

A satellite image of a coastal region, likely the Dutch delta, showing a complex network of rivers, canals, and islands. The land is green, indicating vegetation, and the water is dark blue. The text is overlaid on the upper part of the image.

De morfologie van eilanden in dynamische systemen

‘Alles op een rij’



An aerial photograph of a coastal landscape, likely in the Netherlands, showing a river with several islands and a large body of water in the foreground. The text is overlaid on the image.

De morfologie van eilanden in dynamische systemen

‘Alles op een rij’

Cindy Houben
Gretha Klein Ikkink
februari 2012

Begeleiding:
Johan Vlug
Van Hall Larenstein Velp



Voorwoord

Dit onderzoek is gedaan in opdracht van de opleiding landschapsarchitectuur, van Hall Larenstein te Velp. Na het maken van een masterplan voor een gekozen regio is een onderwerp voor onderzoek gekozen dat input geeft voor de vervolgopdracht; een deeltuitwerking van het gebied.

De aandacht voor klimaatverandering en de problemen die daarmee gepaard gaan is sterk toegenomen de laatste jaren. Er wordt veel gepubliceerd over de mogelijke scenario's en oplossingen. In onze masterplannen voor de regio Eemsdelta en Dollard stellen wij voor eilanden of een dam aan te leggen in de Eems/Dollard om de veiligheid en de ecologische waarden te borgen bij een verder zeespiegelstijging.

Voor de landschapsarchitect zijn weinig aanknopingspunten beschreven die gebruikt kunnen worden om de morfologie van een eiland of dam te bepalen. Met dit onderzoek zijn wij op zoek gegaan naar principes die hiervoor mogelijkheden bieden.

Wij bedanken onze begeleiders en medestudenten die ons waardevolle suggesties hebben gedaan voor de uitvoering en invulling van het onderzoek. Tevens bedanken we Jasper Fiselier van DHV die de tijd nam om ons "Building with Nature" en het principe van de Zandmotor uit te leggen, Ed Hendriks (oud medewerker van Rijkswaterstaat) die ons telefonisch informeerde over het ontwerpproces van het natuureiland Tiengemeten en Roel Posthoorn van Natuurmonumenten die ons schriftelijk informeerde over de ontwikkeling van Tiengemeten.

Friesland, februari 2012

Cindy Houben
Gretha Klein Ikkink



Inhoudsopgave

Samenvatting		9. De Volkerakwerken	74
1. Inleiding	10	tijdlijn Volkerakwerken	80
2. Geomorfologische processen	12	10. Ameland	82
2.1 geomorfologische processen	13	tijdlijn Ameland	88
2.1.1 hydrodynamische processen	13	11. Borkum	90
2.1.2 aerodynamische processen	19	tijdlijn Borkum	94
3. Systemen	20	Alles op een rij	96
3.1 systemen	21	12. De context	98
3.2 getijden-dominant estuarium	23	13. Ingrepen	100
3.3 golf-dominant estuarium		14. Conclusies en Aanbevelingen	103
3.4 kust	35	15. Handvatten voor ontwerpers	108
4.Oever- en kustverdediging	38	Bronnen	111
4.1 dijken	40	Bijlage Zandsuppleties in Nederland	113
4.2 duinen	40		
4.3 aanslibbing	43		
4.4 geulwandverdediging	45		
5. Innovatieve oever-en kustverdediging	46		
De eilanden	50		
6. Maasvlakte 2	52		
tijdlijn Maasvlakte 2	58		
7. De Zandmotor	60		
tijdlijn Zandmotor	64		
8. Tiengemeten	66		
tijdlijn Tiengemeten	72		

Samenvatting

Tegenwoordig wordt steeds meer op ‘samenwerken met de natuur’ ingestoken bij oever- en kustverdediging. In hoeverre deze methode geschikt is bij het aanleggen van nieuwe eilanden is de aanleiding om dit onderzoek te doen.

De vraag hierbij is hoe eilanden worden gevormd in dynamische systemen en welke rol de mens hierin speelt. Door middel van literatuuronderzoek, veldwerk en interviews geven we een antwoord op deze vraag.

Aan de vorming van eilanden liggen geomorfologische processen ten grondslag die verschillen per watersysteem. In dit onderzoek is gekeken naar de Waddenzee (een getijdensysteem), de Noordzeekust (een kustsysteem) en de Ooster- en Westerschelde en de Eems- Dollard (een estuarien systeem).

De morfologie van een eiland wordt bepaald door erosie en depositie van materiaal.

De erosie en depositie worden beïnvloed door hydrodynamische, aerodynamische, biologische, biofysische en biochemische processen.

Het Waddengebied is een golf-dominant estuarium. De eilanden (barrière eilanden) zijn lijnvormig en liggen evenwijdig aan de kust. Daartussen liggen geulen waar eb en vloed van invloed is.

De getijdenamplitude wordt beïnvloed door de afstand tot het amfidromisch punt; hoe verder van dit punt af, hoe groter het verschil tussen eb en vloed. Kwelders ontstaan aan de vaste-landzijde, aan de open-zeezijde ontstaan duinen en strand.

De kust wordt bepaald door de aanvoer van sediment wat voornamelijk uit de rivieren naar de Noordzee langs de kust stroomt. Op dit moment zijn er geen natuurlijke eilanden voor de kust, maar zonder menselijk ingrijpen zouden de duinen eilanden gevormd hebben.

Een estuarium als de Eems-Dollard is een getij-dominant systeem. In basis is dit een systeem met een positieve feedback. Door het verschil in stroming tijdens eb en vloed, de vloedstroom is sterker, vindt sedimentatie plaats in het estuarium. Ingrijpen in die stromen is van grote invloed op de morfologie. Landschappelijk gezien

heeft een getij-dominant systeem aan de zeezijde een open karakter met grote platen. Meer landinwaarts ontstaat door opslibbing meer opgaande beplanting langs de oevers door de ontwikkeling van kwelders.

In ieder systeem zijn processen beschreven van korte tijd kleine schaal tot lange tijd grote schaal.

Getij-dominant estuarium: Geul op kwelder, kwelder, zandplaat, eiland.

Golf-dominant estuarium: geul op zandplaat, zandplaat, buitendelta, eilandkusten en getijdebekken.

Kust: embryonale duin, organogene duinen, jonge duinen, oude duinen en strandwal.

Van invloed op de geomorfologische processen zijn de ingrepen die door de mens gedaan worden, ter bescherming van het land. Ingrepen aan de oever of kust zijn van invloed, grote invloed hebben ook ingrepen in de stroming van de rivieren (bijvoorbeeld afsluiten van zeearmen). In de afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar de toepassing van kust- en oeververdediging waarbij samen-gewerkt wordt met de natuur (Building with Nature). Veel van de ideeën die hier uit ontstaan zijn, zijn nog in een experimentele fase. Een bekend voorbeeld hiervan is de Zandmotor, aangelegd voor de kust met als doel de duinen en het strand op een natuurlijke wijze te laten aangroeien.

We hebben in ieder dynamisch watersysteem 2 (schier) eilanden geanalyseerd. Daarna hebben we de eilanden vergeleken wat betreft de context en de ingrepen die gedaan zijn. Daaruit hebben we conclusies getrokken per systeem, dit is in 2 schema's weergegeven.

Als laatste hebben we conclusies en aanbevelingen beschreven die aanleiding vormen om ontwerphandvatten te ontwikkelen.



De conclusies en aanbevelingen zijn:

- Een eiland is onderdeel van een systeem in zijn directe omgeving, maar ook van een systeem op grotere schaal. Beiden zijn van grote invloed. Bij het ontwerpen van een eiland moet hier rekening worden gehouden.
- Processen van lange termijn gaan over grotere afstanden. Building with Nature vraagt meer tijd omdat dat gebruik maakt van die processen.
- Het systeem waar het eiland in ligt is van grotere invloed dan de tijdsfactor.
- De huidige gekozen kust- en oeverbescherming is bepaald door de functie; bij een economisch belang is dit een vastliggende dijk, bij een natuurfunctie is dit een min of meer natuurlijke zeewering die meegroeit met het systeem.
- De ontwikkeling van zachte, natuurlijke vormen van kust- en oeverbescherming is in volle gang, maar veelal nog experimenteel. In verband met de te verwachten klimaatverandering en de gevolgen hiervan is het van groot belang hiermee door te gaan.
- Het is mogelijk om een modeleiland te ontwikkelen per systeem. Dit model kan als basis dienen voor het vormgeven van een nieuw eiland.
- Het is mogelijk om per systeem, met gebruik van de tijdschaal, ontwerphandvatten te formuleren.

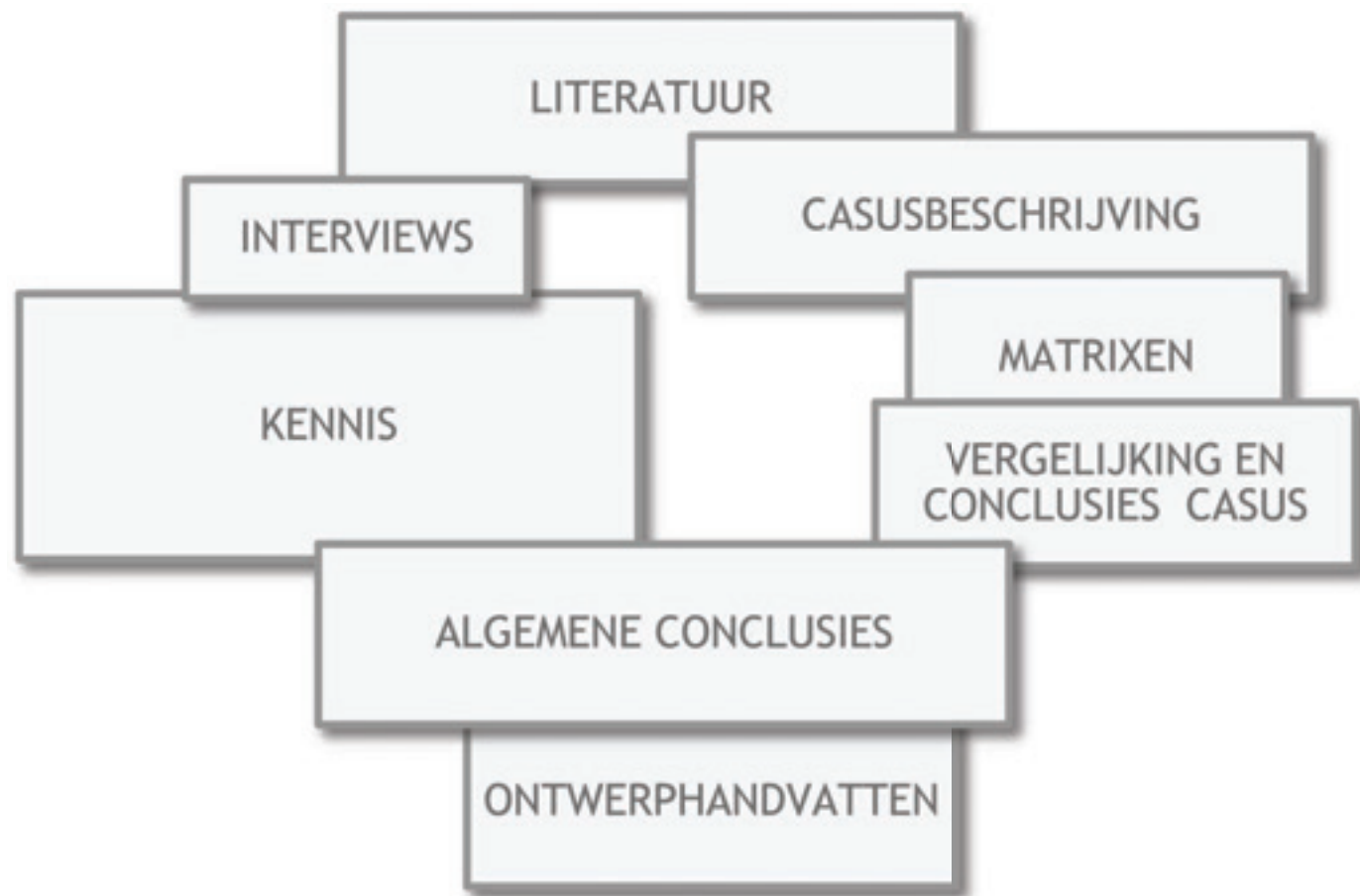
de zee wacht geduldig haar moment af

*de mens neemt altijd meer dan nodig
de zevenmijlslaarzen der decadentie
zit hem in het aard van het beestje de onnozelaar
die zijn kieuwen niet meer kan herinneren*

*en de zee wacht geduldig af
als de grillige god van vergelding
als een struikrover achter de duinen*

*tot het moment dat het genoeg is
toeslaat en brult nu is het weer
van mij en misschien roept ze ook
banzai maar dat is dan meer voor de gein*

Daniel Dee



1. Inleiding

Nederland is de delta van Europa. De Rijn en Maas brengen hun water en sediment vanuit Zwitserland, Duitsland, Frankrijk en België via Nederland naar de Noordzee. Nederland is hierdoor naast een heel vruchtbaar gebied ook een kwetsbaar gebied. Nederlanders hebben als geen ander land de kennis ontwikkeld om veilig in een deltagebied te wonen. We exporteren deze kennis over de hele wereld. We hebben ons land altijd met dijken, deltawerken en inpolderingen uitgebreid en beschermd tegen de zee. Nu staan we voor een nieuwe periode waarbij we moeten anticiperen op de verwachte zeespiegelstijging. Nieuwe problemen, zoals verzilting, moeten we het hoofd bieden. Hier liggen voor landschapsarchitecten grote uitdagingen.

De laatste jaren zien we een ommekeer in het denken van het steeds maar verhogen van de zeedijken, naar een kustbescherming met behulp van ‘natuurlijke processen’. “Building with Nature” is het nieuwe motto. Om te kunnen bouwen met de natuur is een goed begrip nodig van de systemen die er zijn en welke morfologische vormen deze processen geven. Tevens is van belang welke invloed eventuele technische ingrepen op de morfologie hebben.

In dit onderzoek beperken we ons, vanwege de korte periode van ons onderzoek, tot de hoogdynamische systemen met (voormalige) getijdenwerking. We onderzoeken d.m.v. literatuuronderzoek, interviews en veldwerk, hoe eilanden in deze systemen ontstaan en welke vormen ze aannemen al dan niet met menselijke ingrepen. Het doel is handvatten aan te reiken aan landschapsarchitecten die in de toekomst te maken krijgen met ontwerpen in deze dynamische systemen.

Leeswijzer

Eerst beschrijven we de belangrijkste geomorfologische processen die plaats vinden in hoogdynamische gebieden. In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de systemen die we onderzoeken. Daarnaast is het van belang om te bekijken welke ingrepen de mens maakt of heeft gemaakt die van invloed zijn geweest op de morfologie. De meest gebruikte ingrepen worden in hoofdstuk 4 besproken. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op innovatieve ingrepen die de laatste jaren werden ontwikkeld en soms al toegepast, die passen binnen het motto “Building with Nature”.

Aan de hand van een zestal casus (twee eilanden per systeem) krijgen we inzicht in de processen die zich hier afspelen en hoe die zijn weerslag hebben op de vorm van het eiland. De keuze van de eilanden is gebaseerd op de grootte, het systeem waarin ze zich bevinden en relevantie. Door middel van het vergelijken van de casus trekken we conclusies die leiden tot ontwerphandvatten voor landschapsarchitecten, die in de toekomst te maken krijgen met landschappelijke ingrepen in dynamische systemen.



2. Geomorfologische processen

Voor een goed begrip van de morfologie van eilanden is het belangrijk om de processen te begrijpen die hieraan ten grondslag liggen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillende natuurlijke processen die een rol spelen. Het gaat hierbij om de processen in dynamische systemen.

Er kunnen verschillende dynamische systemen onderscheiden worden:

- getijden systeem
- kust
- estuariën systeem
- delta
- voormalige zeearmen
- rivieren

Dit onderzoek beperkt zich tot (voormalig) dynamische systemen die beïnvloed worden door getijdenwerking:
getijden: Waddenzee
kust: Noordzeekust
estuariën: Ooster- en Westerschelde en Eems-Dollard

2.1 Geomorfologische processen

Verandering in morfologie ofwel vorm van een eiland ontstaat door erosie en depositie van materiaal.

De volgende factoren zijn daarop van invloed:

A) Processen:

Hydrodynamische processen: processen die ontstaan door dynamiek van water zoals golven, stroming en getijdenbeweging.

Aerodynamische processen: processen die komen door de wind zoals duinvorming (afbeelding 1).

Verwering: Het uiteenvallen van materiaal door natuurlijke krachten.

Biologische, biofysische en biochemische processen zoals bij kwelders.

De laatste zullen niet verder worden behandeld.

B) Sedimentatie transport: erosie en depositie.

C) Morfologie van de kust: delta, estuariën, kust etc. Er is een sterke link tussen vorm en proces, maar de voorspelbaarheid is moeilijk omdat het niet altijd een doorlopend proces is met een duidelijk begin en eindpunt. Een kust kan bijvoorbeeld opbouwen, maar

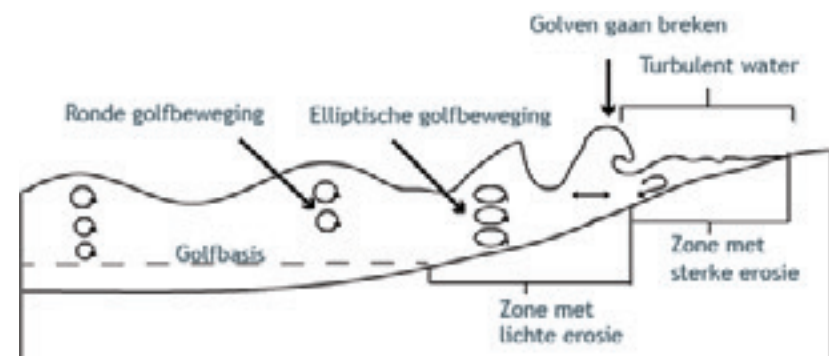
bij een bepaalde hoogte stagneert de opbouw omdat het proces dan niet meer kan doorgaan. Ook kan een storm een kust eroderen en daarbij een verandering in de morfologie teweegbrengen door het creëren van bijvoorbeeld een rif. Hierdoor kan het proces voorgoed veranderen.

2.1.1 Hydrodynamische processen.

Golven worden veroorzaakt door de wind. Bij meer wind krijg je grotere golven. Er zijn regelmatige golven: zij zijn repeterend over ruimte en tijd. Als de golflengte of periode korter wordt, wordt de golf steiler.

De golven die natuurlijk zijn, zijn de onregelmatige golven. Bij golven kunnen we diverse zones onderscheiden die bepalend zijn voor de vorm van de golf. De diep water zone, de gemiddelde zone en de ondiep water zone, de zone vlak bij de kust.

Des te ondieper de kust des te trager en dichter bij elkaar liggen de golven. De baan van de waterdeeltjes verandert van een circulair patroon in een heen en weer gaande beweging. Als de snelheid groot genoeg is zal het bodemmateriaal in beweging komen. Bij de branding, waar de golven breken wordt de energie uit de golf omgezet in transport van sediment en in andere stromingen (figuur 1).



Figuur 1 Principe van golfbeweging.



Afb. 2 Branding deponeert zand op het strand.



Afb. 3 Bij eb kan het zand opdrogen, waarna de wind er vat op kan krijgen.



Afb. 4 Een zogenaamde “surf”golf.



Afb. 5 Harde wind en springtij bij Holwerd/boot naar Ameland.

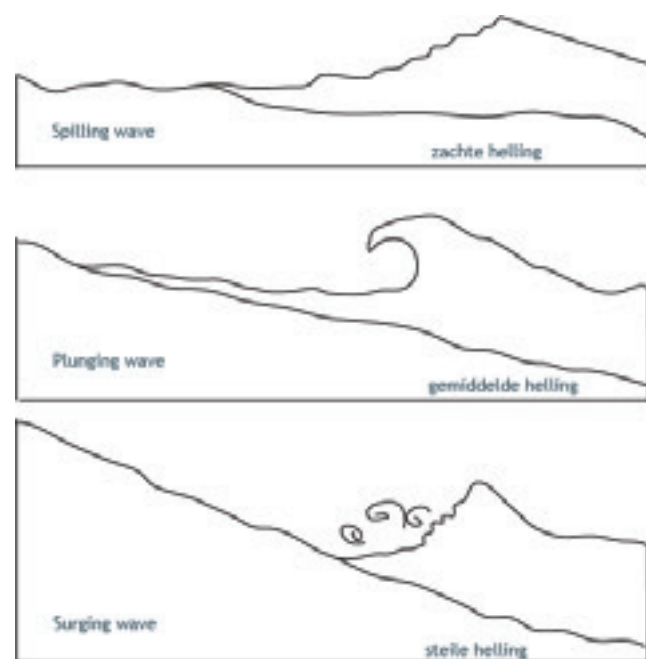


In de branding is de helling van de kust bepalend voor de soort breking van de golf. Er zijn drie soorten golfbrekers (figuur 2):

Spilling breker: bij een geleidelijk oplopende kust.

Plunging breker: bij een steilere kust ; een surfersgolf.

Surging breker: bij een steile kust; weinig tot geen branding.

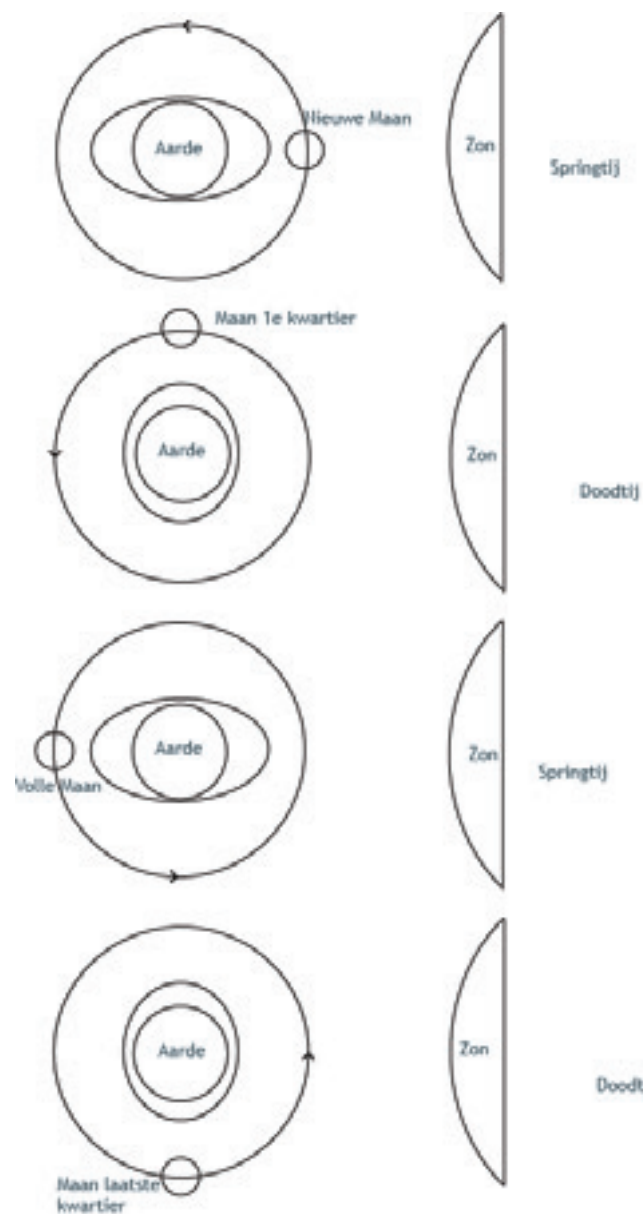


Figuur 2 Verschillende golfsoorten

Getij

Het zeewater stijgt en daalt twee maal in een periode van 24 uur, 50 minuten en 14 seconden. De getijden ontstaan onder invloed van de zwaartekracht in het aarde-maan systeem en in mindere mate het aarde-zon systeem. Als de aarde en zon en maan in een rechte lijn staan, bij volle en nieuwe maan, is het springtij. Dit is het getij met de hoogste waterstanden. Bij een tegenwerking tussen de zon en de maan, in het eerste en derde kwartier van de maan dan is het doodtij, met de laagste waterstanden. Bijkomende

invloeden zijn de draaiing van de aarde, de scheve stand van de aardas en de slingering van de aarde en de maan om hun gezamenlijk zwaartepunt.



Figuur 3 De invloed van de zon en maan op de getijden.

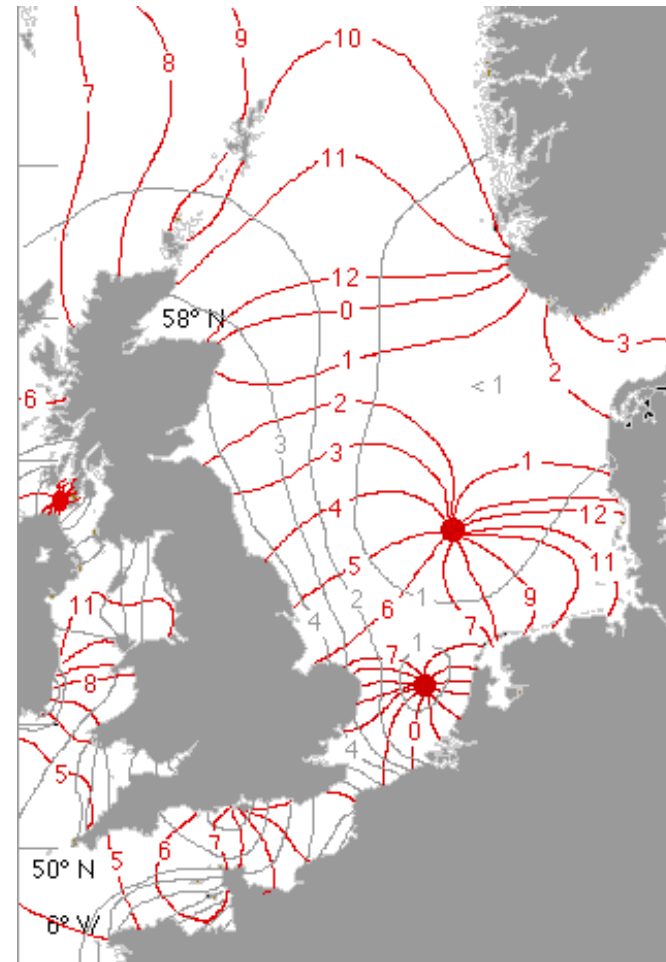
Het hoogteverschil in waterstanden wordt naast dit systeem ook nog beïnvloed door andere omstandigheden. Ten eerste liggen er in de zeeën bepaalde punten van waaruit het getij draait: het zogenaamde amfidromisch punt. Op het punt zelf treedt geen getijdenverschil op. Het getij draait rond dit punt als een golf. Op het noordelijke halfrond tegen de klok in. Naarmate het water verder van het punt komt, neemt het getijdenverschil toe. Ook de vorm van de kust heeft invloed. Naarmate de kust ondieper wordt en smaller wordt zoals bijvoorbeeld een estuarium neemt het getijdenverschil ook toe (figuur 4). Daarnaast geeft de wind fluctuaties in de waterstanden. Door storm kan het water veel hoger staan dan normaal. Dit is afhankelijk van diverse factoren:

Bij een lagere luchtdruk krijg je een hogere waterstand. Bij 1 millibar luchtdrukdaling is er een stijging van het waterpeil met 1 cm.

Bij windrichting naar de kust toe krijgen we een hogere waterstand.

De vorm van de kust (bijv. trechter) kan hogere of lagere waterstanden geven (figuur 5).

In de Noordzee liggen drie amfidromische punten. Den Helder ligt op de grens van twee punten. Hier is het getijdenverschil het kleinst. Nederland bevindt zich in een macrogetijdengebied. Dit komt voornamelijk door de trechtervorm van de Noordzee tussen Engeland en Frankrijk.



Figuur 4 De amfidromische punten in de Noordzee.



Figuur 5 Windrichting en stroming stuwen water op in trechter van het Kanaal



Stroming

Hoe groter de stroming, des te groter is de eroderende werking van de stroming. Stromingen ontstaan door verschillende oorzaken:

1) Circulatie van de oceanen (figuur 6).

Oppervlakte stromingen veroorzaakt door windstromen die veelal hetzelfde patroon volgen leiden tot oceanenstromen op grote schaal. Er zijn enkele hoofdstromen gescheiden door de evenaar en afgebakend door de continentale kusten.

Diepe stromingen ontstaan door verschillen in dichtheid van het zeewater. Deze verschillen ontstaan door verschillen in zoutgehalte en temperatuur. Er ontstaat een thermohaline circulatie. Als water dicht is, is het zwaarder en gaat het zinken. Dit is het begin van een stroming.

2) Getijdenbewegingen (figuur 7).

3) Golven door wind.

Golven kunnen verschillende stromingen veroorzaken:

Kustlijn stroming: stroming langs de kust

Bed-return stroming: de bovenstroom gaat naar de kust en de onderstroom naar de zee. Dit is afhankelijk van de wind: landwind en zeewind vice versa..

Rip stroom: De stroming terug naar zee gaat via kanalen of geulen cq. muien. Hier kunnen gevaarlijke situaties ontstaan voor zwemmers.

De Noordzee wordt gevoed met water uit de Atlantische Oceaan en de rivieren. Uitwisseling van water met de Oostzee is er nauwelijks. Het oceaanoewater komt uit twee verschillende richtingen de Noordzee binnen. Vanuit het zuiden stroomt het via Het Kanaal de Noordzee in en vanuit het noorden komt Atlantisch oceaanoewater de Noordzee binnen langs de Schotse kust. Het water stroomt de zee weer uit langs de Noorse kust. Deze stromingen worden voornamelijk bepaald door het getij. De stromingen in de Waddenzee zijn op hun beurt weer een gevolg van die in de Noordzee.



Figuur 6 Waterstromen in de Noordzee.



Figuur 7 Eb- en vloedstroom langs de Nederlandse kust.



Afb.6 Verplaatsing van zand door wind op Amelandse strand.



Afb. 7 Zand blijft liggen achter een obstakel, begin van duinvorming.



*Afb.8 Afslag van jonge duinen door storm op Ameland.
(december 2011)*



Afb.9 Oude duinen op Ameland.



2.1.2 Aerodynamische processen

Naast het veroorzaken van golven en wisselende waterstanden door de wind is de wind ook belangrijk in erosie en sedimentatieprocessen.

In Nederland gaat het met name om de vorming van stranden en duinen. Hiervoor is een voldoende voorraad zand nodig en een energiek windklimaat.

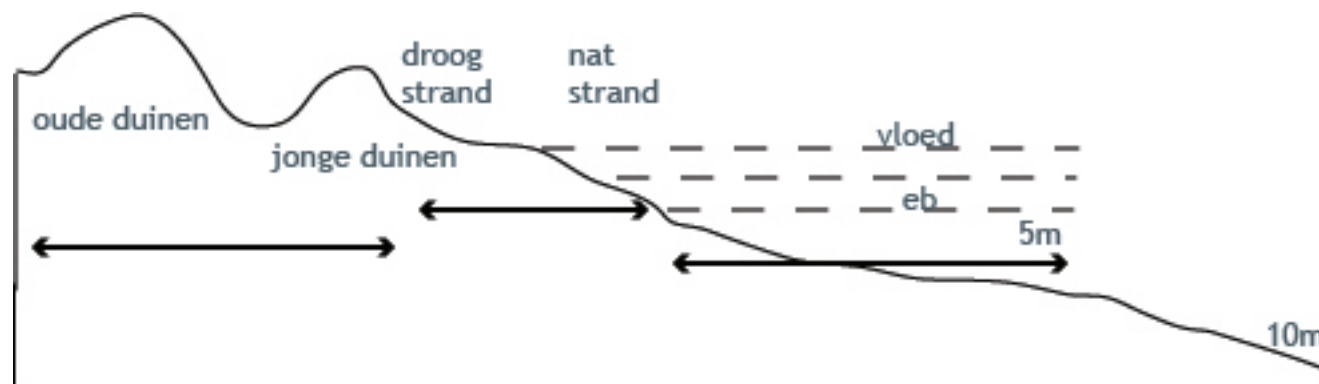
Er zijn twee hoofdgroepen van duinen:

Duinen zonder plantengroei: fysische duinvormen.

Duinen met plantengroei: organogene duinvormen.

Als zand door de golven op het strand is geworpen (boven de springtijlijn) kan het na droging door de wind worden meegenomen, landinwaarts. Obstakels als drijfhout of zeewier houden het zand vast (afb.7).

Er ontstaat een zogenaamde schaduwduin. Deze hebben veelal de vorm van een parabool of sikkel. Het duintje is niet hoger dan het obstakel (fysische). Hier kan pioniersbeplanting komen die nog meer sediment kan vasthouden. Zo'n duin kan 1-2 meter hoog worden. Uiteindelijk (5-10jaar) kunnen hieruit voorduinen ontstaan van enkele meters hoog (organogeen).



Figuur 8 Principeddoorsnede van Nederlandse duinenkust.

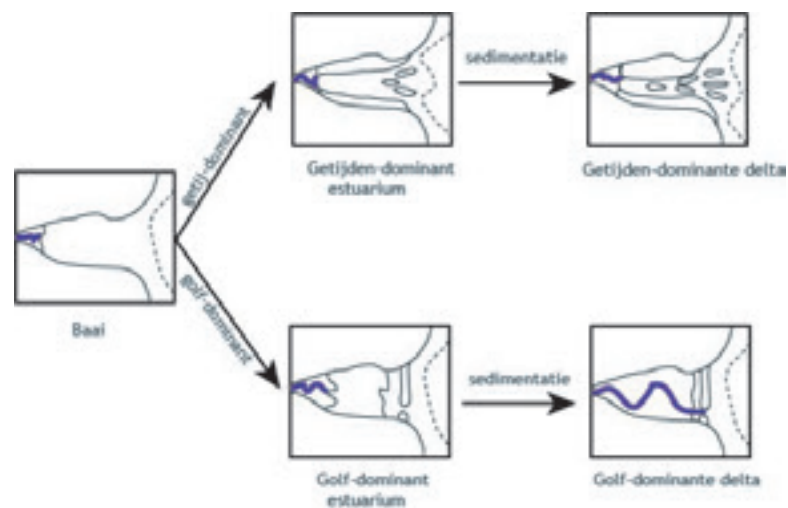


3. Systemen

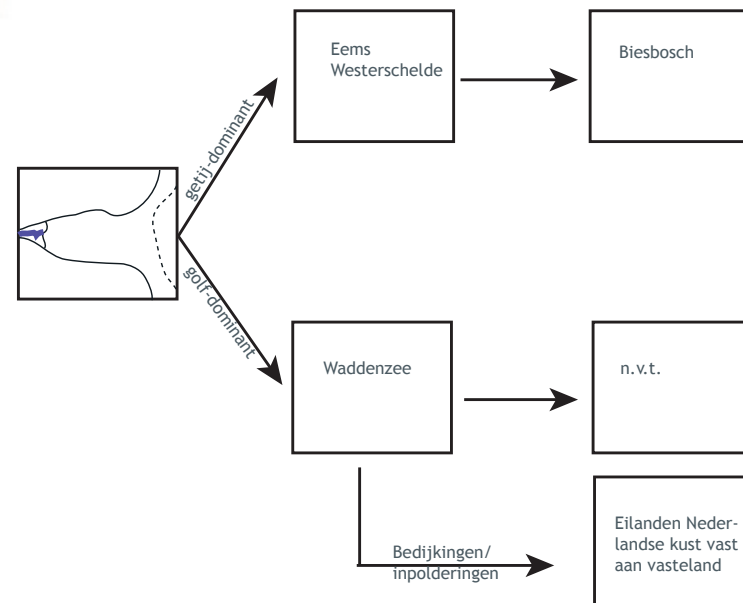
In dit onderzoek bestuderen we enkele eilanden in dynamische systemen in Nederland en Duitsland. We beperken ons tot een drietal systemen:

- Wadden
- Kust
- Estuarium

In figuur 9 en 10 is een overzicht gegeven hoe de diverse systemen zich tot elkaar verhouden.



Figuur 9: de ontwikkeling van een estuarium en delta.



Figuur 10: de Nederlandse situatie.

Afb. 10 Laag water in Waddenzee.



Afb. 11 Exe estuarium in Engeland.



Afb. 12 De Nijldelta: Vruchtbaar gebied in de woestijn.



Afb. 13 De Gironde in Frankrijk: een schoolvoorbeeld van een estuarium.



Afb. 14 De vulling van een estuarium geeft een beeld van slikken en prielen.



3.2 Getijden-dominant estuarium.

Op plaatsen waar rivieren uitmonden in de zee kunnen delta's of estuaria ontstaan.

Een 'delta' is een uitmonding in de zee in vele vertakkingen. Die vertakkingen hebben samen meestal de vorm van een driehoek (delta), vandaar de naam. Bij grotere rivieren kunnen de delta's groot zijn.

Bij de Nijl (het beste voorbeeld, afb. 12) is de delta bijna twee derde van de oppervlakte van Nederland. De grond in de delta is zeer vruchtbaar en overstroomt regelmatig.

Een estuarium is een grote trechtervormige monding. Aan de monding zelf kan de rivier tot meer dan 10 km breed zijn. De Gironde is een goed voorbeeld (afb. 13).

In de monding is meestal sprake van getijde en het water is er brak.

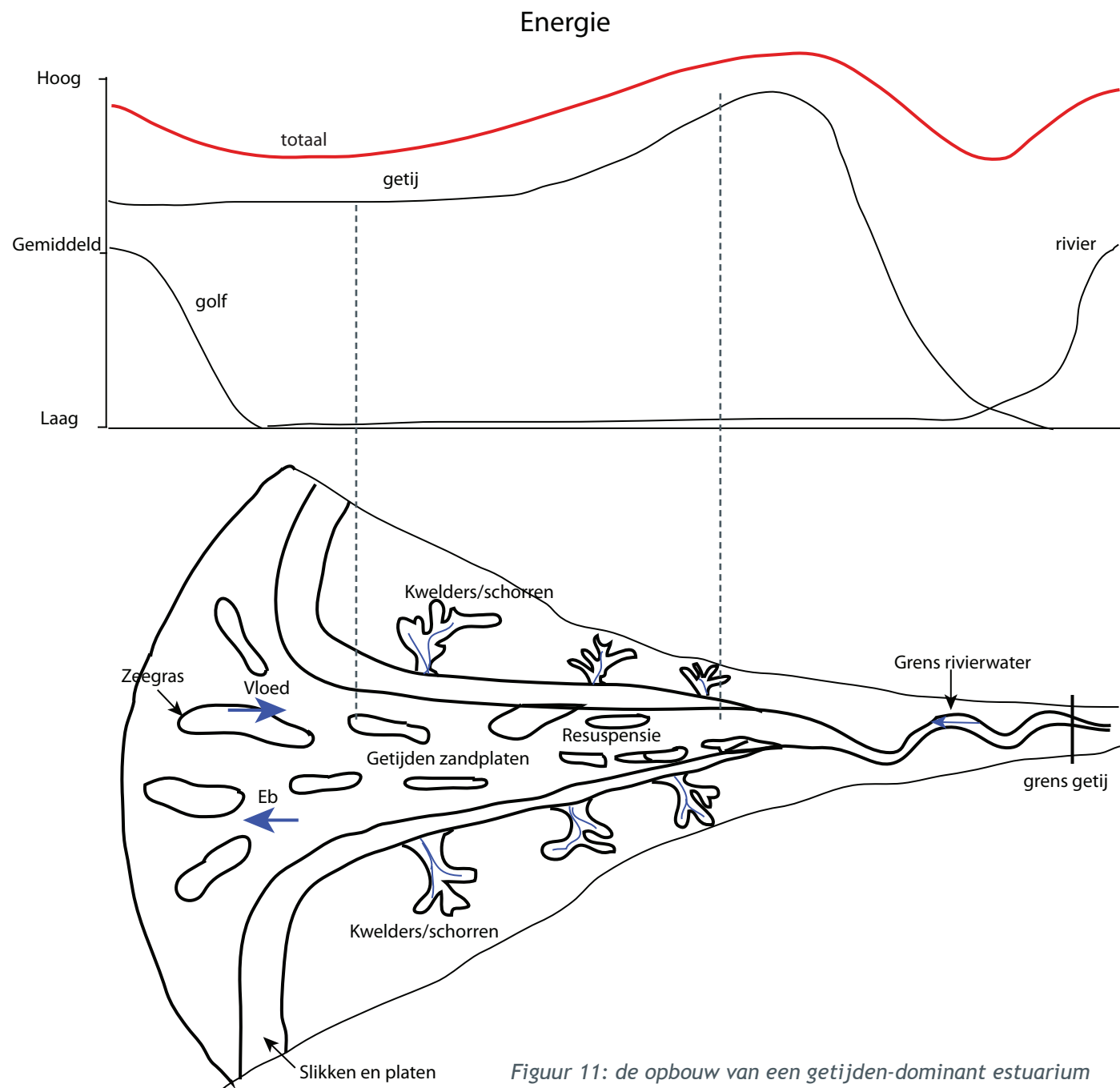
De riviermondingen in Nederland zijn een beetje beiden: het is een complex systeem van een aantal grote stromen die zich vertakken in de benedenloop, maar soms ook een groot estuarium hebben; Bijna de helft van Nederland is een samengestelde delta. De mondingen van bijv. De Schelde hebben in dat complex duidelijk een estuarium (de volledige Nederlandse Westerschelde).

In basis is een estuarium een systeem met een positieve feedback. Dit komt door een ongelijke stroom tussen het inkomende vloed en het uitgaande stroom van eb. De vloed is sterker dan eb en dit geeft een positieve sedimentatie. Het estuarium wordt langzaam gevuld. In een zeearm ontstaan hoofd- en nevengeulen met daartussen bij laagwater droogvallende platen door het afgezette sediment. Kwelders ontstaan langs het vasteland. Er komt op een bepaald punt een ommekeer in de feedback door het dichtgroeien van het estuarium. Het verschil tussen eb en vloed wordt

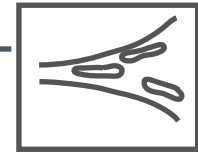
minder. Zo ontstaat er uiteindelijk een "steady stay". Deze verschillen tussen eb en vloed zijn zeer belangrijk voor het sedimentatieproces. Zelfs een klein verschil kan morfologisch al grote gevolgen hebben.

Als overgangsgebied is het estuarium rijk aan gradiënten in processen en milieufactoren, en daarmee samenhangend gradiënten in en een grote variatie aan biotopen en levensgemeenschappen. Kenmerkende gradiënten zijn:

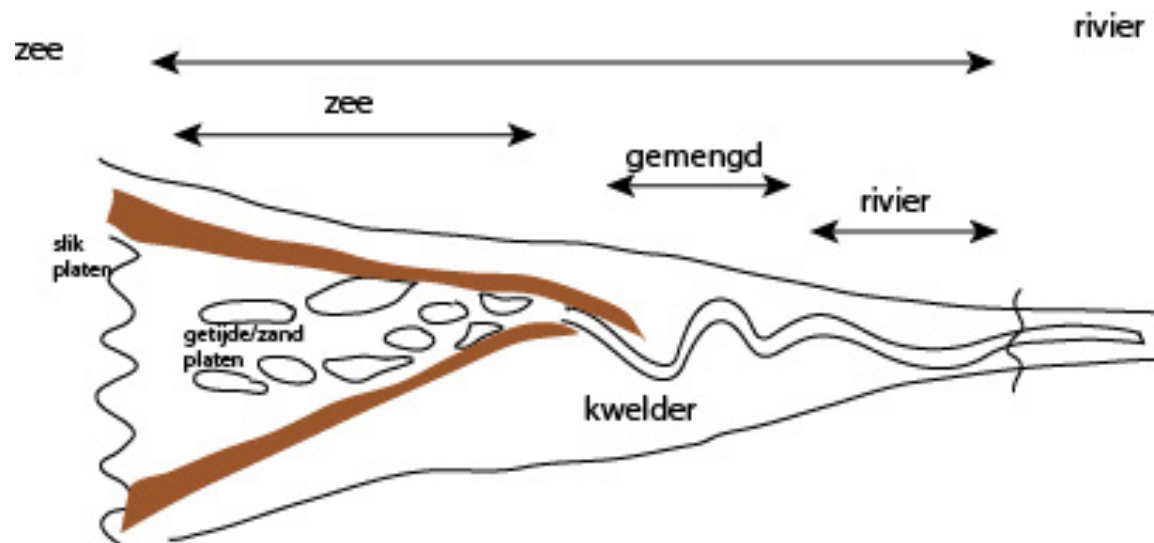
- de overgang in hydrologische en morfologische dynamiek, van rivierdynamiek naar zeedynamiek (figuur 12);
- de overgang van het zoete rivierwater naar het zoute zeewater;
- de overgang van riviersediment naar zeesediment;
- de overgang van zoetwaterorganismen naar brak- en vervolgens zoutwaterorganismen;
- een landschappelijke gradiënt. Aan zeezijde heeft het gebied een open karakter, met brede stroomgeulen, omzoomd door strand en duinen aan de kust en door brede slikken en kwelders/schorren meer landinwaarts. Naar mate we meer naar de zee komen ontstaan grotere platen die soms zandig zijn en zelfs permanent droog kunnen staan. De vorm van de platen wordt bepaald door het patroon van geulen. Stroomopwaarts verschijnt in toenemende mate opgaande begroeiing langs de oevers.



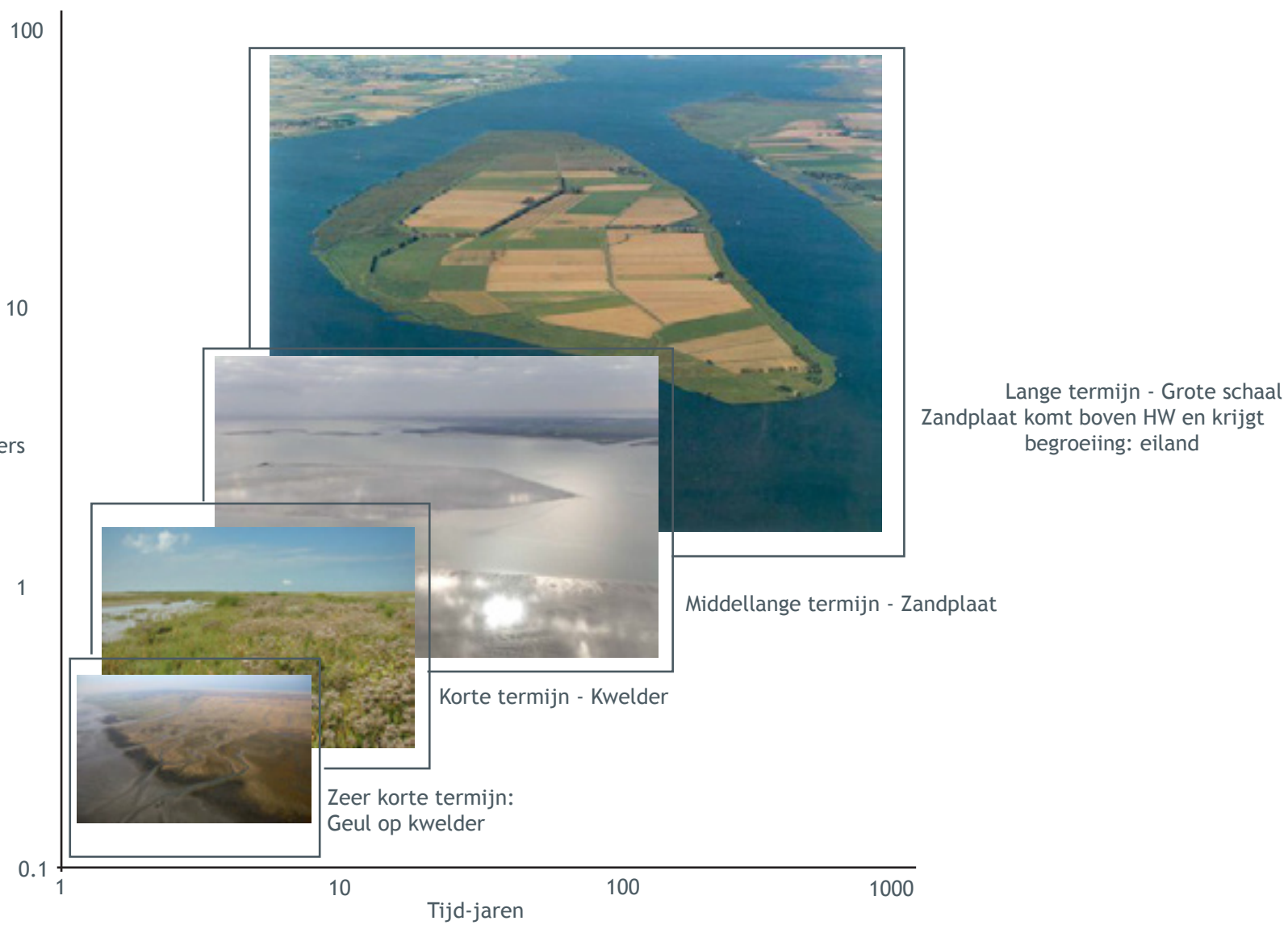
Figuur 11: de opbouw van een getijden-dominant estuarium



Bij een getijden-dominant estuarium is er sprake van een hoge energie bij de ingang van het estuarium. Binnen in het estuarium wordt de energie gereduceerd door grote getijde platen en zandbanken. De energie in het stelsel neemt weer toe bij de monding van de rivier door de vernauwing die daar ligt (figuur 11). De getijde stromen brengen grof sediment in het estuarium en bouwen zandplaten die liggen tot de zone waar er maximale energie in het systeem zit. Waar de energie laag is, bij de vernauwing van de rivier, wordt een mengsel van mariene en fluviale sediment afgezet. Hier ontstaan kwelders. De turbulentie is van nature hoog in dit systeem. Platen kunnen zo hoog opslibben dat gedeelten permanent droog komen te staan. Hier kan dan begroeiing ontstaan: het begin van een eiland. De vorm van het eiland is langgerekt met de stroming mee.



Figuur 12: de invloed van zee en rivier in een getijden-dominant estuarium



Figuur 13 Ontwikkeling gezet in tijd en omvang



In een estuarien systeem vinden transformaties plaats, die niet allemaal volgens eenzelfde tijdsschema verlopen (figuur 13).

Op grotere schaal, in een tijdsschaal van eeuwen, worden de basisvormen van een systeem gevormd. In dit systeem is dat een zandplaat die zo hoog opslibt dat hij permanent boven water blijft. Zo kan zich vegetatie op de plaat ontwikkelen. Binnen deze hoofdvorm ontstaan kleinere onderdelen die decennia kunnen bestaan. Vanuit deze basis kunnen slikken/kwelders aangroeien. Op deze slikken ontstaan prielen die steeds van positie veranderen.

De processen van langere schaal zijn bepalend voor mogelijke processen op kleinere schaal. Zonder de vorming van een basiseiland kunnen er geen slikken ontstaan en zonder slikken geen prielen. De positie van het basiseiland is bepalend hoe en waar de slikken aangroeien.



Afb. 15 Barriere-eiland Trischen, Duitsland.



Afb. 16 Wantij: te laag om te varen.

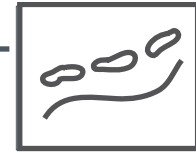


Afb. 17 Wantij: hoog genoeg om te wandelen van vasteland naar eiland.



Afb. 18 Laag-water in de lagune.





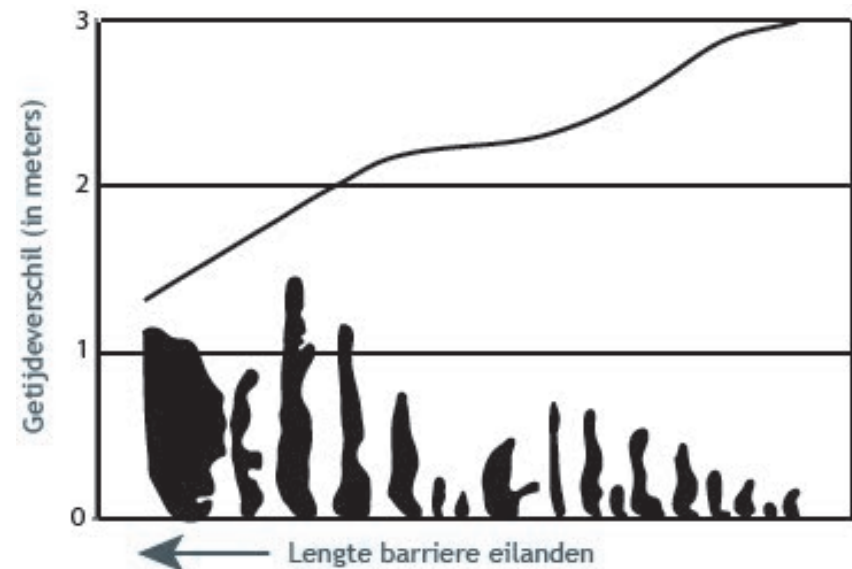
3.3 Golf-dominant estuarium

In gebieden met veel golfenergie, getijdeverschil en stroming kan een bijzonder gebied ontstaan zoals de Waddenzee. Het buitengebied heeft een barrière zone en getijdeninstroom. Dit buitengebied wordt door golfslag gedomineerd. De impact hiervan neemt snel af naarmate we meer het binnengebied inkomen. De kust kenmerkt zich door een flauw talud.

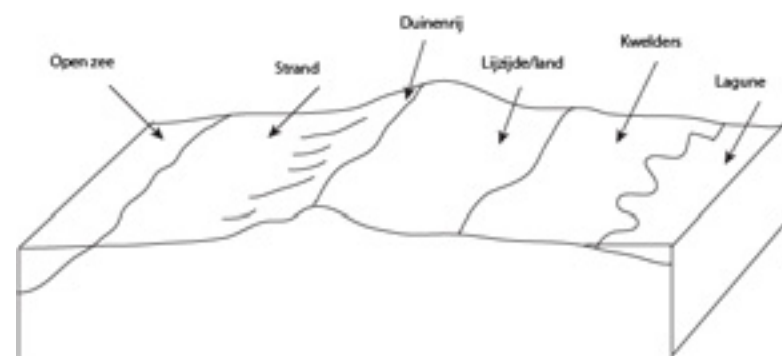
De barrière eilanden zijn lijnvormige afzettingen buiten de kustlijn, afgescheiden van het vaste land door een lagune. De eilanden lopen parallel met de kust. Meestal zijn ze gevormd door zand boven het springtijniveau, gestabiliseerd door vegetatie. De eilanden worden van elkaar gescheiden door geulen waardoor het water in en uitstroomt bij eb en vloed. Deze stroming komt, in de Nederlandse situatie, van westelijke richting vanaf de Noordzee opzetten. Op plaatsen waar beide horizontaal tegengesteld aan elkaar lopende getijdenstromen elkaar ontmoeten ten zuiden van de eilanden, ontstaat een plaatselijke verhoging van de waterspiegel. Deze plaats wordt “het wantij” genoemd (afb.16,17). Het westelijk deel zal daarbij iets voorlopen op het oostelijk deel en het wantij zal dan ook iets oostelijk van het midden van het eiland bevinden. Het wantij zien we alleen bij langgerekte en niet te brede eilanden.

In de Waddenzee, die van Den Helder loopt tot aan het Deense Esbjerg, veranderen de eilanden van vorm. Dit hangt samen met het verschil in getijdenamplitude onder invloed van het amfidroompunt. Naarmate de eilanden verder van dit punt af liggen neemt het getijverschil toe. Dit levert een andere morfologie op (figuur 14).

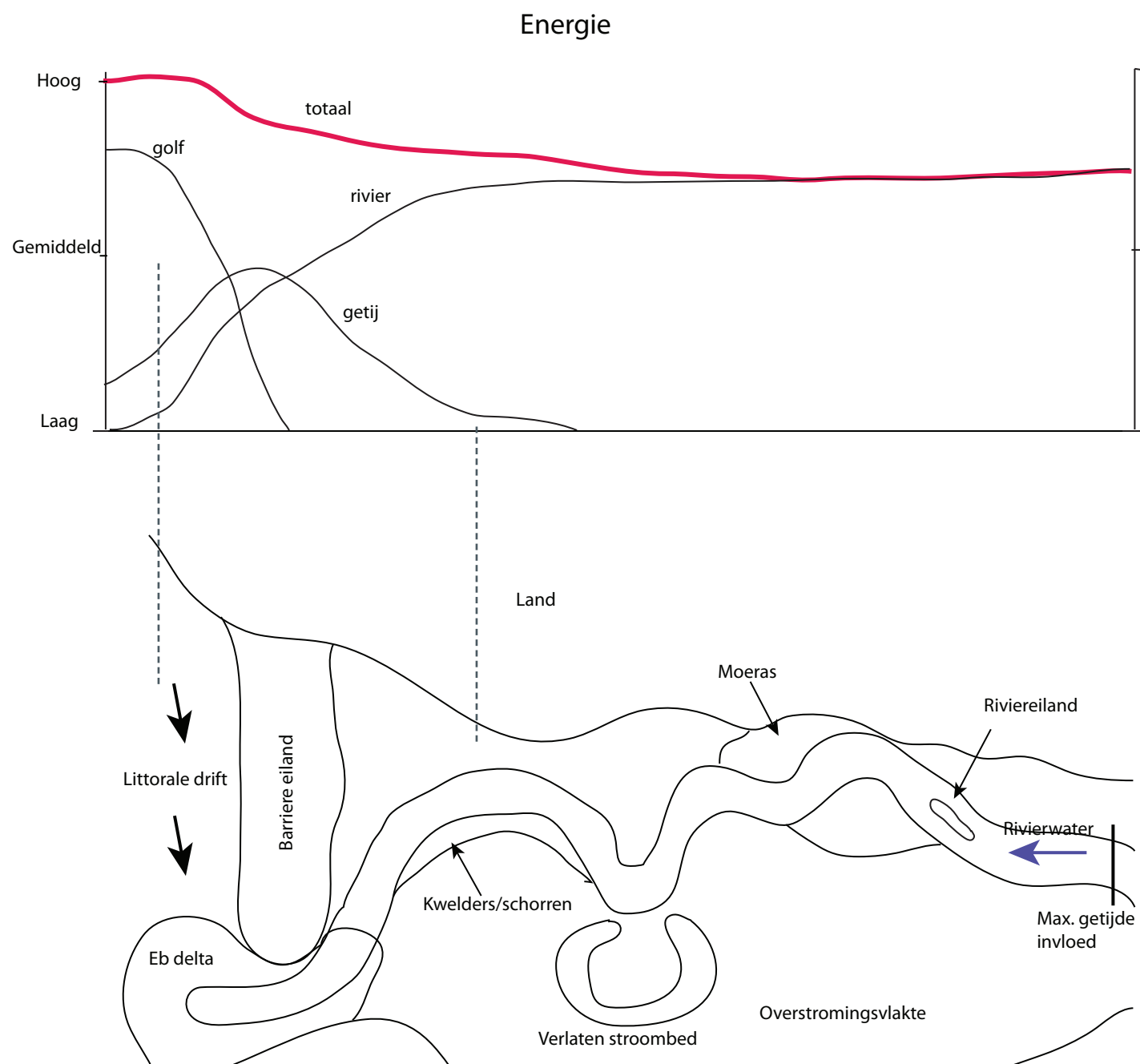
Tussen de barrière eilanden (figuur 15) en de kust ontstaat een zone met getijdenplaten/zandplaten/slikplaten en kwelders. De kwelders liggen meer richting het vasteland en aan de luwe zijde van het barrière eiland.



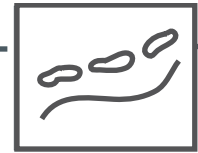
Figuur 14: Relatie tussen getijdenverschil en vorm eiland



Figuur 15: Model barriere-eiland



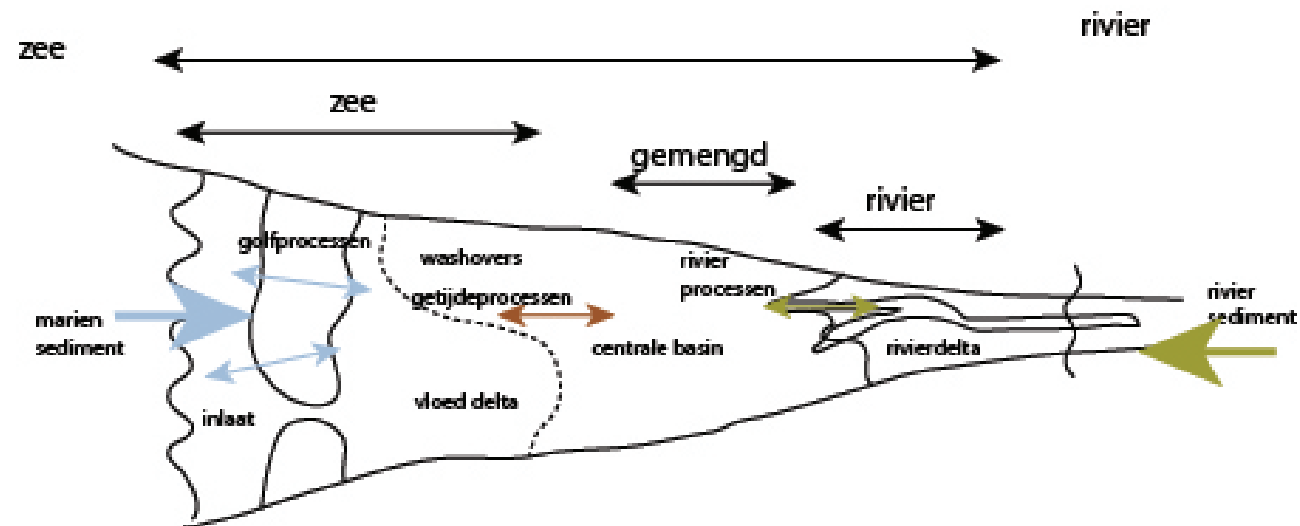
Figuur 16: de opbouw van een golf-dominant estuarium



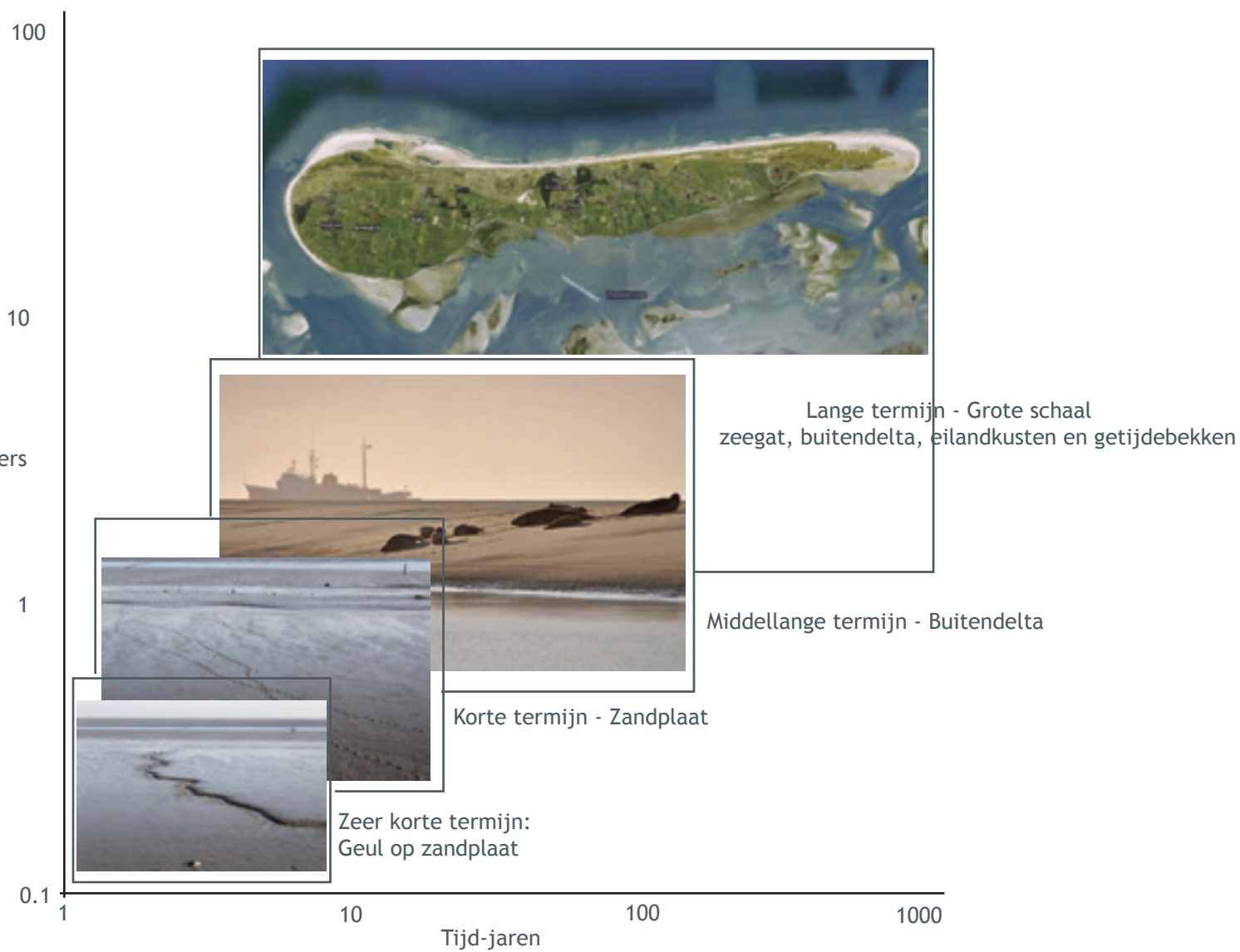
Bij de ingang van het gebied is een hogere golfenergie in vergelijking met de getijde-energie. In het midden van het gebied gaat deze energie snel omlaag omdat de golven het estuarium niet kunnen indringen en door de remmende werking van de eb en vloed delta's (figuur 16).

De golven transporteren het sediment van de zee naar het estuarium en bouwen een barrière voor de monding. Getijdenstromen transporteren sediment in het estuarium die de eb en vloed delta's vormen. Meer landwaarts waar de energie afneemt, stapelt fijn sediment zich op en vormen zandplaten en slikken. Sediment van het stroomgebied van de rivier wordt afgezet in de hoofdgeul en er kan zo een delta gevormd worden tot het centrale bassin (figuur 17).

De eilanden liggen evenwijdig aan de kust en zijn langgerekt.



Figuur 17: de invloed van zee en rivier in een golf-dominant estuarium

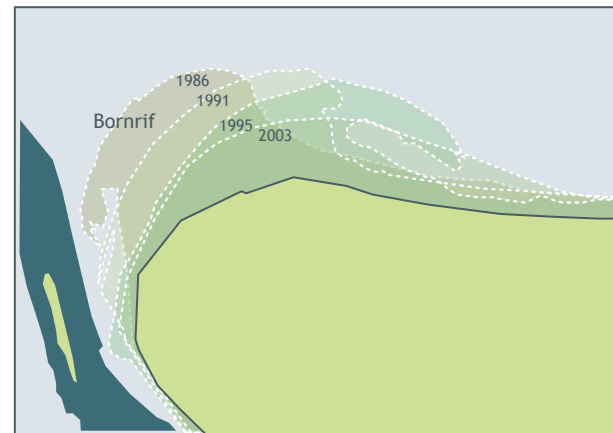
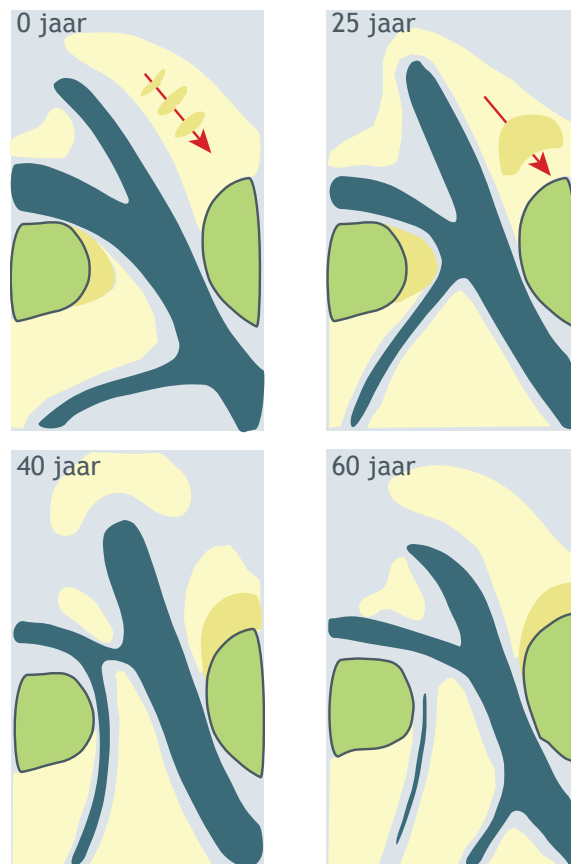


Figuur 18: Ontwikkelingen gezet in tijd en omvang
Bron: Cleveringa et al., 2005



In een systeem vinden transformaties plaats, die niet allemaal volgens eenzelfde tijdschema verlopen. Op grotere schaal, in een tijdsschaal van eeuwen, worden de basisvormen van een systeem gevormd. In dit systeem is dat een modeleiland met vijf hoofdvormen. (zie hoofdstuk Ameland). Binnen deze hoofdvormen ontstaan kleinere onderdelen die decennia kunnen bestaan (figuur 18).

De processen van langere schaal zijn bepalend voor mogelijke processen op kleinere schaal. Achter een barriere eiland kan een situatie ontstaan waar kwelders worden gevormd. In deze kwelders ontstaan vervolgens weer geulen. Of er ontstaan duinvalleien. Een voorbeeld van een proces dat zich voltrekt in ongeveer 60 jaar is de cyclus van de buitendelta, ten westen van een barriere eiland (figuur 19).



Figuur 20 Verplaatsing van de Zandhaak op Ameland.

Een proces op de korte termijn is het verplaatsen van de zandhaak op de kop van het eiland. Dit is een proces dat zich in ongeveer 20 jaar voltrekt (figuur 20).

Legenda

-  Waddeneilanden
-  Zee
-  Rif
-  Geul
-  Zandplaat

Figuur 19: Ontwikkeling buitendelta Ameland



4500 voor Chr.



3100 voor Chr.



1800 voor Chr.



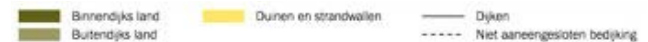
50 na Chr. / Romeinse tijd



800 na Chr.



1250 na Chr. Nederland grotendeels bedijkt



Figuur 21: Ontwikkeling Nederland-
Bron: www.natuurinformatie.nl



3.4 Kust

De geschiedenis van het Noordzeebekken begint vroeg in het Tertiair, terwijl het huidige uiterlijk van de Noordzee vooral is bepaald door het Pleistoceen en Holoceen. In het Pleistoceen bedekten enorme gletsjers het gebied. Door de grote hoeveelheden landijs lag de zeespiegel ongeveer 100 meter lager dan tegenwoordig. Met het opwarmen van het klimaat in het Holoceen, steeg de zeespiegel en raakte de zuidelijke Noordzee geleidelijk gevuld met water. Er ontstond eerst een soort moeras, maar dat overspoelde later weer. Hiermee kreeg het bekken de vorm van een ondiepe kustzee. Er ontstonden door de stijging van de zeespiegel strandwallen voor de kust. Stabilisatie van de kustlijn leidde tot verzoeting achter de strandwallen en duinen. Daar vormde zich veen, dat later door inbraken van de zee weer (gedeeltelijk) verdween. In deze tijd (ongeveer 5500 voor Chr.) was er nog niet veel verschil tussen de Noordzeekust en de Waddenzee.

De kustlijn verplaatste zich langzaam meer landinwaarts (figuur 21). Doordat de stijging van de zeespiegel ongeveer 5000 jaar geleden stopte bleef de kustbarrière bestaan. Er was voldoende zand beschikbaar om het land uit te bouwen buiten de huidige kustlijn. Vanaf 1000 v. Chr. verschoof de kustlijn landinwaarts en ontstonden er grote zeegaten. Veel veen verdween en de Jonge Duinen ontstonden. Waarschijnlijk lag de

oorzaak hiervan in een overgang van een sediment overschot in een sedimenttekort.

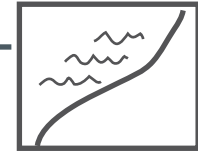
Er ontstonden nu verschillen op in de Nederlandse kust. Het Schelde-estuarium ontstond met grote zeegaten en Wadden met diepe erosiegeulen. Dit werd veroorzaakt door een diepere ligging van de pleistocene ondergrond en een groter getijverschil. De Rijn-Maasdelta ontstond met drie hoofdtakken die veel water en sediment afvoerden. Het zeegat bij Bergen en Almere ontstond, de voorloper van de Zuiderzee, een grote lagune die eerst nog in verbinding stond met de Noordzee maar die later rond 800 n. Chr. in verbinding kwam met de Waddenzee door overstromingen. Bij de westelijke Wadden lag de pleistocene ondergrond hoog. Een lange aaneengesloten strandwal (tot en met het huidige Terschelling) lag voor de kust. In de Oostelijk Wadden stroomden vele riviertjes uit. Er kwam weinig sediment vanaf het land en het pleistocene oppervlak lag er laag. Al snel ontstonden hier daarom Wadden en zeegaten in het verlengde van de riviertjes. (bron: Atlas van Nederland)

Vanuit het zuiden en vanuit de grote rivieren de Rijn, Maas en Schelde worden fijne sedimentdeeltjes naar het Noorden getransporteerd onder invloed van een noordoostelijke stroming.

Door de inpoldering van de gebieden achter de strandwallen en duinen in het westen van Nederland, liggen de duinen nu vast aan het vaste land. De mens krijgt invloed op de morfologie.



Figuur 22 Ontwikkelingen gezet in tijd en omvang

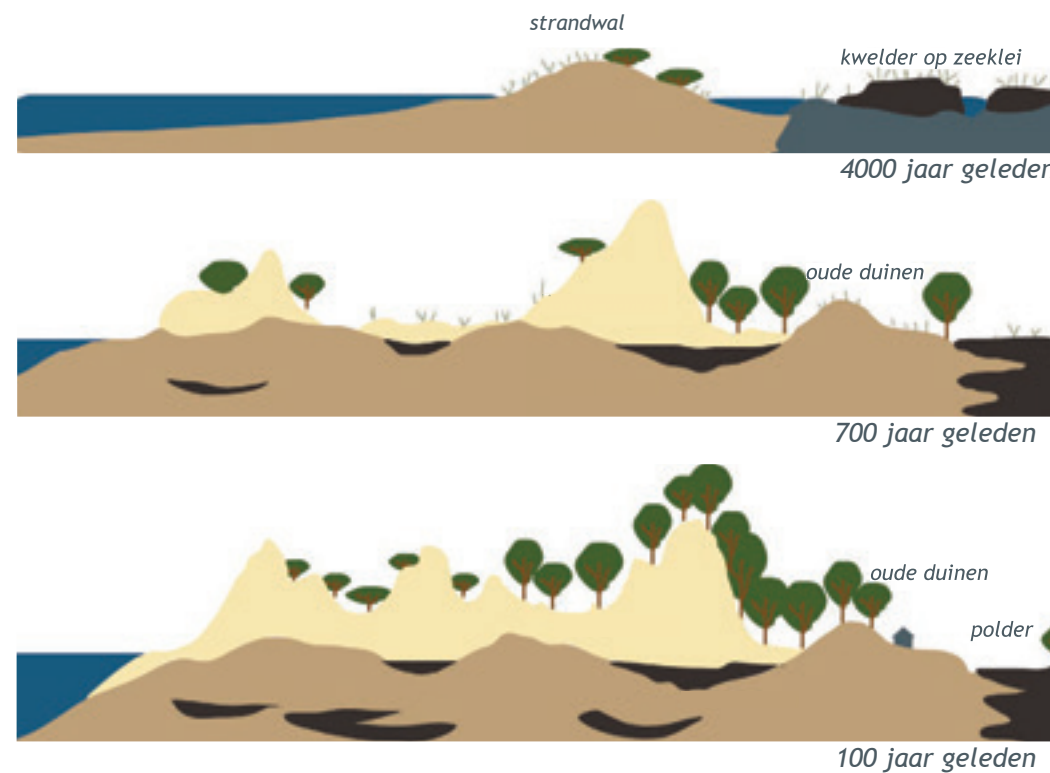


In het kuststelsel vinden transformaties plaats, die niet allemaal volgens eenzelfde tijdschema verlopen (figuur 22).

Op grotere schaal, in een tijdschaal van eeuwen, worden de strandwallen of Oude Duinen gevormd. De basis voor duinvorming is de vorming van een embryonale duin, een proces dat in enkele dagen of weken zich kan voltrekken. Nadat op deze duintjes beplanting is ontstaan ontwikkelt zich een proces op iets langere termijn, de vorming van organogene duinen. In de loop van de tijd ontstaat op middellange termijn een duinencomplex van Jonge Duinen.

De processen van langere schaal zijn bepalend voor mogelijke processen op kleinere schaal en vice versa. Zonder strandwallen kunnen er geen kwelders achter deze wallen ontstaan en zonder de vorming van een embryonale duin is er geen basis voor verdere duinvorming.

Figuur 23 Ontstaan van de duinen in Nederland





4. Oever- en kustverdediging

Als we het aan de natuur zouden overlaten zou de kust steeds in ontwikkeling zijn en er regelmatig land afkalven, sediment neerslaan en land vormen. Platen en eilanden zouden zich verplaatsen en soms verdwijnen. Door het aanleggen van oever- en kustverdedigingen en het opspuiten van zand hebben wij in hoge mate de vormen van eilanden en de ligging van de kustlijn bepaald.

De gangbare vormen van oever- en kustverdediging zijn onder te verdelen in harde, stenige, bouwwerken tot zachte door de natuur mede gevormde verdedigingen. De mogelijkheden worden beperkt door het watersysteem waar het (schier)eiland in ligt.

In het westen van Nederland is er een 120 km lange ononderbroken zandige kust met hoge duinen en een aantal uitgestrekte duinenvelden. Uitzondering vormt de Hondsbossche zeewering, waar het zand in het verleden door erosie is verdwenen en nu een dijk het land van de zee scheidt (afb.19).

Duinen worden door wind en water opgebouwd en weer afgebroken. Op veel plekken spoelt er meer zand weg dan er aanspoelt. Daar worden de zandbanken voor de kust kleiner, de oever steiler en het strand smaller. Bij storm kan de zee steeds gemakkelijker zand van de buitenste duinenrij wegslaan. De oplossing is even eenvoudig als bewerkelijk: meer zand in het kustsysteem brengen. Sinds 1979 compenseert Rijkswaterstaat de kustafslag met het opspuiten van zand op het strand voor de Nederlandse kust. Sinds 1990 is dit de voornaamste vorm van kustverdediging, en vanaf 1993 brengt men ook grote hoeveelheden extra zand aan op de vooroever. Doel is om de kustlijn van 1990 te handhaven.

Wadden en estuaria worden gekenmerkt door de vorming van platen, kwelders en schorren, en de vorming van geulen. De kwelders en schorren ontstaan doordat er slib wordt afgezet op platen waar de invloed van stroming en golven minder is. Door de vorming van geultjes in de hoger wordende platen verbetert de afwatering en kunnen er zich planten vestigen. Als dit eenmaal is gebeurd wordt het proces versneld doordat het slib beter kan worden vastgehouden.

Een lage kwelder wordt 2 maal daags overspoeld door de vloedgolf, hoge kwelders alleen bij hoge waterstanden. Een kwelder groeit in de regel niet hoger dan ca. 30cm boven springvloedniveau. (bron: Perspectief Natuurlijke Keringen, 2011)

Bij het kustonderhoud van deze slibbige kusten gaat het om behoud van de kwelders en platen, en het op afstand houden van geulen. Op verschillende plaatsen bestaan problemen met geulen die richting de kust verplaatsen en afkalvende kwelders en platen. Dit zorgt voor minder areaal aan ondiep voorland waardoor de golfdemping afneemt.

Op de volgende bladzijden worden eerst de meest gangbare vormen van oever- en kustverdedigingen kort uitgelegd, daarna volgt een hoofdstuk over innovatieve vormen van verdedigingen; vormen die soms nog niet toegepast zijn, maar voorgesteld worden door onderzoekers.

Afb. 19 De Hondsbossche zeewering

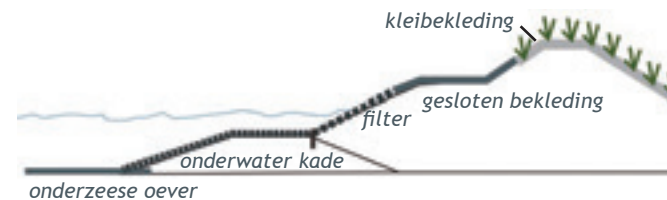


Afb. 20 gebruikte steenfractie de dijk van de 2e maasvlakte

4.1 Dijken

Een dijk als waterkering moet het achterland beschermen tegen overstromingen. In Nederland hebben we 2 soorten dijken; primaire dijken, die beschermen tegen het buitenwater, en de secundaire dijken die beschermen tegen binnenwater als meren en kanalen.

Een zeedijk is opgebouwd uit een dijklichaam en een bekleding die het dijklichaam moet beschermen tegen erosie door golven, stromingen en kruierend ijs (figuur 24). Vroeger werden dijken gemaakt met behulp van zeegras, rijshout, natuursteen en soms baksteen. Tegenwoordig worden hiervoor betonblokken, betonzuilen en asfalt gebruikt. Op de stenen leven veel dieren zoals krabben, anemonen, zakpijpen en schelpdieren, maar ook allerlei wieren en algen.



Figuur 24 opbouw zeedijk

4.2 Duinen

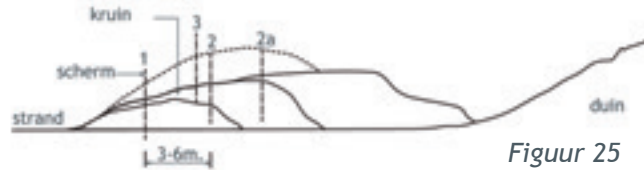
Duinen vormen de natuurlijke zeewering. Zonder ingrijpen zou het areaal duinen en strand op veel plaatsen verminderen.

Om duinen op hoogte en breedte te houden zijn er de volgende mogelijkheden

- Inplanten met helm om te voorkomen dat zand wegwaait
- Plaatsen van schermen om zand vast te houden (figuur 25).
- Duinsuppletie met zand aan landwaartse, zeewaartse kant of voor het duin (figuur 26).
- Een kunstmatige zandbank aanleggen in de vooroever (zandmotor) waarvandaan zand door water en wind richting strand wordt verplaatst. Het effect hiervan is langduriger.



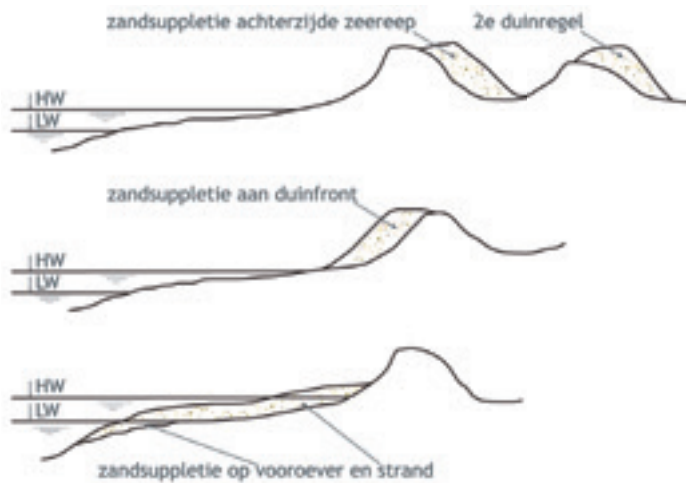
plaatsen van schermen om zand in te vangen



Figuur 25

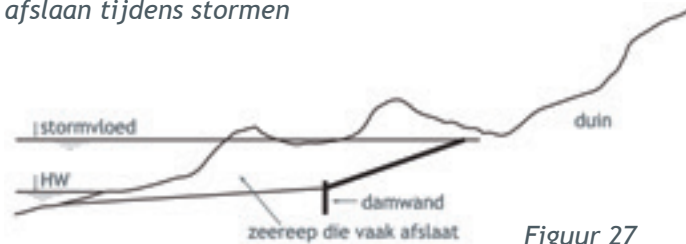
Scherf 2 wordt geplaatst op de duinwaardtse helling als scherm 1 voldoende is ingestoven, dit kan meerdere malen herhaald worden tot er voldoende breedte is opgebouwd. dan kan scherm 3 geplaatst worden.

zandsuppleties kunnen op 3 plaatsen worden aangebracht



Figuur 26

duinvoetverdediging om te voorkomen dat duinen afslaan tijdens stormen

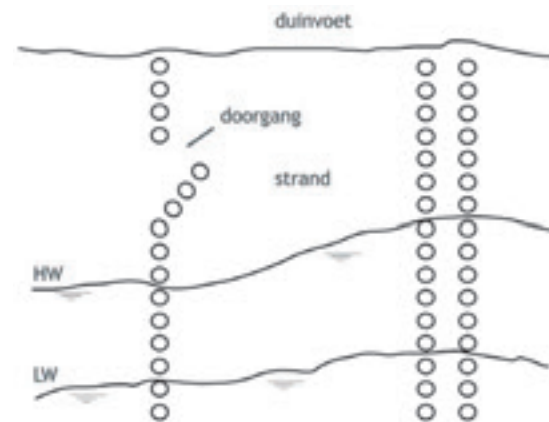


Figuur 27

- Duinvoetverdediging is een constructie die voorkomt dat duin afslaat bij storm (figuur 27). Om stranden aan de gestelde breedte (de kustlijn van 1990) te laten voldoen is op veel plaatsen aanvulling nodig. De strandsuppleties kunnen op verschillende manieren worden gedaan.

- Het zand kan worden opgespoten (afb. 21).
- Een kunstmatige zandbank aanleggen in de vooroever (zandmotor) waarvandaan zand door water en wind richting strand wordt verplaatst. Het effect hiervan is langduriger en heeft minder nadelen voor de strandgasten
- Paalschermen zijn palenrijen vanaf de duinvoet tot 50m. voorbij de laagwaterlijn, loodrecht op de kust. De bedoeling is om strandophoging op natuurlijke wijze te bereiken; op het strand dienen ze als windscherm, dit bevordert afzetting van zand. In het water zorgt het voor bezinking van zand in het rustige deel van de stroming die ontstaat (figuur 28).

mogelijkheden palenscherm



Figuur 28



Afb. 21 zandsuppletie door middel van opspuiting



Afb. 22 strekdammen bij Callandsoog



Afb. 23 rijshout voor kwelderwerken langs Eems (DL)



Afb. 24 kust Noord Groningen met kwelderwerken

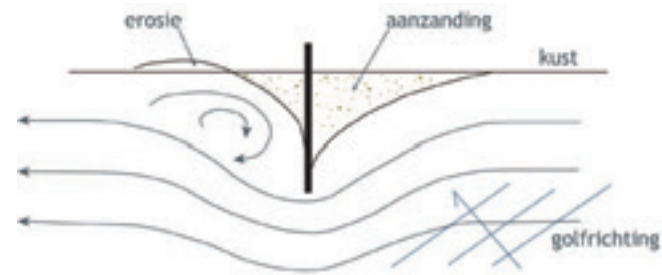


4.3 Aanslibbing

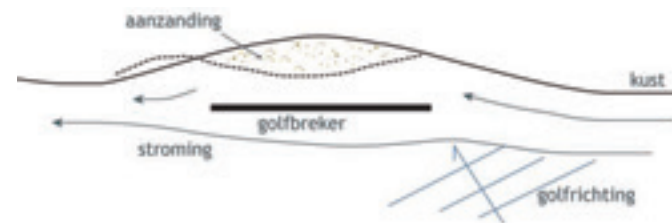
Zand- of slibsedimentatie zorgt voor de natuurlijke aanwas van platen en land. Door veranderingen in de systemen door de mens is dit proces verstoord en erodeert er meer sediment dan er neerslaat. Ingrepen in het zand- en slibtransport worden gedaan in de vorm van dammen en golfbrekers.

- Strekdammen liggen loodrecht op de kust en hebben als doel zand te vangen uit de kustdrift en afslag van het strand tegen te gaan. Ongeveer een derde van de Nederlandse duin kust is voorzien van strekdammen. Aan de bovenstroomse zijde van een strekdam vindt aanzanding plaats, terwijl aan de afwaartse zijde erosie zal optreden (figuur 29). Een reeks opeenvolgende strandhoofden resulteert in een zaagtandvormige kustlijn.
- Golfbrekers liggen evenwijdig aan de kust of rivieroever. Ze voorkomen dat het strand (of de rivieroever) afslaat door golfslag. Tussen de golfbreker en de kust wordt sediment afgezet (figuur 30).
- Dammen of pieren bij havenmonden worden gemaakt om sedimenttransport naar de haven of riviermond te voorkomen. Ze dienen meestal ook als golfbreker. Aan de zijde waar het zand vandaan komt zal het worden afgezet, achter de dam zal erosie plaatsvinden (figuur 31).
- Kwelderwerken zijn constructies van rijshoutenschermen die aangelegd worden om golfluwte te creëren zodat slib tot afzetting kan komen (figuur 32). Oorspronkelijk werden deze gebruikt voor landaanwinning. Nu worden ze gebruikt om kwelders te behouden of aan te laten groeien vanwege hun natuurwaarde of in het kader van kustverdediging. De dijken beschermen het land achter de kwelders tegen het water. In deze gebieden zijn dat altijd harde dijken ooit aangelegd om land te winnen en vaak bekleed met asfalt.

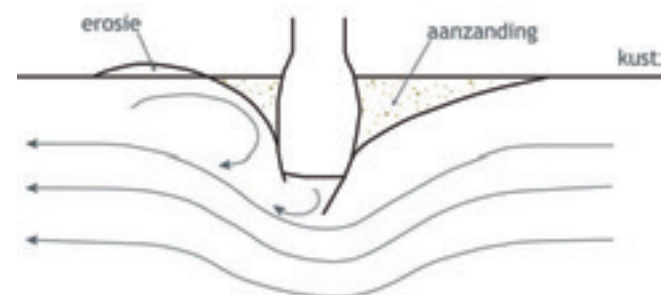
Figuur 29 strekdam



Figuur 30 golfbreker



Figuur 31 dam of pier bij havenmond



Figuur 32 principe kwelderwerken





Afb. 25 geulrandbescherming door een harde rand



Afb. 26 kwelderwerken langs de Friese kust



Afb. 27 vooroever bij Tiengemeten





4.4 Geulwandverdediging

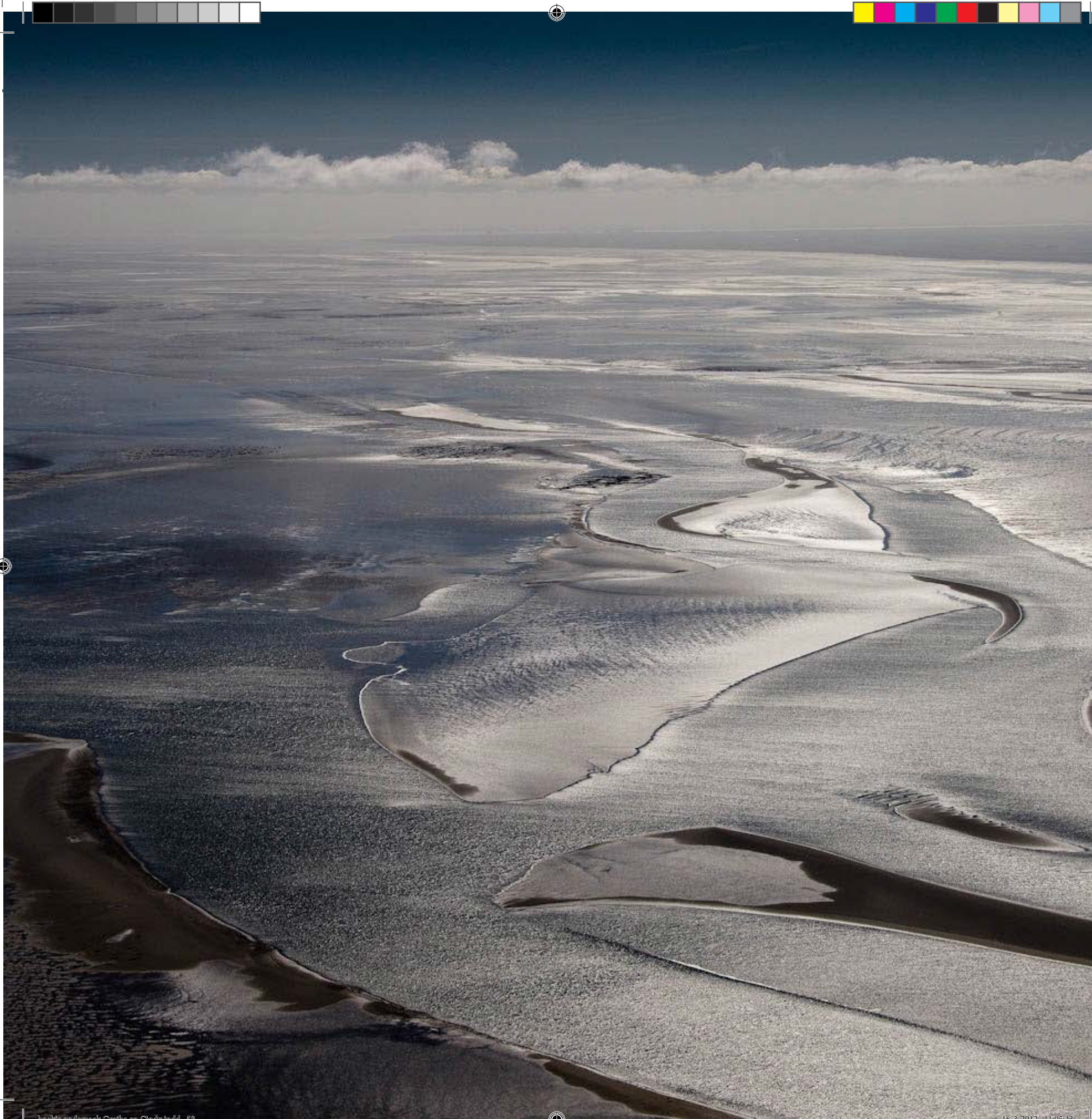
Migratie van geulen ontstaat door verandering in stroming door bijvoorbeeld het afsluiten van een zeegat. Sommige geulen dienen als vaargeul en worden op diepte gehouden door periodiek te baggeren. Na het baggeren is de geul te groot voor het transport van water en sediment, de stroming is te klein, en hij slibt weer dicht.

Normaliter zou in de loop van de tijd de hoofdgeul een nevengeul worden en omgekeerd; het patroon van water en platen verandert dus bijna continue. Doordat de vaargeul wordt vastgelegd door middel van geulwandverdedigingen, is deze wisselwerking verdwenen.

Er zijn verschillende methoden om de randen van platen te beschermen tegen afslag.

- De traditionele wijze bestaat uit het aanbrengen van een harde rand van stenen (afb. 25)
- Een variant hierop is het leggen van een dam op enig afstand van de rand en evenwijdig aan de rand (afb.27)). Dit wordt vooroever-verdediging genoemd. Het ligt niet voor de hand om deze toe te passen in een gebied met veel getijdeverschil; er zou dan een hoge constructie moeten worden gemaakt.

In de geulen treedt vooral zandtransport op door stroming. Om dit tegen te gaan kan een getijdengeul gedeeltelijk gedempt worden. De stroming wordt dan minder, en de golven nemen het transport van het sediment over. Dit sediment slaat neer richting de kust op de platen.



5. Innovatieve oever- en kustverdediging

Door verschillende organisaties, onder andere Rijks-waterstaat en Deltares (een onafhankelijk toegepast kennisinstituut), wordt geëxperimenteerd met innovatieve vormen van oever- en kustverdediging.

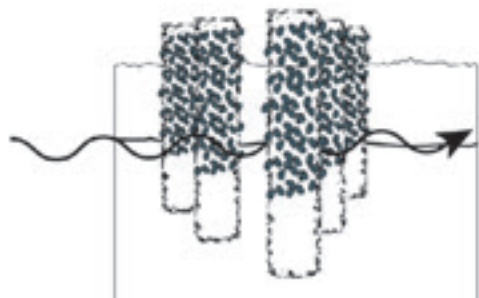
Bij de nieuwe vormen wordt geprobeerd de anders zo harde dijken en dammen ecologisch aantrekkelijk te maken en de veiligheid te vergroten door samen te werken met de natuur. Van de meeste ideeën is nog niet bekend wat hun waarde kan zijn voor natuur en veiligheid.

Het principe van een aantal van de ideeën lichten we toe.

Om de golven op een natuurlijke manier te remmen kunnen verschillende alternatieven worden gebruikt.

Bij biobouwers wordt gebruik gemaakt van natuurlijke materialen en natuurlijke aangroei van materialen. Daarnaast worden verschillende technische oplossingen gezocht voor nieuwe vormen van oever- en kustbescherming.

In de Nieuwe Waterweg is een 'palenbos' aangelegd. (Figuur 33) Veertien houten palen omwikkeld met touw (voor de hechting van algen) zijn in 2007 geplaatst. Ze doen dienst als golfremmer en vergroten de neerslag van sediment. Op de algen leven inmiddels allerlei organismen als wormen, slijkgarnalen, mosselen, die op hun beurt weer aantrekkelijk zijn voor vogels en vissen.

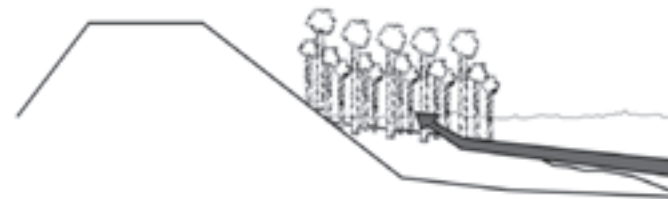


Figuur 33 palenbos als golfremmer

Afb. 28 geulen en platen in de Waddenzee

In de Oosterschelde is een oesterrif aangelegd als golfdemper. Aangezien het rif ook sediment vasthoudt kan het ook ingezet worden als bescherming voor platen en kwelders. Schanskorven met oesterschelpen worden afgezonken in de laagwaterzone. Japanse oesters kunnen zich hierop ontwikkelen; er ontstaat een oesterrif.

Een griend met wilgen kan worden ingezet als golfremmer. (Figuur 34) Het wilgenhout kan worden gebruikt voor zinkstukken in de waterbouw.



Figuur 34 griendbos als golfremmer

Schorrenvegetatie en zoet-waterrietvelden kunnen de stroomsnelheid verminderen en golfenergie doen afnemen. Het invangen van sediment wordt bevorderd en de bodem kan meegroeien met de zeespiegelstijging. De aanliggende dijken hoeven minder hoog te zijn en ze zijn minder kwetsbaar.



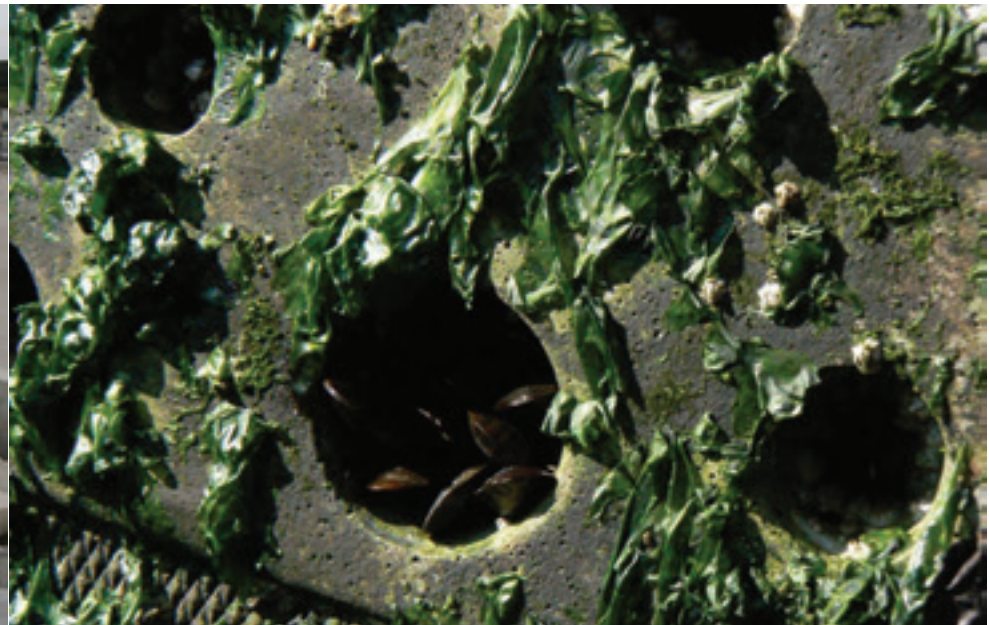
Afb. 29 proef met oesterrijf



Afb. 30 aanbrengen van zinkstukken t.b.v. rietmoeras



Afb. 31 toepassing Eco xblocc in Ierland

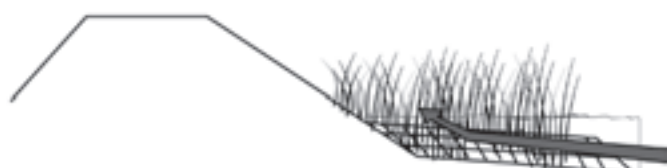


Afb. 32 begroeide rijke ecostructuur





Rietmoeras kan gecreëerd worden door drijvende wilgenmatten neer te leggen waarop riet kan gedijen. Onder de matten bezinkt sediment en vindt bodemvorming plaats. Dit kan de golfoploop dempen. (Figuur 35)



Figuur 35 rietmoeras op zinkstukken remmen de golven

Door de stenen dijkbekleding te voorzien van een aanhechtingsvriendelijke laag kunnen er algen op groeien, die vervolgens weer voedselbron zijn voor nadere organismen. Ook zijn er dikelementen ontwikkeld met holtes waar water in achter blijft bij laag water met hetzelfde effect. Deze dijken worden rijke dijken genoemd (afb. 32).

Het Eco-Xbloc is een vinding van Bam Infraconsult. Door hun vorm, ze grijpen in elkaar, zijn ze beter bestand tegen stormgeweld, terwijl ze tegelijkertijd lichter zijn. De grillige vorm zorgt voor holtes en gaten waar dieren zich kunnen verschuilen. De toplaag is ruw (afb. 31).

Door Building with Nature (een samenwerkingsverband op initiatief van Boskalis en van Oord om concepten en ecodynamische ontwerpen te ontwikkelen) wordt voorgesteld te experimenteren met het verwijderen van asfalt van dijken om zo de golfoploop te beperken. Er kan dan worden volstaan met een minder hoge kruin; de ontkleedde dijk kan worden getoetst als een duin.

In Zeeuws Vlaanderen stelt Ecoshape een zeewaartse versterking van de dijk met duinen voor, waarmee een doorlopende kustboog en dynamisch kustlandschap wordt gecreëerd. (Figuur 36) Het strand houdt dezelfde breedte en schuift mee zeewaarts. Het op breedte houden van het strand is mede afhankelijk van zandsuppletie, mogelijk in de vorm van een zandmotor.

Op verschillende plekken in Nederland speelt het probleem van kustwaarts opdringende geulen. De kustveiligheid komt hierdoor in het geding.

Een mosselgroyne bestaat uit palen met daartussen hangende netten waaraan zich mosselen kunnen vestigen. Deze constructies leiden tot plaatselijke stroomvertraging waardoor verder landwaarts uitschuren van de geul wordt vertraagd, of zelfs gestopt. Bij plaatselijke aanzanding kunnen de mosselgroynes worden verplaatst of uitgebreid, zodanig dat de geul telkens verder zeewaarts opschuift.

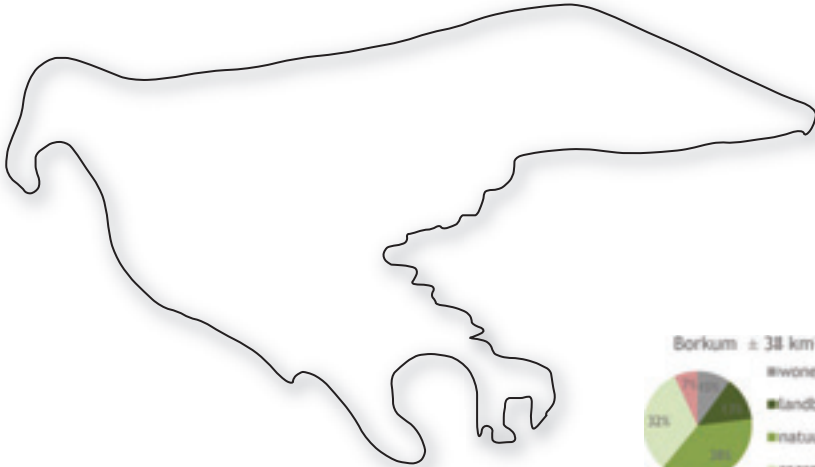
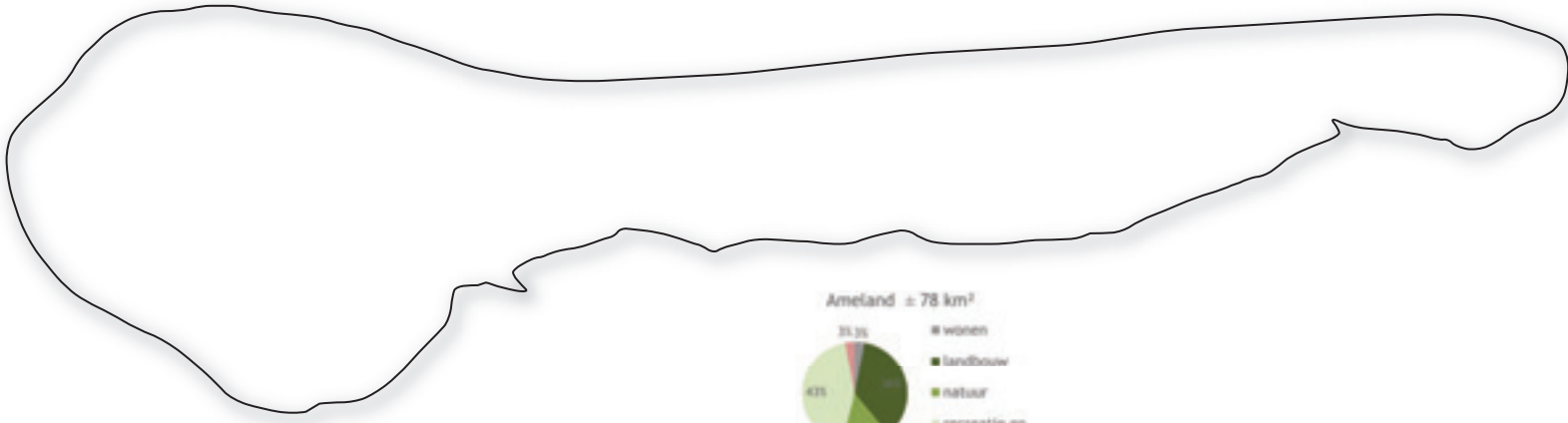


Afb. 33 mosselbank vormt dichte structuur

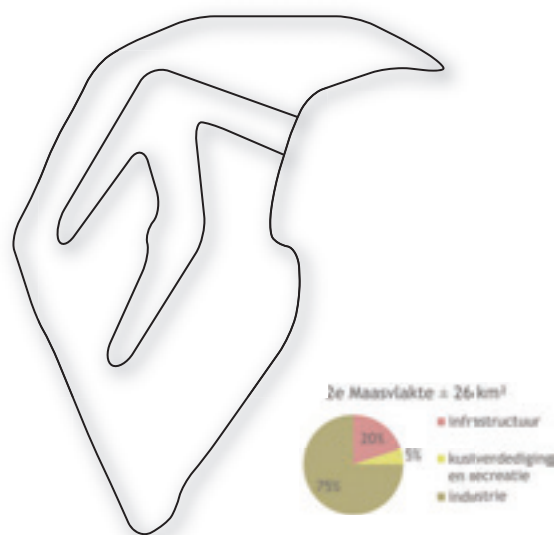
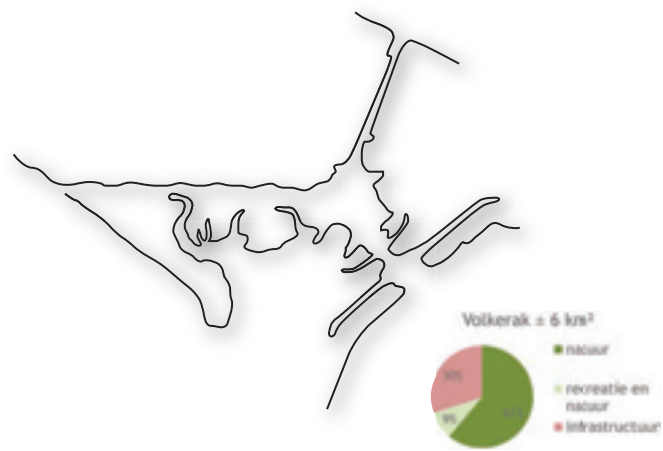
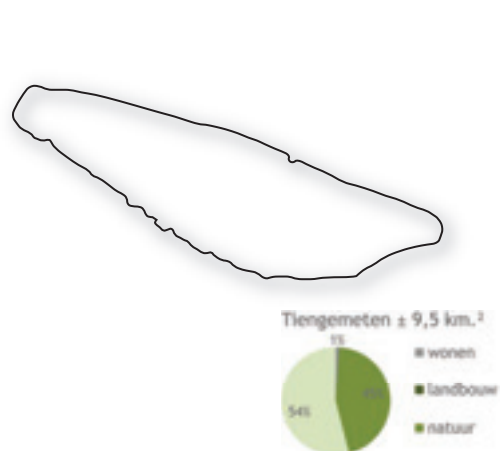


Figuur 36 duin voor dijk, voorstel van Ecoshape om dijk te versterken

De eilanden



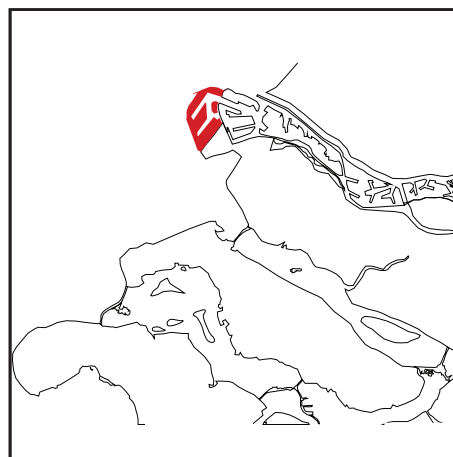
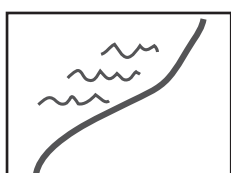
0 1 2 3 4 5km



0 1 2 3 4 5km

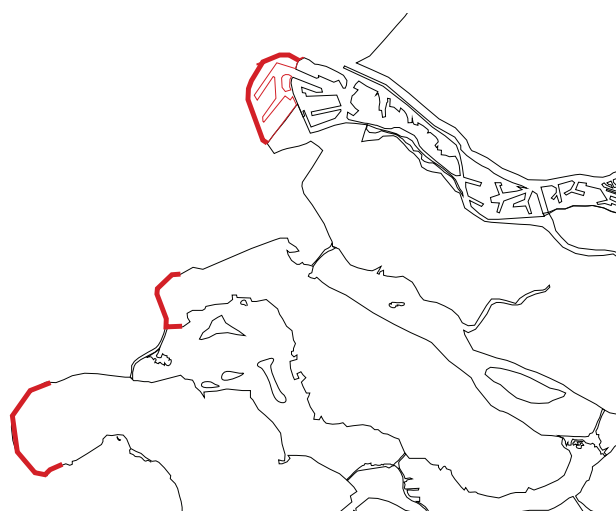


6. Maasvlakte 2



De eerste plannen voor uitbreiding van de Rotterdamse haven zijn er al eind jaren 60. Het duurde tot het jaar 2000 voor er uiteindelijk twee referentieontwerpen lagen. Een met een eigen, rechtstreekse ingang vanuit zee en een waarvoor de schepen door de huidige Maasvlakte moesten varen. Beide varianten werden uitgewerkt op basis van vier hoofdkeuzes:

- eigen directe ingang vanuit zee
- vorm en ligging van de zeewering
- inrichting van het haven terrein
- verbinding met rivieren en kanalen voor de binnenvaart.



Uiteindelijk is gekozen voor een toegang via de huidige Maasvlakte, dus geen eigen rechtstreekse ingang vanuit zee, en een harde en zachte zeewering. Het grootste deel van de kustbescherming is zacht: strand en duinen. Een klein deel bestaat uit een harde zeewering met steen en grote betonblokken. De contour van het schiereiland is gestroomlijnd zodat het zo min mogelijk effect heeft op de zeestromingen. Er is gekeken naar de vormgeving van de Zeeuwse eilanden (figuur 37).

In 2005 is het definitieve ontwerp klaar. In 2013 moeten de eerste terminals werken, en in 2035 zal de hele Maasvlakte 2 (MV2) klaar zijn. Dit levert Rotterdam een vergroting op van de Maasvlakte met 20% en:

- 2000 ha nieuw havengebied:
- 1000 ha bedrijventerrein pal aan diepzeewater.
- 630 ha voor containeroverslag
- 200 ha voor chemie
- 170 ha voor distributie

De aanleg van de Maasvlakte 2 gebeurt in twee fasen.

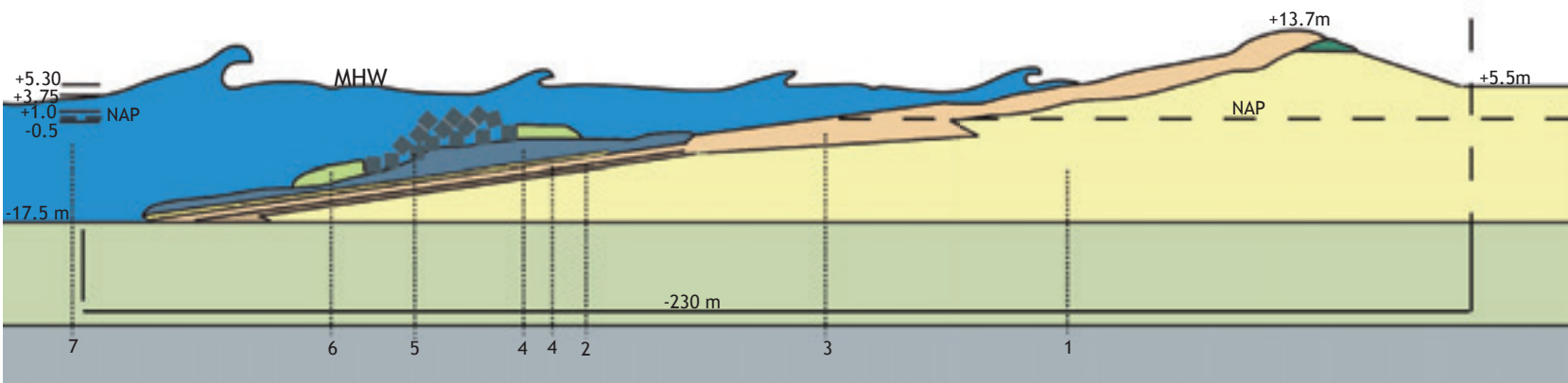
Figuur 37 Vormtotaal Maasvlakte 2



Afb. 35 Zandsuppletie langs harde dijk



Afb. 36 Harde blokken als zeewering



Figuur 38 Doorsnede harde zeewering MV2



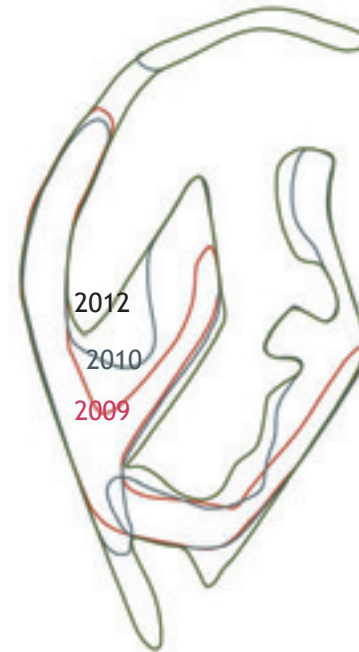
Zeewering:

Er wordt in totaal 11 km zeewering aangelegd. Deze bestaat uit een harde en een zachte zeewering (figuur 39). In eerste instantie zou er ook een overgangsdeel komen. Na onderzoek is dat niet nodig gebleken.



Harde zeewering

De harde zeewering bestaat uit 20.000 stuks betonblokken (2,5x2,5 meter) van ca. 40 ton per stuk (afb. 36). Twee miljoen ton breuksteen van de bestaande maasvlakte worden hergebruikt voor de harde zeewering van MV2. Deels enkellaags en deels dubbellaags gelegd. Daarnaast is 3 miljoen ton extra steen nodig uit Scandinavië of Frankrijk. Achter de grote betonblokken komt een strand met vuistdikke keien die kunnen meebewegen in de stroming. De harde zeewering komt +14m NAP te liggen en de blokkendam +2,4 m NAP.



Figuur 40

Toelichting figuur 38

1. Zandlichaam in de kern van de zeewering
2. Grind om het zand af te dekken.
3. Keien van 20-135mm. Een 4 meter dikke laag, waarvan de keien kunnen meebewegen met de stroming. Kan daarom niet te steil worden aangelegd.
4. Breuksteen van twee afmetingen. van 150-800 kg en van 5-70 kg. Het voorkomt uitspielen van onderliggende materialen.
5. Betonblokken. 20.000 stuks van 2,5x2,5 meter. Gedeeltelijk hergebruikt van de oude Maasvlakte. Alleen bij storm lopen de golven over de blokkendam.
6. Teenconstructie van stenen van 1 tot 10 ton sluit de betonblokken op.

7. Waterstanden:

- Gemiddelde waterstand hoog NAP +1.0
- Gemiddelde waterstand laag NAP -0.5
- Watersnoodramp 1953 NAP +3.75
- Zeespiegelstijging 2060 NAP +5.30



Afb. 37 Zandsuppletie gebeurt eerst door het zgn. “klappen”.



Afb. 38 Zandsuppletie d.m.v. “Rainbowen”.

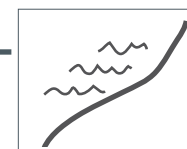


Afb. 39 Zandsuppletie in de laatste fase d.m.v. “Walpersen”.



Afb. 40 Het verplaatsen van het gesuppleerde zand.





Zachte zeewering

Voor de zachte zeewering worden duinen opgeworpen door middel van zandsuppletie. De zandsuppletie wordt met een iets grovere korrel gedaan dan normaal. Zo is een steilere vooroever mogelijk met minder zand. Dit is kostenbesparend. Voor de eerste fase is 240 miljoen kuub zand nodig, 210 miljoen kuub komt uit de zeebodem en 30 miljoen kuub komt uit het uitdiepen van de havenbassins. Voor het hele plan is 365 miljoen kuub zand nodig. Het wordt 11 kilometer uit de kust gewonnen. De zachte zeewering (duinen) krijgen een hoogte van +12 m NAP. De terreinen liggen op +5 m NAP en de wegen op +5,5 m NAP. Bij aanvang van het project was de zee er 17 meter diep.

Er is eerst een vorm van een banaan drie kilometer uit de kust gesuppleerd, ter bescherming van het binnengebied. Het ligt vrijwel parallel aan de stroming, waardoor het wegspoelen beperkt wordt. In drie jaar tijd is de zandsuppletie van fase 1 gereed. Op de duinen worden een miljoen helmplantjes met de hand geplant om het zand vast te houden. De terreinen worden bedekt met een kleilaagje of ingezaaid met gras om wegwaaien van het zand te voorkomen. Zandsuppletie kan op drie manieren. De sleepopperzuigers zuigen het zand op 11 kilometer uit de kust. Ze kunnen 15.000 m³ zand bergen. In diep water laten ze de kleppen van de boot opengaan en stort het zand op de bodem, het zgn. klappen (afb. 37). Als het water te ondiep is geworden gaat men over op 'Rainbowen'. Het zand wordt met een sproeikop opgespoten (afb. 38). Als de sleepopper niet meer dicht genoeg bij de kust kan komen om te rainbowen wordt er via pijpleidingenzand naar het eiland gepompt. Dit heet walpersen (afb. 39).

Met de aanleg van MV2 gaat 2000 ha natuur van de Voordelta verloren. Hiervoor moet worden gecompenseerd. Dat gebeurt in de vorm van een bodembeschermingsgebied van 25.000 ha in de Voordelta alsmede een nieuw duingebied Delfland ter grootte van 35 hectare ter hoogte van Ter Heijde (figuur 41).

Dit duingebied is ter compensatie van de effecten die de Maasvlakte kan hebben op de Oostvoornse duinen. Helemaal zeker is het niet dat er een effect zal optreden. Daarnaast komt er in de regio Rotterdam nog 750 ha nieuw natuur en recreatiegebied bij.

De zogenaamde kustrivier 'het zoete water vanuit de rivieren dat langs de kust naar het Noorden stroomt' wordt breder door de aanleg van MV2. Dit heeft effect op de flora en de fauna. Tot aan Egmond zal de aanleg effect hebben is de verwachting. Ook komt er slib vrij bij het zandzuigen. Dit leidt tot een vertroebeling van het water en dit kan effect hebben op de voedselketen. Naar verwachting zijn de effecten niet heel groot, desondanks worden de gevolgen nauwlettend in de gaten gehouden.



Figuur 41 Compensatiegebieden Maasvlakte 2

De kosten van het totale project bedragen 2,9 miljard euro. Het Havenbedrijf Rotterdam betaalt 2,3 miljard. Er komt 600 miljoen van het Rijk voor de aanleg van de zeewering in de vorm van een voorfinanciering.



Stroming



Stroming voor aanleg MV2



gebeurtenissen die van invloed zijn geweest op de morfologie



2009 aanleg banaanvormig eiland

2010 verdere zandsuppletie

Tijdslijn

1960 Eerste plannen uitbreiding haven
1993 Lancering Havenplan
1997 Goedkeuring kabinet
2003 MV2 krijgt positief EU advies
2008 Ontwerpbestemmings plannen liggen ter inzage * Start bouw MV2
2010 verdere zandsuppletie

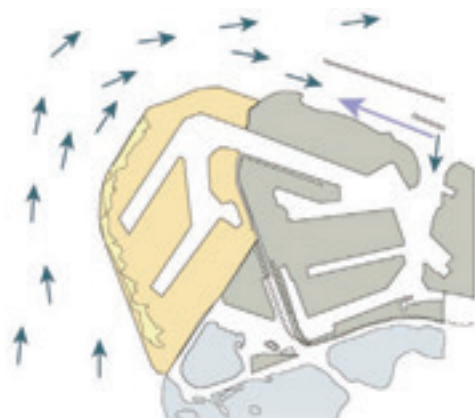
zandsuppletie

Bebouwing

Binnenwater

stroming





Stroming na aanleg MV2



2011 aanleg duinen, harde
zeewering, wegen en verdere
suppletie.

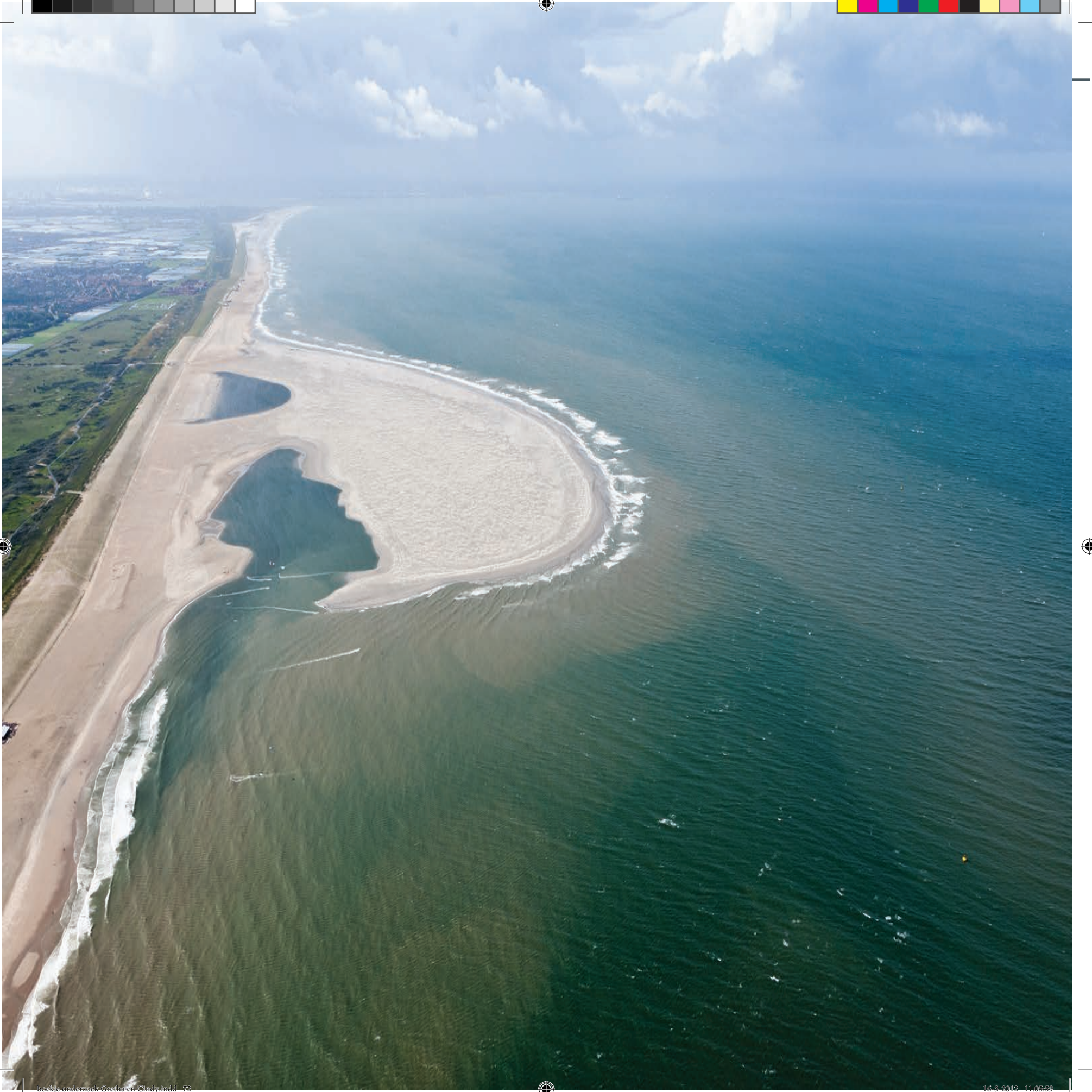


2012 aanleg kades en sluiting
tijdelijke ingang. Einde fase I.

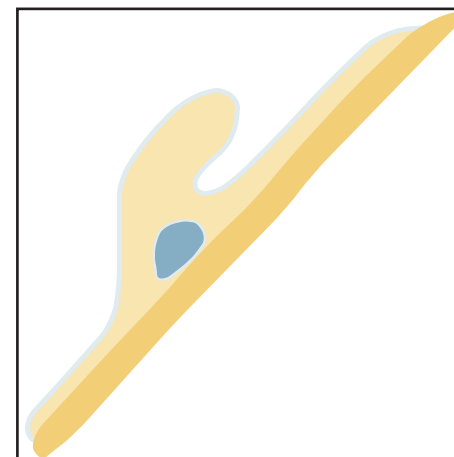
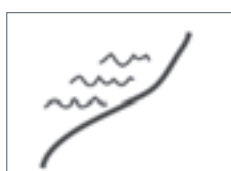
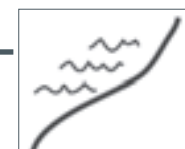


2033 Einde fase II.





7. De Zandmotor



De zandmotor is een grootschalige zandsuppletie waarbij de kracht van golven en wind worden gebruikt om het op de goede plek te laten sedimenteren. Het is een project dat is opgezet in het kader van bouwen met de natuur. In 2010 werd gestart met het zand aanbrengen, direct daarna begon de verspreiding van het zand langs de kust.

De zandmotor is een innovatieve vorm van kustverdediging en landuitbreiding. Het is bedoeld om kennis en ervaring op te doen over veiligheid en ruimte creëren voor natuur. Op de plek waar hij nu is aangelegd is hij niet nodig voor de veiligheid, maar praktisch gezien was dit de beste locatie voor een proef waar natuurlijke processen hun gang kunnen gaan. Op andere locaties waren bezwaren in de vorm van een gemaal, een badplaats of een strandpaviljoen.

Uit onderzoek van Deltares is gebleken dat de Zandmotor op verschillende manieren kon worden aangelegd, twee daarvan voldeden aan de vooraf gestelde eisen.

- 1) Haak: zou ongeveer 1,5 km de zee insteken, met op het strand een basis van ongeveer 2 km. breed (afb. 42).
- 2) Eiland: ovaal van vorm, ongeveer 2 bij 1 km., ligging 1,5 km uit de kust (afb. 43)

Afb. 41 de Zandmotor

Omdat voor de provincie en Rijkswaterstaat de extra functies als natuurontwikkeling en recreatie van belang was, bleef de haak over omdat die direct toegankelijk is en er interessante overgangen van water en zand ontstaan. Door het dynamische karakter van de Zandmotor zal het gebruik in de loop van de tijd ook veranderen.

Het volume van de haak is hetzelfde als de hoeveelheid zand dat in de jaren waarin de Zandmotor zijn werk zal doen, nodig zou zijn geweest voor kustonderhoud.

20 miljoen m³ zand met een gemiddelde korreldiameter van 250µm. vormt 75 hectare nieuw land.

Belangrijkste effecten:

Het zand zal zich, door de heersende stroming en windrichting, vooral noordwaarts verplaatsen naar de kust toe. Er wordt een extra duinaangroei van ongeveer 35 ha verwacht. Dat is bijna 2x zoveel als bij de traditionele zandsuppleties van vergelijkbare omvang. Deze verwachting is gebaseerd op modelberekeningen van Deltares. Er is wel een relatief grote onzekerheidsmarge, vooral over de snelheid waarmee de zandmotor gaat werken omdat stormen het proces versnellen.



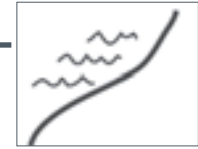
Afb. 42 De Zandmotor als haak

Afb.43 De Zandmotor als eiland



Afb. 44 De Gelobde Melde heeft zich al gevestigd op de zandmotor

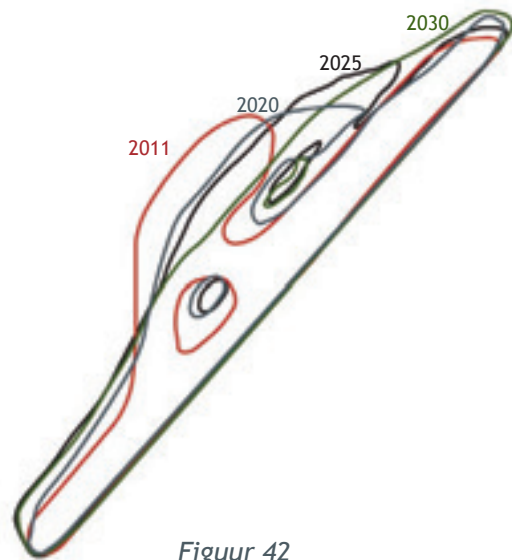
Afb. 45 De Zandmotor tijdens de aanleg



Waar de haak aan de kust vastzit ontstaat aan de noordkant een luwe zone, waar in de komende jaren mogelijk een lagune ontstaat.

Bij de punt is de dynamiek heel hoog, hier kan een muistroom ontstaan die gevaarlijk kan zijn voor zwimmers.

Door de aanleg van de zandmotor wordt ongeveer 500 hectare aan bodemleven eenmalig grondig verstoord. Deze verstoring is tijdelijk; binnen 2 tot 4 jaar komt de bodemfauna weer tot groei (bron: MER Pilot Zandmotor Delflandse Kust).



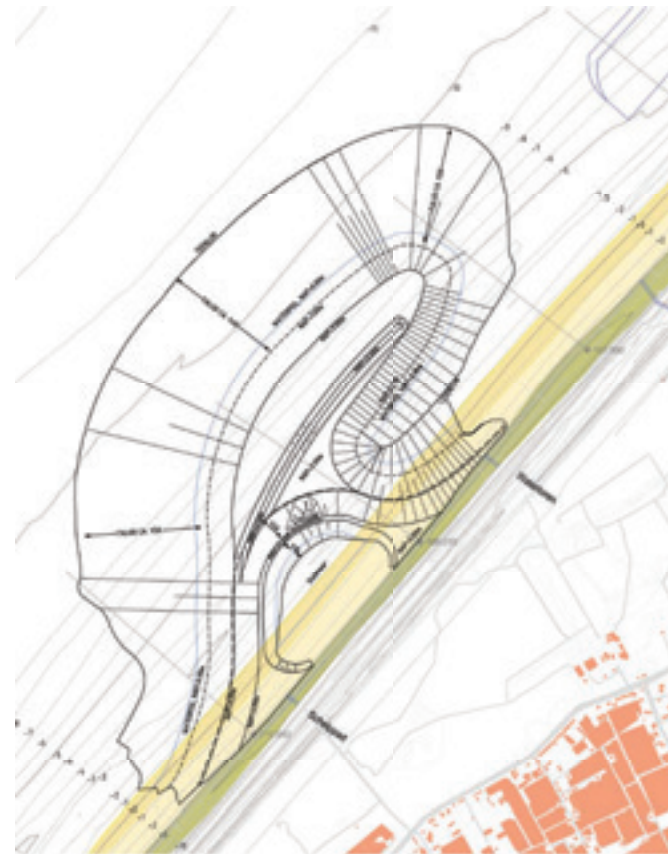
Figuur 42

De Zandmotor werkt als een obstakel in de zandrivier die langs de kust van zuid naar noord gaat en een belangrijke rol speelt in de zandaanvoer. De verwachting is dat Kijkduin hier voordeel van heeft in de vorm van een toename van de strandbreedte.

Doordat de huidige zeereep verder van zee komt te liggen zal de sandspray en saltspray hier afnemen. Deels kan dit worden opgevangen door aangepast beheer (bron: MER Pilot Zandmotor Delflandse Kust).

De uitvoerende partijen zijn: provincie Zuid-Holland, Rijkswaterstaat, Hoogheemraadschap Delfland, gemeente Westland, gemeente Den Haag, milieufederatie Zuid-Holland, Wereld Natuur Fonds

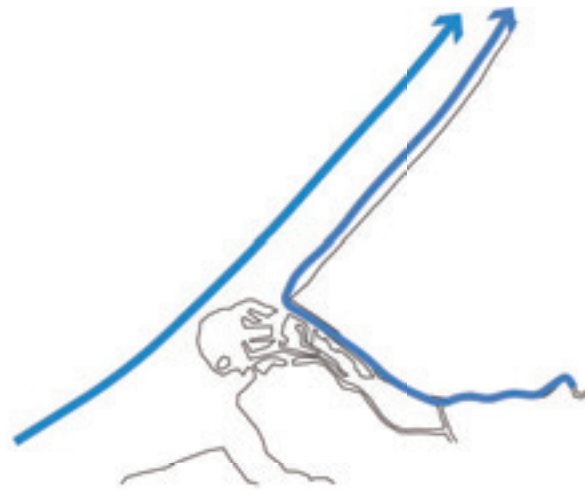
Het projectbudget voor aanleg en beheer is circa 70 miljoen euro.



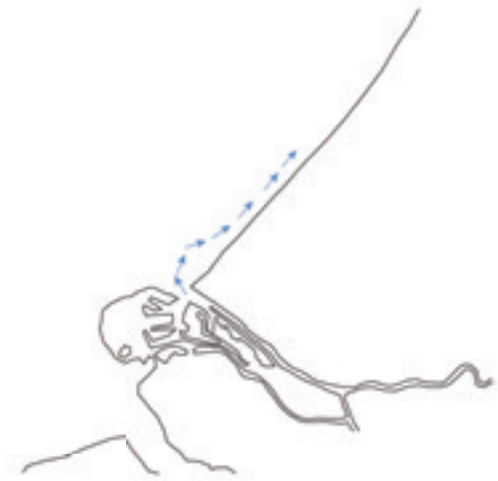
Figuur 43 technische tekening van de Zandmotor



Stroming



De zand- en kustrivier langs Nederlandse kust



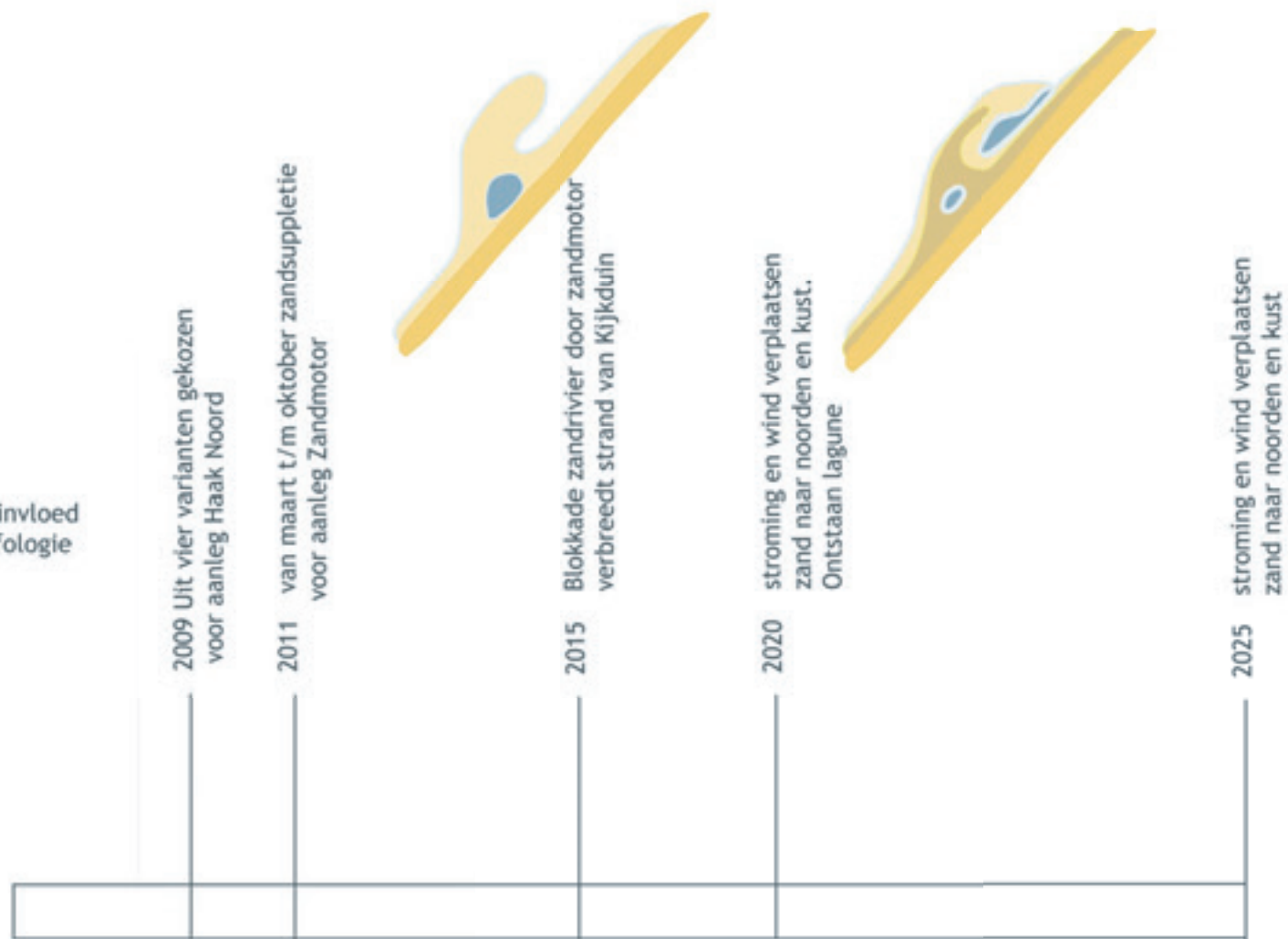
Stroming voor aanleg zandmotor

Morfologie Zandmotor

gebeurtenissen die van invloed zijn geweest op de morfologie

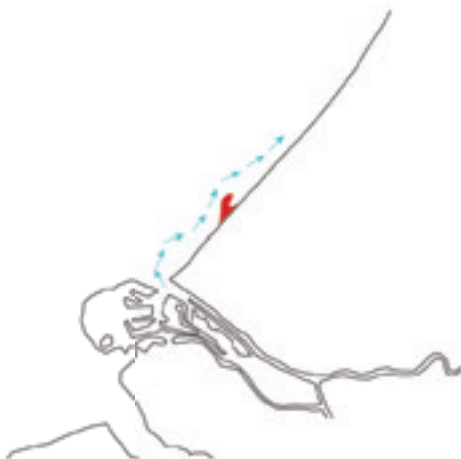


Tijdslijn



kuststrook zand zand (hoger gelegen) water





Stroming na aanleg zandmotor

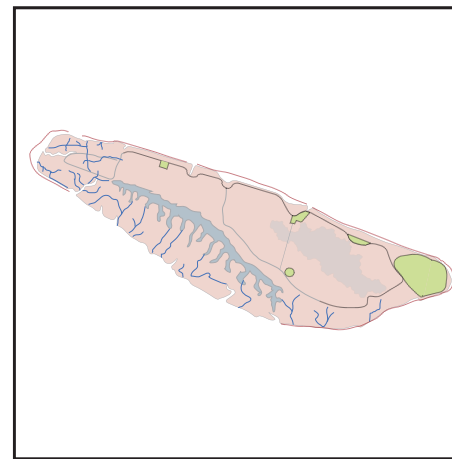


Zand is verspreid langs kust. Breder strand
en vorming 35 ha nieuwe duinen

2030



8. Tiengemeten



Tiengemeten is ontstaan door het opslippen van een zandplaat in de 17^e eeuw. Een halve hectare heette in die tijd een 'gemet', de zandplaat was waarschijnlijk 5 hectaren groot en de plaat kreeg de naam Tiengemeten. Nu is Tiengemeten ongeveer 1000 hectare groot. Van oudsher was het een landbouwgebied waar tot voor kort 7 boerenbedrijven gevestigd waren. De laatste boer verliet begin 2006 het eiland. Vanaf 1990 was er sprake van plannen om van Tiengemeten een natuurontwikkelingsgebied te maken in het kader van de Ecologische Hoofdstructuur. In september 2005 is begonnen met de daadwerkelijke omvorming tot natuureiland en in 2007 zijn de inrichtingswerkzaamheden hiervoor afgerond.

Tussen 1750 en 1860 is het eiland in een aantal stappen ingepolderd voor de landbouw. Als eerste werd de Oude Polder, aan de oostkant van het eiland, bedijkt in 1750 later de Middenpolder en de Benedenpolder.

Rond 1840 zijn er 6 huizen op Tiengemeten, en er wonen 40 mensen. Er is een hospitaal en een pesthuis bij de quarantaineplaats. In 1854 wordt een begin gemaakt met de inpoldering van de schorren en slikken aan de west en zuidkant van de bestaande polders; de Brienenswaard.

In 1944 zetten de Duitsers het eiland onder water om te voorkomen dat de geallieerden hier kunnen landen. Alle bewoners worden geëvacueerd. Tijdens de Watersnoodramp komt het eiland weer onder water te staan. Na de ramp worden oude dijken tussen de verschillende polders afgegraven en wordt de buitendijk verhoogd. Daardoor ontstaat 1 grote polder, met grote percelen grond. Er worden verharde wegen aangelegd. In 1967 wordt natuurmonumenten eigenaar van de buitendijkse slikken.

In 1990 wordt het natuurbeleidsplan door de Nederlandse regering goedgekeurd waarin Tiengemeten als natuurontwikkelingsgebied wordt aangegeven. Het eiland wordt opgenomen in de Ecologische Hoofdstructuur.

In 1996 keurt de provincie het bestemmingsplan waarin Tiengemeten de bestemming natuur krijgt goed. Kort daarna wordt het eiland bezit van Natuurmonumenten voor 33 miljoen gulden. In 1997 vertrekken de eerste boeren van het eiland.

In 2000 wordt de ontwikkelingsvisie Tiengemeten gepresenteerd met als titel: wildernis, weelde en weemoed (figuur 44).

Afb. 46 Tiengemeten



Afb. 47 golfbreker bij Tiengemeten



Afb. 48 golfslag in het Haringvliet



Afb. 49 natuureiland Tiengemeten bij hoog water



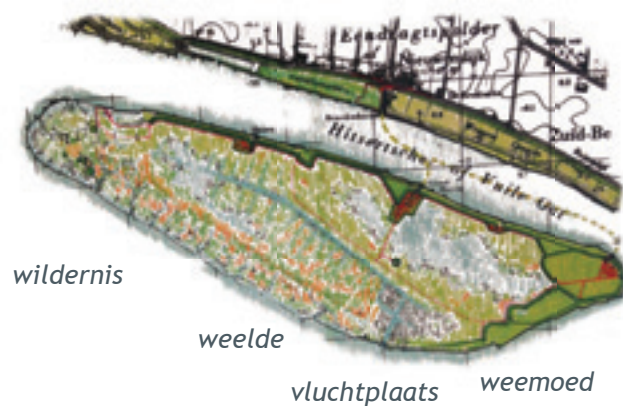
Afb. 50 natuureiland Tiengemeten vanaf de vluchtplaats





In het grootste deel heerst de natuur: de wildernis; natuurlijke processen zoals de getijde van het Haringvliet domineren hier. De voormalige sloten doen dienst als getijdekreken.

Het centrale en goed toegankelijk deel laat vooral de rijkdom van de natuur zien: de weelde. Het beheer is gericht op het in stand houden van verschillende soorten natuur.



Figuur 44 ontwerp wildernis, weelde en weemoed

Een klein gedeelte, de Oude Polder, wordt in oude staat teruggebracht, naar het landschap van de weemoed. Hier blijft menselijk gebruik zichtbaar in de vorm van akkers, en er is mogelijkheid voor overnachting.

Op 30 juni 2005 vindt de officiële starthandeling plaats, daarbij wordt een nieuwe uitzichttoren in gebruik genomen. In 2007 zijn er nieuwe wegen aangelegd, er is een camping en er zijn honderden essen aangeplant en het natuureiland wordt officieel geopend.

De natuurontwikkeling op eiland Tiengemeten is een gezamenlijk project van: Deltanatuur, Provincie Zuid-Holland, Dienst Landelijk Gebied, Rijkswaterstaat, Vereniging Natuurmonumenten en de gemeente Korendijk.

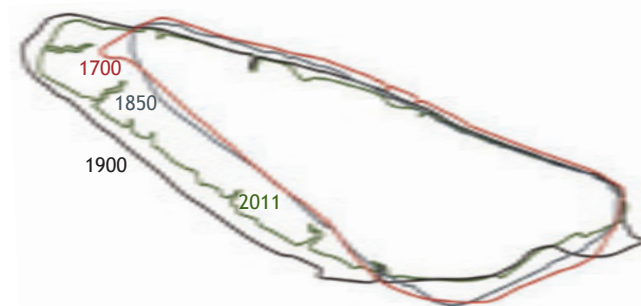
Haringvliet

Het Haringvliet ontstond door een stormvloed begin 13^e eeuw.

Verskillende waterhuishoudkundige ingrepen hebben sindsdien de stroming veranderd. Ingrepen verder landinwaarts, zoals het aanleggen van het Pannerdensch kanaal en het Bijlandsch kanaal, waren van invloed op de hoeveelheid zoet water dat het Haringvliet instroomde. De aanleg van de Nieuwe Waterweg had tot gevolg dat de Rijn bij Hoek van Holland de zee bereikte. Door het graven van de Nieuwe Merwede kon er weer meer water via het Hollandsch Diep naar het Haringvliet stromen.

Daarbij zijn de inpolderingen langs het Haringvliet van invloed geweest op de stroomsnelheid.

Rond 1960, voor de uitvoering van het Deltaplan, maakten Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch deel uit van een zeer omvangrijk estuarien gebied. Dit gebied omvatte bijna het gehele Deltabekken met de zeegaten Oosterschelde en Grevelingen, het Nieuwe Waterweg-estuarium en het overige deel van het benedenrivierengebied



Figuur 45 Tiengemeten in de tijd



Afb. 51 Tiengemeten



Afb. 52 Haringvlietsluizen



Afb. 53 Haringvliet met oeverbescherming





De afsluiting van het Haringvliet op 2 november 1970 verbrak de open verbinding met de zee. Dit had grote gevolgen; het water werd van brak nu zoet, de getijslag daalde van 1,8m. naar 0.3m., het evenwicht van erosie en sedimentatie raakte uit evenwicht. Doordat de geulen geleidelijk worden opgevuld met sediment wordt de golfslag groter en kalven de oevers af. Hierdoor zijn de biezengorzen volledig verdwenen.

Om dit proces te keren, zijn op grote schaal vooroe-ververdedigingen (golfbrekers) aangebracht. In de vooroe-ververdedigingen zitten op enkele plaatsen openingen. Deze openingen zorgen voor verversing van het water achter de dammen, wat gunstig is voor planten en dieren (afb.54).

De snelheid van de oeverafslag, die op sommige plaatsen 5 tot 20 meter per jaar bedroeg, is hiermee nagenoeg tot stilstand gebracht (Min. van Verkeer en Waterstaat, 1991).

De Haringvlietsluizen (afb. 53) bestaan uit zeven-tien spuisluizen die buitenwater spuien en keren. Dit Spui-sluizencomplex is ongeveer een kilometer lang. Het is een primaire waterkering, omdat de sluizen bescherming bieden tegen het buitenwater (de zee). In 1970 werden de sluizen voor het eerst daadwerkelijk gebruikt en sindsdien is het Haringvliet afgesloten voor de directe invloed van eb en vloed.

Al lange tijd zijn er plannen om de Haringvlietsluizen anders te beheren. Er zijn verschillende varianten onderzocht, van helemaal openzetten tot het instant houden van de huidige situatie.

De variant “Getemd Getij” kwam als voorkeursvariant naar voren. Op basis hiervan is in 2003 gekozen voor het uitvoeren van de Kier-variant, hierbij gaan de sluizen bij eb en bij vloed beperkt open.

Het leek er lange tijd op dat het op-een-kier-zetten niet door zou gaan vanwege bezwaren van bewoners en bestuurders, maar afgelopen jaar werd er toch een akkoord bereikt.

“Het Kierbesluit wordt stapsgewijs en gecontroleerd ingevoerd zodat het beheer kan worden aangepast als ontwikkelingen daar aanleiding toe geven. Over de uitvoering van de compenserende zoetwatermaatregelen vindt op korte termijn overleg plaats met de provincie Zuid-Holland en het waterschap Hollandse Delta.”(BRON: Persbericht Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 24 juni 2011)

Gegevens vaarweg

Lengte: 28 kilometer

Breedte: 795 tot 3150 meter

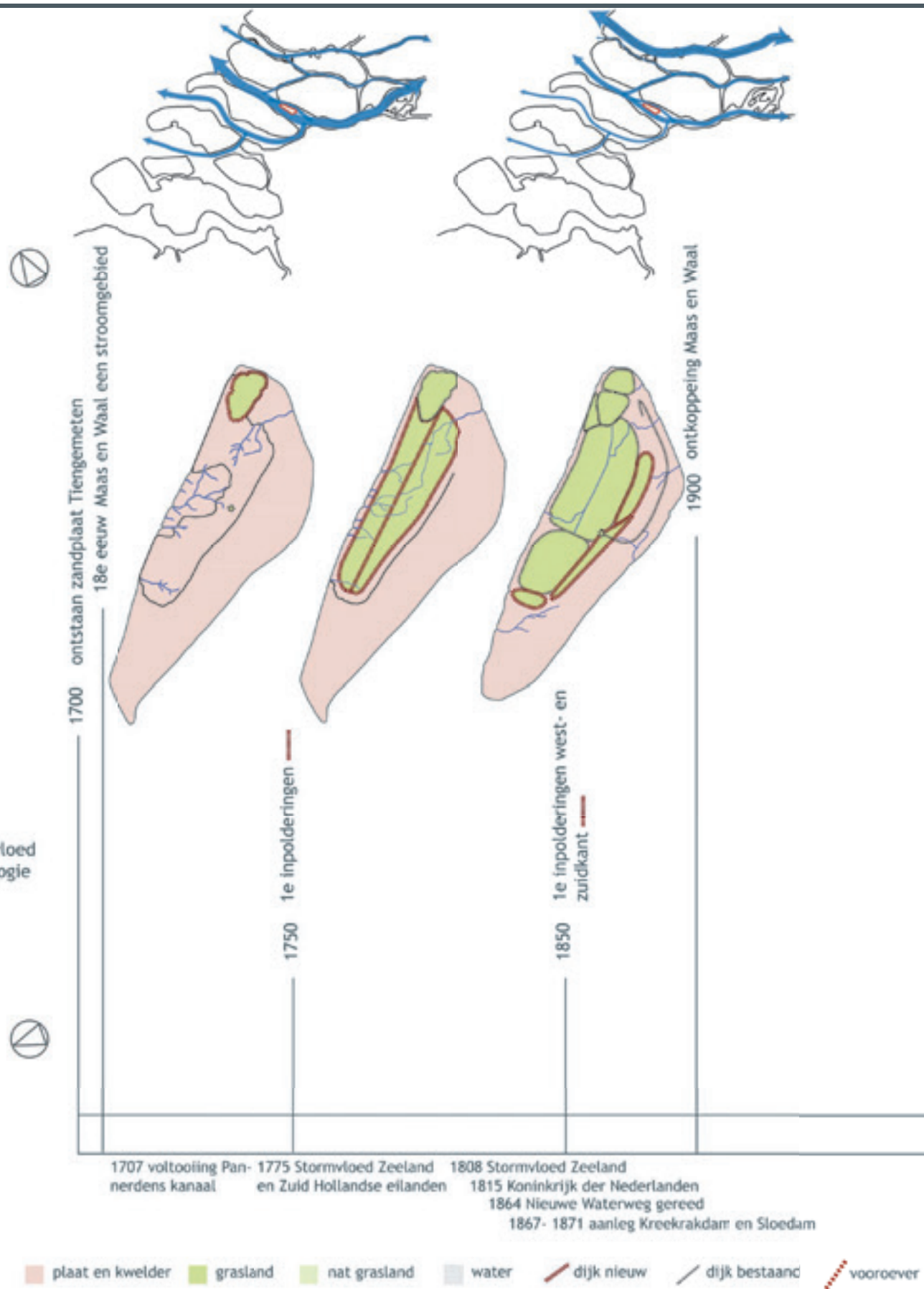
Diepte: gemiddeld circa NAP - 8,00 m, met maxima tot NAP - 39 meter ter hoogte van Middelharnis

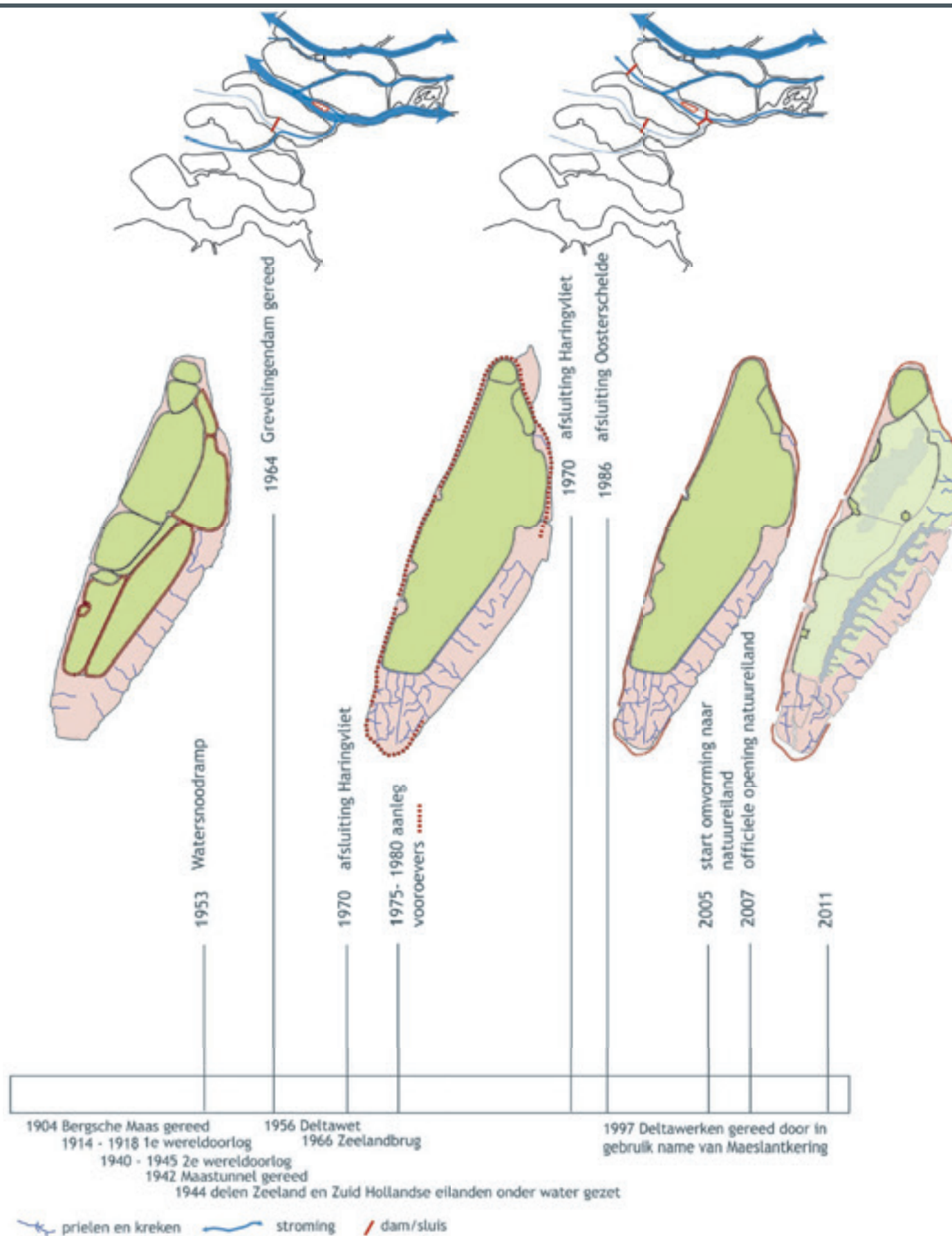
Stroming in Delta

Morfologie Tiengemeten

gebeurtenissen die van invloed zijn geweest op de morfologie

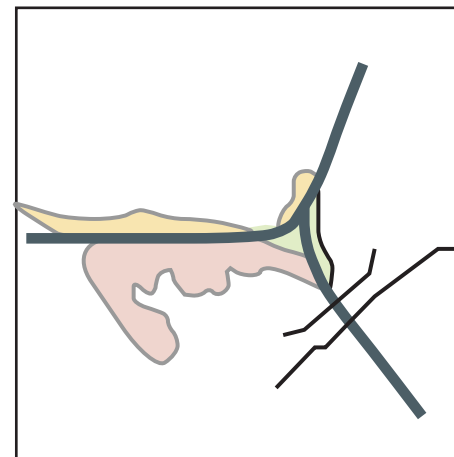
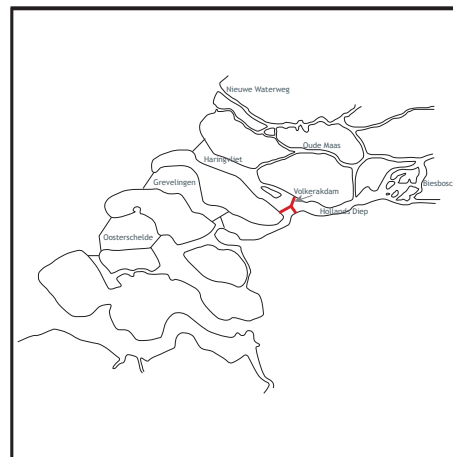
Tijdslijn







9. De Volkerakwerken



De aanleg van de Volkerakwerken was het vijfde project van de Delta werken. Het aanleggen van de verbindingen gebeurde via de getijdenplaten die er al lagen. De Ventjagersplaten en de Hellegatsplaten waren vroeger een groot intergetijdengebied met behoorlijk grote verschillen tussen eb en vloed. De eb- en vloedstromen waren krachtig en sletten diepe geulen uit. Bij harde wind of storm, in combinatie met op- of afgaand water, waren de Hellegatsplaten voor schippers een gebied met veel gevaren. De naamgeving van de geul, het Hellegat, herinnert aan deze gevaren. De verbinding tussen de Hoekse Waard, Goeree-Overflakkee en het westen van Brabant is met het aanleggen van de dammen en bruggen veel beter en sneller geworden. In plaats van de boot kunnen de inwoners nu over de weg. Het punt waarop de drie delen van de dam samenkomen heet het 'Hellegatsplein'. De reistijden van Zeeland naar Zuid-Holland werden enorm teruggebracht.

De Volkerakdam is een secundaire dam. De dam was nodig om andere primaire dammen, zoals de Oosterscheldekering, de Brouwersdam en de Haringvlietdam mogelijk te maken. De Volkerakdam heeft zowel een verbindende als een scheidende functie. Aan de ene kant verbindt de dam Noord-Brabant, Goeree-Overflakkee en de Hoekse Waard met elkaar. Aan de

andere kant scheidt de dam drie wateren: het Hollandsch Diep, het Haringvliet en het Volkerak. In feite bestaat de dam uit drie delen die samenkomen op het tegenwoordige Hellegatsplein:

1. Een dam van het Hellegatsplein naar Goeree-Overflakkee, de Hellegatsdam.
2. Een dam inclusief sluis van het Hellegatsplein naar Noord-Brabant, de Volkerakdam (afb. 57).
3. Een brug van het Hellegatsplein naar de Hoekse Waard, de Haringvlietbrug (afb. 55).

Men begon met de aanleg van de dam in 1957. Dit is een dichte verbinding van Goeree naar de Hellegatsplein.

De dam van Goeree naar het Hellegatsplein moest een 4,5 kilometer breed gat opvullen. Dit traject bestond uit twee delen. Het eerste deel was 4 kilometer lang en werd bekleed met asfalt (Afb. 54). Het tweede deel vormde de overige 450 meter en bestond alleen uit zand. Het werd opgehoogd tot +4,5 m. NAP. Zolang het Haringvliet nog niet was afgesloten (dat zou pas in 1971 gebeuren) stond de omgeving van de Volkerakdam elke 50 jaar een waterstand van +4,0 meter NAP bloot. Om voorbereid te zijn om deze situatie werd de dam +6,75 m. NAP gemaakt.

Vervolgens werd de verbinding gemaakt met Noord-Brabant. De verbinding loopt over de Plaat van Maltha.

Afb. 54 Het teren van de dam



Afb. 55 De Haringvlietbrug verbindt Goeree met Rotterdam.



Afb. 56 Oeverranden van keien met een bitumen afdeklaag onder de brug.



Afb. 57 De schutsluizen in de Volkerakdam verbinden Antwerpen en Rotterdam voor de scheepvaart.



Afb. 58 De Hellegatsplaten met Heckrunderen.



Het dichten van dit stuk gebeurde met de zogenaamde caissons. Er werd eerst een sluis aangelegd voor de Schelde-Rijn scheepvaart. Zo bleef de stad Antwerpen met Rotterdam verbonden. Tevens was het van belang dat er niet teveel zoet rivierwater van de Maas en de Waal het toen nog zoute Zeeuwse water binnenkwam. De sluizen werden gebouwd in een buitenpolder dicht bij het vestingstadje Willemstad.

Bij de bouw van dit deel van de dam moest veel rekening gehouden worden met de stroming van het water en de kracht van de wind. Ook het seizoen was belangrijk. De caissons zouden geplaatst worden tussen 8 en 25 april, omdat in die periode de minste stormen verwacht werden. Bovendien was de afwatering van de Waal en de Maas in april minder groot dan in maart. Om te voorkomen dat de bodem onder de dam weg zou spoelen, werd er een drempel gemaakt waarop de caissons zouden komen te staan. Verder werd de grond afgedekt om te voorkomen dat er op de lange termijn te veel zand zou wegspoelen. Zonder drempel zouden de caissons weggezakt zijn. Hoe kleiner het overgebleven stuk dat nog gedicht moest worden, hoe harder de stroming en hoe groter de schade aan de drempel zou zijn, dus was haast geboden.

De laatste plaatsing zou bij dooftij plaatsvinden. In totaal waren twintig dagen gereserveerd voor de hele operatie. De vloot van 7 sleepboten met een gecombineerde sleepkracht van 7.100 pk (meer dan 5,2 miljoen Watt) konden soms niets tegen het natuurgeweld beginnen.

Nadat een aantal overgebleven gaten met mijnsteen dichtgestort waren, werden op 28 april om 9h15 de 192 schuiven van de 12 doorlaatcaissons neergelaten. De Volkerakdam was dicht. Een ander lastig karwei stond nu op het programma: tegen 5,6 miljoen vierkante meter dam moest gespoten worden. De eerste miljoen vierkante meter was echter al na 3 weken klaar, met dank aan drie enorme zandzuigers: de Queen of Holland, de Concorde en de Versde.

Als laatste werd de brug aangelegd over het Haringvliet. Op de plek waar de drie delen samenkomen ligt een groot verkeersplein: het Hellegatsplein. In 1969 was het Volkerak afgesloten.

In de jaren '57 en '58 werd het meest westelijke deel van het sluitgat met caissons gedicht. Toen de brug naar de Hoekse Waard in 1964 af was, kon men de auto van Zeeland naar Zuid-Holland. In 1967 werden de twee schutsluizen opgeleverd. Uiteindelijk duurde het nog drie jaar voordat er een weg over dit oostelijke stuk dam lag.

De brug over het Volkerak is van ijzer en rust op een tiental pijlers. De brug is door deze constructie te laag om met een jacht te passeren. Om ervoor te zorgen dat schepen het Haringvliet kunnen binnenvaren of verlaten, is een deel van de brug daarom kantelbaar.



Afb. 59 De Hellegatsplaten worden beschermd met vooroevers tegen afslaan.

Afb. 60 De Kluut heeft het naar zijn zin op de Hellegatsplaten.



Afb. 61 De Hellegatsplaten zijn een geliefde plek voor vogelaars.



Afb. 62 De Hellegatsplaten worden begraasd door Fjordenpaarden.



Hellegatsplaten

Het gebied zoals het nu is, is in 1987 ontstaan toen door de Philipsdam de afsluiting van het Krammer-Volkerak een feit werd. Al snel ontstond er een gebied dat werd doorsneden met kreken, meertjes en poelen. Voor de afsluiting van de Krammer-Volkerak was de bodem zout. De platen kwamen alleen bij laag water droog te liggen. Na de afsluiting is het waterpeil vrij constant geworden, waardoor de Hellegatsplaten gedeeltelijk het hele jaar droog kwamen te liggen. Bovendien werd het zoute water na de afsluiting zoet. Het zand in de bodem raakte daardoor al spoedig ontzilt. Voor een deel zijn de platen inmiddels met bossen begroeid. De lagere kleiachtige delen zijn nu nog steeds zout en daar groeien specifieke zoutwaterplanten, zoals zeekraal en zeester. Dikwijls ligt een strook van deze zoute grond midden in een terrein waar de bodem ontzilt is. Zodoende zijn er plaatsen met zoutwatervegetatie temidden van zoetwatervegetatie. Dat maakt dit natuurgebied zo bijzonder.

Om te voorkomen dat het hele gebied geheel begroeid zou raken met bos, zijn er in 1993 Heckrunderen (afb. 58) en Fjordenpaarden (afb. 62) geplaatst voor de begrazing. Deze dieren behoeven weinig verzorging en kunnen het hele jaar buiten blijven, waardoor de natuurlijke begrazing het best wordt nagebootst.

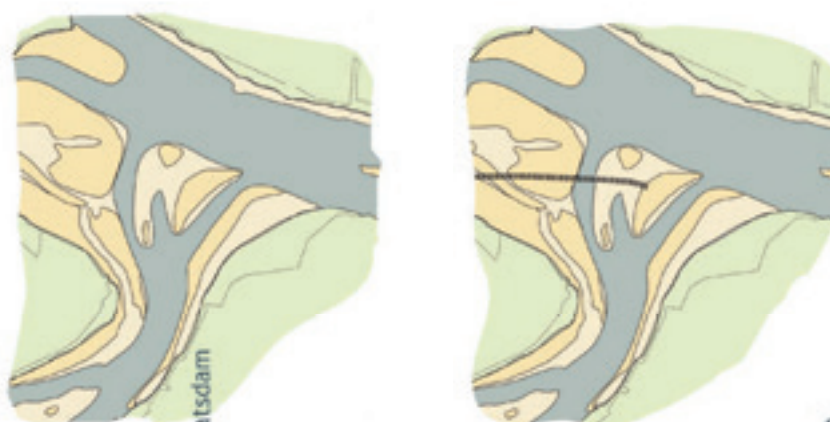
De Hellegatsplaten zijn vooral voor vogels een interessant gebied. Bijzondere broedvogelsoorten zijn: bruine kiekendief, blauwborst, kluut, visdief, grauwe gans en zwartkopmeeuw (afb. 60). In 1997 heeft Staatsbosbeheer samen met het Intergemeentelijk Samenwerkingsverband Goeree-Overflakkee (ISGO) en de gemeente Oostflakkee twee vogelobservatiehutten gebouwd. Op het tegenovergelegen gebied de “Ventjagersplaten” (ook gedeeltelijk toegankelijk) staat eveneens een vogelobservatiehut, genaamd “de visarend”. In 1999 is vlak bij het recreatiestrandje bij Ooltgensplaat een uitzichttoren gebouwd. Vanaf deze toren kan men de Hellegatsplaten helemaal overzien.



Stroming in Delta



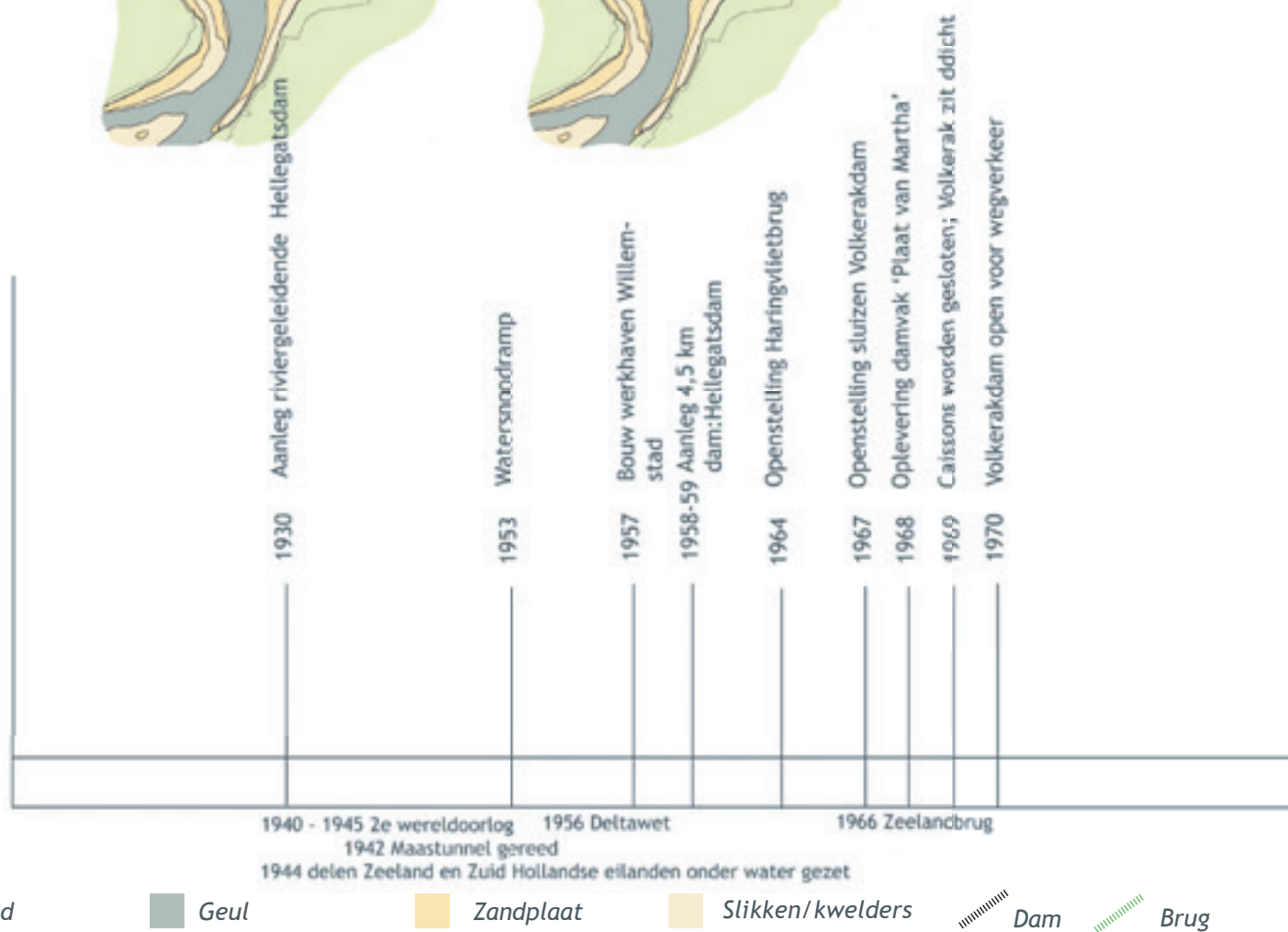
Morfologie Volkerak

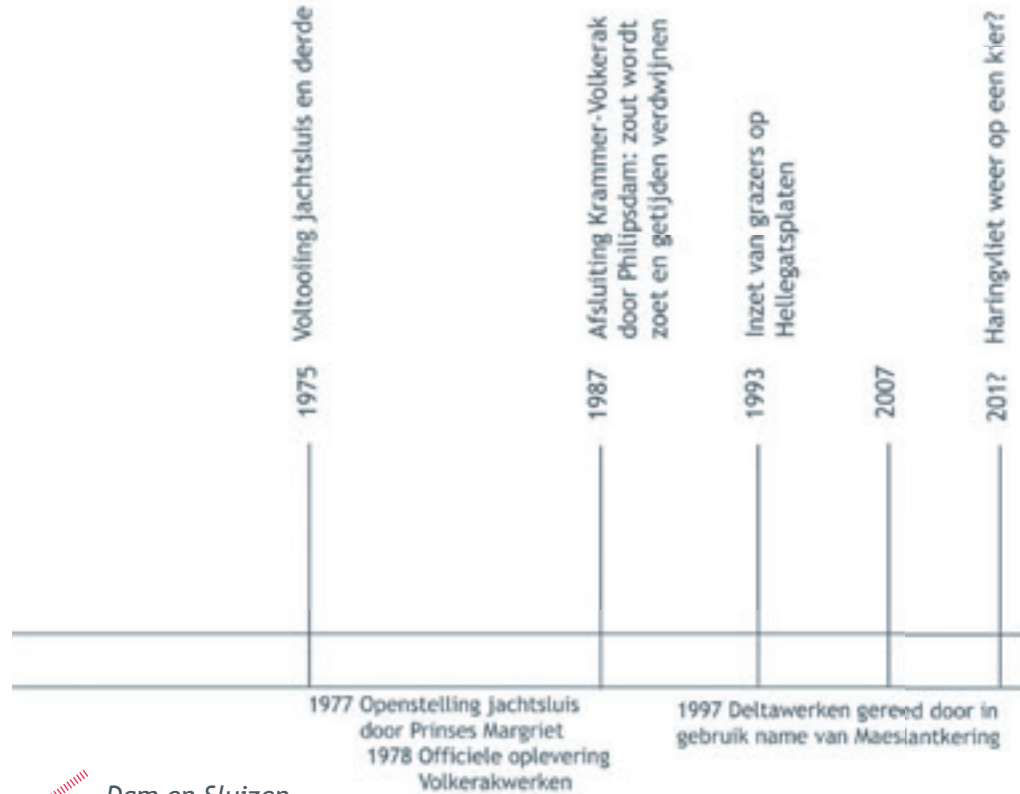


gebeurtenissen die van invloed
zijn geweest op de morfologie



Tijdslijn





 Dam en Sluizen



10. Ameland



De basis van de Waddeneilanden ligt rond 4000 jaar voor Chr. Er ontstonden in de Noordzee lange strandwallen voor de kust die onderbroken werden door rivieren vanuit het achterland. Achter deze strandwallen ontstonden uitgestrekte veenmoerassen en kwelders. Grote delen van het veen werden door inbraken van de zee ook weer weggeslagen. Zo ontstonden er eilanden. Op de strandwallen ontstonden later de huidige duinen. Ameland bestond oorspronkelijk bij hoogwater uit drie eilanden. Er is duidelijk de morfologie van drie eilanden te herkennen in de huidige vorm (figuur 46).



Figuur 46 Ameland bestond uit meerdere delen, door ingrepen is het een eiland geworden.

Afb. 63 Wash-over gebied op Ameland.



Afb. 64 Afslag van de duinen door storm, december 2011.



Afb. 65 Aangeplant helmgras, nog kwetsbaar gebied.



Afb. 66 Rijshout voor vorming van duinen op Ameland.



Afb. 67 Stuifduinen op Ameland.



De eerste permanente bewoners komen op Ameland rond de Middeleeuwen. Pas veel later ontstonden grotere nederzettingen aan de zuidzijde van de duinenrij. Toen lag er nog het dorp Sier in het westen en Oerd in het oosten. Beide dorpen zijn weer in de zee verdwenen.

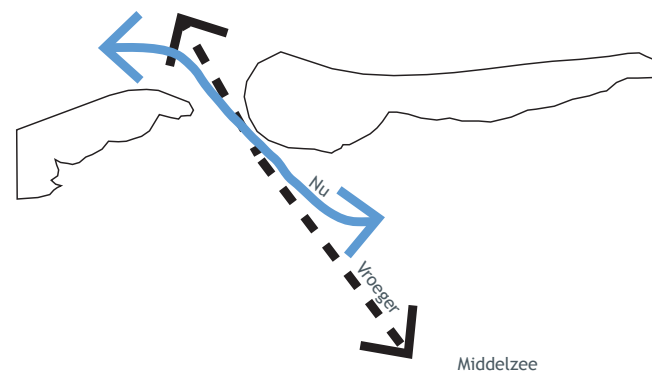
Vanaf 1800 is de strijd begonnen tegen de overstromingen en erosie van de kust. Ameland werd in 1814 bestuurlijk bij de provincie Friesland ingedeeld en er kwam Rijkstoezicht. In eerste instantie is er ingezet op het verbinden van de eerste twee eilanden door het aanleggen van een moldijk/mochdijk in 1808 (mislukt) en 1846. Nog later werden er zogenaamde stuifdijken aangelegd. Hiervoor werden matten of natuurlijke schermen van riet, rijshout of dennentakken aangebracht op de kust waarna de wind in de luwte hiervan het meegevoerde zand neerlegt (afb. 66). Als het scherm ondergestoven is wordt hier bovenop een nieuw scherm geplaatst.

In 1855 wordt het derde eiland met de andere twee eilanden verbonden door een stuifdijk. Hiermee is het eiland Ameland een geheel geworden. Er worden later nog enkele stuifdijken aangelegd voor extra versteviging.

Aan de wadzijde vond voortdurend afslag plaats door de ligging van een diepe geul ten zuiden van het eiland. In 1846 is er een 1200 meter lange geleidedam aangelegd om deze erosie tegen te gaan. In 1843 begon men met het aanleggen van een harde kustverdediging aan de zuidzijde van het eiland. In 1930 is deze dijk gereed en ligt Ameland redelijk vast. In 1947 is er in de westzijde van Ameland een viertal zinkstukken met steenbestorting aangebracht ter voorkoming van de duinafslag. Ze houden de eroderende geulen op een veilige afstand.

Op grotere schaal is de ligging van de diepe geul terug te voeren op het afsluiten van de Middellzee. Liep de geul vroeger de Middellzee in, na afsluiting is hij afgebogen naar het oosten (figuur 47).

Na de aanleg van de stuifdijken konden er op grote schaal kwelders ontstaan. Vooral het oostelijk deel van Ameland is hiervoor geschikt. Door inpoldering en afslag is er veel kwelder verloren gegaan. Ten zuiden van de duinenrij had je de Grieën, zilte graslanden die bij extra hoogwater nog overstromden. Ze werden gebruikt als gemeenschappelijke weide. Na de aanleg van de zeedijk werden de gronden ingepolderd en vond er ruilverkaveling plaats. De ontwatering werd geregeld ten behoeve van de landbouw. Kenmerkende structuren zoals slenken, wielen en verspreid liggende duintjes verdwenen. In het oosten werden bossen aangeplant waardoor het open landschap hier verdween.



Figuur 47 Het verplaatsen van de geul door afsluiting Middellzee



Afb. 68 De slufte op Oost-Ameland wordt beïnvloed door de bodemdaling.



Afb. 69 Eroderende geul langs kust Ameland.



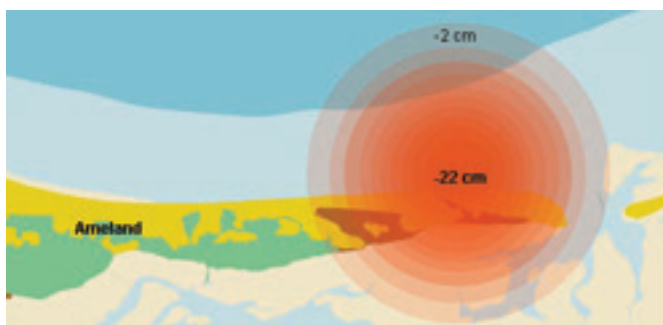
Afb. 70 Natuurlijk ontstane vegetatie op Amelandse kust.



Afb. 71 Booreiland bij Ameland.



Sinds 1986 wordt er gas gewonnen op Ameland-Oost (afb. 71). Hierdoor vindt er een bodemdaling plaats met een straal van 6 kilometer rondom het winningspunt (figuur 48). De grootste bodemdaling bedraagt 30 cm in 2010. De bodemdaling heeft effect op de water- en sedimenthuishouding van het wad, de kwelders en de duinen. Waterdiepte, stroomsnelheid, de duur van droogvallen van bepaalde oppervlakten en de overstromingsfrequentie worden beïnvloed. De morfologische effecten op de Noordzeekust zijn door de bodemdaling nauwelijks zichtbaar. Dit komt door de grote zanddynamiek. Extra zandsuppleties compenseren de extra zandvraag door de bodemdaling (figuur 49,50). De hogere kwelders en lage gelegen natte duinvalleien worden wel beïnvloed door de bodemdaling. Doordat deze verder van de kust liggen kunnen deze niet meer opslibben of aangroeien en komen relatief lager te liggen. De overstromingsfrequentie en -duur van kwelders neemt toe. Dit heeft effect op de water- en sediment huishouding en daarmee op de waterkwaliteit en -kwantiteit en kwelderomorfologie.

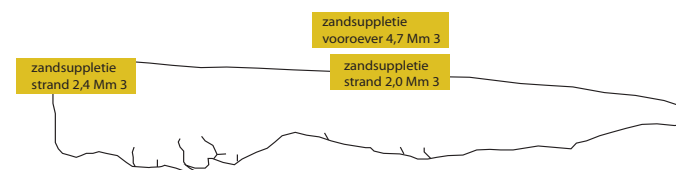


Figuur 48 De bodemdaling door gaswinning op Ameland.

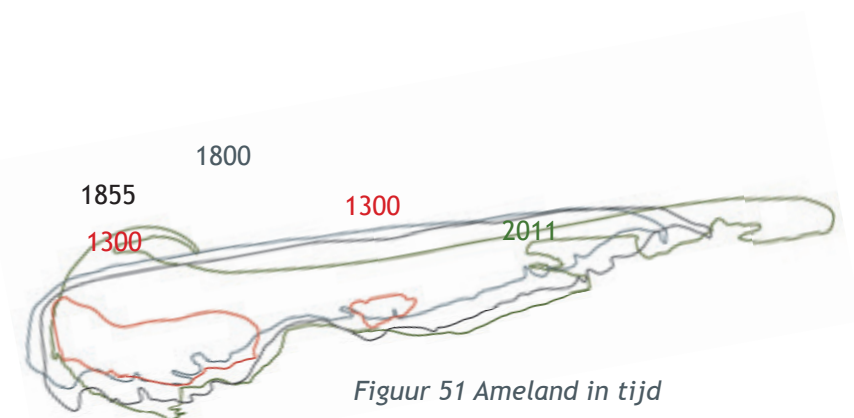
Het beleid van Rijkswaterstaat was “vasthouden wat je hebt en vastleggen wat je kunt winnen.” Na 1990 is er een nieuw beleid ontstaan. De laagwaterlijn wordt gehandhaafd zoals die in 1990 ligt. Als de kustlijn afneemt wordt er zand gesuppleerd op het strand of vlak voor de kust in zee. Natuurlijke processen krijgen een kans. Op veel plaatsen hebben rechte takkenschermen plaatsgemaakt voor natuurlijk ontstane vegetatie (afb. 70).



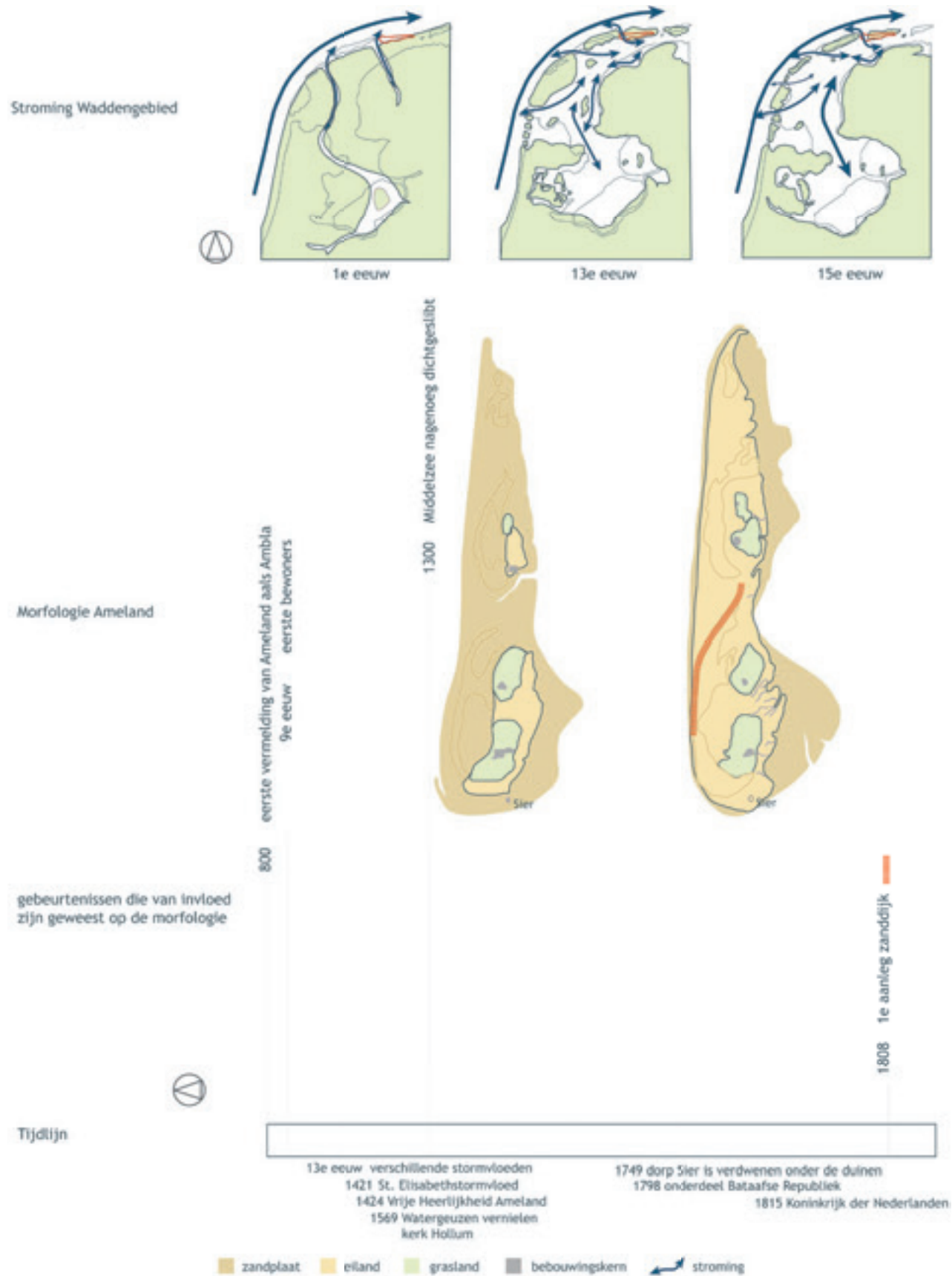
Figuur 49 Aanwas en erosie op Ameland.

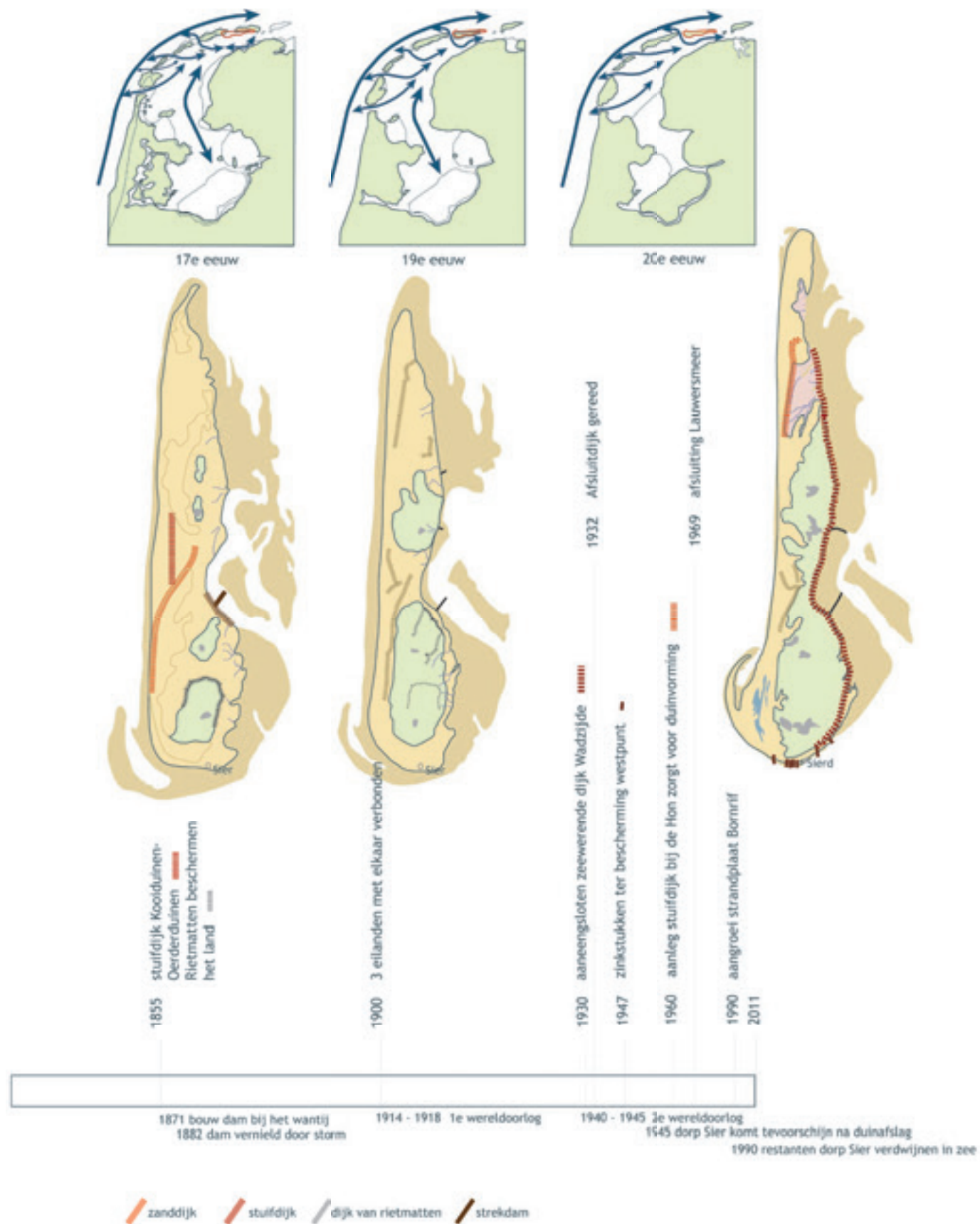


Figuur 50 Zandsuppleties vullen de tekorten aan.



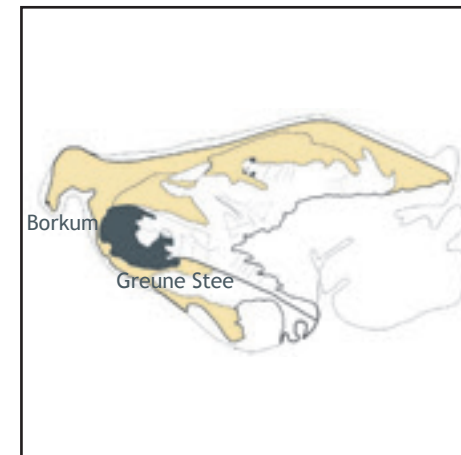
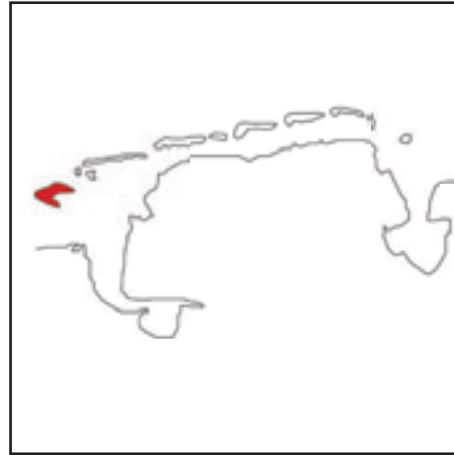
Figuur 51 Ameland in tijd







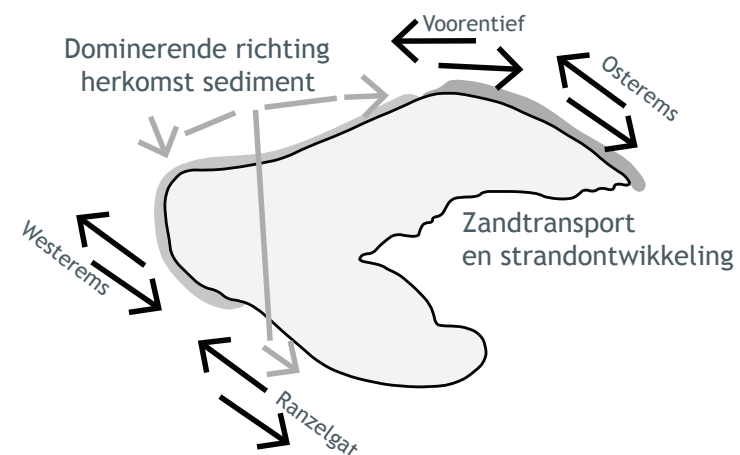
11. Borkum



Het eiland Borkum is het eerste Duitse eiland in de rij van de Waddenzee (zie hoofdstuk Ameland). Borkum ligt ten noorden van de monding van de Ems. Het ligt dicht bij het Nederlandse vasteland dan bij het Duitse vasteland. Na de Tweede Wereldoorlog was er eerst sprake van dat het eiland bij Nederland zou gaan horen.

Een eerste rondgang over het eiland Borkum geeft een heel ander beeld van een waddeneiland dan de Nederlandse Waddeneilanden. De kust bij Borkum oogt meer als Scheveningen. Hoogbouw en wandelpromenades/boulevards zijn van harde materialen (afb. 72). Een spoorlijn verbindt de haven met de kust. Kijken we even iets verder dan de eerste aanblik, dan blijken er toch veel overeenkomsten te zijn.

Vier hoofdstromen bepalen de groei van het eiland Borkum. Naast de eb en vloedstroom bepaalde ook de Westerems de vorm van het eiland. Deze stroom verplaatste zich in de loop der jaren steeds meer naar het oosten (figuur 52). Dientengevolge is er op het eiland in het noordelijk gedeelte de oude duinen gevormd door het afzetten van grote hoeveelheden zand en in het westen de Greune Stee, (een bos op het zuidelijk deel van het eiland met natte graslanden, berkenbroekbos, open water en veengebiedjes, dat gedeeltelijk door zeewater wordt overspoeld.)



Figuur 52 Hoofdstromen Borkum
Bron: Schautafel des Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer

Afb. 72 De westkust van Borkum.



Afb. 73 Well nei will dieken, de mutt wieken : duidelijke taal!



Afb. 74 Zeehonden op de Hohe Riff, een beschermd natuurgebied.



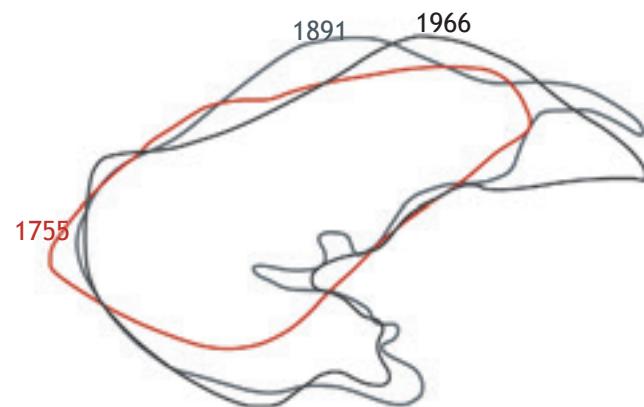
Afb. 75 De Hohe Riff ten noorden van Borkum.



Afb. 76 Harde kustverdediging rond Borkum.



Rond 1850 was er nog een 1700 meter brede doorlaat tussen het oostelijk en westelijk deel van Borkum, het Grote Gat. Er stroomde een priel tussen de twee gebieden. Door de aangroei van duinen, het aanleggen van dammen en dijken is in 200 jaar tijd het gat gesloten. Pas in 1864 is het gelukt het grote gat met een vaste dam: de Hinterwall, te dichten. Het is een duinwal die met duinroos is begroeid. De dam was de enige verbinding tussen de twee delen. De beide delen laten duidelijk een hoefijzervorm zien die typerend is voor veel Waddeneilanden. De Tüskendör-Heller is tegenwoordig het wash-overgebied dat vroeger bij hoogwater Borkum in twee delen verdeelde. De voormalige priel wordt nu Hopp genoemd en is veel groter geworden. Sinds 1932 is deze van de zee afgesloten. Door een zijl vindt uitwisseling met de Waddenzee plaats. De haven op het zuidelijke puntje is in 1888 met een brug met het eiland verbonden.



Figuur 53 Verandering van de ligging van het eiland Borkum door getijdenstromingen in de trechtermond-ing van de Ems.

Op het eiland werden kustbeschermingsmaatregelen genomen om landverlies tegen te gaan en het wandelen van het eiland tegen te gaan. Nadat de mens eerst vooral de duinenvorming verstoorde door overbe-weiding, brandhoutoogsten etc. werden maatregelen genomen om de duinen te beschermen. Kaalgevreten duinen werden herplant met helmgras en matten van

rijshout werden geplaatst om duinvorming te bevorderen. De duinen mogen vanaf dan ook niet meer worden betreden. 150 jaar geleden begon men aan de west kust met massieve bouwwerken als betonnen strandmuren en kribben voor kustbescherming (afb. 76). Het zandstrand van Borkum is 15 kilometer lang. Achter het strand liggen de duinen. Aan de zuidkant van de duinen liggen polders en kwelders. De lage delen worden tegenwoordig door dijken beschermd, zoals de Tüskendörheller waarop zich nu ook het vliegveld bevindt. Sinds 1973 beschermt een zeedijk dit gebied. Tegenwoordig ligt de Tüskendörsee in een rustgebied en de omringende natte gebieden zijn belangrijke vogelgebieden. De Tuskendorsee is ontstaan door het winnen van zand voor het aanleggen van de Tuskendor-dijk in 1975-76.

Ten noorden van Borkum ligt al eeuwen een zandplaat (afb. 74, 75). Menig schip is hier met slecht weer op vastgelopen. De zandbank Het Hoge Riff ten noordwesten van het eiland is steeds meer naar het eiland toegegroeid en kan nu per voet bereikt worden. Het mag echter niet betreden worden want het is een natuurgebied waar onder andere veel zeehonden verblijven.

Door de dijkenaanleg op het vasteland werden de eilanden indirect beïnvloed. Het getijdenvolume veranderde namelijk hierdoor en daarmee ook het transport van sediment. Hierdoor is bijvoorbeeld het eiland Spiekeroog veel langer geworden door de aanleg van de Harde-dijk.



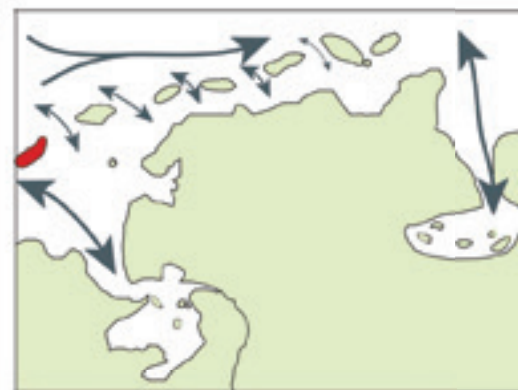
Figuur 54 Borkummer Riff, berucht en beroemd. Hier als tabak.



Stroming Duits
Waddengebied

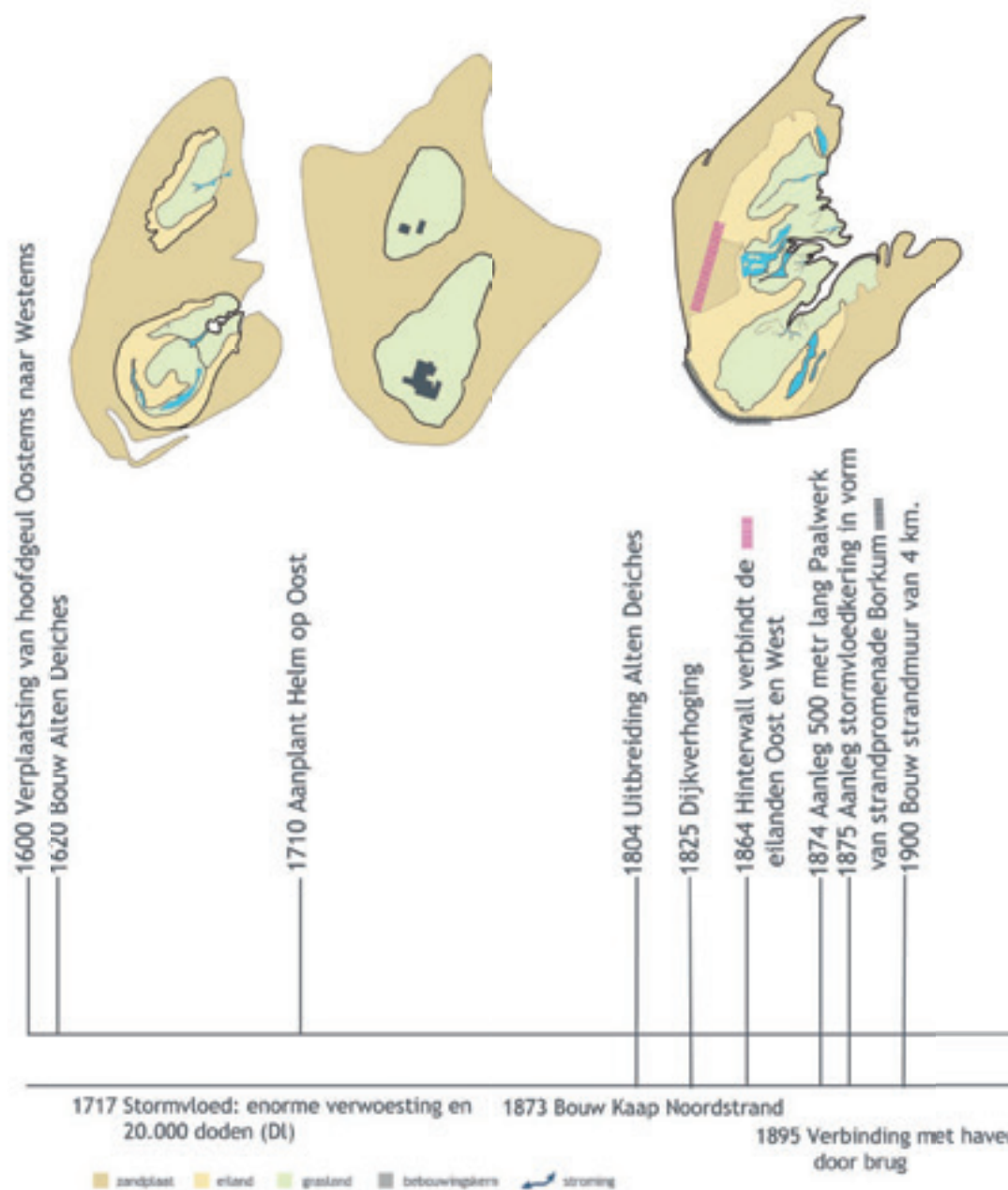


16e eeuw



17e eeuw

Morfologie Borkum

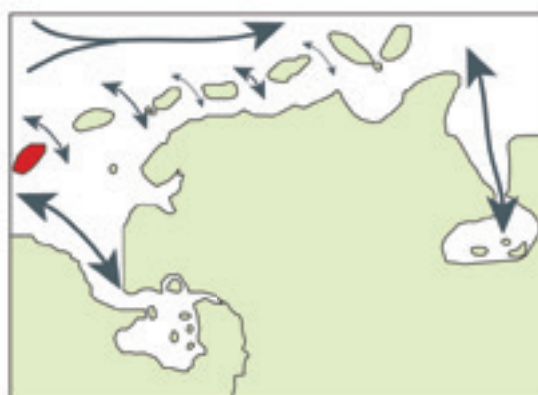


gebeurtenissen die van invloed
zijn geweest op de morfologie

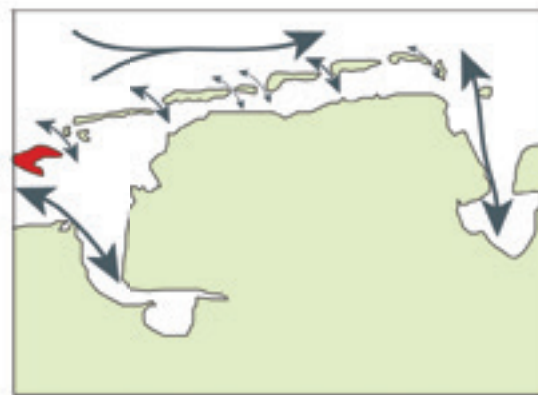


Tijdslijn





18e eeuw



20e eeuw



1932 Hopp afgesloten van zee
1934 Bouw zeedijk Sommerdeich

1963 Dijk: Schienen zum Hafen

1971 Bouw Deckwerkes am Sudstrand

1974 Bouw zomerdijk: ontstaan Hoppsee door baggeren

1975-77 Verhoging zomerdijk: ontstaan Tüschendorsee

1976 Vernieuwing Hindenburgdamm

2009 Voorstel verhogen promenade
2011 Aanvang verhogen promenade

1914 - 1918 Eerste Wereldoorlog

1940 - 1945 Tweede Wereldoorlog

1973 Dijkdoorbraak: grote
overstroming op Oost

1975 Verwoesting Hindenburgdamm

stuifdijk

strekdam





‘Alles op een rij’

Afb. 77 Palenrij



12. Context

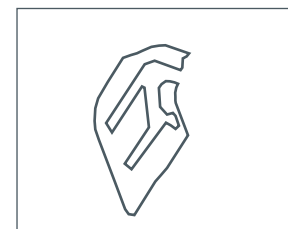
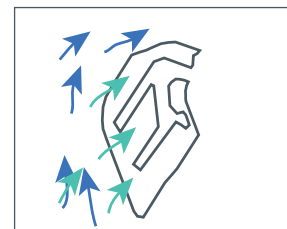
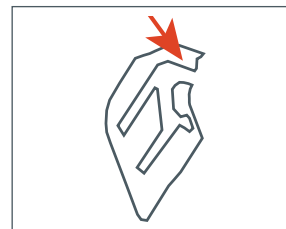
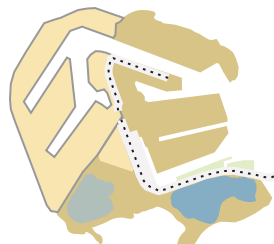
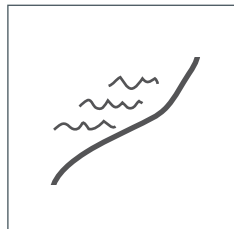
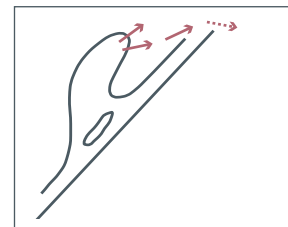
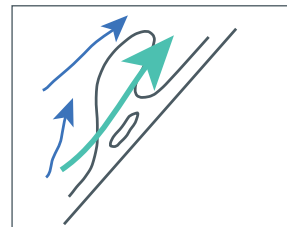
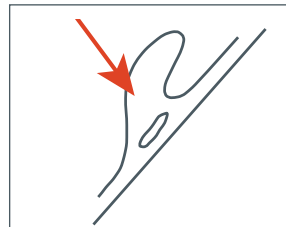
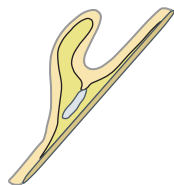
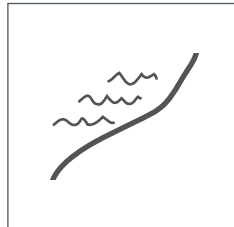
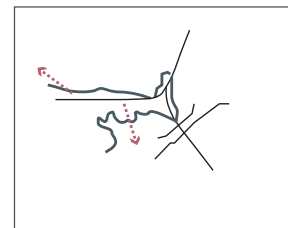
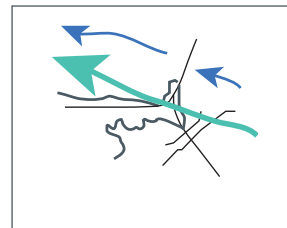
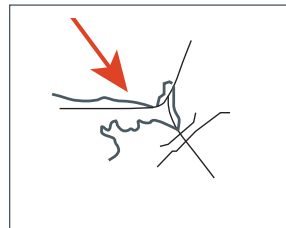
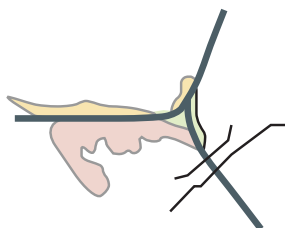
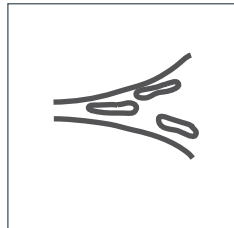
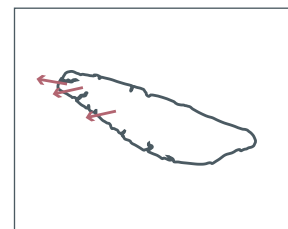
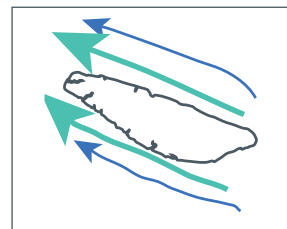
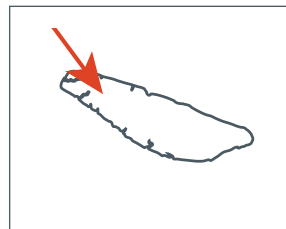
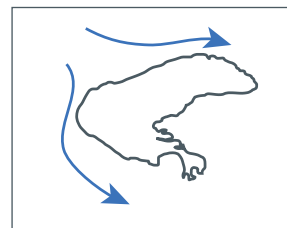
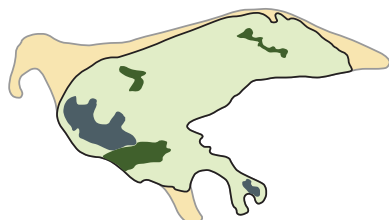
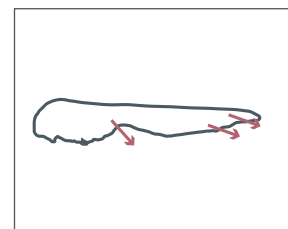
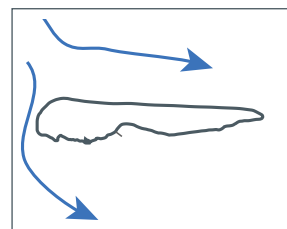
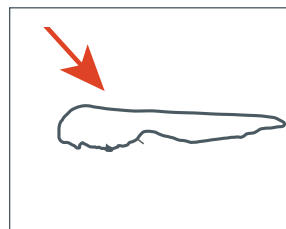
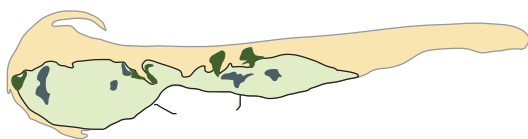
systeem

eiland

overheersende windrichting

stroming

richting uitbreiding



zand/
strand

zand/
strand

grasland

bos

water

kwelder

bebouwing

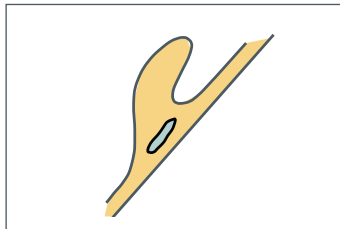
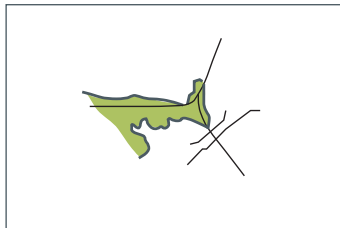
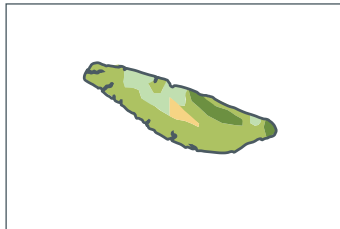
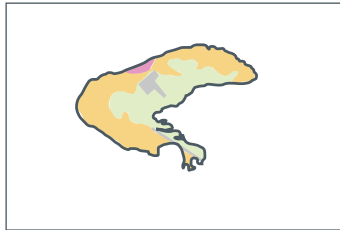
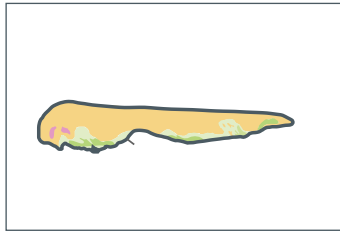
polder

huidig

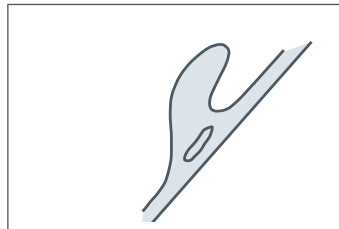
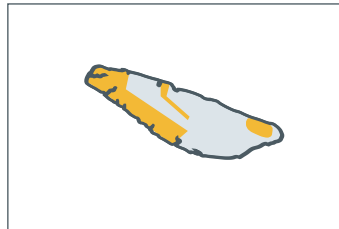
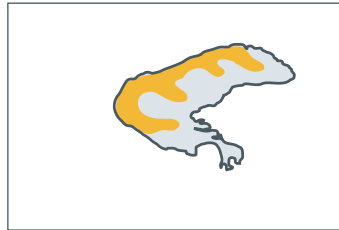
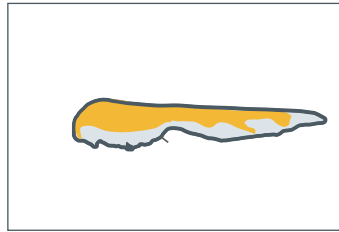
voormalig



bodem



hoog/ laag verdeling



conclusies

- Breedste kant eiland stroomopwaarts.
- Stroomrichting water meer bepalend voor de vorm dan windrichting.
- Aangroei eiland stroomafwaarts.
- Windkant is hoogste kant.
- Zandhaak aanwezig op Noord-oostkust.
- Zand aan windzijde, zavel aan luwe zijde. Grootste deel zand.

- Noordkant/windkant meer afgevlakt dan zuidkant.
- Breedste kant eiland stroomopwaarts.
- Stroomrichting water meer bepalend voor de vorm dan windrichting.
- Aangroei eiland stroomafwaarts.
- Hoogste kant zijn de kwelders aan de aangroeikant.
- Bodem vooral zavel en klei.

- Bolle zijde stroomopwaarts.
- Bodem van zand.





13. Ingrepen

systeem



dijk

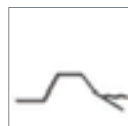
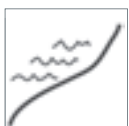
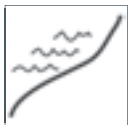
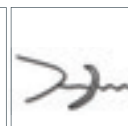
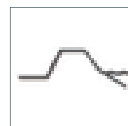
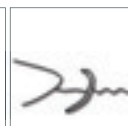
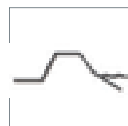
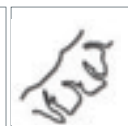
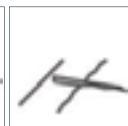
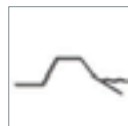
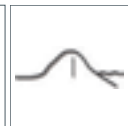
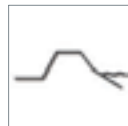
strekdam

golfbreker

stuifdijk

kwelder

zandsuppletie



hard

—————> zacht

zand/
strand

grasland

bos

water

kwelder

bebouwing

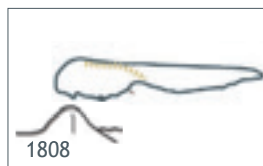


1e ingreep

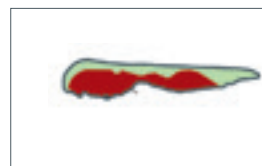
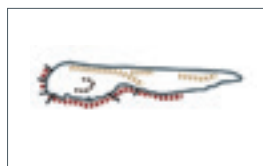
vervolgingrepen

door hard beschermd
door zacht beschermd

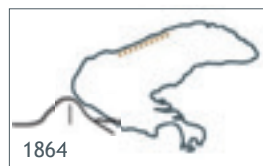
conclusies



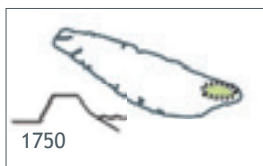
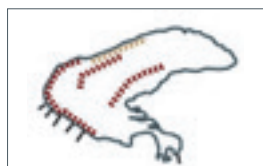
1808



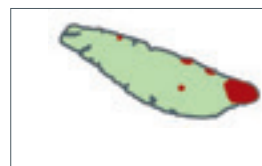
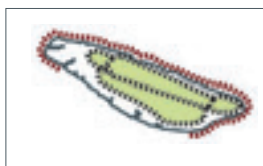
- De eerste ingreep was aan de noordzijde
- Aan de west, noord en zuidkant is kustbescherming noodzakelijk
- De eilanden worden aan de west- en zuidkant beschermd door dijken en strekdammen
- Aan de noordzijde door stuifduinen, waarvoor zandsuppletie nodig is
- Kwelders worden ingezet als kustbescherming



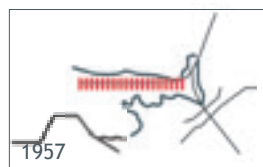
1864



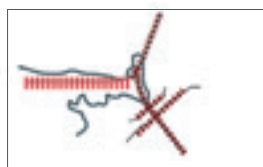
1750



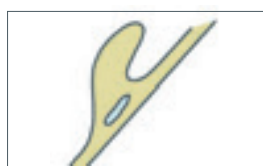
- In het Haringvliet ontstaan kwelders aan de luwe zijde
- Golfbrekers beschermen tegen afslag
- Kwelders zijn natuurlijk ontstaan, worden niet ingezet als oeverbescherming
- Tiengemeten was rondom bedijkt om te beschermen tegen afslag



1957



2010



- Landwinningen aan de Noordzeekust bestaan uit zandsuppleties
- Dijken worden gebruikt om kust te beschermen
- (Kunstmatige) duinen worden gebruikt om kust te beschermen



2009



beschermd door
zachte oever-
bescherming

beschermd door
harde oever-
bescherming

zand

stuifdijk

dijk

polderdijk







14. Conclusies en aanbevelingen

In ons onderzoek hebben we gekeken hoe eilanden zijn gevormd en veranderd in verschillende dynamische watersystemen met als doel mogelijkheden voor het aanleggen van eilanden in die systemen boven water te krijgen. We zijn daar in geslaagd door eerst te kijken hoe de systemen werken en daarna (schier)eilanden te bezoeken en te analyseren. We hebben de (schier)eilanden in historisch perspectief geanalyseerd. Hieruit kunnen we een aantal algemene conclusies trekken maar vooral kunnen we per watersysteem wetmatigheden benoemen.

Conclusies per (schier)eiland

Zandmotor

Proces verloopt in 20- 30 jaar.

Het eiland verdwijnt in die tijd.

Er is geen kustbescherming.

Bestaande stroming lijkt weinig te worden beïnvloed.

De vorm wordt bepaald door de nevenfuncties (natuur en recreatie. Bron: J. Fiselier).

Hoofdfunctie is kustverdediging.

2^e Maasvlakte

De vorm ligt vast.

Vorm is beïnvloed door de vorm van de Zeeuwse eilanden en de toekomstige functies

Harde bescherming ligt aan de windzijde, zachte aan de stromingszijde.

Bestaande stroming lijkt weinig te worden beïnvloed.

Hoofdfunctie is landwinning ten bate van industrie.

Tiengemetten

Proces van lange termijn, grote schaal.

Eerste ingreep relatief hard (kleidijk).

Vervolgingrepen hard, nu zacht.

Vorm is sterk bepaald door de stroming.

Na afsluiten van het Haringvliet, waarmee getij verdween, was rondom bescherming tegen golfslag noodzakelijk.

Tiengemetten is natuurlijk ontstaan, ingepolderd en vastgelegd door de mens. Is nu weer ontpolderd.

Landwinning door inpolderen.

Volkerak

Door het ontbreken van kaarten met de ontwikkeling van de kwelders zijn er geen conclusies te trekken over het verloop van de processen.

De zandplaten zijn verdwenen na het verdwijnen van het getij na afsluiting van het Haringvliet.

Veel bescherming tegen golfslag aangelegd.

Infrastructuur en zeewering zijn gecombineerd in een dam, dijk en brug.

Ameland

Proces van lange termijn, grote schaal.

Vorm is sterk bepaald door de stroming, ook op grote schaal.

Eerste ingreep was een (zachte) stuifdijk.

Vervolgingrepen waren achtereenvolgens zacht- hard- nu zacht waar het kan.

Ameland is natuurlijk ontstaan, vervolgens vastgelegd door de mens.

Hiervoor zijn veel ingrepen noodzakelijk.

Ontstaan door verbinden van verschillende eilanden.

Landwinning vindt plaats door kwelderwerken.

Borkum

Proces van lange termijn, grote schaal.

Vorm is sterk bepaald door de stroming, ook op grote schaal.

Eerste ingreep was een (zachte) stuifdijk.

Vervolgingrepen waren hard.

Borkum is natuurlijk ontstaan, vervolgens vastgelegd door de mens.

Hiervoor zijn veel ingrepen noodzakelijk.

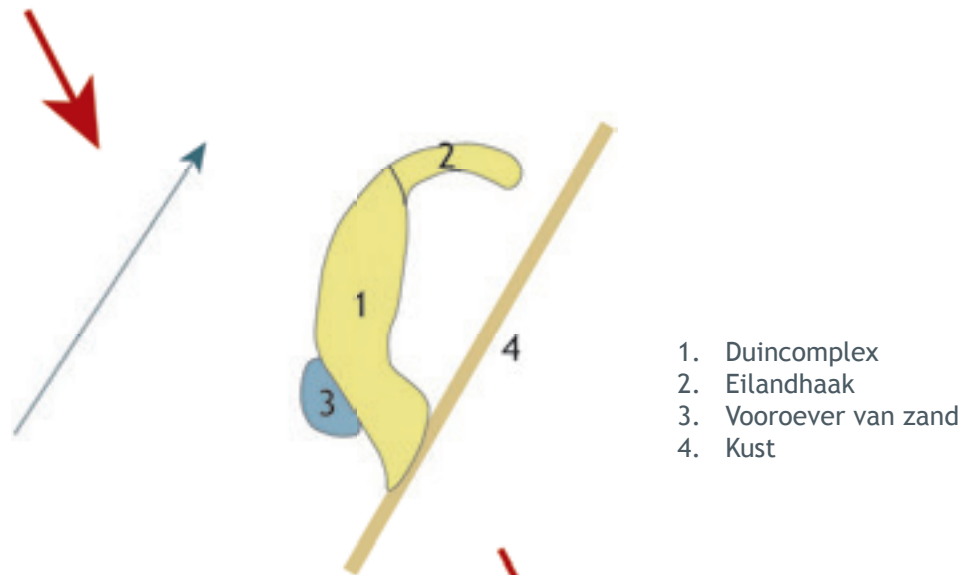
Ontstaan door verbinden van verschillende eilanden.

Landwinning vindt plaats door kwelderwerken.

Promenade doet dienst als zeewering.

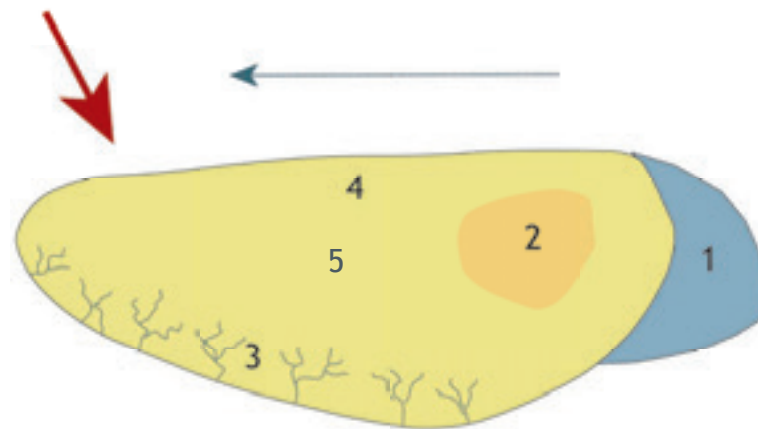


Modeleiland Kust

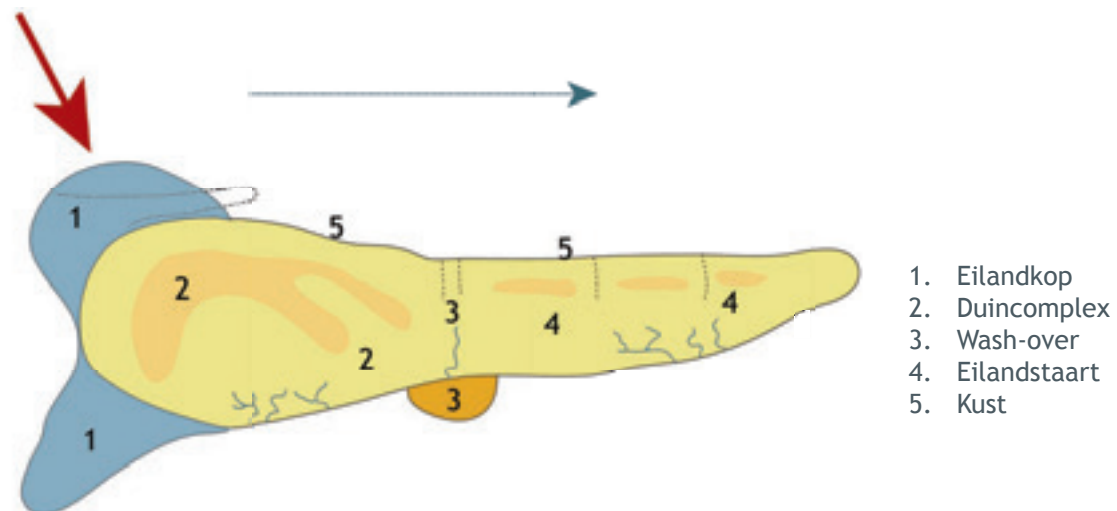


Modeleiland Estuarium

1. Eilandkop
2. Hoogstepunt, basis eiland
3. Kwelders, aangroei
4. Vooroever, afslagkant
5. Basis eiland



Modeleiland Wadden





Conclusies per dynamisch watersysteem

De Kust

Eilanden liggen evenwijdig aan de kust.

Er liggen geen natuurlijke eilanden (meer) voor de Noordzeekust.

De vorming van duinen is een proces op middelgrote schaal.

Vorming van strandwallen is een proces op grote schaal.

De strand- en duinvorming is nu afhankelijk van zandsuppleties.

De kust wordt veelal beschermd door duinen en dijken.

(schier) eilanden zonder zeewering verplaatsen en verdwijnen.

Stroming en wind zijn van grote invloed op de vorm.

De vorm van een eiland in een kustsysteem is terug te brengen naar een modeleiland.

Estuarium

De eilanden liggen haaks op de kust, evenwijdig aan de stroming in het estuarium.

Er treedt geen duinvorming op, wel plaatvorming.

De vorm van de eilanden is sterk bepaald door de stroming. De wind lijkt van mindere invloed te zijn. Van invloed zijn processen op grote schaal.

Vorming vindt plaats op lange termijn.

De breedste kant ligt stroomopwaarts, hier vindt ook enige aangroei plaats.

De aangroei vindt plaats aan de luwe zijde.

De aangroei stopt als er geen getijdeninvloed meer is.

In een afgesloten estuarium is veel bescherming tegen golfslag noodzakelijk om het eiland te behouden.

Kwelders worden niet ingezet als oeververdediging, wel beschermd als natuurgebied.

De vorm van een eiland in een (afgesloten) estuarium is terug te brengen naar een modeleiland.

De Wadden

De eilanden in het Waddengebied liggen evenwijdig aan de kust. Ze zijn langgerekt, waarbij de lengte-breedte-verhouding bepaald wordt door de getijdeamplitude.

De huidige eilanden zijn ontstaan doordat de mens meerdere natuurlijk eilanden met elkaar heeft verbonden door middel van een stuifdijk.

Er is een duidelijk verschil in de morfologie aan de noordkant en de zuidkant van het eiland, dit wordt bepaald door de stroming direct rond het eiland en door processen op grote schaal.

De wind lijkt van mindere invloed te zijn dan de stroming.

Vorming vindt plaats in een tijdschaal van eeuwen.

De breedste kant van het eiland ligt stroomopwaarts, stroomafwaarts ligt een staart. Dit is ook de plek waar het eiland 'aangroeit'.

Aan de west/noord-west zijde ontstaat een zandhaak.

Om de vorm van het eiland te behouden zijn aan de west- en zuidkant zeedijken en strekdammen noodzakelijk.

Aan de noordkant kan duinvorming plaatsvinden. Daar is wel zandsuppletie voor noodzakelijk.

Aan de luwe, zuid/zuid-oost zijde worden kwelders ingezet als zeewering.

De vorm van een eiland in het Waddensysteem is terug te brengen naar een modeleiland.





Algemene conclusies en aanbevelingen.

- Een eiland is onderdeel van een systeem in zijn directe omgeving, maar ook van een systeem op grotere schaal. Beiden zijn van grote invloed. Bij het ontwerpen van een eiland moet hier rekening worden gehouden.
- Processen van lange termijn gaan over grotere afstanden. Building with Nature vraagt meer tijd omdat dat gebruik maakt van die processen. Hoe verder projecten zich situeren in de toekomst, hoe minder specifiek ze kunnen zijn.
- Het systeem waar het eiland in ligt is van grotere invloed dan de tijdsfactor.
- De huidige gekozen kust- en oeverbescherming is bepaald door de functie; bij een economisch belang is dit een vastliggende dijk, bij een natuur-functie is dit een min of meer natuurlijke zeewering die meegroeit met het systeem.
- De ontwikkeling van zachte, natuurlijke vormen van kust- en oeverbescherming is in volle gang, maar veelal nog experimenteel. In verband met de te verwachten klimaatverandering en de gevolgen hiervan is het van groot belang hiermee door te gaan.
- Het is mogelijk om een modeleiland te ontwikkelen per systeem. Dit model kan als basis dienen voor het vormgeven van een nieuw eiland.
- Het is mogelijk om per systeem, met gebruik van de tijdschaal, ontwerphandvatten te formuleren.



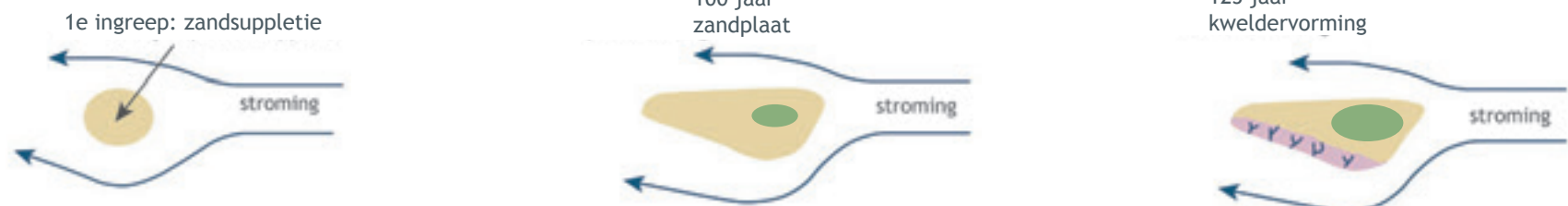
Ontwerphandvat kust 1



Ontwerphandvat kust 2



Ontwerphandvat estuarium



Ontwerphandvat Wadden, in de lagune





15. Handvatten voor ontwerpers

Naar aanleiding van de conclusies hebben we enkele ontwerphandvatten geformuleerd die het mogelijk maken om een eiland te laten ontstaan in een dynamisch systeem.

Om een eiland te beginnen zal er een eerste ingreep gedaan moeten worden. Afhankelijk van het systeem en de uiteindelijk gewenste vorm zal dit een min of meer harde basis moeten zijn. De tijd die nodig is voor het vormen van het eiland wordt bepaald door het systeem. Met meer ingrepen is het proces te versnellen.

Kust

We hebben twee varianten opgesteld, een eiland en een schiereiland. Bij beiden is het verloop hetzelfde, alleen het uiteindelijk beeld is variabel. De tijdslijn voor het ontstaan van een eiland is minimaal 50 jaar. Dit is mede afhankelijk van de oorspronkelijke diepte.

Estuarium

In een estuarium kan volstaan worden met een zandsuppletie als basis. De sedimentatie volgt bij voldoende stroming. De zandplaat breidt zich uit stroomafwaarts in asymmetrische vorm. Na de vorming van een basiseiland kunnen er kwelders ontstaan aan de luwe zijde van het eiland.

Wadden, in de lagune.

Aan de stroomopwaartse kant wordt een dam gelegd. Hierdoor verplaatsen geulen in het systeem. Achter de dam vindt er sedimentatie plaats en ontstaan er uiteindelijk zandplaten. Deze komen uiteindelijk boven HW niveau te liggen waardoor er permanente begroeiing mogelijk is.

Op een nieuw eiland op de hoogte van de barrière eilanden zou ook duinvorming plaats vinden.



Bronnen:

Literatuurlijst:

An Introduction to Physical Geography and the Environment. Second Edition. 2008. Pearson Education Limited, England.

Natuurlijk Ameland, uitgave van Staatsbosbeheer en It Fryske Gea. 2006. Ameland

Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost. november 2011. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland.

Haslett, S.K. *Coastal Systems*. 2003. Routledge, London.

Walter, J. 2001. *Die Ostfriesischen Inseln*. Seminar zur Regionalen Geographie Nordwestdeutschland. Stuttgart

Reh, W., Steenbergen, C., Aken, D. *Zee van Land. De droogmakerij als atlas van de Hollandse landschapsarchitectuur*. 2005. Stichting Uitgeverij Noord-Holland.

Beschrijving huidige situatie Haringvliet. 2011. Uitgave Rijkswaterstaat.

Met open armen. 2011. WNF.

Velden, van der. J.W., Leusen, van. B. *Zeeweringen*. 1998. Educatieve Partners Nederland, Houten.

Bos, R., Bout, van den. J., Ploeg, van der. J., Tilburg, van. H. *Landschappelijk wonen 34 voorbeelden in en om de stad*. 2012. Uitgeverij Blauwdruk.

Fiselier, J., Jaarsma, N., Baptist, M., Vries, de. M., Wal, van de. M., Stapel, J., Wijngaart, van der. T. *Perspectief natuurlijke keringen*. 2011. Ecoshape Building with Nature.

Internet:

www.schoenbeck-borkum.de/geschichte-borkum-07-1700.html

www.seafriends.org.nz

www.natosti.uni-oldenburg.de

www.bjoern-dannenhau.de/inselwangeroooge.htm

www.ozcoasts.gov.au

www.zeeweringen.nl

www.zeeinzicht.nl/vleet/index.php?use_template=vleet_template.html&item=zee&pageid=bodemdaling-door-gaswinning.htm

www.rijkswaterstaat.nl

www.innoverenmetwater.nl

www.waddenzee.nl

www.ecomare.nl

www.deltawerken.com

www.deltares.nl

www.zandmotor.nl

www.tiengemeten.com

www.ark.eu

www.stroming.nl

www.maasvlakte2.com

www.de-zandmotor.nl

www.ameland.nl

www.waddenzee.nl

Afbeeldingen:

Afbeeldingen: 21, 22, 24, 40, 44, 51, 52 Rijkswaterstaat.

Afbeelding: 10 Marcel Kerkhof; 26 Nijsnet; 28 P. de Vries; 29 Ecomare; 30 Deltares; 31 Ecobloc; 32 Innoveren met water; 33 E. Verdaasdonk; 41,42 Provincie Zuid-Holland; 44 ARK; 54 Nederlands fotomuseum, Aart Klein.

Afbeeldingen: 14, 35, 47, 48,49, 55, 56, 57,58, 59, 63, 64, 65, 66, 69, 70 Cindy Houben

Afbeeldingen: 19, 20, 23, 27, 45, 46
Gretha Klein Ikkink

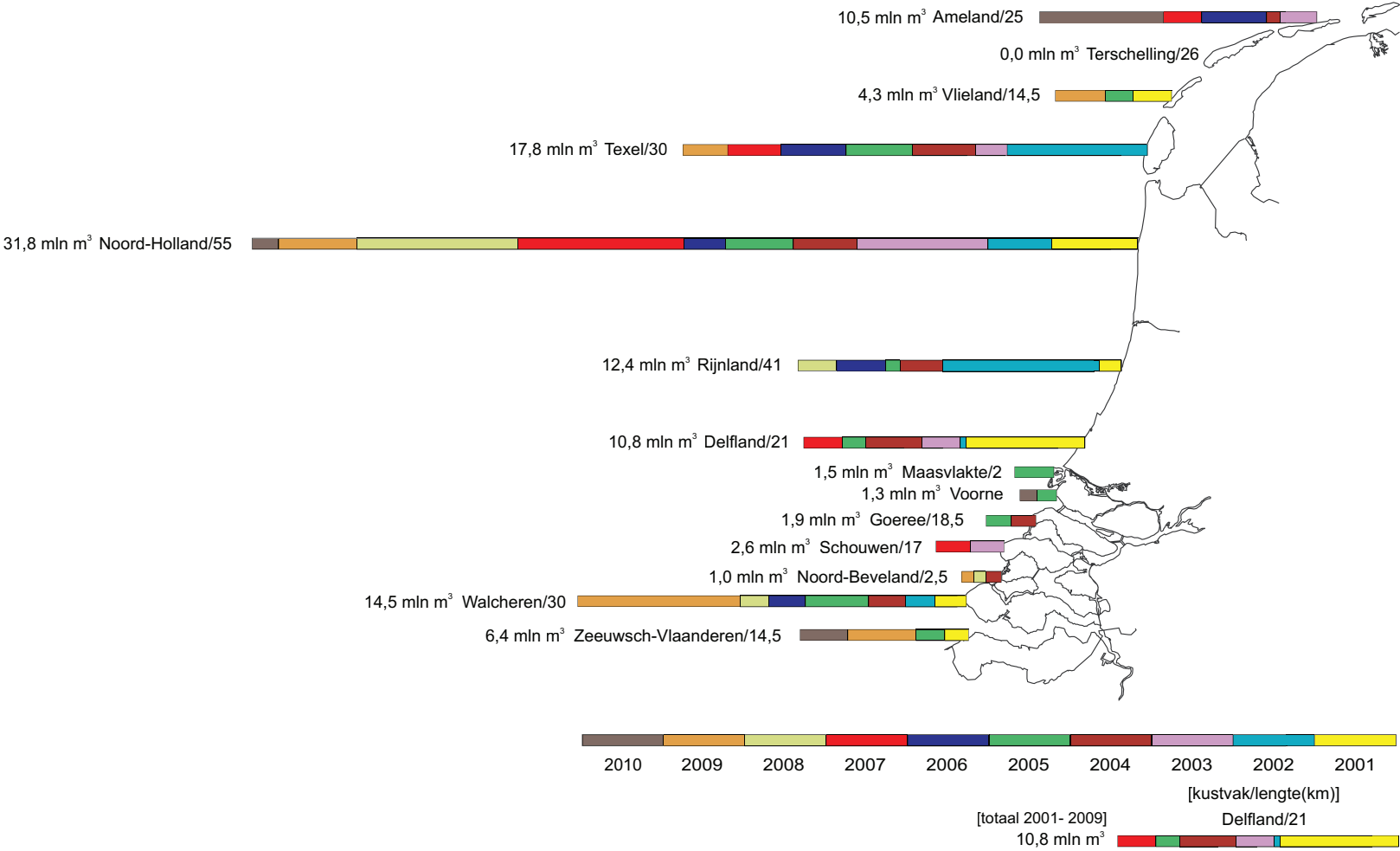
Overig: Google afbeeldingen



Bijlagen

Bijlage 1 Zandsuppleties in Nederland

Kustlijnkaarten 2011



Figuur 4.1: Totale hoeveelheid uitgevoerde zandsuppleties voor onderhoud van de kustlijn van de periode 2001 t/m 2010, per kustvak. Voor 2010 is uitgegaan van de uitgevoerde kuubs tot 1 november 2010, aangevuld met de verwachte realisatie t/m december 2010.



