



Morfologische effecten van de Eijerlandse dam

Een evaluatie

Dr. J.M. de Kok

Rapport RIKZ/2005.003

Oktober 2005

Opdrachtgever /contactpersoon	Werkgroep SLA Kustlijnzorg / ing. C.W. Boer
-------------------------------	---

Titel	Morfologische effecten van de Eijerlandse Dam; Een evaluatie
Rapportnummer	RIKZ 2005.003

Samenvatting	<p>De effecten op de kustlijn en andere morfologische gevolgen van de aanleg van de Eijerlandse dam zijn geëvalueerd, tien jaar na de aanleg in 1995. De dam heeft ruimschoots aan de doelstellingen voldaan: het te suppleren volume, noodzakelijk voor de handhaving van de basiskustlijn van de noordwestkust van Texel, is sterk afgenomen. Vermoedelijke negatieve effecten op de kust zijn beperkt gebleven tot het lokaal opschuiven van een getijgeul richting kust ter hoogte van het Bolwerk "Robbengat" aan de noordoostzijde van Texel.</p> <p>Sinds 2001 schrijft het kustbeleid voor dat de zandvoorraad van het kuststelsel op peil gehouden moet worden. Hoewel de Eijerlandse dam geen zichtbare invloed heeft op de ontwikkeling van de zandbalans van de buitendelta, het kustgebied, het getijdebekken en de aan Texel grenzende Noordzeebodem, levert de dam zelf geen bijdrage aan het compenseren van de zandverliezen. Wel heeft de aanleg van de dam vrijheidsgraden gecreëerd om de zandsuppleties rond noordkust van Texel (kosten)efficiënter uit te voeren, omdat de dwingende noodzaak voor het uitvoeren van strandsuppleties ten bate van de kustlijnhandhaving is vervallen.</p> <p>Alhoewel de Eijerlandse dam een goede en kostenefficiënte oplossing is gebleken voor de frequente kusterosie van de noordkust van Texel, kan hier niet uit geconcludeerd worden dat dwarsdammen in het algemeen een goede oplossing zijn voor eroderende kustgebieden. Lokale factoren als kustboog, kustprofiel, golfinvloed en getijsnelheden bepalen de werking, aanlegkosten en kosteneffectiviteit.</p>
Summary	<p>The morphological effects and impact on coastal protection of the shore-perpendicular breakwater " Eijerlandse Dam " are evaluated, 10 years after its construction in 1995. The breakwater has lived up to expectations. A reduction of the sand nourishment of the northern Texel shores, needed for shore-line maintenance, has been achieved and the construction costs have paid off. Negative consequences have been limited so far. One inlet channel (to the Northeast of Texel) locally shifted coastward.</p> <p>Since 2001 it is coastal policy to maintain the sediment stock of the Dutch coast. The Eijerlandse Dam has no measurable effect on the sand budget of the shores, outer delta and tidal basin and possibly also in a wider area. However, the dam does constitute a contribution to the sand budget. One result of the dam is that the sand nourishments for the Northwest shore of Texel can be planned and designed for cost efficiency. The urgency for regular sand nourishment on the beach has been reduced.</p> <p>The Eijerlandse dam has proven to be an effective solution for the Northwestern shore of Texel. It can not concluded that this type of solution fits other places as well, because initial costs and the cost effectiveness depends highly on local factors as coastal shape and profile, wave impact and tidal currents.</p>

Versie	Eigenaar (= 1 ^{ste} auteur)	Datum	Opmerking	Beoordeeld	Goedgekeurd	
0	Dr. J.M. de Kok	Ak-koord	Mei 2005	Eind-concept	Dr. J. Cleveringa	
1	Dr. J.M. de Kok	Ak-koord	September 2005	Definitief	Drs. G.J Rotmensen	Ak-koord
						Dr. D.W. Dunsbergen (UM)
						Ak-koord
Project ID	Rijkswaterstaat RIKZ (SLA) Kustlijnzorg					
Vertrouwelijk	<input type="checkbox"/>	JA, tot (datum)	<input checked="" type="checkbox"/>	NEE		
Status	<input type="checkbox"/>	Startversie	<input type="checkbox"/>	Eindconcept	<input checked="" type="checkbox"/>	Definitief

.....
De Eijerlandse dam in 1999



Samenvatting

De kop van Texel (Eijerland) staat sinds eeuwen bloot aan kusterosie ten gevolge van getijstromingen en golven. Om landverlies tegen te gaan zijn in het verleden op diverse plaatsen harde zeekeringen aangelegd. Sinds 1979 wordt er op en voor de westkust van Eijerland regelmatig zand gesuppleerd om teruggang van de kustlijn tegen te gaan. Tussen 1979 en 1996 werd in totaal bijna 11 miljoen m³ zand aangebracht tussen kilometer 25 en kilometer 31 (de noordpunt). Om de behoefte aan zandsuppleties te verminderen is in 1995 de Eijerlandse dam aangelegd, een 800 m lange stenen strekdam loodrecht op de kust ter hoogte van kilometer 30,5. De verwachting was, dat de aanlegkosten binnen tien jaar terugverdiend zouden worden door de vermindering van de suppletiekosten.

In dit rapport wordt de vraag beantwoord of de aanleg van de dam tot op heden kostenbesparend heeft gewerkt op het kustonderhoud. Ook worden de korte en middellange termijn morfologische effecten besproken.

In de periode vóór 1995 was het zandverlies in het kustvak tussen km 25 en km 31 meer dan 660.000 m³ per jaar. Na 1995 was dat slechts 270.000 m³ per jaar. Tussen 1995 en 2005 is in dit kustvak dan ook slechts 2,1 10⁶ m³ op het strand gesuppleerd (kosten 9,8 M€) en 2,4 10⁶ m³ onder water (2,4 M€).

De vermindering van de suppletiebehoefte, die direct aan de dam valt toe te schrijven wordt geschat op 265.000 tot 395.000 m³ per jaar. Bij een zandprijs van 4,55 € / m³ is de kostenvermindering op suppleties in 10 jaar dus bijna 18 M€ geweest, waarvan minstens 12 M€ aan de aanwezigheid van de dam valt toe te schrijven. De aanleg van de dam heeft bijna 9 M€ gekost, dus de kosten zijn binnen 10 jaar ruim terugverdiend. Voor de nabije toekomst wordt de jaarlijkse kostenbesparing geschat op een bedrag tussen de 1 en 2 M€.

De zandvolumina in andere kustvakken en ook in de wijdere omgeving in Noordzee en Waddenzee waren na 5 tot 7 jaar niet meetbaar beïnvloed door de aanwezigheid van de dam. Ook de ontwikkeling van het zandvolume van de kust van Vlieland vertoont geen trendbreuk.

De morfologische ontwikkeling van het Eijerlandse Gat is rond de kop van Eijerland beïnvloed. Langs de kop van de dam ontwikkelde zich een stroomgeul, die ten oosten van de dam aansluit op het Robbengat, een geul die om de kop van Eijerland heen gaat en ten oosten van Eijerland vlak langs de kust loopt. Deze geul is daar breder en dieper geworden. Het noordelijk deel van het zeegat, het Engelsmangat wordt niet beïnvloed en volgt een autonome ontwikkeling die al veel langer aan de gang is. De noord-oostkust van Eijerland zandt de laatste jaren weer aan, doordat de strandvlakte ten oosten van de dam zich langs de noord- en noord-oostkust van Eijerland aan het uitbreiden is.

De hoofdconclusie is, dat de dam tot op heden aan de verwachtingen heeft voldaan en op dit moment kostenbesparend werkt omdat er minder gesuppleerd hoeft te worden voor de handhaving van de kustlijn.

Na aanleg van de Eijerlandse dam hebben twee belangrijke veranderingen plaatsgevonden in het kustbeleid en -beheer, namelijk 1) de verschuiving van strand- naar onderwatersuppleties en 2) het adopteren van de doelstelling om de zandvoorraad van de Nederlandse kust op peil te houden. Vandaag de dag wordt het globale kostenvoordeel van de Eijerlandse dam daardoor lager ingeschat dan in 1995 en ook lager dan het hierboven genoemde lokale kostenvoordeel van 1 à 2 M€ per jaar.

De hoofdconclusie van deze case is niet direct te vertalen naar andere locaties waar zeewaartse harde kustverdediging wordt overwogen. Werking, kosten en kostenbesparing van dit type kustverdediging zijn in hoge mate afhankelijke van lokale factoren.

Inhoudsopgave

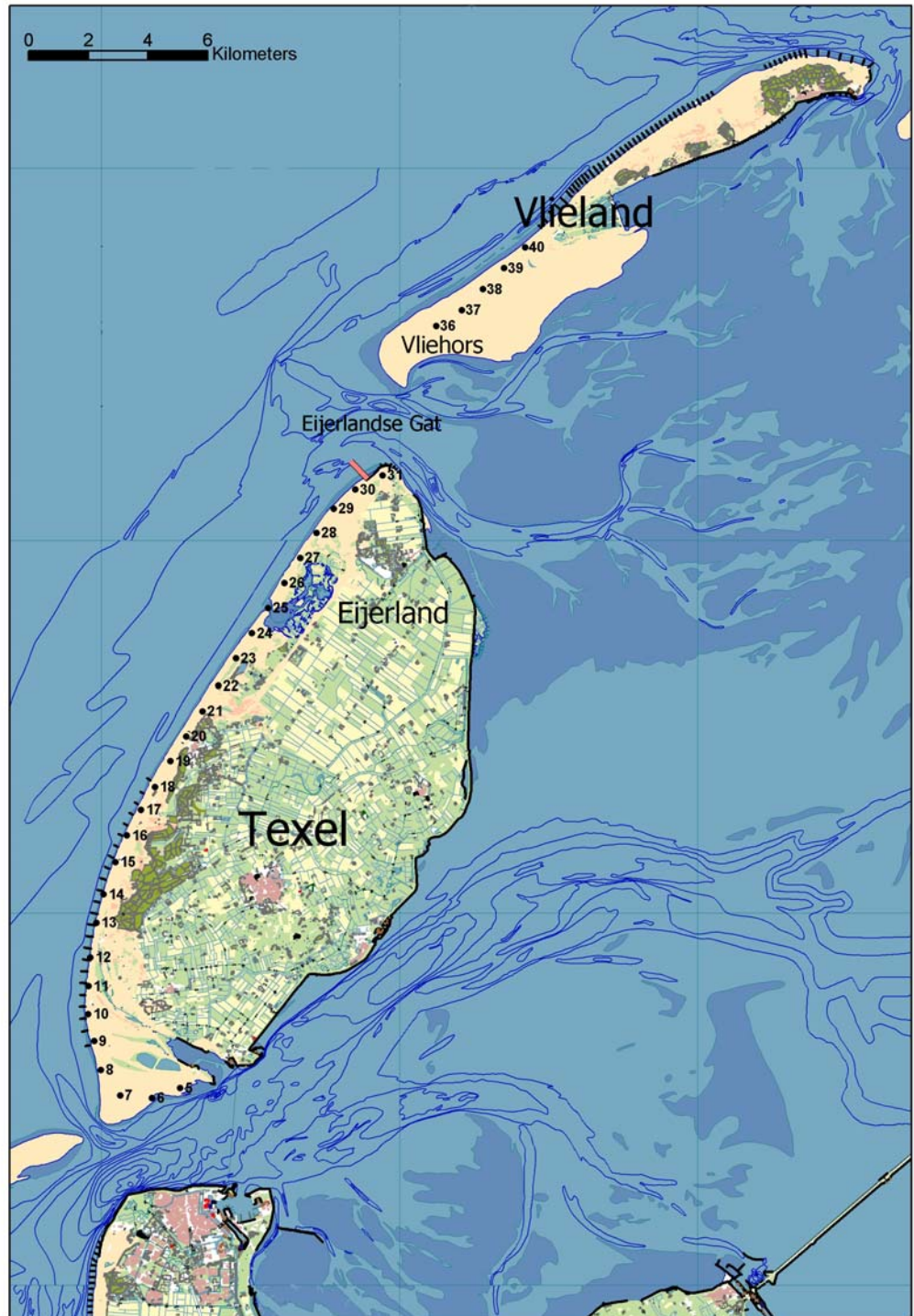
1	Inleiding	15
2	Beheersvragen	17
3	Kustverdediging en kustlijnzorg	19
3.1	Veranderend beleid met betrekking tot kustlijnzorg	19
3.2	Kustverdedigingsmaatregelen tot 1995	19
3.3	De dam	20
3.4	Kustverdedigingsmaatregelen na 1995	21
4	Morfologische ontwikkeling voor en na de dam	23
4.1	Getijdegeulen en buitendelta	23
4.1.1	Verbonden geulen (1852-1971)	23
4.1.2	Gescheiden geulen (vanaf 1976)	24
4.1.3	Ontwikkeling na de aanleg van de Eijerlandse dam in 1995	24
4.2	Kustontwikkeling van noord- en noord-oost-Eijerland	27
4.2.1	Ontwikkeling vóór 1995	27
4.2.2	Ontwikkeling na 1995	28
4.3	Ontwikkeling noord-westkust van Eijerland	32
4.3.1	Fysische verklaring van de effecten van de dam	34
4.4	Ontwikkeling zandvolume zuid-westkust van Vlieland	35
4.5	Ontwikkeling zandvolumina in binnen- en buitendelta	36
4.6	Samenvatting ontwikkeling zandvolumina	38
5	Effecten van de aanleg van de Eijerlandse dam	41
5.1	Morfologische effecten op getijdegeulen en buitendelta	41
5.1.1	Het Robbengat	41
5.1.2	Het Engelsmangat	41
5.2	Effecten op de noord-oostkust van Eijerland.	42
5.3	Effecten op de noord-westkust van Texel	42
5.4	Morfologische effecten op grotere ruimte- en tijdschalen	43
5.5	Effecten op ecologie en recreatie	44
6	Prognoses en verwachtingen in 1993	45
6.1	De verwachtingen in 1993 t.a.v. de kostenbesparingen	45
7	Conclusies t.a.v. beheersvragen Eijerlandse dam	47
7.1	Kostenbesparingen	47
7.2	Beheersvragen	47
7.3	Morfologische ontwikkelingen	49
7.4	Tools voor prognose en evaluatie	50
7.5	Toepassing op andere lokaties ; hard of zacht verdedigen?	51
8	Referenties	53

Figuur 1

Texel, Vlieland en het Eijerlandse gat.

Bodem 1986.

De later aangelegde Eijerlandse dam is in rood
aangegeven.



Lijst van figuren

Figuur 1	Texel, Vlieland en het Eijerlandse gat	8
Figuur 2	Bodetopografie van binnen- en buitendelta van het Eijerlandse Gat	14
Figuur 3	Ligging van de momentane kustlijn	16
Figuur 4	De kop van Texel	18
Figuur 5	Bewegingen van het Engelsmangot	24
Figuur 6	Het Engelsmangot en het Robbengat in 2001	25
Figuur 7	De kop van Eijerland in 1993 en in 1999	26
Figuur 8	Ligging van de belangrijkste geulen	27
Figuur 9	Bodemprofielen in Jarkusraai 3200	28
Figuur 10	Bodemprofielen in Jarkusraai 3061	29
Figuur 11	Bodemprofielen in Jarkusraai 3100	30
Figuur 12	Bodemprofielen in Jarkusraai 3100 van 1999 t/m 2003	30
Figuur 13	Bodemprofielen in Jarkusraai 3200 van 1996 t/m 1999	31
Figuur 14	Bodemprofielen in Jarkusraai 3352 van 1991 t/m 2002	32
Figuur 15	Ontwikkeling zandvolume tussen km 17 en km 32	33
Figuur 16	Divergente en convergente zandtransportvectoren	35
Figuur 17	Deelgebieden waar zandvolumes zijn bepaald	36
Figuur 18	Zandvolumes van de diverse deelgebieden	37
Figuur 19	Zandvolumes van de subgebieden 11 t/m 14	37
Figuur 20	Zandvolumes van diverse subgebieden	38

Lijst van Bijlagen

Bijlage 1	Lodingskaarten. Ontwikkeling van het Eijerlandse Gat tussen 1852 en 2002	55
Bijlage 2	Schematische weergave ontwikkeling Robbengat tussen 1976 en 1999	59
Bijlage 3	Schematische weergave ontwikkeling Eijerlandse Gat tussen 1976 en 1999	63
Bijlage 4	Ontwikkeling bodemprofiel in de raaien 3061, 3200, 3212, 3252, 3292 en 3352	67
Bijlage 5	Ontwikkeling zandvolume in de kustvakken	75
Bijlage 6	Aanleg van polders op Texel	81

Dit rapport bevat een evaluatie van de Eijerlandse dam op het gebied van morfologische effecten en kosten van kustbeheer.

De te beantwoorden vragen worden in hoofdstuk 2 gepresenteerd en beargumenteerd.

De conclusies van deze evaluatie worden in de vorm van de beantwoording van een aantal vragen gepresenteerd in hoofdstuk 7.

De hoofdvraag over de kostenbesparingen wordt beantwoord in 7.1.

De hoofdvraag over de toepasbaarheid en wenselijkheid in andere gebieden wordt beantwoord in 7.5. In 7.2, 7.3 en 7.4 worden detailvragen op het gebied van beheer en morfologie beantwoord.

Wie wil lezen over de effecten van de Eijerlandse dam wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Hierin staat ook een paragraaf (5.4) over de effecten op grotere tijd- en ruimteschalen, de zandbalans en het kustfundament. Meer achtergrondinformatie is te vinden in de hoofdstukken 1, 3 en 4.

In hoofdstuk 3 staat een gebiedsbeschrijving en hier worden de diverse kustverdedigingsmaatregelen genoemd die in het verleden zijn getroffen.

De historische ontwikkeling van het zeegat en de geulen is beschreven in 4.1.

In 4.2 en 4.3 is de ontwikkeling van de kusten van Eijerland beschreven, waarbij een aantal JARKUS profielen als illustratie dienen.

In 4.4 wordt ingegaan op de ontwikkeling van de zandvolumina van diverse deelgebieden in de JARKUS zone. In 4.5 wordt hetzelfde gedaan voor diverse deelgebieden in de Waddenzee en de voordelta op basis van de beschikbare vaklodingen. In 4.6 wordt hoofdstuk 4 nog eens samengevat.

In hoofdstuk 6 wordt het kostenplaatje van de dam geschetst, inclusief de geschatte besparingen op het suppletiebudget. Dit kostenoverzicht wordt vergeleken met de prognoses, die vóór de aanleg van de dam zijn gemaakt.

De **bijlagen** bevatten een grote hoeveelheid kaartjes, kustprofielen en andere grafieken waarnaar in de tekst wordt verwezen.

Bijlage 1 bevat kaarten met bodemdieptes van het Eijerlandse Gat van 1852 t/m 2002, waaruit de morfologische ontwikkeling valt af te lezen.

Bijlage 2 bevat schematische kaarten met bodemdieptes van het Robbengat van 1976 t/m 1999.

Bijlage 3 bevat schematische kaarten met bodemdieptes van het Eijerlandse Gat van 1987 t/m 2002, waarin de geulontwikkeling is te zien.

Bijlage 4 bevat een groot aantal bodemprofielen van een aantal JARKUS raaien. Hieruit valt gedetailleerd de ontwikkeling in de tijd van het Robbengat af te lezen.

In bijlage 5 staan de time histories van de zandvolumina van diverse deelgebieden van de JARKUS zone.

Bijlage 6 is een kaartje van Texel waarin de diverse polders met het jaar van aanleg zijn aangegeven.

Figuur 2
 Bodemtopografie van binnen- en
 buitendelta van het Eijerlandse Gat volgens
 vaklodingen uit 1997 en 1999.

Vakloding 1997/1999



1 Inleiding

Sinds 1979 wordt er op de noord-westkust van Texel regelmatig zand gesuppleerd om de teruggang van de kustlijn tegen te gaan. Tussen 1979 en 1996 werd in totaal bijna 11 miljoen m³ zand aangebracht tussen kilometer 25 en kilometer 31 om het zandverlies te compenseren. Dat was gemiddeld 0,64 miljoen m³ per jaar.

Om de kosten van de noodzakelijke zandsuppleties te verminderen is in 1995 de Eijerlandse dam aangelegd, een 800 m lange stenen strekdam loodrecht op de kust ter hoogte van kilometer 30,5 (fig.1,2). Uit voorstudies was gebleken, dat dit type kustverdedigingsmaatregel geschikt was voor de kustlijn op deze lokatie (Ribberink & de Vroeg, 1991, Rakhorst & Pwa, 1993).

De westkust van Texel wordt gevormd door het strand en een duinenrij, die loopt vanaf de strandvlakte de Hors in het zuiden tot de noordelijke punt van het eiland. De duinenrij ligt ruwweg tussen de strandpalen op km 9 en km 32. Tussen km 25 en 26 bevindt zich de ingang van een inham : " de Slufter" (zie fig.1), die verder geheel door duinen wordt omgeven.

Het noordelijk gedeelte van Texel wordt Eijerland genoemd. Dit was vroeger een apart eilandje en werd in de 17^e eeuw verbonden met Texel door een zanddam. Deze dam heeft zich ontwikkeld tot een duinenrij. Ten oosten hiervan is in 1835 de Eijerlandse polder aangelegd en ten oosten daarvan de polder de Eendracht in 1846 (zie bijlage 6).

Eijerland staat bloot aan kusterosie ten gevolge van getijstromingen en golven. In de laatste twee eeuwen zijn er rond de kop van Eijerland honderden hectaren land in zee verdwenen (zie bijlage 1). Tussen 1934 en 1947 is er nog een aantal hectaren duingebied in zee verdwenen ter hoogte van km 31. Uit figuur 3 valt op te maken dat sinds 1963 de westelijke kustlijn zich op sommige plaatsen meer dan 50 m heeft teruggetrokken.

De oorzaak van het zandverlies van de noordkant van Texel wordt gezocht in de bolle vorm van de kust. Wind en deininggolven uit het westen tot noordwesten wekken een stroming en bijbehorende zandtransport evenwijdig aan de kust op. Door de bolling van de kustlijn ontstaat er een divergentie van het kustlangse zandtransport, die leidt tot kusterosie (Rakhorst, 1999).

In dit rapport wordt antwoord gegeven op een aantal beheersvragen in relatie tot de effecten van de dam. Centraal staat daarbij de vraag of de dam wat betreft kostenbesparing aan de verwachtingen heeft voldaan. Tevens wordt aandacht besteed aan de vraag of dit type kustverdediging op andere plaatsen toepasbaar is.

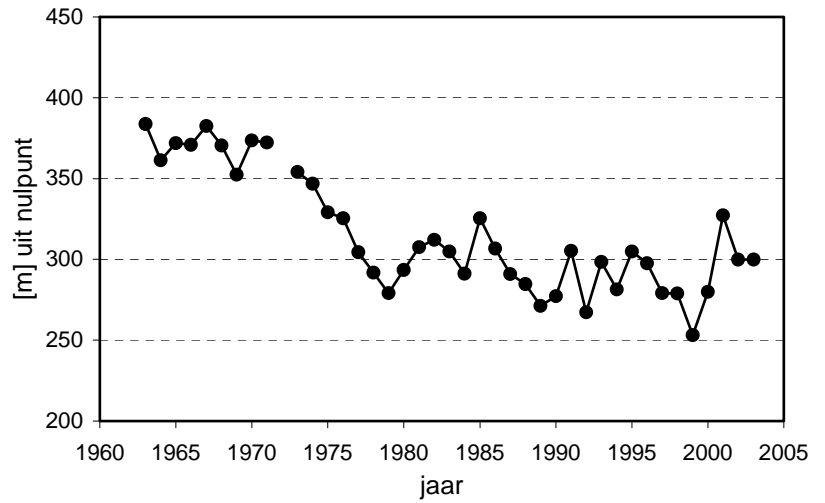
Figuur 3

Ligging van de kustlijn in enkele Jarkus raaien ten noorden van de ingang van de slufteer (2640), ten zuiden van de dam (2700) en direct naast de dam (3041). Een negatieve trend betekent een landwaartse beweging van de kustlijn. Sinds 1979 wordt hier zand gesuppleerd :

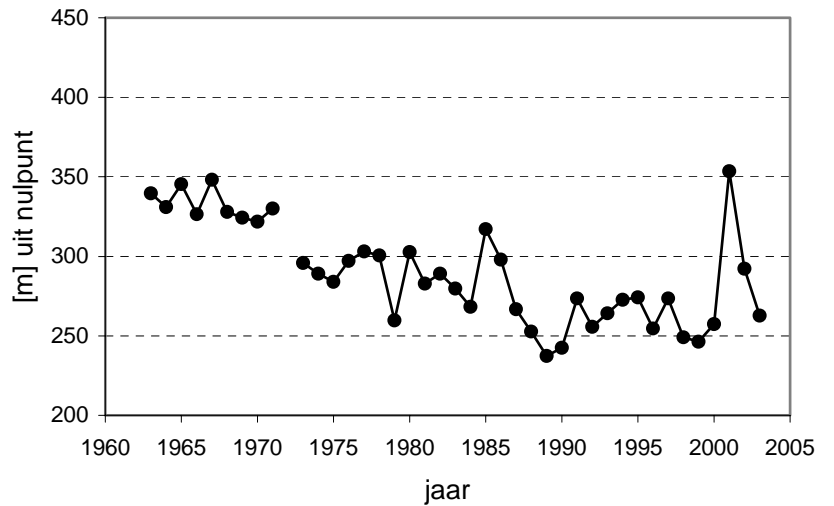
uitgevoerde suppleties

	M[m3]	lokatie
1979	3,09	raai 25.60 - 31.20
1984	3,02	raai 18.13 - 24.00
1985	2,85	raai 25.40 - 30.40
1990	2,54	raai 25.60 - 30.60
1991	2,01	raai 18.13 - 23.40
1993	2,25	raai 12.10 - 18.13
1994	1,33	raai 25.40 - 28.20
1995	0,84	raai 28.20 - 29.60
1995	aanleg dam	
1995	0,30	raai 30.00 - 30.60
1996	1,49	raai 15.26 - 18.73
1996	0,49	raai 22.11 - 23.40
1997	0,66	raai 18.78 - 20.91
1999	1,22	raai 26.00 - 28.60
2000	0,25	raai 17.03 - 18.33
2000	0,88	raai 25.50 - 27.80
2002	5,4	raai 17.00 - 23.00
2004	2,4	raai 25.10 - 27.9

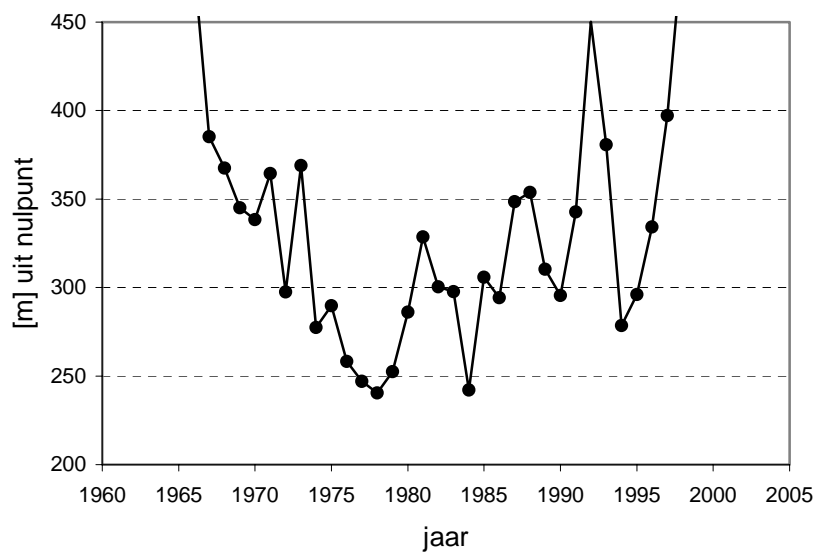
MKL raai 2640



MKL raai 2700



MKL raai 3041



2 Beheersvragen

De twee hoofdvragen die door de beheerder van dit kustgebied, Directie Noord-Holland, worden gesteld zijn de volgende:

1. **Is de aanleg van de Eijerlandse dam tot op heden kostenbesparend geweest ten aanzien van het kustonderhoud en zal hij in de toekomst kostenbesparingen opleveren?**
2. **Meer generiek: Is een zeewaartse harde kustverdediging aan te bevelen op andere lokaties met een erosieprobleem?**

Om tot een beantwoording te komen worden de volgende deelvragen beantwoord :

- Hebben zich tijdens en na de aanleg ontwikkelingen voorgedaan, die kostenverhogend werken t.o.v. de raming? Is de kostenraming nauwkeurig geweest?
- Heeft de dam invloed op de erosie van de kust tussen de bolwerken Eijerland en Robbengat (Camping de Robbenjager)?
- Hebben de recente klachten van schelpenvissers betreffende de geringe waterdiepte ter hoogte van de drempel van het Engelsmangate te maken met de Eijerlandse dam?
- Zijn er andere effecten, b.v. ecologisch of op het gebied van natuurbeleving?
- Is er een invloed op grotere ruimteschalen, b.v. op het Engelsmangate, de Vliehors, de kust van Vlieland of de grootschalige zandbalans?

Om de effecten van de aanleg van de dam te kunnen bepalen, is inzicht nodig in de 'autonome' morfologische ontwikkeling, d.w.z. de ontwikkeling die plaats zou hebben gevonden zonder de dam. Deze autonome ontwikkeling is niet 'natuurlijk', omdat er naast de dam tal van andere ingrepen in het gebied hebben plaats gevonden, zoals de aanleg van de bolwerken, zandsuppleties en zandwinningsen.

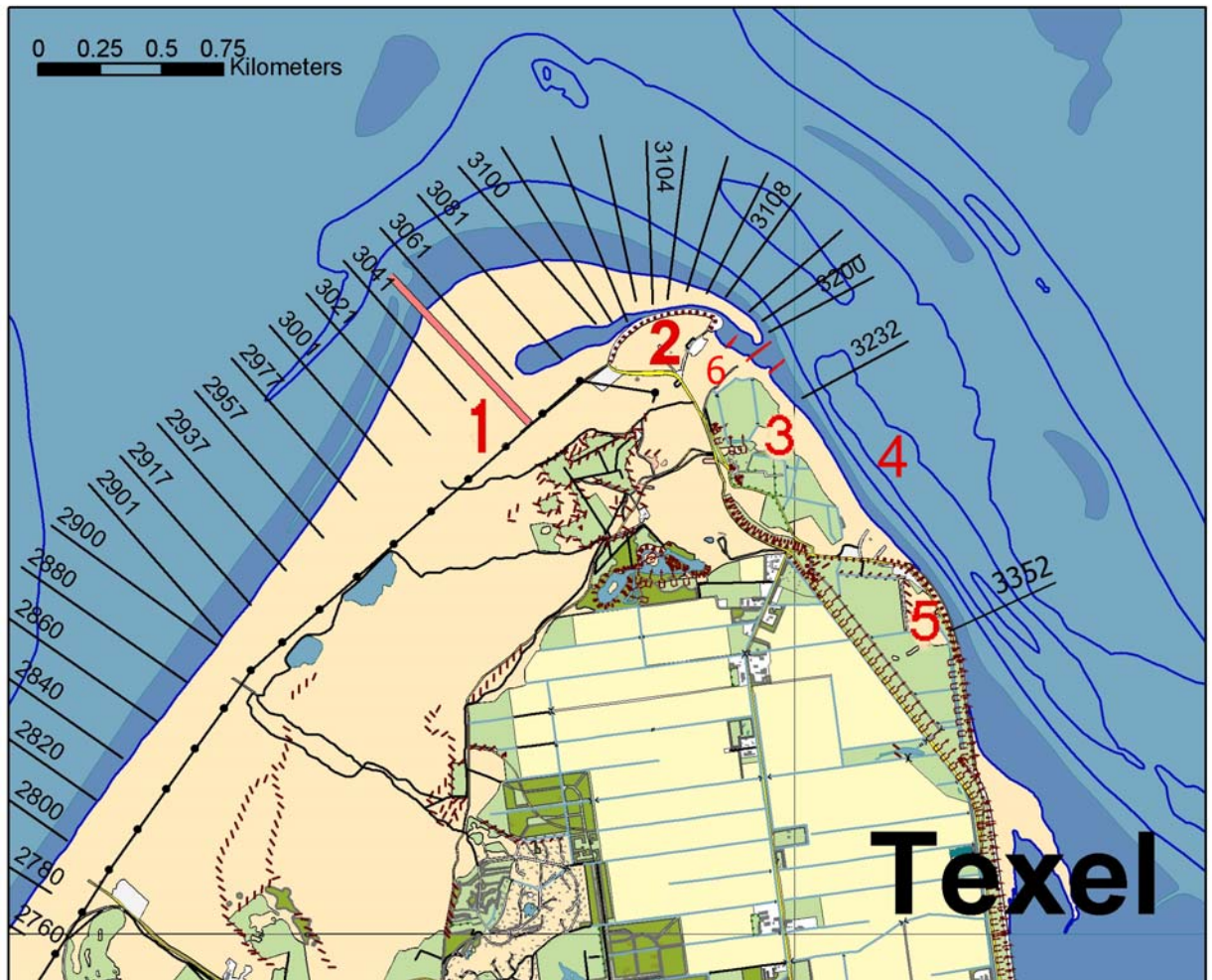
Met dit als uitgangspunt zijn de volgende concrete onderzoeksvragen te benoemen :

- Wat is de "autonome" ontwikkeling van het Robbengate? Is er sprake van een cyclisch gedrag?
- In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengate beïnvloed door de aanleg van de bolwerken Eijerland en Robbengate?
- In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengate beïnvloed door de zandwinningsen in 1984/85 en 1995?
- In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengate beïnvloed door de Eijerlandse dam?
- Wat zijn de "inschakelverschijnselen" van de Eijerlandse dam en wat zijn de effecten op middellange termijn?
- In hoeverre en met welke betrouwbaarheid is de morfologische ontwikkeling na de aanleg van dit type kustverdediging te voorspellen? Zijn numerieke modellen hiervoor een geschikte middel?

Figuur 4

De kop van Texel met de Jarkus raaien. De nummering geeft de afstand evenwijdig aan de kust aan in decameters. Raai 3100 ligt b.v. op km 31.

- 1 : Eijerlandse dam
- 2 : Bolwerk Eijerland
- 3 : Camping de Robbenjager
- 4 : Robbengat
- 5 : Bolwerk Robbengat
- 6 : Strekdammen



3 Kustverdediging en kustlijnzorg

3.1 Veranderend beleid met betrekking tot kustlijnzorg

Sinds 1990 wordt voor de kust het beleid van "dynamisch handhaven" gevolgd en wordt de kustlijn op de meeste plaatsen waar kustachteruitgang optreedt, gehandhaafd door het aanbrengen van zand door middel van zandsuppleties. Tot 1990 werd de Nederlandse kust met name verdedigd door het aanbrengen van harde constructies. Het aanbrengen van zandsuppleties wordt "zachte" kustverdediging genoemd. De kustlijn kan immers nog steeds van vorm veranderen en lokaal kan de zandhoeveelheid zelfs afnemen. Het weggevoerde zand zal echter op andere plaatsen weer ten goede komen aan de kust, zodat er geen zand verloren gaat. Een suppletie op een bepaalde plaats moet meestal na een aantal jaren worden herhaald, omdat het aangebrachte zand door golven en stroming is meegevoerd en in andere kustvakken is terecht gekomen.

Harde kustverdedigingsmaatregelen, waarvan de Eijerlandse dam een bijvoorbeeld is, zijn in het vigerende kustbeleid een laatste optie. Alleen wanneer zandsuppleties niet voldoen voor het tegengaan van de kustachteruitgang, of wanneer de kosten van zachte verdediging excessief hoog worden, wordt er een harde kustverdediging aangelegd. Bij de aanleg van de Eijerlandse dam waren de hoge kosten van de noodzakelijke zandsuppleties doorslaggevend.

De terughoudendheid bij de aanleg van harde kustverdedigingsmaatregelen komt voort uit 3 overwegingen:

1. Zeewaartse harde kustverdedigingsmaatregelen beperken lokaal de achteruitgang van de kust, maar vergroten de problemen in de omgeving. Zand wordt 'gevangen' door de constructie, zodat elders dusdanige kustachteruitgang kan optreden dat daar weer zandsuppleties nodig zijn.
2. De aanleg van harde kustverdedigingsmaatregelen is vaak dusdanig kostbaar, dat kustonderhoud met zandsuppleties, ondanks de noodzakelijke herhaling daarvan, goedkoper uitpakt.
3. De aanleg van een harde kustverdediging is permanent, zodat bij een verkeerde uitwerking van de ingreep, of veranderde inzichten over het kustbeheer, geen terugkeer naar de oorspronkelijke situatie mogelijk is.

Na de aanleg van de Eijerlandse dam zijn twee nieuwe aspecten toegevoegd aan het kustbeleid en-beheer. Vanwege de goede ervaring met de eerste onderwatersuppletie op Terschelling zijn onderwatersuppleties de norm geworden voor het kustbeheer. En vanaf 2000 is het kustbeleid er op gericht om naast de kustachteruitgang, alle zandverliezen van de Nederlandse kust te compenseren. Het zandvolume dat met strand- en onderwatersuppleties is gemoeid, is nu jaarlijks 12 miljoen m³.

3.2 Kustverdedigingsmaatregelen tot 1995

In het verleden is er rond Eijerland een aantal kustverdedigingsmaatregelen genomen, die eerder als landaanwinning gezien kunnen worden. Hiertoe behoort o.a. de aanleg van de zanddijk tussen Texel en Eijerland in 1629 (Schoorl, 1999). In 1835 werd de Eijerlandse polder aangelegd, waarmee de oostzijde van Eijerland een zeekering kreeg in de vorm van een zeedijk.

In de eeuw die hierop volgde is de natuurlijke kustlijn ten noorden van deze polder sterk teruggelopen als gevolg van kusterosie. Om overstromingsgevaar en verdergaand landverlies tegen te gaan is vanaf 1948 een aantal gerichte kustverdedigingsmaatregelen getroffen.

De noord-oostkust

Ten noorden van de Eijerlandse polder vond sterke kusterosie plaats door het opschuiven van het Robbengat in westelijke richting. Tussen 1809 en 1947 heeft het Robbengat (toen 'Vogelzwin') zich een kilometer verplaatst ten koste van de oostkust van Eijerland. Om dit proces een halt toe te roepen werd in 1948 het bolwerk Robbengat aangelegd. In 1956 volgde het bolwerk Eijerland samen met enkele strekdammen aan de oostzijde ervan (fig. 4). Sinds 1956 is de westelijke geulwand van het Robbengat bij Eijerland min of meer gefixeerd, maar teruggang van de kustlijn en duinenrij tussen de bolwerken vindt af en toe plaats en blijft een bedreiging voor de kust. Om de erosieve druk op de Eijerlandse kust te verminderen hebben in 1984 en 1985 geulverdiepingen (t.b.v. zandwinning) plaatsgevonden in het Robbengat. De geuldoorsnede werd plaatselijk naar het oosten toe groter gemaakt, met de bedoeling, dat de getijstroomsnelheden lokaal af zouden nemen en de kans op erosie van de westelijke geulwand en de oostkust van Eijerland zou verminderen.

Deze maatregel heeft er mede toe geleid, dat het diepste gedeelte van de geul zich naar het noord-oosten verlegde en dat de geul aansluiting zocht bij het Engelsmangat. Dit proces is in 1995 gestopt als direct gevolg van de aanleg van de Eijerlandse dam.

De noord-westkust

Ook de noord-westkust van Eijerland is tussen het begin van de 19^e eeuw en het midden van de 20^e eeuw flink achteruitgegaan, op enkele plaatsen met meer dan anderhalve kilometer. De achteruitgang vond vooral plaats tussen km 28 en km 32. Dit heeft mogelijk te maken met de orientatie van de hoofdgeul in het Eijerlandse Gat. Deze liep volgens de lodingskaart van 1809 nog langs de noord-westkust van Eijerland, waardoor dit gebied via de ebstroom van zand werd voorzien. Na deze tijd is deze geul zich in de richting van Vlieland gaan bewegen, waardoor het zand zich op de Vliehors ging afzetten. Als gevolg van de gradient in het golfgedreven zandtransport langs de noord-westkust van Eijerland trad daar een zandverlies op, dat niet meer werd aangevuld door de ebstroom (Rakhorst, 1999).

De aanleg van het bolwerk Eijerland in 1956 heeft de kustachteruitgang vertraagd, maar niet helemaal gestopt (fig.3). Tussen 1979 en 1995 geven de Jarkus lodingsdata voor het kustvak tussen km 25 en km 31 een zandverlies aan van 665.000 m³ per jaar (zie bijlage 5).

Sinds 1979 wordt dit verlies gecompenseerd door zandsuppleties. In hetzelfde kustvak is in die jaren gemiddeld 640.000 m³ per jaar gesuppleerd.

Tevens vond er duinonderhoud plaats door het plaatsen van stuifschermen en het planten van helm.

3.3 De dam

Om de kosten van de noodzakelijke zandsuppleties te verminderen is in 1993 besloten om de Eijerlandse dam aan te leggen. In 1993 werd nog uitgegaan van een dam met een lengte van 1500 m en de verwachting was, dat de suppletiebehoefte in het kustvak ten zuiden van de dam tussen 2000 en 2010 met 3,8 miljoen m³ zou verminderen (Rakhorst en Pwa, 1993). Tegen de toen geldende zandprijs zou dit een besparing betekenen van 17 M€, afgezien van de onderhoudskosten van de dam. De aanlegkosten zouden daarmee in 2010 ruim terugverdiend zijn.

In 1995 werd een 800 m lange stenen strekdam loodrecht op de kust ter hoogte van kilometer 30,5 aangelegd. Hieraan voorafgaand werd een strandsuppletie uitgevoerd van 2,3 miljoen m³ tussen km 28,2 en km 30,6. Deze strandsuppletie was noodzakelijk omdat de MKL te ver was teruggelopen en maakte dus onderdeel uit van het normale kustonderhoud. De kosten hiervan worden dus niet bij de aanlegkosten van de dam gerekend. Van het benodigde suppletiezand werd 1 miljoen m³ gewonnen op een lokatie direct ten oosten van de kop van de aan te leggen dam. De totale kosten van de dam, inclusief bestortingen, zinkwerk, onderhoud tot op heden en voorbereidend wetenschappelijk onderzoek bedroegen ongeveer 9 M€.

3.4 Kustverdedigingsmaatregelen na 1995

De kop van de dam werd in 1997 met zinkstukken versterkt, omdat de ervoor ontstane erosiekuil dieper was geworden dan verwacht. Aan de noord-oostzijde van Eijerland waren na 1995 nog enkele kleinschalige maatregelen nodig om duinafslag en overstromingsgevaar in het gebied tussen de bolwerken te voorkomen (Boers, 2000). In 2000 werd hier een lage zanddijk aangelegd. In 2003 en 2004 werden zinkstukken aan de teen van het bolwerk Robbengat gelegd om dreigende ondermijning te voorkomen.

4 Morfologische ontwikkeling voor en na de dam

Rond Eijerland vinden al eeuwen menselijke ingrepen plaats, de één groter dan de ander. Belangrijke recente ingrepen zijn geweest de aanleg van de Afsluitdijk, begonnen in 1926, de aanleg van de bolwerken in 1948 en 1956 en de zandsuppleties sinds 1979. Van geheel natuurlijke morfologische ontwikkelingen is daarom geen sprake.

De aandacht is in dit rapport gericht op de Eijerlandse dam en daarom wordt hier onder 'autonome ontwikkeling' verstaan : de ontwikkeling tot 1995, toen de dam werd aangelegd. Hierbij worden de effecten van eerdere ingrepen dus als autonoom beschouwd.

4.1 Getijdegeulen en buitendelta

Het zeegat tussen Texel en Vlieland wordt in het algemeen 'het Eijerlandse Gat' genoemd. Op dit moment bestaat dit zeegat uit twee gescheiden geulsystemen. Het noordelijke geulstelsel wordt tegenwoordig het Engelsmangot genoemd en het zuidelijke het Robbengat. Voor 1971 heette het Robbengat 'Vogelzwin'.

De morfologische ontwikkeling van het Eijerlandse gat valt af te lezen uit de bodemdieptekaarten voor verschillende jaren. In bijlage 1 is er een aantal gepresenteerd, te beginnen bij die van het jaar 1852 (zie ook Joustra, 1971 en Endema, 1978).

Tussen 1852 en 1971 waren er relatief sterke verbindingen waar te nemen tussen Engelsmangot en Vogelzwin. Daarna zijn deze verbindingen veel minder belangrijk en nauwelijks zichtbaar in de bodemtopografie.

4.1.1 Verbonden geulen (1852-1971)

Op de kaart van 1852 is al sprake van een noordelijke en een zuidelijke geul, maar er bestond een aantal verbindingen tussen die twee. De verbinding tussen het Vogelzwin en het Engelsmangot werd daarna steeds belangrijker en op de kaart van 1886 vormen Vogelzwin en Engelsmangot samen één hoofdgeul. De oriëntatie van het Engelsmangot is met de klok mee van ZW naar W verschoven.

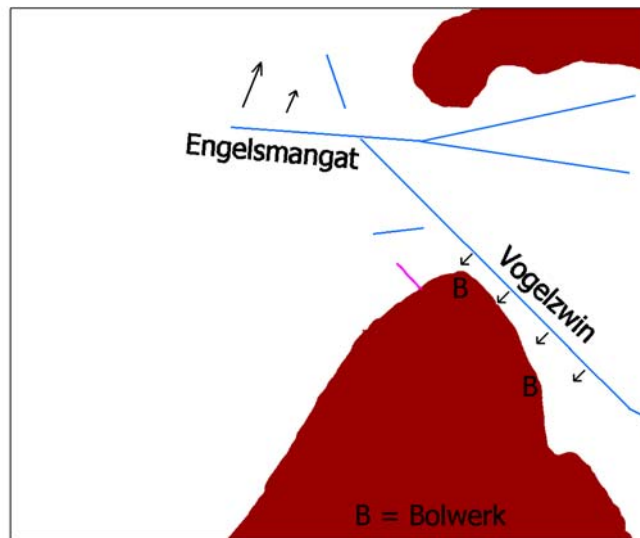
In 1902 en in 1926 is de verbinding tussen Vogelzwin en Engelsmangot weer minder belangrijk geworden. Het Engelsmangot is verder met de klok mee gedraaid en wijst nu naar het NW.

In 1934 heeft de verbinding tussen Vogelzwin en Engelsmangot zich weer hersteld. Het Engelsmangot is nog verder naar het noorden gedraaid, maar een westelijk geïoriënteerde nevengeul is nu belangrijker geworden. Dit laatste wijst op een mogelijk cyclisch gedrag. De bemonsteringsfrequentie is echter te laag om hier een tijdschaal of periode aan te kunnen verbinden.

In 1947 blijkt deze geul weer naar het NW gedraaid te zijn en in 1952 nog verder.

Het Vogelzwin had in 1947 ook een oriëntatie naar het NW. In 1952 was deze verder naar het noorden gedraaid, waardoor een verbinding (ondieper dan 5 m) met het Engelsmangot ontstond. Deze verbinding werd steeds belangrijker en in 1971 mondde het Vogelzwin uit in het Engelsmangot op een diepte groter dan 5 m.

Figuur 5
Bewegingen van het Engelsmangat en
het Vogelzwin tussen 1852 en 1971



Samenvattend : in de periode tussen 1852 en 1957 waren de karakteristieke morfologische bewegingen de volgende :

Het oorspronkelijke Eijerlandse Gat (1852) verdween als belangrijkste geul. Gedurende bijna de hele periode schoof het Vogelzwin op naar het westen waardoor de oostkust van Eijerland voortdurend landwaarts verschoof tot in 1948 en in 1956 de bolwerken Eijerland en Robbengat werden aangelegd. Sindsdien verschuift de kustlijn niet meer en is de situatie tussen de bolwerken min of meer stabiel.

Het Vogelzwin mondde gedurende lange perioden uit in het Engelsmangat. Het Engelsmangat draaide in de buitendelta voortdurend met de klok mee. Als de oriëntatie van de geul eenmaal NNW was, nam een meer westelijk georiënteerde nevengeul het over.

4.1.2 Gescheiden geulen (vanaf 1976)

Vanaf 1976 is er beneden de 5 m dieptelijn geen verbinding meer tussen het Engelsmangat en het Robbengat (zie bijlage 2). Het Engelsmangat en de bijbehorende binnen- en buitendelta's veranderen niet veel meer van vorm en positie.

Het Robbengat ondervindt de effecten van zandsuppleties, ontgrondingen en uiteindelijk de Eijerlandse dam. Vorm en ligging zijn tamelijk variabel.

In bijlage 2 wordt de ontwikkeling van het Robbengat weergegeven voor de geulgedeelten met een diepte groter dan 5 m (lichtblauw) en groter dan 10 m (rood).

De situatie leek in 1976 nog veel op die in 1971, maar de geul eindigt in 1976 in een eigen ebdrempel en niet meer in het Engelsmangat. Deze monding verlegt zich dan enigszins naar het zuiden en het begin van een nevengeul ten zuiden hiervan ontstond in 1982. In 1985 had deze zuidelijke nevengeul het overgenomen van de noordelijke. In 1985 werd het noord-oostelijke deel van de geul door een zandwinning verdiept. Deze lokatie is donkerblauw aangegeven in bijlage 2.

Door deze verdieping begon de noordelijke tak zich weer te ontwikkelen. Deze schoof op naar het noorden, zodat hij in 1995 bijna aansloot op het Engelsmangat (bijlage 3).

4.1.3 Ontwikkeling na de aanleg van de Eijerlandse dam in 1995

Kort voor de aanleg van de Eijerlandse dam in 1995 heeft zandwinning plaatsgevonden aan de zeezijde van de zuidelijke tak van het Robbengat. Er werd gewonnen tot een diepte van -14 m. Dit is het donkerrode gedeelte in

het paneel 1995 van bijlage 3. In eerste instantie ontwikkelde deze geul zich in het verlengde van de zandwininput in de richting van de kop van de dam, waar een ontgrondingskuil ontstond. Deze ontwikkeling leidde ertoe, dat de zuidelijke tak meer stroom trok en in belang toenam. Dit ging ten koste van de noordelijke tak, die ondieper werd (1996).

De noordelijke tak verplaatste zich tot 1997 nog steeds in de richting van het Engelsmangat, maar nam na 1995 steeds meer in betekenis af ten gunste van de zuidelijke tak (bijlage 2 en 3).

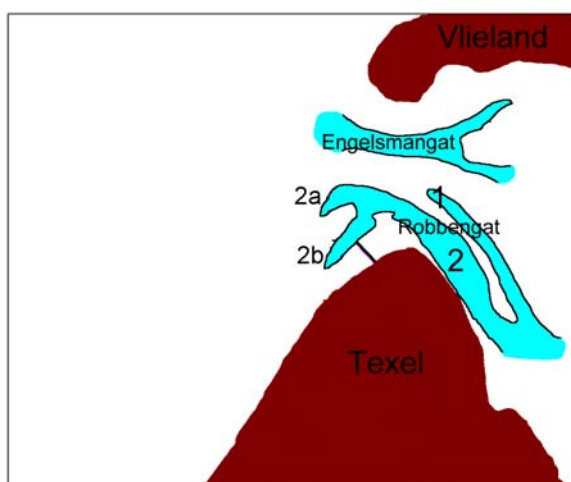
Na 1995 begon de zuidelijke tak zich ten noorden van de Eijerlandse dam te splitsen. Vanaf 1997 waren er twee zuidelijke takken (2a en 2b in fig. 6). Tak 2b liep door de ontgrondingskuil en tak 2a liep ten noorden daarvan en ontwikkelde zich uiteindelijk tot de belangrijkste tak. De zandwininput was toen al weer aardig opgevuld (tot -9 m) en was zich naar het noorden aan het verplaatsen.

In de jaren daarna zette deze ontwikkeling zich voort. De oude noordelijke tak (1) verondiepte nog verder.

Afsplitsing 2a is nu de belangrijkste tak van het Robbengat. Hij is nu gelegen op de plaats waar in 1976 en in 1994 de noordelijke tak (1) lag. Het is de vraag of deze tak zich net zo zal gaan gedragen als de oude noordelijke tak (1). Tak 2b is namelijk behoorlijk op zijn plaats gefixeerd door de aanwezigheid van de dam. Het is daarom niet waarschijnlijk dat tak 2a zich nog bij het Engelsmangat gaat voegen.

Figuur 6
Het Engelsmangat en het Robbengat in 2001 met de onderscheiden nevengeulen

1. Oude noordelijke tak
2. Zuidelijke tak
- 2a. Zuidelijke hoofdtak
- 2b. Zuidelijke neventak



Tak 2 is na 1995 meer stroom gaan trekken. Dit heeft voornamelijk geresulteerd in het breder worden van de geul aan de NO kant van Eijerland. De zuid-westelijke geulwand is op zijn plaats gebleven en de noord-oostelijke geulwand is flink opgeschoven (zie ook bijlage 4). Op een enkele plaats is tak 2 ook dieper geworden (langs de kust tussen de raaien 3110 en 3352).

Het Engelsmangat blijft de belangrijkste getijgeul van het hele zeeget. Wel is tussen 1987 en 1993 de monding een stuk ondieper geworden. In 1987 was deze nog 5 m diep. Daarna is dat flink afgenomen. Schelpenvissers maken op dit moment regelmatig melding van het feit dat hun grotere schepen vastlopen op de drempel van het Engelsmangat (Mulder, 2004). In feite bestond deze morfologische situatie al in 1993, dus een verband met de Eijerlandse dam is niet aanwezig.

Figuur 7

De kop van Eijerland in 1993 (boven) en in 1999 (onder).

De zich ontwikkelende zandvlakte is de kop van het eiland aan het ronden in 1999.

De dam bevindt zich buiten beeld aan de rechterzijde.



4.2 Kustontwikkeling van noord- en noord-oost-Eijerland

De ontwikkeling van de noord-oostkust van Eijerland hangt nauw samen met de ontwikkeling van het Robbengat. Dit is voortdurend naar het zuid-westen opgeschoven ten koste van de noord-oostkust van Eijerland (zie fig. 5). Dit blijkt ook duidelijk uit de kaarten in bijlage 1. De recente kustontwikkeling is te zien in de Jarkus raaien ten oosten van de dam en rond het bolwerk Eijerland (zie bijlage 4).

4.2.1 Ontwikkeling vóór 1995

Vóór 1995 vond er regelmatig een sterke kusterosie plaats door het opschuiven van het Robbengat in westelijke richting. Tussen 1809 en 1947 heeft het Robbengat ('Vogelzwin') zich een kilometer verplaatst ten koste van de oostkust van Eijerland.

Sinds 1956 is de westelijke geulwand van het Robbengat bij Eijerland min of meer gefixeerd door het bolwerk Robbengat, maar een geringe teruggang van de kustlijn en duinenrij tussen de bolwerken Robbengat en Eijerland vond nog steeds incidenteel plaats. Zo is er tussen 1973 en 1976 tussen de bolwerken een duin van 6 m hoog verdwenen.

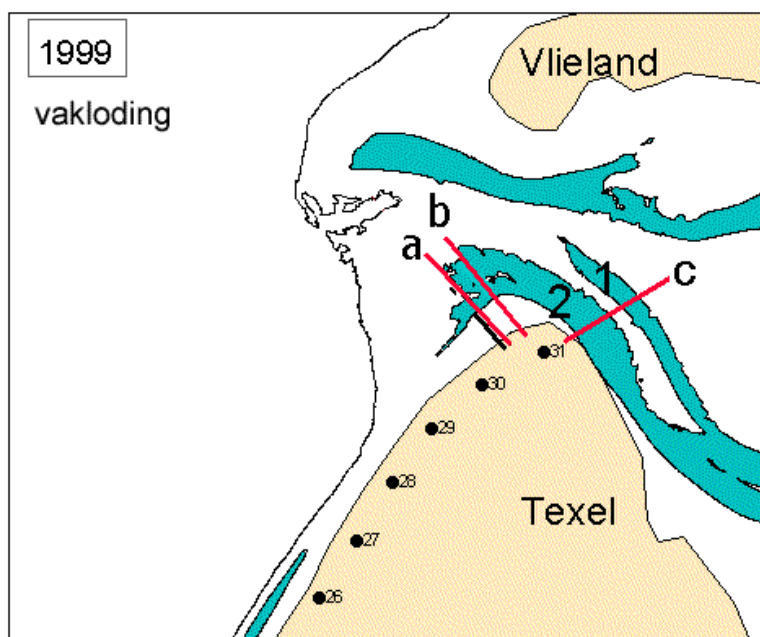
De geulverdiepingen t.b.v. zandwinning van 1984 en 1985 hebben er toe geleid, dat de noordtak (1 in fig. 8) van het Robbengat meer stroom ging trekken en aansluiting zocht bij het Engelsmangat. De zuidtak (2 in fig. 8) verondiepte hierdoor, met als gevolg dat de oostkust van Eijerland minder bloot stond aan erosieve processen.

De aanleg van de Eijerlandse dam heeft een omgekeerde ontwikkeling in gang gezet.

De hierboven geschetste ontwikkeling is goed te zien in raai 3200 (zie fig. 8, 9 en bijlage 4), die loopt in noord-oostelijke richting vanaf het Bolwerk Eijerland. Van 1965 tot 1995 beweegt de oorspronkelijke geul zich 850 m van de kust af, waarbij hij iets ondieper wordt. Hij vormt dan de noordelijke tak (1) van het geulensysteem Robbengat.

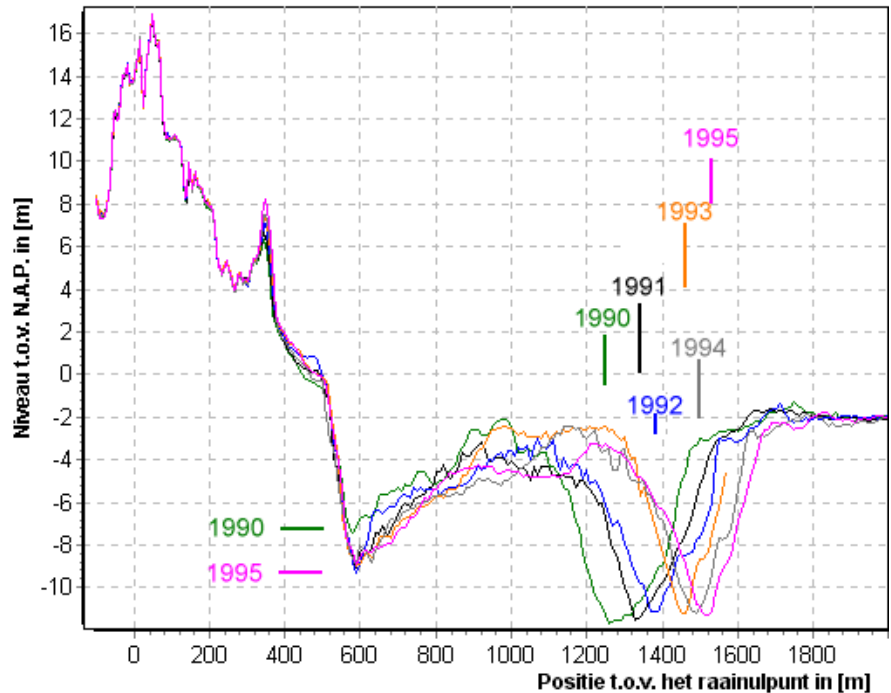
Figuur 8

Ligging van de belangrijkste geulen (1 is de oude noordelijke tak van het Robbengat en 2 is de nieuwe zuidelijke tak) in blauw (geuldiepte > 5m) in 1999 met in rood aangegeven de Jarkus raaien 3061 (a) en 3100 (b) en 3200 (c).



Figuur 9

Bodemprofielen in Jarkusraai 3200 (raai C in fig. 9) van 1990 t/m 1995. De ontwikkeling van de noord- (1) en zuidtak (2) van het Robbengat voor de aanleg van de dam is hier goed te zien.



Vanaf 1970 vormt zich een ondiepte op 750 m uit het raainulpunt, die zich naar zee toe uitbouwt. In 2003 bevindt het hoogste punt van deze ondiepte zich op positie 1350 m en heeft een hoogte van NAP -1 m (bijlage 4). Ten zuid-westen van deze ondiepte bevindt zich het oorspronkelijke Robbengat. Het diepste punt bevindt zich ongeveer op positie 600 m. Door de jaren heen varieert de diepte tussen de 7 en 11 m. In 1995 was de diepte 9 m bij een licht dalende trend.

4.2.2 Ontwikkeling na 1995

Door de aanleg van de dam en de zandwinning in het verlengde van de geul werd de zuidelijke tak van het Robbengat (2 in fig. 8) weer belangrijker en namen de getijvolumina door deze tak toe. Ten zuid-oosten van Jarkusraai 3200 werd deze tak dieper, op sommige plaatsen bijna 4 m (fig. 14). Tussen 1997 en 2001 vond er op een aantal plaatsen tussen de bolwerken kust- en duinafslag plaats (bijlage 4, fig. 4.5-4.7). Dit kan het gevolg zijn geweest van de toegenomen getijdynamiek in de zuidtak van het Robbengat.

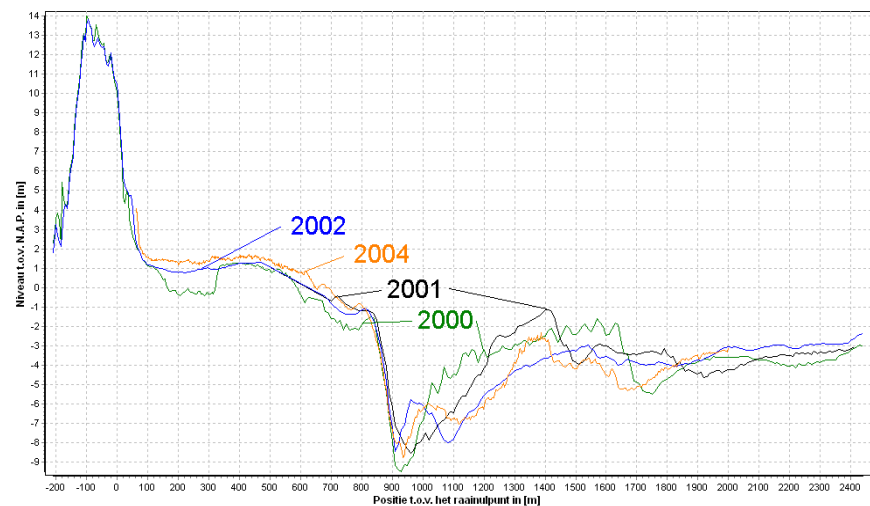
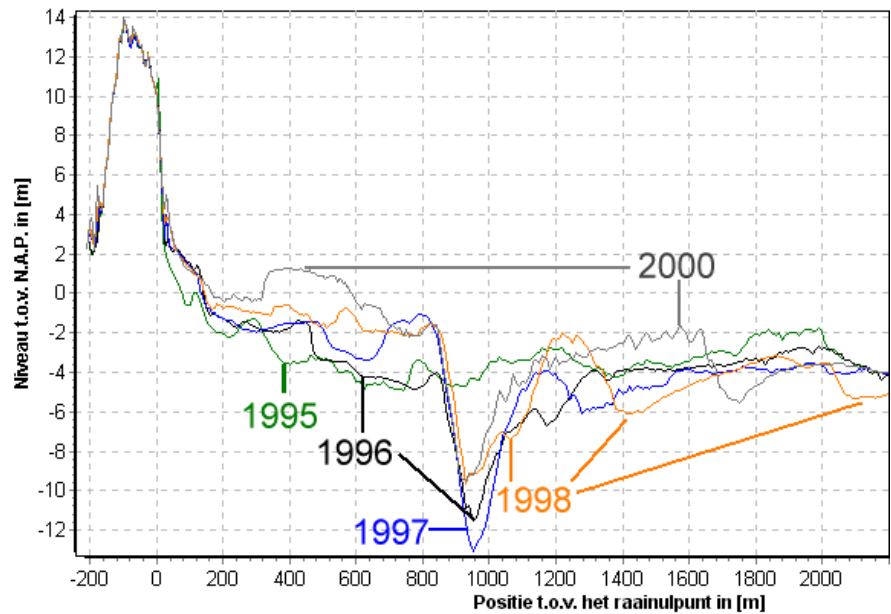
De aanleg van de dam heeft echter ook een ontwikkeling veroorzaakt die deze negatieve effecten weer (deels) te niet doet. Ten noord-oosten van de dam vond en vindt een zeer snelle aanzanding plaats in de vorm van een tegen de kust aanliggende zandtong die zich naar het oosten uitbreidt (zie b.v. fig. 4 en fig. 7).

Uit de raailodgingen (bijlage 4) en uit figuur 7 valt op te maken, dat de verlanding ten oosten van de Eijerlandse dam zich heeft uitgebreid rond de kop van het eiland. In 1999 is het bolwerk Eijerland al gerond en de strekdammen ten oosten van het bolwerk zijn bereikt. In 2002 en 2003 is er al een duidelijk effect van deze ontwikkeling zichtbaar in de raaien 3200, 3212 (op positie 300 m) en in raai 3292 (op 360 m), halverwege de bolwerken.

Het strand wordt hoger. Het valt aan te nemen dat deze ontwikkeling zich zal voortzetten.

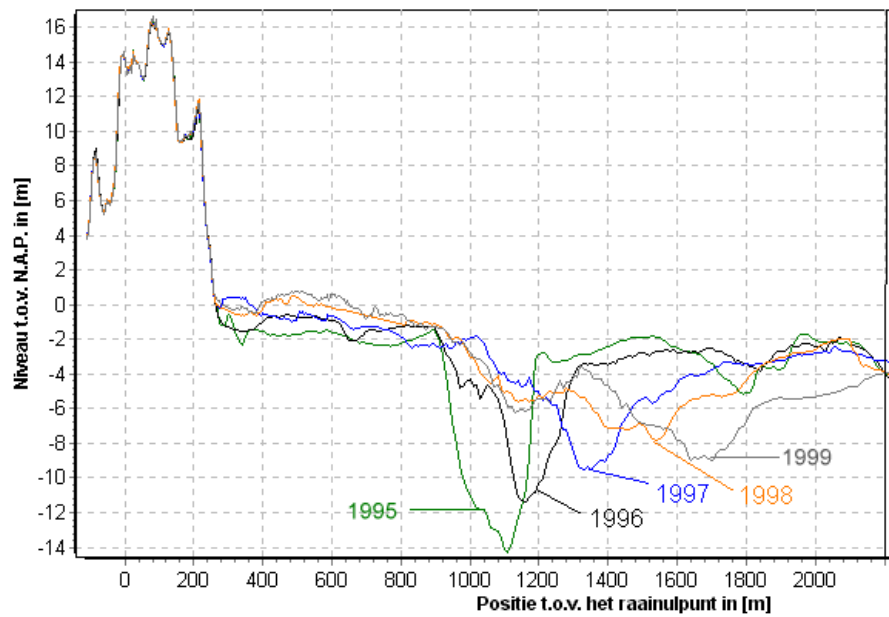
Figuur 10

Bodemprofielen in Jarkusraai 3061 van 1995 t/m 2004. In deze raai (a in fig. 8, 110 m naast de Eijerlandse dam) is het ontstaan, verdiepen en verondiepen van de ontgrondingskuil aan de kop van de dam zichtbaar evenals de verlanding rond de dam.

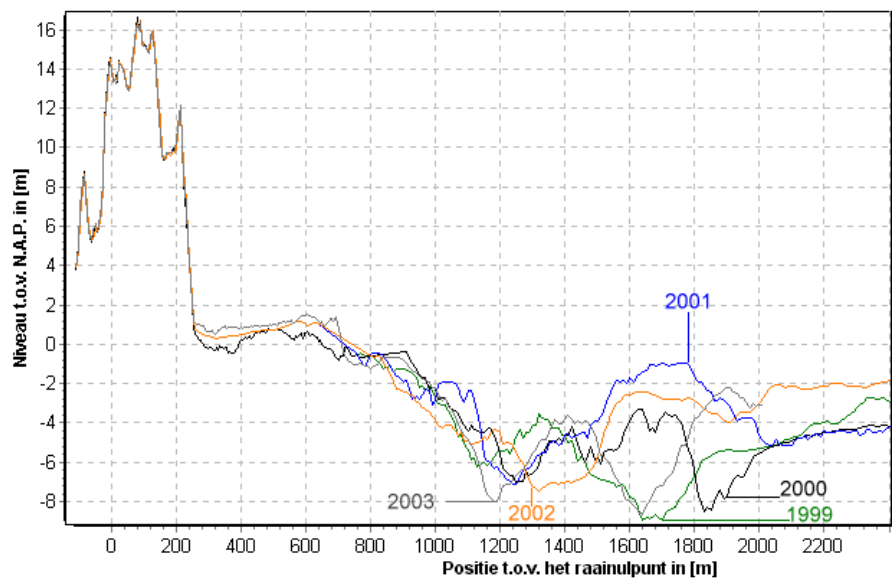


De ontwikkeling van de oostelijke 'oksel' van de dam is goed zichtbaar in raai 3061, de eerste raai ten NO van de dam (fig. 10). Deze raai loopt net niet door de zandwinput van 1995. Wel loopt hij door de ontgrondingskuil bij de kop van de dam (maar niet door het diepste punt). Deze kuil bestond nog niet in 1995, maar in 1996 is hij in raai 3061 al 11 m diep. In 1997 is de diepte toegenomen tot 13 m, maar loopt dan terug tot 8,5 m in 2004. Ook is in deze raai de snelle ontwikkeling van de zandplaat naast de dam goed te zien. De 'verlanding' rond de dam met strandhoogtes van NAP +1 m vindt plaats tot 600 m uit de duinvoet en heeft zijn maximum in 2000 bijna bereikt. Daarna neemt de strandhoogte nog langzaam toe (zie bijlage 4).

Figuur 11
 Bodemprofielen in Jarkusraai 3100 van 1995 t/m 1999. In deze raai (b in fig. 8) is het verondiepen en verplaatsen van de zandwinput te zien.



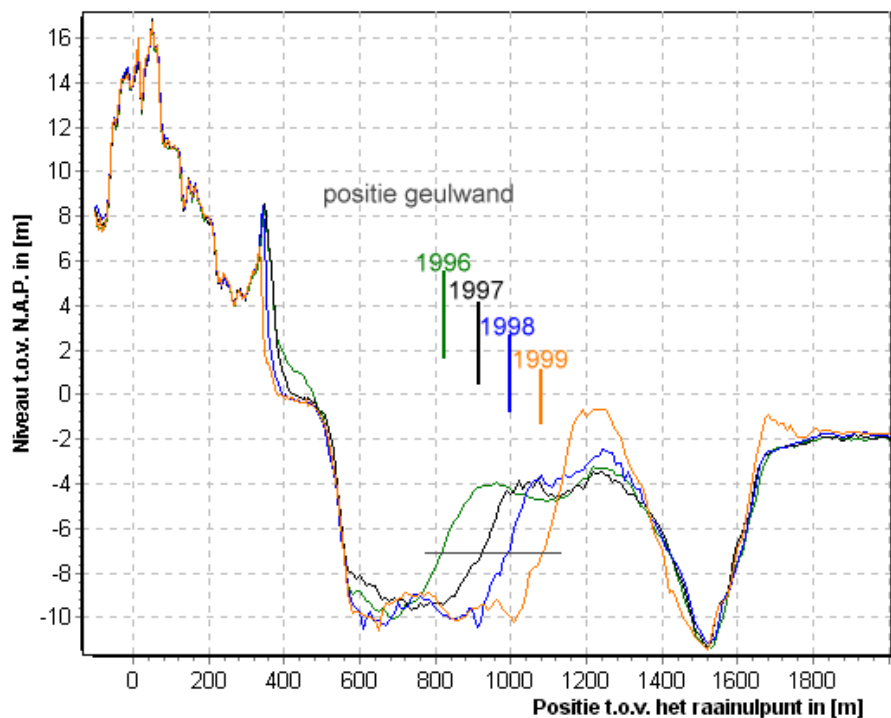
Figuur 12
 Bodemprofielen in Jarkusraai 3100 van 1999 t/m 2003. (Raai b in fig.8) Hier schuift de zandwinput heen en terug. Een nieuwe geul ontwikkelt zich op de oude lokatie.



Raai 3100 ligt 400 m verder naar het NO en loopt door de zandwinput van 1995. Aanvankelijk was deze put 14 m diep. In de jaren daarna migreerde de put naar het noorden waarbij de diepte afnam. In 1999 begint zich weer een nieuwe geul te vormen op de oude zandwin-lokatie. In 2003 is de diepte weer 8 m. Het strand neemt nog steeds in hoogte toe.

Figuur 13

Bodemprofielen in Jarkusraai 3200 van 1996 t/m 1999. (Raai c in fig. 8) Hier is de ontwikkeling van de zuidtak (2) en de duinvoet zichtbaar.



Raai 3200 geeft een beeld dat representatief is voor de noord-oostkust. Vóór 1995 was de geul langs de kust (tak 2 in figuur 8) zich hier aan het verondiepen. Deze trend zette zich voort tot 1997, maar daarna nam de diepte weer langzaam toe. Tussen 1995 en 2003 werd de geul snel breder, waarbij de noord-oostelijke geulwand 400 m opschoof. Het profieloppervlak beneden de 4 meter verdubbelde bijna in die tijd. De geulwand aan de landzijde bleef nagenoeg op zijn plaats en er vond geen landwaartse verplaatsing van de kustlijn plaats. Tussen 1996 en 1999 verdwijnt er wel een stukje duin. Daarna is het duin stabiel.

Tak 1 van het Robbengat veranderde niet tussen 1995 en 1999, maar tussen 1999 en 2003 werd hij smaller en ondieper, waarbij de zuid-westelijke geulwand 150 m opschoof (bijlage 4).

Tak 2 van het Robbengat is sinds 1997 breder en dieper geworden. Het strand groeit sinds 1999 weer aan.

In andere Jarkusraaien tussen het bolwerk Eijerland en het Bolwerk Robbengat is dezelfde ontwikkeling te zien als in raai 3200. Het strand bouwt uit als gevolg van de ontwikkeling van de zandtong rond de kop van Eijerland.

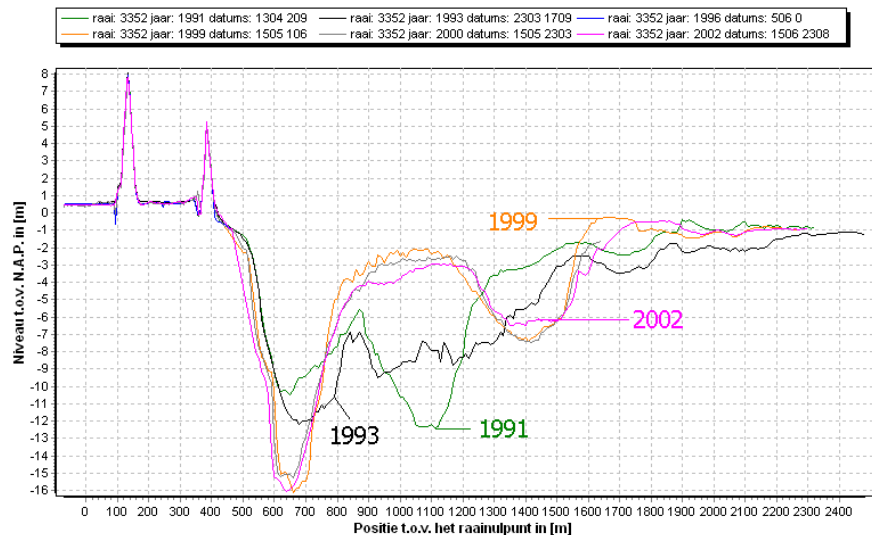
De geul direct er naast wordt wat dieper (zie bijlage 4, raai 3212-3292).

Alleen in raai 3352, ter hoogte van het bolwerk Robbengat (fig.4), is geen ontwikkeling te zien van een uitbouwend strand. De vooroever beneden de NAP -1 m lijn is steiler geworden en de geul dieper (fig. 14). Overigens was de geuldiepte tussen 1991 en 1993 al met 2 m toegenomen, dus er kan niet met zekerheid worden gezegd, dat de aanleg van de dam de oorzaak is geweest van deze ontwikkeling.

In 2004 zijn er voor het bolwerk Robbengat zinkstukken aangebracht om verdere erosie ter plaatse te stoppen.

Figuur 14

Bodemprofielen in Jarkusraai 3352 van 1991 t/m 2002. Deze raai is gelegen naast het bolwerk Robbengat



Samenvatting : Tot 2003 is de noord-oostkust van Eijerland onderhevig geweest aan kusterosie doordat het Robbengat (Vogelzwin) zich kustwaarts verlegde.

Door de aanleg van de bolwerken en het aanbrengen van zinkstukken is de kustachteruitgang gestopt.

In het gedeelte van het Robbengat ter hoogte van de bolwerken bestond vóór 1995 een ontwikkeling waarbij de geul zich voornamelijk naar het noord-oosten uitbreidde en zich uiteindelijk splitste in twee afzonderlijke takken. Mede door de aanleg van de Eijerlandse dam stopte de ontwikkeling van de noordelijke tak (1) van het Robbengat. Deze tak werd smaller en ondieper. De zuidelijke tak (2) werd daarentegen 400 m breder en lokaal 2 m dieper, waardoor het getijvolume door deze tak aanzienlijk toenam. De positie van de kust veranderde daardoor niet. Wel was er tussen 1995 en 1999 sprake van duinafslag en het lager worden van het strand. Dit is mogelijk het gevolg geweest van de aanleg van de dam, maar zeker is dat niet.

Na 2001 begon het strand weer hoger te worden als gevolg van de voortschrijding van de verlanding ten oosten van de Eijerlandse dam. Dit is zeker wél het gevolg van de aanleg van de dam. De totale zandhoeveelheid in het gebied tot 1000 m in zee lijkt echter nog steeds af te nemen als gevolg van het dieper worden van de zuidgeul (2) van het Robbengat.

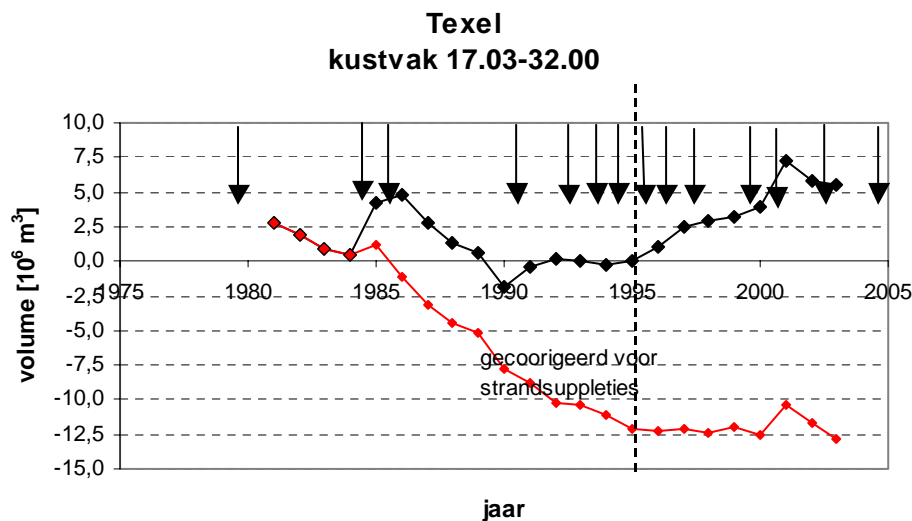
4.3 Ontwikkeling noord-westkust van Eijerland

Ook de noord-westkust van Eijerland is altijd onderhevig geweest aan sterke erosieve processen en de kustlijn heeft zich sinds 1852 ongeveer een kilometer naar het zuid-oosten verplaatst (bijlage 1). Door zandsuppleties wordt de kustlijn sinds 1979 op zijn plaats gehouden.

In figuur 3 (blz.16) is de ontwikkeling van de positie van de momentane kustlijn sinds 1963 te zien in een drietal raaien op de noord-west kust van Eijerland, gelegen tussen de Slufter (km 26) en de dam (km 30,5). Sinds 1975 is er een achteruitgang van de kustlijn te zien, die regelmatig wordt hersteld door een zandsuppletie.

Figuur 15

Ontwikkeling zandvolume tussen km 17.03 en km 32 (zwarte lijn). De pijlen geven de momenten aan waarop er is gesuppleerd (zie blz 16). De stippellijn geeft de bouw van de dam weer. De rode lijn geeft de 'autonome' ontwikkeling weer, d.w.z. zonder suppleties.



In fig. 15 en in bijlage 5 is in een aantal figuren de ontwikkeling weergegeven van het zandvolume van het gebied tussen km 17 en km 32, gemeten van de achterkant van het duin tot 1000 m in zee (gemakshalve het "Jarkusgebied" genoemd, maar wel verschillend van de "MKL/BKL-zone"). De bovenste lijn geeft de waargenomen volumeverandering weer. Sinds 1979 wordt er zand gesuppleerd, wat duidelijk waarneembaar is in de grafieken.

De onderste lijn geeft de ontwikkeling weer zonder de suppleties, d.w.z. de suppletievolumes zijn van de waargenomen volumes afgetrokken. De onderste lijn is in eerste orde benadering te beschouwen als de "autonome" ontwikkeling, d.w.z. de ontwikkeling die vermoedelijk plaatsgevonden zou hebben zonder de suppleties.

Na 1995 is het effect van de dam zichtbaar in de ontwikkeling van het zandvolume.

Niet het hele gebied tussen de Jarkusraaien 17.03 en 32.00 wordt even sterk beïnvloed door de dam. De invloed is uiteraard het grootst in de directe omgeving van de dam, gelegen tussen de raaien 28.80 en 31.00. Verder naar het zuiden zal de invloed minder of misschien geheel afwezig zijn. Om meer inzicht in te krijgen in de invloed van de dam buiten de directe omgeving is een opsplitsing gemaakt in vier deelgebieden

- 17.03 – 25.40
- 25.40 – 28.80
- 28.80 – 31.00
- 31.00 – 32.00

De ontwikkeling van de volumina is voor deze vier deelgebieden afzonderlijk bepaald evenals voor het gehele gebied tussen km 17.03 en km 32.00 (fig. 15). In het gehele gebied (km 17 – 32) heeft tussen 1981 en 1995 een 'autonome' erosie plaatsgevonden van meer dan $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Deze hoeveelheid is bijna geheel gecompenseerd door suppleties ten bedrage van van $12,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De "autonome" erosie bedroeg dus tot 1995 ongeveer een miljoen m^3 per jaar. Tussen 1995 en 2003 was de erosie gemiddeld bijna 10 x zo klein. Het is de vraag of dit een inschakelverschijnsel is als gevolg van de aanleg van de Eijerlandse dam, of dat de erosie op den duur weer zal toenemen en weer even sterk zal worden als voor 1995.

Een nadere beschouwing van de ontwikkelingen in de deelgebieden geeft hierover meer inzicht.

Het kustvak tussen km 17.03 - 25.4 had tussen 1981 en 1995 een "autonome" erosie van gemiddeld 410.000 m³ per jaar, die door suppleties weer werd aangevuld. Tussen 1995 en 2003 was er echter geen sprake meer van erosie, maar van een volumetoename die iets groter was dan het gesuppleerde volume. Er was dus sprake van een "autonome" aanzanding of op zijn minst een stabilisatie. Deze stabilisatie begon volgens fig. 5.2 (bijlage 5) al in 1992, dus het is niet waarschijnlijk dat de dam dit gebied heeft beïnvloed. Vermoedelijk waren de zandsuppleties (o.a. in 1993 en 1996) in de vakken ten zuiden van km 17.03 de oorzaak. Dit suppletiezand heeft zich ook over de meer noordelijke kustvakken verspreid. Vanaf 2002 zijn de effecten van de vooroeversuppletie tussen km 17 en km 23 waarschijnlijk merkbaar.

In het vak tussen km 25.4 - 28.8 vond tussen 1977 en 1995 een "autonome" erosie plaats van ongeveer 400.000 m³ per jaar (fig. 5.3, bijlage 5). Dit is na 1995 afgenomen tot ongeveer 270.000 m³ per jaar. Ook van deze afname kan de oorzaak worden gezocht in suppleties ten zuiden van km 25.4 en ook hier vond de trendbreuk al in 1992 plaats. Tussen raai 25.4 en raai 28.0 is gesuppleerd in 1999, 2000 en in 2004 (vooroever).

De dam ligt in het vak tussen km 28.8 – 31 op km 30.5. Tussen 1978 en 1995 vond er in dit vak een "autonome" volumeafname plaats van 265.000 m³ per jaar (fig. 5.4 bijlage 5). Van 1995 tot 2001 was de toename van het zandvolume ca. 500.000 m³ per jaar. Aan weerszijden van de dam vond na 1995 een snelle verlanding plaats, die na 2001 minder snel ging. Deze toename was zeker het gevolg van de aanleg van de dam. De toename in 2002 en 2003 was veel geringer. Het lijkt erop, dat het volume geleidelijk naar een evenwichtswaarde toegaat.

Het vak tussen de Jarkusraaien 31 en 32 beslaat een vrij groot oppervlak, omdat het gebied rondom de kop van het eiland ligt (zie fig.2). In dit vak wordt nooit gesuppleerd, omdat het geheel verdedigd wordt door het bolwerk Eijerland en de aangrenzende strandhoofden (fig. 4).

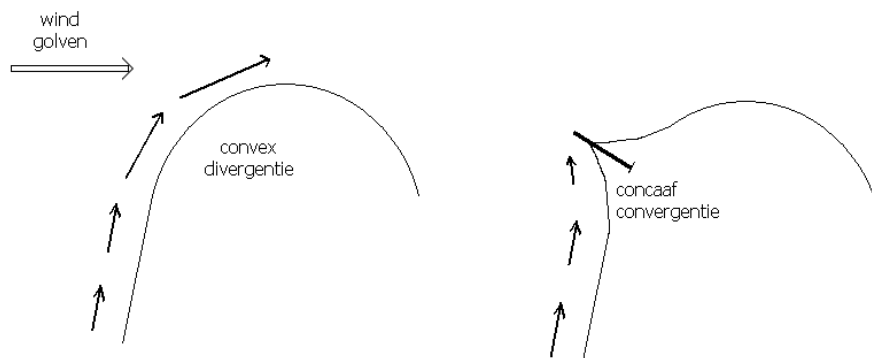
Tussen 1979 en 1994 was er een volumetoename van ongeveer 80.000 m³ per jaar (fig. 5.5, bijlage 5). Na 1995 was er 3 jaar lang een afname van 420.000 m³ per jaar, grotendeels als gevolg van het breder worden van de zuidwestelijke tak van het Robbengat in noord-oostelijke richting (zie b.v. fig. 4.4 in bijlage 4). Dit kan zeker gerelateerd worden aan de aanleg van de dam. In 2002 en 2003 was de afname gemiddeld 85.000 m³ per jaar. Het Robbengat werd toen niet veel breder en dieper meer. Aan de kust had de zand tong, die zich rond de kop van het eiland ontwikkelde, een positieve invloed op het zandvolume in dit gebied.

4.3.1 Fysische verklaring van de effecten van de dam

De fysische verklaring voor de aanzanding in de directe omgeving aan weerszijden van de dam is het wegvallen van de door getij, wind en golven aangedreven stroming evenwijdig aan de kust. De stroming volgt nu niet meer de kustlijn, maar buigt voor het bereiken van de dam af in zeewaartse richting. In het gebied tussen km 25 en km 31.5 doet het volgende fenomeen zich voor: In de situatie vóór 1995 volgde de stroming de convexe kustlijn van noord-west Texel. Bij wind uit de sector ZW tot NW wordt de vloedstroming versterkt door windstress en golfeffecten. Bij een bepaalde hoek tussen invallende golven en kust is het effect op het kustlangse transport maximaal. Hetzelfde geldt voor de windrichting. Het kustlangse zandtransport wordt over het algemeen sterker naar de noordpunt van Texel toe. Dit levert dus een divergerend veld van transportvectoren op (fig.16), wat samengaat met kusterosie.

Na 1995 was de lijn, die de vloedstroming volgde niet meer convex maar concaaf. De kustlangse vloedstroming wordt dan zwakker naar het noorden

Figuur 16
Divergente (links) en convergente (rechts) zandtransportvectoren evenwijdig aan de kust



toe. Hetzelfde geldt voor de golfgedreven stroming, met als gevolg een convergentie van de zandtransportvectoren en aanzanding. Ten noord-oosten van de dam zien we het fenomeen van de zich naar het oosten uitbreidende zandvlakte met een zandtong, die de kop van het eiland rondt.

Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat de vloedstroming door de dam minder dicht bij de kust kan komen. De ebstroming kan dat wel, maar is kennelijk niet krachtig genoeg om erosie te veroorzaken.

De vloedstroming verbreedt zich na het passeren van de kop van de dam, waarbij de stroomsnelheden afnemen. Daardoor vermindert de zandtransportcapaciteit en treedt er aanzanding op achter de dam. Achter de kop van de dam zijn nog de sporen zichtbaar van een kleine neer met een diameter van ongeveer 100 m. Binnen en buiten deze neer vindt aanzanding plaats.

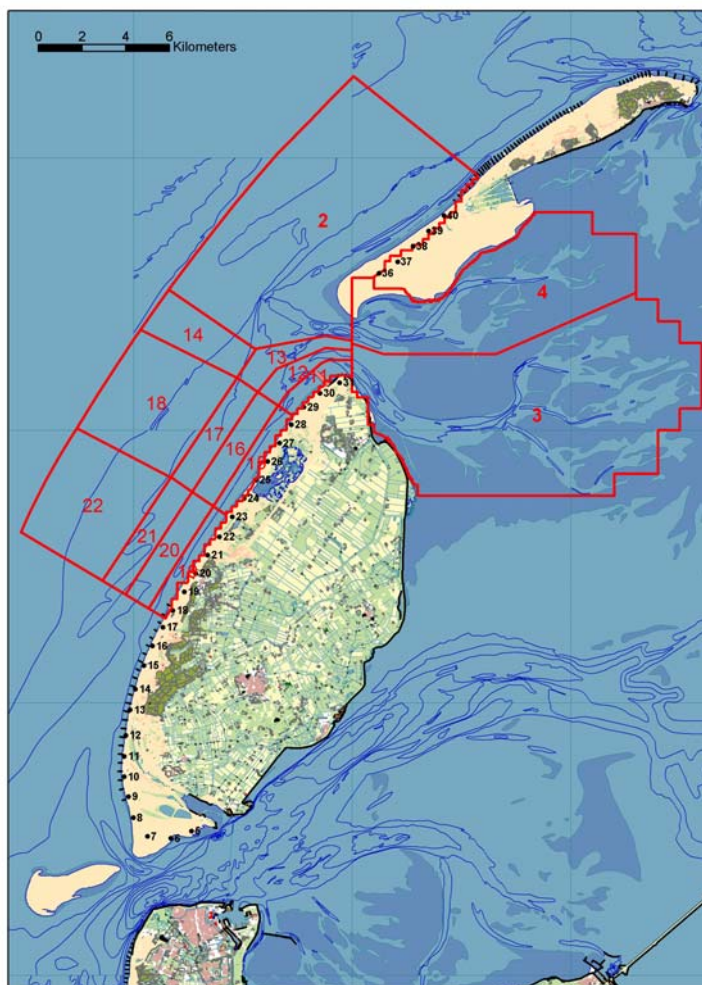
Zowel ten zuid-westen als ten noord-oosten van de dam vindt er dus binnen een straal van enkele km aanzanding plaats. Volgens het bovenbeschreven mechanisme wordt dit zand onttrokken aan de vloedstroom. Deze vloedstroom zal het zand hebben opgepikt op een nog zuid-westelijker gelegen lokatie. De vloedstroom, die door het Robbengat de Waddenzee binnenkomt zal dus minder zand bevatten. Het gaat om zulke kleine hoeveelheden, dat niet valt na te gaan of dit effecten heeft op het zandvolume van de Waddenzee.

4.4 Ontwikkeling zandvolume zuid-westkust van Vlieland

Er wordt aangenomen dat er in het zanddelend systeem van een zeegat regelmatig een transport bestaat van zand in noord-oostelijke richting (Rakhorst en Pwa, 1993, Cleveringa e.a. 2004). Zand, afkomstig van de noord-west kust van Texel komt na een korter of langer verblijf in het Eijerlandse gat uiteindelijk op de zuid-westkust van Vlieland terecht. Deze kust is al decennia lang aan het aangroeien (Schoorl, 1999). Als door de aanwezigheid van de Eijerlandse dam de zandstroom naar het noord-oosten sterk vermindert, zou dat zijn effect moeten hebben op de aangroei van de kust van Vlieland.

Het kustvak 35.8 – 42.39 ligt op de zuid-westkust van Vlieland (fig.1). Tussen 1979 en 1993 vond hier een toename van het volume plaats van 500.000 m³ per jaar. Na 1993 was de toename gemiddeld 120.000 m³ per jaar. De oorzaak van deze trendbreuk is niet bekend, maar omdat hij al in 1993 plaatsvond is het niet waarschijnlijk, dat de Eijerlandse dam er iets mee te maken heeft. Zandsuppleties hebben hier niet plaatsgevonden, ook niet in de naburige kustvakken. De grafiek in fig. 5.6 (bijlage 5) is dus niet beïnvloed door het al of niet toestromen van suppletiezand.

Figuur 17
Deelgebieden waar zandvolumes zijn bepaald uit de vaklodingen.



4.5 Ontwikkeling zandvolumina in binnen- en buitendelta

De aanwezigheid van de Eijerlandse dam zou mogelijk een effect kunnen hebben op de zandbalans van zeegebieden in wijdere omgeving en de zandimport in de Waddenzee. Op basis van de vaklodingsgegevens is voor diverse deelgebieden de ontwikkeling van het zandvolume sinds 1972 bepaald. In figuur 17 zijn deze deelgebieden geschetst. Het gebied ten noord-westen van Texel vertoont een sterke fluctuaties en is daarom opgedeeld in 12 subgebieden (nr. 11 t/m 22). De vakken 2,3,4 en 11 t/m 14 zijn in andere jaren en door een andere meetdienst opgenomen dan de vakken 15 t/m 22.

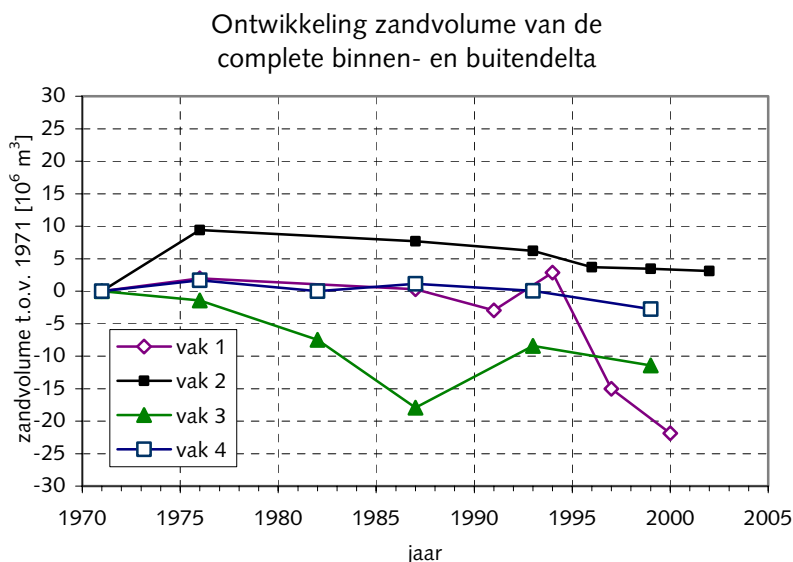
In figuur 18 is de ontwikkeling te zien van de zandvolumina in 4 deelgebieden rond het Eijerlandse gat. Deelgebied 1 is de samenvoeging van de deelgebieden 11 t/m/ 22 in figuur 17.

De ontwikkelingen in de vakken 2, 3 en 4 vertonen geen trendbreuk na 1995. Het is dus niet waarschijnlijk dat de Eijerlandse dam op de schaalgrootte van deze vakken meetbare effecten heeft.

In het binnengebied, de vakken 3 en 4, is sinds 1971 een lichte afname te zien. In de buitendelta en het aangrenzende kustgebied van Vlieland (vak 2, 11 t/m 14) is er eveneens een lichte afname sinds 1971. Van een trendbreuk sinds 1995 is alleen sprake in vak 11. In dit kustvak is de dam gelegen, en de toename van $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tussen 1996 en 2002 is geheel toe te schrijven aan de verlanding rond de dam.

Figuur 18

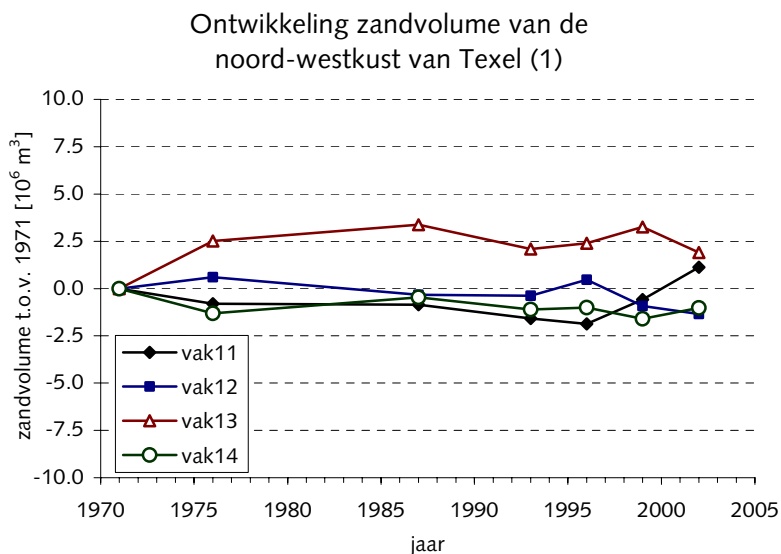
Zandvolumes van de diverse deelgebieden. Vak 1 is het totaal van de vakken 11 t/m 22. Zie figuur 17 voor de locatie van de deelgebieden.



In vak 1, de zuidelijke buitendelta met de kust van noord-west Texel en het aangrenzend zeegebied is een snelle achteruitgang te zien tussen 1994 en 2000. De afname van het zandvolume bedraagt ongeveer $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, veel meer dan het volume van de zandwinning die in 1995 in dit gebied heeft plaatsgevonden t.b.v. de suppleties rond de voet van de dam.

Figuur 19

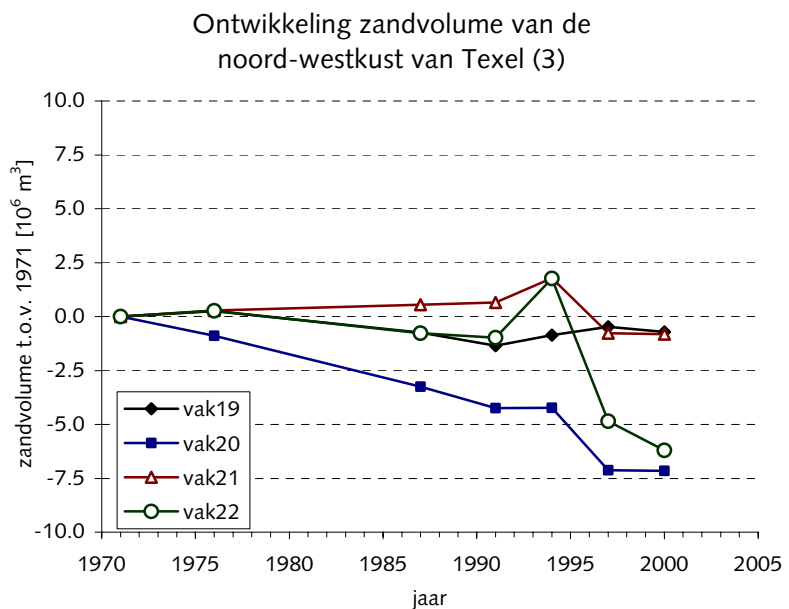
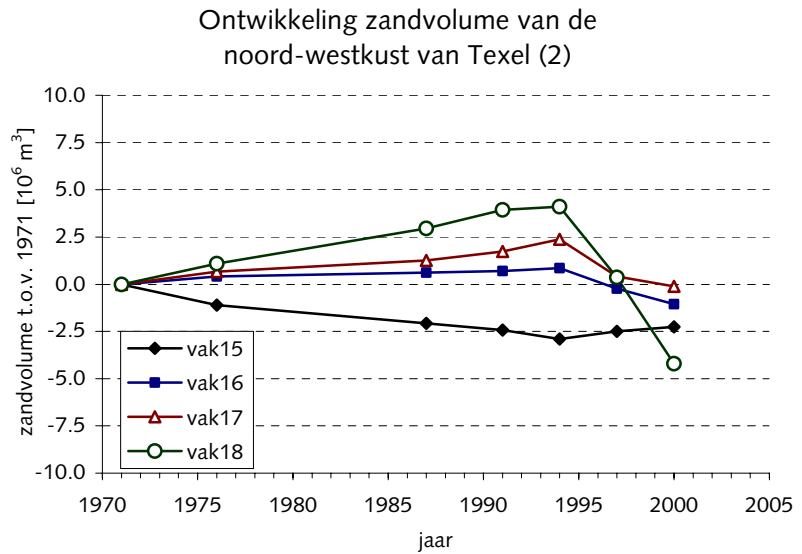
Zandvolumes van de subgebieden 11 t/m 14 voor de NW-kust van Texel. Zie figuur 17 voor de locatie van de deelgebieden.



Nadere beschouwing van de volumina van de afzonderlijke deelgebieden leert, dat de grootste afname ($19 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) heeft plaats gevonden in de vakken 18, 20 en 22. In vak 20 was al sinds 1971 een sterk dalende trend zichtbaar. In de vakken 18 en 22 is er sprake van een duidelijke trendbreuk met een afname van $16 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sinds 1994. Dit zijn de twee meest westelijk gelegen vakken met een waterdiepte tussen de 15 en 20 m.

De oorzaak van deze volumeafname is niet bekend. Er valt in ieder geval geen direct fysisch verband te leggen met de aanleg van de Eijerlandse dam. Voor vak 22 is mogelijk van invloed, dat het direct aan een zandwingegebied grenst.

Figuur 20
Zandvolumes van de subgebieden 15 t/m 22 voor de NW-kust van Texel. Zie figuur 17 voor de locatie van de deelgebieden.



4.6 Samenvatting ontwikkeling zandvolumina

Een afname van de suppletiebehoefte ten behoeve van de handhaving van de BKL kan na 1995 het gevolg zijn van de dam of van andere oorzaken, zoals suppleties in naburige kustvakken of meteorologische effecten. Tussen km 25.4 en km 28.8 is de suppletiebehoefte sinds 1995 afgenomen van 400.000 m³ per jaar tot 270.000 m³ per jaar (zie 4.3). Tussen km 28.8 en km 31.0 nam de suppletiebehoefte af van 265.000 m³ per jaar tot 0. De totale suppletiebehoefte tussen km 25.4 en km 31.0 nam dus af van 665.000 tot 270.000 m³ per jaar. Dit is voor een belangrijk deel terug te voeren tot de aanleg van de dam. In ieder geval is de afname tussen km 28.8 en km 31.0 (265.000 m³/j) geheel toe te schrijven aan de dam. Tussen km 25.4 en km 28.8 trad reeds in 1992 een stabilisatie op, die toegeschreven wordt aan eerdere suppleties ten zuiden van dit kustvak. In 1991 en in 1993 is namelijk tussen km 17.03 en km 25.4 in totaal 2.4

miljoen m³ gesuppleerd. Een gedeelte van dit zand is na enige tijd terecht gekomen in het gebied tussen km 25.4 en km 28.8 en heeft daar de zandbalans positief beïnvloed. Deze suppleties leveren een aanvulling op de natuurlijke zandflux van zuid naar noord. De afname van de suppletiebehoefte tussen km 25.4 en km 28.8 (met 130.000 m³/j) wordt dus gedeeltelijk toegeschreven aan de dam.

De afname van de suppletiebehoefte tussen km 17.03 en km 25.4 (met 410.000 m³/j) wordt geheel toegeschreven aan de zandsuppleties ten zuiden van km 17.03.

De totale afname van de suppletiebehoefte ten gevolge van de dam kan dus geschat worden op een bedrag tussen de 265.00 en 395.000 m³ per jaar.

In tabelvorm :

van km tot km	geschatte suppletie behoefte in m ³ / jaar			
	vóór 1995	na 1995	afname door dam minimaal	afname door dam maximaal
25.4 - 28.8	400.000	270.000	0	130.000
28.8 - 31.0	265.000	0	265.000	265.000
25.4 - 31.0	665.000	270.000	265.000	395.000

In de vakken 18 en 22 van fig. 17 is na 1994 een sterke afname van het zandvolume te zien. Hoewel er geen direct verband valt aan te wijzen met de Eijerlandse dam valt toch niet uit te sluiten dat er een indirect verband is. De genoemde vakken liggen immers binnen de 20 m lijn waar uitwisseling met de kust op langere termijn en mogelijk ook op kortere termijn bestaat (Mulder, 2000).

De zuidgeul van het Robbengat ter hoogte van de bolwerken verliest zand en wordt breder en dieper. Dit gaat samen met de ontwikkeling van deze geul tot de belangrijkste geul van het Robbengat en het toegenomen getijvolume door deze geul.

De ontwikkeling van het zandvolume in het beschouwde gebied is vermoedelijk ook beïnvloed geweest door de jaarlijkse variabiliteit van wind en golven: Tussen 1990 en 1995 was de 99% percentielwaarde van de significante golfhoogte van het golfmeetpunt Eijerland gemiddeld 453 cm. Tussen 1995 en 2003 was die waarde 401 cm. Ook de frequentie van het voorkomen van wind uit het westen en noordwesten met sterkten groter of gelijk 8 Bf was na 1995 minstens 2 maal zo laag als in de periode 1989 tot 1995.

Zandverlies door golf- of windinvloed is na 1995 daarom vermoedelijk minder groot geweest.

Wat betreft de mogelijke effecten van de dam op grotere ruimteschalen kan het volgende worden geconcludeerd :

- De aanleg van de dam heeft tot nu toe geen aanwijsbare effecten gehad op de ontwikkeling van het zandvolume in wijdere omgeving, inclusief de Vliehors. Voldoende data over de hoogteligging ontbreken echter zodat het zandvolume vrij slecht bekend is.
- Uit de ontwikkeling van het zandvolume van het aangrenzende deel van de Waddenzee blijkt geen significante invloed van de dam op het zandtransport naar de Waddenzee.

-
- De morfologische veranderingen op grotere ruimteschalen zijn per m² zo gering, dat ze niet nauwkeurig genoeg kunnen worden gemeten om ze te kunnen onderscheiden van natuurlijke variaties en om te kunnen zeggen of er op langere termijn misschien significante effecten zullen optreden.

5 Effecten van de aanleg van de Eijerlandse dam

De aanleg van de Eijerlandse dam heeft een aantal voorziene en onvoorziene effecten gehad, die als geheel genomen positief zijn.

Wat niet was voorzien, was vooral de hoge snelheid waarmee de morfologische veranderingen plaatsvonden. Andere onvoorziene effecten waren:

- De initiële ontwikkeling van de ontgrondingskuil aan de kop van de dam. Deze werd snel een stuk dieper dan was voorspeld (-18 m), waardoor het noodzakelijk werd geacht de kop van de dam extra te versterken. Na enkele jaren nam deze diepte weer af tot de voorspelde waarde (-8 m).
- De snelle verbreding van de zuidgeul van het Robbengat. Mogelijk kwam hierdoor de noord-oostkust van Eijerland onder druk te staan. In ieder geval werd het nodig daar maatregelen voor kustverdediging en kustherstel te nemen.
- De snelle verlanding ten noord-oosten van de dam en de ontwikkeling van de zandtong rond de kop van het eiland (zie figuur 7).

Hieronder worden de morfologische en andere effecten van de aanleg van de dam voor de diverse deelgebieden geresumeerd.

5.1 Morfologische effecten op getijdegeulen en buitendelta

5.1.1 Het Robbengat

De aanleg van de Eijerlandse dam en de zandwinning ten oosten ervan hebben er toe geleid, dat zich een getijgeul (tak 2b in figuur 6) langs de kop van de dam ontwikkelde en een afsplitsing (tak 2a) ten noorden ervan. De zuidelijke tak (2) van het Robbengat nam hierdoor in belang toe. Doordat de vloedstroming door de aanwezigheid van de dam zich verder uit de kust bevindt, heeft ook tak 2 van het Robbengat de neiging zich van de kust af te bewegen. De ebstroming gaat wel dicht langs de kust. Dat is de reden, dat tak 2 van het Robbengat bij de kust dieper wordt. Ter hoogte van het bolwerk Robbengat bedraagt de verdieping 4 m.

Eb- en vloedstroming hebben netto een verbreding in noord-oostelijke richting tot gevolg. Echter ook tussen 1976 en 1985 is het Robbengat breder geworden, dus we hebben waarschijnlijk te maken met een combinatie van een autonome cyclische ontwikkeling en een effect van de dam.

De ontwikkeling van tak 2 na 1995 ging ten koste van de vroegere noordelijke tak (1) van het Robbengat, waarvan de plaats uiteindelijk werd ingenomen door de nieuwe noordelijke afsplitsing (2a).

Het is de vraag of de ontwikkeling van de zuidelijke afsplitsing (2b) langs de kop van de dam had kunnen plaatsvinden zonder de aanleg van de zandwinput. In ieder geval zou deze ontwikkeling minder snel zijn verlopen.

5.1.2 Het Engelsmangat

Er is geen zichtbare invloed geweest van de Eijerlandse dam op het Engelsmangat. In de ontwikkeling van het zandvolume van de buitendelta waren na 1995 geen grote veranderingen waarneembaar (zie fig. 17,18,19).

5.2 Effecten op de noord-oostkust van Eijerland.

De effecten van de Eijerlandse dam op de noord-oostkust van Eijerland hangen nauw samen met de ontwikkeling van het Robbengat onder invloed van de dam.

Mede door de aanleg van de Eijerlandse dam stopte de ontwikkeling van de noordelijke tak (1 in fig. 6) van het Robbengat. Deze tak werd smaller en ondieper. De zuidelijke tak (2) werd daarentegen 400 m breder en lokaal 4 m dieper, waardoor het getijvolume door deze tak aanzienlijk toenam. De positie van de kust veranderde daardoor niet. Wel was er tussen 1995 en 1999 sprake van duinafslag en het lager worden van het strand. Dit is vermoedelijk het gevolg geweest van de aanleg van de dam, maar dat is een voorbijgaand effect (Boers,2000).

Op de plaats van het verdwenen duin werd een lage zanddam aangelegd en rond de bolwerken werden zinkstukken gelegd.

De totale **zandhoeveelheid** in het gebied tot 1000 m in zee rond de kop van Texel tussen de Jarkusraaien 31 en 32, nam tussen 1979 en 1994 toe met ongeveer 80.000 m³ per jaar.

Na 1995 was er een afname van 440.000 m³ per jaar, grotendeels als gevolg van het breder worden van de zuid-westelijke tak van het Robbengat in noord-oostelijke richting. Dit kan zeker gerelateerd worden aan de aanleg van de dam.

In 2002 en 2003 was de afname gemiddeld 105.000 m³ per jaar. Het Robbengat werd toen niet veel breder en dieper meer. Aan de kust had de zandtong, die zich rond de kop van het eiland ontwikkelde, een positieve invloed op het zandvolume in dit gebied. Het strand tussen de bolwerken begon weer hoger te worden. Dit is zeker het gevolg van de aanleg van de dam.

Het gebied ten zuid-oosten van raai 32 verliest nog steeds zand. Daar wordt de geul dieper en breder. Ter hoogte van het bolwerk Robbengat is de geul sinds 1993 ongeveer 4 meter dieper geworden.

5.3 Effecten op de noord-westkust van Texel

Op de noord-westkust van Texel moet nog steeds regelmatig zand worden gesuppleerd om de kustlijn in stand te houden. De benodigde suppletiehoeveelheden zijn na 1995 flink afgenomen, voornamelijk als gevolg van de dam.

Het zandvolume van het kustvak tussen de Jarkus-raaien 28.8 en 31, dat is het vak waarin de dam ligt, is als gevolg van de aanleg van de dam tussen 1995 en 2003 toegenomen met meer dan $3 \cdot 10^6$ m³. Dit volume neemt nog steeds toe, zonder dat er gesuppleerd wordt. Vóór 1995 werd er in dit vak jaargemiddeld 210.000 m³ per jaar gesuppleerd, bij een geschatte erosie van 275.000 m³ jaar.

In het gebied ten zuid-westen daarvan, tussen km 25.4 en km 28.8 vindt er nog steeds erosie plaats, maar wel minder sterk dan voorheen. Deze vermindering van de erosiesnelheid is substantieel. Tussen 1977 en 1995 vond hier een "autonome" volumeafname plaats van 400.000 m³ per jaar, die door kustsuppleties weer werd aangevuld. Na 1995 was deze afgenomen tot 270.000 m³ per jaar. De trendbreuk vond echter al in 1992 plaats. Het is goed mogelijk, dat de zandsuppleties in het kustvak ten zuid-westen van raai 25.4 een positieve invloed hebben gehad op de zandhoeveelheid tussen km 25.4 en 28.8 na 1992.

Het is ook goed mogelijk en zelfs waarschijnlijk dat de dam na 1995 een positieve invloed heeft gehad op de volumeontwikkeling in dit kustvak.

We kunnen dus stellen dat de aanleg van de dam heeft geleid tot :

- Een vermindering van de suppletiebehoefte tussen km 25.4 en km 28.8 tussen de 0 en 130.000 m³/jaar.
- Een vermindering van de suppletiebehoefte tussen km 28.8 en km 31 van 265.000 m³/jaar.

De totale vermindering van de suppletiebehoefte op de noord-westkust van Texel als gevolg van de aanleg van de Eijerlandse dam kan geschat worden op 265.000 tot 395.000 m³/jaar.

5.4 Morfologische effecten op grotere ruimte- en tijdschalen

Wat betreft de mogelijke effecten van de dam op grotere ruimteschalen kan het volgende worden geconcludeerd :

- De aanleg van de Eijerlandse dam heeft geen aanwijsbare invloed gehad op de zuid-westkust van Vlieland, inclusief de Vliehors. Het zandvolume van een groot deel van dit gebied is echter slecht bekend en een niet al te grote verandering hierin zou niet direct opgemerkt worden.
- De aanleg van de dam heeft geen aanwijsbare effecten gehad op de ontwikkeling van het zandvolume in wijdere omgeving, inclusief de binnen- en buitendelta's van het Eijerlandse Gat en het aangrenzende zeegebied.
- Uit de ontwikkeling van het zandvolume van het aan het Eijerlandse Gat grenzende deel van de Waddenzee blijkt geen invloed van de dam op het zandtransport naar de Waddenzee.

Wat betreft de lange termijn ontwikkeling kan het volgende worden gezegd :

De morfologische veranderingen op grotere ruimteschalen zijn per m² zo gering, dat ze niet nauwkeurig genoeg kunnen worden gemeten om ze te kunnen onderscheiden van natuurlijke variaties en om te kunnen zeggen of er op langere termijn misschien significante effecten zullen optreden.

Toch moet er rekening mee worden gehouden, dat er een invloed is op grotere ruimte- en tijdschalen, omdat het kustvak tussen km 25.4 en 31.0 minder zand exporteert en meer zand importeert dan het vroeger deed. Dit betekent, dat de zandbalans in sommige gebieden buiten dit kustvak er ook anders uit gaat zien. Als we kijken naar het gebied binnen de 20 m dieptelijn, dat tot het kustfundament word gerekend, dan zijn daar wel veranderingen en trendbreuken waarneembaar, die fysisch niet direct in verband zijn te brengen met de Eijerlandse dam, maar waarvan ook niet kan worden uitgesloten dat er een indirect verband is.

Kijkend naar de Waddenzee kan men zeggen, dat het niet uigesloten is, dat de zandimport door het Robbengat is afgenomen. Het effect daarvan op de bodemligging is echter zo klein, dat het - indien al waarneembaar- niet valt te onderscheiden van natuurlijke bodemvariaties.

5.5 Effecten op ecologie en recreatie

In 1999 is er geconstateerd (Rakhorst, 1999), dat er geen negatieve effecten waren op ecologie, recreatie en belevingswaarde. Deze situatie is sindsdien niet veranderd.

De nieuw ontstane zandplaat ten noord-oosten van de dam dient als fourageerplaats voor vogels.

In de planningsfase was rekening gehouden met een mogelijke vernatting van duinvalleien achter de zandplaat, als gevolg van een verhoging van de gemiddelde grondwaterspiegel. Meetinformatie hieromtrent ontbreekt vooralsnog. Staatsbosbeheer zegt wel in de Mandenvallei (pal achter de dam) een lichte verschuiving van het vegetatietype naar de `nattere` soorten waar te nemen (pers. comm. E. van der Spek, boswachter). Deze verschuiving wordt als positief gezien.

De effecten op de ecologie zijn al met al positief te noemen.

6 Prognoses en verwachtingen in 1993

6.1 De verwachtingen in 1993 t.a.v. de kostenbesparingen

In 1993 werden er voor diverse varianten kosten geraamd, inclusief de kosten van noodzakelijke aanvullende suppleties (Rakhorst en Pwa, 1993). De variant, die het meest op de huidige lijkt, is een dam van 1500 m op km 30,5. Bij deze variant was het niet nodig te suppleren voor lijzijde erosie, omdat de dam aansluit op het Bolwerk Eijerland. Wel werd het noodzakelijk geacht om aan de andere zijde (de loefzijde) in 25 jaar in totaal $5,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ te suppleren om kustachteruitgang in het kustvak tussen km 25 en km 30,5 te voorkomen. Na 5 jaar zou de suppletiebehoefte nog slechts 220.000 m^3 per jaar zijn, na 10 jaar 180.000 m^3/j en na 25 jaar zouden kustsuppleties in dit vak niet meer nodig zijn.

De suppletiebehoefte zonder dam werd geraamd op ca. 600.000 m^3 per jaar. De vermindering van de suppletiebehoefte zou dus na 5 jaar 380.000 m^3 per jaar bedragen, wat neerkomt op een kostenafname van 1.73 M€ per jaar, uitgaande van een zandprijs van fl 10,- dat is € 4,55 per m^3 .

De op dit moment geschatte afname van de suppletiebehoefte tussen km 25 en km 31 is 395.000 m^3 , waarvan tenminste 265.000 aan de aanwezigheid van de dam kan worden toegeschreven.

De onderhoudskosten werden geraamd op 145.000 € per jaar (voor een dam van 1000 m lengte). De uiteindelijke onderhoudskosten waren verwaarloosbaar, omdat de dam aan beide zijden door zand werd ingesloten. Hierbij wordt niet gerekend de eenmalige ingreep die kort na de aanleg heeft plaatsgevonden. Hierbij werd de kop versterkt en werd de dam lokaal hoger gemaakt.

De aanlegkosten werden geraamd op 1,6 Mfl per 100 m, dus een dam van 800 m lengte zou 12,8 Mfl, dat is 5,8 M€, kosten. In de eerste 10 jaar zouden $3,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand moeten worden gesuppleerd voor een bedrag van 17,7 M€ (Rakhorst en Pwa, 1993). Met 10 jaar onderhoud à 1,45 M€, komen de totale geraamde kosten in de eerste 10 jaar op 25,4 M€.

Zonder aanleg van de dam zou er in 10 jaar $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gesuppleerd moeten worden voor een bedrag van 27,3 M€. Na 10 jaar zou er dus al een batig saldo van 1,9 M€ zijn.

In 1999 bleek de aanleg van de dam ca. 8 M€ gekost te hebben en het onderhoud inclusief extra zinkwerk en bestortingen ca. 0.5 M€ (Rakhorst, 1999). Het benodigde voorbereidende onderzoek heeft naar schatting 0.25 M€ gekost.

In 1999 en in 2000 is nog $2,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gesuppleerd voor een bedrag van ca. 9.8 M€ (als onderdeel van de BKL-handhaving). In 2004 heeft er een vooroever-suppletie plaatsgevonden van $2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ten bedrage van ca 2,4 M€. De totale gemaakte kosten na 10 jaar bedragen daarmee ca 21 M€.

Ter vergelijking : zonder dam zou er in 10 jaar $6,65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd moeten zijn. De kosten daarvan zijn 30,2 M€. De aanlegkosten zijn dus binnen 10 jaar ruim terugverdiend.

In tabelvorm samengevat :

Gemaakte kosten van 1995 - 2005	prognose uit 1993 in M€	realisatie en schatting 2005 in M€
aanleg	5,8	8,0
onderhoud	1,4	0,5
onderzoek		0,25
suppleties	18,2 (4,55 x 4 10 ⁶ m ³)	12,2 (9,8 + 2,4)
totaal	25,4	21
suppletiebehoefte zonder dam in 10 jaar	27,3 (4,55 x 6 10 ⁶ m ³)	30,2 (4,55 x 6.65 10 ⁶ m ³)
vermindering suppletiebehoefte na 5 jaar	1,7 per jaar (4,55 x 380.000 m ³)	1,2 tot 1,8 per jaar (4,55 x 265.000 tot 395.000 m ³)
vermindering suppletiebehoefte na 10 jaar	1,9 (4,55 x 420.000 m ³) per jaar	1,2 tot 1,8 per jaar (4,55 x 265.000 tot 395.000 m ³)

Conclusie :

De aanlegkosten van de dam zijn in 1993 enigszins onderschat, de onderhoudskosten zijn sterk overschat en de overblijvende suppletiekosten voor 10 jaar zijn redelijk ingeschat. Alles bij elkaar zijn de geraamde totale uitgaven voor het kustonderhoud de eerste 10 jaar goed ingeschat.

De in 1993 geraamde afname van de suppletiebehoefte in het jaar 2005 als gevolg van de dam (420.000 m³) ligt boven de bovengrens van de huidige schattingen (265.000 tot 395.000 m³).

Opmerkingen :

Bij het voorspellen van de suppletiebehoefte werd in 1993 gerekend met een damlengte van 1500 m.

In 1999 was de marktprijs voor suppletiezand ca. € 4,65 per m³ en in 2004 ca. € 3,50. De gemiddelde zandprijs tussen 1995 en 2005 wordt gemakshalve op € 4,55 (fl 10,-) geschat.

Vermoedelijk zal de zandprijs in de toekomst weer stijgen, zodat ook dan de geraamde kostenafname als gevolg van de vermindering van de suppletiebehoefte zal liggen tussen de 1,2 en 1,8 miljoen €.

Tegenwoordig is het beleid om bij voorkeur suppleties onderwater aan te leggen. Dit is in het kustvak direct ten zuiden van de Eijerlandse dam in 2004 voor het eerst gebeurd. De prijs per kubieke meter zand (€ 1,-) is voor onderwatersuppleties veel lager dan die van een strandsuppletie (€ 4,55). Omdat er geen noodzaak meer is voor strandsuppleties tussen km 28 en km 31 wordt op deze manier op kostenbesparende wijze zand in het kustfundament aangebracht.

7 Conclusies t.a.v. beheersvragen Eijerlandse dam

De in hoofdstuk 2 genoemde beheersvragen kunnen nu worden beantwoord.

7.1 Kostenbesparingen

De eerste hoofdvraag was :

- **Is de aanleg van de Eijerlandse dam tot op heden kostenbesparend geweest ten aanzien van het kustonderhoud en zal hij in de toekomst kostenbesparingen opleveren?**

Deze vraag kan positief worden beantwoord. De suppletiebehoefte ten aanzien van de BKL-handhaving in het kustvak tussen km 25.4 en km 31 is naar schatting afgenomen van 665.000 m³ per jaar tot 270.000 m³ per jaar. Niet alles kan aan de dam worden toegeschreven. De afname van de suppletiebehoefte als gevolg van de aanleg van de dam wordt geschat op 265.000 tot 395.000 m³ per jaar.

De aanleg van de dam, inclusief de daarvoor benodigde suppleties en bestortingen heeft ca 8.500 k€ gekost. De jaarlijkse onderhoudskosten zijn verwaarloosbaar als gevolg van het feit dat de dam aan weerszijden door een zandvlakte is omgeven. De kosten voor voorbereidend wetenschappelijk onderzoek ten behoeve van de besluitvorming met betrekking tot de dam bedroegen ruwweg 250 k€ (Rakhorst, pers. comm.) waarmee de kosten van de dam op bijna 9 M€ gesteld kunnen worden.

Als we de kosten van het aanbrengen van 1 m³ zand op het strand stellen op € 4,55 , dan bedraagt de jaarlijkse besparing op suppletiekosten 265.000 tot 395.000 x 4,55 € = 1,2 tot 1,8 M€.

De investering van 9 M€ is volgens deze berekening in principe binnen 10 jaar terugverdiend.

De aanleg van de dam heeft geen aanwijsbare negatieve effecten gehad op de omgeving en er zijn dan ook geen kosten gemaakt voor mitigatie of compensatie. De maatregelen (zinkwerk) ter hoogte van het bolwerk Robbengat worden niet gezien als voortvloeiend uit de effecten van de dam.

Deze conclusies hebben betrekking op de ontwikkeling van de afgelopen 10 jaar en op de kosten die betrekking hebben op BKL-handhaving. Uit de morfologische ontwikkeling, die op dit moment gaande is, valt op te maken, dat ook het komende decennium geen extra kostenverhogende maatregelen nodig zullen zijn.

Het is op dit moment niet duidelijk wat de mogelijke effecten zijn op het kustfundament en op de BKL-handhaving op langere termijn.

7.2 Beheersvragen

- **Heeft de dam invloed op de erosie van de kust tussen de bolwerken Eijerland en Robbengat (Camping de Robbenjager)?**

Rakhorst (RWS, 1993) verwachtte, dat door de vergrote zandvraag rond de Eijerlandse dam tussen 1995 en 1999 er met vloed minder zand in het gebied tussen de bolwerken terecht zou komen. Er trad inderdaad een flinke afname

op van het zandvolume van het kustvak voor camping de Robbenjager. Het volume van strand en duin nam daar eveneens af. Boers (2000) concludeerde dat de oorzaak was gelegen in obstructie van de zandaanvoer vanaf de Texelse kust als gevolg van de dam, maar verwachtte, dat dit effect van korte duur zou zijn. Na 2000 heeft zich inderdaad een omgekeerde ontwikkeling ingezet (toename van het zandvolume), die naar alle waarschijnlijkheid een direct gevolg is van de dam.

Rond het bolwerk Robbengat wordt de kust nog steeds steiler en de geul wordt dieper. Vermoedelijk is de toename van het getijvolume door de zuidelijke geul van het Robbengat hier de oorzaak van. Het is niet duidelijk of dit een direct gevolg is van de aanleg van de dam.

□ **Zijn er andere effecten, b.v. ecologisch of op het gebied van natuurbeleving, die als ongewenst kunnen worden beschouwd?**

In 1999 is er geconstateerd (Rakhorst, 1999), dat er geen negatieve effecten waren op ecologie, recreatie en belevingswaarde. Deze situatie is sindsdien niet veranderd.

□ **Hebben de recente klachten van schelpenvissers betreffende de geringe waterdiepte ter hoogte van de drempel van het Engelsmangate te maken met de Eijerlandse dam?**

De ebdrempel van het Engelsmangate had in 1987 nog een diepte van meer dan 5 m. In 1993 was deze diepte afgenomen tot minder dan 5 m. Dat was 2 jaar voor de aanleg van de dam en kan dus niet als gevolg worden gezien. Sindsdien is deze diepte niet veel veranderd (Mulder, 2004).

□ **Hebben zich tijdens en na de aanleg ontwikkelingen voorgedaan, die kostenverhogend werkten?**

Tijdens de aanleg van de dam zijn er geen onvoorziene kostenverhogingen geweest. Kort daarna, nam de diepte van de ontgrondingskuil bij de kop van de dam toe tot een onverwachte diepte van NAP -18 m. In september 1995 is er daarom een extra bestorting aangebracht op het koptalud. In 1997 zijn er nog enkele zinkstukken geplaatst. De kosten hiervan bedroegen samen met het nodige onderhoud ongeveer 0,5 M€.

□ **Is er een invloed op grotere ruimteschalen, b.v. op het Engelsmangate, de Vliehors of de kust van Vlieland?**

Uit de Jarkusdata blijkt niet, dat na 1995 een trendbreuk optreedt in de ontwikkeling van het zandvolume van de zuid-west kust van Vlieland. Dit blijkt ook niet uit de vaklodingen rond Vlieland en ten oosten van Texel. Deze data dekken echter niet het totale oppervlak van de Vliehors, dat als één systeem beschouwd kan worden. Meer data (o.a. van de hoogteligging van de Vliehors) moeten bij de beschouwing worden betrokken om deze vraag te beantwoorden.

Uit de vaklodingen blijkt ook geen significante verandering van de morfologie van het Engelsmangate.

Toch is er vermoedelijk wel een invloed op grotere ruimteschalen, omdat het kustvak tussen km 25.4 en 31.0 minder zand exporteert en meer zand importeert dan het vroeger deed. Dit betekent, dat de zandbalans in sommige gebieden buiten dit kustvak er ook anders uit gaat zien. Als we kijken naar het gebied binnen de 20 m dieptelijn, dat tot het kustfundamente wordt gerekend, dan zijn daar wel veranderingen en trendbreuken waarneembaar, die fysisch niet direct in verband zijn te brengen met de Eijerlandse dam, maar waarvan ook niet kan worden uitgesloten dat er een indirect verband is.

Kijkend naar de Waddenzee kan men zeggen, dat het niet uigesloten is, dat de zandimport door het Robbengate is afgenomen, maar dat het effect daarvan op

de bodemligging zo klein is, dat het - indien al waarneembaar- niet valt te onderscheiden van natuurlijke bodemvariaties.

7.3 Morfologische ontwikkelingen

De meeste morfologische onderzoeksvragen kunnen nu ook beantwoord worden.

❑ **Wat is de "autonome" ontwikkeling van het Robbengat?**

Is er sprake van een cyclisch gedrag?

Het Robbengat kent afwisselend periodes, waarin het via het Engelsmangat in zee uitmondt en periodes dat het een eigen uitmonding met bijbehorend ebschild in zee heeft. De duur van deze periodes wisselt sterk en bedraagt meerdere decennia. Momenteel zijn er meerdere vertakkingen die in zee uitmonden. Een ervan beweegt zich nu in de richting van het Engelsmangat. Het deel van het Robbengat dat grenst aan de noord-oostkust van Eijerland, heeft al eeuwen de neiging om zich naar het zuid-westen te verplaatsen ten koste van de noord-oostkust van Eijerland. De aanleg van de bolwerken Eijerland en Robbengat heeft deze ontwikkeling gestopt.

❑ **In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengat en de noord-oostkust van Eijerland beïnvloed door de aanleg van de bolwerken Eijerland en Robbengat?**

Het Robbengat schoof tot 1956 op naar het zuid-westen ten koste van de noord-oostkust van Eijerland. Deze ontwikkeling is door de aanleg van de bolwerken in 1948 en 1956 gestopt. De westelijke geulwand is nu min of meer gefixeerd door de bolwerken en de geul verplaatst zich niet meer naar het westen. Het gebied tussen de bolwerken vereist nog kustonderhoud. Ook het bolwerk Robbengat vereist onderhoud.

❑ **In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengat beïnvloed door de zandwinnings in 1984/85 en 1995?**

De zandwinnings in 1984/1985 hebben de ontwikkeling van een noordelijke afsplitsing van het Robbengat veroorzaakt. De zandwinning van 1995 heeft tot gevolg gehad, dat de zuidelijke tak zich zeer snel kon ontwikkelen, waardoor de noordelijke tak sterk begon te verzanden. Deze ontwikkeling zou waarschijnlijk door de aanwezigheid van de dam alleen ook al plaatsgevonden hebben, maar dan wel veel langzamer.

❑ **In hoeverre is de ontwikkeling van het Robbengat beïnvloed door de Eijerlandse dam?**

Ten noorden van de kop van de dam bevindt zich een stroomcontractie met een ontgrondingskuil, die er voor zorgt, dat er altijd een belangrijke afsplitsing van het Robbengat langs de dam blijft lopen. Het stuk Robbengat aan de noord-oostkant van Eijerland wordt breder naar het noord-oosten toe. Dit is vermoedelijk het gevolg van het feit, dat de dam de vloedstroming "bij de kust vandaan houdt". Dit gedeelte wordt ook dieper.

❑ **Wat zijn de inschakelverschijnselen van de Eijerlandse dam en wat zijn de effecten op middellange termijn?**

Inschakelverschijnselen met een tijdschaal van ongeveer 4 jaar zijn :

- Het dieper worden van de ontgrondingskuil bij de kop van de dam (tot NAP -18 m) en het vervolgens weer opvullen tot een diepte van NAP -8 m.

- Het opvullen en verplaatsen van de zandwinput ten oosten van de kop van de dam.
- Het opzanden en verlanden van de driehoeken aan weerszijden van de dam.
- Het breder en dieper worden van de zuidelijke tak van het Robbengat.

Effecten met een tijdschaal tot 15 jaar :

- Het hoger worden van het strand tussen km 31 en km 32.32. Dit is de voortzetting van de verlanding aan de oostzijde van de dam en de eindsituatie lijkt nog niet bereikt.

Effecten met een tijdschaal tot 30 jaar :

- de suppletiebehoefte t.b.v. het handhaven van de BKL tussen km 25.4 en km 31 neemt af van 665.000 m³ per jaar tot 270.000 à 400.000 m³ per jaar.
- Aan de NO zijde, tussen RSP raaien 31 en 32 zullen geen extra beschermende maatregelen meer nodig zijn.

7.4 Tools voor prognose en evaluatie

Met betrekking tot het maken van prognoses en evaluaties van ingrepen met morfologische effecten zijn de volgende vragen relevant :

- **In hoeverre en met welke betrouwbaarheid is de morfologische ontwikkeling na de aanleg van dit type kustverdediging te voorspellen? Zijn numerieke modellen hiervoor een geschikt middel?**

In het specifieke geval van de Eijerlandse dam zijn een aantal morfologische ontwikkelingen goed voorspeld met behulp van numerieke modellen. De modelmatige schattingen van de vermindering van de kusterosie over het hele traject tussen km 25.4 en km 31 liggen binnen de range van de huidige schattingen die gemaakt zijn op basis van de waargenomen ontwikkeling van het zandvolume. Een aantal morfologische ontwikkelingen werden niet of slecht voorspeld door het model (diepte ontgrondingskuil, lijzijde erosie). Na modelaanpassingen werd in hindcast een aantal ontwikkelingen veel beter gereproduceerd (Roelvink e.a., 1998).

Het gebruikte modelgebied was niet groot genoeg om geulontwikkelingen te reproduceren. Er zijn op dit moment geen aanwijzingen, dat de huidige modellen dit op een groter modelgebied wel zouden kunnen.

Concluderend kan gesteld worden, dat er meerdere onderzoeksmethoden zijn om morfologische effecten te voorspellen en dat geen van alle een gegarandeerde betrouwbaarheid oplevert. Een numerieke modelstudie levert echter gedetailleerde informatie op, die met andere methoden niet valt te verkrijgen. Een numerieke modelstudie is daarom een belangrijk element in een morfologische effectvoorspelling. Tot zo'n modelstudie behoren uiteraard een gevoeligheidsonderzoek en een bepaling van de bandbreedte van de resultaten.

Om tot een betrouwbare prognose te kunnen komen m.b.t. de morfologische effecten van een harde kustverdediging à la Eijerlandse dam is het nodig de bestaande morfologische kennis te verdiepen, te verbreden en te toetsen.

Hiertoe worden de volgende aanbevelingen gedaan :

- Het Eijerlandse Gat (Robbengat en Engelsmangat) met binnen- en buitendelta's moet regelmatig worden gelood om de effecten van de dam

op korte en middellange termijn te kunnen volgen en te kunnen onderscheiden van de autonome ontwikkelingen. Een lodingsfrequentie van eenmaal per 2 á 3 jaar is voldoende.

- Het bestaande numerieke modelinstrumentarium dient te worden gevalideerd en zo mogelijk verbeterd aan de hand van een uitgebreide hindcast van de morfologische ontwikkeling rond de Eijerlandse dam, waarbij de werkelijk opgetreden condities wat betreft wind, golven en getij aan het model worden opgelegd. Ook de invloed van horizontale zoutgradiënten op het snelheidsprofiel dient te worden onderzocht.
- Het verdient aanbeveling om in de plannen voor vergelijkbare ingrepen als de Eijerlandse dam een evaluatietraject op te nemen, waarin gerichte investeringen worden gedaan in de ontwikkeling van morfologische kennis, modelinstrumentarium en het inwinnen van veldgegevens om de vragen te kunnen beantwoorden die in een evaluatie thuishoren.

7.5 Toepassing op andere lokaties ; hard of zacht verdedigen?

De tweede hoofdvraag in hoofdstuk 2 was :

- **Is een zeevaartse kustverdediging aan te bevelen op andere lokaties met een erosieprobleem?**

Het is zeer goed denkbaar, dat deze oplossing goed zou werken op de koppen van andere Waddeneilanden of ten westen van Den Helder. Men moet echter wel bedenken dat de effecten zeer locatiespecifiek zijn en dat de aanlegkosten kwadratisch van de lokale diepte afhangen. Voor iedere afzonderlijke locatie is daarom gedetailleerd morfologisch onderzoek en een kosten-batenanalyse nodig. Het effect op het zanddelende systeem van de Wadden, buitendelta en kust verdient daarbij extra aandacht. Vanuit het vigerende kustbeleid is een zeevaartse harde kustverdediging een laatste optie. Deze aspecten worden hieronder nader toegelicht.

Lokale morfologische effecten

Het effect van een zeevaartse harde kustverdediging is geheel afhankelijk van de lokale omstandigheden m.b.t. getijstroming, golfval, kustboog, oriëntatie van de kustlijn, zandaanvoer en de zandvraag in de omgeving. De kustverdediging moet zo worden ontworpen dat de kustachteruitgang wordt beperkt en dat negatieve effecten in de omgeving zoveel mogelijk worden vermeden. De afmeting en de positionering van de dam moeten bijvoorbeeld zo worden gekozen, dat de ebstroming aan de Waddenkant van de eilandkop de kust niet opzoekt, waardoor daar versterkte achteruitgang zou kunnen optreden.

Effecten op het zanddelende systeem

Bij de keuze van een harde kustverdediging in plaats van een zachte, moet bedacht worden, dat er daardoor misschien minder zandimport in de Waddenzee plaats vindt. Ook de zandvoorraad van het kustfundament wordt in mindere of meerdere mate beïnvloed door de dam. Voor de Eijerlandse dam geldt dat tussen de -5 m en de -20 m na 1995 extra zand is verdwenen voor de noord-westkust van Eijerland, waarbij niet valt uit te sluiten dat dit het gevolg is van de dam.

Verder betekent de keuze voor een harde kustverdediging in plaats van herhaalde zandsuppleties, dat minder zand aan het kustfundament wordt toegevoegd. Zandsuppleties dragen bij tot de zandvoorraad van de kust, het

kustfundament en de Waddenzee. Een harde verdediging houdt alleen lokaal zand vast (Mulder, 2000, Cleveringa e.a., 2004). Door de aanleg van de Eijerlandse dam is het volume suppletiezand drastisch beperkt. Vóór 1995 verdween het suppletiezand uiteindelijk naar andere plaatsen, zoals naburige stranden en duinen, het kustfundament, de Vliehors of de Waddenzee. Een afname van de zandflux naar de Waddenzee in de orde van 300.000 m³ per jaar door het Eijerlandse Gat zou in het bijbehorende kombergingsgebied een effect op de bodemaanwas hebben van ongeveer 1 mm per jaar.

Kosten en baten

Bij de vraag 'hard of zacht verdedigen' moet bedacht worden, dat, als er ergens 300.000 m³ minder gesuppleerd wordt, er volgens het huidige kustbeleid elders 300.00 m³ meer moet worden gesuppleerd. Dit kan dan wel in de vorm van een vooroeversuppletie gebeuren, wat in principe een kostenbesparing van 50 tot 75% oplevert. Zo gezien is de dam nog steeds kostenbesparend, maar minder dan in 7.1 werd gesteld als directe besparing. Op plaatsen waar nu niet of weinig gesuppleerd wordt, kan aan een zeewaartse kustverdediging gedacht worden, als daar door veranderde omstandigheden langdurig een sterke kusterosie zou optreden.

Kustbeleid

De vraag 'hard of zacht verdedigen' wordt beantwoord door het huidige kustbeleid. Dit gaat uit van het dynamisch handhaven van de kustlijn, dat wil zeggen, dat er ruimte wordt gelaten voor een natuurlijke verdeling van het beschikbare zand langs de kust. Het kustbeleid heeft ook als doelstelling om de zandvoorraad van de Nederlandse kust, inclusief het kustfundament op peil te houden. Hiervoor moet jaarlijks 12 miljoen m³ zand worden gesuppleerd. Harde kustverdedigingen worden alleen toegepast als zachte kustverdediging te veel risico's of kosten met zich mee zou brengen. Met andere woorden : "Zacht waar het kan, hard waar het moet".

De Eijerlandse dam is aangelegd voordat het huidige kustbeleid vigerend werd. Als de beslissing over de aanleg op dit moment zou moeten worden genomen, zouden de lange termijn effecten op de zandbalans van het kustfundament en de Waddenzee zwaarder meewegen dan het in 1993 het geval is geweest.

8 Referenties

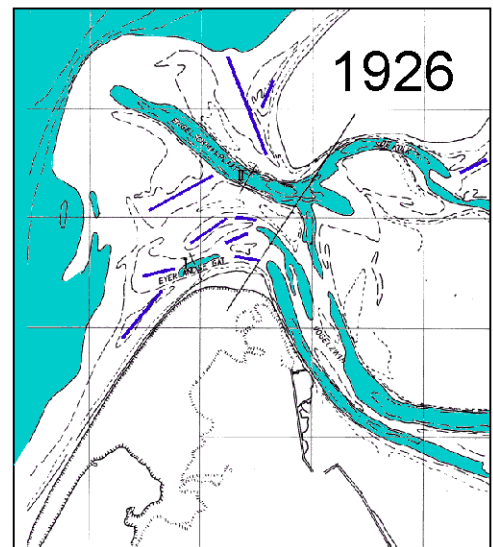
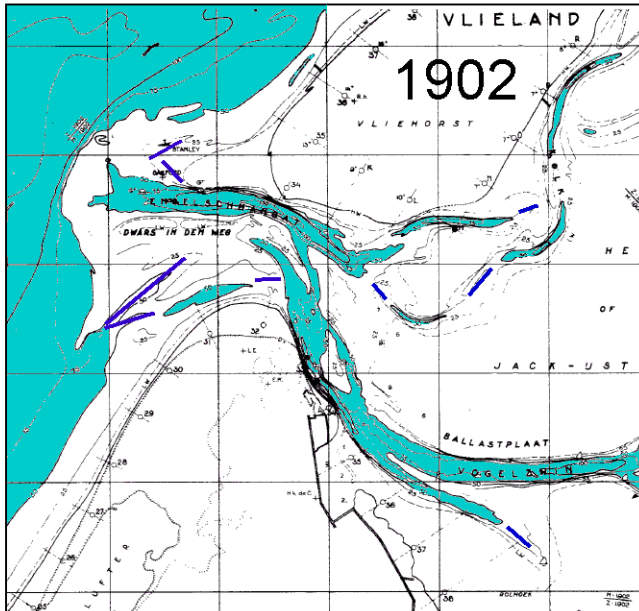
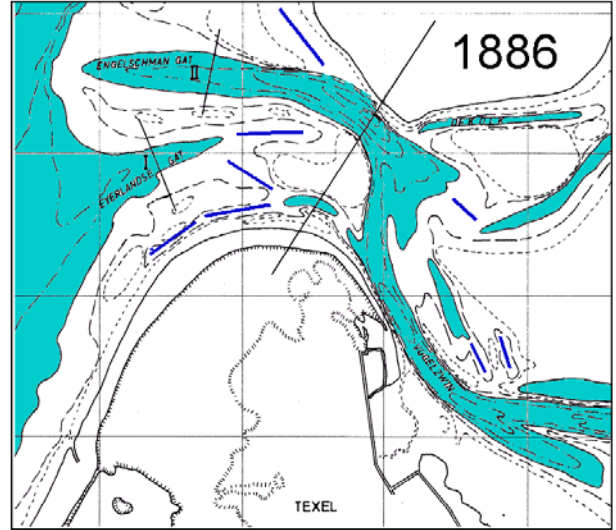
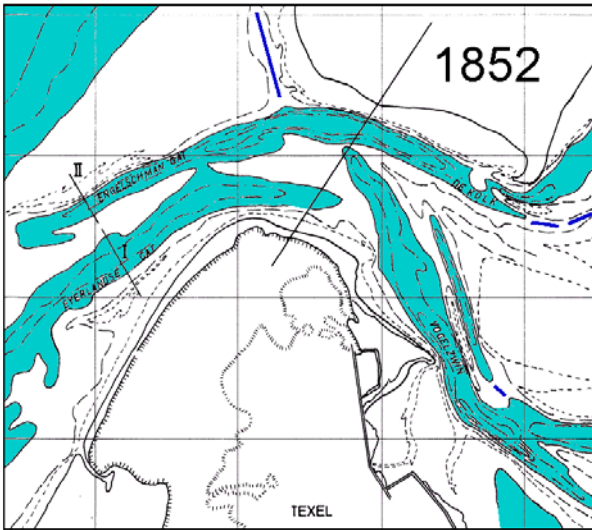
- Boers, M. – Second opinion morfologie noordpunt Texel. RIKZ/OS/2000/40x. RIKZ, 2000.
- Cleveringa, J, Mulder, S. Oost, A. – Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden. RIKZ/2004.017. RIKZ, 2004.
- Endema, D. – Morfologische ontwikkeling van het Eijerlandse Gat. WWKZ-78.H227. RWS, 1978.
- Joustra, D.Sj. – Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee. Studierapport WWK.71-14. RWS, 1971.
- Mulder, J.P.M. – Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel. Advies voor dynamisch handhaven in de 21^e eeuw. RIKZ/2000.36, 2000.
- Mulder, H.P.J. – Bereikbaarheid Eierlandse Gat voor schelpenwinvaartuigen. RIKZ/AB/2004.602w, 2004.
- Rakhorst, H.D. - Evaluatie zeewaartse kustverdediging. Texel-Dam Eijerland. DNH, 1999.
- Ribberink, J.S., de Vroeg, J.H. – Kustverdediging Eierland (Texel). WL-H 1241.
deel I, morfologische analyses, 1991
deel II, detailmodel getijstroming, 1991
deel III, morfologische berekeningen, 1992
- Roelvink, J.R., van Holland, G., Steijn, R.C. – Gevoeligheidsberekeningen Eierland en ZW-Texel. Alkyon/WL, A266/Z2430, 1998.
- RWS, Kustverdediging Eierland, 1993 :
- rapportage morfologie: Rakhorst, H.D., Pwa, S.T. – Morfologische en technische haalbaarheidsstudie naar zeewaartse kustverdediging Eierland. ANV-93.01, DGW-93.012.
- rapportage ecologie
- rapportage economie
- eindrapportage
- Schoorl, H. – De Convexe Kustboog. Deel 2, PIROLA, 1999.
- van der Veer, A. – Beleid tussen de oren. NH-ANV-2000-Nota-14.DNH, 2000.
- Van Zijl, H. – <http://www.hvanzijl.nl>

Bijlage 1

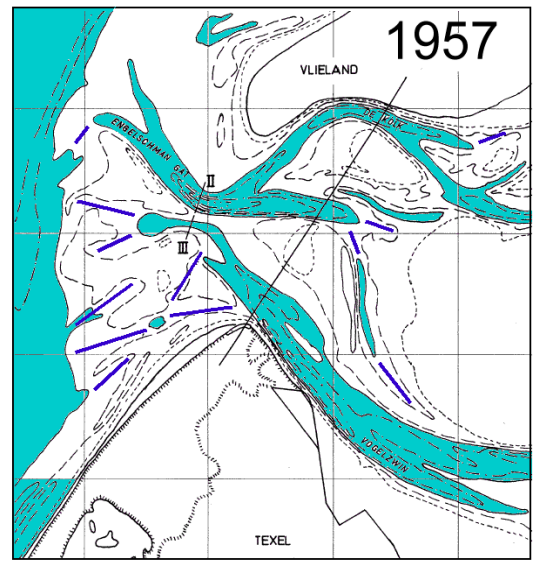
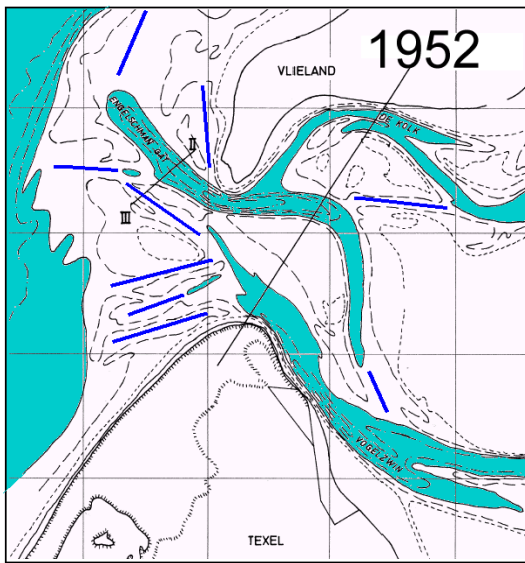
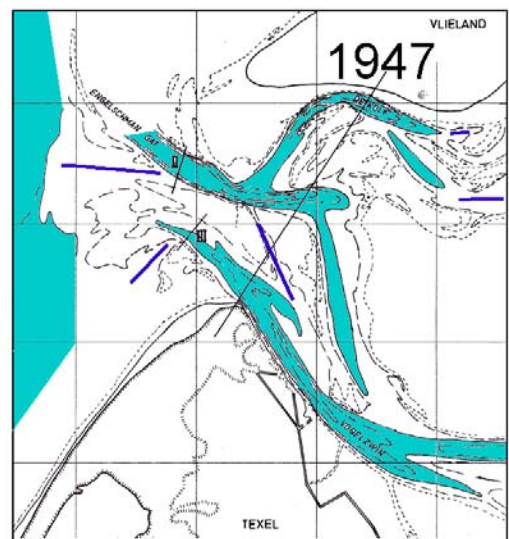
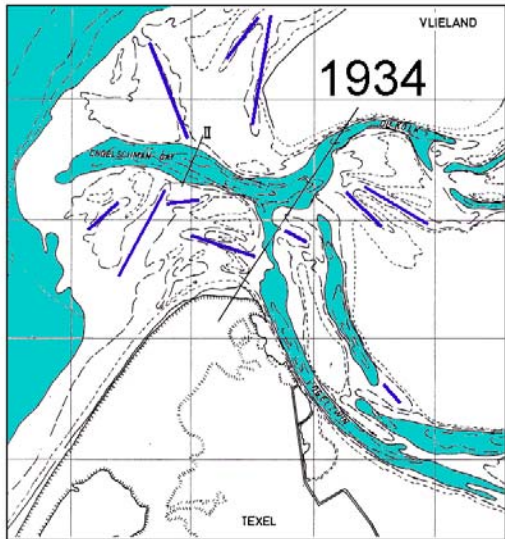
Lodingskaarten

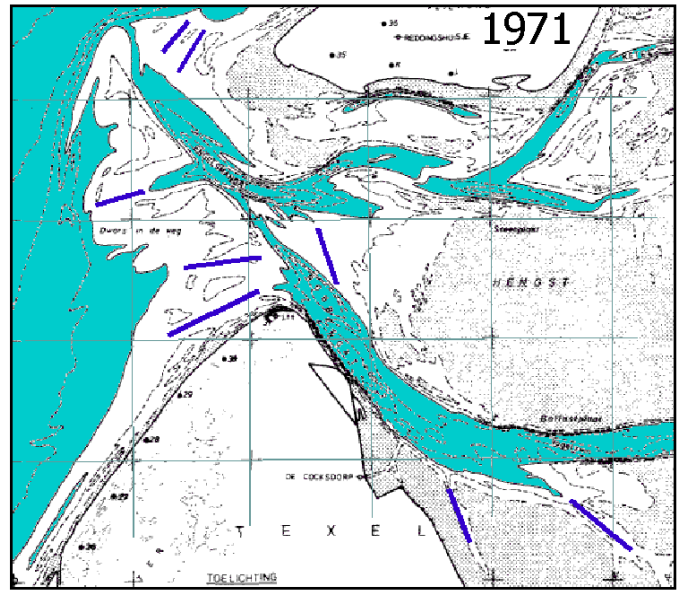
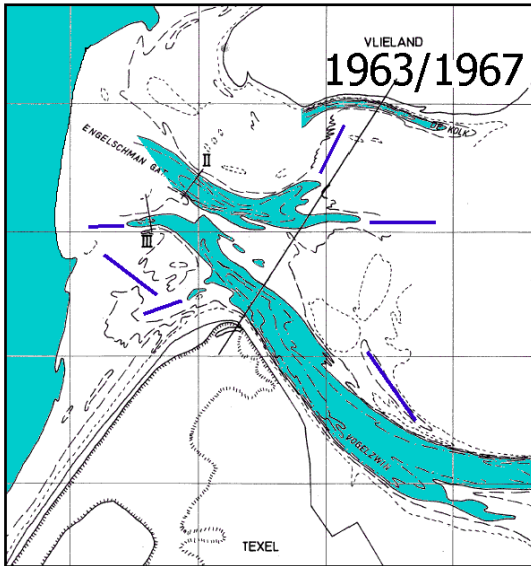
Ontwikkeling van het Eijerlandse Gat tussen 1852 en 2002

In de figuren 1-2 t/m 1-3 is het gedeelte van de geulen onder de -5 m lijn lichtblauw gekleurd. Met donkerblauwe lijnen zijn geulgedeelten met een diepte tussen de -2,5 m en -5 m schematisch aangegeven.



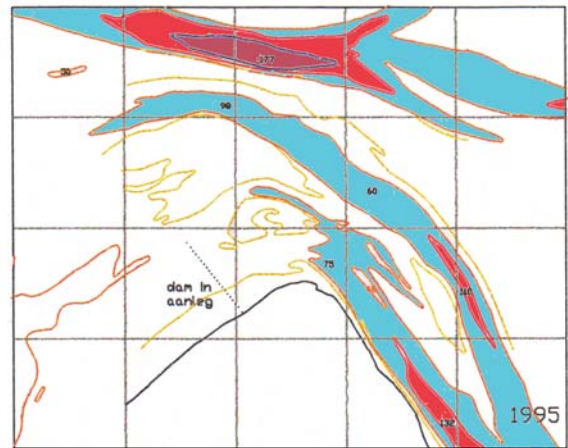
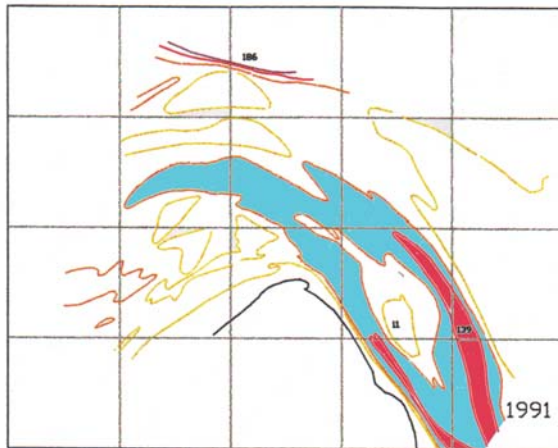
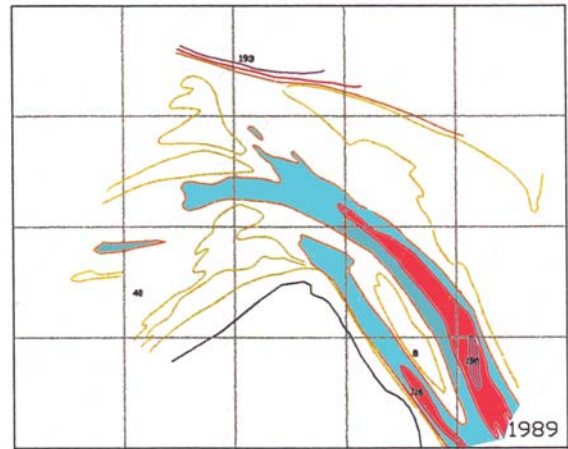
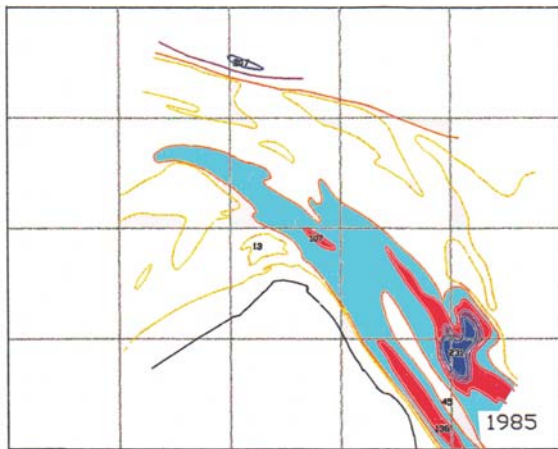
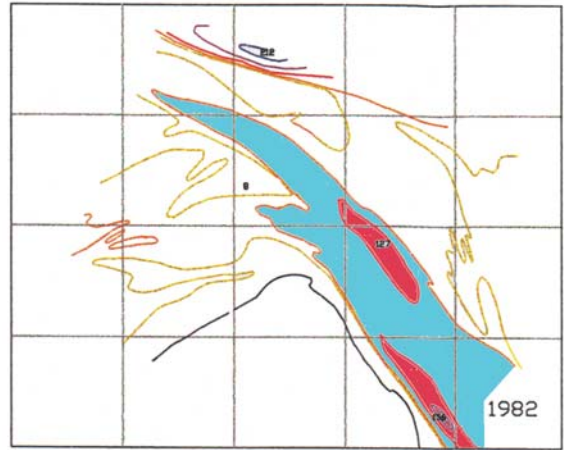
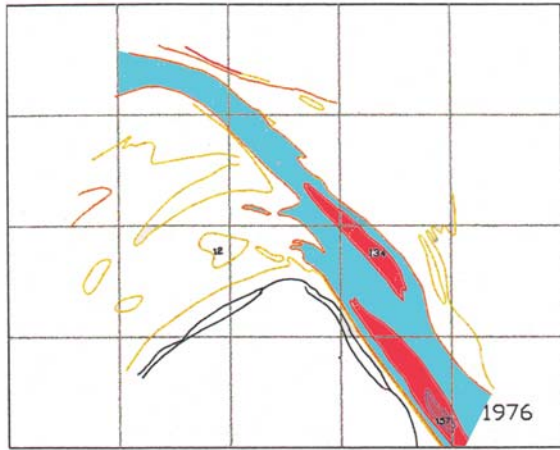
- LW
- 2,5 m
- 5,0 m
- 7,5 m
- 10 m
- 15 m

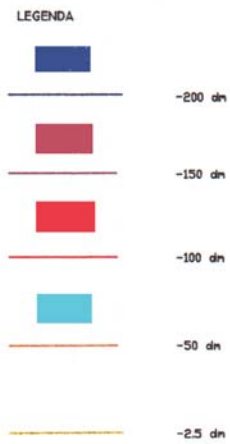
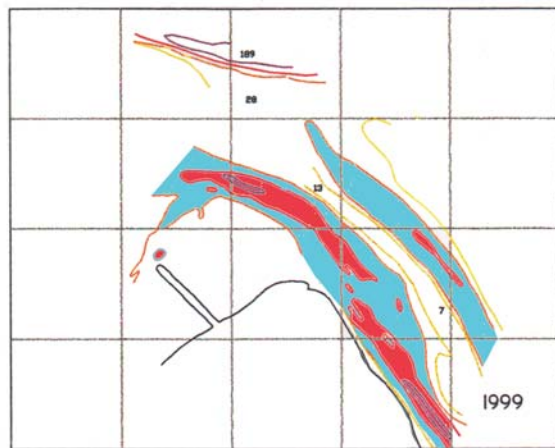
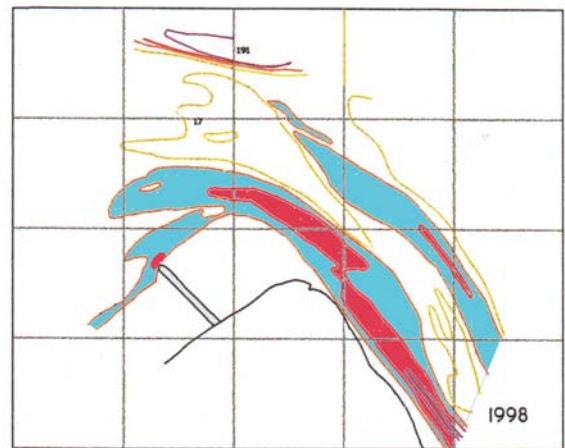
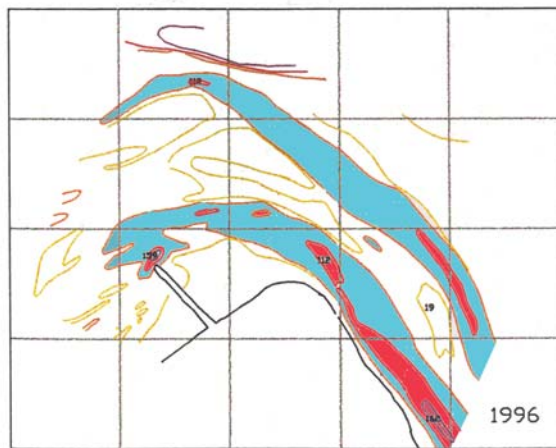




Bijlage 2

**Schematische weergave ontwikkeling van het Robbengat
tussen 1976 en 1999
Bron : NH-ANV-2000-Nota-14**





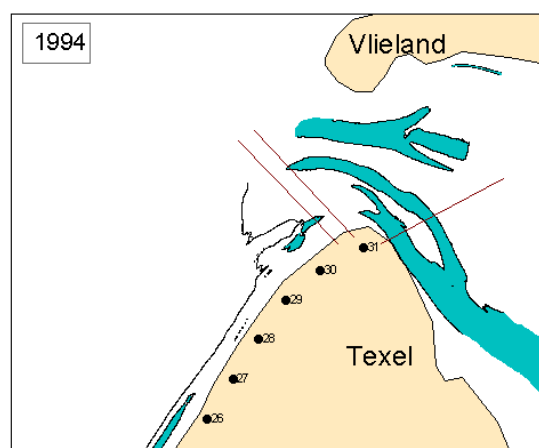
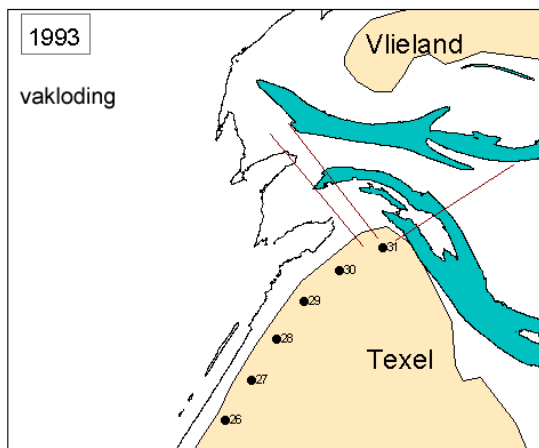
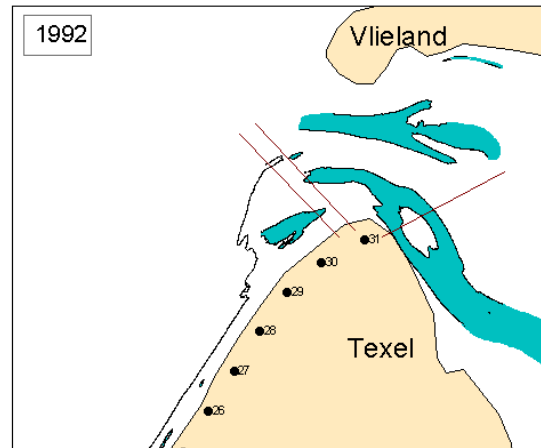
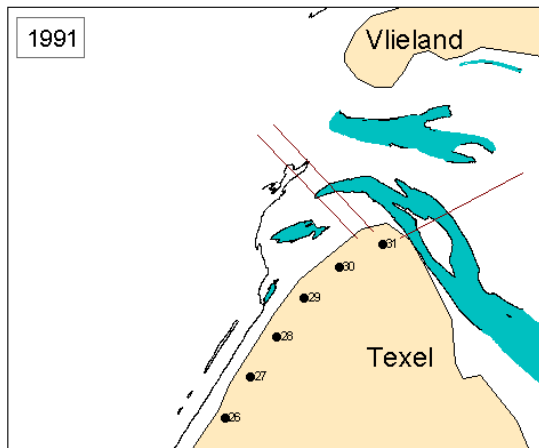
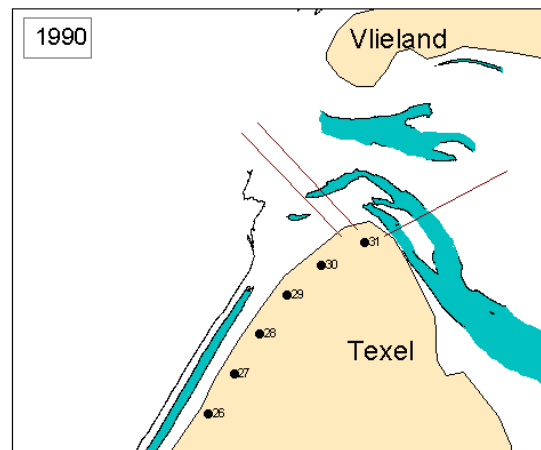
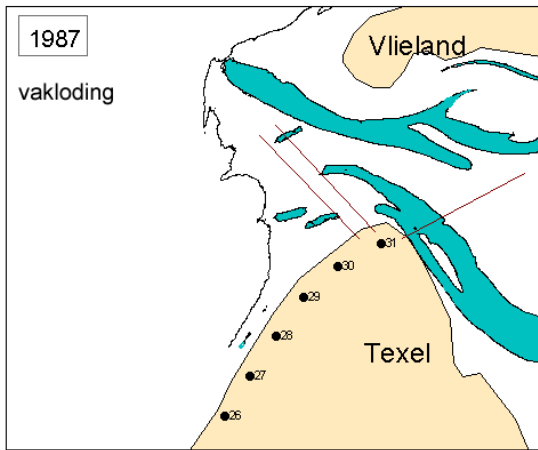
Figuur 2-1
Ontwikkeling van het Robbengat tussen 1976 en 1999

Bijlage 3

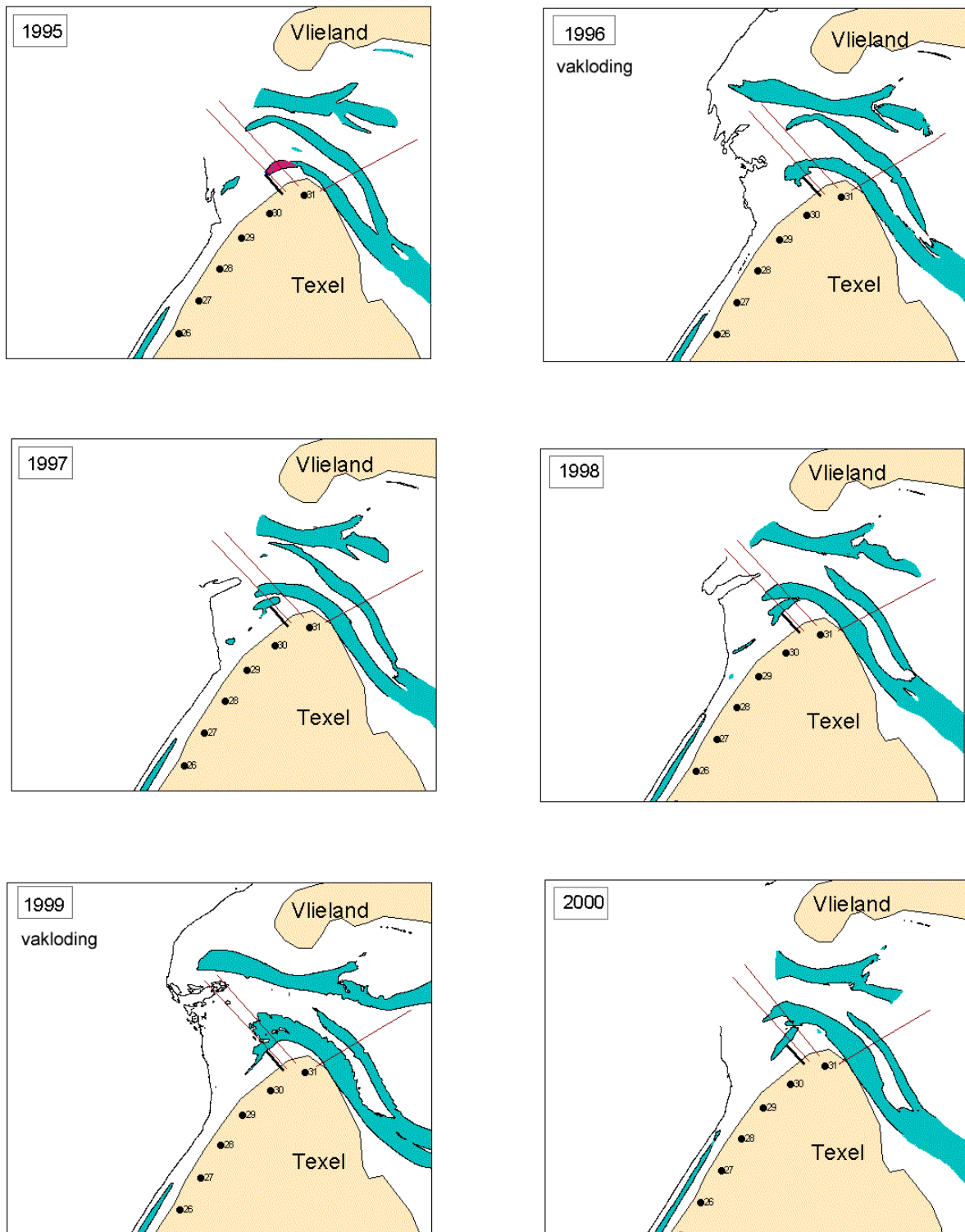
Schematische weergave ontwikkeling Eijerlandse Gat tussen 1987 en 2002

De gedeelten van Robbengat en Engelsmangat beneden de 5 m dieptelijn zijn lichtblauw weergegeven. Voor de jaren, waar geen vakloding beschikbaar was, is gebruik gemaakt van doorlodingen in Jarkus raaien. Voor die jaren zijn slechts voor een gedeelte van het Engelsmangat gegevens beschikbaar. Het ontbrekende deel is wit gelaten. Waar het blauwe gebied niet begrensd wordt door de zwarte 5 m dieptelijn is de grens niet scherp of ontbreken de gegevens. Het beeld is consistent met bijlage 2.

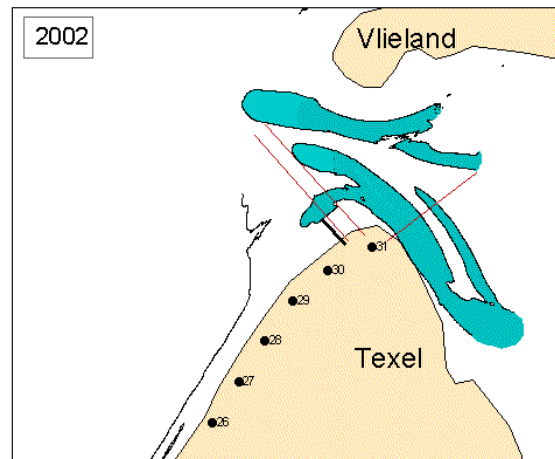
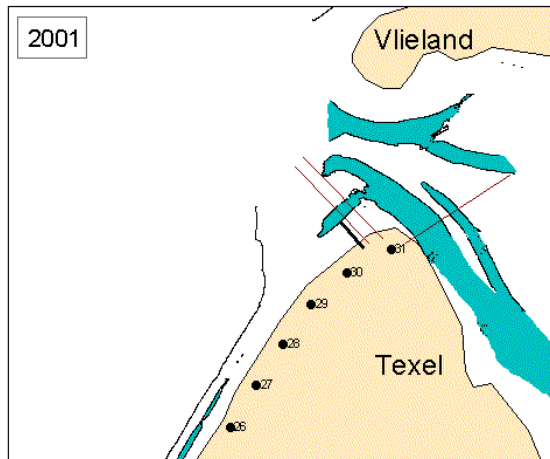
De Jarkus raaien 3061, 3100 en 3200 zijn in rood aangegeven, ieder met een lengte van 3000 m. Vergelijk bijlage 4.



Figuur 3-1
Ontwikkeling van het Robbengat tussen 1987 en 1994.



Figuur 3-2
 Ontwikkeling van het Robbengat tussen 1995 en 2000.
 Het donkerrode gedeelte in paneel 1995 is de zandwinput.

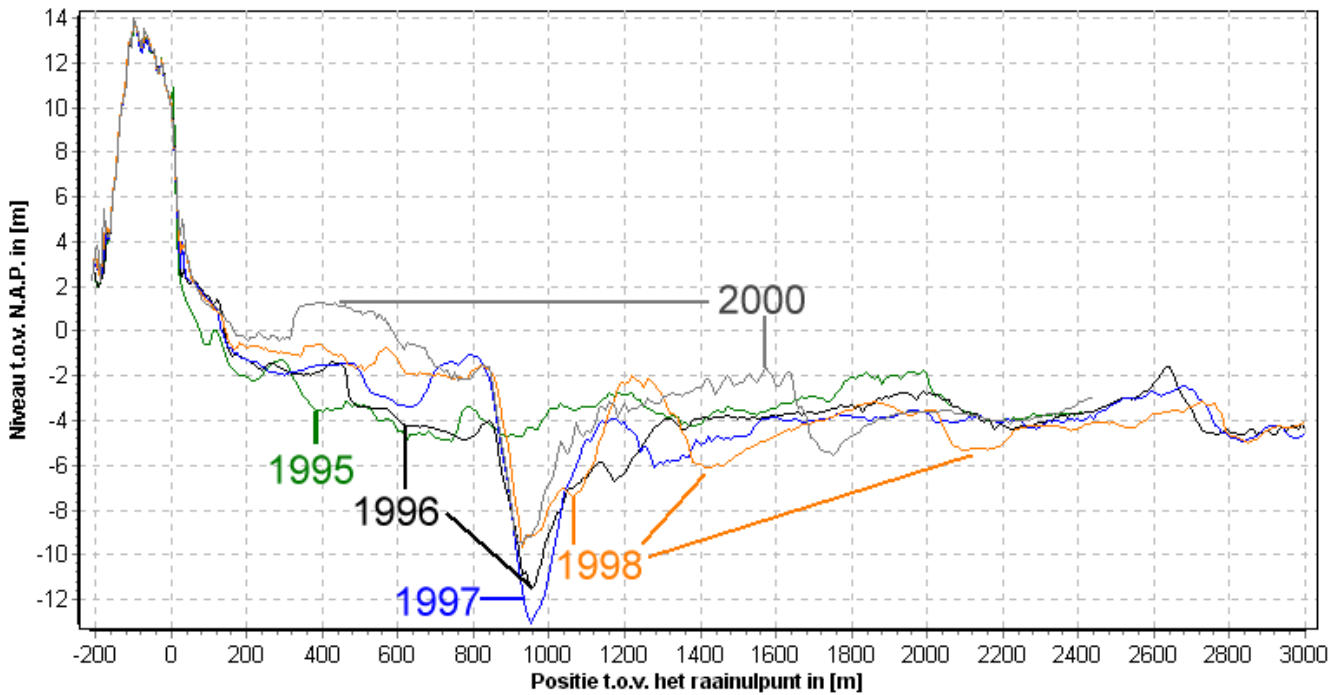


Figuur 3-3
Ontwikkeling van het Robbengat tussen 2001 en 2002

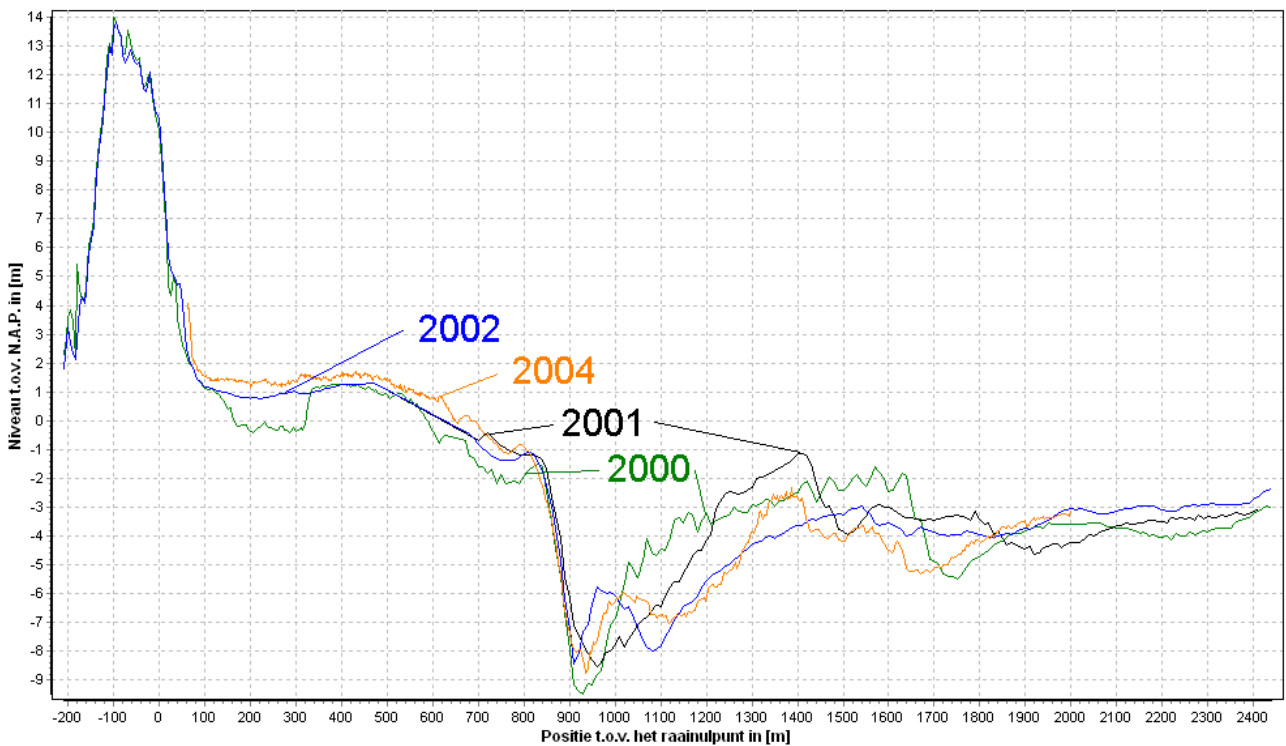
Bijlage 4

.....

**Ontwikkeling bodemprofiel in de raaien
3061, 3200, 3212, 3252, 3292 en 3352**



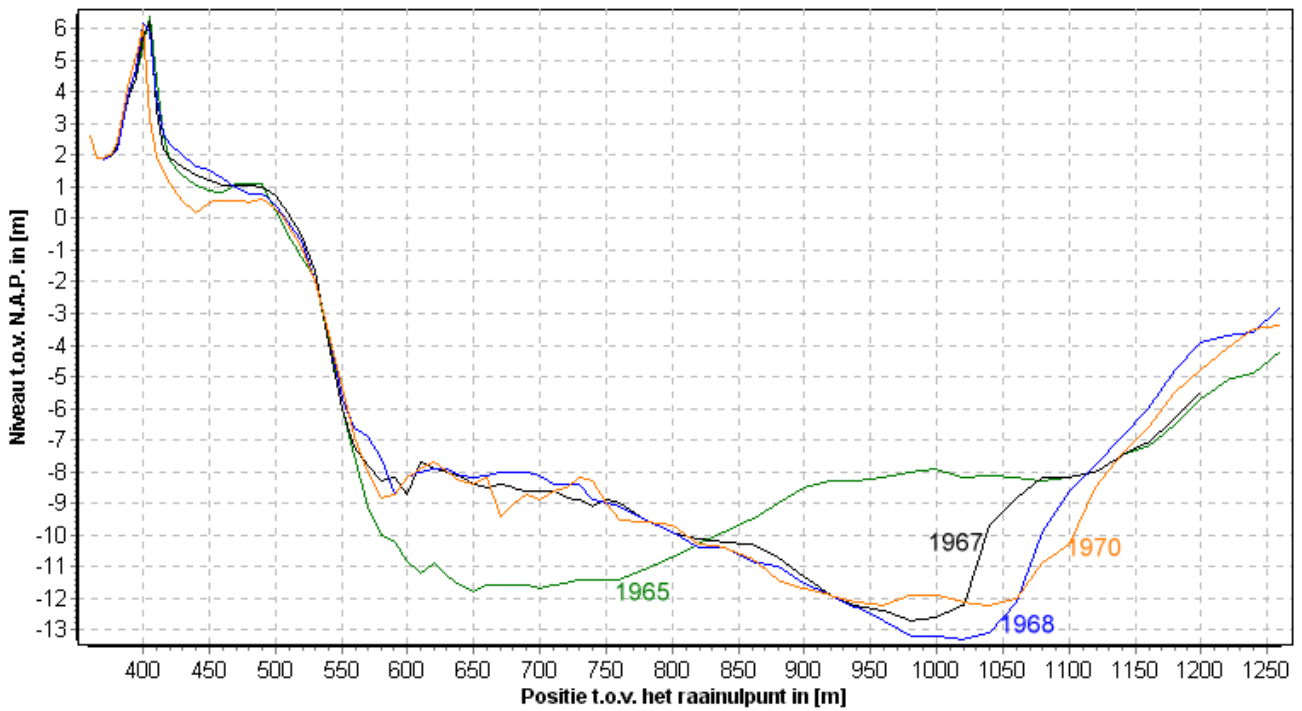
— raai 3061 jaar: 2000 — raai 3061 jaar: 2001 — raai 3061 jaar: 2002 — raai 3061 jaar: 2004



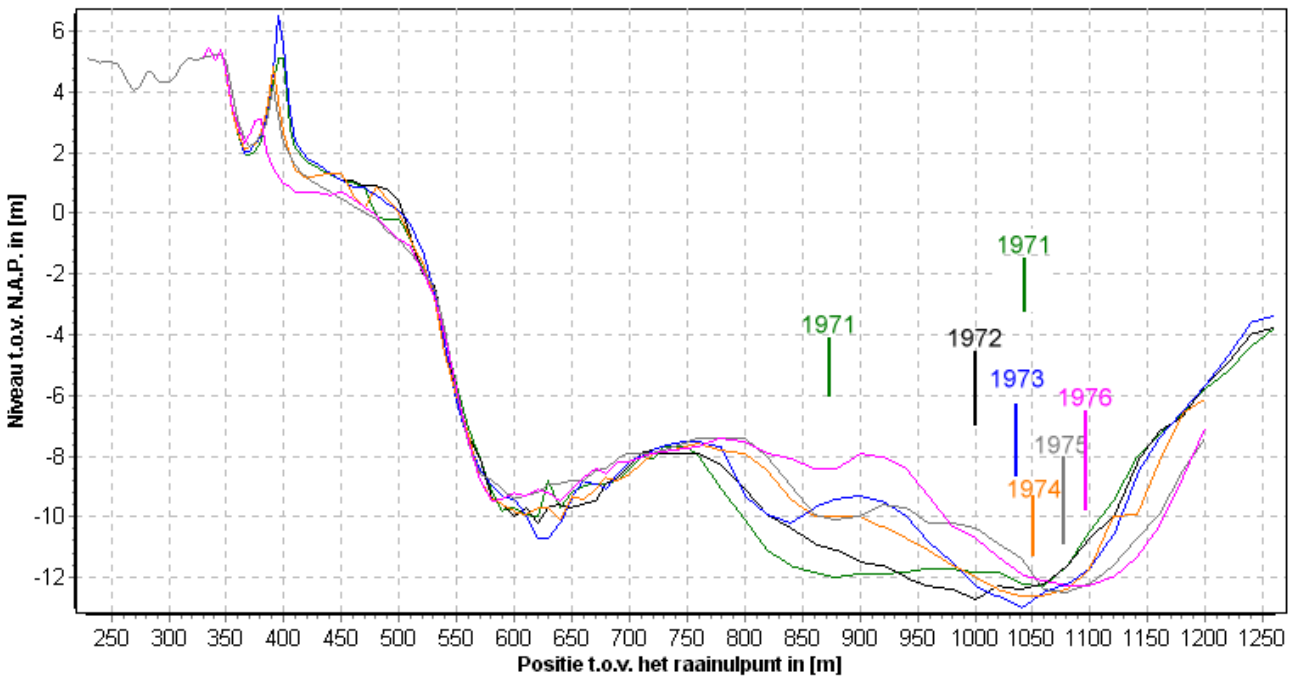
Figuur 4-1
Ontwikkeling van Jarkus raai 3061 van 1995 tot 2000 (boven) en van 2000 – 2004 (onder)

PROFIEL OPNAMEN
Kustvak: Texel

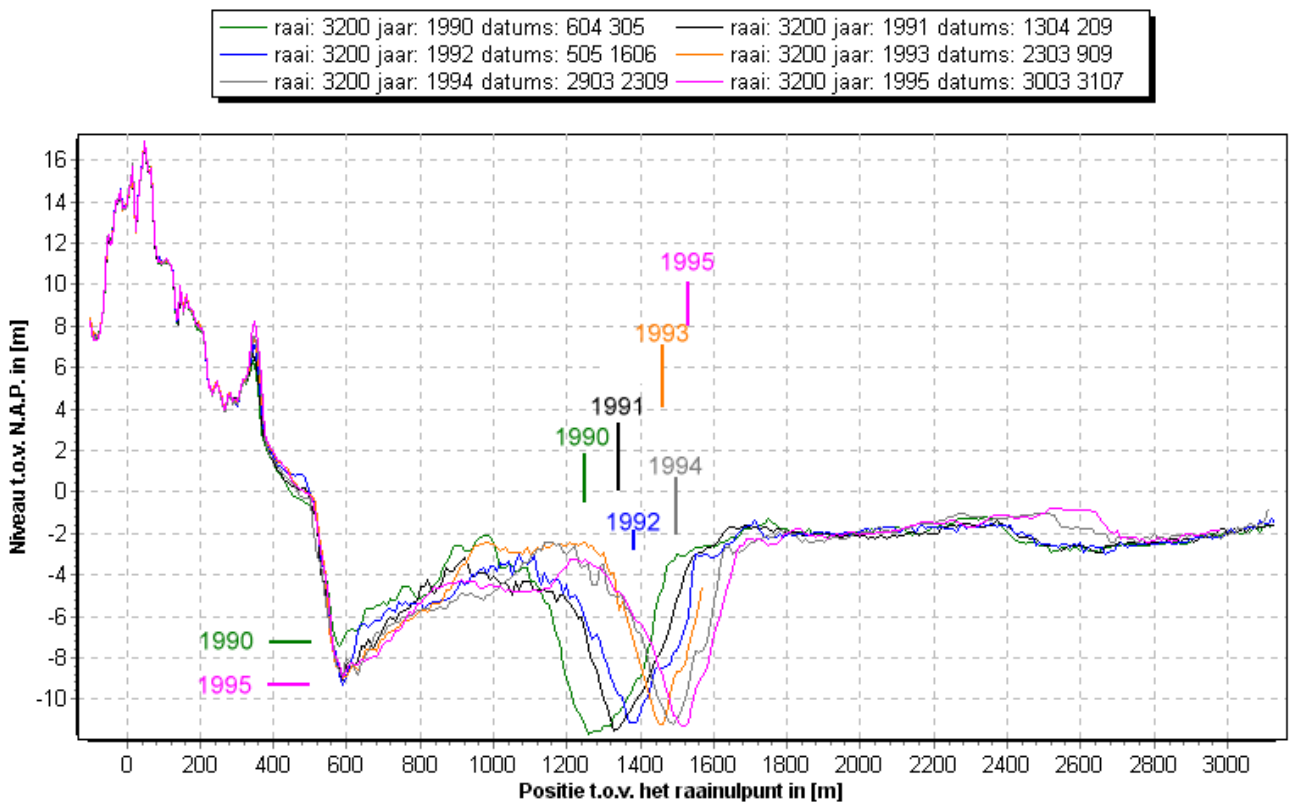
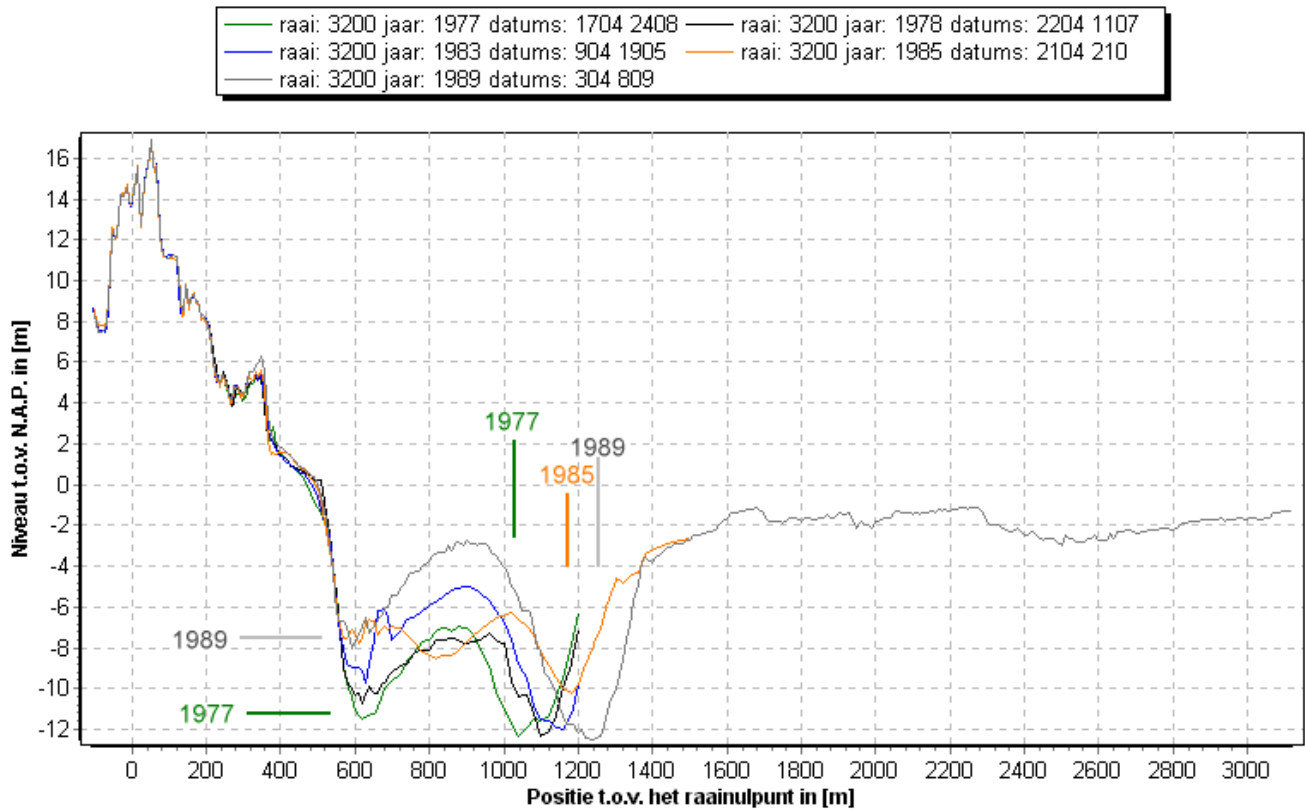
— raai: 3200 jaar: 1965 datums: 508 1708 — raai: 3200 jaar: 1967 datums: 1307 2007
— raai: 3200 jaar: 1968 datums: 2007 2007 — raai: 3200 jaar: 1970 datums: 608 608



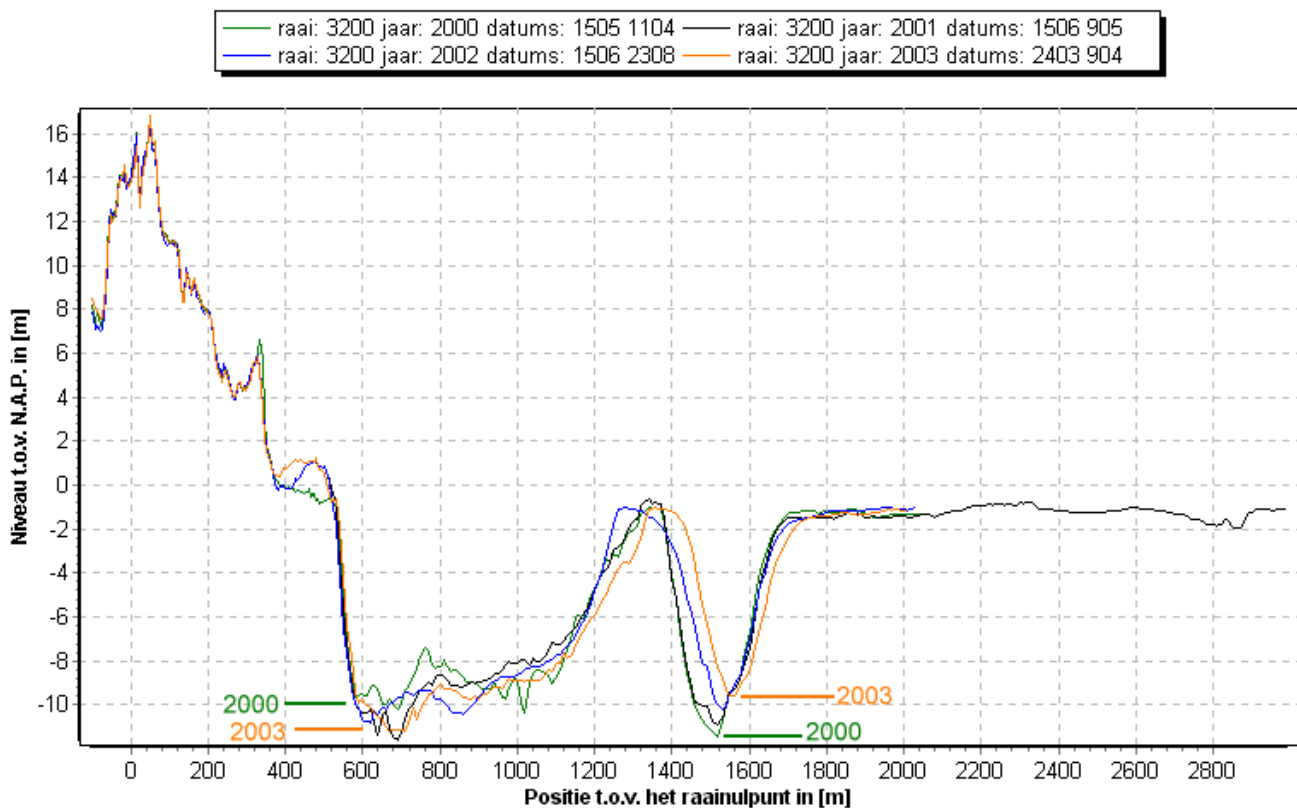
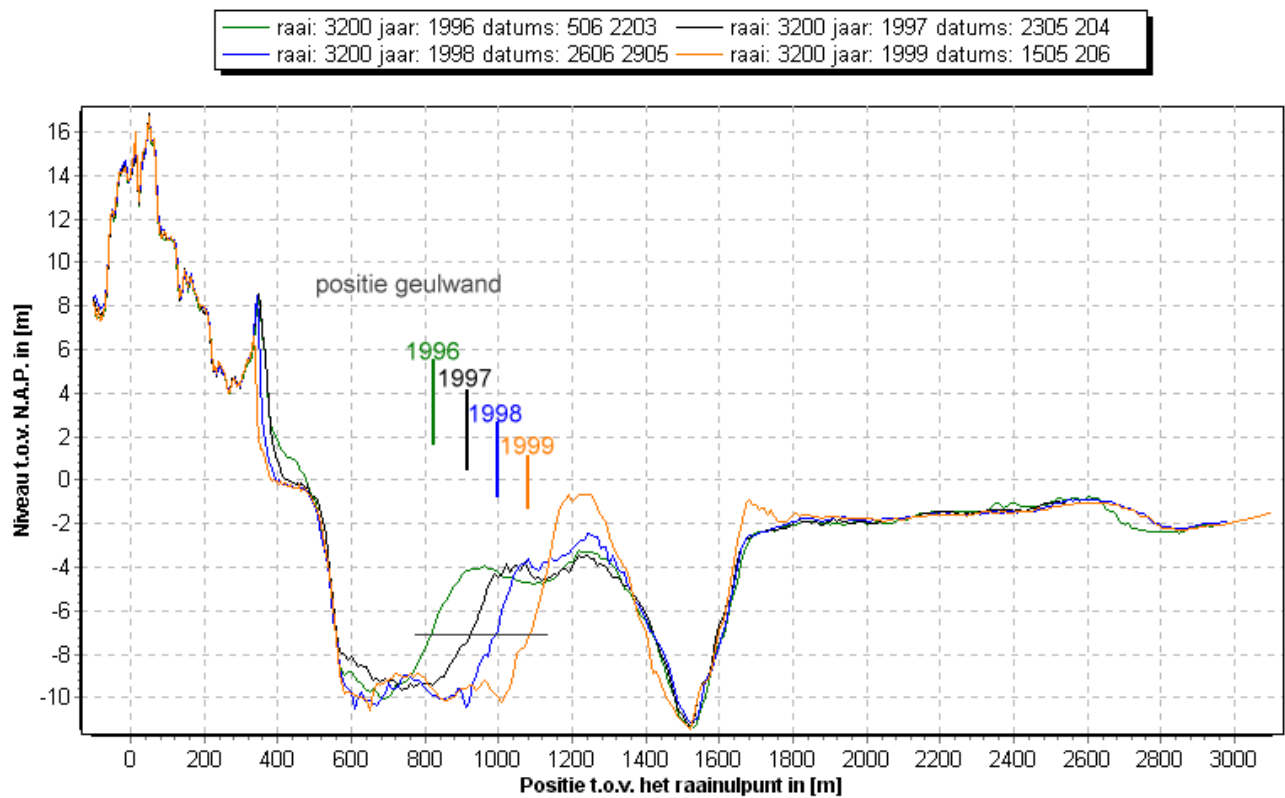
— raai: 3200 jaar: 1971 datums: 1407 2307 — raai: 3200 jaar: 1972 datums: 0 409
— raai: 3200 jaar: 1973 datums: 110 307 — raai: 3200 jaar: 1974 datums: 209 2108
— raai: 3200 jaar: 1975 datums: 805 707 — raai: 3200 jaar: 1976 datums: 2906 2906



Figuur 4-2
Ontwikkeling van Jarkus-raai 3200 van 1965-1970 (boven) en van 1971 tot 1976 (onder)



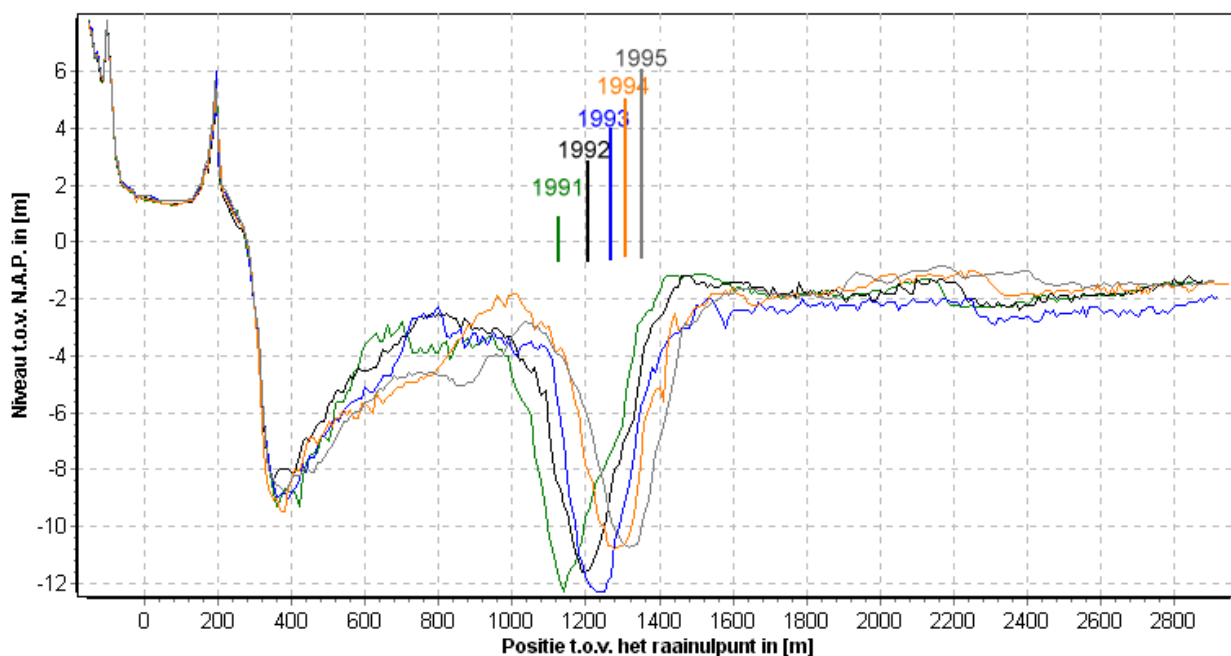
Figuur 4-3
Ontwikkeling van Jarkus-raai 3200 van 1977-1989 (boven) en van 1990 tot 1995 (onder)



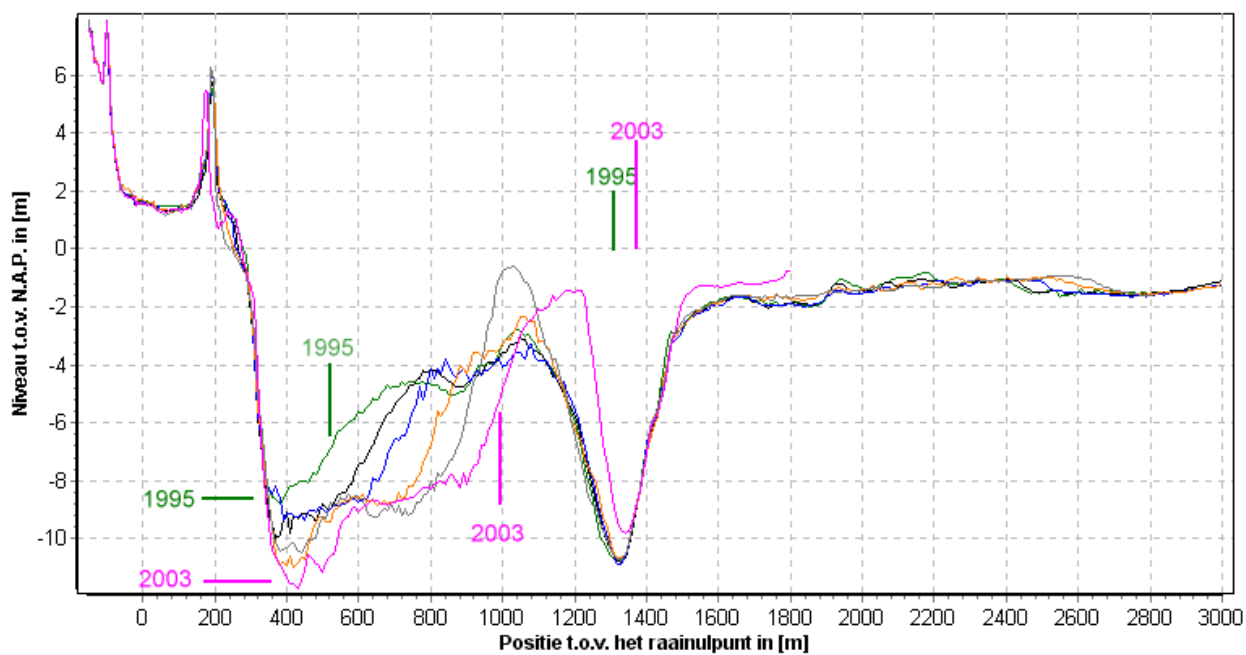
Figuur 4-4
Ontwikkeling van Jarkus-raai 3200 van 1996-1999 (boven) en van 2000 tot 2003 (onder)

PROFIEL OPNAMEN
Kustvak: Texel

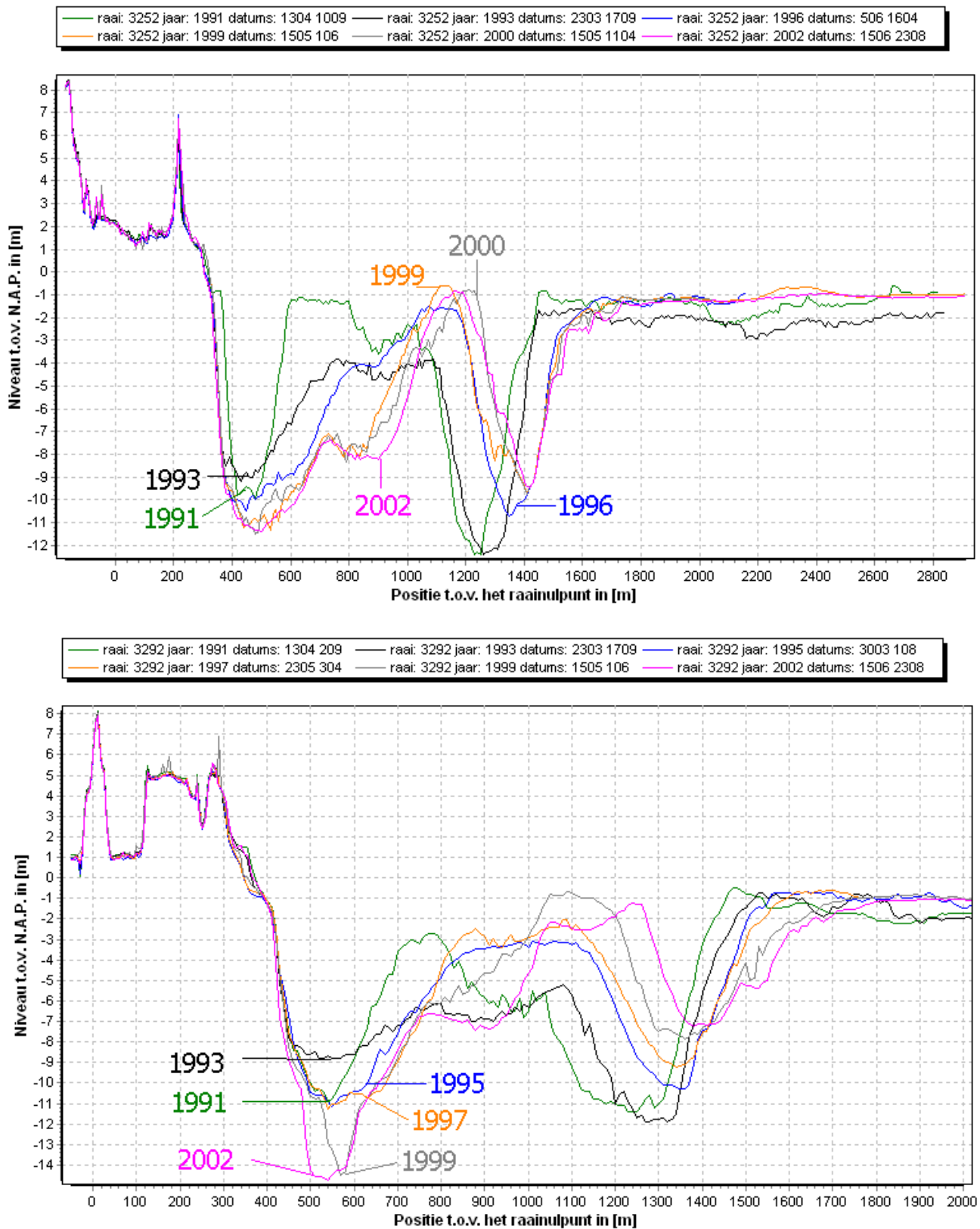
— raai: 3212 jaar: 1991 datums: 1304 209 — raai: 3212 jaar: 1992 datums: 505 1606
 — raai: 3212 jaar: 1993 datums: 2303 1709 — raai: 3212 jaar: 1994 datums: 2903 2309
 — raai: 3212 jaar: 1995 datums: 3003 108



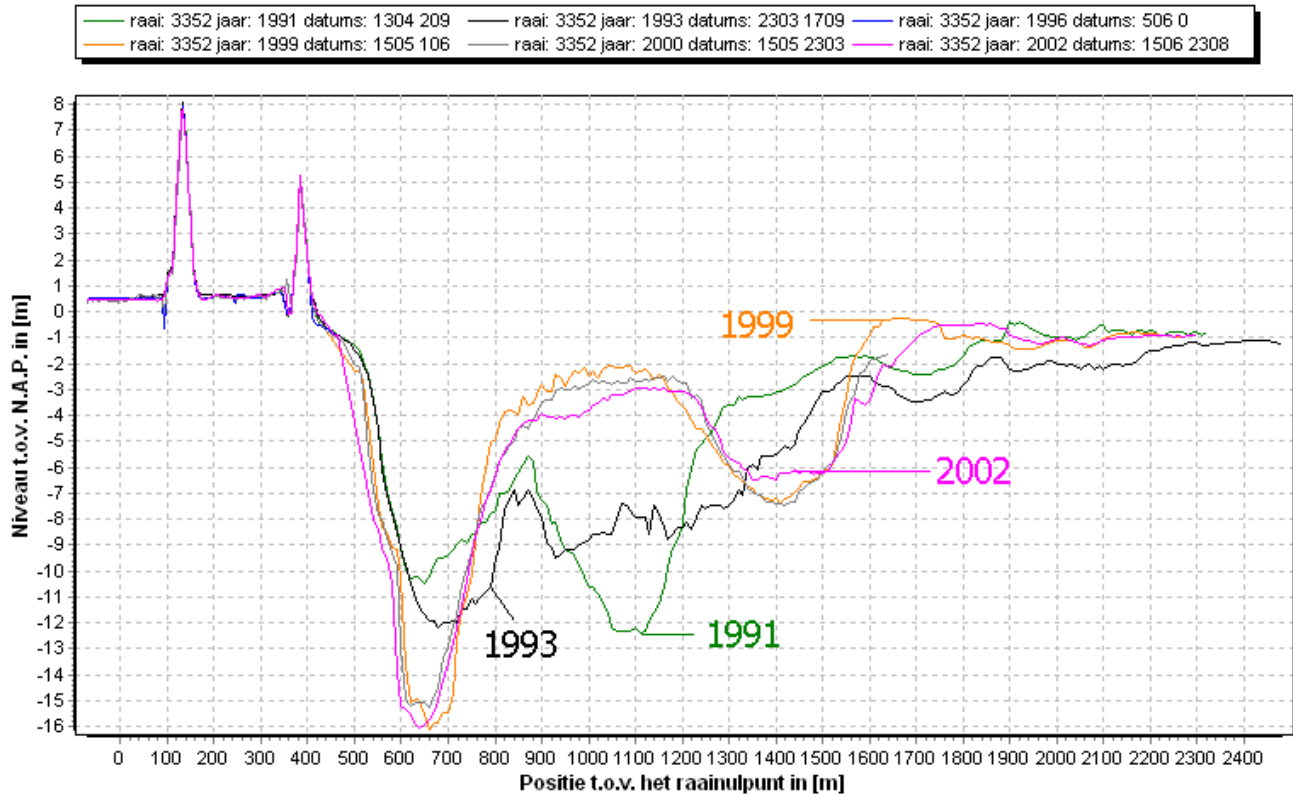
— raai: 3212 jaar: 1995 datums: 3003 108 — raai: 3212 jaar: 1996 datums: 506 1604
 — raai: 3212 jaar: 1997 datums: 2305 204 — raai: 3212 jaar: 1998 datums: 2606 2905
 — raai: 3212 jaar: 1999 datums: 1505 106 — raai: 3212 jaar: 2003 datums: 2403 904



Figuur 4-5
Ontwikkeling Jarkus-raai 3212 van 1991 – 1995 (boven) en van 1995 – 2003 (onder)



Figuur 4-6
Ontwikkeling van Jarkus-raaien 3252 (boven) en 3292 (onder) van 1991-2002



Figuur 4-7
Ontwikkeling van Jarkus-raai 3352 van 1991-2002

Bijlage 5

Ontwikkeling zandvolume in de kustvakken

17.03-32.00

17.03-25.40

25.40-28.80

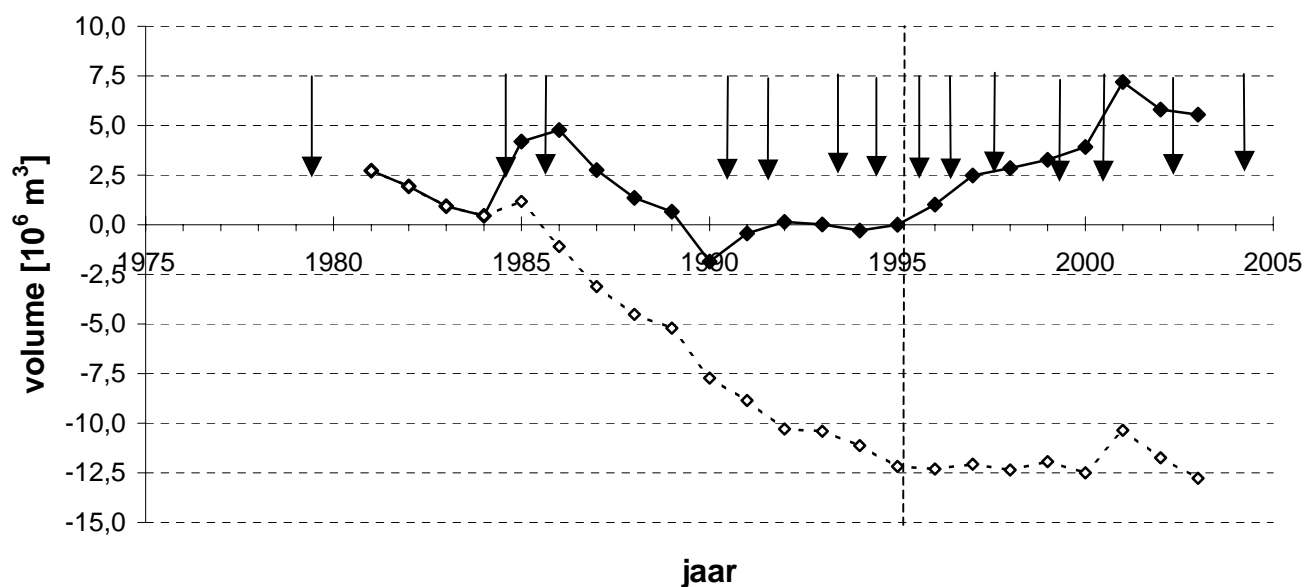
28.80-31.00

31.00-32.00

35.80-42.39

Ontwikkeling van het zandvolume van het gebied tussen km 17 en km 32, gemeten van de achterkant van het duin tot 1000 m in zee (gemakshalve het "Jarkusgebied" genoemd, maar wel verschillend van de "MKL/BKL-zone"). De bovenste lijn geeft de waargenomen volumeverandering weer. Sinds 1979 wordt er zand gesuppleerd, wat duidelijk waarneembaar is in de grafieken. De onderste lijn geeft de ontwikkeling weer zonder de suppleties, d.w.z. de suppletievolumes zijn van de waargenomen volumes afgetrokken. De onderste lijn is in eerste orde benadering te beschouwen als de "autonome" ontwikkeling, d.w.z. de ontwikkeling die vermoedelijk plaatsgevonden zou hebben zonder de suppleties in dat specifieke vak. De verticale pijlen geven de suppletiemomenten aan.

Texel
kustvak 17.03-32.00



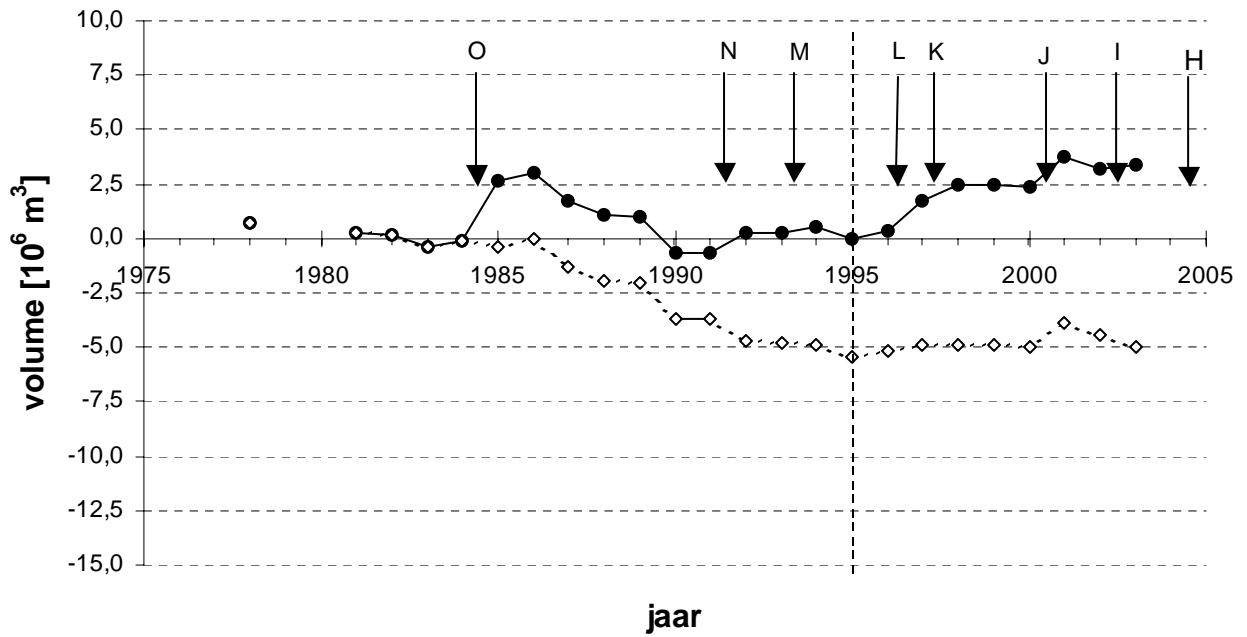
uitgevoerde suppleties

	[m3]	lokatie	
1979	3,09	raai 25.60 - 31.20	
1984	3,02	raai 18.13 - 24.00	
1985	2,85	raai 25.40 - 30.40	
1990	2,54	raai 25.60 - 30.60	
1991	2,01	raai 18.13 - 23.40	
1993	2,25	raai 12.10 - 18.13	valt deels in het kuberingsgebied
1994	1,33	raai 25.40 - 28.20	
1995	0,84	raai 28.20 - 29.60	
1995	0,30	raai 30.00 - 30.60	
1996	1,49	raai 15.26 - 18.73	valt deels in het kuberingsgebied
1996	0,49	raai 22.11 - 23.40	
1997	0,66	raai 18.78 - 20.91	
1999	1,22	raai 26.00 - 28.60	
2000	0,25	raai 17.03 - 18.33	
2000	0,88	raai 25.50 - 27.80	
2002	5,4	raai 17.00 - 23.00	vooroeversuppletie (tussen -6m en -10m NAP)
2004	2,4	raai 25.10 - 27.9	vooroeversuppletie (tussen -6m en -10m NAP)

Figuur 5.1

Ontwikkeling zandvolume tussen km 17.03 en km 32

Texel
kustvak 17.03-25.40

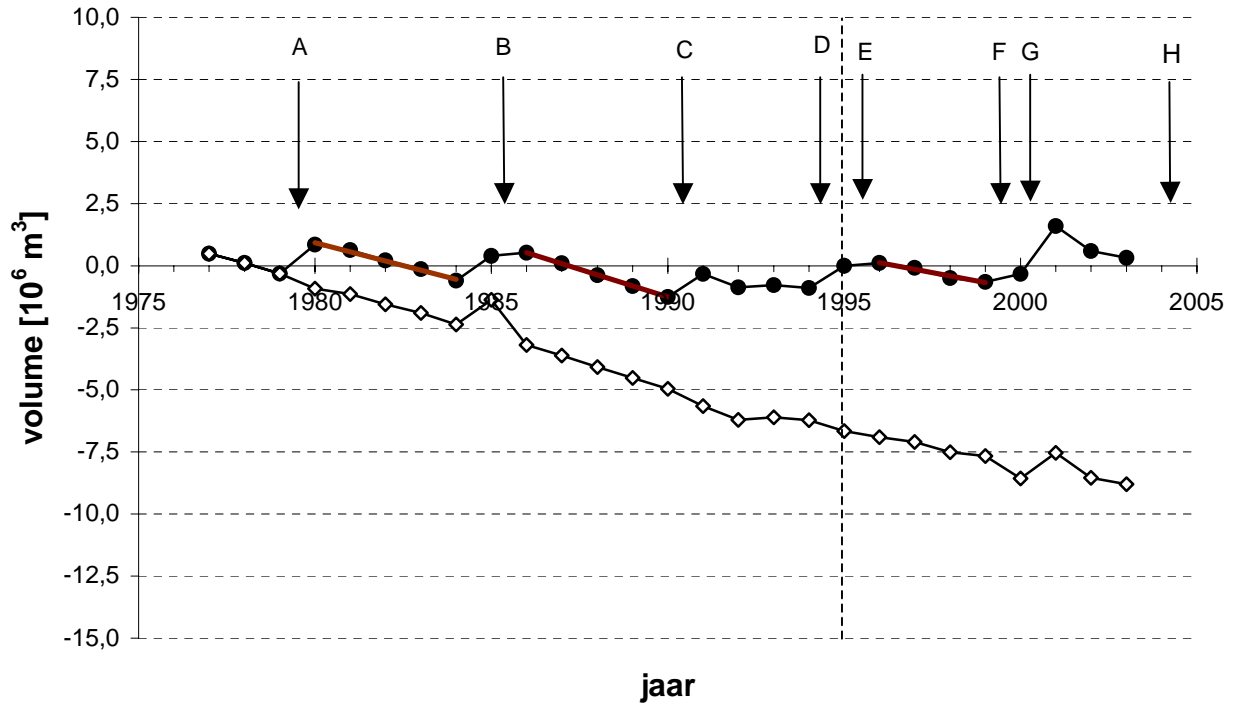


uitgevoerde supplementies:

	jaar	[Mm ³]	lokatie	Mm ³ in kuberingsgebied
O	1984	3,02	raai 18.13 - 24.00	3,02
N	1991	2,01	raai 18.13 - 23.40	2,01
M	1993	2,25	raai 12.10 - 18.13	0,42
L	1996	1,49	raai 15.26 - 18.73	0,74
L	1996	0,49	raai 22.11 - 23.40	0,49
K	1997	0,66	raai 18.78 - 20.91	0,66
J	2000	0,25	raai 17.03 - 18.33	0,25
I	2002	5,4	raai 17.00 - 23.00	vooroeversuppletie (tussen -6m en -10m NAP)
H	2004	2,4	raai 25.1 - 27.9	vooroeversuppletie (tussen -6m en -10m NAP)

Figuur 5.2
Ontwikkeling zandvolume tussen km 17.03 en km 25.4

Texel
kustvak 25.40-28.80

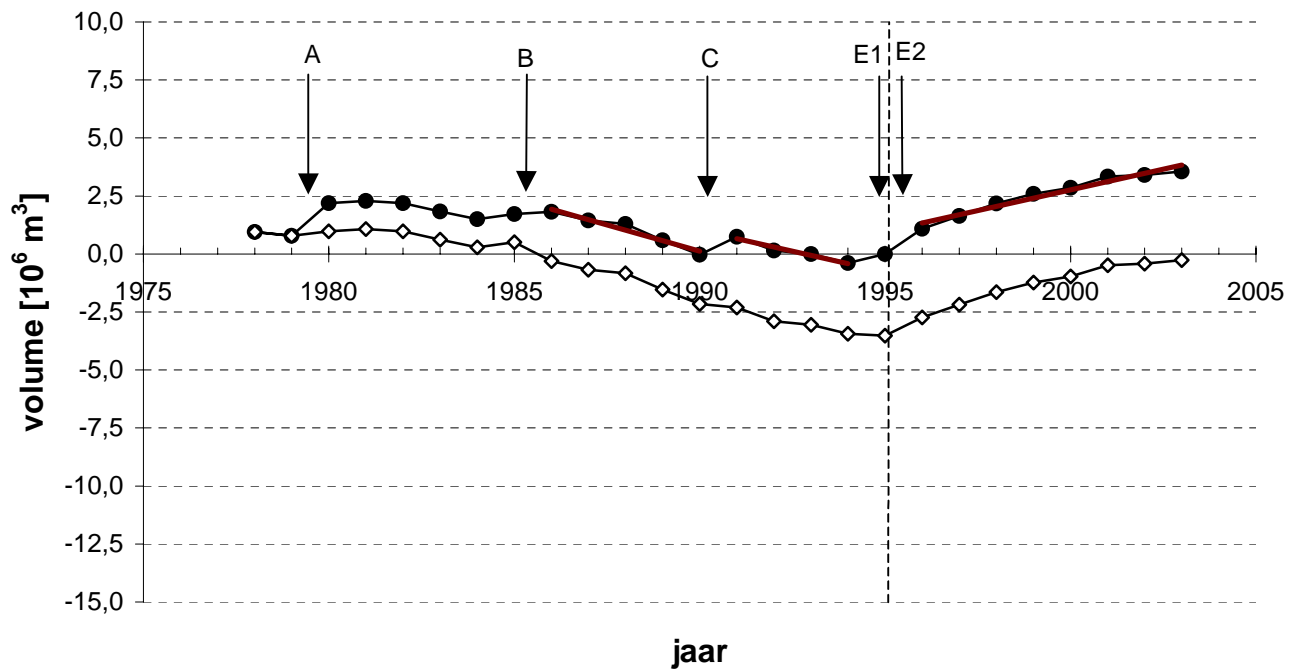


uitgevoerde suppleties:

	jaar	[Mm ³]	lokatie	Mm ³ in kuberingsgebied
A	1979	3,09	raai 25.60 - 31.20	1,76
B	1985	2,85	raai 25.40 - 30.40	1,94
C	1990	2,54	raai 25.60 - 30.60	1,62
D	1994	1,33	raai 25.40 - 28.20	1,33
E	1995	0,84	raai 28.20 - 29.60	0,36
F	1999	1,22	raai 26.00 - 28.60	1,22
G	2000	0,88	raai 25.50 - 27.80	0,88
H	2004	2,4	raai 25.1 - 27.9	vooroever suppletie

Figuur 5.3
Ontwikkeling zandvolume tussen km 25.4 en 28.8

Texel kustvak 28.80-31.00

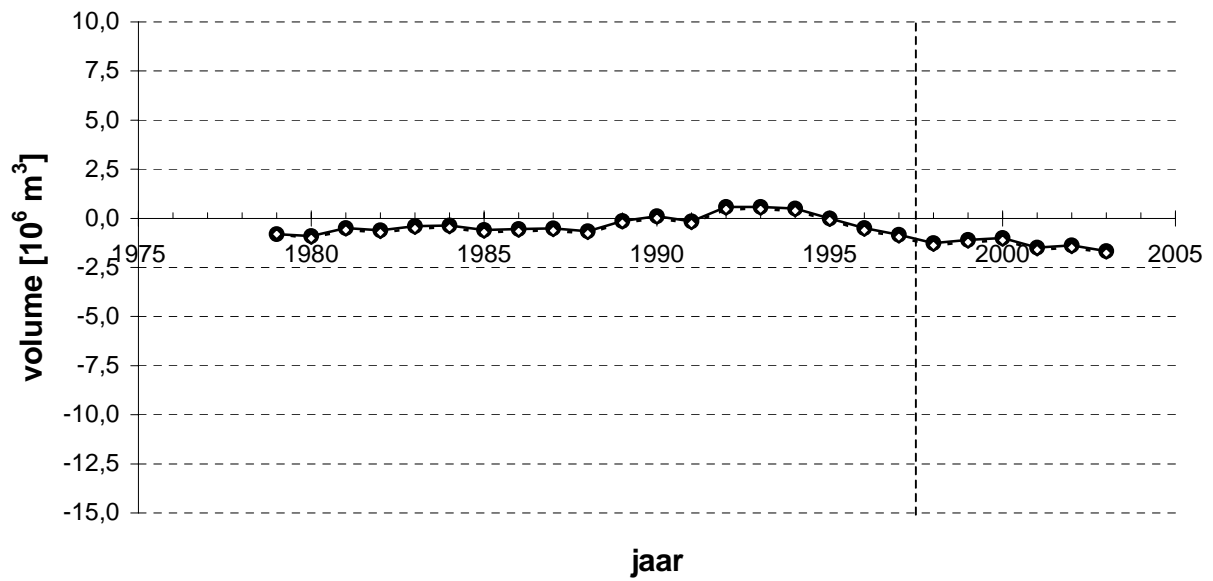


uitgevoerde suppleties:

	jaar	[Mm ³]	lokatie	Mm ³ in kuberingsgebied
A	1979	3,09	raai 25.60 - 31.20	1,2
B	1985	2,85	raai 25.40 - 30.40	0,9
C	1990	2,54	raai 25.60 - 30.60	0,9
E1	1995	0,3	raai 30.00 - 30.60	0,3
E2	1995	0,84	raai 28.20 - 29.60	0,5

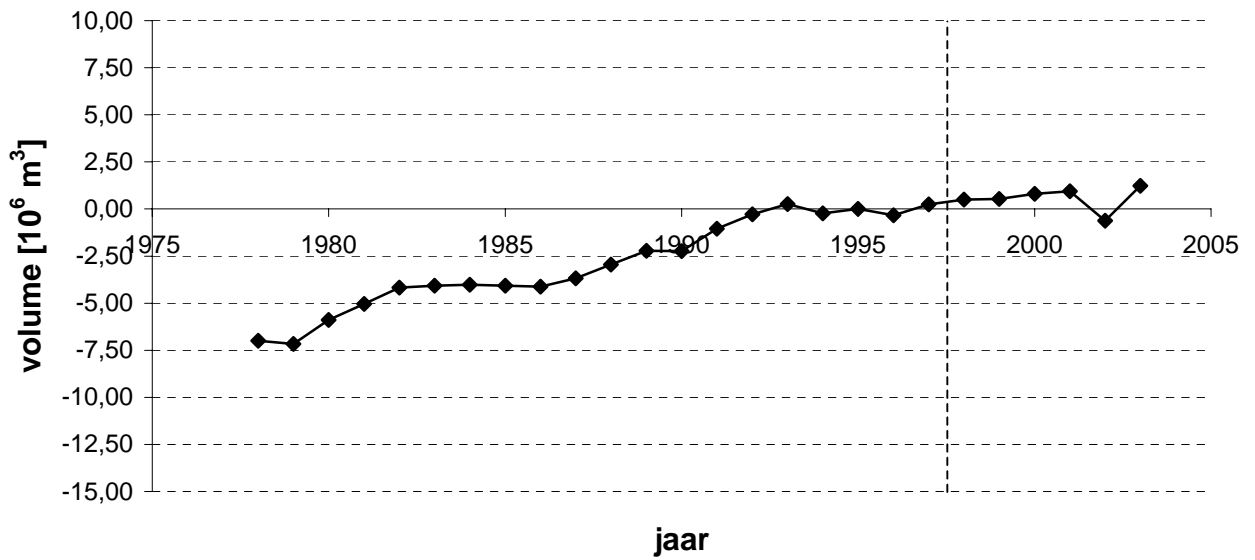
Figuur 5.4
Ontwikkeling zandvolume tussen km 28.8 en 31

Texel
kustvak 31.00-32.00



Figuur 5.5
Zandvolume tussen km 31 en 32

Vlieland
kustvak 35.80 - 42.39

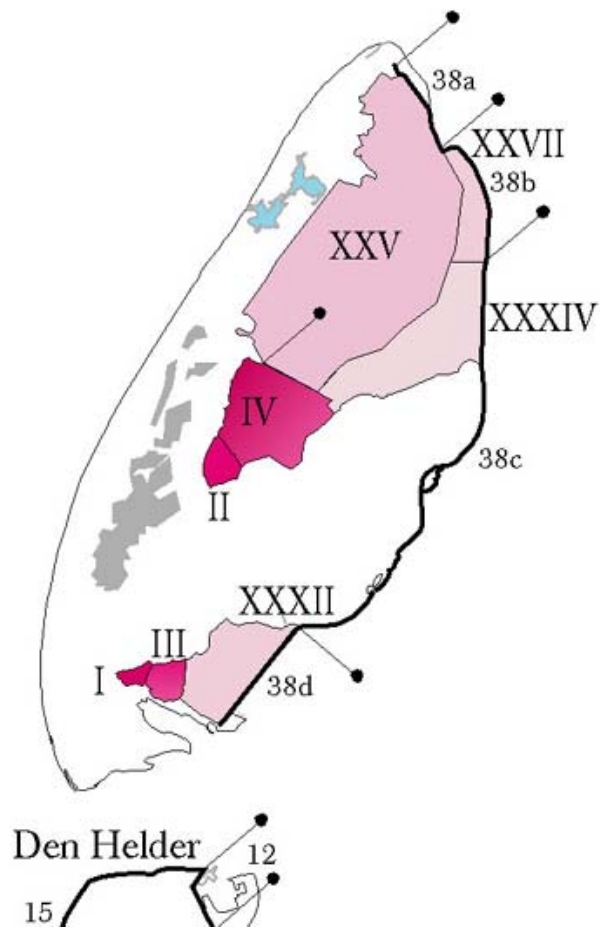


Figuur 5.6
Zandvolume tussen km 35.8 en 42.39

Bijlage 6

Aanleg van polders op Texel

Bron : <http://www.hvanzijl.nl/nhdijken.htm>



Figuur 6-1
Jaar van aanleg van polders op Texel

I	De Kuil	1436
II	Burger Nieuwland	1454
III	Hoornder Nieuwland	1475-1602
IV	Polder Waal en Burg	1488-1612
XXV	Polder Eijerland	1835
XXVII	Polder de Eendracht	1846
XXXII	Prins Hendrik polder	1848
XXXIV	Polder het Noorden	1877