulpengat, de Bollen van Kijkduin en het landwaartse gedeelte van het Schulpengat. Het diepe gedeelte van het Nieuwe Schulpengat (diepte -30m) grenst direct aan de kust, waarbij de surfzone overgaat in het zeer steile, landwaartse geultalud.

Figuur 4-7:
Jarkus profiel 210, ontwikkeling
gedurende 1965-2000



De ontwikkeling van het profiel laat een stabiel gedrag van het bovenste gedeelte van het profiel zien (duinvoet tot -5m NAP). Deze stabiliteit is waarschijnlijk gerelateerd aan de aanwezige kustbescherming in de vorm van strandhoofden die het profiel vastleggen. De dominante veranderingen vinden plaats in de vorm van een landwaartse verplaatsing van het diepe gedeelte (onder de -5m NAP) van het geultalud (zie ook Figuur 4-10). Dit heeft geresulteerd in een grote erosie en toename van de steilheid van de vooroever (van 1:20 in 1965 tot 1:7 in 1990).

In Figuur 4-7: wordt een enigszins vertekent beeld van de ontwikkeling van de maximale geuldiepte geschetst. Analyse van alle meetdata en de omringende profielen laat duidelijk een structurele toename van de geuldiepte zien tot 1990, naar een -30m NAP. Daarna wordt de maximale geuldiepte gekenmerkt door relatief grote fluctuaties, die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan migrerende mega-ribbels. Wel lijkt het diepe geul gedeelte zich enigszins te verbreden, wat ook in Figuur 4-4 tot 4-6 en in de profielen in de bijlage tot uitdrukking komt.

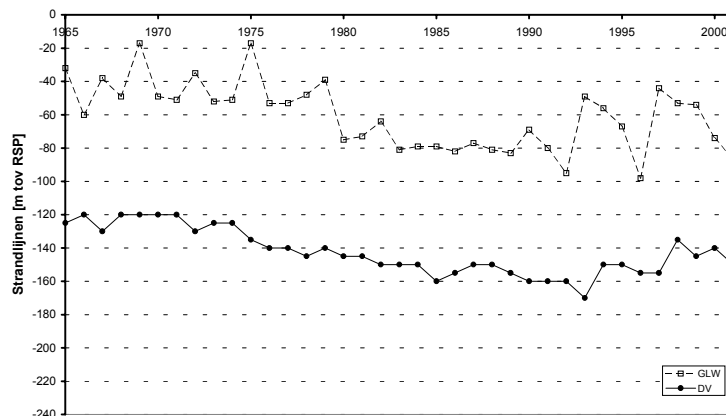
Naast de veranderingen in de vooroever vinden deze zich ook in het meer zeewaarts gelegen gedeelte van het dwarsprofiel plaats. Het zeewaartse geultalud van het Nieuwe Schulpengat verdiept en ook het Schulpengat ontwikkelt zich sterk. Tussen deze twee geulen vormt de bank Bollen van Kijkduin een duidelijke scheiding. De hoogte van de bank blijft stabiel op -9m terwijl de bankbreedte verminderd van een 500m in 1975, tot 200m in 2000.

Deze afname is voornamelijk het gevolg van een verdieping en landwaartse uitbreiding van het Schulpengat.

Omdat de breedte van de surfzone klein is en deze direct aansluit op het steile geultalud is de verwachte efficiëntie van zandsuppleties beperkt, door de verwachtte grote verliezen naar de geul. Daarnaast is het door de beperkte breedte van de surfzone het niet mogelijk hier een grote hoeveelheid suppletiezand kwijt te kunnen. In dit soort profielen is het misschien mogelijk om zandsuppleties in de vorm van geulwandstabilisaties (Hordijk, 2002) uit te voeren.

Figuur 4-8:

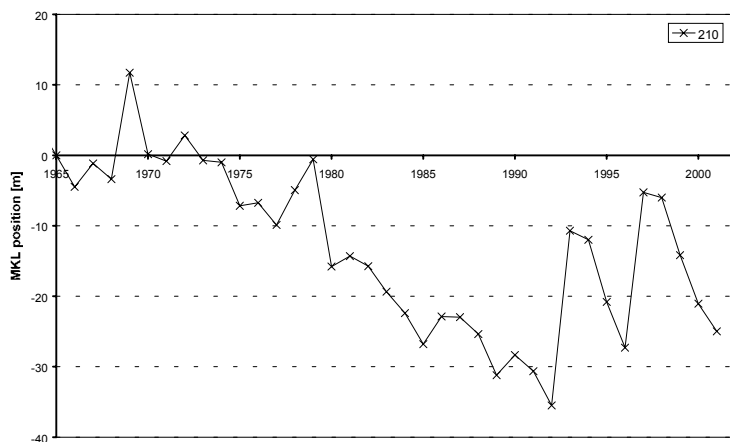
Profiel 210, ontwikkeling strandlijnen: GLW en DV



De landwaartse verplaatsing van de GLW en DV, -40m en -30m, vindt vooral plaats gedurende de periode 1975 – 1985, waarna de ligging stabiliseert (Figuur 4-8). De grote fluctuaties (tot 50m) in GLW ligging zijn gerelateerd aan zand suppleties. De afstand tussen de twee lijnen is een maat voor de breedte van het strand. Deze blijft gedurende de gehele periode stabiel, ongeveer 60-80m. De MKL ontwikkeling laat duidelijk een afname van de zandhoeveelheid zien gedurende de periode 1975-1990 (Figuur 4-9). Sindsdien neemt de zandhoeveelheid iets toe door uitgevoerde zand suppleties (te zien in de vorm van de grote fluctuaties). Na een zandsuppletie neemt het volume sterk af en in een drie jaar tijd wordt het oorspronkelijke volume terugbereikt.

Figuur 4-9:

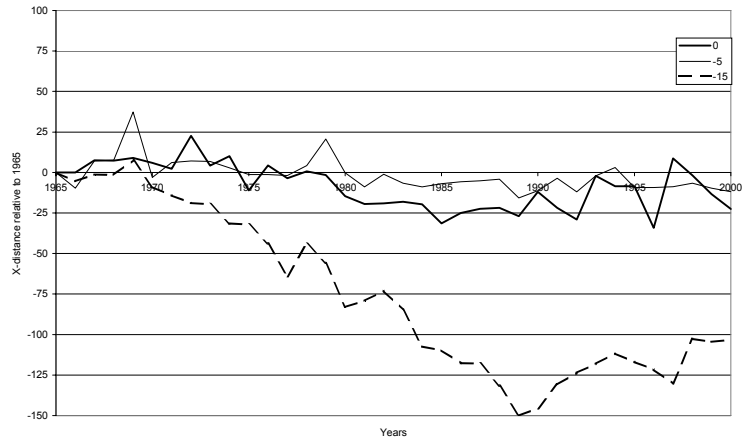
Profiel 210, ontwikkeling MKL



De verplaatsing van het snijpunt van de 0, -5m en -15m met het binnengeultalud geeft een beeld van de geulontwikkeling. Er is nauwelijks verplaatsing van de 0 en -5m contour. De grote verplaatsing van de -15m contour (ongeveer 125m) geeft de versteiling van het binnen geul talud weer, dat optreedt tot ongeveer 1990.

Figuur 4-10:

Profiel 210, verplaatsing contouren

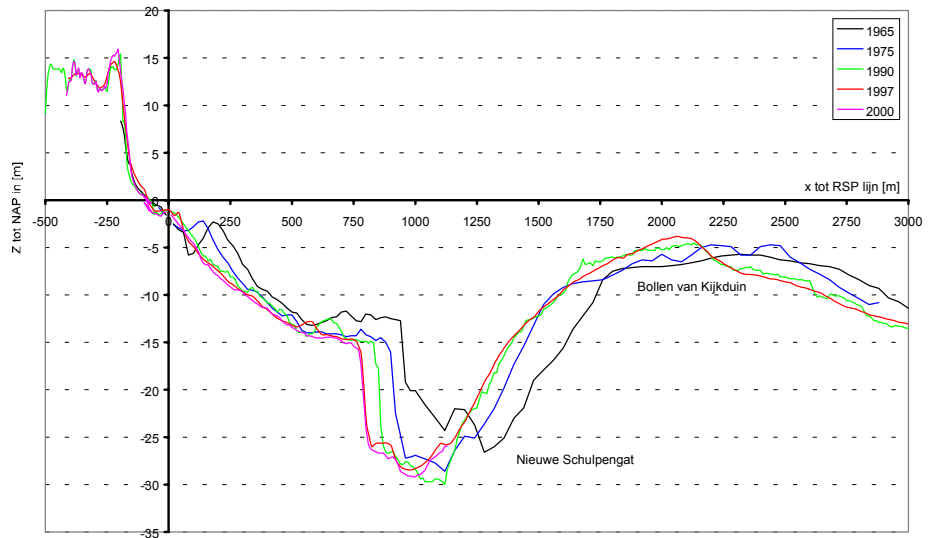


4.3.2 Deelgebied 2: Bollen van Kijkduin (Profiel 409)

In Figuur 4-11 en in Figuren 8-1 en 8-2 in de bijlagen is duidelijk het tweeledige karakter van de geul het Nieuwe Schulpengat te zien. Het geulgedeelte langs de kust is relatief ondiep (ongeveer -15m) in vergelijking tot het diepe gedeelte (met een diepte van -20 tot -30m) dat zeewaarts langs de Bollen van Kijkduin ligt. De ontwikkeling van de profielen 308 tot 508 worden gekenmerkt door een relatief kleine erosie in het ondiepe geul gedeelte en grote veranderingen van het diepe geul gedeelte. De diepe geuldoorsnede blijft stabiel in oppervlak, maar er is een sterke landwaartse verplaatsing te zien, waardoor de breedte van het ondiepe gedeelte wordt verkleind. De overgang van diep naar ondiep gedeelte wordt gevormd door een zeer steil talud. Dit zou kunnen duiden op een ander samenstelling van de bodem (resistente laag).

Figuur 4-11:

Jarkus profiel 409, ontwikkeling gedurende 1965-2000



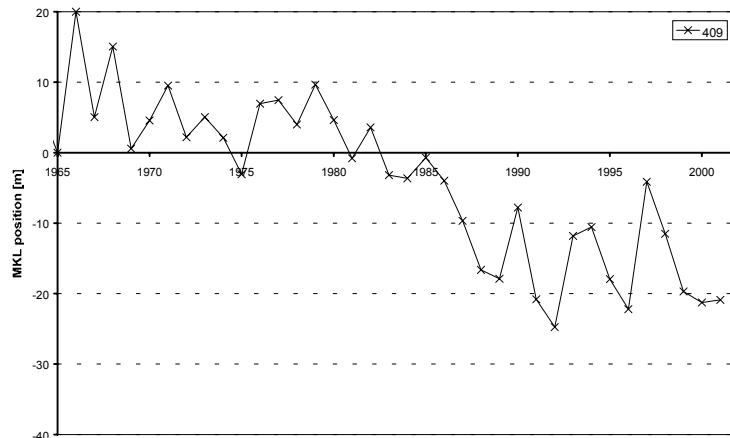
De landwaartse migratie van het diepe geulgedeelte is van groot belang voor de kustontwikkeling. Naarmate de geul dichterbij de kust komt te liggen is er een grotere erosie van de kustlijn te verwachten. Niet alleen door toenemende langstransporten, maar ook door een toenemend dwarstransportverlies van de kust naar de geul.

In de surfzone is het verdwijnen van de in 1965 nog aanwezige brekerbank te zien. Dit illustreert de veranderde balans in dwars- versus langstransport. Bankvorming en migratie is gerelateerd aan golfgedreven dwarstransport (Ruessink et al., 2000, 2001). Met de toenemende debieten door het Nieuwe Schulpengat nemen de zowel de langsstromingen als langstransporten toe, waardoor ze bankopbouw door dwarstransport verhinderen. Daarnaast zijn de Bollen van Kijkduin in hoogte toegenomen, waardoor er meer golfbreking op de Bollen in plaats van op de kust plaatsvindt. De hierboven geschetste ontwikkeling wordt weergegeven door Profiel 409 in Figuur 4-11. Het profiel doorsnijdt het Nieuwe Schulpengat en de Bollen van Kijkduin. De profielontwikkeling laat zeer duidelijk de erosie van de vooroever en landwaartse migratie van het diepe geulgedeelte en Bollen van Kijkduin zien.

De MKL wordt gedomineerd door een sterke erosie (achteruitgang) gedurende de periode 1980-1990 (figuur 4-12). Sinds 1990 is er weer een stabiele situatie aanwezig met grote fluctuaties (ongeveer 15m) ten gevolge van zandsuppleties.

Figuur 4-12:

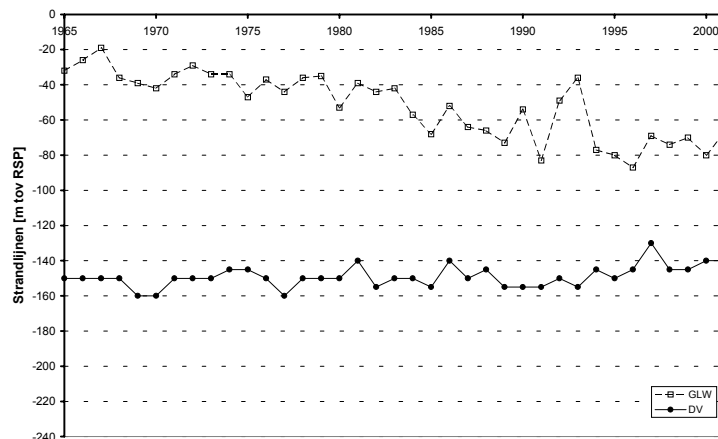
Profiel 409, ontwikkeling MKL.



De duinvoet positie blijft tot 1995 vrij stabiel in positie, waarna een kleine zeewaartse migratie optreedt (figuur 4-13). De GLW lijn vertoont wel een sterke landwaartse verplaatsing van ongeveer 40m tot 1995. Hierdoor neemt ook de breedte van het strand sterk af.

Figuur 4-13:

Profiel 409, ontwikkeling strandlijnen: GLW en DV.



Het diepe geuloppervlak (=het oppervlak tussen de geulbodem en de -15m contour) blijft constant tussen de 22250 en 23000 m² met een geulbreedte van 1200 tot 1300 m ter plaatse van de -15m contour.

De migratie van dit diepe geulgedeelte wordt duidelijk weergegeven door de positie van de -20m diepte contour op het landwaartse geultalud (figuur 4-14). De -20 m contour ligt op het binnen talud van het steile geulgedeelte. De verplaatsing geeft een duidelijk beeld van de migratie van dit geulgedeelte, in totaal een 200m in landwaartse richting. Sinds 1995 lijkt er een stabilisatie op te treden. Zo'n stabilisatie is ook te zien in 1985-1990, waarna de verplaatsing weer toenam. Dit kan duiden op de aanwezigheid van resistente lagen in het profiel. Het is dus moeilijk te voorspellen of de huidige stabilisatie ook tijdelijk van aard is.

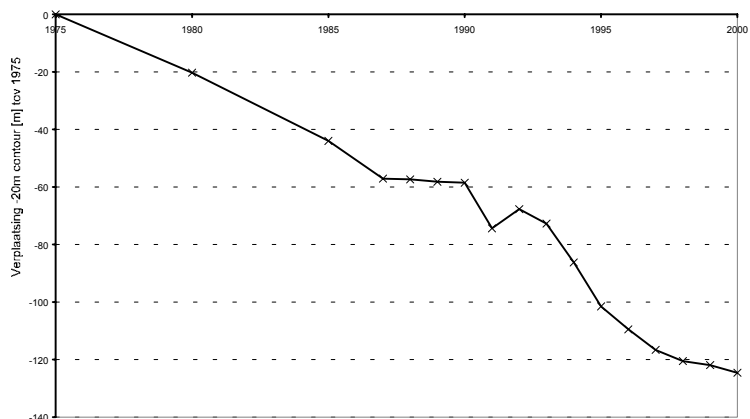
Tot 1997 is er een continue landwaartse verplaatsing van gemiddeld 5 m/jaar. Met een platform breedte van zo'n 250 tot 350 m is er (op korte tijdschaal) nog voldoende marge in het profiel aanwezig. Indien de geul dicht tegen de kust komt te liggen en er een directe interactie tussen strand (ondiepe

vooroever) en geul plaatsvindt is een profiel ontwikkeling zoals geobserveerd in profiel 210 en 308 te verwachten.

Sinds 1997 vindt er een sterke afname van de migratiesnelheid plaats, met de geulpositie in 1997 die gelijk is aan de geulpositie in 2000. Dit zou gerelateerd kunnen zijn aan het bereiken van een resistente laag, waardoor de landwaartse migratie wordt afgeremd. Een tijdelijk stabilisatie van de diepe geulpositie was al eerder te observeren. De -20 m contour ligt op het binnen talud van het steile geulgedeelte. De verplaatsing geeft een duidelijk beeld van de migratie van dit geulgedeelte, in totaal een 200m in landwaartse richting. Sinds 1995 lijkt er een stabilisatie op te treden. Zo'n stabilisatie is ook te zien in 1985-1990, waarna de verplaatsing weer toenam. Dit kan duiden op de aanwezigheid van resistente lagen in het profiel. Het is dus moeilijk te voorspellen of de huidige stabilisatie ook tijdelijk van aard is. De geulmigratie of stabilisatie is van groot belang voor de toekomstige kustlijnontwikkeling.

Figuur 4-14:

Profiel 409, verplaatsing contouren.

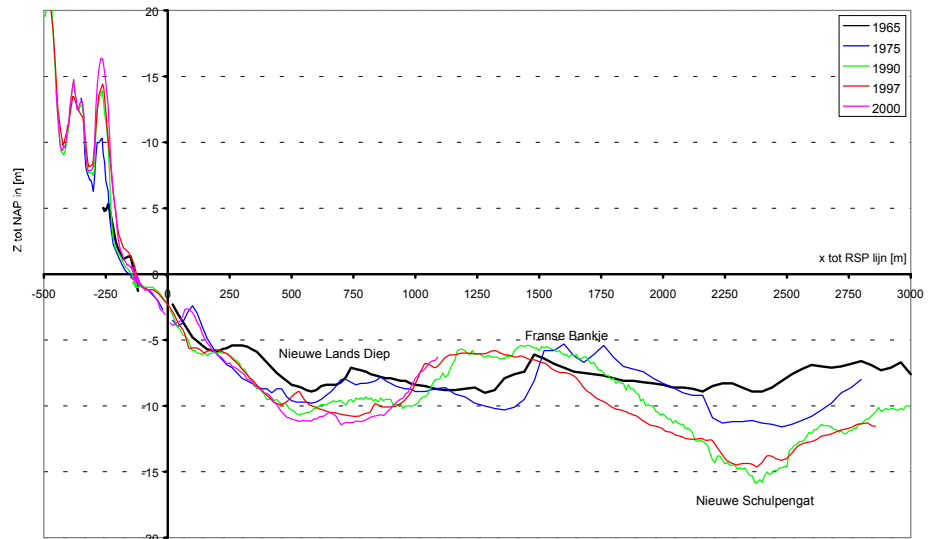


4.3.3 Deelgebied 3: Franse Bankje (Profiel 708)

In zuidelijke richting neemt de invloed van de buitendelta sterk af. Het kustgedeelte tussen de profielen 608 tot 908 vormt een overgangsgebied van het door het Nieuwe Schulpengat gedomineerde noordelijke kustvak naar het relatief ongestoorde kustvlak ten zuiden hiervan. Het gedrag van de (waarschijnlijk) vloedgedomineerde geul Nieuwe Lands diep en het Franse Bankje bepalen in grote mate de ontwikkeling van de vooroever.

Figuur 4-15:

Jarkus profiel 708, ontwikkeling gedurende 1965-2000



Profiel 708 laat een voor dit kustvak representatieve dwarsdoorsnede zien. Deze doorsnijdt het Nieuwe Lands Diep langs de kust en het Franse Bankje en Nieuwe Schulpengat zeewaarts hiervan. Het Franse Bankje vormt een scheiding tussen de twee geulen. Er mag worden verondersteld dat er geen directe invloed van het Nieuwe Schulpengat op de kust plaatsvindt, zoals in de meer noordelijk gelegen profielen.

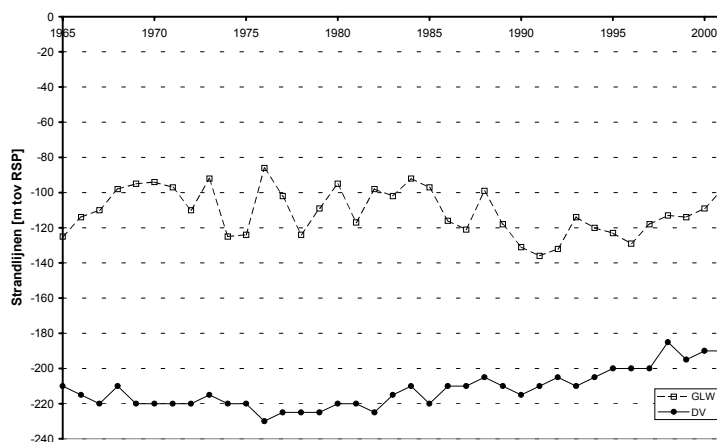
Volgens analyse van de MKL ontwikkeling vindt er in dit kustvlak sedimentatie plaats rond de waterlijn. In tegenstelling tot de vooroever, waar erosie plaatsvindt. Dit tegenstrijdig gedrag wordt veroorzaakt door de ontwikkeling en landwaartse verplaatsing van het Franse Bankje. Hierdoor vindt er meer golfafscherming plaats, daardoor kan er aan de kustlijn sedimentatie optreden. Tevens verkleint de landwaartse verplaatsing van het bankje de geuldoorsnede van het Nieuwe Lands diep. Bij een gelijkblijvend debiet zal er een toename van de stroomsnelheden plaatsvinden waardoor de geul verdiept.

De landwaartse verplaatsing van het Franse Bankje wordt veroorzaakt door een landwaardse verplaatsing van het Nieuwe Schulpengat. Na 1995 lijkt de verplaatsing van het Franse Bankje te stabiliseren. Een zelfde observatie was ook te zien in de stabilisatie van de verplaatsing van het Nieuwe Schulpengat.

De GLW positie blijft redelijk stabiel gedurende de gehele periode (Figuur 4-16). De Duinvoet verplaatst zich sinds 1980 langzaam zeewaarts, in totaal ongeveer 30m.

Figuur 4-16:

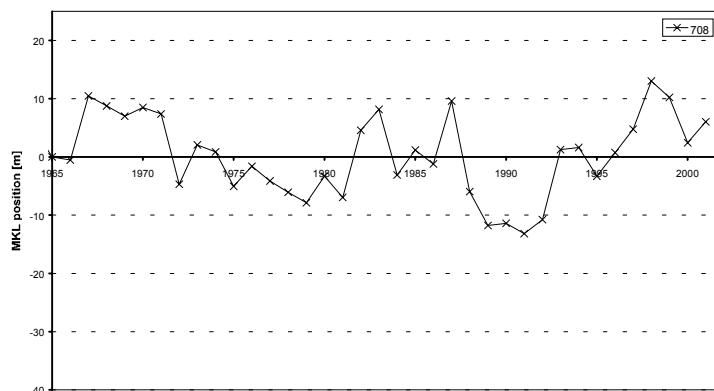
Profiel 210 ontwikkeling strandlijnen:
GLW en DV



De MKL ontwikkeling laat een soortgelijk beeld zien (Figuur 4-17), gedomineerd door fluctuaties rond een stabiele positie. Gedurende de periode 1985-1990 is er een tijdelijke afname van de zandhoeveelheid te zien, waarna deze weer sterk toeneemt.

Figuur 4-17:

Profiel 210, ontwikkeling MKL



5 Conclusies morfologische ontwikkelingen

De studie is gericht op een kustvak met een lengte van slechts 8 km, van de Helderse Zeewering tot Julianadorp. Ondanks de beperkte omvang van het studiegebied zijn er grote verschillen in de vorm van de kustprofielen en de ontwikkeling van de kustlijn. De verschillen zijn toe te schrijven aan de interactie van de kust met de aangrenzende buitendelta van het Zeegat van Texel.

De ontwikkeling van de buitendelta wordt onderverdeeld in drie perioden, op basis van het grootschalige buitendeltagedrag en de variabiliteit in sedimentatie-erosie patronen. De ontwikkeling van het zuidelijke gedeelte van de buitendelta voor de periode 1930-2000 wordt schematisch weergegeven in Tabel 5-1 en Figuur 5-1. De veronderstelde onderliggende mechanismen worden weergegeven in Figuur 5-2.

De eerste periode, voor afsluiting van de Zuiderzee, wordt gekenmerkt door het "natuurlijke", dynamisch gedrag van de buitendelta. Gedurende de tweede periode, 1933-1975, zijn er grote veranderingen opgetreden in geul- en plaatligging op de buitendelta. Deze veranderingen zijn voornamelijk het gevolg van de effecten van de afsluiting van de Zuiderzee (Elias, 2003b). Tijdens de derde periode, vanaf 1975, zijn de veranderingen veel kleiner, met relatief stabiele posities van geulen en platen op het zuidelijke gedeelte van de buitendelta.

Het grootschalige buitendeltagedrag is van grote invloed geweest op de ontwikkeling van de aangrenzende kust. Met name het ontstaan en de ontwikkeling van de getijdegeulen Nieuwe Schulpengat en, in mindere mate, het Nieuwe Landsdiep zijn belangrijk voor de kust. Tot ongeveer 1990 is er een duidelijke kustachteruitgang, die gerelateerd is aan de groei en zuidelijke verlenging van het Nieuwe Schulpengat. Sinds 1990 zijn de veranderingen in zowel de geul als het aangrenzend kustvak klein, doordat het Nieuwe Schulpengat zijn maximale uitbouw heeft bereikt. Het totale zandvolume van het gehele kustvak neemt na 1990 zelfs iets toe, mede door de in het gebied uitgevoerde strandsuppleties. Allen in het gebied rond profiel 409 vindt na 1990 doorgaande erosie plaats, waarschijnlijk omdat het Nieuwe Schulpengat hier landwaarts verplaatst.

Voor de periode na 1975 wordt een onderscheid gemaakt in het kustgedrag van vier gebieden:

- Het meest noordelijke gebied wordt begrensd door de Helsdeur en Breewijd. De stabiele positie van de aanliggende kust is gerelateerd aan de aanwezige kustbescherming (steenbestortingen). De geulen Helsdeur en Breewijd namen sterk in diepte toe tot ongeveer 1990. Sindsdien blijft de Helsdeur stabiel, terwijl de Breewijd nog iets vergroot.
- Het tweede deelgebied beschrijft het kustvak grenzende aan het Nieuwe Schulpengat. In dit gebied is er een continue trend van erosie. Eerst was deze erosie het gevolg van een groei van de dwarsdoorsnede van het Nieuwe Schulpengat, maar tegenwoordig resulteert deze vooral uit de landwaartse verplaatsing. De landwaartse verplaatsing van het Nieuwe

Schulpengat gaat samen met een landwaartse verplaatsing van de Bollen van Kijkduin. Deze landwaartse verplaatsing, met directe gevolgen voor de kustontwikkeling, gaat door tot aan het 'knikpunt' in het Nieuwe Schulpengat.

- Ten zuiden hiervan wordt het derde deelgebied gedomineerd door de ontwikkeling van de geul Nieuwe Landsdiep. Op de diepe delene van het kustprofiel vindt erosie plaats van de geulbodem van het Nieuwe Landsdiep. Met het landwaarts verplaatsen van het Franse Bankje wordt de geulbreedte verkleind en neemt de diepte van de geul toe. De landwaartse verplaatsing van het Nieuwe Landsdiep is gekoppeld aan de landwaartse verplaatsing van het Fransche Bankje, die op zijn beurt weer verband houdt met de landwaartse verplaatsing van het Nieuwe Schulpengat. Hoger in het kustprofiel, langs de kustlijn, vindt er een tegenovergesteld gedrag plaats. Door golfbreking op het Franse Bankje ontstaat een luwtegebied aan de kust, waar sedimentatie plaats vindt.
- Het meest zuidelijke, deelgebied is een relatief "ongestoorde" kust waar geen directe interactie met geulen op de buitendelta plaatsvindt. De veranderingen in dit deelgebied zijn klein in verhouding tot de ontwikkelingen van de drie noordelijke deelgebieden.

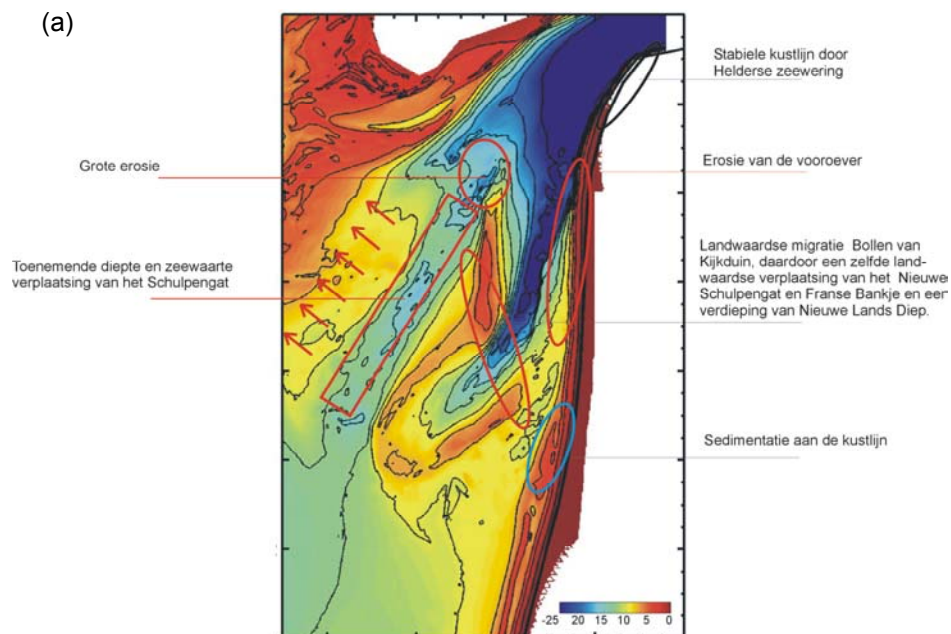
Tabel 5-1:

Samenvatting ontwikkeling geulen en platen op de zuidelijke helft van de buitendelta.

	<1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Buitendelta	dynamisch gedrag	Gedrag gedomineerd door de aanpassing aan de gevolgen van Afsluiting Zuiderzee.													
Helsdeur		Tegen de klok in' rotatie van de Helsdeur. Landwaartse migratie, zuidwaartse verlenging en groei Toenemende diepte. Toenemend debiet (Marsdiep tot $\approx 2070 \times 10^6 \text{ m}^3$). Toenemende dwarsdoorsnede (ongeveer 20%). Stabiele kustlijnligging door zeewering.													
Breewijd		Grote veranderingen ten gevolge van de ontwikkeling als dominante ebgeul Toenemende debieten en stroomsnelheden door de geul Toenemende diepte en breedte Landwaartse verplaatsing en versteiling binnen geultalud (max 1:3.5).													
Schulpengat	Ontwikkeling vooral van het Noordelijke geul gedeelte. Sinds 1956 gesplitst in 2 aparte, evenwijdig liggende geulen, waarvan het Schulpengat het meest zeewaarts ligt.	Toenemende diepte tot gemiddeld -15m. Toenemende breedte, voornamelijk ten gevolge van een zeewaartse uitbouw. en erosie van de noordelijke tip van de Bollen van Kijkduin.													
Nieuwe Schulpengat		Zuidwaartse verlenging en groei van de geul. Ter plaatse van profiel 308 en 409 voornamelijk migratie van de geul. In de andere profielen toenemend geuloppervlak. Duidelijk onderscheid in de oriëntatie van het noordelijke en zuidelijke geulgedeelte (ZZW en ZW respectievelijk). Erosie van de voorreever en kustlijn.													
Nieuwe Lands Diep	Klein geultje tussen Franse Bankje en aanliggende kust.	Ontwikkeling van de geul samenhangend met de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat, als uitwijkgeul voor de door het Franse bankje geblokkeerde ebstroming. Nieuwe Schulpengat ontwikkeld langs de zo gevormde ebschaar.													
		Maximum lengte bereikt in 1990 Stabiele kustlijn (volgens MKL en zandvolumes). Vooral rotatie en landwaartse migratie tgv de verplaatsing van de Bollen van Kijkduin. In de voorreever van dit gebied erosie van de kust.													
		Landwaartse migratie Franse Bankje verkleint de geul breedte en vergroot de diepte. Door golf afscherming sedimentatie van de kustlijn.													

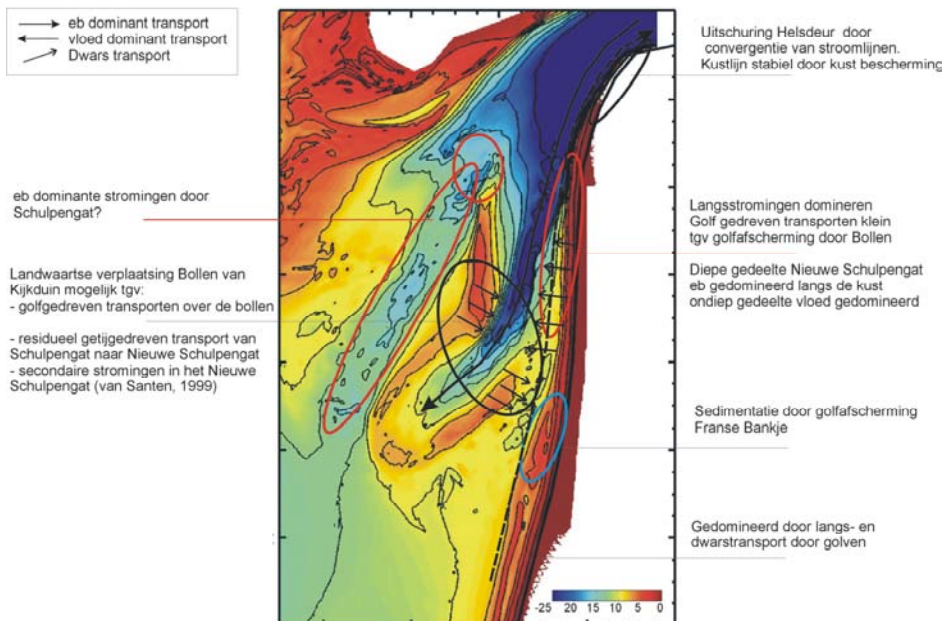
Figuur 5-1:

(a): Sedimentatie-erosie vanuit de ontwikkeling 1990-2000



Figuur 5-2:

(b) Afgeleide mechanismen en transport richtingen



6 Verwachte morfologische ontwikkelingen en aanbevelingen voor het kustbeheer

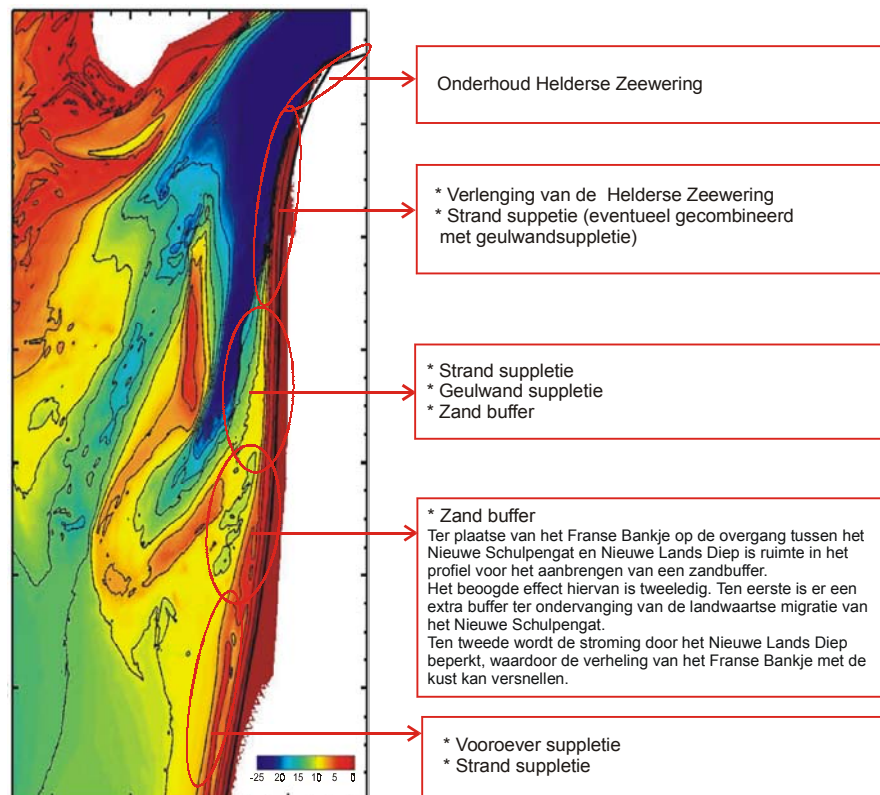
6.1 Korte termijn (tot 10 jaar)

Tot 1990 heeft toename van lengte en grootte van de getijdegeul Nieuwe Schulpengat de kustlijnontwikkeling in het kustgebied van de Helderse Zeewering tot aan Julianadorp bepaald. Sinds 1990 is de positie van de geul relatief stabiel en zijn de veranderingen van de aangrenzende kust klein. De verwachting is dat er zich op korte termijn geen grote veranderingen zullen voordoen in deze ontwikkelingen.

Van nature verliest de kust in dit gebied voortdurend zand, dat gecompenseerd wordt door het uitvoeren van zandsuppleties. Het totale aanwezige zandvolume is sinds 1990 stabiel, zodat geconstateerd kan worden dat het gevoerde suppletiebeleid succesvol is. Het zandverlies en daarmee het benodigde suppletievolume zal niet veranderen, zolang zich, volgens verwachting, geen grote veranderingen in de morfologische ontwikkelingen voordoen. De verwachte ontwikkelingen voor de vier deelgebieden en de mogelijke beheersingrepen worden hieronder beschreven (samengevat in Figuur 6-1).

Figuur 6-1:

Mogelijke interventies kustvak Den Helder – Julianadorp.



6.1.1 Deelgebied 1: Breewijd

Ter plaatse van de Helsdeur worden geen grote veranderingen verwacht. Door de aanwezigheid van de Helderse Zeewering is de kustlijn stabiel. De ontwikkeling van de maximale diepte en het sedimentatie-erosie patroon (1991-2000) wijzen erop dat de Helsdeur sinds 1990 is gestabiliseerd.

Het strand direct ten zuiden van de Helderse Zeewering is relatief smal, waardoor bij het uitvoeren van zandsuppleties in dit deelgebied een beperkte hoeveelheid zand per strekkende meter kan worden aangebracht. De levensduur van strandsuppleties is laag door de relatief grote zandverliezen naar de geul. Voor het handhaven van het zandvolume van het strand en de ondiepe vooroever (MKL-zone) zullen ook in de toekomst strandsuppleties moeten worden uitgevoerd.

De Breewijd blijft een erosieve trend vertonen, omdat het diepe gedeelte van de geul verbreedt, maar dit komt niet direct tot uitdrukking in de kustontwikkeling. De geul bevindt zich direct onder de kust, met een steil talud. De teen van het talud is vastgelegd door steenbestortingen. De bestorting dient voldoende onderhouden te worden, om te voorkomen dat een verdere verbreding van de Breewijd de bestorting ondermijnt. Het doorgaand landwaarts verplaatsen van de geulwand van de Breewijd kan een aanleiding zijn om de steenbestorting zuidwaarts te verlengen. Mogelijk is het toepassen van een geulwandsuppletie op het geultalud een alternatief voor het uitbreiden van de harde verdediging. Deze nieuwe suppletietechniek is in 2001 voor het eerst op kleine schaal (10.000 m³) toegepast in de getijdegeul Oostgat van de Westerschelde (Hordijk, 2002) en in 2003 op grotere schaal (1.165.000 m³) op de zuidwestkust van Texel. Evaluatie van deze geulwandsuppleties kan duidelijkheid verschaffen over de mogelijkheden voor dit deelgebied. Uitgaande van de huidige snelheid van verplaatsen kan hierover in de komende 3 tot 6 jaar een beslissing over worden genomen.

6.1.2 Deelgebied 2: Nieuwe Schulpengat

In deelgebied 2 is sprake van structurele kusterosie ter plaatse van het knikpunt in het Nieuwe Schulpengat, aan de zuidelijke zijde van de Bollen van Kijkduin (profiel 409). De erosie is gerelateerd aan de uitbocht van de geul, waardoor deze bij het knikpunt landwaarts verplaatst. De landwaartse verplaatsing lijkt te zijn afgenomen na 1995, maar de beschouwde periode is te kort om vast te stellen of de afname blijvend of tijdelijk is. De duidelijke tweedeling in de kustprofielen, met een ondiep platform en een diep geulgedeelte lijkt te duiden op de aanwezigheid van resistente lagen in de bodem. De geulmigratie en de migratiesnelheid zal afhangen van de aanwezige bodemsamenstelling en variaties daarin. Het is mogelijk dat de geconstateerde afname van de landwaartse verplaatsing het gevolg is van het bereiken van een resistente laag.

Bij de verwachte voortschrijdende landwaartse geulverplaatsing vormt het platform een natuurlijke buffer tussen geul en kust. De breedte van deze buffer neemt toe van noord naar zuid, van nul tot enkele honderden meters. Het migrerende diepe geulgedeelte verkleint de breedte van dit platform. Uitgaande van de huidige landwaartse verplaatsingssnelheid betekent dat met breedte van het platform, het nog tientallen jaren duurt voordat de geul direct onder de kust ligt. De kustveiligheid is de komende tien jaar in ieder geval niet in het geding. Naarmate de geul dichterbij de kust ligt zal het zandverlies van de kust en vooroever waarschijnlijk toenemen, waarmee ook de benodigde suppletie-inspanning zal toenemen.

Door de aanwezigheid van het platform voor de kust is in dit deelgebied ruimte voor het aanbrengen van een onderwatersuppletie. Het grotere zandvolume van een onderwatersuppletie (ten opzichte van strandsuppleties) levert een belangrijke bijdrage aan het op peil houden van het zandfundament van de Nederlandse kust (Mulder, 2000). De ontwikkeling van een onderwatersuppletie zal in dit gebied waarschijnlijk anders verlopen dan bij de 'normale' Hollandse kust. Bij de 'normale' kust wordt de ontwikkeling van onderwatersuppleties door golfgedreven transporten gedomineerd, terwijl in dit gebied de getijgedreven stromingen mogelijk overheersen. Een vooroeversuppletie kan daarom een belangrijke bijdrage leveren aan de zandbalans van de aangrenzende deelgebieden, maar zal waarschijnlijk geen bijdrage leveren aan het zandvolume van strand en ondiepe onderwateroever.

6.1.3 Deelgebied 3: Nieuwe Lands diep en Franse Bankje

In dit deelgebied wordt de vooroever gedomineerd door ondieptes met een relatief kleine geul. De golfbreking op de ondieptes resulteert in een luwtezone aan de kust, waar uitbouw plaats vindt. De getijdegeul het Nieuwe Landsdiep verplaatst langzaam landwaarts en verdiept en door landwaartse verplaatsing van het Franse Bankje neemt de breedte van de geul af. Ook in de toekomst zal de interactie tussen de geul en het Franse Bankje in grote mate de verdere kustlijn ontwikkeling in dit gebied bepalen. Het is moeilijk om verwachtingen uit te spreken over de verwachte ontwikkelingen in dit deelgebied. Een mogelijke ontwikkeling is dat het Franse Bankje verheelt met de kust, waardoor het huidige Nieuwe Lands Diep afgesloten wordt. Zeewaarts zal dan een nieuwe vloedgedomineerde geul vormen, een situatie die ook voor afsluiting van de Zuiderzee bestond. In dit geval zal erosie van de kust, door doorgaande landwaartse verplaatsing van het Nieuwe Landsdiep, gevolgd worden door een periode van uitbouw, op het moment dat het zand van het Fransche Bankje de kust bereikt. Andere scenario's voor de kustontwikkeling zijn echter ook mogelijk.

In het deelgebied is voldoende ruimte in het kustprofiel voor het uitvoeren van vooroeversuppleties, wanneer de MKL-ontwikkeling daar aanleiding toe geeft.

Wanneer de getijdegeul Nieuwe Landsdiep in de toekomst verder naar de kust beweegt en een potentiële bedreiging voor de kustveiligheid oplevert kunnen andere maatregelen overwogen worden. De noodzaak hiervoor wordt overigens niet binnen vijf jaar verwacht. Een mogelijke ingreep is het aanbrengen van een zanddam dwars op de kust, waarmee het Nieuwe landsdiep geheel of gedeeltelijk afgedamd wordt. Een dergelijke zandbuffer vormt een belemmering voor verder landwaartse migratie van de getijdegeul. Door (gedeeltelijk) afdammen van het Nieuwe Landsdiep kan het verheelen van het Fransche bankje met de kust versneld worden. Het zand van de zanddam komt ten goede aan het kustfundament. Een zachte maatregel heeft de voorkeur boven harde kustverdedigingsmaatregelen, met name omdat deze meer mogelijkheden overlaat voor eventuele toekomstige positieve kustontwikkelingen.

6.1.4 Deelgebied 4: "Ongestoorde kust"

Ten zuiden van het Franse Bankje geven de gemeten zandvolumes en MKL ontwikkeling aan dat door het toepassen van zandsuppleties het zandvolume op peil gehouden wordt. Bij voortzetting van het huidige suppletiebeleid zal dat in de toekomst waarschijnlijk niet veranderen. De suppleties worden bij voorkeur onder water uitgevoerd.

6.2 Lange Termijn (10 jaar en langer)

De kustlijnontwikkeling van de Helders Zeewering tot Julianadorp wordt gedomineerd door de interactie met de buitendelta van het Zeegat van Texel . In het verleden hebben de effecten van de Afsluitdijk tot grote veranderingen geleid op de buitendelta, waarvan met name de ontwikkeling van het Nieuwe Schulpengat langs de kust van Noord-Holland directe gevolgen heeft gehad voor de kustlijnontwikkeling. De relatief kleine veranderingen van het Nieuwe Schulpengat en van de kustlijn in de afgelopen 10 jaar lijken er op te wijzen dat de geul (en buitendelta), dat situatie is aangepast aan de huidige omstandigheden.

Op langere termijn (meer dan 25 jaar) zal de ligging van geulen en platen zeker veranderen. Historische kaarten van de buitendelta laten zien dat de geulen en platen van alle buitendelta's van de Waddenzee in meer of mindere mate in beweging zijn (Allerma, 1993). Als voorbeeld kan de buitendelta van het Zeegat van Texel vóór de Afsluiting van de Zuiderzee dienen. De hoofdgeul van de buitendelta van het Zeegat van Texel was gedurende de 19e eeuw westwaarts georiënteerd en in de periode daarvoor (14e tot 18e eeuw) noordwaarts. Op de buitendelta ontstonden in deze periode met enige regelmaat zandplaten, die in de loop der tijd met de zuidwestkust van Texel verheelden (Sha, 1990).

De sterk zuidwaarts gericht geulen, zoals die nu op de buitendelta bestaan, zijn op lange termijn niet per sé stabiel. Mogelijk verandert de buitendelta naar een staat zoals die ook vroeger optrad, waarbij de hoofdgeul westwaarts gericht is en zich geen grote hoofdgeul langs de kust bevindt. Een dergelijke verandering op lange termijn zal de kustlijn drastisch beïnvloeden en mogelijk de negatieve invloed van het Nieuwe Schulpengat beperken.

Met het oog op de onzekerheid van de lange termijn situatie, kunnen de aanbevelingen van dit rapport als volgt worden samengevat:

- De huidige situatie is relatief stabiel en de huidige wijze van kustlijnhandhaving is voldoende om de kustlijn op zijn plek te houden. De kustlijnhandhaving kan op de huidige wijze voortgezet worden, eventueel aangevuld met vooroeversuppleties, geulwandsuppleties en zanddammen (paragraaf 6.1).
- Het verdient de voorkeur om interventies “zacht” uit te voeren in de vorm van zandsuppleties, zodat op lange termijn de mogelijke positieve ontwikkelingen van geulen en platen op de buitendelta het minst wordt beïnvloed.
- Buitendelta ontwikkeling en de interactie met de aanliggende kust worden gestuurd door complexe processen en mechanismen, waardoor verrassende (positieve en negatieve) ontwikkelingen mogelijk zijn. Continuering van de huidige monitoring en het me regelmaat analyseren van de ontwikkelingen van de kust én de aangrenzende buitendelta wordt daarom aanbevolen.
- De ontwikkelingen van de kust en de aangrenzende buitendelta kunnen snel verlopen, maar gaan meestal niet zo snel dat acuut ingrijpen noodzakelijk is. Wanneer negatieve en potentieel bedreigende ontwikkelingen geconstateerd worden is het veelal mogelijk om een gedegen afweging te maken tussen de verschillende opties voor de kustverdediging in het gebied.

7 Referenties

- Allersma, E., (1993). Geulmigratie in buitendeltas. Verslag van een bureaustudie. Delft Hydraulics. H 840.55.
- Battjes, J.A., (1961). Studie Zeegat van Texel: hoofdontwerp hydraulica, Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, Nota 62.4 , Studieverslag Technische Hogeschool te Delft, Algemene Waterbouwkunde.
- Beckering Vinkers, J.A., (1951). Zeegat van Texel, Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, Nota 51.1, 135 pag. 41 bijlagen.
- Beenker, H., Rakhorst, H.D., (1981). Uitbreiding bezinking Schulpengat, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-81.H222.
- Biegel, E.J., (1993). Morphological changes due to sea level rise in tidal basins in the Dutch Wadden Sea versus morphological response model MORRES. Report IMAU-93.14, Institute for marine and atmospheric research Utrecht, Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University.
- Blok, M., Mol, J.W., (2001). Debietmeting zeegat van Texel. Rapport Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland, Informatiedienst Water, IJmuiden, Nederland.
- Bonekamp H., Roelvink, J.A., Ridderinkhof, H., (2002). Comparison modeled and observed water motion and sediment transport in the Texel tidal inlet. Proc. of the 28th ICCE, Cardiff, Wales (in voorbereiding).
- Cleveringa, J., (2001) , Zand voor zuidwest Texel. Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel. rapport RIKZ/OS/2001/031
- Crosato A., Stive M.J.F., (2000). Morphology and morphodynamics of the Wadden Sea. Theme 3 rivers and Coasts Projects Coasts and Ecomorphology, Delft Cluster, Delft, Nederland.
- Doekes, J., (1985). Invloed van de afsluiting van de Zuiderzee op het getij in de Waddenzee. Rapport Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren. Nota: GWIO 85.001.
- Dronkers, J., (1984). Import of Fine Marine Sediment in Tidal Getijdebekkens. Proceedings International Wadden Sea Symposium, Texel 1983. Inst. for Sea Res. Publ. Series 10: 83-105.
- Dronkers, J., (1998). Morphodynamics of the Dutch Delta, in Physics of estuaries and Coastal Seas, Balkema, Rotterdam.
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Bonekamp, J.G., Roelvink, J.A., (2002). Morphodynamics at the Updrift side of inlets. Proc. of the 28th ICCE, Cardiff, Wales (in voorbereiding).
- Elias, E.P.L., Bonekamp, J.G., Stive, M.J.F., (2003a). Decadal buitendelta behavior. A response to large scale human interventions. Proc. of Coastal Sediments, Sint Petersburg, Florida (in voorbereiding).
- Elias, E.P.L., Stive, M.J.F., Bonekamp, J.G., Cleveringa, J., (2003b). Tidal inlet dynamics in response to human intervention. Ingediend bij Coastal Engineering Journal.
- Eysink, W.D., Biegel, E.J., Hoozemans, F.J.M., (1992). Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function; investigations on empirical morphological relations. Rapport Delft Hydraulics, ISOS*2, H1300, 73 pp, Delft, Nederland.

- Eysink, W.D., (1993). Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. General considerations on hydraulic conditions, sediment transports, sand balance, bed composition and impact of sea level rise on tidal flats. Rapport Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, ISOS*2, Project Phase 4, 35 pp, Den Haag, Nederland.
- Gerritsen, F., (1990). Morphological stability of Inlets and channels of the Western Wadden Sea. Rapport Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren. Nota GWAO-90.019.
- Glim, G.W., Graaff, N. de, Kool, G., Lieshout, M.F., Boer, M. de, (1988). Erosie en sedimentatie in de binnendelta van het Zeegat van Texel 1932-1982. Rapport Rijkswaterstaat, ANWX-88.H201, sub-projects 5 and 9., Directie Noord-Holland, Nederland.
- Hayes, M.O., (1979). Barrier Island morphology as a function of tidal and wave regime, In: Leatherman, S.P., (ed.). Barrier Islands: From the Gulf of St Lawrence to the Gulf of Mexico. Academic Press, New York.
- Hartsuiker, G., G. van Holland en R.C. Steijn, (1998). Aanvullende gevoeligheids-onderzoek ZW- Texel, Rapport samenwerkingsverband Alkyon/WLIDelft Hydraulics A266/Z2430, 21 pag., 11 tab., 83 fig.
- Hordijk, D., (2002). Geulwandsuppletie Oostgat Westerschelde, Voorstudie en Modellerings gedrag geulwandsuppletie. Afstudeerrapport TU-delft, Delft, Nederland
- Joustra, D. S., (1971). Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Afdeling Kustonderzoek, Den Haag , studierapport WWK 71-14, 27 pag., 21 bijlagen.
- Klok, B., Schalkers, K.M., (1980). De veranderingen in de waddenzee ten gevolge van de afsluiting van de Zuider Zee. Rapport Rijkswaterstaat, 78.H238, 22 pp, Den Haag, Nederland.
- Kragwijk, N.G., (2001). Aggregated scale modelling of tidal inlets in the Wadden Sea, Report Delft Hydraulics/ Delft Cluster, Report Z2822/DC03/0103b, Delft, Nederland.
- Kragwijk, N.G., Stive, M.J.F., Wang, Z.B., Zitman, T.J., (2002). Aggregated scale morphology of tidal inlets, Proceedings of the 28th ICCE (in preparation). ASCE, Cardiff, Wales.
- Kruif, A.C. de, (2001). Bodemdieptegegevens van het Nederlandse Kustsysteem. Beschikbare digitale data en een overzicht van aanvullende analoge data. Rapport Rijkswaterstaat, RIKZ/2001.041, Den Haag, Nederland.
- Kustvisie 2050, (2002). Strategische visie Hollandse Kust 2050. Rapport: Arcadis, Alkyon, Nieuwe Gracht
- Leeuw de, R., (1999). Getij-asymmetrie en sedimenttransport in het zeegat van Texel. M.Sc. Thesis. Universiteit Twente.
- Leeuwen van, S., (2002). Tidal Inlet Systems. bottom pattern formation and outer delta development. Ph.D. Thesis, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht. Faculteit Natuur- en Sterrenkunde, Universiteit Utrecht.)
- Ligtenberg, J., (1998). De rol van het getij bij de aanzanding van het Marsdiep, voor en na de afsluiting van de Zuider Sea. Rapport Rijkswaterstaat, RIKZ-OS-98.106x, Den Haag, Nederland.
- Lorentz, H.A. et al., (1926). Verslag Staatscommissie Zuider Sea 1918-1926. Algemeene Landsdrukkerij. Den Haag, Nederland.
- Louters, T, en F. Gerritsen, (1994). Het mysterie van de wadden; Hoe een getijde systeem inspeelt op de zeespiegelstijging, Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ-94.040, 69 pag.

- Luijendijk, A., (2001). Validation, calibration and evaluation of a Delft3D-FLOW model with ferry measurements. M.Sc. Thesis Delft University of Technology.
- Marion, B.B. van, (1999). Zandbalans van het Zeegat van Texel met het Inverse Sediment Transport Model (1931 tot 1997). Rapport Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/-99.116x, 71 pag. en appendix.
- Mulder, J.P.M., 2000, Zandverliezen in het Nederlandse Kustsysteem; Advies voor Dynamisch handhaven in de 21^e eeuw, Rapport Rijkswaterstaat RIKZ, RIKZ/2000.036, 46 pag. en 3 bijlagen.
- Oost, A.P., (1995). Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet. A study of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage bassins. Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen no. 126, Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, Nederland.
- Rakhorst, H.D., (1981). Uitbreiding bezinking Helderse Zeewering, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-81.H003.
- Rakhorst, H.D., (1989). De kust van Noord-Holland en Texel - Ontwikkeling en voorspelling, beschrijving van methoden en resultaten, deelrapport 2.3 van Kustverdediging na 1990, Technisch Rapport 5, Kustvoorspelling, Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland, Nota 88.ANP.014.
- Reus, J.H. de, (1980). Ontwikkeling Zeegat van Texel, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Notitie WWKZ-85.H248, 21 pag., 17 bijlagen.
- Reus, J.H. de, (1985). Ontwikkeling Noorderhaaks, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Notitie WWKZ-85.H209, 16 pag., 12 bijlagen.
- Reus, J.H. de, Lieshout, M.F.M., (1982). Debieten Zeegat van Texel. Rijkswaterstaat, WWKZ-82.H205
- Ridderinkhof, H., (1988a). Tidal and residual flows in the western Dutch Wadden Sea. I: Numerical model results. Netherlands Journal of Sea Research, 22 (1). 1-21.
- Ridderinkhof, H., (1988b). Tidal and residual flows in the western Dutch Wadden Sea. II: An analytical model to study the constant flow between connected tidal getijdebekkens. Netherlands Journal of Sea Research, 22 (3). 185-198.
- Ridderinkhof, H., (1989). Tidal and residual flows in the western Dutch Wadden Sea. III: Vorticity balances. Netherlands Journal of Sea Research, 24 (1). 9-26.
- Ridderinkhof, H., van Haren, H., Eijgenraam, F., Hillebrand, T., (1999). Ferry observations on temperature, salinity and currents in the Marsdiep tidal inlet between the North Sea and Wadden Sea. Eurogoos 1999.
- Rietveld, C.F.W., (1962). The natural development of the Wadden Sea after the enclosure of the Zuider Sea. Proceedings of the 8th ICCE, ASCE, Mexico City, Mexico, pp: 765-781.
- Rijzewijk, L.C., (1986), Overzichtskaarten zeegaten van de waddenzee: 1796-1985, Rijkswaterstaat, Nota: 86.H208.
- Ringma, (1953). Scheepvaartdrempels rond het zeegat van Texel. Rapport Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, 53.2, Den Haag, Nederland.
- Ruessink, B.G., Enckevort van, I.M.J., Kingston, K.S., Davidson, M.A., (2000). Analysis of observed two- and three-dimensional nearshore bar behaviour. Marine geology 169, pp: 161-183.
- Ruessink, B.G., J.R. Miles, F. Feddersen, R.T. Guza, and S. Elgar, (2001). Analysis of observed two- and three-dimensional nearshore bar behaviour. Journal of Geophysical Research.
- Schoorl, H., (1999). Het westelijk waddengebied en het eiland van Texel vanaf circa 1550: deel 2. Pirola. Nederland.

- Santen, W.A.C. van, (1999). Morphodynamics of the Nieuwe Schulpengat area, Texel inlet, Nederland. Morphodynamics of a main tidal channel - mouth bar system close to the shoreface. NITG-TNO/Geo Marine and Coast. Department of Physical Geography, Utrecht University.
- Sha, L.P., (1990). Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands the Netherlands. Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen no. 64, Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht, Nederland.
- Steetzel, H.J., (1995). Voorspelling ontwikkeling kustlijn en buitendelta's Waddenkust over de periode 1990-2040. Delft Hydraulics H1887.
- Steijn, R.C., (1997a). Getijrandvoorwaarden voor ZW-Texel studie, rapport Alkyon A078.15 , 8 pag., 2 tab., 31 fig.
- Steijn, R.C., (1997b). Morfodynamische berekeningen ZW-Texel Fase I: Modelopzet en calibratie, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WLIDelft Hydraulics A78/Z2175, 60 pag., 30 tab., 125 fig.
- Steijn, R.C., G.K.F.M. Banning en J.R. Roelvink, (1998). Gevoeligheidsberekeningen Eierland en ZW-Texel Fase 2: ZW-Texel, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WLIDelft Hydraulics A266/Z2430, 38 pag., 21 tab., 85 fig.
- Steijn, R.C. en C. Jeuken, (2000). Vier mogelijke beheersingrepen in het Zeegat van Texel - morfodynamische modelberekeningen, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WLIDelft Hydraulics A514/Z2742, 68 pag., 15 tab., 146 fig.
- T.A.W., (1995). Basisrapport Zandige Kust. behorende bij de Leidraad Zandige Kust. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.
- Thijssen, J.Th., (1972). Een halve eeuw Zuider Zeewerken 1920-1970. Tjeenk Willink, Groningen, Nederland.
- Veen, J. van, (1950). Eb en vloed-schaar systemen in de Nederlandse getijwateren. Tijdschrift Kon. Ned. Aardr. Gen. 67, pp. 303-325.
- Vledder, G. Ph., (1979). Ontwikkeling Schulpengat, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-79.H238.
- Walburg, L., (2001). De zandbalans van het Zeegat van Texel bepaald met verschillende buitendelta-definities. Report Rijkswaterstaat, RIKZ/OS 2001, Den Haag, Nederland.
- Walhout, T., R. Kalf, L. Walburg, (2000). Evaluatie zandsuppleties na 1990, 2 delen. Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/AB/2000.824x.
- Wijnberg, K.M., (1995). Morphologic behaviour of a barred coast over a period of decades. Ph.D. Thesis, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, Utrecht, Nederland.

8 Bijlagen

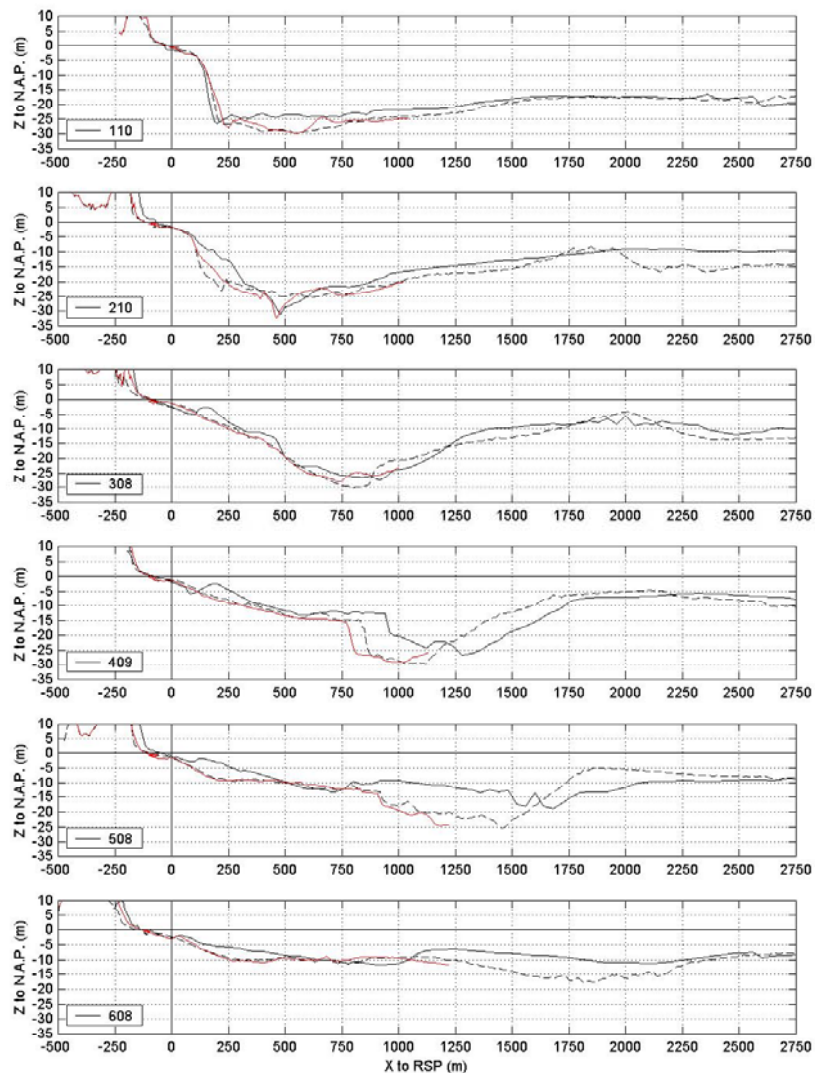
Figuur 8-1:

Jarkus Doorlodings profielen 110-608.

1965 (zwart)

1990 (streepjes)

2000 (rood)



Figuur 8-2:

Jarkus doorlodingen profielen 608 – 1000.

1965 (zwart)

1990 (streepjes)

2000 (rood).

