



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

# **Kusterosie van noordwest Ameland: ontwikkelingen op verschillende tijdschalen**

Auteurs: dr. A.P. Oost, ir. C.G. Israël & dr. D.W. Dunsbergen

Rapport RIKZ/2000.057

Project K2005\*Waddendeltas

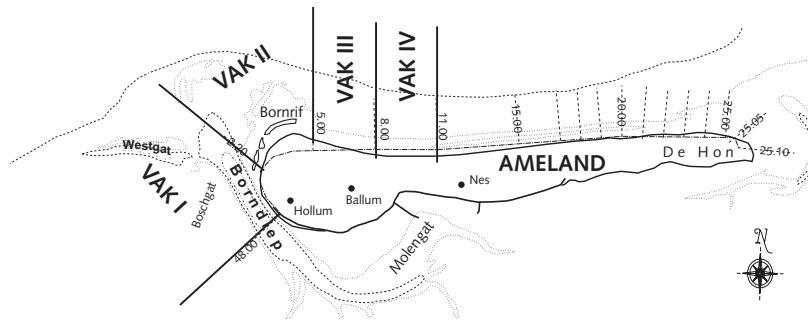


Het is mogelijk om het beheer van de kust van noordwest Ameland te optimaliseren door rekening te houden met de ontwikkelingen van de kust op verschillende tijdschalen van eeuwen tot enkele jaren. Een effectieve aanpak van het beheer betekent dat bij het bestrijden van de problemen op korte termijn rekening wordt gehouden met de verwachtingen over de morfologische ontwikkelingen op langere termijn. De adviezen in dit rapport voor het kustbeheer zijn gebaseerd op onderzoek naar het gedrag van de kust van noordwest Ameland en het Zeegat van Ameland. Dit onderzoek heeft in de afgelopen jaren plaatsgevonden in het programma KUST\*2000.

**Figuur 1.1:**

Kaart van noordwest Ameland met 4 vakken. Per kustvak is het voorgestelde beheer:

- Vak I) aanwezige constructies onderhouden, zo nodig suppleren;
- Vak II) suppleren, landwaartse BKL verschuiving overwegen;
- Vak III) natuurlijke ontwikkelingen monitoren;
- Vak IV) natuurlijke ontwikkelingen monitoren, zandverliezen compenseren indien noodzakelijk.



De huidige kustontwikkeling op noordwest Ameland wordt sterk bepaald door een zandplaat die rond 1980 aanlandde. Sinds 1990 ontwikkelt de zandplaat tot een strandhaak, die snel naar het oosten migreert. De noordwestkust van Ameland is onderverdeeld in een viertal kustvakken met elk een karakteristiek kustgedrag:

In vak I (Rijksstrandpaal-RSP 47-2,5) worden de ontwikkelingen op een schaal van eeuwen bepaald door de verplaatsing van het Borndiep naar de kust. De structurele erosie die hierdoor veroorzaakt wordt zal de komende jaren doorgaan. De aanvoer van zand vanaf meer noordelijk aanlandende zandplaten is onvoldoende om de structurele erosie op langere termijn op te vangen. De handhaving van de kust is hier het beste uit te voeren met suppleties in combinatie met de reeds aanwezige stenen verdediging.

In vak II (RSP 2,5-5) landt steeds in een periode van vijftig tot zestig jaar een zandplaat aan. De volgende plaat zal, volgens deze ontwikkeling, waarschijnlijk rond 2030 aanlanden. De ver zeewaarts uitstekende eilandpunt die bij de aanlandingen gevormd wordt, staat bloot aan golven. De golfwerking voert een deel van het zand af naar het zuiden, in de richting van de Waddenzee en een deel naar het oosten, langs de eilandkust van Ameland. Voor het beheer van dit kustvak is de ligging van de zogenaamde basiskustlijn (BKL) bepalend. In dit vak is de basiskustlijn vastgesteld tijdens de periode waarin juist een zandplaat is aangeland, waardoor de basiskustlijn ver zeewaarts ligt. Geadviseerd wordt om in dit kustvak opnieuw na te gaan of de ligging van de basiskustlijn naar een meer landwaartse positie kan worden verplaatst.

Bij het opnieuw vaststellen van de basiskustlijn kan de bescherming van de NAM-lokatie (bij RijksStrandPaal 3) als uitgangspunt dienen. De handhaving van de kustlijn door middel van suppletie is hier het beste middel.

In vak III (RSP 5-8) overheerst een sterke zandaanvoer door de aanlanding van de platen in vak 2. De brede en hoge strandhaak beperkt de golfaanval op de duinvoet. Landwaarts van de strandhaak bevindt zich een kleine getijdekom, die via een getijdegeultje contact heeft met de Noordzee. Dit geultje lag tot 1999 vlak onder de duinvoet in vak III. De meanderbochten van het geultje zorgden lokaal voor erosie van het duin. Tot nog toe hebben deze bochten de kustveiligheid niet aangetast. De hoge stroomsnelheden in de geul maakten het strand ter plekke ongeschikt voor badgasten. Het geultje wordt al sinds 1996 ondieper; een proces dat sinds het ontstaan van een nieuwe geul bij RSP 6 sneller verloopt. De ontwikkeling van geulen is een onderdeel van de natuurlijke ontwikkeling van de zandplaat en strandhaak. Het geultje draagt bij aan het transport van zand langs de eilandkust. Omdat zandaanvoer in het vak overheerst en de natuurlijke ontwikkeling van geulen de veiligheid niet bedreigd wordt geadviseerd om de natuurlijke ontwikkeling niet te hinderen.

In vak IV (RSP 8-11) overheerst op lange termijn erosie. Sinds 6 jaar wordt deze erosie gecompenseerd door de sterke natuurlijke aanvoer van zand van de strandhaak. Naar analogie van eerdere aanlandingen mag worden verwacht dat deze zandaanvoer ook de komende jaren zal voortzetten, waarbij steeds oostelijker gelegen gebieden zand zullen ontvangen. Ten oosten van km raai 13 tot 21 is in 1998 de kustachteruitgang gecompenseerd door middel van een onderwatersuppletie. Ook voor dit kustvak geldt het advies om de natuurlijke ontwikkeling, die bijdraagt aan de veiligheid van Ameland zo weinig mogelijk te hinderen.

Samenvattend: Door rekening te houden met morfologische ontwikkelingen op verschillende tijdschalen kan de kust met minder ingrepen en op een natuurlijkere wijze worden beheerd.

# Inhoudsopgave

---

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Samenvatting</b>                                                                                                                              | <b>3</b>  |
| <b>Lijst met figuren</b>                                                                                                                         | <b>7</b>  |
| <b>Lijst van tabellen</b>                                                                                                                        | <b>9</b>  |
| <b>1. Inleiding</b>                                                                                                                              | <b>11</b> |
| 1.1 Kader kustverdediging                                                                                                                        | 11        |
| 1.2 Bepaling van de Basis Kustlijn                                                                                                               | 11        |
| 1.3 Verschillend kustgedrag op verschillende tijd- en ruimteschalen                                                                              | 13        |
| <b>2. Probleemstelling en gebiedsbeschrijving</b>                                                                                                | <b>15</b> |
| 2.1 Kustproblematiek noordwest Ameland vanaf 1982                                                                                                | 15        |
| 2.2 Kustproblematiek in relatie tot kustontwikkeling laatste eeuw                                                                                | 16        |
| 2.3 Onderlinge samenhang                                                                                                                         | 21        |
| 2.4 Vraagstelling                                                                                                                                | 11        |
| <b>3. Ontwikkeling op diverse tijdschalen</b>                                                                                                    | <b>23</b> |
| 3.1 Korte termijn (jaren): Strandhaken kunnen worden gevormd en beïnvloeden lokaal de ontwikkeling van het strand.                               | 23        |
| 3.2 Middellange termijn (tientallen jaren): Strandhaken verdwijnen en aangelande zandplaten verplaatsen langs de kust naar het zuiden en oosten. | 24        |
| 3.3 Lange termijn, sinds 1870 (vele decennia): Geulen in het Zeegat van Ameland vertonen cyclisch gedrag.                                        | 25        |
| 3.4 Zeer lange termijn, sinds vroege Middeleeuwen (eeuwen): Het zeegat verandert van locatie als de achterliggende vloedkom verandert.           | 26        |
| 3.5 Extreem lange termijn, sinds de laatste IJstijd (millennia): De kusten van de waddeneilanden verplaatsen zich landwaarts.                    | 29        |
| <b>4. Het kustgedrag verklaard</b>                                                                                                               | <b>29</b> |
| 4.1 Kustvak I (km raai 47-2,5)                                                                                                                   | 29        |
| 4.2 Kustvak II (km raai 2,5-5)                                                                                                                   | 29        |
| 4.3 Kustvak III (km raai 5-8)                                                                                                                    | 30        |
| 4.4 Kustvak IV (km raai 8-11)                                                                                                                    | 30        |
| <b>5. Toekomstige kustontwikkeling: Kansen en bedreigingen</b>                                                                                   | <b>31</b> |
| 5.1 Kustvak I (km raai 47-2,5)                                                                                                                   | 31        |
| 5.2 Kustvak II (km raai 2,5-5)                                                                                                                   | 32        |
| 5.3 Kustvak III (km raai 5-8)                                                                                                                    | 32        |
| 5.4 Kustvak IV (km raai 8-11)                                                                                                                    | 33        |
| <b>6. Conclusies</b>                                                                                                                             | <b>35</b> |
| <b>Referenties</b>                                                                                                                               | <b>37</b> |



# Lijst met figuren

---

**Figuur 1.1:** Kaart van noordwest Ameland met 4 vakken. Per kustvak is het voorgestelde beheer: Vak I) aanwezige constructies onderhouden, zo nodig suppleren; Vak II) suppleren, landwaartse BKL verschuiving overwegen; Vak III) natuurlijke ontwikkelingen monitoren; Vak IV) natuurlijke ontwikkelingen monitoren, zandverliezen compenseren indien noodzakelijk.

**Figuur 1.2:** Kustlijnkaart 2000 (Snijders en van Heuvel, 2000) waarop aangegeven de ontwikkeling van de te verwachte toekomstige kustlijn (TKL in de figuur) ten opzichte van de basiskustlijn.

**Figuur 2.1:** Overzicht van de ontwikkeling van de strandhaak op de noordwestkust van Ameland in de periode 1968-1998 (naar Israël, 1998 en 2001)

**Figuur 2.2:** Ligging van de kustverdediging langs het Borndiep (opname november 2000)

**Figuur 2.3:** Ligging GLW-lijn (Gemiddelde LaagWaterlijn) sinds 1910 bij km raai 2 (Klomp en Kabout, 1997).

**Figuur 2.4:** Ligging GLW-lijn sinds 1880 bij km raai 3 (Klomp en Kabout, 1997).

**Figuur 2.5:** Ligging GLW-lijn sinds 1880 bij km raai 6 (Klomp en Kabout, 1997).

**Figuur 2.6:** Voorbijtrekkende “golven” van erosie en sedimentatie langs de kust van Ameland (IJnsen, 1993).

**Figuur 2.7:** Luchtfoto situatie 1999/1998: erosie door geulbocht (naar Israël, 2001)

**Figuur 2.8:** Luchtfoto van de nieuwe verbinding Noordzee en de getijdekom achter de strandhaak, door een doorbraak door de strandhaak, in 2000 (opname november 2000)

**Figuur 2.9:** Ligging GLW-lijn sinds 1880 bij km raai 9 (Klomp en Kabout, 1997).

**Figuur 3.1:** Schematisch overzicht van de verschillende tijdschalen waarop de ontwikkeling van het gebied behandeld wordt.

**Figuur 3.2:** Situatie oktober 1999: Zandtransportmechanismen op grond van luchtfoto's, veldwaarnemingen en metingen. De mechanismen zorgen voor een sterke oostwaartse uitbouw van de haak (tot ca. 0,5 km per jaar).

**Figuur 3.3:** Strandhaken zijn van alle tijd: Eén van de oudste eilandkaarten van Ameland (1665), met aan de noordwestelijke kant een oude voorganger van de tegenwoordige strandhaak (Oost, 1995).

**Figuur 3.4:** Ontwikkeling van een strandhaak onder invloed van de golfaanval (Israel, 2001). Het zandtransport door de golfwerking is aan de zuidwestelijke zijde van de strandhaak naar het zeegat gericht en aan de noordoostelijke zijde van de strandhaak naar de kust van het eiland gericht.

**Figuur 3.5:** Morfologische cyclus van het Zeegat van Ameland (Israel, 1998).

**Figuur 3.6:** Opvulling van de Middellzee. De verschuiving van de wantijen laat de verlegging van het zwaartepunt van het kombergingsgebied van het Zeegat van Ameland zien (naar Van der Spek, 1994).

**Figuur 3.7:** De vlakte van Ameland, een afgesleten rest van een ca. 5000 jaar oude buitendelta (naar Sha, 1990).



# Lijst van tabellen

---

**Tabel 2.1:** Indeling in vakken, zie figuur 1.1 voor de locaties.

**Tabel 2.2:** Kustgedrag op korte en lange termijn

**Tabel 4.1:** Kustontwikkelingen op tijdschalen van millennia tot jaren.

**Tabel 5.1:** Geadviseerde beheerstrategieën voor de verschillende kustvakken van noordwest Ameland.



# 1. Inleiding

---

Langs de kust van noordwest Ameland is sinds 1986 op een aantal plaatsen sterke erosie opgetreden. De interactie tussen de Amelandse kust, het Zeegat van Ameland en de zeewaarts ervan gelegen buitendelta blijkt hier, evenals in andere zeegaten, een belangrijke rol in te spelen. In het kader van het programma Kust2000 is een serie studies uitgevoerd naar de erosieproblematiek rond de eilandkop van Ameland. Eén en ander wordt in dit rapport samengevat en geïntegreerd. Op basis van de integratie van de ontwikkelingen op de verschillende tijd- en ruimteschalen wordt tevens een advies gegeven voor verdere optimalisatie van het kustbeheer. Deze inleiding dient om in het kort enkele achtergronden te geven.

## 1.1 Kader kustverdediging

In 1990 is de nota "Kustverdediging na 1990" uitgebracht (Min. V&W, 1990). Onder andere op grond hiervan is als overheidsbeleid geformuleerd dat de ligging van de kustlijn "dynamisch" zal worden gehandhaafd op de plaats waar zij op 1 januari 1990 lag. Door het bestrijden van structurele kustachteruitgang moeten veiligheid, functies (o.a. cultuur, recreatie, bewoning) en waarden in het kustgebied duurzaam behouden worden. Het bestrijden van structurele kustachteruitgang wil echter niet zeggen dat de kust wordt vastgelegd: Dynamiek is toegestaan, mits de basiskustlijn niet structureel wordt overschreden. Waar de basiskustlijn wel is overschreden, worden, indien mogelijk, zandsuppleties uitgevoerd.

In de Vierde Nota Waterhuishouding (1998) is het kustbeleid als volgt uitgewerkt: "De hoofddoelstelling voor het kustbeleid is het handhaven van de veiligheid tegen overstroming gecombineerd met het behoud, waar mogelijk vergroting, van de ruimte voor natuurlijke processen. Water- en sedimentstromen worden zo min mogelijk ingeperkt."

Over de aard van de gewenste maatregelen, meldt de Vierde Nota in de toelichting: "...Sinds 1990 proberen we vooral met de natuurlijke processen mee te werken: Zandsuppleties in plaats van dammen en bastionkusten,... Hoe natuurlijker het systeem, hoe groter het zelfherstellend vermogen. Een veerkrachtige kust is onze beste garantie voor duurzame veiligheid,..."

Voor de kustverdediging betekent dat: "Het kustverdedigingsbeleid is gericht op het dynamisch handhaven van de kustlijn. Dat betekent dat de natuurlijke processen zo min mogelijk mogen worden belemmerd, maar dat ingegrepen wordt als er land blijvend verloren dreigt te gaan. Dan wordt een suppletie uitgevoerd."

In het rapport 'Dynamisch kustbeheer Kustzone noordwest-Ameland', opgesteld in opdracht van het 'Provinciaal Overlegorgaan Kust Friesland' (Cazemier e.a., 1997), wordt gesteld dat de natuurlijke dynamiek van de noordwestkust van Ameland de ruimte moet worden gegeven, zolang de aanwezige functies en waarden in het duingebied niet daadwerkelijk bedreigd worden. Als indicator voor bedreiging wordt overschrijding van de basiskustlijn gehanteerd.

## 1.2 Toetsen aan een Basis Kustlijn

De norm voor de basiskustlijn is de verwachte ligging van de kust op 1 januari 1990. De verwachte ligging is vastgesteld op grond van kustmetingen van 1980-1989. Elk jaar wordt aan de hand van de

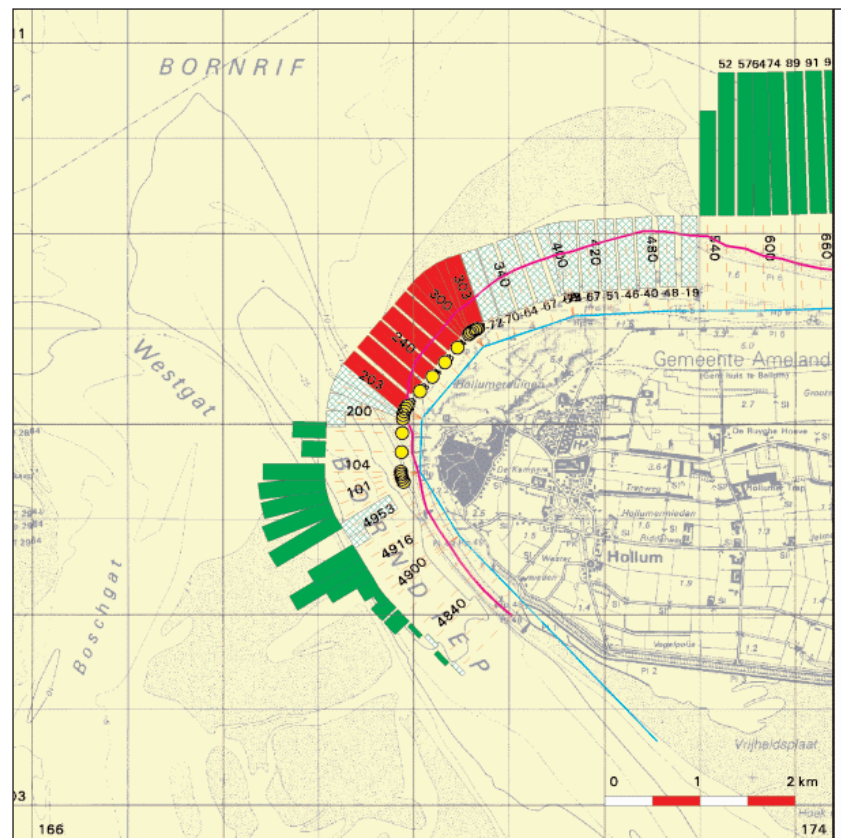
kustmetingen over de afgelopen tien jaar gekeken of aan de norm wordt voldaan (fig. 1.2). Er wordt een "te toetsen" kustlijn (TKL) berekend, die zeewaarts van de basiskustlijn dient te blijven. Voor de berekening van de "te toetsen" kustlijn (TKL) en de bepaling van de basiskustlijn is een methode ontwikkeld, die beschreven is in de nota "De basiskustlijn, een technisch/ morfologische uitwerking" (Hillen e.a., 1991). De bedoeling van de jaarlijkse toetsing is het tijdig signaleren van structurele kustachteruitgang.

Als sprake is van structurele kustachteruitgang waardoor de basiskustlijn overschreden dreigt te worden, moeten maatregelen genomen worden. In het algemeen wordt de kustachteruitgang bestreden met zandsuppleties, opdat de natuurlijke dynamiek van het systeem kan worden behouden.

**Figuur 1.2:**

Kustlijankaart 2000 (Snijders en van Heuvel, 2000) waarop aangegeven de ontwikkeling van de te verwachte toekomstige kustlijn (TKL in de figuur) ten opzichte van de basiskustlijn.

Omdat de basiskustlijn ongeveer overeenkomt met de laagwaterlijn, ligt deze lijn ogenschijnlijk veel "in het water". Het verschil tussen de positie van de te toetsen kustlijn en de basiskustlijn wordt gepresenteerd in de vorm van een staafje dat opgebouwd wordt uit een aantal blokjes. Het aantal blokjes komt overeen met de grootte van de trend in meters per jaar. Wanneer het verschil tussen de TKL en de BKL negatief is, betekent dat, dat de norm (de basiskustlijn) is overschreden. Op de kaart wordt de trend dan in een rode kleur getekend. Wanneer het verschil positief is wordt een groene kleur gebruikt. Een positieve trend betekent dat de kust aangroeit, en wordt daarom in zeewaartse richting getekend. Is de trend negatief, dan gaat de kust gemiddeld over de laatste jaren achteruit. Een negatieve trend wordt daarom in landwaartse richting getekend.



De volgende informatie is op de kaart weergegeven:

- topografie als ondergrond, schaal 1:50.000
- de raaien waarlangs de jaarlijkse kustmetingen (JARKUS) uitgevoerd worden
- de rijksstrandpalenlijn (RSP lijn)
- De ligging van de basiskustlijn; een dikke roze/rode lijn
- Het verschil tussen de TKL en de BKL.
- Locaties waar in 2000 een strandsuppletie is uitgevoerd.

### 1.3 Verschillend kustgedrag op verschillende tijd- en ruimteschalen

Tot nog toe wordt de kustlijn gehandhaafd op basis van de jaarlijkse toetsing aan de BKL. De vraag dringt zich op of deze vrij mechanische benadering wel de meest optimale is. Het zou zeker voldoen, indien de kust éénvoudig en éénduidig gedrag vertoonde. In werkelijkheid is het gedrag van de kust echter ingewikkeld, zeker in de buurt van zeegaten. Het kustgedrag wordt daar bepaald door diverse ontwikkelingen tegelijkertijd.

Elke ontwikkeling voltrekt zich op een karakteristieke tijdschaal. Het kustwaarts verschuiven van grote zeegaten is bijvoorbeeld een ontwikkeling die zich typisch over perioden van eeuwen voltrekt, terwijl het ontstaan en verdwijnen van strandhaken enkele decennia in beslag neemt. Het uiteindelijke kustgedrag is daarmee een optelsom van de diverse ontwikkelingen, die op de verschillende tijdschalen plaatsvinden.

Het idee achter dit rapport is, dat wanneer het waargenomen kustgedrag kan worden ontrafeled in ontwikkelingen op verschillende tijdschalen, het toekomstige kustgedrag beter kan worden voorspeld. Kennis van de ontwikkelingen op verschillende tijdschalen geeft de mogelijkheid om te komen tot het verder optimaliseren van het kustbeheer, waarbij beter kan worden ingespeeld op de natuurlijke ontwikkelingen.

De ontwikkeling van de kust van noordwest Ameland en de erosieproblematiek worden besproken in hoofdstuk 2. De ontwikkeling van het gebied opgesplitst in verschillende tijd- en ruimteschalen wordt weergegeven in hoofdstuk 3. Hierbij wordt gewerkt van de kleinste schaal naar de grootste schaal. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens de ontwikkeling van de diverse kustvakken langs de kust van noordwest Ameland verklaard door de combinatie van de ontwikkelingen op verschillende tijd- en ruimteschalen. Om één en ander zo duidelijk mogelijk te maken is een matrix opgenomen, waarin dit ontrafelingsproces zichtbaar wordt gemaakt (tabel 4.1). In hoofdstuk 5 wordt de toekomstige kustontwikkeling van noordwest Ameland in kaart gebracht en worden de daaraan gerelateerde kansen en bedreigingen besproken. Ook worden in dit hoofdstuk adviezen geformuleerd met betrekking tot het optimaliseren van het kustbeheer.



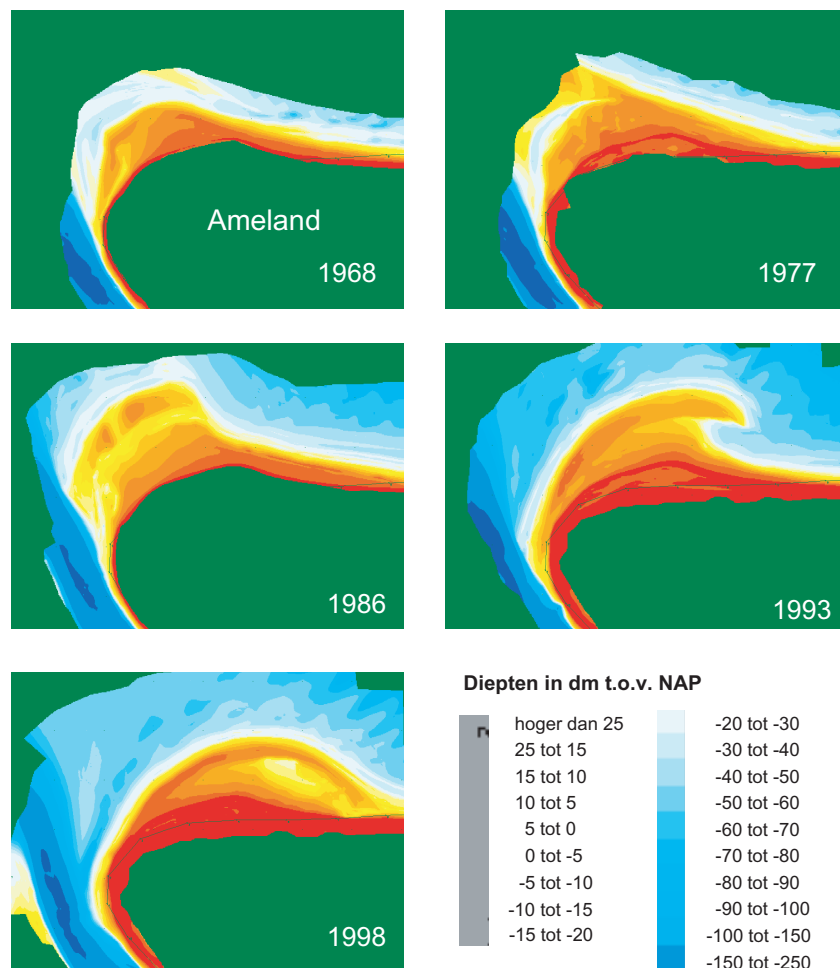
## 2. Probleemstelling en gebiedsbeschrijving

### 2.1 Kustproblematiek noordwest Ameland vanaf 1982

De noordwestkust van Ameland is een gebied dat bestaat uit een duinenkust met zeewaarts daarvan een strand of strandvlakte. Rond 1980 is er een zandplaat aangeland op de noordwestkust. Deze heeft zich vanaf 1989 ontwikkeld tot een strandhaak, die in hoog tempo (100 m/jaar) verplaatst naar het oosten (fig. 2.1). In de definitiestudie "Bornrif" van het programma KUST\*2000 (Waterloopkundig Laboratorium, 1996), wordt nog geconstateerd dat erosie optrad tussen km raai 2-4 en tussen km raai 7-11 (zie fig. 1.1 voor de locaties). Door de oostwaartse verplaatsing van de strandhaak is de ligging van de erosie- en sedimentatiezones verschoven. Hierdoor wijkt de huidige situatie sterk af van de situatie van 1996.

**Figuur 2.1:**

Overzicht van de ontwikkeling van de strandhaak op de noordwestkust van Ameland in de periode 1968-1998 (naar Israël, 1998 en 2001)



**Tabel 2.1:** Indeling in vakken, zie figuur 1.1 voor de locaties.

| Kustvak            | Kustontwikkeling en -problematiek (gebaseerd op Snijders en van Heuvel, 2000) <sup>1</sup> |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| I (km raai 47-2,5) | Voornamelijk aangroei zuidelijk van km raai 1,4, afslag noordelijk ervan                   |
| II (km raai 2,5-5) | Kustafslag over het gehele vak                                                             |
| III (km raai 5-8)  | Voornamelijk aangroei                                                                      |
| IV (km raai 8-11)  | Aangroei                                                                                   |

<sup>1</sup>: Door het uitvoeren van een strandsuppletie in het jaar 2000 van kilometerraai 1 tot en met 3,02 zijn er geen trends berekend over dit vak in de kustlijnkaarten 2001 (Snijders en van Vessem, 2001). Daarom is de vakindeling gebaseerd op de kustlijnkaarten 2000.

## 2.2 Kustproblematiek in relatie tot kustontwikkeling laatste eeuw

De huidige kustproblematiek van noordwest Ameland wordt veroorzaakt door de kustdynamiek op langere termijn. Om de huidige kustproblematiek in de juiste context te kunnen zien, is een onderverdeling van de kust op grond van de historische kustontwikkeling essentieel. Uit de jaarlijkse metingen van de ligging van de gemiddelde laagwaterlijn (GLW) en de momentane kustlijn (MKL) over de periode 1880-1996, aangevuld met kaartmateriaal sinds 1800, blijkt dat langs de noordwestkust van Ameland vier gebieden onderscheiden kunnen worden met elk een duidelijk verschillende ontwikkeling (Oost, 1995; Klomp en Kabout, 1997; Steyaert, 1997; Israël, 1998): tabel 2.2.

**Tabel 2.2:** Kustgedrag op korte en lange termijn

| Kustvak            | Kustgedrag vanaf 1992<br>(afgelopen 10 jaar)                          | Kustgedrag vorige eeuw<br>(afgelopen 100 jaar) |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| I (km raai 47-2,5) | Aangroei in het zuiden en voornamelijk afslag in het noorden          | Netto afslag en strandverlaging                |
| II (km raai 2,5-5) | Afslag in het westen en in het oosten<br>aangroei gevolgd door afslag | Netto aangroei                                 |
| III (km raai 5-8)  | Afslag gevolgd door aangroei<br>en geul-erosie duinvoet               | Netto aangroei                                 |
| IV (km raai 8-11)  | Aangroei gevolgd door afslag gevolgd<br>door aangroei                 | Netto afslag                                   |



### Kustvak I (km raai 47-2,5)

Dit gebied grenst direct aan het Zeegat van Ameland. Hier heeft sinds 1850 een kustafslag over ca. 2 kilometer plaats gevonden als gevolg van het oprukken van het Borndiep. Tussen 1947 en 1975 is de kustlijn min of meer gestabiliseerd door oeverbestortingen met zinkstukken vanaf km raai 47,2 tot km raai 1,4 en een stortstenen dam van slakkensteen tussen km raai 1,4 en 2,4 (fig. 2.2). Bij km raai 2 treedt nog wel ruwweg lineaire achteruitgang op van de GLW-lijn (fig. 2.3), maar de kustlijn blijkt vrij stabiel. Om de strandverlaging van het gebied tegen te gaan zijn van tijd tot tijd suppleties nodig. Zo zijn er in 1979 en 1997 nog beperkte suppleties uitgevoerd tussen km raai 2 en 3, resp. km raai 1 en 3 en in 1994 tussen km raai 48,6 en 49,4. In 2000 werd een suppletie uitgevoerd tussen km raai 1,4 en 2,4.

De belangen in dit gebied zijn: De waterkerende functie, de recreatieve functie en de aanwezigheid van agrarisch gebied, bos en enige bebouwing.

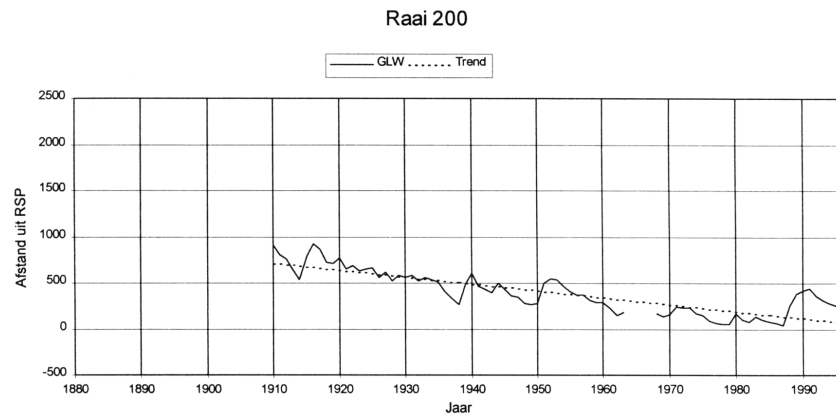
**Figuur 2.2:**

Ligging van de  
kustverdediging langs het  
Borndiep (opname november  
2000)



**Figuur 2.3:**

Ligging GLW-lijn  
(Gemiddelde LaagWaterlijn)  
sinds 1910 bij km raai 2  
(Klomp en Kabout, 1997).



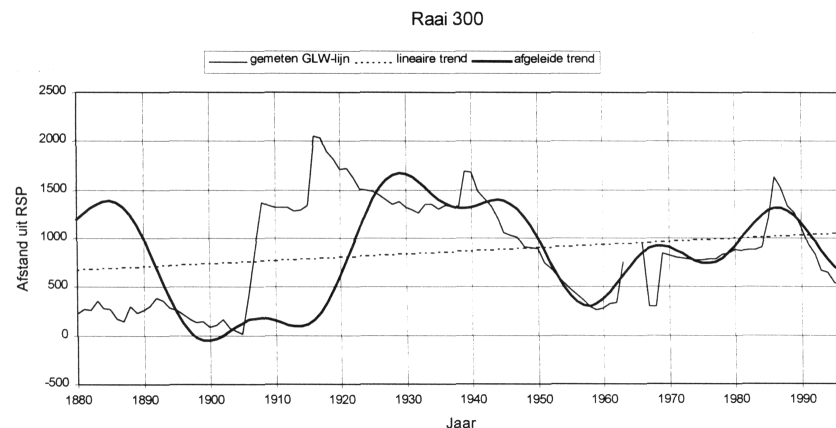
### Kustvak II (km raai 2,5-5)

In dit deel van de kust treedt afwisselend afslag en aangroei op (fig. 2.4). Zandplaten verplaatsen zich tussen km raai 2,5 en 4 vanuit dieper water naar de kust en verhelen met het strand. Dit proces veroorzaakt over een periode van jaren een uitbouw van dit kustvak. De uitbouw wordt door erosie als gevolg van golfwerking na verloop van tijd weer (gedeeltelijk) geërodeerd. Dit is momenteel het geval. Gedurende de laatste honderd jaar treedt over het gehele gebied tussen km raai 2,5 en 5 netto sedimentatie op. Zeewaarts van km raai 3 is in 1979-1980 zand gewonnen uit de toen aanlandende zandplaat ( $2,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Dit zand is hoofdzakelijk gebruikt voor het suppleren van de Noordzeekust van Ameland.

De belangen in dit gebied zijn: De natuurwaarde van het gebied, de functie voor waterwinning en waterkering, de recreatieve functie en de aanwezigheid van een gaswinningslocatie van de NAM.

**Figuur 2.4:**

Ligging GLW-lijn sinds 1880  
bij km raai 3 (Klomp en  
Kabout, 1997).

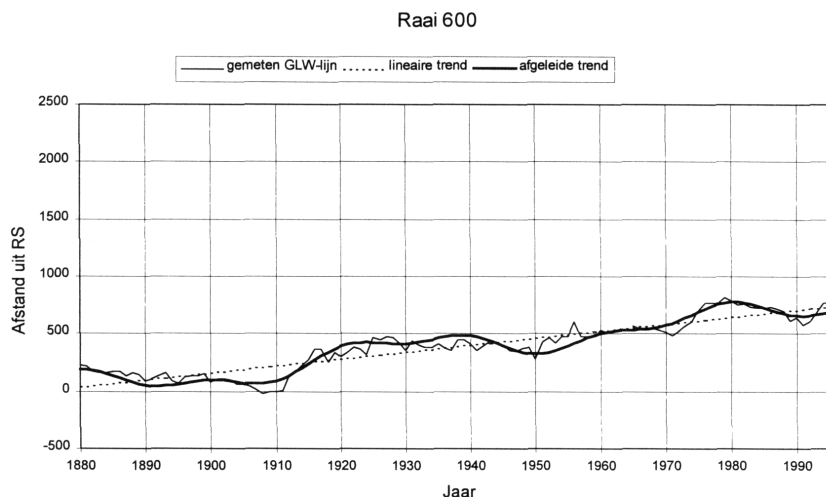


### Kustvak III (km raai 5-8)

Ook in dit deel van de kust treden afwisselend afslag en sedimentatie op (fig. 2.5). Over de 100 jaar vindt netto aangroei plaats, die het meest uitgesproken is in het westen en afneemt in oostwaartse richting. Op korte tijdschalen blijkt dat de amplitude van de voorbijtrekkende "golven" van erosie en sedimentatie afneemt in oostelijke richting (fig. 2.6).

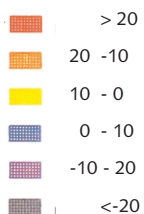
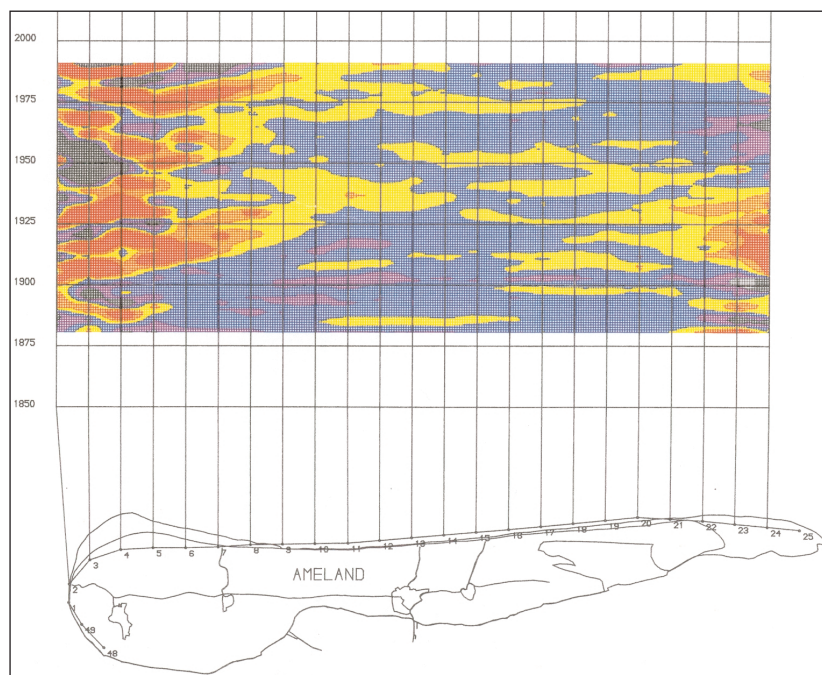
**Figuur 2.5:**

Ligging GLW-lijn sinds 1880 bij km raai 6 (Klomp en Kabout, 1997).



**Figuur 2.6:**

Voorbijtrekkende "golven" van erosie en sedimentatie langs de kust van Ameland (Ijnsen, 1993).



Jaarlijkse verplaatsing van de gemeten kustlijn (meters)

**Figuur 2.8:**

Luchtfoto van de nieuwe verbinding Noordzee en de getijdekom achter de strandhaak, door een doorbraak door de strandhaak, in 2000 (opname november 2000)



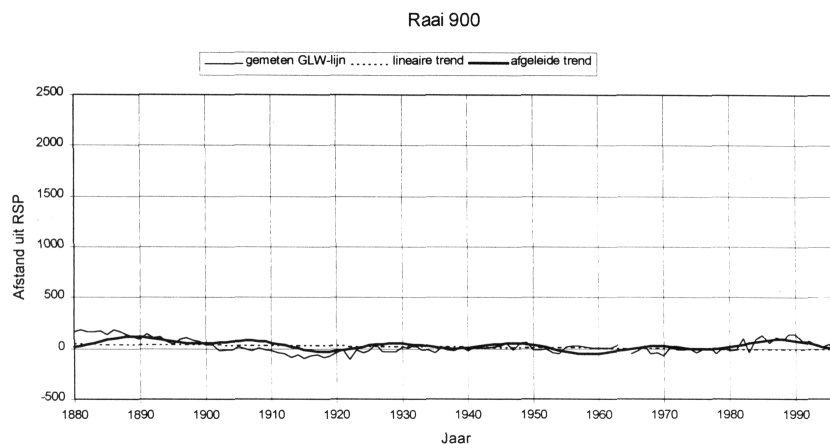
Vanaf 1989 is uit de aangelande zandplaat tussen km raai 2 en 5 een strandhaak ontwikkeld, die zich in hoog tempo verplaatste naar het oosten. Aan het eind van 1999 lag de punt van de haak al bij km raai 9,5. Tussen de strandhaak en de duinenrij ontstond een kleine getijdekom. De in en uitstroom naar en van de getijdekom verliep door een kleine getijdegeul, die vlak onder duinenrij doorliep. In 1997 bevond zich een bocht van het getijdegeultje zich bij km raai 7. Vanaf begin 1998 zorgde dit geultje voor lokale duinvoeterosie, omdat de geulbocht steeds verder landwaartse insneed. In de eerste helft van 1999 vond afsnijding van de geulbocht plaats, zodat de erosie ten einde kwam. Eind 1999 is meer oostwaarts een nieuwe geulbocht gevormd bij km raai 8 (fig. 2.7). Deze geulbocht zorgde tot de milleniumwende voor duinerosie. In begin 2000 is de insnijding in het duin afgenomen en het gedeelte van het geultje oostelijk van km raai 8,5 verzand. Vervolgens is in de periode februari-maart 2000 een nieuwe verbindingsgeul met de Noordzee ontstaan, dwars door de strandhaak ter hoogte van km raai 6. De oude geul die langs de duinvoet loopt heeft hierdoor zijn functie verloren en verzandt momenteel verder (fig. 2.8). Sinds begin 2000 vindt netto aangroei plaats van dit kustvak.

De belangen in dit gebied zijn: De waterkerende functie, de functie voor waterwinning, de recreatieve functie en de natuurwaarde van het gebied.



**Figuur 2.9:**

Ligging GLW-lijn sinds 1880 bij km raai 9 (Klomp en Kabout, 1997).



#### *Kustvak IV (km raai 8-11)*

Het gedrag van de kustlijn in dit kustvak is cyclisch, met een periode van 49 jaar (Klomp en Kabout, 1997). De cyclische voor- en achteruitgang van de kust dempt uit naar het oosten. Uit het feit dat het cyclisch gedrag in oostelijke richting een faseverschuiving vertoont blijkt dat het hier om oostwaarts verplaatsende zandgolven gaat (fig. 2.6). Oostelijk van km raai 8 treedt op lange termijn netto erosie op (fig. 2.9). De verplaatsing van de strandhaak naar het oosten zorgt momenteel voor een zeewaartse uitbouw (Snijders en van Vessem, 2001). Kustafslag is in 1980 tegengegaan door suppleties tussen km raai 10 en 16 en in 1996 tussen 7 en 11. De suppletie van 1,5 miljoen kubieke meter in 1996 zand is in ca. 3 jaar voor een belangrijk deel teniet gedaan.

De belangen in dit gebied zijn: De waterkerende functie, de recreatieve functie en de natuurwaarde van het gebied.

### **2.3 Onderlinge samenhang**

Om een helder begrip te krijgen van de ontwikkelingen is het van belang om de volgende twee punten in de gaten te houden:

- 1 De ontwikkelingen langs de kust van een eilandkop staan niet op zichzelf. Ze zijn altijd nauw verbonden met de ontwikkelingen in de overige onderdelen van het betreffende zeegatsysteem, te weten: buitendelta, zeegat en het achterliggende waddengebied dat door dit zeegat gedraineerd wordt. Zoals nog uit hoofdstuk 3 zal blijken zijn de veranderingen in de buitendelta zeer bepalend voor de kustontwikkeling van noordwest-Ameland.
- 2 Als een vuistregel kan worden gesteld: Hoe groter de tijdschaal, des te groter de ruimteschaal waarop het gedrag van het systeem moet worden bekeken.

### **2.4 Vraagstelling**

Uit bovenstaande beschouwing komen de volgende vragen naar voren:

1. Wat bepaalt de ontwikkeling van de verschillende kustvakken op de verschillende tijdschalen?
2. Wat zijn de verwachtingen voor de toekomstige ontwikkelingen van de verschillende kustvakken ?
3. Welke kansen en bedreigingen doen zich voor bij onbelemmerde kustontwikkeling?
4. Wat zijn de optimale beheersmaatregelen op korte termijn (jaren), middellange termijn (decennium) en lange termijn (decennia)?

Deze vragen worden in de volgende hoofdstukken behandeld.

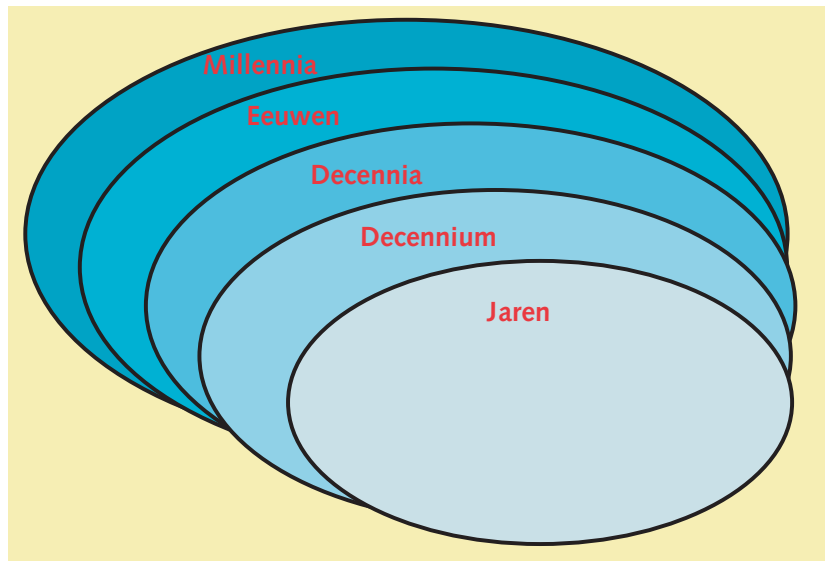


### 3. Ontwikkeling op diverse tijdschalen

Het kustgedrag van noordwest Ameland wordt bepaald door het samenspel van de diverse ontwikkelingen die zich voordoen op verschillende tijdschalen (fig. 3.1). In dit hoofdstuk worden deze ontwikkelingen en hun oorzaken besproken. Eerst worden de ontwikkelingen op de korte termijn, van maanden tot jaren, geschetst. Daarna worden de ontwikkelingen over steeds grotere tijdspannen beschouwd, tot en met de Holocene ontwikkeling. Telkens wordt aangegeven of de ontwikkelingen die op de tijdschaal in kwestie spelen, merkbaar zijn in de diverse gebieden langs de noordwestkust van Ameland. In hoofdstuk 4 worden de verschillende invloeden geïntegreerd, om daarmee het gedrag van de kust, zoals beschreven in hoofdstuk 2, te kunnen begrijpen en voorspellen (hoofdstuk 5).

**Figuur 3.1:**

Schematisch overzicht van de verschillende tijdschalen waarop de ontwikkeling van het gebied behandeld wordt.



#### **3.1 Korte termijn (jaren): Strandhaken kunnen worden gevormd en beïnvloeden lokaal de ontwikkeling van het strand.**

Op de korte termijn wordt het kustgedrag van noordwest Ameland bepaald door de ontwikkeling van de zandplaten en strandhaken. De strandhaken kunnen lokaal de ontwikkelingen van het strand sterk beïnvloeden (fig. 2.1). De snelle uitbouw van de strandhaak in oostelijke richting en het eroderen aan de noordwestkant van de haak worden veroorzaakt door golven en stroming (fig. 3.2). Ook vindt ook oostelijk van de strandhaak erosie plaats, omdat de strandhaak de golfwerking en stroming beïnvloedt (Israel, 1998).

**Figuur 3.2:**

Situatie oktober 1999:  
Zandtransportmechanismen  
op grond van luchtfoto's,  
veldwaarnemingen en  
metingen. De mechanismen  
zorgen voor een sterke  
oostwaartse uitbouw van de  
haak (tot ca. 0,5 km per  
jaar). Blauw = golfgedreven  
zandtransport, rood =  
getijgedreven zandtransport  
en geel = aeolisch  
(windgedreven)  
zandtransport.



Bij de duinenrij aan de eilandkant van de strandhaak treedt lokaal kusterosie op door het uitbochten van het geultje, dat de getidekom met open zee verbindt (fig. 3.2). Zo lang een geul van meer dan 1 km lengte aanwezig is, heeft deze de neiging om bochten te vormen. Dergelijke geulbochten zullen deels naar de kust van het eiland toe bewegen. Uit vergelijking met geulbochten in de Waddenzee is geconcludeerd dat de bochten van de geul niet erg ver zullen uitbochten (nooit meer dan 200 m t.o.v. de rechtdoorgaande lijn door de bochten, Israël en Oost, 2001). Op Ameland waren de bochten tot nog toe was dit over het algemeen nog kleiner, vermoedelijk doordat de grote hoeveelheden zand die vrijkwamen bij het proces leidden tot snelle verzanding van de bocht en schaarvorming.

Bij paal 8 was de uitbocht niet bedreigend voor de veiligheid van het achterliggende bewoonde gebied, omdat landwaarts van de duinenrij die geërodeerd werd, nog voldoende buffer aan duinzand aanwezig was om de vereiste veiligheid te kunnen garanderen. Luchtfoto's laten zien dat in eerste aanleg deze geulbochten zich vormen waar een zandlob ligt kustwaarts van de strandhaak. Hierdoor wordt de geul gedwongen om kustwaarts uit te wijken (Israël en Oost, 2001). Waarnemingen laten zien dat het kustwaarts uitwijken vooral optreedt tijdens de stormrijke winterperiode. Daardoor zijn het moment en de snelheid van kustwaarts uitwijken onvoorspelbaar. De locatie en de onderlinge afstand (ca. 1000 meter van de ene kustwaartse bocht tot de volgende) is echter wel voorspelbaar (Israel en Oost, 2001).

### **3.2 Middellange termijn (tientallen jaren): Zandplaten verdwijnen en strandhaken verplaatsen langs de kust naar het zuiden en oosten.**

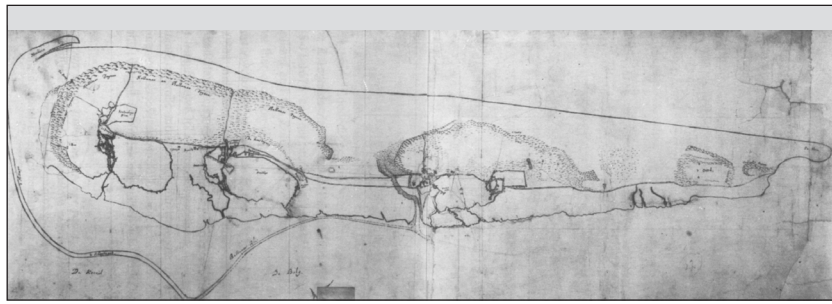
Aangelande zandplaten en strandhaken kunnen vanuit het oogpunt van toerisme door badgasten als zeer hinderlijk worden ervaren. Het zijn echter tijdelijke fenomenen aan de noordwestkusten van alle Waddeneilanden en vormen daar een typerend element in de landschapsontwikkeling (zie bijvoorbeeld de historische strandhaak in fig. 3.3). Strandhaken ontwikkelen zich uit aangelande zandplaten, wanneer de oriëntatie van de kustlijn ten opzichte van de overheersende golfrichting daartoe aanleiding geeft (fig. 3.4). Na verloop van tijd verdwijnen de strandhaken weer (geheel of gedeeltelijk) door erosie. De grootte van de zandplaat speelt een belangrijke rol voor de snelheid waarmee deze verdwijnt. Uit waarnemingen blijkt dat over het algemeen de erosie van strandhaken enkele decennia in beslag neemt (Israël en Oost, 2001).

Bij noordwest Ameland wordt het zand van de strandplaat deels naar



**Figuur 3.3:**

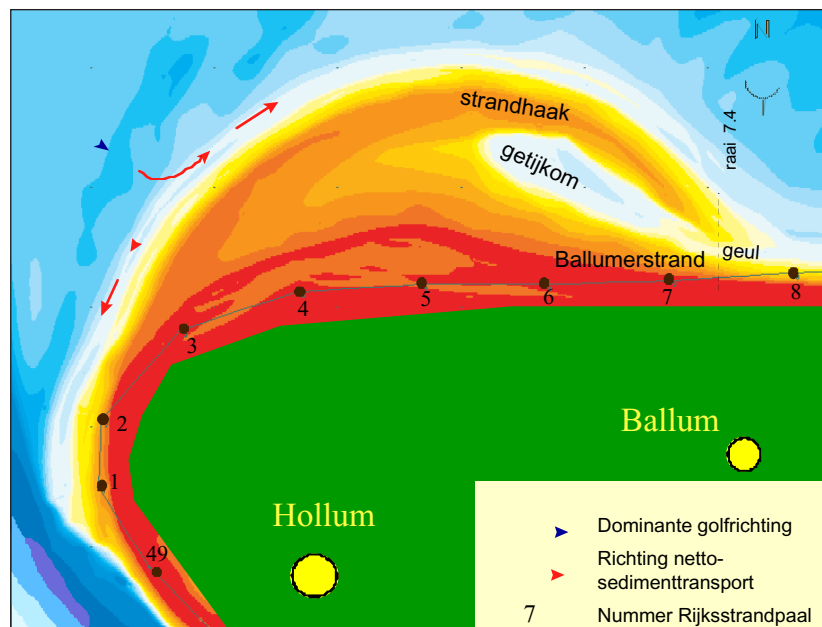
Strandhaken zijn van alle tijd: Eén van de oudste eilandkaarten van Ameland (1665), met aan de noordwestelijke kant een oude voorganger van de tegenwoordige strandhaak (Oost, 1995).



het oosten en deels naar het zuiden getransporteerd. De verplaatsing van zand naar het zuiden is beperkt (fig. 3.3), maar heeft met name in de periode 1994-1996 een vooruitgang van de kust veroorzaakt in het gebied tussen km raai 49-2,5. Momenteel is de aanvoer van zand naar dit gebied weer veel geringer en sinds 1996 treedt weer strandverlaging op (Israël, 1998). Op grond van de MLW ligging en waarnemingen op diverse eilanden (IJnsen, 1993) blijkt dat het naar het oosten getransporteerde zand gedurende één tot enkele decennia leidt tot een tijdelijke onderbreking van de trendmatige erosie van het middendeel van het eiland (fig. 2.6). Alleen al in de periode 1993-1999 is er tussen km raai 7 en 9,5 netto ca. 5 miljoen kubieke meter zand afgezet.

**Figuur 3.4:**

Ontwikkeling van een strandhaak onder invloed van de golfaanval (Israel, 2001). Het zandtransport door de golfwerking is aan de zuidwestelijke zijde van de strandhaak naar het zeegat gericht en aan de noordoostelijke zijde van de strandhaak naar de kust van het eiland gericht.



Het zand dat naar het zuiden wordt afgevoerd remt een tijdlang de erosie van de westkop af en leidt zelfs tot het tijdelijk wegdrukken van de grote getijdegeul in het zeegat, het Borndiep. Het is daarom belangrijk om de strandplaten/haken niet vast te leggen d.m.v. harde constructies. De strandhaak zelf vormt een brede zandbank voor de kust die de veiligheid verhoogt, doordat golven een deel van hun energie verliezen als ze over deze bank lopen. Hierdoor wordt het duin minder sterk aangevallen.

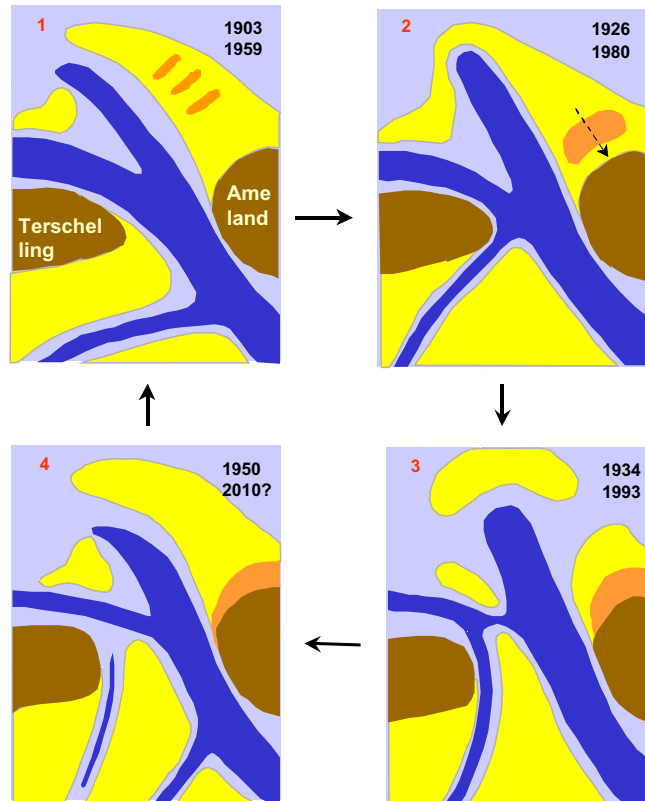
### 3.3 Lange termijn, sinds 1870 (vele decennia): Geulen in het Zeegat van Ameland vertonen cyclisch gedrag.

Het Zeegat van Ameland vormt een onderbreking voor het netto oostwaarts gerichte zandtransport langs de kusten van Terschelling en Ameland. Grote hoeveelheden zand worden door de het Zeegat getransporteerd, langs de Boschplaat op Terschelling, via het Westgat

en het Bordiep naar de buitendelta. Op de buitendelta wordt het zand door kustwaarts gerichte kracht van de golven en de zeewaarts gerichte kracht van de ebstroom "gevangen" gehouden in het ebschild. Door de cyclische ontwikkelingen van de geulen in het zeegat en op de buitendelta verleggen deze zich elke 50-60 jaar westwaarts, waarbij een grote hoeveelheid zand uit het ebschild "bevrijd" wordt (fig. 3.5; Israel, 1998). Dit zand wordt door de golfwerking naar de kust getransporteerd en land dan aan op de kust van noordwest Ameland, tussen km raai 2,5 en 4. Zo vormt zich om de 50-60 jaar een plaat die boven de gemiddeld hoogwaterlijn uitsteekt. Ook kunnen binnen de periode van 50 á 60 jaar kunnen nog kleinere zandplaten aanlanden, die boven de gemiddeld laagwaterlijn uitsteken, maar niet boven de gemiddeld hoogwaterlijn. Dit komt door kleinere westwaartse verleggingen van de meest oostwaarts gelegen buitendelta geul.

**Figuur 3.5:**

Morfologische cyclus van het Zeegat van Ameland (Israel, 1998): In plaatje I wijst het Akkepollegat in noordwestelijke richting en komt zand los van een voormalig ebschild. In plaatje II is dit zand gemigreerd in ZO richting en landt als strandplaat op noordwest Ameland. In plaatje III is ten gevolge van de cyclische ontwikkeling het Akkepollegat in het verlengde komen te liggen van het Bordiep. Aan het eind vormt zich een nieuw ebschild. Deze werkt als een drempel en de ebstroming schuurt nieuwe geulen aan weerskanten ervan uit. In het vierde plaatje heeft het Bordiep zich weer verlegd in noordwestelijke richting en wordt het ebschild losgelaten. Vervolgens begint de cyclus weer opnieuw (plaatje I).

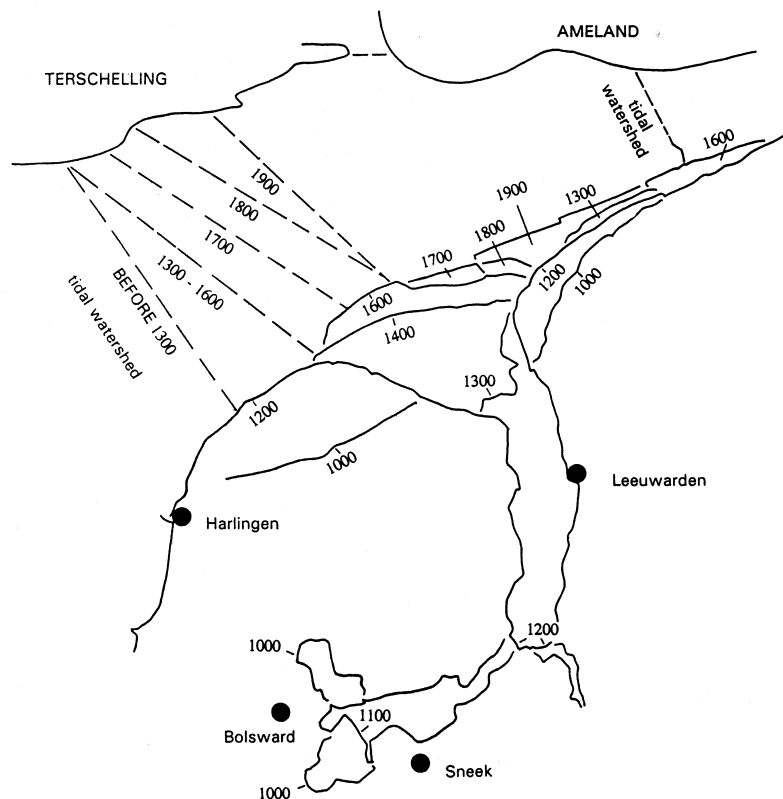


### 3.4 Zeer lange termijn, sinds vroege Middeleeuwen (eeuwen): Het zeegat verandert van locatie als de achterliggende vloedkom verandert.

De ontwikkelingen over zeer lange termijn worden vooral gestuurd door de veranderingen in de vorm van het kombergingsgebied van het Zeegat van Ameland. Na sluiting van het Middelsee-estuarium (ca. 1300) kwam het zwaartepunt van het kombergingsgebied meer onder Ameland te liggen (fig. 3.6, naar van der Spek, 1994, 1999) en verplaatste het Zeegat van Ameland zich in oostelijke richting. Het wantij is sindsdien steeds verder naar het oosten verplaatst (fig. 3.6, naar van der Spek, 1994, 1999), waardoor ook het Zeegat van Ameland nog verder in oostwaartse richting verplaatste. De netto erosie van de westkop (km raai 47 tot 3) sinds ca. 1850 is daar een direct gevolg van.

**Figuur 3.6:**

Opvulling van de Middellzee.  
De verschuiving van de  
wantijen laat de verlegging  
van het zwaartepunt van het  
kombergingsgebied van het  
Zeegat van Ameland zien  
(naar Van der Spek, 1994).

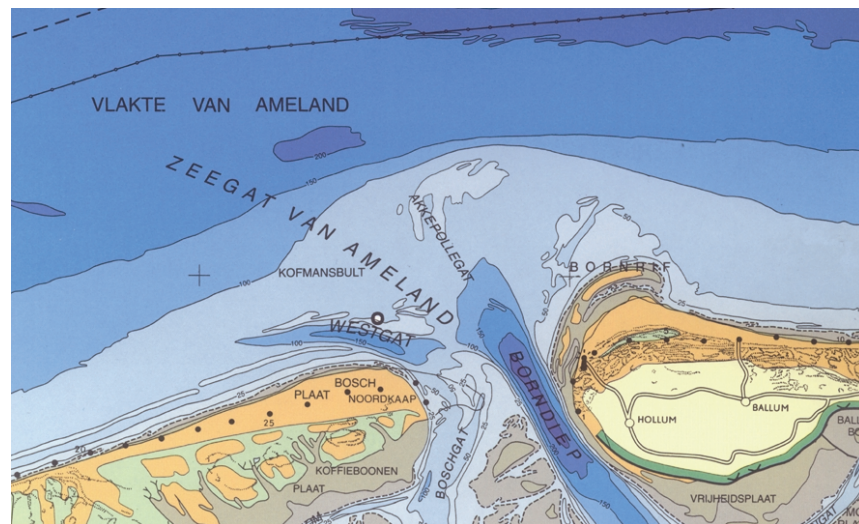


### 3.5 Extreem lange termijn, sinds de laatste IJstijd (millennia): De kusten van de waddeneilanden verplaatsen zich landwaarts.

Waddenzee is een gebied waar sedimentatie plaatsvindt, net als andere vergelijkbare gebieden. Waarnemingen en theoretische en empirische modellen wijzen erop dat een deel van de sedimentatie de zeespiegelstijging in het gebied volgt (Eysink & Biegel, 1992; Louters & Gerritsen, 1994; Oost, 1995; Oost e.a., 1999). Dit zand wordt onttrokken uit de kustgebieden van de eilanden. Samen met de buitendelta's trekken de eilanden zich terug naar het vasteland. Sinds het ontstaan van de Waddeneilanden (8000 tot 7000 jaar geleden) hebben deze zich onder invloed van de stijgende zeespiegel over een tiental kilometers teruggetrokken, waarbij het leeuwendeel van het zand in het Waddengebied is afgezet (Beets e.a., 1994). Ongeveer 10 km voor de kust van Ameland ligt een ondiepte, de vlakte van Ameland. Onderzoek heeft uitgewezen dat de vlakte van Ameland een rest is van een ca. 5000 jaar oude buitendelta (Sha, 1990). Door de terugtrekking van de eilandkust liggen de resten ca. 10 km zeewaarts van de huidige buitendelta: een fraai voorbeeld van de terugtrekking van de kust. (fig. 3.7). Ook de netto erosie van het middendeel van Ameland sinds 1880, zoals naar voren komt uit gedetailleerde waarnemingen, is hoogstwaarschijnlijk onderdeel van deze terugtrekking van de kust.

**Figuur 3.7:**

De vlakte van Ameland, een afgesloten rest van een ca. 5000 jaar oude buitendelta (naar Sha, 1990).



## 4. Het kustgedrag verklaard

In hoofdstuk 3 is de ontwikkeling van de kust op verschillende tijdschalen besproken. In dit hoofdstuk wordt het kustgedrag van noordwest Ameland verklaard uit een combinatie van ontwikkelingen die zich voordoen op verschillende tijdschalen (tabel 4.1).

**Tabel 4.1:** Kustontwikkelingen op tijdschalen van millennia tot jaren.

| Tijdschaal                              | Kustvak I(km raai 47-2,5)                                                  | Kustvak II (km raai 2,5-5)                             | Kustvak III (km raai 5-8)                                           | Kustvak IV (km raai 8-11)                  |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Millennia                               | Terugtrekken van de kust richting vasteland door zandafvoer naar Waddenzee |                                                        |                                                                     |                                            |
| Eeuwen                                  | Kustafslag door oostwaartse verplaatsing zeegat                            |                                                        |                                                                     |                                            |
| Vele decennia                           |                                                                            | Cyclisch aanlanden van zandplaten met netto aanzanding |                                                                     |                                            |
| Tientallen jaren                        | Geringe aangroei door zandaanvoer vanaf aangelande zandplaat               | Erosie van de strandhaak door golfgedreven transport   | Aangroei gevolgd door erosie door voorbijtrekken strandhaak         | Aangroei door zandaanvoer vanaf strandhaak |
| Jaren                                   |                                                                            |                                                        | Erosie ten oosten van zandhaak en kusterosie door uitbochtende geul |                                            |
| Netto resultaat op termijn van 100 jaar | Erosie                                                                     | Aangroei                                               | Aangroei                                                            | Erosie                                     |
| Kustlijnbeweging in 2000                | Aangroei tot km raai 1,4                                                   | Erosie tot km raai 5                                   | Aangroei tot km raai 11.                                            |                                            |

### 4.1 Kustvak I (km raai 47-2,5)

Dit gebied grenst direct aan het Borndiep. Het zeegat van Ameland bepaalt dan ook in sterke mate de ontwikkeling op zeer lange termijn. Door het oostwaarts verplaatsen van het Borndiep wordt het gebied al sinds 1850 gekenmerkt door kustafslag over circa 2 km. Deze zeer lange termijn kustafslag komt ook tot uitdrukking in de kustwaartse trend van de kustlijnligging bij km raai 2 (fig. 2.3). Voor het grootste deel van het gebied is vanaf 1947 die afslag min of meer gestabiliseerd door oeverbestortingen met zinkstukken en een stortstenen dam. Dat wil echter niet zeggen dat zandverlies aan het erlangs stromende zeegat nu gereduceerd is tot nul. Regelmatig wordt er in het gebied gesuppleerd om strandverlaging tegen te gaan.

Uit de ontwikkeling van de laagwaterlijn blijkt dat er regelmatig korte perioden zijn waarin zeewaartse aangroei optreedt. Uit de jaarlijkse lodingen kan geconcludeerd worden dat dit zand afkomstig is van de zandplaten die aanlanden in het kustvak II.

Resumerend kan worden gesteld dat kustvak I de neiging heeft te eroderen op een termijn van eeuwen. De lange termijn ontwikkeling kan tijdelijk worden onderbroken worden door zandaanvoer vanaf aangelande strandplaten.

### 4.2 Kustvak II (km raai 2,5-5)

In dit gebied treedt afwisselend afslag en aangroei op, waarbij sinds

tenminste 1880 (toen begonnen is met de jaarlijkse metingen van de waterlijnen) de netto aangroei overheerst. De aangroei wordt veroorzaakt doordat tussen km raai 2,5 en 4 zandplaten vanuit dieper water naar de kust bewegen en verhelen met het strand. De zandplaten komen vrij uit de buitendelta van het zeegat van Ameland, als gevolg van de cyclische ontwikkeling van platen en geulen. De afslag wordt veroorzaakt door een aantal ontwikkelingen op diverse tijdschalen: Op de middellange termijn wordt sterke afslag veroorzaakt doordat de aangelande zandplaten onderhevig zijn aan golfaanval (Israel, 1998). Ten tweede heeft (op de zeer lange termijn) de oostwaartse verplaatsing van het Zeegat van Ameland sinds ca. 1850 gezorgd voor een afremmen van de aangroei in het meest westelijke deel (km raai 3). Op de extreem lange termijn speelt het zandtransport naar de Waddenzee een rol.

#### **4.3 Kustvak III (km raai 5-8)**

Ook in dit deel van de kust treedt afwisselend afslag en aangroei op, waarbij sinds tenminste 1880 de aangroei overheerst. De aangroei is aan de westkant sterker dan aan de oostzijde. De periodieke aangroei en erosie wordt veroorzaakt door het oostwaarts "uitsmeren" van de tussen km raai 2,5 en 4 aangelande zandplaten. Dit is duidelijk te zien doordat in oostelijke richting de hoeveelheden erosie en sedimentatie minder worden en over een langere periode worden verspreid (fig. 2.6). Soms kan de aangroei spectaculair snel verlopen, zoals blijkt uit de verplaatsing van de strandhaak na 1990.

De afslag wordt veroorzaakt door een aantal ontwikkelingen op diverse tijdschalen. Op korte termijn kan lokaal lijzijde erosie optreden, omdat de strandplaat de golfwerking en stroming meer naar het oosten beïnvloedt. Verder vond erosie plaats door het geultje dat de getijdekom achter de strandhaak met de Noordzee verbond. De erosie is wel hinderlijk, maar niet direct bedreigend voor de kustveiligheid. Verder heeft de erosie een tijdelijk karakter. Op langere termijn speelt ook het zandtransport naar de Waddenzee een rol, maar in dit gebied overheerst de aanzanding over het beschouwde tijdvak.

#### **4.4 Kustvak IV (km raai 8-11)**

Ook hier treedt afwisselend afslag en aangroei op, waarbij sinds tenminste 1880 de netto afslag overheerst. Deze wordt naar het oosten toe sterker. Aan het eind van 1999 lag de punt van de strandhaak al bij km raai 9,5. Een geulbocht in de geul kustwaarts van de strandhaak zorgde ter plekke van km raai 8 voor duinerosie.

De aangroeifasen worden, net als bij het voorgaande kustdeel, veroorzaakt door het oostwaarts voortbijtrekken van zand, afkomstig uit de tussen km raai 2,5 en 4 aangelande zandplaten (fig. 2.1).

De afslag wordt veroorzaakt door een aantal ontwikkelingen op diverse tijdschalen. Op korte termijn kan lokaal erosie worden veroorzaakt als een strandhaak naderbij komt. Begin jaren '90 fungeerde de haak als een zandvang; zodat ten oosten van de haak kusterosie optrad. Vanaf '97 gaat de haak vloeiend over in de kustlijn van Ameland, van een lijzijde-erosie is sindsdien geen sprake meer (Israel, 1998).

Op de extreem lange termijn draagt het zandtransport naar de Waddenzee bij tot de voortdurende kustafslag.



## 5. Toekomstige kustontwikkeling: Kansen en bedreigingen

Wanneer we voor elke kustvak de verwachte natuurlijke ontwikkeling kennen, is het mogelijk na te gaan welke kansen en bedreigingen dit oplevert. Daarnaast is het ook zinvol om te voorspellen (met onzekerheden) wat de ontwikkelingen zullen zijn bij de huidige zeespiegelstijging van 0,2 meter per eeuw en een sneller verlopende zeespiegelstijging. Op grond van de verwachte ontwikkeling van de kust worden de optimale beheersmaatregelen op korte termijn (jaren), middellange termijn (decennium) en lange termijn (decennia) voorgesteld. De optimale beheer-maatregelen worden in tabel 5.1 gepresenteerd.

**Tabel 5.1:** Geadviseerde beheerstrategieën voor de verschillende kustvakken van noordwest Ameland.

| Kustvak            | Geadviseerde beheerstrategie                                                    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| I (km raai 47-2,5) | Suppleren en verdedigen met harde constructies waar nodig                       |
| II (km raai 2,5-5) | Aanpassing Basiskustlijn, eventueel suppleren                                   |
| III (km raai 5-8)  | Geulerosie in de gaten houden                                                   |
| IV (km raai 8-11)  | Natuurlijke ontwikkeling volgen, kustlijn handhaving door middel van suppleties |

### 5.1 Kustvak I (km raai 47-2,5)

In dit gebied moet rekening worden gehouden met een doorgaande erosie, slechts van tijd tot tijd onderbroken door sedimentatie als gevolg van zandaanvoer vanaf de aangelande strandplaten in kustvak II.

Door het uitgebreide vastleggen van de kust met oeverbestortingen en ruggen van stortsteen in dit kustvak wordt vooralsnog verdere kustachteruitgang tegengehouden. Wel lijkt op grond van waarnemingen op de eilanden Vlieland en Texel, dat de oeverbestorting (tussen km raai 47 en 1) een robuustere oplossing is dan een rug van stortsteen (rond km raai 2).

De erosieve trend zal doorzetten bij zeespiegelstijgingsnelheden van 0,2-0,6 m/eeuw. De doorsnijding van de basiskustlijn tussen km raai 2.03 en 3.03 is gecompenseerd met een strandsuppletie in het jaar 2000 (Snijders en van Vessem, 2001). Op de korte termijn lijkt het voorkomen van doorgaande verlaging van het strand door suppleties, zoals bijvoorbeeld uitgevoerd in 2000, de beste oplossing.

Ook op de middellange termijn mag verwacht worden dat de erosie noordelijk van km raai 1 doorgaat. Binnen 25 jaar is, voor de huidige en de versnelde zeespiegelstijging-scenario's, de kans aanwezig dat bij km raai 2 zelfs de duinvoet wordt aangevallen (Klomp en Kabout, 1997).

Op termijn dient dan ook voor het gebied noordelijk van km raai 1, met name noordelijk van km raai 2, te worden nagedacht of handhaving van de sterk zeewaartse ligging van de huidige basiskustlijn wenselijk wordt geacht.

Noordelijk van km raai 1 dient de kust met suppleties op haar plaats te worden gehouden en in het uiterste geval (indien het Borndiep sterk kustwaarts zou migreren), misschien ook met oeverbestortingen. Op lange termijn mag verwacht worden dat tussen ca. 2020-2040 een nieuwe zandplaat aanlandt bij km raai 2,5 en 4. Hieruit komt zand vrij

dat tijdelijk tot een zeewaartse kustuitbouw leidt tussen km raai 47 en 2,5.

Geadviseerd wordt om de kustlijnachteruitgang en strandverlaging te compenseren door middel van suppleties en, indien nodig, het opdringen van de geul te remmen met harde constructies.

### **5.2 Kustvak II (km raai 2,5-5)**

In dit gebied treedt afwisselend erosie en aangroei op, maar overheerst de netto aangroei. Hierdoor heeft het gebied de neiging zeewaarts aan te groeien wat leidt tot de vorming van een "bochel" aan de noordwestelijke kant van Ameland. Tussen km raai 3 en 6 ligt de basiskustlijn sterk zeewaarts, omdat deze is bepaald in de periode direct na de aanlanding van een grote strandplaat (1980-1990). De zeewaartse ligging van de basiskustlijn betekent dat de doorgaande erosie van de strandplaat kan resulteren in het overschrijden van de basiskustlijn en dientengevolge in het uitvoeren van zandsuppleties voor kustlijnhandhaving. Uit de "Kustlijnkaarten" (Snijders en van Vessem, 2001) blijkt dat bij voortzetting van de huidige erosieve trend tussen km raai 3,2 en 5,2 de basiskustlijn zal worden overschreden tussen 2002 (westkant) tot na 2010 (oostkant). Een overschrijding van de basiskustlijn betekent in dit vak echter niet dat de veiligheid van het achterliggende gebied in het geding is. Er is daarom ruimte om de basiskustlijn landwaarts te verleggen. Dit is tussen km raai 3,2 en 4 al eens gebeurd: de basiskustlijn is ca. 600 m landwaarts van de in 1990 bepaalde basiskustlijn gelegd. Oostelijk van km raai 3,2 kan de basiskustlijn nog ca. 120 m landwaarts worden verlegd en tussen 2,4 en 3,2 nog ca. 80 meter. Daarbij is rekening gehouden met de veiligheid van de duinvoet bij de NAM-lokatie. Op de lange termijn zal, op grond van de vorige cycli, verwacht mogen worden dat rond 2030 weer een zandplaat in dit kustvak aanlandt.

Voor dit vak wordt geadviseerd om na te gaan of het wenselijk is om de basiskustlijn nog verder landwaarts te leggen.

### **5.3 Kustvak III (km raai 5-8)**

Ook in dit deel van de kust treedt afwisselend afslag en aangroei op, waarbij sinds tenminste 1880 de netto aangroei overheerst. Er is dus op lange termijn geen probleem aanwezig en tot 2010 wordt in ieder geval geen overschrijding van de basiskustlijn voorzien.

Het geultje dat getijde kom achter de strandhaak met zee verbindt heeft in het verleden voor problemen gezorgd. De duinenrij is lokaal aangetast door het uitbochten van de geul: begin 1999 bij kilometer raai 7, eind 1999 bij kilometer raai 8. Hoewel de geul niet meer actief is als zodanig, betekent dit niet dat geul-gerelateerde problemen voorgoed van de baan zijn. Er bestaat altijd een mogelijkheid van reactivatie van de geul, of een dermate grote oostwaartse verplaatsing van de nieuwe geul (bij km raai 6) dat deze vergelijkbare problemen gaat opleveren. Gezien de aantasting van de duinen en de gebruiksfunctie van het strand, is het wenselijk om na te gaan of toekomstige geulaansnijding van de duinen niet kan worden tegengegaan door zeer lokale strand- of duinsuppletiemaatregelen of het verruimen van de geul aan de zeewaartse kant.

De lijzijde erosie door de invloed van de strandhaak in het westen, is een verschijnsel dat geaccepteerd zal moeten worden, indien de strandhaak zich naar het oosten wil kunnen verplaatsen. De verplaatsing van de haak (middellange termijn) is van vitaal belang voor de kust van Ameland oostelijk van km raai 5, doordat het grote hoeveelheden zand in oostwaartse richting verplaatst. Alleen al tussen km raai 7 en 9,5 is tussen 1993 en 1999 ca. 5 miljoen m<sup>3</sup> zand tot afzetting gekomen. Wel is er in de periode 1986-1993 met name ten gevolge van het naderen



van het front van de strandhaak 3 miljoen m<sup>3</sup> geërodeerd uit hetzelfde vak. Deze zandaanvoer is één van de belangrijkste mechanismen die de optredende lange termijn kustafslag ongedaan maakt (kustvak III) of afremt (kustvak IV). De geul achter de strandhaak is onderdeel van het zandtransport naar het oosten.

Een risico voor een overschrijding van de basiskustlijn is vooralsnog niet te verwachten. Ook op de lange termijn (decennia) kan rekening gehouden worden met aanvoer van zand vanaf nieuwe aangelande zandplaten. Gezien het netto aanzandende karakter van dit gebied lijkt er wat dat betreft vooralsnog weinig reden tot zorg.

Geadviseerd wordt om niet in te grijpen in het gebied.

#### **5.4 Kustvak IV (km raai 8-11)**

Ook hier treedt afwisselend afslag en aangroei op, waarbij de netto afslag overheerst. Deze wordt naar het oosten toe sterker.

Overschrijding van de basiskustlijn wordt dan ook niet verwacht (Snijders en van Vessem, 2001). Op termijn van jaren behoeven dan ook geen suppleties te worden verricht. Op langere termijn zal weer gesuppleerd moeten worden, zodra de sterke zandaanvoer vanaf de strandhaak voorbij is. Over een periode van decennia moet rekening gehouden worden met een doorgaande erosie van het gebied.

Geadviseerd wordt om de natuurlijke ontwikkelingen te volgen en kustlijnachteruitgang te compenseren door middel van suppleties.



## 6. Conclusies

---

Het kustbeheer van noordwest Ameland kan verder worden geoptimaliseerd door rekening te houden met de ontwikkelingen van de kust op verschillende tijd- en ruimteschalen. Door het kustgedrag van noordwest Ameland op deze manier te beschouwen kan gekozen worden voor een beheer dat zowel op lange als korte termijn een goede strategie vormt. Hieronder volgen de aanbevolen beheerstrategieën voor de vier beschouwde kustvakken:

### **Kustvak I** (*km raai 47-2,5*)

|                               |                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probleem:                     | Netto strandafslag langs het hele kustvak, af en toe onderbroken door korte fasen van aangroei.                                                                             |
| Oorzaak:                      | De netto afslag wordt veroorzaakt door de erosieve werking van het zeegat "het Borndiep". De aangroEIFasen worden veroorzaakt door zandaanvoer vanaf aangelande zandplaten. |
| Geadviseerde beheerstrategie: | Kustwaartse beweging van het Borndiep tegenhouden door bestaande verdediging in stand te houden, basiskustlijn handhaven door middel van suppleties.                        |

### **Kustvak II** (*km raai 2,5-5*)

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probleem:                     | Netto aangroei, maar momenteel erosie.                                                                                                                                                                                                                      |
| Oorzaak:                      | De netto aangroei wordt veroorzaakt door cyclisch (50-60 jaar) aanlandende zandplaten. De plaat wordt, sinds het aanlanden begin jaren '80, door golfwerking geërodeerd. Dit is een onderdeel van de natuurlijke ontwikkeling van de aangelande zandplaten. |
| Geadviseerde beheerstrategie: | Overwegen de basiskustlijn landwaarts te verleggen. Indien dit ongewenst is, de kustlijn handhaven door middel van suppleties.                                                                                                                              |

### **Kustvak III** (*km raai 5-8*)

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probleem:                     | Netto aangroei, maar in afgelopen jaren lokale duinerosie kustwaarts van de strandhaak.                                                                                                                                                                                 |
| Oorzaak:                      | De aangroei wordt veroorzaakt door zandaanvoer vanaf de aangelande zandplaten. De lokale erosie wordt veroorzaakt door het getijde geultje die de getijdekom achter de strandhaak met de Noordzee verbindt.                                                             |
| Geadviseerde beheerstrategie: | De aanwezigheid van de strandhaak verhoogt de veiligheid, omdat de overstromingskans kleiner wordt en ingrijpen hierin wordt daarom afgeraden. De geul slibt dicht en vormt in de toekomst geen bedreiging meer. Gezien beide punten geldt: volgen maar niet ingrijpen. |

#### Kustvak IV (km raai 8-11)

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probleem:                        | Netto erosie, maar momenteel sterke aanzanding                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Oorzaak:                         | De erosie is een gevolg van de landwaartse verplaatsing van Ameland, een proces dat zich afspeelt op een termijn van millennia. De aanzanding is het gevolg van zandaanvoer vanaf de strandhaak, op een termijn van jaren.                                                                                                                                                                   |
| Geadviseerde<br>beheerstrategie: | Gezien de waarschijnlijk nog jaren durende zandaanvoer vanaf de aangelande strandhaak: processen in de gaten houden, maar niet ingrijpen in de natuurlijke ontwikkeling. Bij een overschrijding van de basiskustlijn onderzoeken of er weer een zandhaak/plaat nadert vanuit het westelijk ervan gelegen gebied en het suppletieschema aanpassen aan de toekomstige natuurlijke zandaanvoer. |

- Beets, D.J., A.J.F. van der Spek en L. Van der Valk, 1994, Holocene ontwikkeling van de Nederlandse kust, Rijks Geologische Dienst, RGD rapport 40.016-project Kustgenese, 53 pag., 22 figuren en 2 bijlagen.
- Beets, D.J., en A.J.F. van der Spek, 2000, The Holocene evolution of the barrier and the back-barrier basins of Belgium and the Netherlands as a function of late Weichselian morphology, relative sea-level rise and sediment supply, *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences*, no. 79, pag. 3-16.
- Cazemier, R.S., D. de Boer, en A. Nicolai, 1997, Dynamisch kustbeheer: kustzone noordwest Ameland : een advies over het beheer van de kustzone tot paal 7 op Ameland, rapport Provinciaal Overlegorgaan Kustbeleid (POK) - Friesland, Projectgroep Ameland-west, 40 pag.
- Eysink, W.D. en E.J. Biegel, 1992, Impact of sea-level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function, Investigations on empirical morphological relations, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, ISOS\*2 Project, phase 2, 73 pag. en 2 bijlagen.
- IJnsen, F. en J.M. van den Boogert, 1993, Analyse ligging kustlijn Friese Waddeneilanden met extrapolaties, Rijkswaterstaat, directie Friesland, Nota ANW93.06, 33 pag., 36 bijlagen.
- Israël, C.G., 1998, Morfologische ontwikkeling Amelander Zeegat, Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-98.147x, 32 pag., 11 bijlagen.
- Israël, C.G., en A.P. Oost, 2001, Strandhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden, Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/2001.116x, 27 pag., 1 appendix en 12 bijlagen.
- Hartsuiker, G., Z.B. Wang en R.C. Steijn, 1999, Morfologische ontwikkelingen in het Zeegat van Ameland: toetsing van hypothesen, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WLIDelft Hydraulics A450/Z2652, 29 pag., 12 tab., 118 fig.
- Hillen, R., J.H.M. de Ruig, P. Roelse, en F.P. Hallie, 1991, De basiskustlijn: een technisch/morfologische uitwerking, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWWWS-91.006 (RKB 91-19), 39 pag.
- Klomp, W.H.G., en J.A.H. Kabout, 1997, Cyclische ontwikkeling van het Zeegat van Ameland, rapport DHV M0664.01.001/IS-NW973743, 49 pag. en 6 bijlagen.
- Louters, T. en F. Gerritsen, 1994, Het mysterie van de wadden: Hoe een getijde systeem inspeelt op de zeespiegelstijging, Rijkswaterstaat RIKZ, bRapport RIKZ-94.040, 70 pag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989, Kustverdediging na 1990, discussienota, 83 pag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998, Waterkader : Vierde Nota waterhuishouding regeringsbeslissing, 163 pag.

- Oost, A.P., 1995, Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet; a study of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins, Proefschrift Universiteit Utrecht, Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht, no 126, 455 pag. en appendix.
- Oost, A.P., S. van Heteren, R. van Dam, C. de Jager, B. van Marion, J. Cleveringa, B. van Dijck, en J.E.A. Storms, 1999, Scales of time and space in the coastal development of Texel, excursion guide, Numerical modelling of coastal morphology, NIOZ, Texel The Netherlands, april 1999, 39 pag.
- Oost, A.P., 2000, Kusterosie-problematiek NW Ameland ten gevolge van de geul landwaarts van de strandhaak: bijgewerkt voor de actuele situatie 14 maart 2000, Rijkswaterstaat RIKZ, Werkdocument RIKZ/AB/2000.603X, 15 pag.
- Ruig, J. de & Noordstra, P., 1996, Erosie op Ameland-Bornrif en Terschelling-Noordergronden: inzicht in de ernst van de situatie + oplossingsrichtingen, Rijkswaterstaat RIKZ, Werkdocument RIKZ/AB-96.101X, 40 pag.
- Sha, L.P., 1990, Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands, the Netherlands, Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, Geologica Ultrajectina Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht, no 64, 160 pag.
- Snijders, G.H., en T.J. van Heuvel, 2000, Kustlijnkaarten 2000, Rijkswaterstaat RIKZ, Rapport RIKZ-2000.002, 56 pag. en 2 appendixes.
- Snijders, G.H., en P. van Vessem, 2001, Kustlijnkaarten 2001, Rijkswaterstaat RIKZ, Rapport RIKZ-2001.014, 56 pag. en 2 appendixes.
- Spek, A.J.F. van der, 1994, Large-scale evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands, Proefschrift Universiteit Utrecht, 191 pag.
- Spek, A.J.F. van der, 1999, De ontwikkeling van het Amelanders Zeegat vanuit geologisch perspectief, rapport NITG-TNO 99-090-B, 13 pag. en 7 figuren.
- Steyaart, F., 1997, Kustontwikkelingen Ameland-West; Lineaire verplaatsing versus cyclische ontwikkeling, Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument/AB-97.612x, 8 pag.
- Walhout, T., R. Kalf, L. Walburg, G. Snijders, P. van Vessem en P. Roelse, 2000, Evaluatie zandsuppleties na 1990, Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/AB/2000.824x, 80 pag., 6 bijlagen en appendix.
- Waterloopkundig laboratorium, 1996, Kust\*2000 definitiestudie: Bornrif (no 6), Waterloopkundig laboratorium I WL, H2482.10, 34 pag., 2 fig., 7

