

Ontwikkeling van eilandstaarten

Geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie

Alma V. de Groot
Albert P. Oost
Roos M. Veeneklaas
Evert Jan Lammerts
Willem E. van Duin
Bregje K. van Wesenbeeck
Elze M. Dijkman
Elske C. Koppenaar

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

© 2015 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport nr. 2015/OBN198-DK
IMARES rapport C183/14
Deltares rapport 1208549.01
Driebergen, 2015

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van en het Ministerie van Economische Zaken. Daarnaast heeft zowel het Programma naar een Rijke Waddenzee als het Deltaprogramma Waddengebied cofinanciering ter beschikking gesteld.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Foto voorkant: Ameland-Oost 2011. Beeldbank Rijkswaterstaat

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de VBNE onder vermelding van code 2015/OBN198-DK en het aantal exemplaren.

Oplage 75 exemplaren

Samenstelling Alma V. de Groot, IMARES Wageningen UR
Albert P. Oost, Deltares
Roos M. Veeneklaas, Bosgroep Noord-Nederland
Evert Jan Lammerts, Stichting ERA en Staatsbosbeheer
Willem E. van Duin, IMARES Wageningen UR
Bregje K. van Wesenbeeck, Deltares
Elze M. Dijkman, IMARES Wageningen UR
Elske C. Koppenaal, Rijksuniversiteit Groningen

Druk KNNV Uitgeverij/KNNV Publishing

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres : Princenhof Park 9, 3972 NG Driebergen
Telefoon : 0343-745250
E-mail : info@vbne.nl

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees verband zeldzame soorten en habitats beschermd. In deze rapportage worden de oostelijke, buitendijkse delen van de Nederlandse Waddeneilanden behandeld, de zgn. eilandstaarten. Wanneer deze volledig ontwikkeld zijn bestaat ze uit wadplaten (H1140), kwelders (H1310-H1330) en duinen (H2110 – H2190).

De eilandstaarten zijn in de huidige situatie mede door menselijke ingrepen in meer of mindere mate vastgelegd, waardoor de natuurlijke dynamiek is afgenomen en door successie veroudering is opgetreden. Dit heeft negatieve gevolgen voor de biodiversiteit. Er is echter een trend gaande naar beheermaatregelen die natuurlijke processen (her)introduceren, om zo verjonging te stimuleren. Er is echter nog onvoldoende kennis over de ontwikkeling van eilandstaarten om de effectiviteit van dergelijke maatregelen te kunnen inschatten.

Dit rapport behandelt de geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie van eilandstaarten. Daarbij wordt ook over de grens gekeken om te leren van andere visies op beheer. Dit levert een beeld op van hoe eilandstaarten zich in de loop van de tijd ontwikkelen, wat beheerders als handvat kunnen gebruiken om hun beheer te onderbouwen. De beheeradviezen in deze rapportage zijn voornamelijk gericht op de Nederlandse eilandstaarten, vanwege de Nederlandse doelgroep van dit rapport.

Belangrijk aspect in de ontwikkeling van eilandstaarten is de functie die ze hebben in de waterveiligheid. Daarom is samen opgetrokken met Deltaprogramma Waddengebied om voorliggend rapport tot stand te laten komen. Natuurbeheermaatregelen konden zo worden bekeken in het licht van de waterveiligheid, waaruit gelukkig blijkt dat zelfs grootschalige ingrepen op eilandstaarten in vrijwel alle gevallen geen negatieve effecten zullen hebben op de veiligheid van zowel eilanders als aan de vastelandskust. Ook Programma naar een Rijke Waddenzee heeft bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport: zij ondersteunen ontwikkeltrajecten die streven naar een gezonde en veerkrachtige Waddenzee. Deze samenwerking past in het steeds integraler worden van natuur- en kustbeheer.

Eén van de meest belangrijke aanbevelingen van dit rapport is dat elke beheermaatregel op eilandstaarten maatwerk hoort te zijn. Maar dan wel ingebed in goed begrip van zowel de algemene ontwikkeling van eilandstaarten als de unieke ontwikkeling van de betreffende eilandstaart. In hoofdstuk 8 en 9 vindt u deze conclusies en aanbevelingen voor inrichting en beheer van eilandstaarten.

Ik wens u veel leesplezier

Drs. T.J. Wams

Directeur natuurbeheer Natuurmonumenten en voorzitter van de OBN
Adviescommissie

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
Summary	11
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	15
1.1 Aanleiding	15
1.2 Vraagstelling	16
1.3 Aanpak & leeswijzer	16
2 Morfologische elementen van eilandstaarten	18
2.1 Inleiding	18
2.2 Definitie en begrenzingen	18
2.3 Dimensies en voorkomen	19
2.4 Elementen	21
2.5 Habitattypen	22
3 Ontwikkeling van eilandstaarten	25
3.1 Inleiding	25
3.2 Ontwikkeling op ruimte- en tijdschalen	25
3.3 Grootschalige ontwikkelingen	26
3.4 Eilandstaartontwikkeling: conceptueel model	28
3.4.1 Biogemorfologische successie	28
3.4.1 Conceptueel model	28
3.4.2 Windows of opportunity	30
3.5 Fase 1: kale strandvlakte	31
3.6 Fase 2: vorming van vastgelegde duinen	33
3.7 Fase 3: uitbreiding landschapstypen	35
3.7.1 Algemeen	35
3.7.2 Groen strand	36
3.7.3 Kwelderontwikkeling	37
3.7.4 Washovers en washovercomplexen	41
3.7.5 Witte duinen	42
3.8 Fase 4: eindstadium	43
3.9 Verdere ontwikkeling na Fase 4	45

3.10	Menselijke invloed	48
3.10.1	Wijzen van menselijke invloed	48
3.10.2	Effect op eilandstaarten	52
4	Kwelderontwikkeling	54
4.1	Inleiding	54
4.2	Methoden kreken en vegetatie	54
4.3	Kreken en stroomgebieden	56
4.4	Hoogteligging en sedimentatie	61
4.4.1	Hoogteligging en kleidikte stroomgebieden Schiermonnikoog	61
4.4.2	Badkuipeffect	62
4.5	Vegetatieontwikkeling	65
4.6	Sturende factoren voor vegetatieontwikkeling	70
5	Duinontwikkeling	71
6	Zoetwaterhuishouding	74
6.1	Groene strand van Schiermonnikoog	74
6.2	Duinvalleien	76
6.3	Zoet-zout-gradiënten	77
6.3.1	Groenknolorchis	77
6.3.2	Ongewervelde fauna in zoet-zoutgradiënten	78
7	Waterveiligheid	80
8	Synthese	82
8.1	Eilandstaartontwikkeling	82
8.1.1	Referentiemodel en menselijke ingrepen	82
8.1.2	Snelheid van veroudering	84
8.1.3	Convergentie	84
8.2	Toekomstige ontwikkelingen	84
8.2.1	Autonome ontwikkelingen	84
8.2.2	Klimaatverandering en consequenties voor eilandstaarten	85
8.2.1	Waterveiligheid	85
8.3	Beheer	86
8.3.1	Natuurbeleid	86
8.3.2	Inrichtings- en beheermaatregelen	86
8.3.3	Aanbevelingen voor beheer en inrichting	88
9	Conclusies en aanbevelingen	91
9.1	Conclusies	91
9.2	Open kennisvragen	93
9.2.1	Kennisleemtes	93
9.2.2	Lopend vervolgonderzoek	93
10	Verantwoording	95

10.1	Bronnen en dankwoord	95
10.2	Kwaliteitsbewaking	95
Referenties		97
Bijlage A. Historische menselijke ingrepen op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog		102
Bijlage B. Vegetatieontwikkeling in detailclassificatie		104
Bijlage C: Stakeholdersbijeenkomsten		108
	Gebiedsbijeenkomsten	108
	Beheerders en experts	108

Samenvatting

Inleiding

De oostelijke, buitendijkse delen van de Nederlandse Waddeneilanden, de zgn. eilandstaarten, zijn in de huidige situatie mede door menselijke ingrepen in meer of mindere mate vastgelegd, waardoor de natuurlijke dynamiek is afgenomen en door successie veroudering is opgetreden. Dit heeft negatieve gevolgen voor de biodiversiteit. Eilandstaarten zijn onderdeel van de Natura 2000-gebieden Waddenzee, Noordzeekustzone en de duingebieden van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Naast beheerdoelstellingen vanuit Natura 2000 (Vogel- en Habitatrichtlijn), gelden er ook beheeropgaven vanuit o.a. de Kaderrichtlijn Water, Trilaterale afspraken, de PKB Waddenzee en lokale wensen. Deze betreffen areaal en biodiversiteit, maar ook dynamiek, natuurlijkheid en duurzaamheid. Er is een trend gaande naar beheermaatregelen die natuurlijke processen (her)introduceren, om zo verjonging te stimuleren. Er is echter nog onvoldoende kennis over de ontwikkeling van eilandstaarten om de effectiviteit van dergelijke maatregelen te kunnen inschatten.

De centrale vraag(stelling) van dit rapport is: hoe ontwikkelen eilandstaarten zich als het gaat om geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie (inclusief biodiversiteit), en wat is de wisselwerking tussen deze drie? Daarbij wordt gekeken naar de natuurlijke ontwikkeling, effecten van menselijke ingrepen, mogelijke inrichting- en beheermaatregelen en waterveiligheid. In het onderzoek zijn de eilandstaarten van Nederland en Nedersaksen vergeleken. De beheeradviezen zijn voornamelijk gericht op de Nederlandse eilandstaarten, vanwege de voornamelijk Nederlandse doelgroep van dit rapport.

Ontwikkeling van eilandstaarten

Eilandstaarten bestaan bij volledige ontwikkeling uit strandvlaktes, stranden, kwelders, groene stranden, duinen, washovers en washovercomplexen. De bijbehorende habitattypen zijn wadplaten (H1140), kwelders (H1310-H1330) en duinen (H2110 – H2190). De grootte van de eilandstaarten en de verhouding tot de rest van het eiland varieert sterk van eiland tot eiland. Dit is gerelateerd aan verschillen in getijde, leeftijd, sedimentbalans en (het moment van) menselijke ingrepen. Er zijn geen volledig ongestoorde eilandstaarten in het Waddengebied. Daarom is een referentiemodel voor de ontwikkeling van natuurlijke eilandstaarten opgesteld op basis van historische bronnen (met name kaartmateriaal) en het vergelijken van huidige eilandstaarten.

De ontwikkeling van de modeilandstaart volgt de fasen van de biogeomorfologische successie. Tijdens elke fase ontstaan nieuwe landschapselementen, volgens een min of meer vaststaand ruimtelijk patroon. De vorming van een natuurlijke eilandstaart vindt spontaan en dus zonder directe menselijke ingrepen plaats:

- In de *eerste fase* domineren de abiotische processen en ontbreekt begroeiing. In dit stadium bestaat de eilandstaart uit een kale zandplaat, die zich uitstrekt vanaf het meest oostelijke duinboogcomplex.
- De *tweede fase* bestaat uit de vestiging van vegetatie en daarmee de ontwikkeling van begroeide embryoduin. Deze ontwikkelen zich vaak op het hoogste deel van de eilandstaart, halverwege de Noordzee en Waddenzee.
- In de *derde fase* neemt de invloed van de biota sterk toe en daarmee de uitbreiding van de landschapstypen. De embryoduin groeien uit tot witte duinen, en in de luwte ervan ontwikkelen zich een kwelder en groen strand. Ook washovers en washovercomplexen ontwikkelen zich, net zoals zoet-zoutgradiënten.

- De *vierde fase* is het eindstadium, waarin de biotische processen domineren en geen grote directe beïnvloeding meer plaatsvindt door abiotische processen. De verschillende elementen van een eilandstaart die zich in de derde fase gevormd hebben, ondergaan elk hun eigen successie. Daarbij kunnen duinvalleien en grijze duinen ontstaan, de duinen kunnen zich sluiten tot een nieuwe duinboog en kwelders kunnen ontwikkelen naar een climaxvegetatie gedomineerd door Zeekweek.

De autonome, natuurlijke ontwikkeling gaat dus naar een meer begroeid, hoger, en meer geaccidenteerd terrein. Op kleine schaal kunnen delen (lokaal) door morfologische dynamiek, zoals overwash, teruggezet of in een bepaalde ontwikkelingsfase gehouden worden. De energie van stormvloed en wind langs de Waddenkust is meestal te beperkt om grootschalige effecten teweeg te brengen binnen het gesloten vegetatiedek en er zijn maar enkele historische voorbeelden waar duinafslag en –verstuiving of stormvloed de vegetatie (tijdelijk) terugzetten. Kwelders hebben wel een intern verjongingsmechanisme waarbij klifvorming kan optreden wanneer het hoogteverschil met het voorliggende wad te groot wordt. Op langere termijn zijn de grootschalige processen bepalend of de eilandstaart zich verder uit kan breiden met nieuwe elementen, of dat deze erosie ondergaat.

Menselijke ingrepen

Op geen van de onderzochte eilanden is een natuurlijke eilandstaart aanwezig. Er hebben in het verleden namelijk vele menselijke ingrepen plaatsgevonden die invloed hebben gehad op de ontwikkeling van eilandstaarten: plaatsen van stuifschermen, helmaanplant, aanleg van stuifdijken, bedijking en inpoldering van eilanddelen, oeververdediging, drainage (bijv. het greppelen van de kwelder), aanleg van rijshoutdammen, beweiding, afplaggen, delfstofwinning en zandsuppleties, en verkleining van het kombergingsgebied in de Waddenzee door bedijking of inpoldering van gebieden aan de vastelandskust. Met name de aanleg van kilometers lange stuifdijken is van grote invloed geweest voor de ontwikkeling van de Nederlandse eilandstaarten. Hun effect is mede bepaald door het ontwikkelingsstadium waar de eilandstaart op het moment van aanleg van de stuifdijk bevond. Door het tegenhouden van dynamiek vanuit de Noordzee hebben ze geleid tot het versneld tot ontwikkeling komen van grote oppervlakten kwelder en het fixeren van de aanwezige morfologie. Allerlei tussenfasen met bijbehorende elementen (zie boven) zijn daardoor niet tot ontwikkeling gekomen, of hun functie veranderde.

Ontwikkeling van afzonderlijke elementen

Van verschillende eilandstaartelementen (kwelders, duinen en zoet-zoutgradiënten) waren gegevens beschikbaar die de gelegenheid gaven om de ontwikkeling van deze elementen verder uit te werken.

Kwelders

Op de kwelders van Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog en Spiekeroog is nagegaan welke factoren de vegetatiesamenstelling op het niveau van de eilandstaart bepalen, zodat beheer gericht op verjonging op die factoren –voor zover mogelijk- kan worden ingezet. Uit analyses van luchtfoto's, vegetatiekaarten en metingen van kleidikte en hoogteligging blijkt dat natuurlijke successie, en daarmee de factor tijd, het dominante proces is. De aanleg van stuifdijken heeft ervoor gezorgd dat de successie versneld is en er grote gebieden in hetzelfde successiestadium zijn. De dikte van de kleilaag, en daarmee de hoeveelheid nutriënten, is door voortgaande opslibbing een functie van de factor tijd, en is daarmee gerelateerd aan de vegetatieontwikkeling. Nieuwe jonge successiestadia kunnen ontstaan door uitbreiding van de kwelder en groenestrandvegetatie is vaak gerelateerd aan washovercomplexen. De invloed van kreekvorming en van de eventuele verbinding tussen krekken en washovers kon niet duidelijk in de vegetatieontwikkeling worden teruggevonden.

Duinen

Op Ameland en Schiermonnikoog lijkt met enig voorbehoud duinontwikkeling die gestimuleerd is met helmaanplant en/of stuifschermen tot hogere volumes ingevangen zand per strekkende meter kust te hebben geleid. Of het versterkt invangen van zand wenselijk is, hangt af van de doelen die ter plekke worden nagestreefd. De

hoeveelheid zand per strekkende meter kust kan worden gebruikt als maat voor hoeveel energie er via natuurlijke processen of werk via beheeringrepen nodig is om een gebied weer in contact te brengen met de Noordzee.

Zoet-zoutgradiënten

Klein- en grootschalige zoet-zoutgradiënten komen veel voor op eilandstaarten. De ontwikkeling van het groene strand op Schiermonnikoog laat zien dat de ontwikkeling van zowel geomorfologie als vegetatie sterk afhangt van de hoeveelheid zoet kwelwater, die weer afhangt van de neerslag en de vorm en grootte van de bestaande en zich ontwikkelende duinen. Groene stranden zijn dynamisch en veranderingen kunnen elkaar daardoor snel opvolgen.

Synthese

Waterveiligheid

Eilandstaarten liggen per definitie buitendijks. Daarmee is de veiligheid tegen overstromingen op de eilandstaart zelf geen beheervraag. Op basis van modelberekeningen wordt bij washoverherstel geen effect op de waterveiligheid van binnendijkse gebieden verwacht, noch op de eilanden zelf noch aan het vasteland. Ook het in tweeën breken van een eiland is zeer onwaarschijnlijk. Maatregelen die het directe voorland van een waterkering op de eilanden beïnvloeden kunnen in sommige gevallen mogelijk leiden tot een grotere werking van golven op de kering. Hier moet per maatregel aandacht aan worden geschonken.

Toekomstige ontwikkelingen

De waargenomen ontwikkeling van de eilandstaarten doet vermoeden dat de vegetatiesuccessie verder zal gaan en het gebied steeds minder dynamisch wordt. Klimaatverandering en zeespiegelstijging zullen waarschijnlijk van invloed zijn op de eilandstaarten, maar in welke richting is moeilijk te voorspellen. Als vanwege klimaatverandering aanvullende maatregelen op de eilanden moeten worden uitgevoerd, zoals extra zandsuppleties, kan dit effect hebben op de eilandstaarten: variërend van zowel verdere vastlegging tot uitbreiding en vorming van jonge successiestadia.

Inrichting- en beheermaatregelen

De hoogste biodiversiteit wordt bereikt als alle successiestadia aanwezig zijn. Vanwege de verschillen tussen de eilandstaarten dient het beheer maatwerk te zijn en in te spelen op de specifieke situatie per (kreek)stroomgebied en per eiland. Daarnaast is eilandstaartbeheer altijd integraal beheer, vanwege de onderlinge afhankelijkheid van de elementen.

Er zijn een aantal inrichtings- en beheermaatregelen mogelijk om de biogeomorfologische successie (soms plaatselijk) terug te zetten naar een jonger stadium, namelijk via: het (plaatselijk) verwijderen van stuifdijken, toestaan of stimuleren van verstuing, toelaten van erosie van de kwelderrand, vegetatiebeheer zoals plaggen/afgraven/maaien/beweiden, en door zandsuppleties gericht uit te voeren of juist achterwege te laten. Van de maatregelen waarvan de effecten nog niet goed bekend zijn, zoals het plaatselijk verwijderen van stuifdijken, is het belangrijk dat ze eerst als pilot worden uitgevoerd, waarbij goede monitoring en onderzoek essentieel zijn.

Conclusies

Elke eilandstaart is uniek, maar bevat een aantal herkenbare elementen. Menselijke ingrepen hebben grote effecten gehad op de ontwikkeling van eilandstaarten: de abiotische en biotische variatie in ruimte en tijd zijn afgenomen en de eilandstaarten zijn versneld verouderd. De huidige staat van een eilandstaart is daarmee afhankelijk van diens leeftijd, of en wanneer een stuifdijk is aangelegd, in welk fase de eilandstaart toen was, en hoe de grootschalige processen sindsdien de eilandstaart hebben beïnvloed.

De snelheid van ontwikkeling is niet voor alle afzonderlijke elementen van de eilandstaart gelijk. Over het geheel gezien neemt de dynamiek van nature af met de tijd, met verschillende snelheden per element.

De eilandstaarten behoren in hun huidige vorm al tot de meest dynamische delen van de Nederlandse kust. Als er ergens mogelijkheden zijn om in het beheer de natuurlijke processen hun gang te laten gaan, dan is dat in deze gebieden. Er lijken goede mogelijkheden te zijn om door middel van actief ingrijpen meer dynamiek toe te laten in versterde gebieden. Er zitten echter grenzen aan wat hiermee bereikt kan worden, omdat de dynamische geomorfologische processen uit de beginfasen, die voor landschappelijke variatie zorgen, in de latere fasen in de successie niet altijd grootschalig zijn te herstellen.

Summary

Introduction

The eastern parts of the Wadden Islands that are open to the sea, the so-called island tails, have been the subject of human interventions. Together with natural succession, this has led to a situation in which they are aged and have lost their dynamics to various degrees. This has negative consequences for biodiversity. Island tails are part of the Natura 2000 areas Waddenzee, Noordzeekustzone and dune areas of Terschelling, Ameland and Schiermonnikoog. Next to the management objectives of Natura 2000 (Bird- and Habitats Directive), there are other management objectives from e.g. the EU Water Framework Directive, Trilateral agreements, the PKB Waddenzee and local wishes. These concern habitat area and biodiversity, but also dynamics, naturalness and sustainability. In management, there is a trend towards rejuvenation by (re)introduction of natural processes. At the moment, the effectiveness of such measures cannot be assessed, as basic knowledge on the development of island tails is still lacking.

The central question of this report is: how do geomorphology, hydrology, and vegetation (including biodiversity) of island tails develop in time, and what is their interaction? Aspects of interest are natural development, effects of human impacts, possible management measures, and safety against flooding. The study deals with the island tails from the Netherlands and Lower Saxony (D). Management advice is mainly aimed at the Dutch islands tails, given the Dutch target audience of the report.

Development of island tails

Island tails, when fully developed, consist of beach plains, beaches, salt marshes, green beaches, dunes, washovers and washover complexes. The corresponding habitat types are mudflats and sandflats (H1140), salt marshes (H1310 – H1330) and dunes (H2110 – H2190). The size of the island tails and their ratio to the rest of the island varies between islands. This is related to variations in tidal range, age, sediment balance and (timing of) human impacts. At the moment there exist no fully undisturbed island tails in the Wadden area. Therefore a reference model for the natural development of island tails was constructed based on historical sources (mainly maps) and the comparison of existing island tails.

The development of a model island tail follows the steps of biogeomorphic succession. During each phase, new landscape elements are formed, following a more or less fixed spatial pattern. The development of a natural island tail takes place spontaneously and without human interference.

- In the *first phase*, the abiotic processes dominate and vegetation is absent. In this stage the island tail consists of a bare beach plain, which lies eastward of the most eastward dune arc of the island.
- The *second phase* consists of initial vegetation establishment, leading to the formation of embryonic dunes. These often develop on the highest part of the beach plain, halfway the North Sea and the Wadden Sea.
- In the *third phase*, the influence of the biota increases strongly, leading to the development of various landscape elements. The embryonic dunes develop into white dunes, and in their lee salt marshes and green beaches develop. Additionally, washovers and washover complexes are initiated, and salinity gradients develop.
- The *fourth phase* is the end stage, in which the biotic processes dominate and no direct influence of the physical processes takes place. The landscape elements that were formed in the third phase undergo succession. This may lead to the formation of dune slacks and grey dunes, dunes may close into a

new dune arc, and salt marshes may develop into a climax vegetation of Sea couch.

The autonomous, natural development goes towards a terrain that is more vegetated, higher and with more relief. On a smaller scale, physical processes such as overwash may locally retard or set back vegetation succession. The energy of storm surges and wind along the Wadden coast is mostly not strong enough to erase the dominance of vegetation; there are only a few historic examples of the reverse development due to storm surges or aeolian transport. Salt marshes do have an internal rejuvenation mechanism, in which a cliff forms when the elevation difference with the intertidal flats becomes too large. On the longer term, the large-scale processes determine whether the island tail can extend and form new elements, or will erode.

Human impact

None of the investigated island tails is a fully natural one. In the past, there have been too many human interferences on the island tails that have affected their development: installing sand screens, planting marram grass, constructing sand-drift dikes, embanking parts of islands, constructing stone revetments, ditching, erecting brushwood groins, livestock grazing, sod-cutting, changes in the back-barrier area, gas and salt extraction, and sand nourishments. Sand-drift dikes, in particular, that often reach many kilometres in length, have had a large impact on the Dutch island tails. Their effect depends on the phase in which the island-tail development was when the sand-drift dike was constructed. By blocking the dynamics from the direction of the North Sea, they led to the accelerated development of large salt-marsh areas and the fixation of then present geomorphology. Consequently, various intermediate stages and elements (see above) never developed, or their natural functioning was changed.

Island-tail elements

From several elements of island tails (salt marshes, dunes and salinity gradients), data were available that allowed to study them in more detail.

Salt marshes

For the salt marshes of Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog and Spiekeroog, it was studied which factors determine vegetation development on the scale of the island tail, so that management aimed at rejuvenation can be –in as far as possible – focussed at those factors. Analyses of aerial pictures, vegetation maps, and measurements of clay thickness and elevation show that natural vegetation succession, and with that the factor time, is the dominant process. The construction of sand-drift dikes speeded up succession and led to large areas with the same successional stage. The thickness of the clay layer, and with that the amount of nutrients is dependent on time through continuous sedimentation, and hence related to vegetation development. New young successional stages may develop through lateral expansion of the salt marsh, and green-beach vegetation is often related to the presence of a washover complex. The influence of creek formation and the connection of creeks with washovers could not be found clearly in the vegetation development.

Dunes

For Ameland and Schiermonnikoog, results indicate that dunes that were stimulated through sand screens and/or marram planting contain larger volumes of sand per longshore unit distance. Whether such increased sand catching is desirable depends on local management aims. The amount of sand per longshore distance can be used as an indication for the amount of energy (by natural processes) or work (management measures) needed to open up a closed-off area to the dynamics of the North Sea.

Salinity gradients

Small-scale and large-scale salinity gradients occur widely on island tails. The development of the green beach on Schiermonnikoog shows that the development of both geomorphology and vegetation depends strongly on the amount of fresh seepage, which in turn depends on the amount of precipitation and the shape and size of the existing and developing dunes. Green beaches are dynamic and changes may happen very fast.

Synthesis

Coastal safety

Island tails are per definition under the influence of the sea, so that safety against flooding on the island tail itself is not a management issue. Based on model simulations, it is expected that washover restoration will not negatively affect safety in embanked areas both on the islands and on the mainland. The chance that an island will break in two is extremely small. Management measures that directly affect the foreshore of the coastal defence on the islands may in some cases lead to increased wave attack on the dike or dune. This needs to be assessed for each case individually.

Future developments

Current developments on the island tails indicate that vegetation succession will continue and will further diminish the dynamics of the area. Climate change and sea-level rise will probably affect the island tails, but in which direction is not yet clear. If more management measures such as nourishments need to be taken on the islands as a consequence of global change, this may affect island-tail development; either by further fixation or development of new pioneer stages.

Management measures

Highest biodiversity is reached when all successional stages are present. As all island tails are different, management should always be tailored to the specific situation per island and per creek catchment. Additionally, island-tail management should always be integrated management, as the elements are strong interdependent.

There are various management measures possible to - at least locally - set back the biogeomorphic succession: removing (parts of) sand-drift dikes, stimulating aeolian dynamics, allowing erosion of the salt-marsh edge, vegetation management such as sod-cutting/mowing/livestock grazing, and adapting sand nourishments. Measures from which the effects cannot be predicted well yet (such as removing parts of sand-drift dikes) need to be carried out as pilot projects first, and be accompanied by proper monitoring and research.

Conclusions

All island tails are unique, but all contain several recognizable elements. Human interferences have had a large influence on island tails: spatial and temporal variations in abiotic and biotic conditions were diminished and vegetation succession (and thus ageing) was speeded up. The current state of an island tail hence depends on its age, if and when sand-drift dikes were constructed, in which phase the island tail was at that time, and how the large-scale processes have affected the island tail since then.

The pace of development varies between the elements of the island tail. Overall, dynamics naturally decrease with time, with different speed per element.

In their current form, island tails are some of the most dynamic parts of the Dutch coast. This makes them very suitable for management that allows natural processes to their full extent. It seems possible to introduce more dynamics in low-dynamic areas through active management. There are however limits to the effects that can be expected, as the geomorphological processes from the initial phases, that cause landscape variation, cannot always be restored on a large scale in later phases of the succession.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het kust- en duinbeheer was voor 1990 vooral gericht op stabilisatie en veiligheid. De focus lag op het behoud van de kustzone en de waterkering, door het aanleggen van harde elementen en door het invangen van zand in de zeereep door middel van stuifschermen en beplanting. Ook werden op de Waddeneilanden stuifdijken aangelegd. Na 1990 is de focus komen te liggen op het zogeheten dynamisch kustbeheer, waarbij dynamiek wordt toegestaan op plaatsen waar dat de veiligheid en andere functies niet schaadt.

Op de Waddeneilanden heeft de aanleg van stuifdijken en de stabilisatie van natuurlijke duinen gezorgd voor ideale luwe omstandigheden voor kwelderontwikkeling. Dit had een sterke uitbreiding van het kwelderareaal tot gevolg (Löffler et al., 2008; Bakker, 2014). Het stilleggen van de dynamiek heeft echter ook geleid tot een versnelling van de veroudering van de vegetatie in de duinen en kwelders, met een vegetatie die veel minder afwisselend is dan van nature. Met beheermaatregelen (bv. beweiding, afplaggen, maaien) kan de biodiversiteit over het algemeen lokaal hersteld of gehandhaafd worden, maar de geomorfologische dynamiek is hiermee niet hersteld.

Beheer op de eilandstaarten vindt plaats door verschillende organisaties. Zij hebben te maken met beheerdoelstellingen vanuit onder ander Natura 2000 (Vogel- en Habitatrichtlijn), Kaderrichtlijn Water, Trilaterale afspraken, PKB Waddenzee en allerlei lokale wensen. Deze betreffen van oudsher het behoud van areaal en biodiversiteit, maar dynamiek, natuurlijkheid en duurzaamheid zijn, met het oog op de toekomst, zeker zo belangrijk. Met dit als uitgangspunt lijkt het herstellen van dynamiek een ideale oplossing voor de genoemde veroudering en verstarring. Daarmee wordt mogelijk gemaakt dat erosie en sedimentatie op kwelders en in de duinen elkaar afwisselen, om daarmee verjonging en veroudering via meer natuurlijke processen te bewerkstelligen (bijv. De Leeuw et al., 2008; Arens et al., 2009).

Er ontbreekt echter nog voldoende kennis om de effectiviteit van dergelijke maatregelen te kunnen inschatten. Dit zorgt er onder andere voor dat er veel onduidelijkheid, en daardoor ook enig wantrouwen, bestaat over de gevolgen van een ander eilandbeheer voor de veiligheid, de toegankelijkheid en het gebruik van de eilandstaarten door eilanders en toeristen.

Om meer kennis op dit gebied te verkrijgen en dus maatregelen beter te kunnen onderbouwen, is in opdracht van het O+BN deskundigenteam Duin en kust (Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit), Bosschap, Deltaprogramma Waddengebied en Programma naar een Rijke Waddenzee dit onderzoek gestart naar de ontwikkeling van eilandstaarten in natuurlijke en door de mens beïnvloede omstandigheden. De focus ligt daarbij op de ontwikkeling van de geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie. Dit gebeurt op mesoschaal, dat wil zeggen de schaal van de geomorfologie op de eilandstaarten, zoals drainagepatronen, washovers, kwelders en duinen, en de vegetatiepatronen die daarop voorkomen.

1.2 Vraagstelling

De centrale vraagstelling van dit rapport is: hoe ontwikkelen eilandstaarten zich als het gaat om geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie (en biodiversiteit), en wat is de wisselwerking tussen deze drie?

Belangrijke deelvragen daarbij zijn:

- Zijn er natuurlijke referenties voor de ontwikkeling van een eilandstaart te vinden en welke factoren bepalen deze ontwikkeling?
- Wat zijn de gevolgen van menselijk ingrepen op de ontwikkeling van eilandstaarten en hun elementen?
- Gegeven de huidige veroudering en verstarring van de Nederlandse eilanden: hoe kan dit worden vertaald naar inrichting- en beheermaatregelen ten behoeve van herstel/ontwikkeling van gradiëntrijke eilandstaarten?
- Hebben zulke beheermaatregelen consequenties voor de waterveiligheid?

Dit rapport heeft tot doel eilandstaarten integraal te benaderen, en vanuit die optiek beheeradviezen te geven.

1.3 Aanpak & leeswijzer

In dit rapport worden verscheidene eilandstaarten vergeleken om zo tot een referentiemodel te komen van de verschillende ontwikkelingsrichtingen van eilandstaarten en hun elementen, met en zonder menselijke beïnvloeding. In het eerste deel worden de eilandstaarten als geheel beschreven, grotendeels gebaseerd op bestaande literatuur. In **Hoofdstuk 2** worden enkele definitiekwesties en de elementen waaruit eilandstaarten bestaan behandeld. **Hoofdstuk 3** beschrijft de vormende en afbrekende processen op verschillende ruimte- en tijdschalen, leidend tot een conceptueel model van eilandstaartontwikkeling. Het hoofdstuk eindigt met een overzicht van de belangrijkste menselijke ingrepen die de natuurlijke ontwikkeling van eilandstaarten beïnvloeden.

In de daaropvolgende hoofdstukken wordt dieper ingegaan op de processen van een deel van de eilandstaartelementen, en dan met name op de samenhang (voor zover van toepassing) tussen geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie binnen deze elementen. Deze hoofdstukken zijn gebaseerd op nieuwe analyses van bestaande gegevens en recente studies. In **Hoofdstuk 4** staan de kwelders centraal, en gaat het om de relatie tussen kreekontwikkeling, sedimentatie, en vegetatieontwikkeling (veroudering). De achterliggende vraag is welke factoren het sterkste de vegetatiesamenstelling op het niveau van de eilandstaart bepalen, zodat beheer voor verjonging gericht op die factoren in kan worden gezet. In **Hoofdstuk 5** wordt de duinvorming in ruimte en tijd op de eilandstaarten van Ameland en Schiermonnikoog beschouwd. **Hoofdstuk 6** gaat over groene stranden en kleinschalige gradiënten tussen zoet en zout water. Het beschrijft de ontwikkeling van het groene strand van Schiermonnikoog en bevat een samenvatting van een onlangs afgeronde OBN-studie naar zoet-zoutgradiënten en de wijze waarop die tot uiting komen in de vegetatie. In **Hoofdstuk 7** worden een aantal bestaande modelstudies over de waterveiligheid in relatie tot eilandstaarten samengevat, om zo een inschatting te kunnen maken over de effecten van mogelijke grootschalige beheermaatregelen.

Tenslotte worden in **Hoofdstuk 8** de voorafgaande resultaten geïntegreerd en worden aanbevelingen gedaan voor mogelijke toekomstige beheerstrategieën van eilandstaarten. Deze adviezen zijn een mengeling van een beheerfilosofie zoals deze breder binnen OBN Duin- en Kustgebieden wordt ontwikkeld en gerichte maatregelen. **Hoofdstuk 9** tenslotte, bevat conclusies en geeft belangrijke kennisleemtes voor verder onderzoek.

De focus in dit rapport is op de eilandstaarten van Nederland en Nedersaksen. Deze gebieden hebben grote overeenkomsten in klimaat, vormende processen en expositie ten opzichte van de Noordzee. Het beheer van de Nederlandse eilandstaarten is wel vaak anders dan de Duitse tegenhangers. Door ook de Duitse eilanden te betrekken,

kan een meer compleet beeld van de natuurlijke en door mensen beïnvloede ontwikkeling van eilandstaarten worden gegeven. De beheeradviezen zijn wel voornamelijk op de Nederlandse eilandstaarten gericht, vanwege de voornamelijk Nederlandse doelgroep van dit rapport.

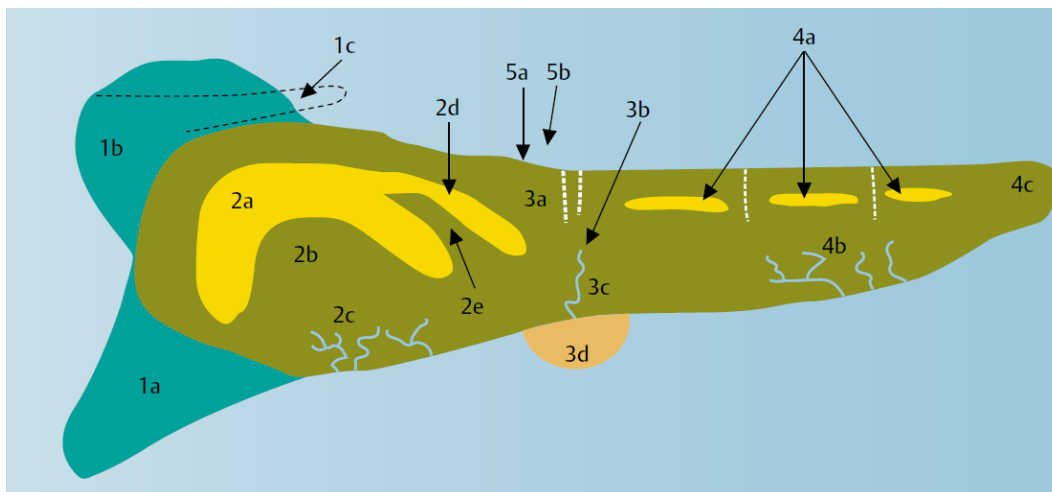
2 Morfologische elementen van eilandstaarten

2.1 Inleiding

De eilandstaarten van de Waddeneilanden in Nederland en Nedersaksen lopen sterk uiteen in vorm, historie en ontwikkeling. Toch zijn er elementen die op vrijwel alle eilandstaarten voorkomen, en is er een algemene opbouw te herkennen. Deze worden in dit hoofdstuk behandeld.

2.2 Definitie en begrenzings

Waddeneilanden bestaan in het ideale geval uit een aantal kenmerkende elementen (Figuur 1, Löffler et al., 2008; Oost et al., 2012). Dit 'modeleiland' is gebaseerd op Spiekeroog, dat verhoudingsgewijs nog de grootste mate van natuurlijke ontwikkeling kent, en de historische situaties op andere Waddeneilanden.



Figuur 1. Modeleiland en de elementen daarop: 1 = eilandkop, 2 = duinboogcomplex, 3 = washovercomplex, 4 = eilandstaart, 5 = strand en vooroever. (Löffler et al., 2008). Dominante transportrichting is van links naar rechts.

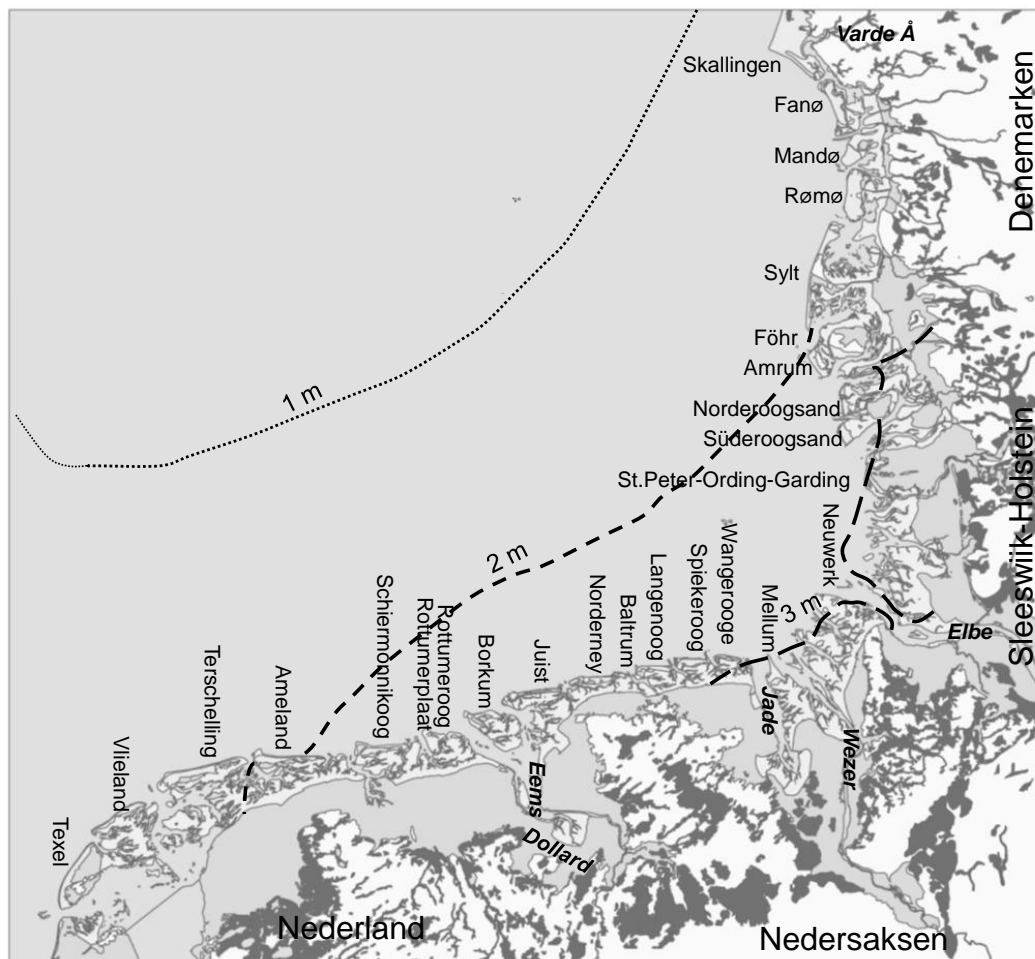
Figure 1. Model island and its elements: 1 = island head, 2 = dune arc complex, 3 = washover complex, 4 = island tail, 5 = beach and foreshore. Dominant transport direction is from left to right.

Een eilandstaart is het buitendijkse gebied op een Waddeneiland dat aan de 'stroomafwaartse' kant van een eiland ligt, ten opzichte van de netto transportrichting (de resultante van transport door golfgedreven stroming en getij; Fitzgerald et al., 1984). Dit eiland moet minstens één goed ontwikkeld duinboogcomplex (een gebogen rij van duinen, waarachter een kwelder is ontwikkeld) aan de stroomopwaartse zijde bevatten, waar zich ook de eilandkop bevindt. Aan de Waddenkust van Nederland en Nedersaksen is de netto getijstrooming oostwaarts gericht. De eilandstaarten bevinden zich daar dus aan de oostzijde van het meest oostelijke volledige duinboogcomplex (zie hoofdstuk 2.4). Eilandstaarten zijn niet stabiel van vorm, maar veranderen in de

loop van de tijd. De elementen washovercomplex en strand en vooroever worden vaak ook (deels) tot de eilandstaart gerekend.

2.3 Dimensies en voorkomen

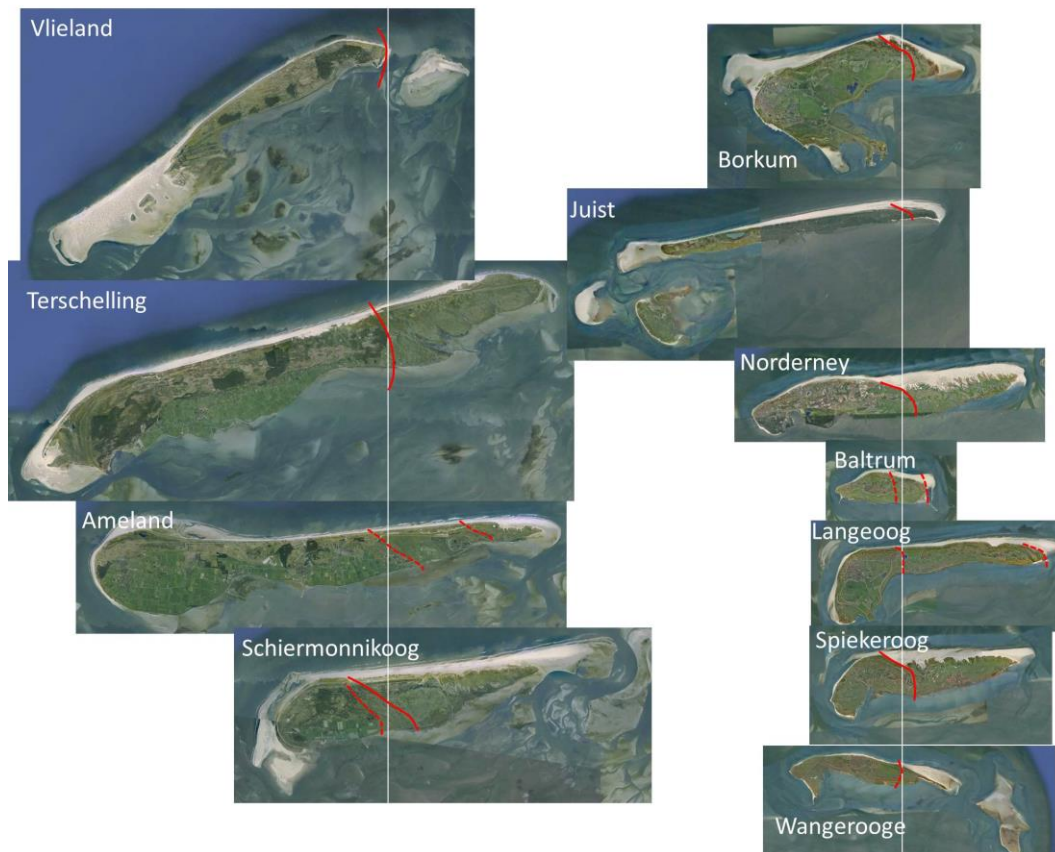
De hier behandelde eilandstaarten liggen in Nederland en Nedersaksen en vormen daar de grens tussen Noordzee en Waddenzee. De Waddenzee wordt gekenmerkt door een dubbeldaags getijderegime (Figuur 2) met getijverschillen van 1,4 m bij Den Helder (westelijke Waddenzee) naar 4,4 m bij Bremen (centrale deel van de Waddenzee in de Duitse bocht), waarna het weer daalt tot 1,5 m bij Skallingen, de noordelijke grens van de Waddenzee in Denemarken. De gemiddelde (offshore) significante golfhoogten zijn ca. 0,5- 1 m voor het rustige halfjaar (15 april - 15 oktober) en 1-2 m tijdens het winterhalfjaar (15 oktober - 15 april) over de jaren 2002 en 2003 (Dobrynin et al., 2010). In het Nederlandse en Nedersaksische deel komen de golven en deining overwegend binnen uit het westen en zuidwesten (Beels et al., 2007). De maximaal gemeten verhoging in de waterstanden tijdens stormvloed is 3,5 - 4 m met maximale golfhoogten van 8-11 m aan de Noordzezijde (Oost et al., 2012).



Figuur 2. Het Waddenzee gebied met getijdeverschil (in m) (gebaseerd op: Ehlers, 1988; Oost et al., 2012).

Figure 2. The Wadden area with tidal range (m) (based on Ehlers, 1988; Oost et al., 2012).

Figuur 3 geeft een overzicht van de eilanden die groot genoeg zijn om een eilandstaart te bevatten, dat wil zeggen dat er minimaal één goed ontwikkeld duinboogcomplex aanwezig moet zijn. Texel is niet weergegeven omdat daar door indijking geen eilandstaart meer aanwezig is. Daarbij is te zien dat de grootte van de eilandstaarten erg varieert: de eilandstaart van Schiermonnikoog is ongeveer even groot als heel Spijkerboog. De verhouding van de eilandstaart tot de rest van het eiland is ook sterk wisselend: sommige eilanden hebben vrijwel geen staart (Juist), Maar de eilandstaarten van het relatief grote eiland Terschelling is weer ongeveer even groot als die van het kleinere Schiermonnikoog.



Figuur 3. Overzicht van de eilandstaarten van Nederland (links) en Nedersaksen (rechts). De schaal van alle figuren is gelijk. Het getijverschil neemt toe van linksboven naar rechtsonder. De rode lijnen geven de westelijke grens van de eilandstaart aan (doorgetrokken = zeker, gestippeld = onduidelijk), en de eilanden zijn zo geschoven dat het begin ongeveer ter hoogte van de witte lijn ligt.

Figure 3. Overview of the island tails of The Netherlands (left) and Lower Saxony (right). The scale of the figures is identical. Tidal range increases from upper left to lower right. Red lines indicate the western border of the island tail (solid = certain, broken = uncertain), and the islands are shifted such that the beginning of the island tail lies around the white line.

Er zijn een aantal factoren die deze verschillen kunnen verklaren. Ten eerste is het getijverschil is zeer bepalend voor de grootte van de eilanden (Wolff, 1986): hoe groter de getijdeslag, hoe kleiner over het algemeen de eilanden zijn, en hoe kleiner ook de eilandstaarten zijn. De grootte van de eilandstaarten kan ook variëren door variaties in sedimenttransport. Het sedimenttransport wordt vooral bepaald door de golf- en getijgedreven reststroom langs de kust en de beschikbaarheid van zand (Fitzgerald et al., 1984). De balans tussen aanvoer door golfgedreven stroming en afvoer door het getij het zeegat in bepaalt of de eilandstaart groeit of afneemt: als de aanvoer groter is dan de afvoer groeit de staart, en als de balans andersom is neemt de eilandstaart in omvang af. Daarnaast kan het aanlanden van een plaat door de geuldynamiek in de buitendelta voor groei zorgen. Veranderingen in zandbalans en

geulgedrag kunnen verschillende oorzaken hebben. Zo kunnen veranderingen verderop in het kombergingsgebied doorwerken op de eilandstaart. De eilandstaart van Schiermonnikoog, bijvoorbeeld, is hoogstwaarschijnlijk extra lang doordat doorgaande inpoldering aan de vastelandskust en de afsluiting van de Lauwerszee hebben gezorgd voor extra zandaanvoer vanuit het westen (Fitzgerald et al., 1984; Oost, 1995). Tenslotte kunnen menselijke ingrepen de vorm en grootte van de eilandstaart beïnvloeden. Hoewel de definitie aangeeft dat een duinboogcomplex de westelijke grens van een eilandstaarten vormt, is deze grens in de praktijk soms lastig te bepalen. Dit komt doordat er vaak door mensen aangelegde elementen aanwezig zijn, zoals dijken en stuifdijken (kunstmatige duinen of zanddijken, ontstaan door het plaatsen van stuifschermen en inplanten van helm). Zo zijn op Schiermonnikoog de spontaan gevormde Kobbeduinen versneld gesloten door kleine stuifdijkjes, en is op Langeoog niet duidelijk of de voormalige zomerpolder tot een eilandstaart gerekend kan worden of niet. Soms zijn de duinen op de eilandstaart zo ver ontwikkeld dat er in feite al van een duinboogcomplex gesproken kan worden, en op termijn mogelijk een nieuwe eilandstaart stroomafwaarts kan vormen (bijvoorbeeld Norderney en Spiekeroog). De variatie in eilandstaartlengte leidt tot een variatie in accommodatieruimte, dat wil zeggen de ruimte die beschikbaar is voor de verschillende onderdelen van het systeem (hoofdstuk 2.4). De eilandstaart van Ameland is een bijzonder geval omdat de duinboog van Oerd-Oosterhuizen verloren is gegaan in de 17^e tot 19^e eeuw, door verwaaiing en kusterosie. Daarna is datzelfde gebied zich weer als eilandstaart gaan ontwikkelen.

Er bestaan op dit moment geen volledig ongestoorde eilandstaarten in het Waddengebied. Voor het beschrijven van de natuurlijke ontwikkeling van een eilandstaart komt de oostkant van Spiekeroog nog het meest in aanmerking: er zijn geen menselijke ingrepen op uitgevoerd en de eilandstaart is intussen duidelijk ontwikkeld. De ontwikkeling van die eilandstaart is echter mogelijk versneld door de verkleining van de achterliggende komberging door inpoldering van de Harlebucht in de periode 1545-1895. Ook is het eiland veel kleiner dan de Nederlandse eilanden met eilandstaarten en is de westelijke eilandkop volledig in beton gegoten. Deze aspecten maken dat deze eilandstaart niet zonder meer als een referentie voor de Nederlandse eilanden kan gelden.

2.4 Elementen

Een eilandstaart kan bestaan uit de volgende elementen, ruwweg gaande van Noordzee naar Waddenzee (uitgebreid t.o.v. Löffler et al., 2008):

- Strandvlakte: een brede, kale zandvlakte doorlopend van Noordzee tot Waddenzee.
- Strand: kaal zand onder invloed van golven en stromingen vanuit de Noordzee, en aan de landwaartse zijde begrensd door duinen, washovers en/of kwelders.
- Groen strand: een verhoogd strand begroeid met een mozaïek van duin-, duinvallei- en kweldervegetatie, meestal in combinatie met microbiële matten en onder invloed van de zoetwaterafvoer van achterliggende duinen.
- Embryoduin: kleine duintjes tot ongeveer 2 meter hoog en maximaal een paar meter in diameter, meestal begroeid met Biestarwegras.
- Duinen/gekerfde zeereep/duinboog: duinen hoger dan ca. 2 m en een grootte van een tiental meters tot enkele kilometers lengte, begroeid met Helm en andere duinplanten.
- Washovercomplex: een combinatie van een laagte (met sterk wisselende saliniteit en mogelijk microbiële matten) met flankerende duinen, voorliggend strand, achterliggende kwelder en eventueel groen strand, die bij hoge waterstanden (stormen) vanuit de Noordzee overstroomd wordt richting kwelder.
- Washover: doorbraakgeul tussen duinen, waar bij storm water vanuit de Noordzee naar het achterliggende gebied stroomt. Een slufte is een versie hiervan die in een achterduinse vlakte eindigt en geen connectie met de Waddenzee heeft.
- Oogduinen: ronde duinen die (oorspronkelijk) op het midden van een strandvlakte zijn ontwikkeld, los van een duinboogcomplex.

- Kwelder: gebied begroeid met zouttolerante vegetatie, en een bodem die opslibt met kleiig sediment vanuit de Waddenzee. Ligt tussen gelegen tussen gemiddeld hoogwater en een hoogte met een overstromingsfrequentie van vijf keer per jaar.
- Kwelderkreken¹: het dendritische afwateringssysteem van de kwelder.

2.5 Habitattypen

Voor het beheer van eilandstaarten is Natura 2000 een belangrijk wetgevend kader. De Nederlandse eilandstaarten zijn onderdeel van verscheidene Natura 2000-gebieden: Waddenzee, Noordzeekustzone, Duinen Terschelling, Duinen Ameland en Duinen Schiermonnikoog. Een enkele eilandstaart kan verdeeld zijn over drie verschillende Natura 2000-gebieden. De doelen die hier voor gelden zijn uitgewerkt in beheerplannen².

Een overzicht van de N2000 habitattypen die op eilandstaarten kunnen voorkomen staat in gegeven Tabel 1. In hoofdstuk 3 worden deze typen in de context van de ontwikkeling van de eilandstaart gezet.

Een aantal natuurlijke elementen, zoals groene stranden en washovers, worden niet als apart habitatype beschouwd in de huidige Natura 2000 overzichten, maar vormen een combinatie van verschillende habitattypen. Een groen strand kan bv. bestaan uit een combinatie van H1190, H1310 en H1330.

¹ De termen 'kreek' en 'slenk' worden door elkaar gebruikt voor de zelfde vorm, namelijk een natuurlijk gevormde watergang op de kwelder die in verbinding staat met de Waddenzee.

²

<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=actualiteitbeheerplannen>

Tabel 1. Habitattypen die op eilandstaarten kunnen voorkomen. Een uitgebreide beschrijving van de habitattypen is te vinden op:
<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=profielen>.

Table 1. Habitat types that may occur on island tails. A comprehensive description can be found on:
<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=profielen>.

Habitatype	Omschrijving	Verkorte naam
H1140	Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten	Subtype A Slik- en zandplaten (getijdengebied) Subtype B 'Slik- en zandplaten' (Noordzeekustzone)
H1310	Eenjarige pioniervegetatie van slik- en zandgebieden met <i>Salicornia</i> spp. (Zeekraal) en andere zoutminnende soorten	Subtype A: Zilte pionierbegroeiingen (Zeekraal) Subtype B: Zilte pionierbegroeiingen (Zeevetmuur)
H1320 ^{a)}	Schorren met slijkgrasvegetatie (<i>Spartinion maritimae</i>)	Slijkgrasvelden
H1330_A	Atlantische schorren (<i>Glauco-Puccinellietalia maritimae</i>) (buitendijks)	Schorren en zilte graslanden (buitendijks)
H2110	Embryonale wandelende duinen	Embryoduin
H2120	Wandelende duinen op de strandwal met <i>Ammophila arenaria</i> (Helm)	Witte duinen
H2130	Vastgelegde kustduinen met kruidvegetatie ("grijze duinen")	Subtype A Grijze duinen (kalkrijk) Subtype B Grijze duinen (kalkarm)
H2140	Vastgelegde ontkalkte duinen met <i>Empetrum nigrum</i>	Subtype A Duinheiden met kraaihei (vochtig) Subtype B Duinheiden met kraaihei (droog)
H2150	Atlantische vastgelegde ontkalkte duinen (<i>Calluno-Ulicetea</i>)	Duinheiden met struikhei
H2160	Duinen met <i>Hippophae rhamnoides</i>	Duindoornstruwelen
H2170	Duinen met <i>Salix repens</i> ssp. <i>argentea</i> (<i>Salicion arenariae</i>)	Kruipwilgstruwelen
H2190	Vochtige duinvalleien	Vochtige duinvalleien - met name Subtype A (open water) en Subtype B (kalkrijk)

^{a)} *Spartina anglica* (Engels slijkgras) is een geïntroduceerde soort in het Waddengebied.

3 Ontwikkeling van eilandstaarten

3.1 Inleiding

Eilandstaarten zijn uiterst dynamische gebieden. Veranderingen vinden niet alleen op verschillende schalen plaats op de eilandstaart zelf, maar ook de omgeving verandert sterk. Voor een optimaal beheer is het van belang om te weten in welk ontwikkelingsstadium zich het te beheren gebied bevindt en hoe de toekomstige ontwikkeling zal gaan lopen. Een begrip van de dynamiek van eilandstaarten is derhalve onontbeerlijk. Hieronder volgt daarvan een overzicht.

3.2 Ontwikkeling op ruimte- en tijdschalen

Het Waddengebied is een sedimentdelend systeem. Dat wil zeggen dat er onder invloed van wind en water continu uitwisseling is van sediment (zand en slib) tussen de verschillende onderdelen van elk zeegatsysteem, zoals geulen, wadplaten, stranden en duinen, maar ook tussen zeegatsystemen onderling. Binnen elk onderdeel reageert de geomorfologie op de lucht- en waterbewegingen, die op hun beurt weer beïnvloed worden door de geomorfologie. Zo ontwikkelen zich dynamische evenwichten (o.a. Oost, 1995; Oost et al., 2012). Door dit samenspel van sedimentuitwisseling en streven naar dynamisch evenwicht kunnen veranderingen in één onderdeel van het systeem doorwerken in een ander.

Deze veranderingen, en daarmee de ontwikkeling van eilandstaarten, spelen zich af op verschillende tijd- en ruimteschalen (Tabel 2; naar Oost et al., 2012). Daarbij creëren de ontwikkelingen op grotere ruimte- en tijdschalen het toneel voor de ontwikkelingen op kleinere ruimte- en tijdschalen. Eilandstaarten zijn over het algemeen enkele kilometers lang. Dit onderzoek richt zich daarom vooral op schaalniveau III en IV, dus de schaal van honderden meters tot enkele kilometers, en tijdschalen van jaren tot een eeuw. Schaalniveau I en II worden in de hierna volgende paragraaf meegenomen als achtergrondinformatie, omdat deze de randvoorwaarden voor de kleinere schaalniveaus vormen. Schaalniveau V valt grotendeels buiten de focus van dit rapport, maar wordt in de vorm van zoet-zoutgradiënten, die op eilandstaarten veel voorkomen, kort besproken in hoofdstuk 6.

Tabel 2. Ruimte- en tijdschalen op eilandstaarten (naar Oost et al., 2012).

Table 2. Temporal and spatial scales on island tails (after Oost et al., 2012).

Schaalniveau	Type veranderingen	Tijdschaal	Ruimteschaal
I	Kwartairgeologische/Holocene veranderingen. Sedimentaire ontwikkeling van de kust onder invloed van zeespiegelstijging, waarbij de kust zich geleidelijk netto in landwaartse richting terugtrekt	Millennia	1000 km
II	Grootschalige evolutie eilanden: Netto oostwaartse groei (geleidelijk of via aanlanding platen)	Eeuwen	10 km - 20 km
III	Cycli van aangroei en erosie, bijvoorbeeld 'kwispelen' eilandstaart en zandgolven. Patroonvorming op ecotoopniveau (duin, strand, kwelder, duinvallei)	Decennia	1 km - 10 km
IV	Successie en patroonontwikkeling of niveau van vegetatie en fauna.	Jaren	100 m - 1 km
V	Autecologie en populatie-ontwikkeling	Seizoenen	1 m - 10 m

3.3 Grootschalige ontwikkelingen

Grootschalige ontwikkelingen op schaalniveau I en II, en soms overlopend in schaalniveau III (zie Tabel 2), vormen de randvoorwaarden waarbinnen de eilandstaart zich kan ontwikkelen. Zij bepalen de accommodatieruimte: de fysieke ruimte waarop de eilandstaart zich vormt, omgeven door strand, wad en geulen. Daarnaast bepalen zij in sterke mate de vorm van externe invloeden op de eilandstaart.

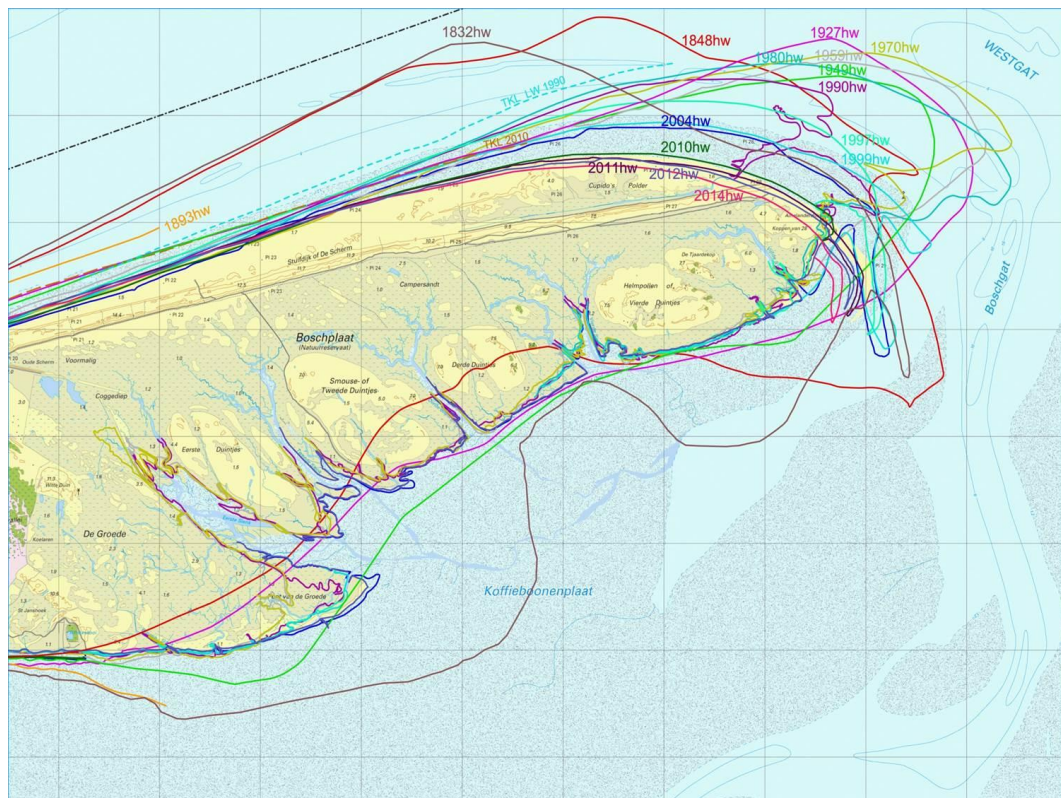
Op schaalniveau I is vooral de netto sedimentaanvoer vanaf de Noordzee via de keten van Waddeneilanden en buitendelta's naar het achterliggende Waddengebied van belang. Daardoor trekt de Noordzeekust zich netto (met 1 tot 2 m/jaar) in landwaartse richting terug. In het proces wordt niet alleen sediment vervoerd via de zeegaten maar ook over het eiland heen. Hierdoor hoogt het eiland op en kan zo de zeespiegelstijging voor blijven en kan het tegelijk opschuiven in de richting van het vasteland. Het gevolg is een landwaartse verschuiving van de keten van eilanden en buitendelta's. Deze langzame ontwikkeling wordt lokaal vaak sterk overschaduwed door de veel sterkere ontwikkelingen op schaalniveau II.

Op schaalniveau II zijn voor de eilandstaarten de ontwikkelingen in de naast de eilanden gelegen zeegaten van groot belang (Oost, 1995). Het zeegat bestaat uit geulen en platen, die aan de buitenkant de buitendelta vormen en aan de binnenkant van de Waddenzee deel uitmaken van het kombergingsgebied. De geulen van de buitendelta ondergaan een quasi-cyclisch patroon, waarbij ze grofweg steeds met de klok mee naar de oostzijde migreren. Dit heeft consequenties voor de platen en strandvlaktes aan weerszijden, inclusief de eilandstaart. De eilandstaart kan groeien wanneer de geul naar het oosten migreert. Een netto aangroei kan ook het gevolg zijn van het krimpen van de breedte van het zeegat (Fitzgerald et al., 1984; Flemming & Davis Jr, 1994). Een eiland zal afslaan wanneer een nieuwe geul aan de westzijde van het zeegat vormt, of wanneer een geul in het kombergingsgebied naar het noorden richting de staart migreert waarbij mogelijk een nieuwe geul dwars over het eiland kan vormen.

Daarnaast wordt de staart beïnvloed door de zandaanvoer vanuit de 'bovenstroomse' richting, dat wil zeggen vanuit de richting van de eilandkop (aan de westkant bij de in

dit rapport behandelde eilanden; Oertel, 1977; Fitzgerald et al., 1984; Israel & Dunsbergen, 1999; Cheung et al., 2007). Dit kustlangse transport (richting oosten) wordt vooral bepaald door golfgedreven transport, dat ontstaat omdat de golven gemiddeld genomen schuin invallen op de kust van de in dit rapport behandelde Waddeneilanden. Zandplaten, afkomstig uit de westelijke buitendelta, bewegen zich na verheling (aanlanden) met de eilandkop langs de kust van het eiland naar de staart, en kunnen daar het strand periodiek sterk verbreden. Wanneer deze aanvoer stagneert, en/of de afvoer richting zee gaat toeneemt, kan de eilandstaart juist eroderen.

Deze grootschalige structurele erosie of aangroei (op schaalniveau I en II, Figuur 4) is daarmee sterk bepalend voor hoe de omtrek van de eilandstaart er uit ziet. Daarbinnen ontwikkelt de eilandstaart zich (dus op schaalniveaus III, IV en V) zoals in de rest van dit hoofdstuk wordt beschreven. Hoe de ontwikkeling er ook uit ziet, grootschalige processen bepalen de mogelijkheden en de dimensies waarbinnen de eilandstaart zich kan ontwikkelen ("setting the stage"). Hoe deze eilandstaart er dan precies komt uit te zien is deels het resultaat van een proces dat door toeval bepaald wordt (klimaatsschommelingen bijvoorbeeld of een stormachtige of juist koude rustige winter) en door de opvolging van kleinschaliger processen. Bijvoorbeeld: de Cupidopolder op Terschelling (ten noorden van de stuifdijk op de Boschplaat) ondergaat grootschalige erosie (schaalniveau II), en het begroeide gebied wordt jaarlijks kleiner. De afslag is vooral zichtbaar in de vorm van duinafslag en washoervorming (schaalniveau III), waarbij met name tijdens stormvloed sterke veranderingen optreden. Een heel ander beeld laat Ameland zien waar de duinafslag (schaalniveau III) tussen stormen door weer wordt aangevuld doordat daar de sedimentbalans niet negatief is (schaalniveau II) (De Jong et al., 2014).



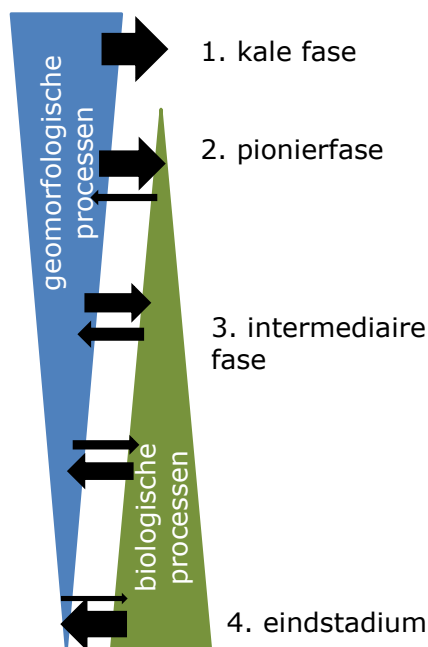
Figuur 4. Veranderingen van de hoogwaterlijn op de Boschplaat (Terschelling) vanaf 1832 als gevolg van grootschalige processen (Bron: Platform Duurzaam Landschap Terschelling, gebaseerd op RWS data).

Figure 4. Changes in the location of the high-water line on the Boschplaat (Terschelling) from 1832 as a result of large-scale processes. (Source: Platform Duurzaam Landschap Terschelling, based on RWS data).

3.4 Eilandstaartontwikkeling: conceptueel model

3.4.1 Biogeomorfologische successie

Op schaalniveau III wordt de ontwikkeling van eilandstaarten sterk gestuurd door de interactie tussen biotiek en abiotiek. Zulke biogeomorfologische systemen (Viles, 1988) ondergaan een aantal kenmerkende fasen, samen biogeomorfologische successie genoemd (Corenblit et al., 2007; Balke, 2013, Figuur 5). In het begin (Fase 1) domineren de geomorfologische (abiotische) processen en zijn er nagenoeg geen biota aanwezig. In de pionierfase (Fase 2) vestigen zich organismen en deze beginnen de geomorfologische processen te beïnvloeden. De geomorfologische processen zijn echter nog dominant, en voor de organismen onderling overheerst facilitatie (het ene organisme maakt de groei van het andere mogelijk, Bertness & Callaway, 1994). Veel organismen zijn biobouwers, dat wil zeggen dat ze door hun aanwezigheid hun omgeving beïnvloeden (Jones et al., 1994). Wanneer de invloed van de biota steeds sterker wordt, spreken we van de intermediaire fase (Fase 3). Wanneer het overgrote deel van de landschapsvorming bepaald wordt door biologische processen (zoals competitie tussen soorten, Bertness, 1991), is het eindstadium bereikt (Fase 4).



Figuur 5. Fasen in de biogeomorfologische successie die eilandstaarten doorlopen (naar Corenblit et al., 2007).

Figure 5. Phases in the biogeomorphic succession of island tails (after Corenblit et al., 2007).

Deze autonome ontwikkeling naar meer begroeid, hoger, en meer geaccidentieerd terrein gaat met name één kant op. De energie van stormvloed en wind langs de Waddenkust is meestal te beperkt om grootschalige effecten teweeg te brengen binnen het gesloten vegetatiedek en er zijn maar enkele historische voorbeelden waar duinafslag en -verstuiving of stormvloed de vegetatie (tijdelijk) terugzetten. Dit is overigens anders aan de oostkant van de VS, waar stormvloed tijdens orkanen twee keer zo hoog kunnen worden als in Nederland.

3.4.1 Conceptueel model

Uitgaande van dit biogeomorfologische model van Corenblit, aangevuld met het schema van Ten Haaf en Buijs (2008) en observaties van Spiekeroog (Röper et al., 2013), is in dit onderzoek gekeken naar historische kaarten, luchtfoto's, en andere data van verscheidene eilandstaarten. Ook zijn verscheidene eilandstaarten bezocht. Dit heeft geleid tot een conceptueel model voor de ongestoorde ontwikkeling van een eilandstaart. Figuur 6 laat zien hoe de ontwikkeling van een eilandstaart verloopt

zonder menselijke ingrepen. Hoe de ontwikkeling er uit kan zien met menselijke ingrepen wordt in Hoofdstuk 3.10 behandeld.

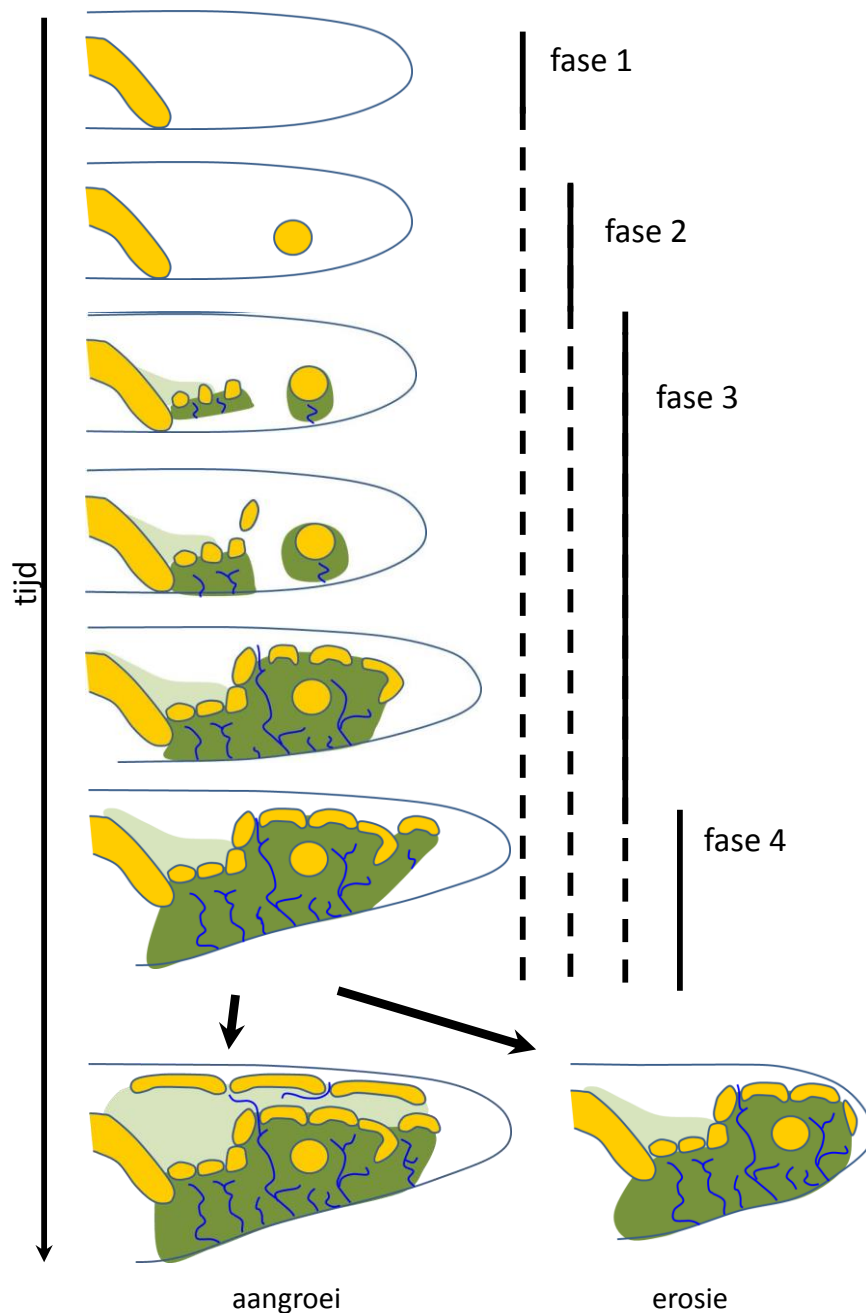
In het kort zijn de fasen als volgt (Figuur 6):

- Fase 1: kale eilandstaart, stroomafwaarts van een duinboogcomplex.
- Fase 2: ontwikkeling van begroeide duinen embryoduin.
- Fase 3: ontwikkeling van groene stranden, kwelder en washover(complexen).
- Fase 4: eindstadium: sluiten van duinen en verder groeien van kwelder

De fasen overlappen elkaar in de figuur, omdat een deel van de staart in een bepaalde fase kan zijn, maar een ander deel zich nog in een eerdere fase bevindt. De grootschalige processen bepalen tot in welke fase een eilandstaart zich kan ontwikkelen en hoe ver die ontwikkeling zich in de ruimte uit kan strekken. De manier waarop de strandvlakte is ontstaan lijkt niet erg belangrijk te zijn voor de verdere ontwikkeling: de staart van Spiekeroog bestaat uit een aangelande plaat en die van Schiermonnikoog is geleidelijk aangegroeid, maar de ontwikkeling van de elementen van beide staarten lijkt zeer sterk op elkaar. Ook blijkt de snelheid van de oostelijke groei van duinen en kwelder vrij onafhankelijk te zijn van fluctuaties in de grootte van de het kale deel van de eilandstaart.

De vorming van eilandstaarten kan spontaan en dus zonder directe menselijke ingrepen plaatsvinden, in tegenstelling wat soms gedacht wordt. Dit blijkt onder andere uit de ontwikkeling van Spiekeroog. Maar ook voordat stuifdijken werden aangelegd, en in de gebieden oostelijk van de huidige stuifdijken, is op de Nederlandse eilanden een natuurlijke ontwikkeling van elementen opgetreden. Zo heeft zonder menselijke ingrepen grootschalige duin- en kweldervorming plaatsgevonden op Terschelling (1^e duintjes en verder), Ameland (lage duinen en kwelder Neerlands Reid, de Hon) en Schiermonnikoog (Kobbeduinen, huidige beweide kwelder, duinen ten oosten van Kobbeduinen, Willemsduin).

In de rest van dit hoofdstuk wordt uitgebreid beschreven hoe deze fasen er uit zien voor een 'gemiddelde' eilandstaart. Deze zijn gebaseerd op historische gegevens (kaarten, luchtfoto's, schetsen, veldobservaties) uit de archieven van onder andere IMARES, Deltares en Staatsbosbeheer, en literatuur (met name Ehlers, 1988; Oost, 1995; Petersen & Pott, 2005; Ten Haaf & Buijs, 2008).



Figuur 6. Conceptueel model van eilandstaartontwikkeling (ten dele naar Ten Haaf & Buijs, 2008). In deze figuren is de Noordzee aan de bovenzijde en de Waddenzee aan de onderzijde. Geel = duinen, donkergroen = kwelder, lichtgroen = groen strand, blauw = krekken. Zie tekst voor uitleg.

Figure 6. Conceptual model of island-tail development (partly after Ten Haaf & Buijs, 2008). In these figures the North Sea is towards the top of the figures and the Wadden Sea towards the lower side. Yellow = dunes, dark green = salt marsh, light green = green beach, blue = creeks. See text for explanation.

3.4.2 Windows of opportunity

De vestiging van planten en daarmee de toenemende invloed van biota binnen de successie kan gebonden zijn aan zogenaamde 'windows of opportunity' (Balke et al., 2011; Balke, 2013). Dit zijn periodes waarin tegelijkertijd aan alle randvoorwaarden voor vestiging wordt voldaan en die in dynamische gebieden vrij zeldzaam kunnen zijn. Het kan dus zijn dat zo'n 'window of opportunity' zich slechts eens in de paar jaar of zelfs slechts eens in de paar decennia voordoet. Daarmee kunnen sommige

landschapselementen soms opeens snel tot ontwikkeling komen, of juist jarenlang op zich laten wachten. De vorming van groene stranden en (pre)pionierzones van kwelders vindt bijvoorbeeld met name plaats na (soms diverse) jaren met weinig stormen en/of een laag Gemiddeld Hoog Water (GHW, Dijkema et al., 2001). Dit kan alleen gebeuren als er ter plekke sprake is van een brede strandzone waardoor ophoging van het strand mogelijk is. Als dan de stormvloed uitblijven kan de vegetatie zich blijvend vestigen.

Een andere "window of opportunity" vormt de toename in neerslag. Deze is in een groot deel van het kustgebied met 200 tot 250 mm/jaar (30 tot 35 procent) toegenomen, met name in de zomermaanden (Buishand et al., 2011). Dit maakt het gemakkelijker voor planten om zich met succes te vestigen. Daardoor kan zowel de plantenbedekking als -diversiteit bevorderd worden. Meer zandinvang door dichtere vegetatie zal de vorming van duinen en groene stranden bevorderen. De zoetwaterbellen die hierdoor ontstaan hebben ook een positief effect op de vegetatie.

3.5 Fase 1: kale strandvlakte

In de eerste fase bestaat de eilandstaart uit een langgerekte onbegroeide strandvlakte gevormd door golven, stroming en, zodra de plaat boven gemiddeld laagwater uitkomt, ook door de wind. De strandvlakte kan ontstaan als een aangelande plaat (waarbij in één keer, zoals op Terschelling, een groot oppervlak aan het eiland wordt toegevoegd), een geleidelijk aangroeiende staart (zoals op Schiermonnikoog), of een afgeslagen duinboogcomplex (zoals het Oerd op Ameland). De strandvlakte heeft afmetingen in de orde van kilometers lengte en vormt de accommodatieruimte waarop zich later duinen, kwelders etc. kunnen vormen. De strandvlakte ligt grotendeels boven gemiddeld hoogwater en is nog vlak (Figuur 7).

In deze fase zijn de geomorfologische processen dominant: erosie, transport en afzetting van vooral zand, door wind en water. Deze processen vormen ieder een energiegradiënt dwars over de eilandstaart van noord naar zuid. De bijdrage van de hydrodynamiek is het hoogste waar het water het vaakst komt, en dus de inundatieduur het langste is. Deze neemt af vanaf het gebied onder de laagwaterlijn in de richting van het springtij-hoogwatermerk. Tijdens stormvloed kan het water vanuit de Noordzee over de gehele zandplaat stromen, zodat dan ook stroming en golven op de hoogste delen invloed hebben. Aan de Noordzezijde zetten golven en wind zand af in een hogere richel boven hoogwater springtij: de berm. Daarnaast verwaait de wind zand uit het gehele intergetijde- en supratidale gebied. Dit leidt tot kale, lopende duintjes die kunnen migreren over de gehele strandvlakte (Figuur 8). Lokaal kunnen deze duinen accumuleren waardoor licht reliëf ontstaat in het landschap. Omdat ze niet zijn vastgelegd door vegetatie, zijn deze duinen mobiel en kunnen tijdens stormen weer gemakkelijk weggespoeld of -gewaaid worden. Aan de Waddenzeezijde, aangrenzend aan de duinboog, is een lager gelegen luwte waarin eolisch transport vermoedelijk weer ongedaan wordt gemaakt door de hoge stroomsnelheden die bij stormvloed optreden.



Figuur 7. Eilandstaart van Spiekeroog, kijkend naar het oosten vanaf de meest oostelijke duinen (2013, foto Alma de Groot).

Figure 7. Island tail of Spiekeroog, viewing towards the east from the most eastward dunes (2013, photo Alma de Groot).



Figuur 8. Oostpunt van Schiermonnikoog in 2011 met het hoogste gedeelte (berm) aan de Noordzezijde met daarop mobiele duinvorming (wit). Waddenwaarts ervan migreren duinen (wit) over een natte vlakte (grijs). In de luwte van de duinenrij (rechts) zijn minder duinen aanwezig. (foto RWS Beeldbank).

Figure 8. Eastern tip of Schiermonnikoog in 2011, with the highest part (berm) on the North Sea side with mobile dune formation (white). Towards the Wadden Sea, white dunes are migrating over a grey wet area. In the lee of the vegetated dune ridge (right) are less mobile dunes. (photo RWS Beeldbank).

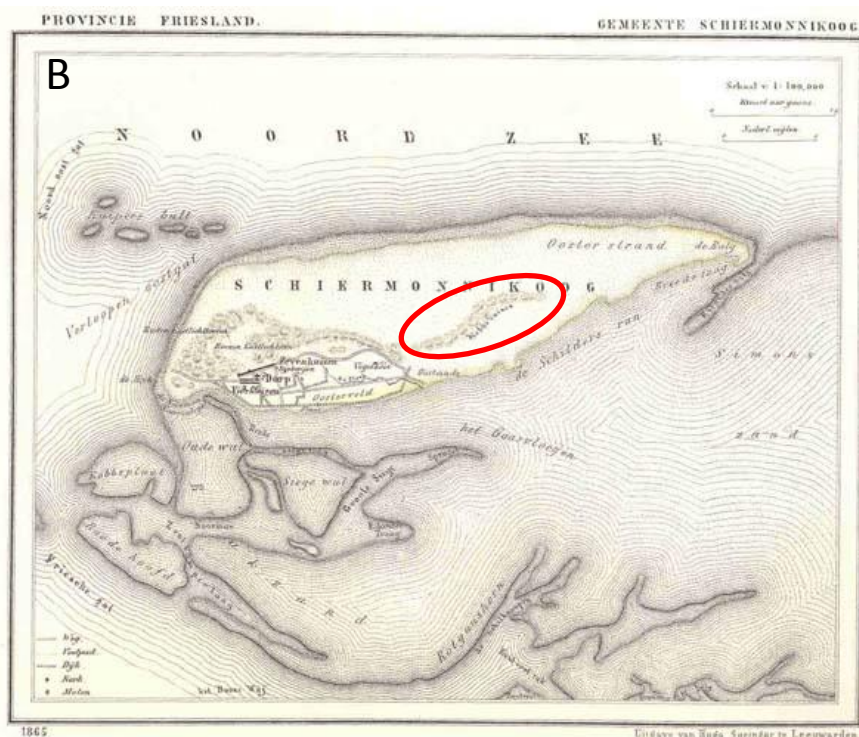
3.6 Fase 2: vorming van vastgelegde duinen

In het tweede stadium vormen zich door vegetatie vastgelegde duinen. Dit begint met de vorming van embryoduinen (Figuur 10). Waar de bodem hoog genoeg ligt en er vloedmerk aanwezig is, kan Biestarwegras (*Elytrigia juncea*) zich vestigen (Bakker, 1976). Deze planten vangen zand in en leggen het vast, zodat een duintje ontstaat en een zoetwaterlensje kan vormen. Deze duintjes zorgen voor de eerste echte luwte op de eilandstaart. Voor de ontwikkeling van velden met embryoduinen is een aantal jaren zonder stormvloed nodig (Van Heteren et al., 2006; Van Puijenbroek et al., in prep..). Wanneer er voldoende zandaanvoer is en verstoring (stormvloed) lang genoeg uitblijft, kan Helm (*Ammophila arenaria*) zich vestigen. Deze plant versnelt de invang van zand, zodat de duinen omhoog kunnen groeien. Het zijn dan witte duinen geworden.

Er kan zich oostelijk van de duinboog een serie (lage) duinen vormen op wat grotere afstand van de Noordzee, zoals in het verleden op Ameland, Schiermonnikoog en Spiekeroog. Deze duintjes ontwikkelen zich haaks op de duinboog, op een locatie ongeveer op de waterscheiding tussen Waddenzee en Noordzee (Figuur 9). Omdat hier de hydrodynamiek het laagste is, kan hier vloedmerk met zaden en wortelstokken blijven liggen. Het vergaan van het vloedmerk zorgt voor de nutriënten die nodig zijn voor de vestiging van planten uit de zaden en wortelstokken (Van Dieren, 1934). Deze duintjes worden doorsneden door een reeks van kleinere openingen, die deels tijdens stormvloed gevormd kunnen worden.

Sommige duintjes kunnen zich uitbouwen tot oogduinen: ronde, soms hoge duincomplexen die halverwege Noordzee en Waddenzee liggen, op enige afstand van het duinboogcomplex. Voorbeelden zijn Willemsduin op Schiermonnikoog en de Eerste t/m Vierde Duintjes op Terschelling. Onder welke omstandigheden oogduinen zich precies vormen is niet geheel duidelijk. Wel kan tijdens stormvloed het water deze duinen van alle kanten omstromen, waarbij hoeken worden afgerond (Bleuten, 1971). Daarbij kan vloedmerk achterblijven dat weer de aanzet kan zijn voor nieuwe vegetatie..

In deze fase is de dynamiek door wind en water nog groot, te groot voor de meeste planten- en diersoorten. Tijdens stormvloed kan zand van het strand door overwash aan de Waddenzeezijde worden afgezet (Ten Haaf & Buijs, 2008). De overwash wordt nog gedomineerd door *sheetflow* (ongekanaliseerd stromend water) over grote oppervlakken.



Figuur 9. Vorming van embryoduinen op een eilandstaart, op enige afstand van het Noorzeestrand (rode cirkels). Voorbeeld voor Ameland (A, 1888, uit Wiertz, 1990) en Schiermonnikoog (B, 1865).

Figure 9. Formation of embryonic dunes on island tails, at some distance from the North Sea beach (red circles). Examples for Ameland (A, 1888, from Wiertz, 1990) and Schiermonnikoog (B, 1865).



Figuur 10. Embryoduinen op Spiekeroog (Foto Alma de Groot, 2013).

Figure 10. Embryonic dunes on Spiekeroog (photo Alma de Groot, 2013).

3.7 Fase 3: uitbreiding landschapstypen

3.7.1 Algemeen

De derde fase is de intermediaire fase, waarin de meeste elementen zich ontwikkelen (deze worden hieronder elke apart behandeld). In deze fase beïnvloeden geomorfologische en biotische processen elkaar sterk. Zodra er voldoende luwte is ontstaan door de zich ontwikkelende duinen, kunnen zich verschillende landschapstypen naast elkaar ontwikkelen, afhankelijk van de positie op de eilandstaart. Dit zijn: groen strand (inclusief microbiële matten), kwelder, washover(complex) en duinen. In dit stadium treden zowel facilitatie als competitie tussen organismen op, en de vegetatie ondergaat de eerste stadia van successie volgens de successiereeksen per landschapstype. Ook zorgt de groei van zoetwaterlenzen voor veel abiotische gradiënten op korte afstand. Door deze combinatie van veranderingen neemt de biodiversiteit sterk toe. De afzetting van fijn materiaal op de kwelder en de vestiging van meerjarige vegetatie zijn belangrijke veranderingen in het systeem, omdat deze de mate van erodeerbaarheid van het substraat, en daarmee de landschapsdynamiek, sterk verminderen.

De eerste kreek- en washovervorming vindt met name plaats in deze fase, wanneer vegetatie het oppervlakte van kwelder en duinen steeds verder vastlegt en fijn sediment wordt afgezet op de kwelder. Vanaf de 'ruggengraat' op het midden van de staart ontwikkelen afwateringsstructuren richting Noordzee en/of Waddenzee. Hoewel veel van deze initiële structuren weer dichtspoulen of -waaien, houden sommige stand om zich tot kreek en/of washover te ontwikkelen.

De noord-zuid-breedte van het eiland speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling van washovers. De hoeveelheid water die een washover in kan lopen tijdens een stormvloed wordt bepaald door de grootte en de hoogteligging van de komberging van de washover, en door de hoogte van de stormvloed. De grootte van het kombergingsgebied wordt bepaald door de afstand tot de volgende washover en de N-Z breedte van het eiland. Een grotere komberging betekent het naar binnen stromen van meer water en daardoor een bredere opening. Een brede opening stuift op haar beurt weer minder gemakkelijk dicht. Afnemende grootte van de opening en toenemende tijdelijkheid van washovers van west naar oost zijn inderdaad geconstateerd op Schiermonnikoog en Spiekeroog (o.a. Ten Haaf & Buijs, 2008).

3.7.2 Groen strand

Een groen strand is een overgangstype dat boven gemiddeld hoog water op een zandige strandvlakte aan de Noordzeezijde ontstaat, en waar zich soorten van zoute tot brakke/zoete vegetaties vestigen. In een volgende fase kan zich geleidelijk een mozaïek van kweldermilieus, al of niet afgesnoerde primaire duinvalleien, sluffers, washoversystemen, embryoduintjes en/of witte duinen ontwikkelen (Bakker et al., 2005; Kers & Koppejan, 2005; Petersen et al., 2013). Anderzijds kan het groene strand ook vrij snel weer verdwijnen en terugkeren in de staat van een onbegroeide strandvlakte. Vaak zijn er ook microbiële matten aanwezig (Stal et al., 1985).

Groene stranden kunnen overal langs de Noordzeekust van een Waddeneiland aanwezig zijn waar een breed strand aanwezig is. Vaak gaat het om grote zandplaten die uit de westelijke buitendelta aanlanden op de kop van een eiland en zich dan met de dominante stroom heel geleidelijk (over decennia) als 'zandgolf' oostwaarts bewegen. Ook kan uitgroei optreden vanuit de oostelijke buitendelta (bijv. Cupidopolder), als de eilandstaart zeewaarts "kwispelt". Een derde mogelijkheid is tenslotte nog een grote inham (washover-opening) waardoor het strand breed genoeg is om de vorming van groen strand te faciliteren.

Voor de vorming van een groen strand is er een zekere vorm van bescherming tegen golfaanval vanuit de Noordzee nodig, in de vorm van een zandbank (eilandkop Schiermonnikoog en Ameland), breed strand of een rij embryonale duintjes (eilandstaart Schiermonnikoog). De bodem is meestal zandig, maar enige slibafzetting op de lagere delen is ook mogelijk, vaak gefaciliteerd door microbiële matten. In tegenstelling tot een kwelder is in de jongere stadia meestal geen krekenspatroon zichtbaar, maar dit kan zich later wel ontwikkelen.

Er zijn meerdere typen te onderscheiden, al zijn de grenzen tussen deze typen niet heel scherp:

- Aan de open kust, waarbij zoete kwel uit een aanliggend duinmassief voor de vestiging van microbiële matten zorgt. Er kunnen zich embryoduinen (evt. overgaand in witte duinen) aan de zeezijde ontwikkelen zich en beschermen het groene strand tegen de open zee. Soortenrijk door vele gradiënten. (Voorbeelden: Schiermonnikoog paal 5 – 7; heel lokaal op Rottumerplaat).
- Gedomineerd door embryoduinen die in de loop van de tijd een landwaarts ervan gelegen gebied deels afsnoeren zodat overige vegetatie zich kan vestigen (Voorbeelden: Schiermonnikoog, Spiekeroog; Figuur 11).
- In de luwte van een zandbank, veel microbiële matten, (vrijwel) zonder embryoduinen, mogelijk onder invloed van zoete kwel uit aangrenzend duingebied. (Voorbeelden: Schiermonnikoog paal 2 – 5 (Severin & Stal, 2008); deel groene strand bij Ballum (Ameland)).

De vegetatiesamenstelling hangt af van of er een duinmassief aanwezig is dat zoet grondwater levert, de hoeveelheid salt spray, overstroming met zout water, de drainage en de dynamiek van het gebied. De vegetatieontwikkeling op groene stranden kan heel snel gaan (Schiermonnikoog, Bakker et al., 2005) of het gebied kan vele jaren lang in ongeveer dezelfde staat blijven (washovercomplex Spiekeroog). Tot zo'n 15 jaar terug werd dit landschapstype lang niet altijd expliciet benoemd, en is daardoor lastig terug te vinden in historische data. De vorming van groene stranden lijkt periodiek te zijn opgetreden op de Nederlandse Waddeneilanden, bijvoorbeeld rond 1990 – 2005, en rond 1920, pers. comm. Kees Dijkema). Op Schiermonnikoog is een groen strand van de jaren '60 bekend (de 'strandvlakte', Joenje & Thalen, 1968). De reden daarvoor is niet met zekerheid bekend, maar kan te maken hebben met periodes waarin relatief weinig stormen optraden in combinatie met de aanwezigheid van brede stranden.

Microbiële matten bieden enige weerstand tegen wind- en watererosie, behalve door zware stormvloed (Figuur 12). Ook de vegetatie van het groene strand zorgt ervoor dat sedimenttransport, met name door de wind, sterk beperkt wordt. Dit kan de sedimenttoevoer naar achterliggende duinen sterk verminderen (pers. obs. Ameland).



Figuur 11. Groen strand op Spiekeroog (foto Alma de Groot, 2013).

Figure 11. Green beach on Spiekeroog (photo Alma de Groot, 2013).



Figuur 12. Erosie (ribbels) van microbiële mat (glad) op Schiermonnikoog (foto Alma de Groot, 2003).

Figure 12. Erosion (ripples) of the microbial mat (smooth) on Schiermonnikoog (photo Alma de Groot, 2003).

3.7.3 Kwelderontwikkeling

In de luwte van de ontwikkelende duintjes, meestal aan de Waddenzeezijde, kan fijn sediment afgezet worden en kweldervegetatie zich vestigen waar de bodem boven gemiddeld hoogwater (GHW) ligt (Olf et al., 1997; Van Wijnen & Bakker, 2001; De Groot et al., 2011a). In de Waddenzee bestaat de pionierzone voornamelijk uit Zeekraal (met name *Salicornia procumbens*), maar ook Engels Slijkgras (*Spartina anglica*) komt steeds meer voor. Zodra het meerjarige Gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*) zich vestigt, komt de opslibbing goed op gang, met een gemiddelde van 0,5 cm/ jaar over de gehele kwelder en met uitschieters van meer dan 1 cm/jaar in de lage kwelder (Van Wijnen & Bakker, 2001). Zo wordt in de loop van de tijd een kleiige laag afgezet. Omdat de onderliggende zandlaag afloopt van de duinen richting het wad en doordat veel slib al meer waddenwaarts tot bezinking komt, is de kleilaag dun aan de kant van de duinen en dik aan de wadrand, en loopt de hoogte van het kwelderoppervlak ook af van duinen richting wad (De Leeuw et al., 1993). De dikte van het kleipakket is een goede voorspeller voor de hoeveelheid beschikbare stikstof voor de vegetatie en heeft daarmee een grote rol in de vegetatiesuccessie (Van Wijnen & Bakker, 1997). In hoofdstuk 4 worden analyses gepresenteerd van de

vegetatie- en kreekpatronen op drie eilanden, hier wordt een meer algemeen overzicht gegeven.

Kreken

Kreken zijn een belangrijk onderdeel van de kwelder. Ze voeren water en sediment aan en zorgen voor drainage. De vorming van de belangrijkste kreken begint met laagtes die al op het wad en de strandvlakte aanwezig waren, waardoor het water zich concentreert (Townend et al., 2011). De vestiging van vegetatie zorgt ervoor dat de stroming zich verder concentreert, waardoor meer kreken zich vormen (Van Straaten, 1954; Temmerman et al., 2007). Hoe geprononceerder het al aanwezige relief, hoe meer de uiteindelijke kreekvormen deze zullen volgen (Schwarz et al., 2014). In het begin is de overgang tussen kwelderrand en wad geleidelijk, zodat veel water over de kwelderrand het gebied in komt en het kreekpatroon nog niet zeer uitgebreid hoeft te zijn om de kwelder te draineren (French & Stoddart, 1992; Temmerman et al., 2005). In de loop van de tijd breiden de kreken zich door achterwaartse insnijding uit (French & Stoddart, 1992; Allen, 2000), en worden belangrijker voor aan- en afvoeren van water en sediment omdat de kwelderrand hoger wordt. Verder worden ze dieper door insnijding in de ondergrond en/of doordat het kwelderoppervlak ophoogt ten opzichte van de kreek (differentiële opslibbing; Allen, 2000; Figuur 13). De locatie van de kreken blijft grotendeels gelijk: ze kunnen lateraal migreren en dus achterwaarts insnijden, maar de grote lijnen veranderen niet (Allen, 2000). Ook het uitbreiden van de kwelder over het wad, en daarmee wadwaarts verlengen van de kreken zorgt voor een vergroting van het krekennetwerk. De uiteinden van de kreken breiden zich door terugschrijdende (achterwaartse) erosie uit tot: 1) ze doodlopen in de duinen; 2) ze overgenomen worden door andere kreken; 3) ze het Noordzeestrand bereiken waar de zandaanvoer verdere zeewaartse uitbreiding verhindert. In dat laatste geval kunnen ze aangesloten raken op een washover (bijvoorbeeld Schiermonnikoog, paal 11). Als de kwelder zo hoog wordt dat er minder water boven komt te staan, slibt een deel van de kreken weer dicht (Allen, 2000). De kreekpatronen kunnen sterk verschillen tussen eilanden en ontwikkelingsfases.



Figuur 13. Kreekvorming door een combinatie van terugschrijdende erosie, verticale insnijding en differentiële opslibbing op de oostpunt van Schiermonnikoog (foto Alma de Groot, 2006).

Figure 13. Creek formation by a combination of retrograde erosion, vertical incision and differential sedimentation on the eastern part of Schiermonnikoog (photo Alma de Groot, 2006).

Kommen en poelen

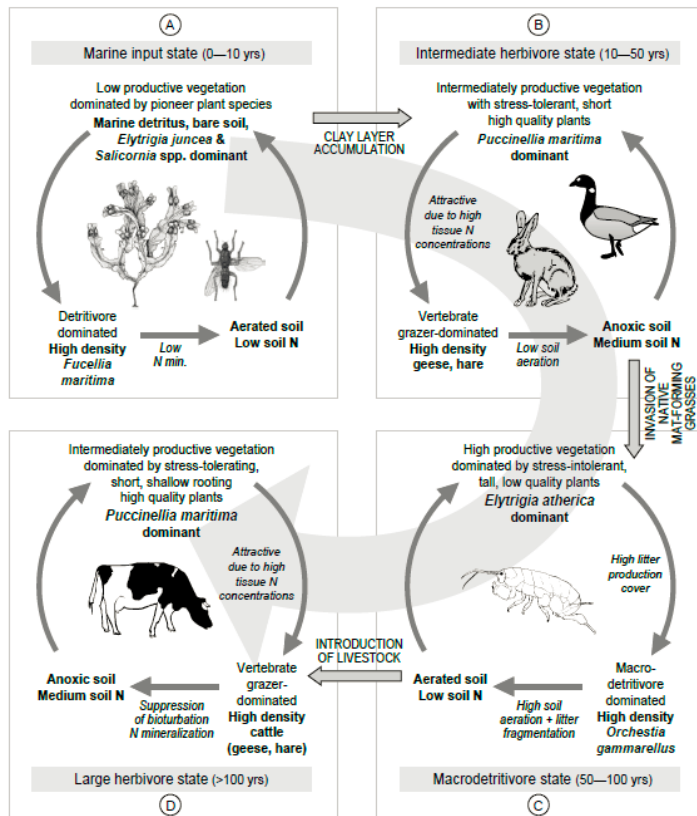
Tussen de krekken ontstaan afvoerlose laagtes (kommen) en poeltjes doordat delen niet zijn aangesloten op drainage (Yapp et al., 1917b; Van Duin & Dijkema, 2012). Het krekensysteem blijkt zich niet altijd voldoende te ontwikkelen om verder weg van het wad gelegen delen snel te ontwateren (veldobservaties Schiermonnikoog en Ameland), waardoor er langdurig water blijft staan. Hier komt bij dat er ook minder sediment wordt aangevoerd op deze plekken waardoor er ook makkelijk laagtes gevormd worden. Ook door het ondergraven van kreekkanten kan een kreek instorten, waardoor de kreek wordt geblokkeerd en een afvoerlose laagte ontstaat (Ameland, Dijkema et al., 2011). Mogelijk kan het wroeten van ganzen naar ondergrondse plantendelen ook voor de vorming van poelen zorgen (Esselink et al., 1997). In de afgesloten poel kan secundaire successie optreden. Het is niet duidelijk in hoeverre het krekensysteem zich in de loop van de tijd weer verder uit zal breiden om deze laagtes toch te draineren.

Groene stranden en kwelders kunnen op elkaar lijken doordat op beide gebieden halofyten groeien, groene stranden soms plaatselijk kleiafzetting kennen en er een afwateringssysteem aanwezig kan zijn. De afwatering van een groen strand is echter over het algemeen veranderlijker in de tijd dan die van een kwelder, en meestal naar de Noordzee gericht. Verder heeft een kwelder niet het kenmerkende kleinschalige mozaïek van vegetatietypes van duin, duinvallei en kwelder, maar kent vooral een mozaïek van kweldervegetaties. Het onderscheid is niet heel scherp en een groen strand kan worden beschouwd als een overgangstype.

Sedimentatie, bodemvorming, vegetatieontwikkeling, en de acties en samenstelling van herbivoren en detritivoren hangen op een kwelder sterk samen, waarbij de kwelder door een aantal typische stadia doorloopt (zie figuur 5). Deze stadia zijn een autonoom proces binnen de in dit rapport geschetste Fase 3 en 4 van de ontwikkeling van een eilandstaart. In de kweldersuccessie verandert de vegetatie van pioniersoorten naar soorten van de lage kwelder (Gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*), Lamsoor (*Limonium vulgare*), Klein schorrenkruid (*Suaeda maritima*) en Zulte (*Aster tripolium*)). Later worden deze opgevolgd door soorten van de midden kwelder, zoals Rood zwenkgras (*Festuca rubra*), Zilte rus (*Juncus gerardii*) en Zeealsem (*Artemisia maritima*). Bij verdergaande successie gaan enkele soorten domineren, op de lager gelegen delen eerst Gewone zoutmelde (*Atriplex portulacoides*), en op den duur overal Zeekweek (*Elytrigia atherica*, Figuur 15). Op locaties met invloed van zoet water door stagnerend regenwater of zoete kwel, kan Riet (*Phragmites australis*) als brakke soort andere soorten gaan verdringen.

Zoet-zoutovergangen

Uniek voor (jonge) eilandstaarten zijn de overgangen tussen duin en kwelder op relatief kleine ruimtelijke schalen binnen enkele tientallen meters, en extreme omstandigheden waar microbiële matten langdurig kunnen ontwikkelen. Deze overgangen zorgen voor een relatief hoge diversiteit op een klein oppervlak waarbij van zoete naar brakke naar zoute vegetatie wordt overgegaan (Grootjans et al., 2014). Deze worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 6).



Figuur 14. Vier stadia van kwelderontwikkeling: mariene input-fase (A), fase van de kleine herbivoren (B), fase van macrodetritivoren (C) en fase van grote herbivoren (D) (Uit Bakker, 2014).

Figure 14. Four stadia of salt-marsh development: marine input phase (A), intermediate herbivore state (B), macrodetritivore state (C) and large herbivore state (D) (from Bakker, 2014).



Figuur 15. Dominantie van Zeekweek op de kwelder van Schiermonnikoog, bij de 4^e slenk. Op de voorgrond enig Riet (foto Alma de Groot, 2013).

Figure 15. Dominance of Sea couch on the salt marsh of Schiermonnikoog, close to the 4th creek. On the foreground some Reed (photo Alma de Groot, 2013).

3.7.4 Washovers en washovercomplexen

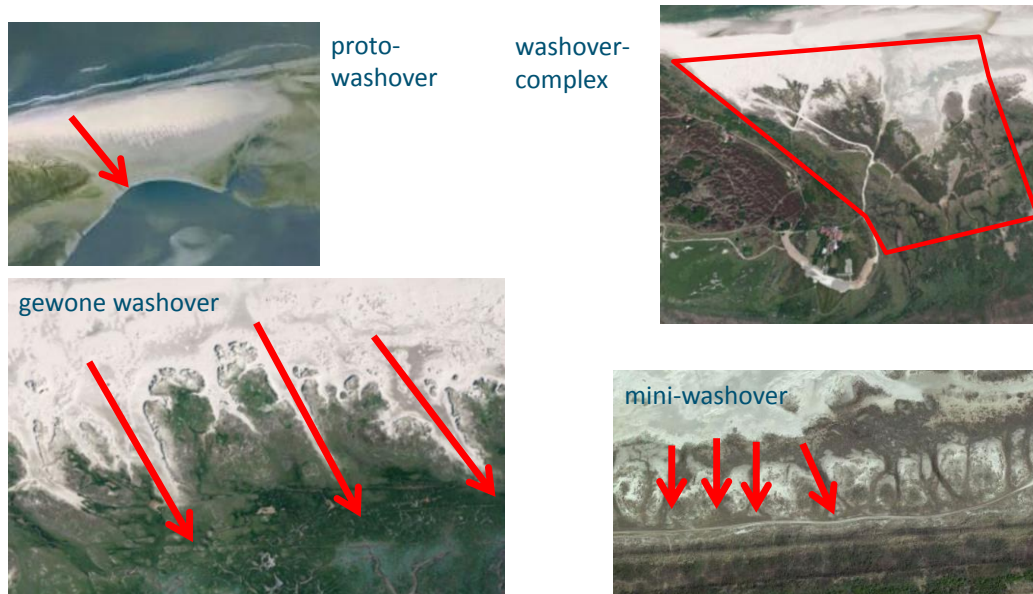
Overwash is het proces waarbij tijdens stormvloed water van de Noordzee over de hoge ruggen/duinen aan de Noordzeezijde wordt geslagen richting de Waddenzee (Matias et al., 2008; Masselink & van Heteren, 2014). Washover is de technische term voor de afzettingen die door overwash worden afgezet. Die afzettingen zijn meestal combinaties van afzettingen door water tijdens overwash en eolische afzettingen van tijdens en na overwash. In het spraakgebruik wordt met 'washover' echter de opening in de duinenrij en de vorm van die afzettingen bedoeld. Wij houden hier ook deze geomorfologische interpretatie aan. De grootte van de washovers neemt veelal af in oostelijke richting (Ten Haaf & Buijs, 2008). Washovers kunnen in verschillende grootte en daarmee vormen voorkomen, van kleine doorbraakgeultjes tot grote washovercomplexen met uitgebreide microbiële matten en groene stranden (Figuur 16).

De locatie van washovers kan mogelijk al in Fase 1 en 2 worden bepaald, maar de vormen komen pas echt tot ontwikkeling in Fase 3. Op sommige kale eilandstaarten (Fase 1) zijn laagtes aanwezig waarover de overwash lijkt te kanaliseren. We noemen deze stroombanen *proto-washovers*, omdat de vorm ervan doet vermoeden dat zich op die locatie later een ander type washover kan ontwikkelen.

De grootste vorm is een *washovercomplex*: "het hele complex (...) van washovergeul, oeverwallen en omliggende strandvlakte (washovervlakte) en naar het zuiden - de kwelder en de bijbehorende washoverdelta, welke allen door het water en het sediment, die via de washover naar binnen komen, beïnvloed worden" (Ten Haaf & Buijs, 2008). De openingen kunnen tot drie km breed worden (bijv. Neerlands Reid op Ameland). De begroeiing bestaat uit groene strand-vegetatie, microbiële matten, duinvegetatie en kweldervegetatie. Een belangrijke rol lijkt weggelegd voor het stagnerende water in de lage vlakte die de keel van het washovercomplex vormt: door de extreme condities blijft dit gebied open en kan de washover over lange periode blijven bestaan (Löffler et al., 2008). Ook kan een groen strand waarschijnlijk het dichtstuiven van een washover langdurig verhinderen. Bij een redelijk stabiele eilandpositie zijn washovercomplexen bekend die zeker 400 (voormalige opening tussen Ballum en Nes, Ameland) tot 500 jaar (Neerlands Reid, Ameland) konden blijven bestaan (Oost, 1995) tot de mens ze sloot door de aanleg van stuifdijken.

Gewone washovers ('washoversysteem' in Ten Haaf & Buijs, 2008) zijn kleinere versies van het washovercomplex, waar de keel slechts enkele honderden tot tientallen meters breed is en het groene strand en microbiële matten meestal ontbreken. Deze washovers komen het vaakst voor. Ze zijn onderdeel van de gekerfde zeereep en kunnen tijdelijk dichtstuiven. Bij stormvloed wordt de keel dan weer geërodeerd. In sommige gevallen zijn ze verbonden met een kwelderkreek.

Een kleine versie van de gewone washovers ('*mini-washovers*') komen voor als een duingebied zich aan het ontwikkelen is of er weinig ruimte is (Cupidopolder, Terschelling). Doordat ze zo klein zijn, ontwikkelen ze niet altijd alle elementen van een gewone washover en is hun ruimtelijke invloed kleiner (De Groot et al., unpubl. data). Washovers blijven bestaan zo lang de aanvoer van sediment en vastlegging ervan door vegetatie in evenwicht zijn met de erosie tijdens stormvloed. Door washovers wordt zand van de Noordzezijde naar de Waddenzeezijde van het eiland gebracht, zowel door water als wind. De bodem die kaal achtergelaten wordt door erosie tijdens de stormvloed, is een goed aangrijpingspunt voor de wind in de periode daarna, totdat de vegetatie het stabiliseert. Bij jonge washovers kan de zandafzetting tot in de Waddenzee reiken (Ten Haaf & Buijs, 2008), maar als de kwelder zich sterker ontwikkeld heeft komt het zand vaak niet veel verder dan ca. 400 m van de washoverkelen (De Groot et al., 2011a).



Figuur 16. Verschillende vormen van washovers: proto-washover, washover-complex, gewone washover en mini-washover. Zie de tekst voor uitleg.

Figure 16. Different forms of washover: proto-washover, washover complex, normal washover and mini-washover. See text for explanation.

Alleen op Schiermonnikoog en Norderney zijn er kreken die direct aansluiten op een washover of washovercomplex. Op de andere meer natuurlijk gevormde (delen van) eilandstaarten is dit niet het geval. De reden waarom sommige kreken wel op washovers aansluiten en andere niet is niet duidelijk. Het kan een toevalsproces zijn, of te maken hebben met de topografie van de strandvlakte in fase I. Hoe sterker dit reliëf is, hoe groter de kans dat kreken dit reliëf blijven volgen (Schwarz et al., 2014). Ook de vorm van de zich ontwikkelende duinen kan mogelijk een rol spelen. Op Schiermonnikoog heeft een deel van de kreken zich achterwaarts ingesneden en daarmee de connectie met de washovers versterkt (pers. obs. Alma de Groot).

3.7.5 Witte duinen

Bij een doorgaande zandtoevoer en vegetatiekolonisatie groeien de embryoduinen uit tot witte duinen. Deze worden gedomineerd door Helm (*Ammophila arenaria*) en Zandhaver (*Leymus arenarius*) en zijn zo hoog dat ze niet meer door de zee overspoeld worden. De eolische dynamiek en zoutspray zijn nog zo hoog dat weinig andere soorten zich kunnen vestigen. In de loop van de tijd kan de duinvorming zich steeds verder over de eilandstaart uitstrekken en kunnen duinen aan elkaar groeien. Ze vormen dan een gekerfde zeereep, waar een deel van de kerven washovers kunnen zijn (Figuur 17).



Figuur 17. Witte duinen (voorgrond), grijze duinen en dichtstuivende washover (midden) en kwelder (achtergrond) op de oostpunt van Ameland (foto Alma de Groot, 2013).

Figure 17. White dunes (foreground), grey dunes and a closing in washover (middle), and salt marsh (background) on the island tail of Ameland (photo Alma de Groot, 2013).

3.8 Fase 4: eindstadium

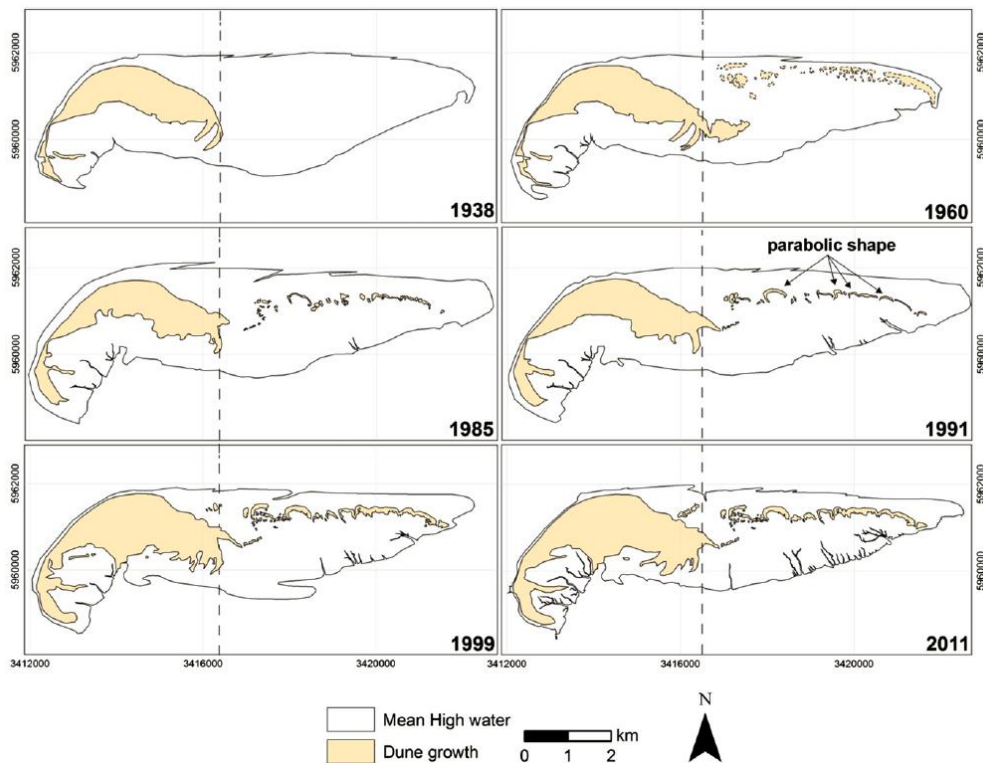
De vierde fase is het eindstadium, waarin de biotische processen domineren en vrijwel niet meer gestuurd worden door abiotische processen. Het vegetatiedek is grotendeels gesloten. Eolisch transport en stormvloed en kunnen in dit stadium nog wel bijdragen aan het ophogen van duinen en kwelder. De overgang tussen fasen 3 en 4 is niet heel scherp: het gebied ondergaat een ontwikkeling waarbij de balans tussen de processen meestal geleidelijk verandert. Bij de organismen heeft in fase 4 competitie de overhand en vegetatiesuccessie gaat richting de eindstadia zoals grijze duinen, oudere kwelder en primaire duinvalleien. De eilandstaartelementen die zich in Fase 3 gevormd hebben, ondergaan allen hun eigen successie. Door de vestiging van vegetatie en rijping van de bodem is het sediment grotendeels vastgelegd, waardoor de zones niet snel meer van plaats veranderen. De krekken breiden zich verder uit en duinvalleien kunnen dichtgroeien. Uiteindelijk kunnen duinen op een eilandstaart zich ontwikkelen tot duinboog. Daarbij kunnen de brede washovercomplexen zich nog gedurende eeuwen handhaven, zoals blijkt uit de washovercomplexen tussen Ballum en Nes en tussen Buren en Oerd op Ameland en het Tuskendör op Borkum. Omdat er in de afgelopen eeuwen veel menselijke ingrepen op eilandstaarten zijn geweest, zijn waarschijnlijk niet alle mogelijke eindstadia op dit moment aanwezig. Het is zelfs nog mogelijk dat sommige eindstadia niet bekend zijn.

De successie van de verschillende landschapstypen uit fase 3 gaat als volgt:

- Wanneer een groen strand door nieuwe duinvorming raakt afgesnoerd van de Noordzee, ontstaat een primaire duinvallei. Doordat de overspoeling vanuit de Noordzee zelden of nooit meer plaatsvindt, raakt de vallei verzoet. Primaire duinvalleien hebben meestal een langgerekte vorm doordat de nieuwe duinenrij parallel aan de oude ligt. Op de kwelder neemt de opslibingssnelheid af naarmate de kwelder hoger komt te liggen en/of de afstand tot de wadrand toeneemt. Dat laatste gebeurt wanneer er nieuwe aangroei aan de wadzijde plaatsvindt (Ameland, Schiermonnikoog, Spiekeroog). Deze nieuwe aangroei (die zich lokaal in fase 3 bevindt) wordt in

het begin gedomineerd door zeekraal en er ontstaat een nieuw fijnmazig krekennetwerk. Als de kwelder relatief hoog ten opzichte van het wad komt te liggen, kan er een klif ontstaan, dat geleidelijk terugschrijdt (Yapp et al., 1917a; Jakobsen, 1954; Van de Koppel et al., 2005). Na terugtrekking van het klif kan theoretisch weer nieuwe kwelder vormen op het wad voor het klif, maar dit is op de Waddeneilanden nog niet grootschalig waargenomen. De kwelderplanten beschermen het oppervlakte tegen erosie, zodat verticale erosie van het kwelderoppervlak verwaarloosbaar is (Friedrichs & Perry, 2001) en eigenlijk alleen maar optreedt als de vegetatie te dun wordt door bijvoorbeeld vertrapping of stagnerend water (Dijkema et al., 2011).

- Bij voldoende zandaanvoer kunnen washovers dicht worden gestoven. Daarmee sluiten de gekerfde voorduinen zich tot een nieuwe duinboog, een proces dat gaande lijkt te zijn op Spiekeroog (Figuur 18). Zowel het vormen van een nieuwe duinboog als het sluiten van een washovercomplex (wat, voor zover gedocumenteerd, tot nu toe op de huidige staarten alleen onder invloed van aanleg van stuifdijken is gebeurd in de West- en Oostfriese eilanden) gaan meestal gepaard met een toename in luwte waarbij de kwelder zich verder kan uitbreiden. Ook kan een deel van een washovercomplex in een primaire duinvallei overgaan. Grote washovercomplexen die duinboogcomplexen begrenzen liggen vaak op constante afstand van elkaar. Dit suggereert dat een nieuwe duinboog op een eilandstaart een vergelijkbare lengte zal krijgen als de al bestaande duinbogen op het eiland.
- Wanneer de zandtoevoer en zoutinvloed (o.a. zoutspray) naar de duinen afnemen, bijvoorbeeld wanneer er een nieuwe rij duinen zeewaarts ontstaat, kan echte bodemvorming optreden. Witte duinen veranderen dan in grijze duinen. Dit betekent een sterke toename van biodiversiteit en de vestiging van struiken zoals Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*). Grijze duinen zijn floristisch het meest rijk wanneer er nog enige 'overpoedering' met zand plaatsvindt (Meijer et al., 2013).



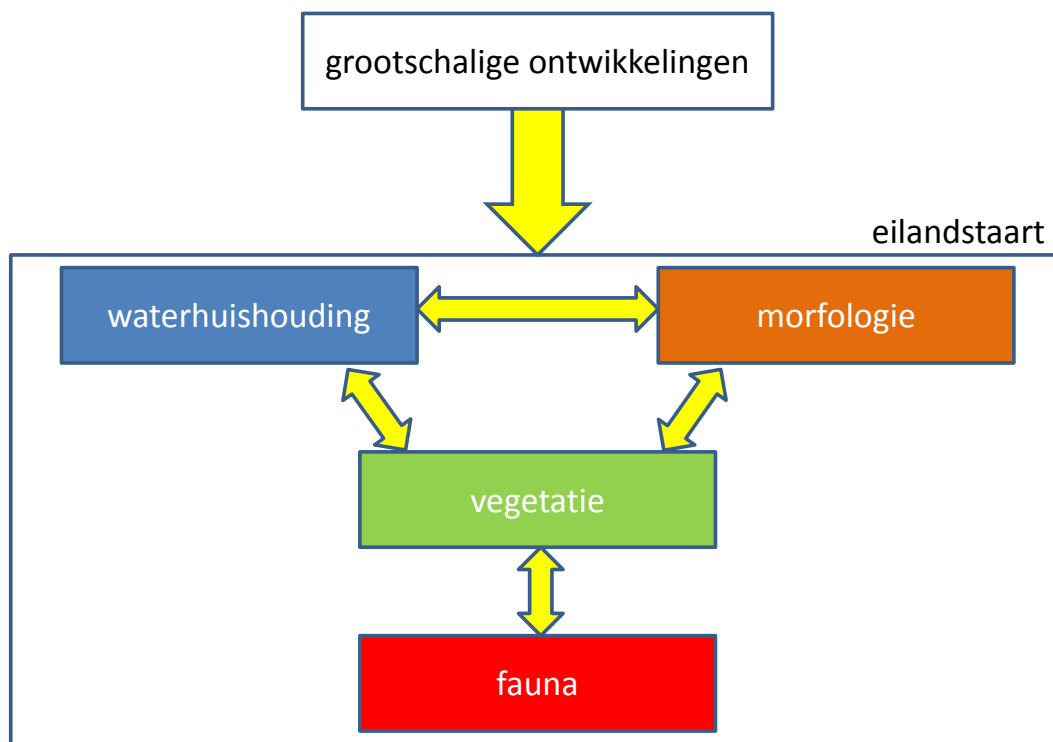
Figuur 18. Ontwikkeling van de duinen en krekens op de Ostplate, eilandstaart van Spiekeroog (uit: Röper et al., 2013).

Figure 18. Development of the dunes and creeks on the Ostplate, the island tail of Spiekeroog (from Röper et al., 2013).

3.9 Verdere ontwikkeling na Fase 4

De hierboven beschreven vier fasen gelden voor een situatie waarin de accommodatieruimte min of meer gelijk blijft door de tijd. De eilandstaart kan echter aangroeien of eroderen door processen op grotere schaal (Schaalniveau II, Figuur 19). Dit heeft consequenties voor het voortbestaan van de elementen die zich op de eilandstaart ontwikkeld hebben.

Als een voortgaande netto aanvoer van sediment door grootschalige processen, de accommodatieruimte op de eilandstaart doet toenemen (Figuur 6, linksonder) kunnen zich nieuwe groene stranden, washovers, duinen etc. vormen. Deze hebben echter een andere plaats in de energiegradiënten van wind en water, en er is vaak ook minder ruimte beschikbaar. Door de aangroei verandert ook de afstand van de bestaande landschapselementen tot de Noordzee en Waddenzee, waarmee de dynamiek van wind en water binnen deze elementen kan veranderen, met effect op de sedimentatie, drainage en vegetatie.



Figuur 19. Samenhang tussen grootschalige ontwikkelingen (schaalniveau I en II, bovenste blokje), en de processen binnen de eilandstaart (schaalniveau III, IV en V, onderste vier blokjes).

Figure 19. Connexion between large-scale processes (levels I and II, upper rectangle), and the processes within the island tail (levels III, IV and V, lower four rectangles).

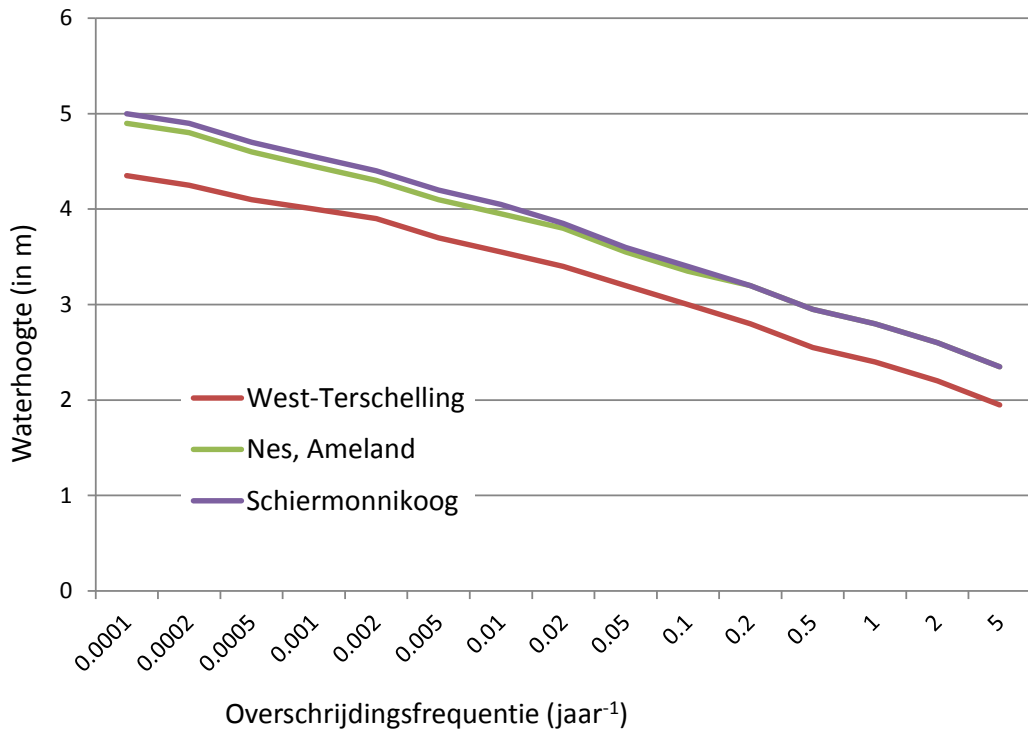
Verkleining van de accommodatieruimte en/of regressie/verjonging kan op verschillende schalen plaatsvinden (Tabel 3). Op *schaalniveau II* zijn dit grootschalige geomorfologische ontwikkelingen. Eilandstaarten zijn zeer beweeglijk waarbij uitbouw na verloop van tijd weer plaats zal maken voor afslag, bijvoorbeeld via erosie doordat een geul weer dicht onder het eiland komt te liggen. Het bij erosie weer vrijkomende zand kan ten goede komen aan de eilandstaart zelf of verdwijnen. Van duinen is dit proces van duingroei bij kusterosie bekend (Psuty, 1992; Hesp, 2002; Beekman, 2007), maar langs de Nederlandse kust leidde structurele erosie (voordat die met suppleties werd bestreden) eerder tot netto duinverlies (Arens & Wiersma, 1994). Grootschalige erosie voltrekt zich momenteel op Terschelling, waarbij delen van de kwelder en duinen van de Boschplaat en Cupido's Polder deels verdwijnen en deels verjonging ondergaan. Ook wordt een deel van het zand weer afgezet op de zuidoost punt van de Boschplaat. Iets bescheidener van aard is de ontwikkeling op Ameland

waar in de periode 1949-1980 een groot deel van de oostpunt veranderde in een gebied onder de laagwaterlijn. Dit is daarna weer een strandvlakte geworden. Erosie leidt meestal tot een terugzetten van het gebied naar fase 1. Helaas ontbreekt tot nog toe een gedetailleerd beeld van de rol die deze erosieve fasen spelen op natuurlijke eilandstaarten over tijdschalen langer dan circa 50 jaar.

Op *schaalniveau III* kan de morfologische dynamiek van onderdelen van de eilandstaart, zoals washovers tot gevolg hebben dat die delen van het systeem terug gezet kunnen worden in ontwikkelingsfase of lang (meerdere decennia tot eeuwen) in een bepaalde fase kunnen worden gehouden. Stormvloed en zandverstuiving werken daarbij faciliterend. Een belangrijke verstoring kan het afsterven van de vegetatie zijn. Met name bij duinen kan dit leiden tot verstuiving en daarmee tot sterke lokale veranderingen van de hoogte en bedekking van de vegetatie door meer of minder dikke lagen zand. Ook een sterke verzilting van zoete vegetaties van duinvalleien of groen strand kunnen tot het terugzetten van de successie leiden.

Het optreden van overwash is afhankelijk van stormvloedhoogte (Figuur 20), golfhoogte, en terreinhoogte. Deze laatste betreft met name de hoogte van de washoverkeel en de achterliggende kwelders, en eventueel de duinen waar geen washover(complexen) aanwezig zijn. De frequentie van overwash neemt ruwweg een factor 10 af met elke paar decimeter extra hoogte (Figuur 20). Deze zogenaamde decimeringshoogte is op Terschelling bijvoorbeeld 45 cm. In welke mate en over welk areaal overwash regressie kan veroorzaken is nog niet bekend. Het opruimen van stukken kwelder inclusief de organische toplaag is wel waargenomen op Rottum (veldbezoek september 2013).

Na overwash zijn eolische processen van belang om het vrijgekomen zand verder te verdelen, en zand van het strand het eiland op te transporteren (Nielsen & Nielsen, 2006; Ten Haaf & Buijs, 2008). Vooralsnog is daarom het belang dat dit soort processen spelen bij het laag en dynamisch houden van strandvlakte, washovervlakte, duinen en kwelder niet goed bekend. Het zijn juist deze dynamische invloeden die, in interactie met microbiële matten en vegetatie, het gebied haar herkenbare biogeomorfologische karakter geeft. Of washover(complexen) ook een belangrijke rol hebben in uitwisseling van zeewater, zoutspray, nutriënten, slib, plantenzaden etc. is niet bekend.



Figuur 20. Kans (x-as) dat een bepaalde waterhoogte (y-as) optreedt voor Terschelling (voor meetstation West-Terschelling), Ameland en Schiermonnikoog (gebaseerd op langjarige verdeling 2008, RWS).

Figure 20. Probability (horizontal axis) that a certain water level (vertical axis) will occur for West-Terschelling, Ameland and Schiermonnikoog (based on long-term distribution 2008, RWS).

Door de afname van de erodeerbaarheid van de bodem met de tijd (door vegetatievestiging en kleiafzetting) en doordat er steeds meer sediment wordt opgeslagen, zullen de verstoringen over het algemeen steeds groter moeten worden qua energie naarmate de eilandstaart verder in de biogeomorfologische successie komt. Naast grootschalige natuurlijke verstoringen is het ook mogelijk dat menselijke ingrepen de successie weer terugzetten, zoals afplaggen en begrazing.

Op de kwelders ook kunnen spontane, interne processen tot regressie leiden, zoals cyclisch kweldergedrag. Daarbij wordt door sedimentatie de kwelderrand steeds steiler. Dit vormt een aangrijpingspunt voor golven, waardoor een terugschrijdend klif ontstaat. Ook vernatting, bijvoorbeeld door het dichtslibben of -vallen van kreken, kan voor regressie van de vegetatie zorgen.

Tenslotte zijn er kleinschalige verstoringen op schaalniveau IV die door lokale fysische processen veroorzaakt kunnen worden, maar ook door biologische processen, zoals begrazing door ganzen, konijnen en hazen (Bakker, 2014), wroeten door ganzen (Bakker et al., 1999) en depositie van sediment, algenmatten of vloedmerk. Deze dynamiek kan lokaal en meestal zeer tijdelijk de successie vertragen of terugzetten.

Tabel 3. Verstoringen op eilandstaarten op verschillende ruimte- en tijdschalen.

Table 3. Disturbances on island tails on various spatial and temporal scales.

Schaalnive au	Gebeurteni s	Proces	Tijdschaal	Effect op diversiteit
II		Grootschalige evolutie eilanden: netto oostwaartse groei (geleidelijk of via aanlanding platen)	Eeuwen	Terugzetten biogeomorfologische successie
III	Extreme stormvloed	Doorbreken duinen en afzetting zand op kwelder en duin, erosie duinvoet, erosie deel eilandstaart(?) Effect kwelder??	1 tot 100 jaar	Terugzetten biogeomorfologische successie
IV	Hoge stormvloed	Erosie van duinvoet, washoverkelen en strand, afzetting zand op kwelder en duinen. Sedimentatie gehele kwelder.	1 tot 10 jaar	Lokaal terugzetten biogeomorfologische successie
V	Hoge springvloed/ stormvloed	Gat in duincomplex, Sedimentatie gehele kwelder.	Jaarlijks	In stand houden zonerings
	Springvloed	Neerleggen van vloedmerk en algenmatten. Sedimentatie lage kwelder.	Elke 14 dagen of vaker	Varieert van lokale regressie, in stand houden zonerings, tot successie

3.10 Menselijke invloed

3.10.1 Wijzen van menselijke invloed

Er zijn verschillende wijzen waarop mensen in de loop der tijd invloed hebben uitgeoefend op de ontwikkeling van eilandstaarten, en in sommige gevallen nog steeds uitoefenen. De meeste ingrepen zijn bedoeld om de dynamiek te beperken en daarmee eilandareaal sneller vast te leggen op zelf verkozen locaties. Door menselijke ingrepen zijn de opbouwende processen versneld waardoor er minder gradiënten zijn (zowel tussen fasen, landschapselementen, zoet-zout, leeftijd enz.). Soms worden fasen zelfs helemaal overgeslagen. De afbrekende processen daarentegen zijn veelal beperkt, omdat het landschap is gestabiliseerd door de ingrepen, zoals stuifdijken. Dit alles vormt een duidelijke inbreuk op een volledig natuurlijke ontwikkeling, aangezien dynamiek één van de belangrijkste sturende factoren is bij de ontwikkeling van een eilandstaart en mede de verdeling van de kenmerkende landschapselementen in tijd en ruimte bepaald.

De menselijke ingrepen zijn onder te verdelen in technische ingrepen, beheermaatregelen en indirecte ingrepen. Deze worden hieronder behandeld. In Bijlage A staat een overzicht van wanneer welke ingrepen hebben plaatsgevonden op de eilandstaarten van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog.

Technische ingrepen: deze verminderen vaak de natuurlijke abiotische dynamiek, waardoor de vastlegging van sediment en successie versneld worden. Er zijn hierbij zowel harde maatregelen (met gebiedsvreemd en gebiedseigen materiaal) te onderscheiden als meer zachte maatregelen:

- Stuifschermen en helmaanplant (Figuur 21): tijdelijke (lokale) maatregel om dynamiek te beperken en zand in te vangen, gebruik makend van natuurlijke processen. Helmaanplant werd met name vanaf 1900 grootschalig toegepast. Hiermee werd overstuiving voorkomen en werd in het zomerhalfjaar een zandbuffer opgebouwd die de erosie in het winterhalfjaar moest opvangen. Op de eilandstaarten heeft dit vooral in de vorm van stuifdijken plaatsgevonden. De successie (vooral fase 1 en 2) wordt versneld, maar ook de ruimtelijke ontwikkeling wordt gestuurd/beïnvloed.

- Stuifdijken: permanente, meestal grootschalige maatregel die een blokkade tussen het strand en het achterliggende gebied vormen en daarmee de dynamiek vanuit de Noordzee sterk beperken. De successie wordt versneld, zodat het gebied in fase 3 of terecht komt en de ruimtelijke ontwikkeling wordt sterk beïnvloed. In de luwte wordt kweldervorming bevorderd. Grote delen van de kwelders op de Waddeneilanden zijn daarmee een cultuurlandschappelijk element.
- Indijken/inpolderen van (delen van) de eilandstaart: permanente, meestal grootschalige maatregel waarbij (delen van) de eilandstaart onttrokken worden aan een verdere ontwikkeling.
- Stortstenen/betonnen oeververdediging (Figuur 21): vrij permanente maatregel, meestal bedoeld als bescherming tegen erosie/dynamiek, maar voorkomt daardoor de mogelijkheid tot verjonging (terugkeer naar eerdere fasen van de ontwikkeling) en blokkeert een natuurlijke gradiënt van wad naar hoger gelegen ontwikkelingsstadia. Toepassing vindt meestal pas plaats in fase 4.
- Rijnshoutdammen: semipermanente (lokale) maatregel bedoeld om dynamiek te beperken en kwelderontwikkeling mogelijk te maken, gebruik makend van natuurlijke processen. Successie naar fase 3 en 4 wordt hierdoor versneld, maar ook de ruimtelijke ontwikkeling wordt gestuurd/beïnvloed.

Natuurbeheermaatregelen: deze zijn bedoeld om successie te vertragen of zelfs terug te zetten. Ze vinden meestal pas plaats als er door, al dan niet natuurlijke, successie een voor het beheer ongewenste situatie is ontstaan. Dat is meestal een achteruitgang in biodiversiteit c.q. dominantie van een (gras)soort, of tekort van een bepaald landschapselement/vegetatiezone. Vaak is gebrek aan dynamiek de achterliggende oorzaak die beheermaatregelen noodzakelijk/gewenst maakt. De effecten zijn meestal relatief lokaal en de verschuivingen vinden meestal binnen een fase plaats en niet tussen fasen.

- Beweiding door runderen, paarden en/of schapen (Figuur 21). In de kwelder heeft dit niet alleen een direct effect op vegetatie (afgrazen en vertrapping), maar ook een indirect effect via inklink/verdichting van de bodem en vernatting door stagneren van water in diepe sporen (bijvoorbeeld Bakker, 2014). Op die manier wordt een gewenste vegetatiezone uit het begin van de successie vastgehouden, omdat deze geschikt is voor bv. broedende of foeragerende vogels. In de duinen kan beweiding behalve een direct effect op de vegetatie ook een indirect effect hebben als door vertrapping zand weer kan gaan stuiven (Nijssen et al., 2014).
- Drainage aanpassen (Figuur 21): Het verminderen van vernatting door krekten te vergroeven of (extra) greppels te graven wordt meestal ingezet om beweiding te vergemakkelijken of mogelijk te maken en daarmee de vegetatiesuccessie terug te zetten in de tijd. Ook het tegenovergestelde wordt toegepast. In dat geval wordt vernatting gestimuleerd door krekten af te dammen of dicht te gooien om zodoende water langer in het gebied te houden en vegetatiesuccessie te vertragen of zelfs regressie te veroorzaken (bijvoorbeeld Norderney).
- Aflaggen: door het verwijderen van de bovenlaag wordt de successie van een landschapselement tijdelijk enkele stappen teruggezet, waardoor bv. stuifkuilen of loopduinen kunnen ontstaan.

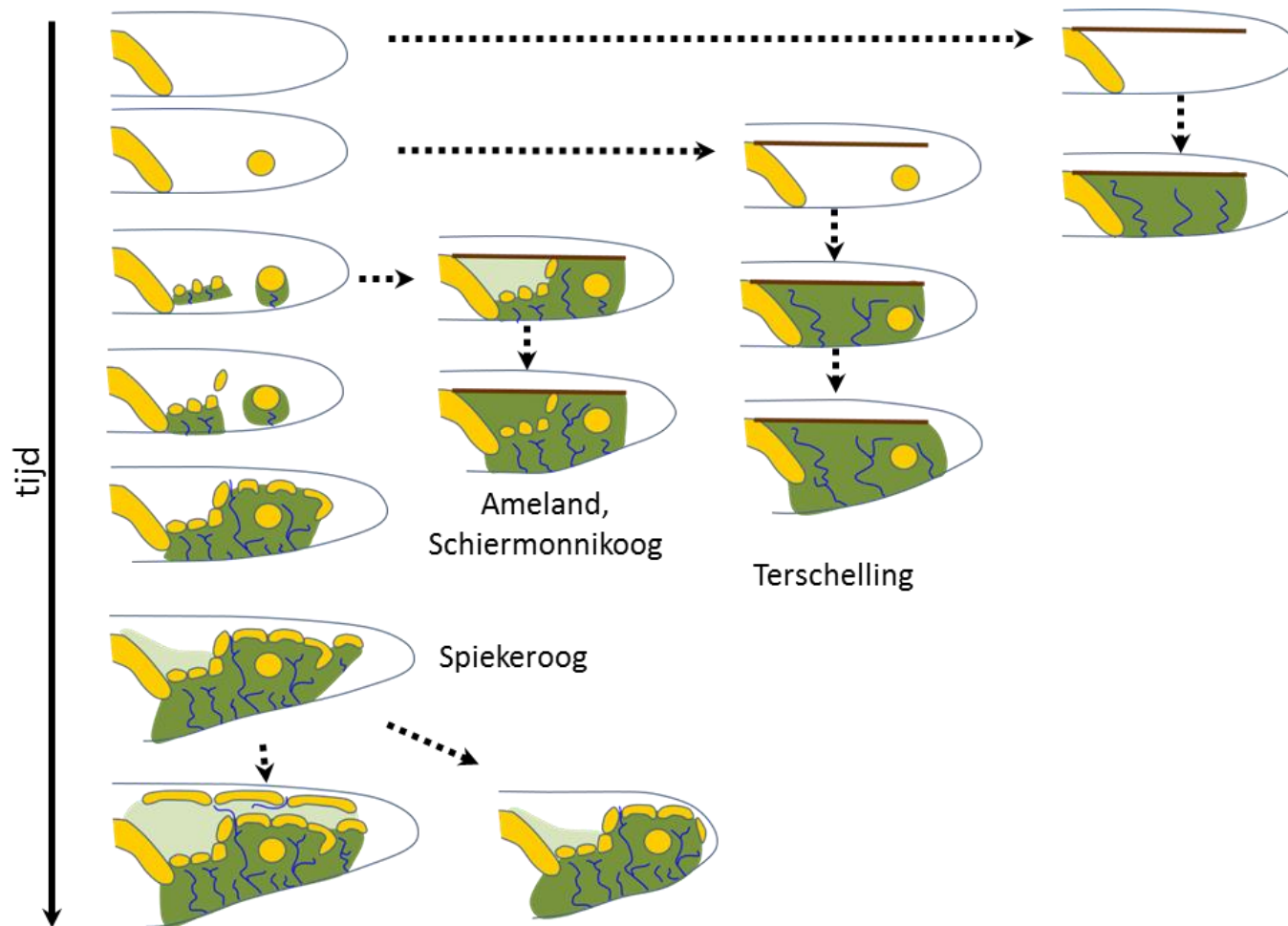
Indirecte ingrepen: deze vinden niet op (het maaiveld van) de eilandstaart zelf plaats maar wel in de invloedssfeer van de eilandstaart.

- Indijken/inpolderen op het vasteland: hierdoor wordt het kombergingsgebied verkleind en veranderen de evenwichtsdimensies van buitendelta's (krimp) en geulen (opvulling). Dit kan de aangroei van de eilanden ten goede komen (Fitzgerald et al., 1984; Oost, 1995). Voorbeelden zijn Schiermonnikoog (inpoldering en uiteindelijke afsluiting van de Lauwerszee), Spiekeroog en Wangerooge (inpoldering Harlebucht).
- Delfstofwinning: Bij gaswinning kan bv. bodemdaling optreden, wat direct of indirect (door een effect op de ontwatering) een vertragend effect op de vegetatiesuccessie kan hebben.
- Zandsuppleties: deze zijn vooral op Ameland uitgevoerd. Op Terschelling is beperkt gesuppleerd, op Schiermonnikoog en Spiekeroog niet (op Spiekeroog alleen een duinsuppletie in het westen).



Figuur 21. Voorbeelden van menselijke ingrepen op eilandstaarten. Met de klok mee vanaf linksboven: stuifschermen (Schiermonnikoog), stortstenen oeververdediging (Ameland), drainage (Norderney) en beweiding (Ameland) (foto's Alma de Groot, alle 2013).

Figure 21. Examples of human impact on island tails. Clockwise from upper left: sand screens (Schiermonnikoog), stone revetment on the salt-marsh edge (Ameland), drainage (Norderney) and livestock grazing (Ameland) (photos Alma de Groot, 2013).



Figuur 22. Schematische ontwikkeling van eilandstaarten door de tijd, zonder (links) en met (midden en rechts) menselijke ingrepen.
 Figure 22. Schematic development of island tails through time, without (left) and with (middle and right) human interferences.

3.10.2 Effect op eilandstaarten

In Figuur 22 is grafisch weergegeven welke ontwikkelingen de eilandstaarten van vier in dit rapport nader behandelde eilanden heeft doorgemaakt na menselijk ingrijpen en deze wordt vergeleken met een natuurlijke ontwikkeling.

De timing van menselijke ingrepen op de eilandstaarten tijdens hun ontwikkeling is verschillend geweest, waardoor de elementen tegenwoordig soms minder goed (in geval ingrijpen in vroege fase), maar soms nog wel goed zichtbaar zijn (in geval van ingrijpen in latere fase, Figuur 22):

- Wanneer een kale eilandstaart met een stuifdijk van de Noordzee wordt afgesloten is de verwachting dat het gehele gebied zich tot kwelder zal ontwikkelen.
- Op Terschelling is een stuifdijk gebouwd toen alleen nog oogduinen aanwezig waren op de verder (nagenoeg) kale eilandstaart. In de luwte van de stuifdijk is over de gehele lengte in korte tijd een kwelder ontwikkeld die van het wad doorloopt tot aan de stuifdijk.
- De aanleg van stuifdijken op Ameland en Schiermonnikoog vond plaats toen er al embryoduin van fase 2 aanwezig waren en in het geval van Schiermonnikoog ook een beginnende kwelder en groen strand. Als gevolg van de aanleg van de stuifdijk vond er geen zandtransport naar de embryoduin meer plaats, zodat deze 'gefossiliseerd' achterbleven. Het gebied er omheen ontwikkelde zich versneld tot kwelder.
- Op Spiekeroog zijn er geen menselijke ingrepen op de eilandstaart geweest. Deze bevindt zich in fase 3 en 4 van de ongestoorde ontwikkeling.

Naast de aanleg van stuifdijken zijn er op de afzonderlijke eilanden andere ingrepen van belang geweest voor de ontwikkeling (Bijlage A). Op dit moment bestaat de meest belangrijke beïnvloeding op Terschelling uit beweiding en strandrijden. Op Ameland zijn dat bodemdaling, aanwezigheid van de NAM-locatie, aanleg duinvallei en beweiding Neerlands Reid. Op Schiermonnikoog spelen beweiding en rijden op het strand (en soms de kwelder).

4 Kwelderontwikkeling

4.1 Inleiding

De ontwikkeling van kweldervegetatie ondergaat een typische successiereeks. De vegetatiesamenstelling op enige tijd is afhankelijk van de tijd sinds kolonisatie (m.a.w. successie), nutriëntenbeschikbaarheid, hoogteligging ten opzichte van GHW, drainage, bodemvorming en herbivorie (Adam, 1990; De Leeuw et al., 1993; Olf et al., 1997; Bakker, 2014). De invloed van kleidikte, herbivorie en kwelderleeftijd op de successie wordt reeds uitgebreid wetenschappelijk bestudeerd. In dit hoofdstuk gaan we nader in op een aantal minder vaak bestudeerde factoren, die naar verwachting een rol spelen in de vorming van vegetatiepatronen op de eilandstaarten in ruimte en tijd. De achterliggende vraag is welke factoren het sterkste de vegetatiesamenstelling op het niveau van de eilandstaart bepalen, zodat beheer voor verjonging gericht op die factoren in kan worden gezet. In dit hoofdstuk wordt daarbij met name gekeken naar het effect van kreekpatronen, maaiveldhoogte, opslibbing, leeftijd en menselijke ingrepen. Er worden zowel nieuwe analyses gedaan als bestaande analyses samengevat.

De meeste analyses zijn gedaan voor Terschelling, Schiermonnikoog en Spiekeroog. De vegetatieontwikkeling op Ameland is buiten beschouwing gelaten omdat de bodemdaling door gaswinning hier te veel invloed op heeft (Dijkema et al., 2011). Wel zijn data van Ameland gegeven als voorbeeld van het gedrag van een kwelder onder versnelde zeespiegelstijging.

4.2 Methoden krekken en vegetatie

Voor vegetatieontwikkeling is gebruik gemaakt van vegetatiekaarten met de 'TMAP' typologie (Petersen et al., 2013). Voor Terschelling zijn dit de Rijkswaterstaat VEGWAD karteringen³ uit 1991, 1995, 1999 en 2006; voor Schiermonnikoog de VEGWAD karteringen uit 1984, 1992, 1997, 2004 en 2010; en voor Spiekeroog karteringen uit 1991, 1997 en 2004. Er zijn in de loop van de tijd verschillen in kartering opgetreden, die een deel van de fluctuaties tussen jaren kan verklaren. Kleine verschillen worden daarom niet benoemd. Verder uitsplitsen naar bijvoorbeeld SALT-typen voegt weinig toe, omdat daar naar verwachting nog meer variatie door verschillende karteerders zal optreden.

Daarnaast is gebruik gemaakt van luchtfoto's (IPO 2010 en www.bing.com/maps) en het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN, 2007-2012).

De omtrek van het begroeide deel is voor elke eilandstaart afgeleid van de meest recente vegetatiekaart. De onbegroeide zandplaten en pre-pionierzone zijn daarbij weggelaten. Gebieden met een hoogte boven +225 cm NAP (uit het AHN) zijn weggelaten om alleen de kweldergebieden mee te nemen. Beweide gebieden op Terschelling en Schiermonnikoog zijn buiten de analyse gehouden..

3

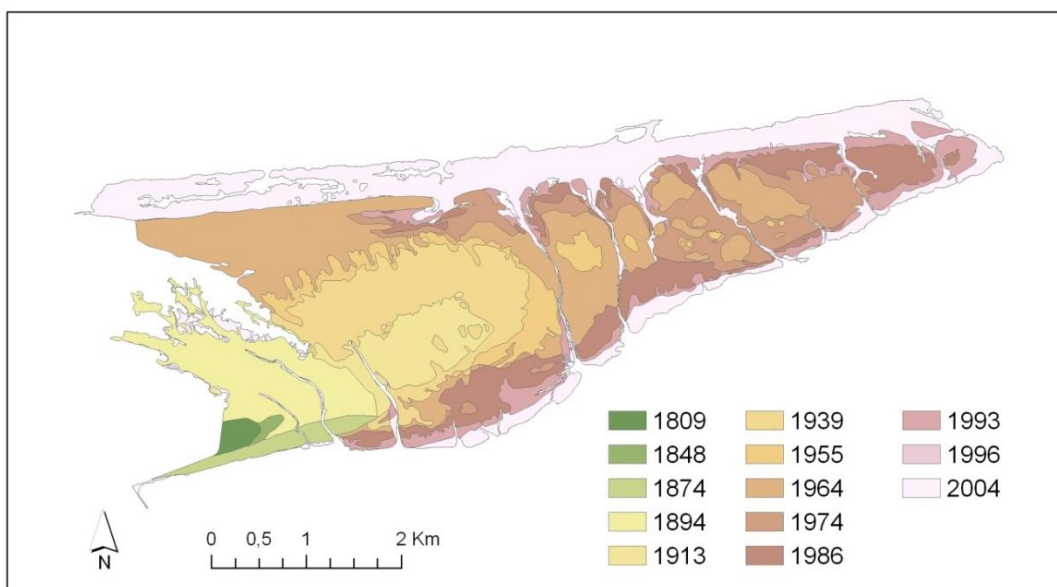
http://www.rijkswaterstaat.nl/water/natuur_en_milieu/kwelders/inwinning_en_monitoring/

Kreken zijn gedigitaliseerd op basis van Bingmaps en voor Nederland de IPO luchtfoto 2011. Slenken die onderscheiden konden worden op schaal 1:1600 zijn gedigitaliseerd. De kreeklijn is getekend in het midden van de kreek. Elke vertakking heeft een eigen lijn, die met vertex verbonden is aan de rest van de kreek. Hierdoor kan het aantal vertakkingen per stroomgebied worden bepaald. De totale lengte van de kreek per stroomgebied (catchment) is bepaald door de lengte van alle kreekfragmenten in de stroomgebied op te tellen. De kreekdichtheid is deze lengte gedeeld door het oppervlak van het stroomgebied.

Elk stroomgebied rond elke hoofdkreek is handmatig ingetekend op basis van de vorm van de kreek, veldkennis en de hoogtegegevens (AHN)⁴. Eerst zijn hoofdkreken onderscheiden, namelijk die kreken die tijdens laagwater nog grotendeels watervoerend zijn en duidelijk doorlopen op het wad. Deze zijn van west naar oost genummerd, zoals dit op Schiermonnikoog en Terschelling gebruikelijk is. Tussen twee hoofdkreken is een lijn getekend die ongeveer op gelijke afstand van de kreken ligt. Thiessen-analyse was wenselijker om de stroomgebieden te bepalen, maar dit was niet mogelijk met de huidige dataset, ook omdat tussen de hoofdkreken veel kleine vertakte of zelfstandige kreekjes liggen. Deze zelfstandige kreekjes zijn nu opgenomen in het stroomgebied van de hoofdkreek.

De stroomgebieden zijn gebruikt om uitsneden van de vegetatiekaarten te bepalen en daarmee de oppervlakken van de vegetatietypes te bepalen. Bij de interpretatie van de resultaten is onder andere gebruik gemaakt van de leeftijdenkaart van Schiermonnikoog (Kers et al., 1998; Jager, 2006, Figuur 23). Voor Terschelling ontbreekt vegetatiedata van rondom 1985, en bij de kartering van 1991 is het gebied 1 en een deel van 2 niet gekarteerd.

Vanwege het relatief lage aantal waarnemingen zijn geen statistische testen toegepast, maar zijn de gegevens kwalitatief geïnterpreteerd.



Figuur 23. Leeftijden van de kwelders en duinen van de eilandstaart van Schiermonnikoog (Kers et al., 1998; Jager, 2006).

Figure 23. Age of the salt marshes and dunes on the island tail of Schiermonnikoog (Kers et al., 1998; Jager, 2006).

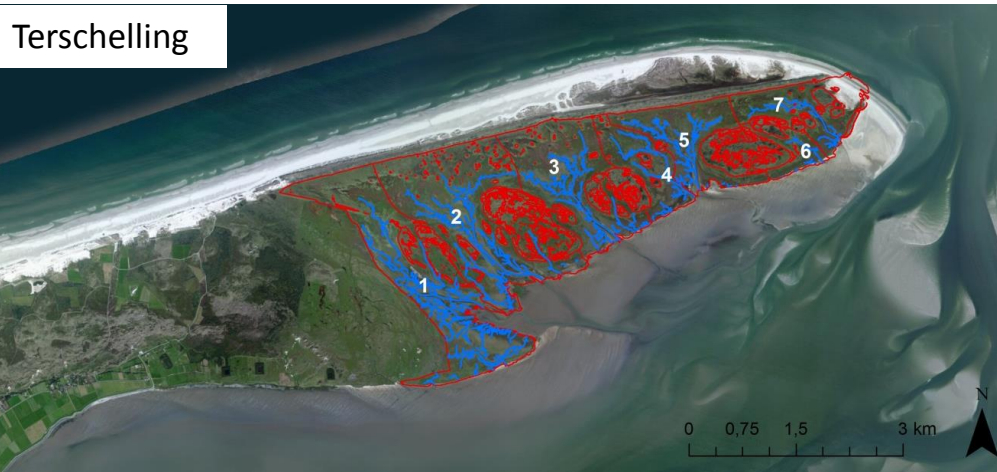
⁴ Het AHN alleen is onvoldoende nauwkeurig om waterscheidingen op te bepalen: vanwege de geringe hoogteverschillen op de kwelder interfereert de variabele hoogte van de vegetatie te sterk.

4.3 Kreeken en stroomgebieden

De kaarten met kreekpatronen zijn gegeven in Figuur 24. De kreekpatronen verschillen sterk per eiland:

- Op Terschelling lopen de kreeken tussen de oogduinen door en vertakken zich sterk in het gebied erachter: ook het gebied vlak bij de stuifdijk heeft daarmee aan- en afvoer van water. De 1^e en 2^e slenk hebben chaotische patronen inclusief dwarsverbindingen tussen kreeken. Er zijn geen kreeken aangesloten op een washover⁵, aangezien de stuifdijk intact is.
- Op Schiermonnikoog zijn de kreeken dominant noord-zuid georiënteerd. Op sommige plaatsen veel kleine kreekjes aan de wadrand. In gebied 3a en 3b zijn de kreekpatronen chaotisch, met dwarsverbindingen tussen kreeken. In het oostelijke deel zijn veel kreeken verbonden met washovers: kreeken 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12 en 13. Kreeken 3, 3.5, 7 en 9 zijn daarmee de enige die geen connectie met de Noordzee hebben.
- Spiekeroog heeft weinig grote kreeken vergeleken met Terschelling en Schiermonnikoog. Aan de noordzijde van de kwelder zijn er veel niet met elkaar verbonden laagtes (oude kreekjes?). In stroomgebied 2 is er een laagte waarop noordelijke kreeken afwateren en waar aan de zuidzijde nieuwe kreeken insnijden (Figuur 25). Alleen de 4^e kreek lijkt qua vorm op die van Terschelling en Schiermonnikoog. De kreeken zijn niet verbonden met washovers.

⁵ Aangesloten wil zeggen dat de kreek direct tot in de keel van de washover doorloopt en daarmee bij hoge waterstanden direct water uit de Noordzee kan ontvangen.



Figuur 24. Kreekpatronen (blauw) en stroomgebieden (nummers en rode lijnen) op Terschelling, Schiermonnikoog en Spiekeroog, op dezelfde schaal.

Figure 24. Creeks (blue) and catchments (numbers and red lines) on Terschelling, Schiermonnikoog and Spiekeroog, on the same scale.



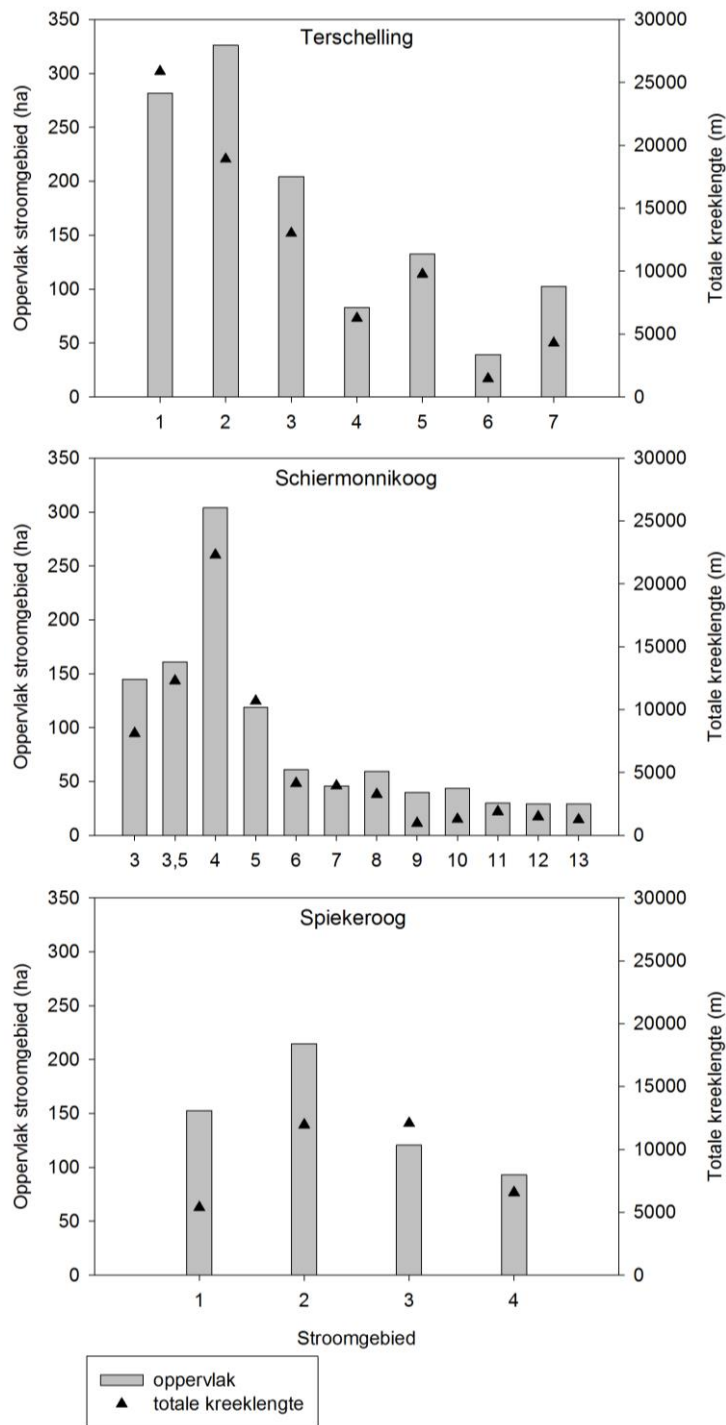
Figuur 25. Achterwaartse insnijding van krekens in de depressie in stroomgebied 2 van Spiekeroog. Zicht richting zuidzuidoosten (foto Alma de Groot, 2013).

Figure 25. Retrograde incision of creeks in the depression in catchment 2 of Spiekeroog. View towards the south-southwest (photo Alma de Groot, 2013).

De *stroomgebieden* op Terschelling zijn gemiddeld groter dan op Schiermonnikoog en Spiekeroog (Figuur 26). Op alle drie de eilandstaarten neemt de breedte van het begroeide oppervlak (d.w.z. de noord-zuid-afstand) af van west naar oost, wat tot op zekere hoogte terug te zien is in de grootte van de stroomgebieden. Op Terschelling neemt de totale *kreeklengte* af van west naar oost, op Schiermonnikoog ook globaal (met de kreek van stroomgebied 4 als uitspringer: deze loopt helemaal door tot op het strand). Op Spiekeroog is er geen trend.

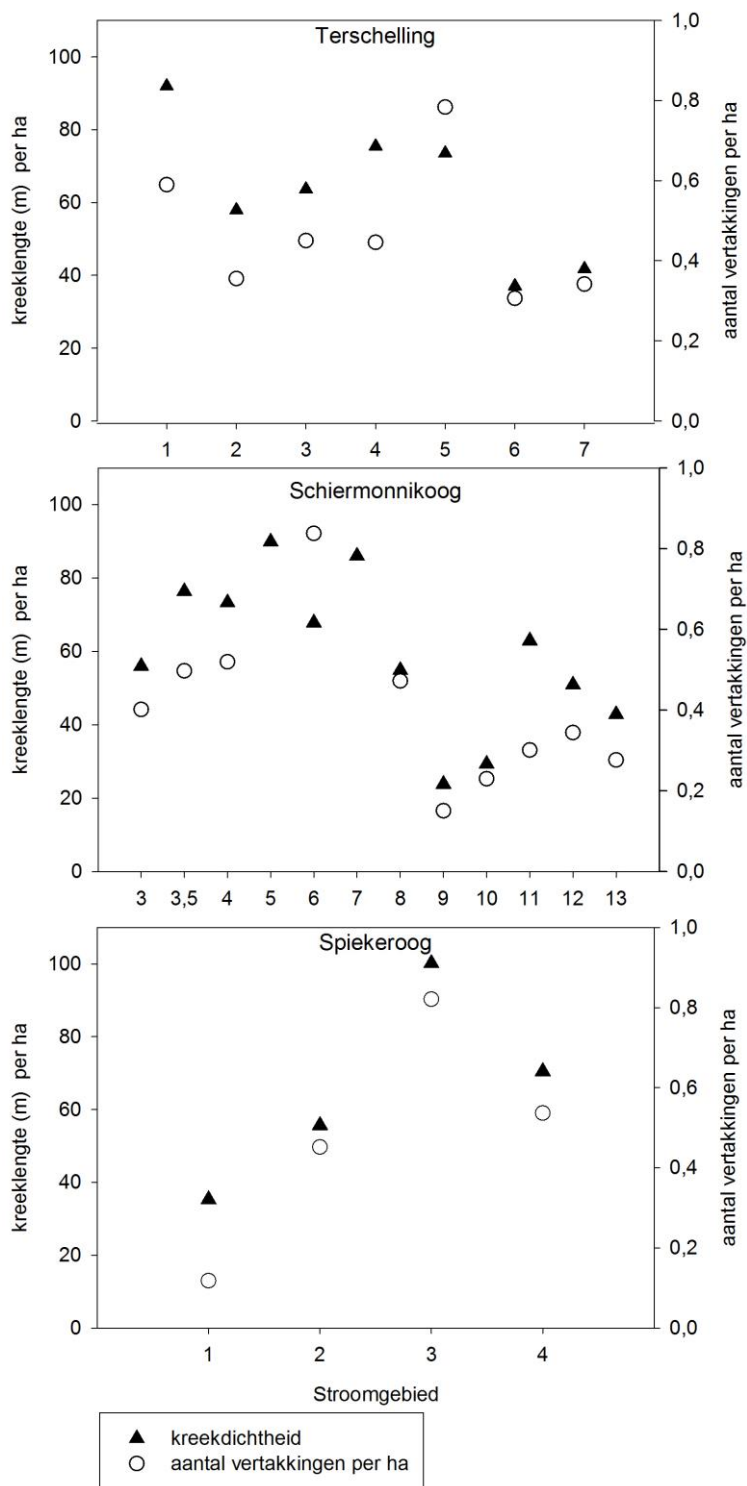
Kreekdichtheid en het aantal vertakkingen per hectare volgen hetzelfde patroon (Figuur 27). De waarden vallen ongeveer binnen dezelfde range op de drie eilandstaarten. De meer oostelijke (en dus jongere) gebieden op Schiermonnikoog zijn minder vertakt dan de meer westelijke en gemiddeld oudere gebieden. De *afstand* tussen kreekmondingen in de Waddenzee (Figuur 28) is sterk variabel binnen en tussen de eilandstaarten, variërend tussen 140 en 2600 m. Het gemiddelde voor Terschelling is 1075 m, voor Schiermonnikoog 1070 m en voor Spiekeroog 1321 m. Dit is groter dan de afstanden tussen washoverkelen op Terschelling (ca. 220 m, Cupidopolder, geen relatie met kwelderkreken) en Schiermonnikoog (670 m, deels in connectie met kwelderkreken) (Ten Haaf & Buijs, 2008). De grote afstand tussen kreek 3.5 en 4 op Schiermonnikoog komt doordat het daar lastig is te definiëren welke kreek precies tot welk stroomgebied hoort: bij de sterke zuidelijke uitbreiding is een chaotisch krek patroon ontstaan waarbij meerdere krekens met elkaar verbonden zijn.

Tijdens het digitaliseren van de krekens is soms ook naar andere luchtfoto's (zoals Google Earth) en topografische kaarten gekeken als er onduidelijkheden waren. Daaruit bleek dat –zoals verwacht– de krekens zich in de loop van de tijd uitbreiden. Voor het vervolg van dit project kan het interessant zijn om de kreekuitbreiding door de tijd te beschrijven middels het digitaliseren van oude luchtfoto's.



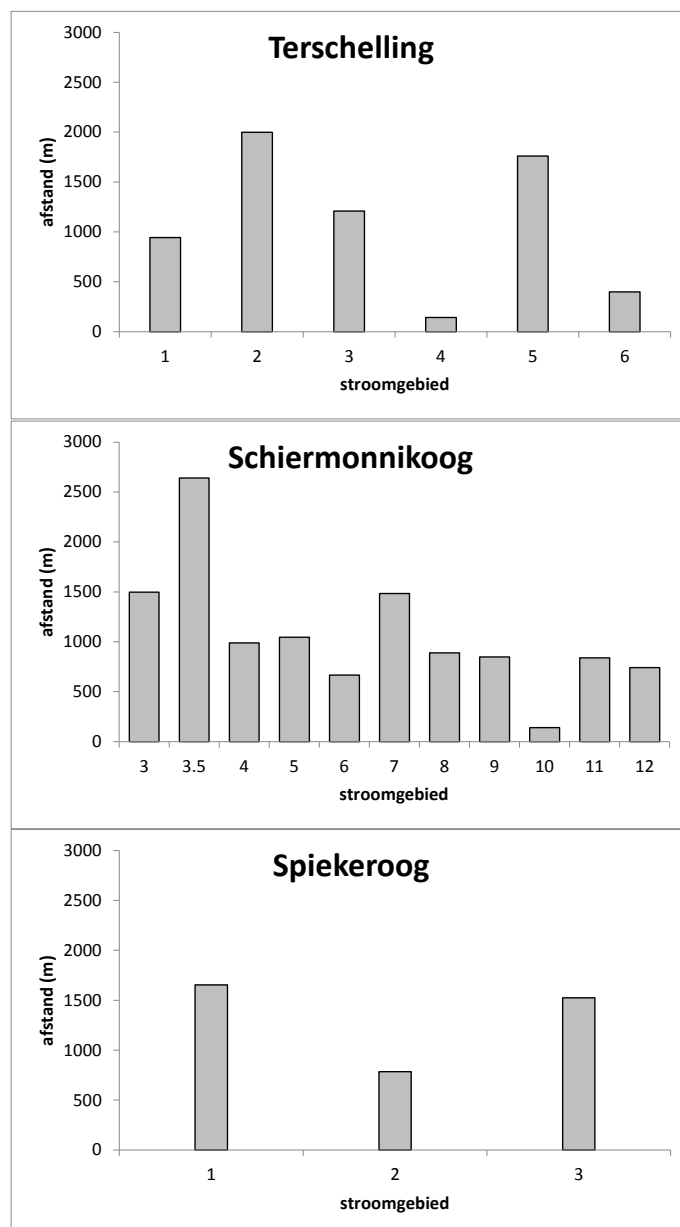
Figuur 26. Oppervlak van het stroomgebied en de totale lengte van de kreek per stroomgebied voor Terschelling, Schiermonnikoog en Spiekeroog. De gebieden zijn genummerd volgens Figuur 24.

Figure 26. Catchment area and creeks length from intertidal flats to dune for Terschelling, Schiermonnikoog and Spiekeroog. Numbering of the creeks is according to Figure 24.



Figuur 27. Kreekdichtheid (kreeklengte per ha) en het aantal vertakkingen per hectare voor de drie eilandstaarten. De gebieden zijn genummerd van west naar oost.

Figure 27. Creek density (creek length per ha) and the number of branches for the three island tails.



Figuur 28. Afstand tussen kreekmondingen op het wad voor de drie eilanden. Op de x-as is het nummer van het meest westelijke stroomgebied gegeven (bijvoorbeeld: 1 staat voor de afstand tussen de kreek van stroomgebied 1 en stroomgebied 2).

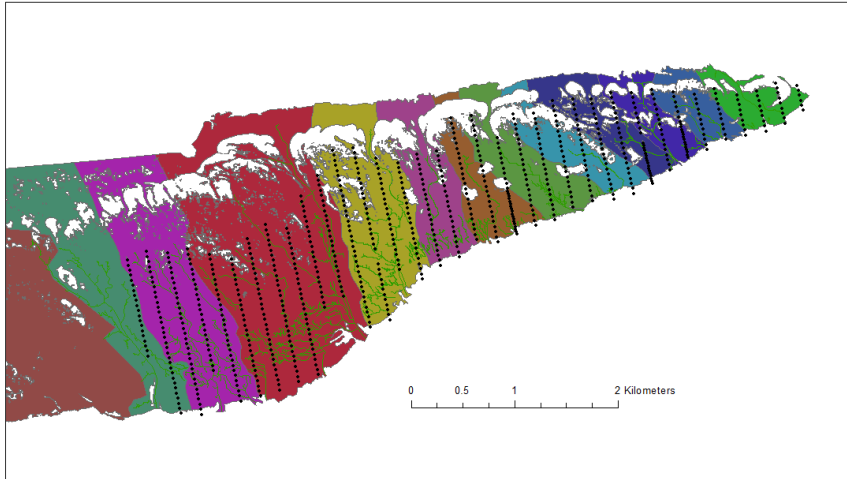
Figure 28. Distance between creek mouths on the intertidal flats for the three islands. The number on the horizontal axis is that of the most western creek (i.e. 1 stands for the distance between the creeks of catchment 1 and catchment 2).

4.4 Hoogteligging en sedimentatie

4.4.1 Hoogteligging en kleidikte stroomgebieden Schiermonnikoog

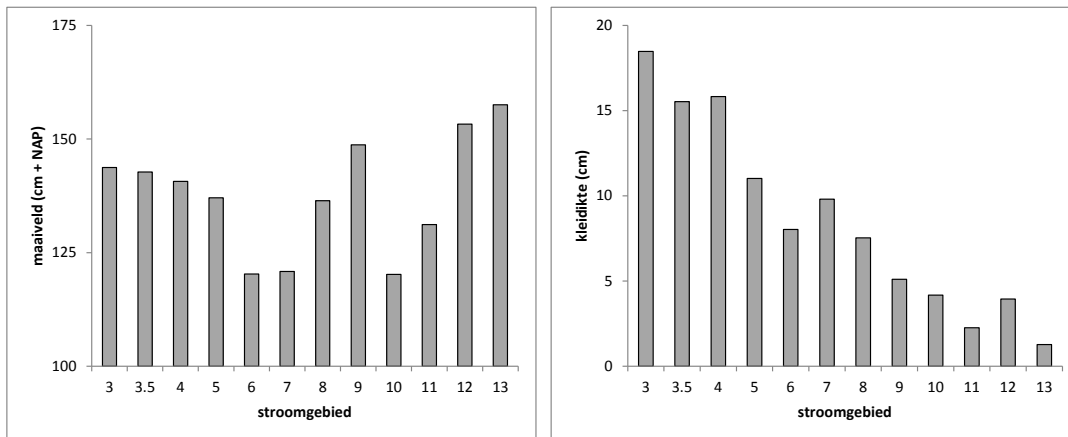
Voor Schiermonnikoog zijn gegevens van 2004 beschikbaar om zowel de gemiddelde hoogteligging als kleidikte per stroomgebied te bepalen. De gegevens bestaan uit een grid over de onbeweide kwelder van Schiermonnikoog (beschreven in De Groot et al., 2011b, Figuur 29. Meetpunten op duinen zijn buiten beschouwing gelaten). Hoewel het grid niet volledig dekkend is, geeft het de best beschikbare informatie voor de combinatie van hoogte en kleidikte.

De gemiddelde maaiveldhoogte varieert tussen de stroomgebieden van 120 tot 157 cm + NAP, maar er zit geen duidelijk west-oost (d.w.z. leeftijd) trend in. De kleidikte laat wel een duidelijke trend van west naar oost zien: de oudere, westelijke stroomgebieden hebben gemiddeld een veel dikkere kleilaag dan de jonge, oostelijke. Dat dit zich niet in de gemiddelde hoogte vertaalt, kan liggen aan het met de tijd zuidwaarts uitbreiden van de kwelder over het wad, en verschillen tussen de stroomgebieden in de hoogte (topografie) van de onderliggende zandlaag.



Figuur 29. Metingen van kleidikte en maaiveldhoogte ('grid') geprojecteerd op de verschillende stroomgebieden (aangegeven met verschillende kleuren) op Schiermonnikoog.

Figure 29. Measurements of clay thickness and surface elevation ('grid') projected on the catchments (indicated by colours) on Schiermonnikoog.



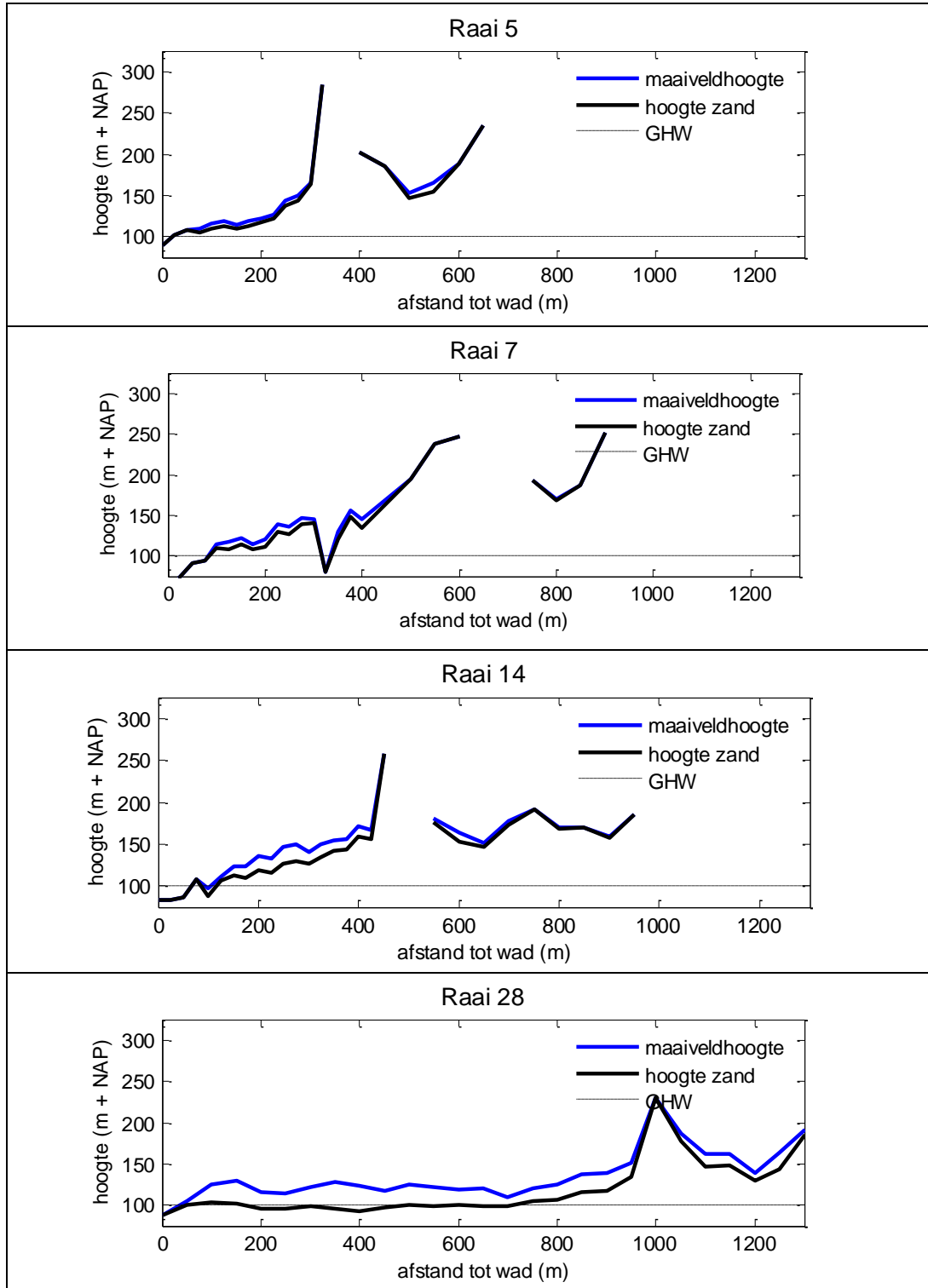
Figuur 30. Gemiddelde maaiveldhoogte (links) en kleidikte (rechts) per stroomgebied op Schiermonnikoog.

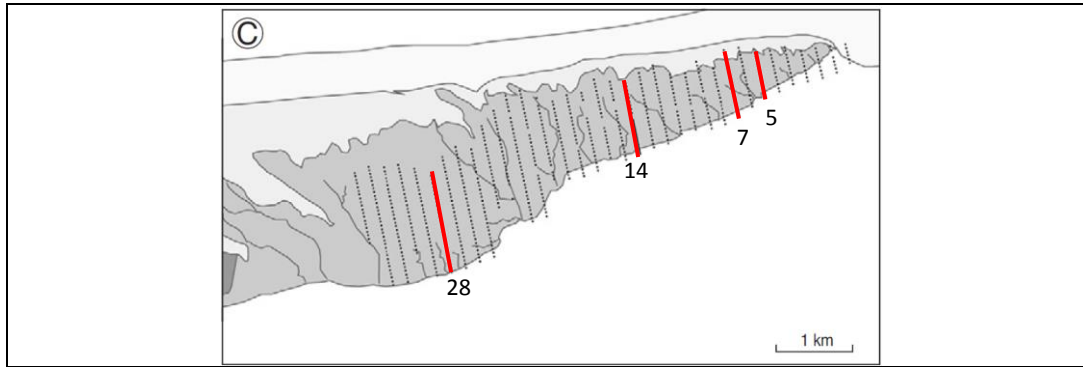
Figure 30. Average surface elevation (left) and clay thickness (right) per catchment on Schiermonnikoog.

4.4.2 Badkuipeffect

Op oudere kwelders, die zeewaarts zijn gegroeid, is het mogelijk dat het sediment niet alle delen van de kwelder meer kan bereiken. Sedimentatiesnelheden nemen namelijk gemiddeld af met toenemende afstand tot de kwelderrand en krekken. Dit achterblijven van verder weg gelegen kwelderdelen wordt wel het 'badkuipeffect' genoemd, omdat deze delen daardoor kunnen vernatten (zie ook Van Wesenbeeck et al., 2014 (in prep)).

Uit de doorsnedes over de kwelder van Schiermonnikoog (Figuur 31, gebaseerd op hetzelfde grid als in de vorige paragraaf) blijkt dat de delen ver van het wad, waar het mogelijke gebrek aan sedimentaanvoer het grootste zou zijn, op dit moment nog relatief hoog liggen ten opzichte van het getij. Deels zijn daar kwelderafzettingen aanwezig, maar deze hebben vaak een aanzienlijke organische component. Het zal dan met name aan de drainage liggen of er een badkuipeffect optreedt of niet.





Figuur 31. Doorsnedes van wad (links) naar duinen (rechts) en hun ligging op Schiermonnikoog. Hoogte zand geeft de hoogte van de onderliggende zandplaat of duin aan. Waar er een verschil is tussen maaiveldhoogte en basishoogte, bevinden zich kwelderafzettingen. Ontbrekende hoogtewaarden in raai 5, 7 en 14 in het midden van de raai zijn duinen hoger dan +250 cm NAP.

Figure 31. Cross-sections from intertidal flats (left) to dunes (right) and their location on Schiermonnikoog. 'Hoogte zand' gives the elevation of the underlying sand flat or dune. Salt-marsh sediments exist where there is a difference between surface elevation ('maaiveldhoogte') and elevation sand. Missing values in the middle of transects 5, 7 and 14 are dunes higher than +250 cm NAP.

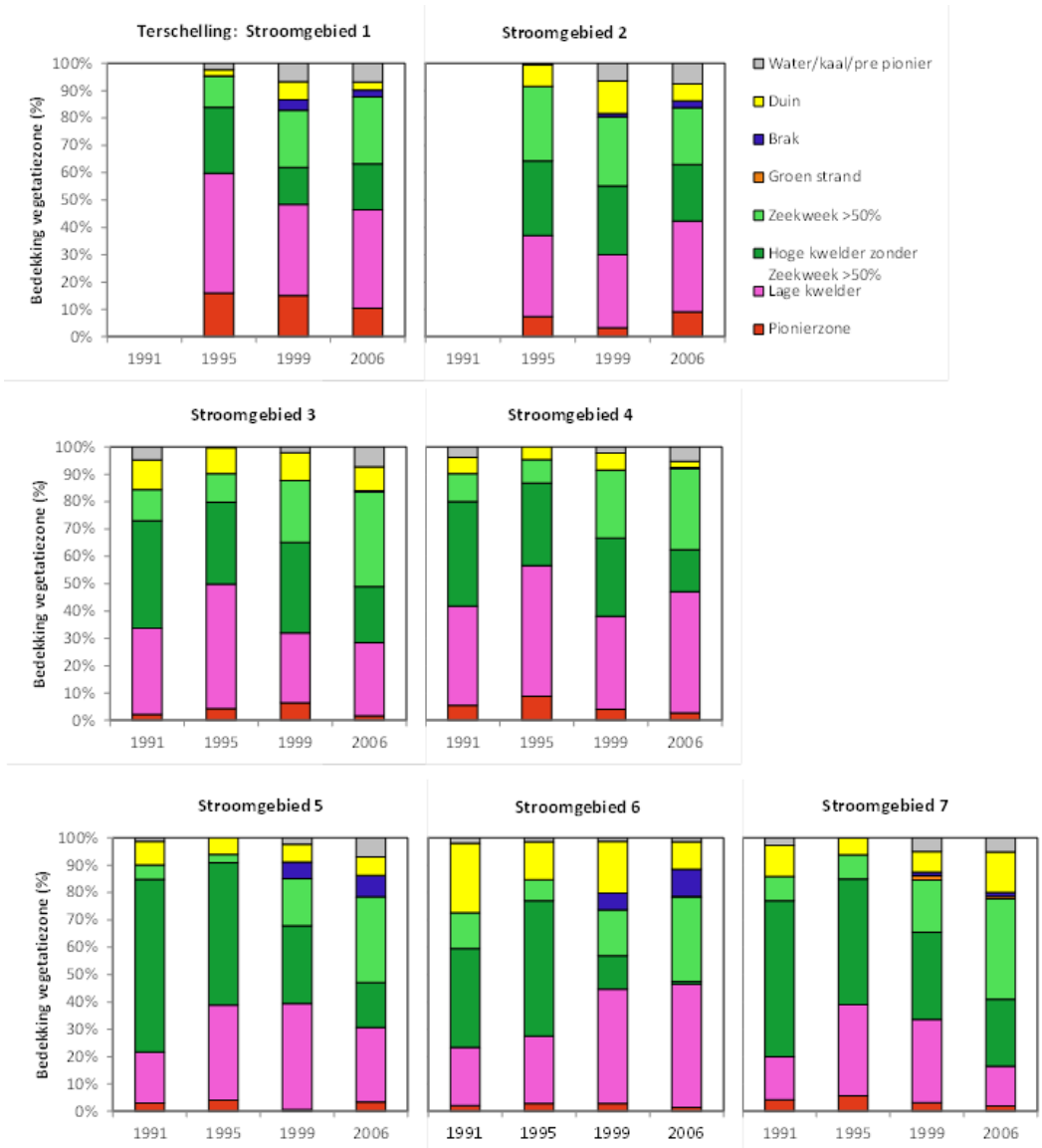
4.5 Vegetatieontwikkeling

De vegetatieontwikkeling op de drie eilanden is weergegeven in Figuur 32, Figuur 33 en Figuur 34. De TMAP-vegetatietypen (Tabel 4) zijn gecondenseerd tot 7 hoofdzones, in Bijlage B zijn de figuren met de volledige zoneringen te vinden. Alleen de hoge kwelder is opgesplitst in twee deelzones: zone waarin Zeekweek dominant is (>50% bedekking) en zone waar Zeekweek niet dominant is (<50% bedekking). De getallen zijn elke keer genormaliseerd op 100% van het begroeide oppervlak van dat jaar. Dit is gedaan om een beeld te krijgen van de veranderingen per vegetatiezone, omdat daarop meestal gestuurd wordt in het beheer. Veranderingen in het begroeide oppervlak binnen een stroomgebied worden dus niet zichtbaar gemaakt. In de meeste gevallen fluctueren de begroeide oppervlakken door aangroei en afslag. Alleen het meest oostelijk deel van Schiermonnikoog (stroomgebied 10 t/m 13) en stroomgebied 2 op Spiekeroog groeien duidelijk aan.

Tabel 4. TMAP vegetatietypen (gebaseerd op TMAP Monitoring Handbook 2009) die gecondenseerd zijn tot 7 hoofdtypen. D staat voor duinen, B voor brakke kwelder, G voor groen strand, H voor hoge kwelder, L voor lage kwelder en P voor pionierzone. 'Overige' omvat onbegroeid oppervlak (water of grond) en pre-pionierzone (<5% Zeekraal).

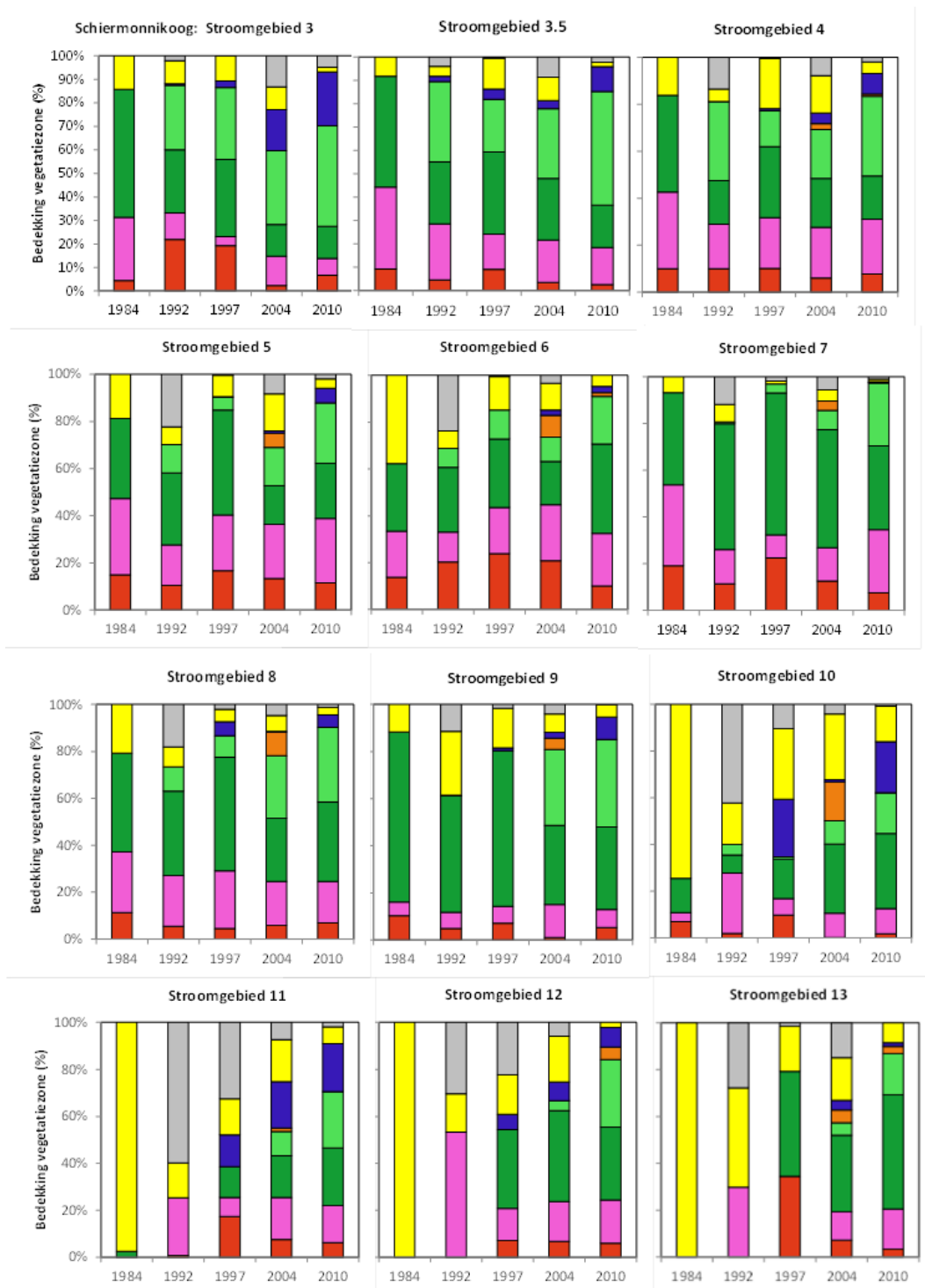
Table 4. TMAP vegetation types (based on TMAP Monitoring Handbook 2009), condensed into 7 main types. D stands for dunes, B for brackish salt marsh, G for green beach, H for high salt marsh, L for low salt marsh and P for pioneer zone. 'Overige' consists of water and bare soil and pre-pioneer zone (<5% Salicornia).

overige	afkorting	vegetatietype
D	D	Duin vegetatie, ongespecificeerd
Da	Da	<i>Ammophila arenaria</i> type
B*	B*	Brakke kwelder, ongespecificeerd
Gf	Gf	Groene strand, <i>Elymus farctus</i> type
H*	H*	Hoge kwelder, ongespecificeerd
Hf	Hf	<i>Festuca rubra</i> type
Hg	Hg	<i>Agrostis stolonifera</i> / <i>Trifolium fragiferum</i> type
Hj	Hj	<i>Juncus gerardi</i> / <i>Glaux maritima</i> type
Hi	Hi	<i>Limonium vulgare</i> / <i>Juncus gerardi</i> type
Hx	Hx	<i>Atriplex prostrata</i> / <i>Atriplex littoralis</i> type
Hy	Hy	<i>Elytrigia atherica</i> type
Hz	Hz	<i>Artemisia maritima</i> / <i>Festuca rubra</i> type
La	La	<i>Aster tripolium</i> / <i>Puccinellia maritima</i> type
Lh	Lh	<i>Atriplex portulacoides</i> / <i>Puccinellia maritima</i> type
Li	Li	<i>Limonium vulgare</i> / <i>Puccinellia maritima</i> type
Lp	Lp	<i>Puccinellia maritima</i> type
P*	P*	pionierzone, ongespecificeerd
Pq	Pq	<i>Salicornia</i> spp. / <i>Suaeda maritima</i> type
Ps	Ps	<i>Spartina anglica</i> type



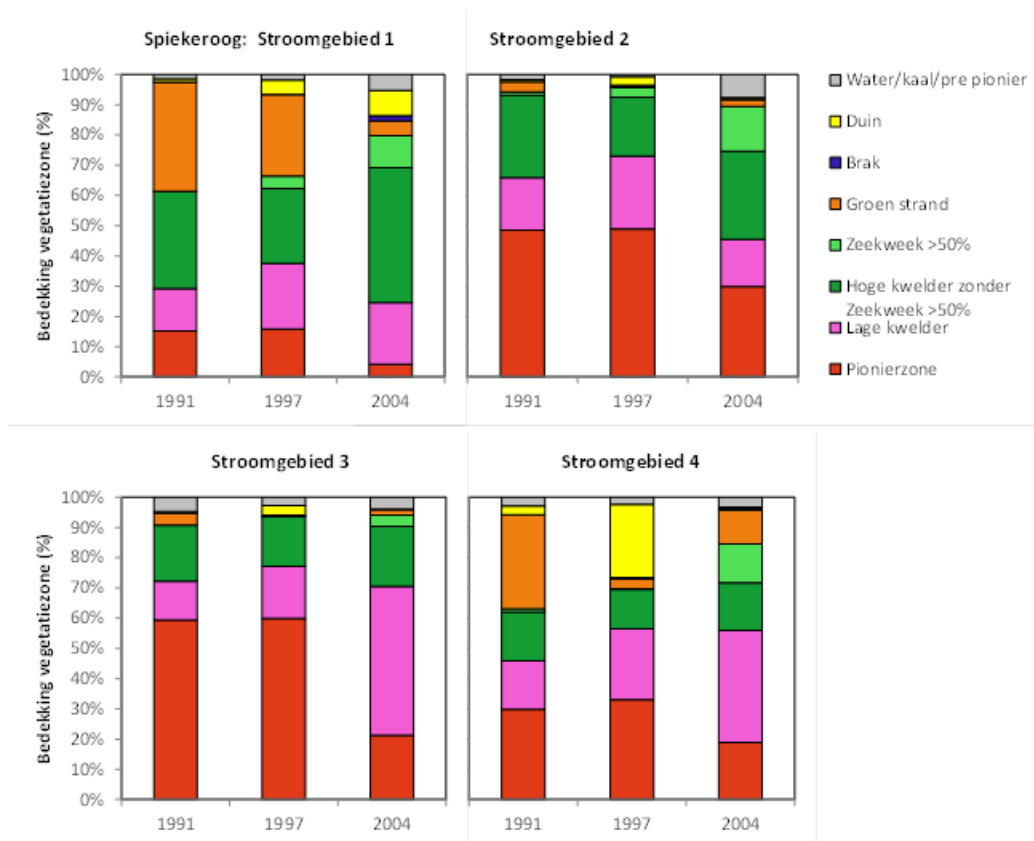
Figuur 32. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Terschelling, gebaseerd op VEGWAD vegetatiekaarten. Zie Tabel 4 voor een omschrijving van de vegetatietypes.

Figure 32. Vegetation development per catchment on Terschelling, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types.



Figuur 33. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Schiermonnikoog, gebaseerd op VEGWAD vegetatiekaarten. Zie Tabel 4 voor een omschrijving van de vegetatietypes en Figuur 32 voor de legenda.

Figure 33. Vegetation development per catchment on Schiermonnikoog, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types and Figure 32 for legend.



Figuur 34. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Spijkeroog. Zie Tabel 4 voor een omschrijving van de vegetatietypes.

Figure 34. Vegetation development per catchment on Schiermonnikoog, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types.

Terschelling

Op Terschelling zijn geen grote veranderingen van de vegetatie waar te nemen, en lijkt de vegetatieontwikkeling te zijn gestabiliseerd (Figuur 32). Wel wordt er een toename van de door Zeekweek gedomineerde zone waargenomen. Er is een kleine toename van meer brakke vegetatietypes waargenomen. Het betreft waarschijnlijk een toename van Riet aan de voet van de stuifdijk. Door kwel uit de stuifdijk, de toegenomen neerslag (Buishand et al., 2011), en de beperkte aanvoer van zeewater en afvoer van regenwater wordt dit gebied steeds brakker. In het oosten van de kwelder (stroomgebied 4 en 6) is een kleine toename waargenomen van de pionierzone bij de monding van de slenk. Ook neemt het vegetatietype met Zilte rus, dat wijst op vernatting, toe in een aantal stroomgebieden.

Schiermonnikoog

De kweldervorming op Schiermonnikoog begint met een groenstrandvegetatie. Dit is duidelijk waar te nemen op de oostelijke punt van de kwelder (stroomgebied 10 t/m 13). De eerste begroeiing bestaat overwegend uit duinvegetatie, met Biestarwetype op lage delen en hoger ook Helmttype. De opvolgende jaren neemt het areaal pioniervegetatie toe en de duinvegetatie af. De veranderingen van de vegetatie per stroomgebied op Schiermonnikoog lijkt vooral de natuurlijke successie weer te geven. Binnen een stroomgebied zien we over de jaren een relatieve afname van pionierzone en een toename van hoge kweldervegetatie en/of Zeekweek vegetatie (Figuur 33), stroomgebied 3, 3.5, 4, 7, 8, 9, 11, 12, en 13). Daarnaast is deze successie ook te zien door naar de chronosequentie te kijken (plaats-voor-tijd-substitutie). De oudste kwelder ligt aan de westzijde en naar het oosten neemt de gemiddelde leeftijd van de kwelder af. In Figuur 33 is te zien dat op een gegeven tijdstip het percentage pionierzone en lage kwelder toeneemt richting het oosten en het percentage areaal

gedomineerd door Zeekweek afneemt. Ook op Schiermonnikoog is een toename van brakke vegetatie waar te nemen. Deze toename wordt op Schiermonnikoog vanaf 1992 waargenomen rondom lage duintjes en zandkopjes in het westelijke deel van de kwelder (stroomgebied 3, 3.5 en 4). Ook wordt een toename van brakke vegetatie waargenomen in de oostelijke kwelder (stroomgebied 11, 12 en 13) ten koste van de lage kwelder (met kweldergras), met name bij de washovers. Initieel werden deze locaties gedomineerd door lage kweldertypen (Lp en Ll), mogelijk een groene-strand variant daarvan. Deze standplaatsen worden steeds brakker en veranderen geleidelijk naar hoge kwelder gedomineerd door Fioringras. Het percentage areaal pionierzone op Schiermonnikoog is min of meer constant in de tijd. Dit is te verklaren door de aangroei van de kwelder in oostelijke en zuidelijke richting, waardoor steeds nieuwe laaggelegen bodem gekoloniseerd wordt. Deze aangroei met nieuwe pioniervegetatie heeft tot nu toe de arealen die verdergaan in successie meer dan kunnen compenseren.

Spiekeroog

Op Spiekeroog komt relatief veel pioniervegetatie (Pq) voor (bevestigd tijdens veldbezoek). Net als op de twee andere eilanden wordt hier successie waargenomen, maar in beperktere mate. Binnen een stroomgebied neemt de pioniervegetatie telkens af in de tijd, terwijl de lage en hoge kwelder vegetatietype toenemen. Ook de Zeekweek-gedomineerde hoge kwelder neemt toe in de tijd. Het meest westelijk stroomgebied is veranderd van een groen strand (westzijde washover) in duin en hoge kwelder.

4.6 Sturende factoren voor vegetatieontwikkeling

De vegetatieontwikkeling op stroomgebiedschaal op de drie eilanden, zoals weergegeven in Figuur 32, Figuur 33 en Figuur 34, zijn te verklaren door een combinatie van factoren, in volgorde van belangrijkheid:

- Natuurlijke successie (tijd): hoe ouder de kwelder, hoe verder in de successie deze is. Tussen de eilanden is een successiegradiënt waar te nemen, met Terschelling als oudste kwelder en Spiekeroog als jongste kwelder in ontwikkeling. Binnen een eiland laat de chronosequentie van Schiermonnikoog een duidelijke successiegradiënt van west naar oost zien. Binnen elk stroomgebied verandert de verhouding tussen pionierzone en hoge kwelder door de tijd heen.
- Menselijk ingrepen: de aanleg van stuifdijken heeft sterke invloed op de ontwikkeling van de kwelder en daarmee op de leeftijd en successie. Op Terschelling heeft dit geresulteerd in het feit dat de hele kwelder, van west naar oost, in dezelfde periode tot ontwikkeling is gekomen en nu in dezelfde fase van successie is. Op Schiermonnikoog is een dergelijk patroon in de westelijke stroomgebieden (3 t/m 4) waar te nemen. Doordat de stuifdijk ter hoogte van paal 10 (d.w.z. halverwege stroomgebied 4 en verder) vanaf ongeveer 1990 volledig is doorgebroken, staat het oostelijk deel van de kwelder weer grotendeels onder invloed van stormcondities vanuit de Noordzee.
- De zuidelijk aangroei van de kwelders van Schiermonnikoog en Spiekeroog. Door deze aangroei blijft het areaal pionierzone gelijk of neemt in verhouding zelfs toe.
- Kleidikte: op Schiermonnikoog is er een duidelijk verband tussen kleidikte en successiestadium van de vegetatie. Dit heeft zowel met de factor tijd te maken (tijd is zowel nodig voor successie als voor het opbouwen van de kleilaag) als met de toenemende hoeveelheid nutriënten die successie faciliteert (Olf et al., 1997).
- De ontwikkeling van groen strand aan de noordzijde van de kwelders. Op Terschelling vindt dit alleen plaats binnen de Cupidopolder, die niet meegenomen is in deze analyse. Zowel op Schiermonnikoog als Spiekeroog wordt ontwikkeling van groen strand waargenomen.
- De aanwezigheid van washovercomplexen. Op Spiekeroog, waar geen connectie tussen kreken en washoversysteem voorkomt door de aanwezigheid van een relatief hoge 'berm', wordt meer groen strand en minder Zeekweek aangetroffen dan op de jonge delen van de eilandstaart op Schiermonnikoog. Dit zou een effect kunnen zijn de aanwezigheid van het washovercomplex.
- De ontwikkeling van kreken en al of geen connectie met washovers. Tijdens de ontwikkeling van de kwelder breidt het krekennetwerk zich uit. Dit heeft waarschijnlijk effect op de vegetatie, maar is met deze dataset niet te onderscheiden van de factor tijd.
- Het badkuipeffect in relatie tot vegetatiesamenstelling is niet in detail bestudeerd.

5 Duinontwikkeling

In de duinen op de eilandstaarten wordt zand ingevangen, die daarmee een opslag vormen in het sedimentdelend systeem. Bij grootschalige afslag zijn deze volumes een buffer die ook weer een bron van zand kan vormen. Voor Ameland en Schiermonnikoog zijn de volumes zand in de eilandstaarten berekend om te bepalen hoe veel zand er eigenlijk per strekkende meter kust ligt opgeslagen, maar ook of dit nog afhankelijk is van al of niet menselijke ingrepen in de duinvorming (stuifschermen en helminplant). Daarvoor is het volume per duincomplex berekend op basis van het AHN (AHN, 2007-2012). De methoden (en resultaten) staan in meer detail beschreven in De Groot et al., (2014).

Op Ameland is op de onderzochte locaties over het algemeen meer zand opgeslagen per strekkende meter kust dan op Schiermonnikoog (Tabel 5, Figuur 35). Verder variëren binnen zowel Ameland als Schiermonnikoog de ingevangen hoeveelheden zand per strekkende meter. De gebieden waar met takkenschermen en/of helmaanplant is gewerkt, bevatten met name boven de +3 m NAP meestal meer zand per strekkende meter kust dan de spontaan gevormde duinen. Daarbij moet wel bedacht worden dat de "spontane duinen staart", "groene strand staart" en "eilandstaart" nog relatief jong zijn, en dat de stuifdijk op Schiermonnikoog de zandtoevoer voor de oogduinen en oude duintjes daar heeft afgesneden.

Het Oerd op Ameland is een bijzonder geval. Het maakte oorspronkelijk deel uit van het derde duinboogcomplex dat zich uitstreckte van Oerd tot het gehucht Oosterhuysen in het oosten van Ameland. In 1825 is het sterk aangetast tijdens en na een stormvloed. Vanwege de toenmalige bewoning kan niet worden uitgesloten dat deze ook met helm is beplant.

Het lijkt er dus op dat het aanplanten van helm en aanleggen van stuifschermen duinvorming in de hoogte kan stimuleren, maar omdat ongestoorde duinen met dezelfde leeftijd en overige omstandigheden ontbreken kan het niet met zekerheid geconcludeerd worden. Overigens is het effect van helmaanplant op de hoogtegroeï van duinen van andere locaties wel bekend (bijvoorbeeld Arens et al., 2010). Of het versterkt invangen van zand wenselijk is, hangt af van de doelen die nagestreefd worden in het gebied. Zo is de hoeveelheid zand per strekkende meter kust een proxy voor hoe veel energie (natuurlijke processen) en/of werk (beheeringrepen) er nodig is om een gebied weer in contact met de Noordzee te brengen. Hoe meer er ligt opgeslagen, hoe meer werk het dynamiseren kost.



Figuur 35. Ligging en namen van de polygonen die de verschillende duinmassieven omvatten. Boven Ameland, onder Schiermonnikoog.

Figure 35. Location and names of the polygons of dune areas. Upper: Ameland, lower: Schiermonnikoog.

Tabel 5. Volumes per strekkende meter kustlängs die zijn opgeslagen in stuifdijken en natuurlijk gevormde duinen, gerangschikt naar grootte van het volume boven + 3 m NAP. Het volume boven + 3 m NAP bestaat geheel uit duinen en stuifdijken. Voor de gebiedsaanduidingen zie Figuur 35.

Table 5. Volumes per m longshore in sand dikes and naturally formed dunes, ranked according to the volume above + 3 m NAP. The volume above + 3 m NAP consists solely of dunes and sand dikes. For location names see Figure 35.

eiland	duin	helmaanplant in het verleden	volume boven +2 m NAP (m ³ /m)	volume boven +3 m NAP (m ³ /m)
Schiermonnikoog	oogduin2	-	0	0
Schiermonnikoog	oogduin4 (Willemsduin)	?	137	93
Schiermonnikoog	groene strand staart	-	183	96
Ameland	eilandstaart	-	291	194
Schiermonnikoog	oogduin3	-	328	194
Schiermonnikoog	oude duintjes	-	443	208
Schiermonnikoog	spontane duinen staart	-	330	226
Schiermonnikoog	stuifdijk	Ja	552	432
Schiermonnikoog	omgewerkte stuifdijk	ja, maar verdwenen	694	445
Ameland	stuifdijk boven Oerd	Ja	696	526
Schiermonnikoog	oogduin1	-	1039	648
Ameland	dubbele stuifdijk NR	Ja	1588	1237
Ameland	Oerd	mogelijk	2274	1630

6 Zoetwaterhuishouding

Voor de ecologische ontwikkeling op een eilandstaart is de opbouw en afbraak van zoetwaterbellen erg belangrijk. Deze ontwikkelen zich onder duinen of andere zandige gebieden die niet of nauwelijks meer door zout water overstroomd worden. Op Spiekeroog blijken de zoetwaterlenzen nog in opbouw te zijn, volgend op de ontwikkeling van de duinen op de eilandstaart (Röper et al., 2013). De lenzen strekken zich niet verder dan de duinbasis uit, behalve onder de kwelder waar een brakke laag grondwater aanwezig is. De lenzen worden kleiner in de winter als gevolg van overstroming met zout water tijdens winterstormen en breiden zich uit in de zomer. Op de overgangen van dergelijk duinen en duintjes naar kwelders en naar washoversystemen kunnen zeer gevarieerde vegetatiegradiënten voorkomen.

6.1 Groene strand van Schiermonnikoog

Onder invloed van zoet water kunnen op de groene stranden soortenrijke duinvalleivegetaties worden aangetroffen met Knobbies, Parnassia en diverse orchideeënsoorten. Soms is daarbij sprake van stagnatie van regenwater of heel lokale en tijdelijke aanvoer van zoet grondwater, soms gaat het ook om sterke kwelgradiënten waarbij hogere duinmassieven van aangrenzende duincomplexen het voedingsgebied vormen. De ontwikkeling van groen strand op Schiermonnikoog is hiervan een goed voorbeeld.

Figuur 36A geeft de toestand in 2005 van het groene strand ten noorden van de dubbele stuifdijk op Schiermonnikoog. Bij punt **b** grenst het groene strand aan een hoog en vrij groot duinmassief binnen een duidelijk zichtbare duinboog. Oostelijk van de kale inham (een strandovergang) grenst het groene strand aan het begin van de eilandstaart. De stuifdijk waarmee het washovercomplex ten oosten van de duinboog is afgesloten is duidelijk zichtbaar onder **c**. Vanuit de lucht is goed te zien dat het karakter van het groene strand ter hoogte van **b** resp. **c** heel verschillend is (uitsneden B en C). Op uitsnede B leidt de sterke aanvoer van grondwater vanuit het aangrenzend duinmassief tot permanent zeer hoge grondwaterstanden op het strand, waardoor de wind ook in droge perioden geen vat op het zand krijgt en er een vrij vlakke, vrijwel volledig begroeide situatie aanwezig is. Hier kwamen het eerst allerlei soorten van natte duinvalleien voor met o.a. Moeraswespenorchis en Knobbies (zie foto B*). Bij normale hoge tijden kan het zeewater op deze onbeschermdede vlakte makkelijk tot aan de stuifdijk reiken. Blijkbaar hebben deze nauwelijks invloed op de zoete vegetatie, omdat het zoute water vanwege de verzadiging van de bodem de grond niet in kan trekken en direct na hoog tij weer afstroomt.



Figuur 36. Dynamiek van zoetwaterbellen op het groene strand van Schiermonnikoog. Zie tekst voor toelichting.

Figure 36. Dynamics of freshwater lenses on the green beach of Schiermonnikoog. See text for explanation.

Ter hoogte van **c** is op uitsnede C het toen aanwezige patroon van mini-washovers te zien, afgewisseld door droge verstoven kleine en zeer veranderlijke duincomplexen. Dit gebied ligt tegenover de voormalige washover/eilandstaart met weinig duinmassief en dus weinig uitstroom van zoetwater. Hier trad verstuiving op in droge perioden omdat de grondwaterstand diep uitzakte, terwijl bij hoge tijden zout water via natuurlijke slenkjes tussen de duintjes richting stuifdijk stroomde, daar vervolgens "doodliep", weer terug stroomde en bij de uitloop van de slenkjes halverwege het strand een oost-west slenk vormde. De vegetatie bestond hier in het droge deel uit Biestarwegrasduintjes met hier en daar Helm, in de slenkjes een aanzet tot een pioniervegetatie van de zandige kwelder en op de overgangen vloedmerkplanten. Tegenwoordig komen op dit deel van het groene strand uitbundig soorten van natte duinvallei vegetaties voor, omdat er veel meer en grotere duinsystemen op het groene strand zijn ontstaan die zelf voor voeding met zoet water zorgen. De mini-washovers zijn minder zichtbaar geworden. Ondertussen gaat op het oostelijke, kwel gevoede deel van het groene strand (bij **b**) de successie richting rietland vrij snel, ten koste van de duinvalleivegetaties.

De ontwikkeling op Schiermonnikoog geeft duidelijk aan dat de geomorfologische dynamiek via duinvorming voor heel fraaie zoet-zoutgradiënten kan zorgen, maar dat de veranderingen zeer snel kunnen optreden.

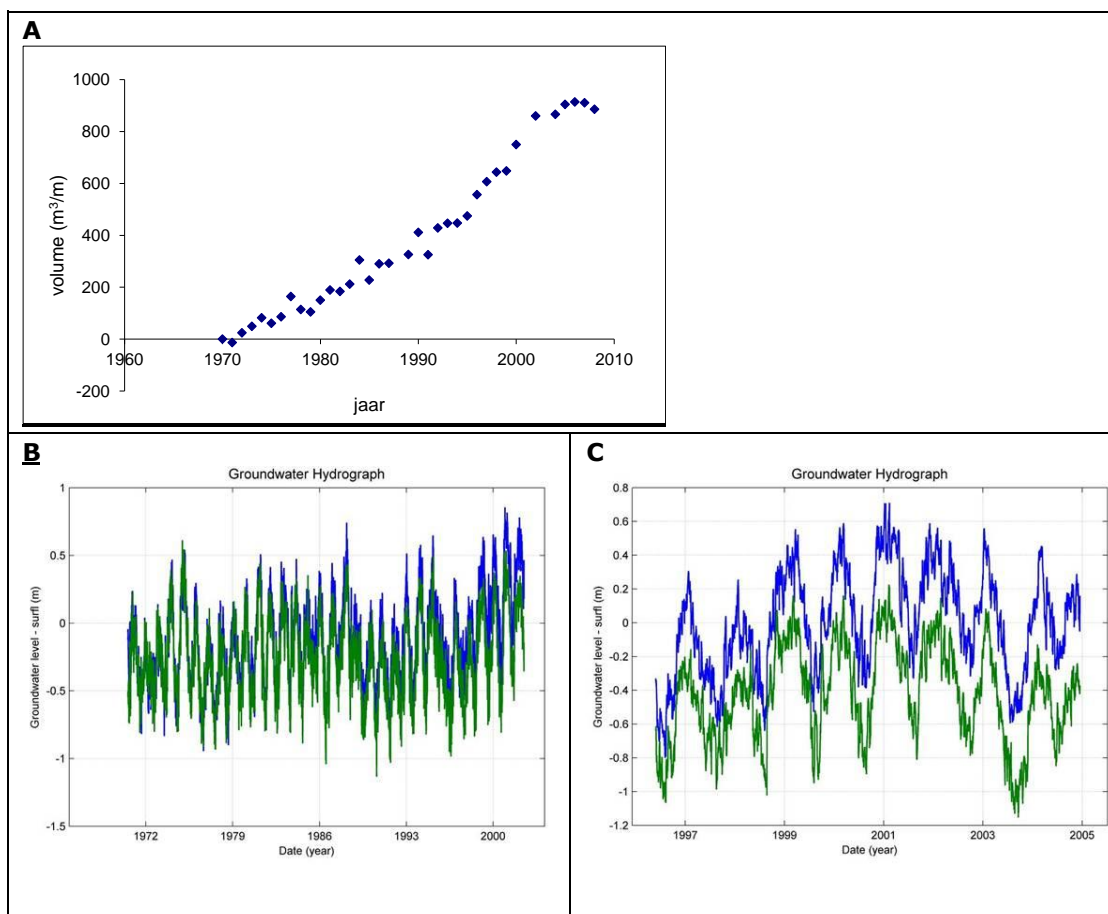
6.2 Duinvalleien

De Koegelwieck op Terschelling is een voorbeeld van een voormalige primaire zoute duinvallei, die ca. 100 jaar geleden door een forse stuifdijk volledig is afgesloten van het strand en dientengevolge volledig is verzoet. Mogelijk is dit de voormalige locatie van een washoversysteem tussen een duinboogcomplex van West-Terschelling tot Formerum en dan van Hoorn tot Oosterend.

Dit in principe stabiele milieu blijkt te worden beïnvloed door geomorfologische processen die zich in de omgeving afspelen. Voor de Koegelwieck is dit langdurige aangroei van de kust, waardoor in de achterliggende vallei een forse vernatting kan optreden.

De Koegelwieckvallei ontwikkelde zich in het begin van de vorige eeuw uit een gemeenschap van duizendguldenkruiden, Sierlijk vetmuur en een uitgestrekte knobbiesvegetatie met veel van de kenmerkende soorten, zoals Parnassia, Moeraswespenorchis, etc. De natuurlijke successie naar achtereenvolgens dichte cranberrybegroeiingen, lage kruipwilgstruwelen met Rondbladvig wintergroen en tenslotte gesloten duinrietbegroeiingen met Addertong in de ondergroei ging hier echter snel. Sinds de 40-er jaren waren de kalkrijke pioniervegetaties vrijwel verdwenen. In de jaren '50, '80 en '90 is er in verschillende delen geplagd. Deze zijn de laatste dertig jaar uitgebreid onderzocht. Des te recenter de plagstadia zijn, des te sneller de successie verloopt. Momenteel zijn er dan ook nauwelijks meer elementen van kalkrijke pioniervegetaties aanwezig. De oorzaak hiervan is dat de vallei de laatste decennia steeds natter is geworden (Figuur 37B). Dit heeft, in combinatie met maaiveldverlaging door plaggen, geleid tot een toenemende invloed van regenwater ten koste van de bufferende invloed van grondwatertoestroming.

Uit het vergelijken van de gemeten grondwaterstand (blauwe lijn in Figuur 37) met de gemodelleerde op basis van het neerslagoverschot (groene lijn), blijkt dat metingen en model vanaf ca. 1999 niet meer overeenkomen en er een externe oorzaak moet zijn voor de waargenomen stijging vanaf dat moment. De meest voor de hand liggende factor is de aangroei van de aangrenzende kuststrook gedurende de laatste 30 jaar (Figuur 37A).



Figuur 37. Effecten van kustangroei op de hydrologie van de Koegelwieck (Terschelling). A: hoeveelheid zand op het strand bij paal 13.6. B: Gemeten grondwaterstand (blauw) vergeleken met het verloop van de grondwaterstand zoals berekend met het model Menyanthes op basis van alleen neerslag-overschot zonder kustangroei (groen). C: Zelfde als B maar dan ingezoomd op 1996 - 2005.

Figure 37. Effects of coastal growth on the hydrology of the Koegelwieck (Terschelling). A: volume sand on the beach at pole 13.6. B: Measured groundwater level (blue) compared to calculated level (green) with the Menyanthes model, where only precipitation excess was taken into account. C: same as B but then zoomed in on 1996 – 2005.

6.3 Zoet-zout-gradiënten

Recent is uitgebreid onderzoek uitgevoerd aan zoet-zoutgradiënten op eilandstaarten en de soms eveneens dynamische eilandkoppen (Grootjans et al., 2014). Ook hier blijkt dat geomorfologische veranderingen en ecohydrologische fenomenen onlosmakelijk aan elkaar verbonden zijn. De tijd- en ruimteschalen van optredende veranderingen kunnen daarbij heel verschillend zijn, afhankelijk van de ontwikkelingsfase waarin een eilandstaart resp. –kop zich bevindt. Hieronder zijn enkele relevante uitkomsten van dit onderzoek opgenomen, waarvan delen eerder zijn gepubliceerd in Lammerts & Van Haperen (2014).

6.3.1 Groenknolorchis

Voor een soort die in heel Europa heel sterk bedreigd is doet de Groenknolorchis (Figuur 38) het de laatste 10 jaren op de Waddeneilanden erg goed. Dat is niet zozeer het gevolg van een toenemende beheerinspanning, maar een gevolg van (natuurlijke)

nieuwvorming van duinvalleien. Instandhouding van de kleinere populaties van de Groenknolorchis is wel het resultaat van beheersmaatregelen, zoals plaggen en maaien. De aantallen kunnen in een populatie van Groenknolorchis van jaar tot jaar enorm variëren. In sommige jaren zijn er slechts enkele exemplaren, een paar jaar later kan het aantal oplopen tot enkele duizenden. Echter de ontwikkeling van nieuwe duinvalleien is beperkt en met name de nieuwvorming van secundaire duinvalleien (stuifkuilen) is een langdurig proces, waarbij lang niet altijd een geschikte standplaats voor de soort ontstaat. Indien het proces van nieuwvorming van duinvalleien stagneert, dan heeft de Groenknolorchis maar beperkte tijd om een populatie te vestigen en te handhaven. Op Texel is de 'window of opportunity', waarbij de soort verschijnt, zich uitbreidt en weer verdwijnt, minder dan 20 jaar en zonder aanvullend beheer (maaien) waarschijnlijk minder dan 15 jaar. Helemaal representatief zijn deze valleien op Texel waarschijnlijk niet, want er bestaan ook duinvalleien waar, met maaien, Groenknolorchissen zich langer dan 50 jaar hebben weten te handhaven.



Figuur 38. Groenknolorchis op de Cupidopolder op Terschelling (foto Alma de Groot).

Figure 38. Fen orchid in the Cupidopolder on Terschelling (photo Alma de Groot).

Uit genetisch onderzoek blijkt dat niet alleen de wind, maar ook waarschijnlijk vogels en mensen voor de verspreiding van de Groenknolorchis zorgen. Uit bodemchemisch onderzoek blijkt dat de pH hoger moet zijn dan 6, maar dat verder een combinatie van factoren (de hoeveelheid organische stof in de bodem, grondwaterstand en het aluminium- en chloridegehalte) bepaalt of de Groenknolorchis ergens voor kan komen.

Hydrologisch onderzoek laat zien dat de ontwikkeling van een zoetwaterlichaam in de omliggende duinen van cruciaal belang is voor de vestiging en handhaving van Groenknolorchispopulaties. Daardoor treedt kwel op van zoet, zuurstofloos, maar kalkrijk grondwater, dat buffert tegen verzuring. Soms zijn de zoetwaterlichamen tientallen meters groot (Borkum, delen van Texel en Schiermonnikoog) maar soms zijn ze heel klein (Groene Strand van Schiermonnikoog). Hoe groter, hoe meer kans dat de Groenknolorchis eventuele overstroming met zout zeewater verdraagt.

6.3.2 Ongewervelde fauna in zoet-zoutgradiënten

Waar in een zoet-zoutgradiënt de meeste ongewervelden worden aangetroffen varieert van locatie tot locatie. Indien de zoute invloed in een gradiënt vermindert, is de kans groot dat een aantal van de aan brakke tot zoute habitats gebonden diersoorten verdwijnen of sterk afnemen in populatie-omvang. Dit geldt waarschijnlijk vooral voor de soorten die resistent zijn tegen brakke omstandigheden en van deze habitats gebruik maken om concurrentie te vermijden.

7 Waterveiligheid

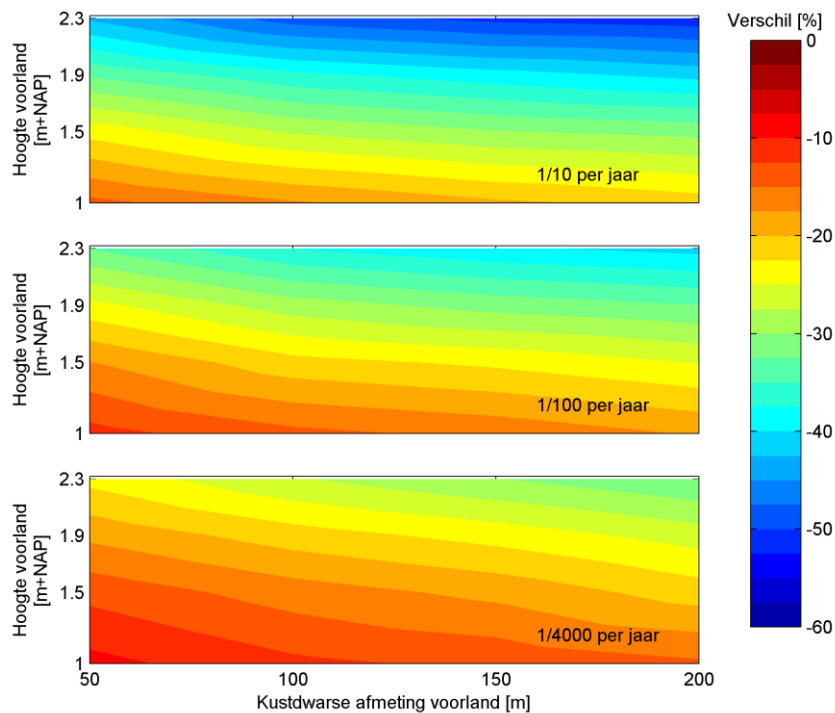
Eilandstaarten liggen per definitie buitendijks (Hoofdstuk 2). Dat wil zeggen dat de veiligheid tegen overstromingen op de eilandstaart zelf geen beheervraag is. Wel zou de vorm van de eilandstaart door kunnen werken op andere gebieden. Naar de invloed op veiligheid van washover(herstel) op de eilanden is gekeken door Steijn et al. (2008), betreffende de volgende veiligheidsaspecten:

- Veiligheid tegen overstroming van de eilanden zelf (bewoners, infrastructuur) tijdens een stormvloed;
- Veiligheid tegen overstroming van aanpalende gebieden zoals het vasteland tijdens een stormvloed;
- Veiligheid tegen overstroming, niet noodzakelijkerwijs tijdens een stormvloed, door geleidelijke morfologische veranderingen als gevolg van washovers. Dit veiligheidsaspect zou kunnen optreden als de morfologische situatie verandert.

Uit dat onderzoek kwam naar voren dat er op deze drie punten geen vermindering van veiligheid optreedt tijdens een stormvloed binnen de bestaande dijkringen. Evenmin blijkt dat de kustlijnhandhaving in het geding komt door het optreden van overwash.

Uit recente metingen en hindcasts van diverse stormen (zie bijvoorbeeld Van Vledder, 2008) blijkt dat gedurende zware stormen de golven in de Waddenzee voornamelijk lokaal gegenereerd worden en dat Noordzeegolven niet doordringen tot het vasteland van Friesland. De buitendelta's zijn dus effectieve golfdempers. De Oostelijke Waddenzee ligt echter meer open voor aanval van Noordzeegolven. Tijdens de meer extreme stormvloed van 8-9 November 2007 blijkt Noordzeegolven daar wel degelijk de vastelandskust (Van Vledder, 2008; Westhuysen et al., 2012) kunnen bereiken. Het is niet waarschijnlijk dat dit ook het geval zal zijn bij een eilandstaart waarvan de duinen lokaal worden verwijderd, omdat een dergelijk gebied nog altijd meer dan +1,5 tot +2 m NAP hoog is. Deze eilandstaarten zullen dan, net als de buitendelta's, fungeren als golfdemper. Bij eilandbreedtes (gemeten van Noordzee tot Waddenzee) van meer dan een kilometer zal er vermoedelijk weinig golfdoorwerking meer zijn vanuit de Noordzee naar de achterliggende Waddenzee. De resterende golven zullen vervolgens naar verwachting gedempt worden door de aanwezige wadplaten. Iets soortgelijks werd ook al eerder geconstateerd voor de situatie bij Rottumeroog en Rottumerplaat. De golfdoordringing richting het vasteland bleek niet significant te veranderen als de duinen op Oog en Plaat zouten verdwijnen, ook niet in een worst-case scenario (Brilhuis et al., 1990).

Het voorland van een waterkering (dijk of duin) dempt de golfaanval op die kering (Figuur 39). De demping is groter naarmate het voorland hoger en breder is, en de stormvloed minder extreem. Als er, bijvoorbeeld voor dynamisering, duinen verwijderd zouden worden op een eilandstaart, zou dit mogelijk een vergroting van de golfaanval op de kering kunnen betekenen als dit dicht bij de kering gebeurt en het tussenliggende gebied geen duinen bevat. Dit zou per ingreep en per gebied bekeken moeten worden.



Figuur 39. Relatief verschil in golfhoogte voor verschillende afmetingen van het voorland. X-as: kustdwarse afmeting van het voorland in meters, y-as: hoogte voorland in m t.o.v. NAP. Modelsimulaties voor drie overschrijdingskansen van gehanteerde hydraulische condities: 1/100 (bovenste), 1/1000 (middelste) en 1/10000 (onderste) (De Groot et al., 2014).

Figure 39. Relative difference in wave height for various dimensions of the foreshore. Horizontal axis: cross-shore dimension of foreshore, vertical axis: elevation of foreshore in m + NAP. Model simulations for three exceedance probabilities of the used hydraulic boundary conditions: 1/100 (upper), 1/1000 (middle) and 1/10000 (lower) (De Groot et al., 2014).

Een ander zorgpunt is dat eilanden op den duur in delen uiteen zouden kunnen vallen door de ontwikkeling van washovers. Voor Terschelling en midden Schiermonnikoog, waar onderzoek naar is gedaan, zal dit naar verwachting echter niet gebeuren (Steyaert, 1989; Steijn et al., 2008). Ook op Oost-Ameland is daartoe geen risico. Per kustlengte kan namelijk maar een beperkt aantal zeegaten aanwezig zijn (Van der Vegt, 2006). Voor het oostelijke deel van de sterk verlengde eilandstaart van Schiermonnikoog is het voorstelbaar dat de oostpunt doorbroken raakt bij washoervorming (ter hoogte van ca. raai 16.00). Windtransport, dat optreedt tussen de stormvloed en in, zal washovers niet verder uitdiepen maar eerder opvullen (Steijn et al., 2008).

Een ander veiligheidsaspect is persoonlijke veiligheid. Daarbij zijn voor washovers de volgende aspecten van belang: lokaal in het washovergebied kan zich drijfzand vormen (pers. Obs.; Bleuten, 1971). Tijdens overwash kunnen de stroomsnelheden en duinafslag tot gevaar leiden, en erna kunnen de steile duinen gevaarlijke situaties opleveren (Steijn et al., 2008).

8 Synthese

8.1 Eilandstaartontwikkeling

8.1.1 Referentiemodel en menselijke ingrepen

De ontwikkeling van geomorfologie, waterhuishouding en vegetatie is op eilandstaarten is sterk aan elkaar gerelateerd en vormt een duidelijke opeenvolging in fasen (Tabel 6). De dynamiek van de natuurlijke processen zorgt ervoor dat een eilandstaart wordt gevormd en dat een zonerings ontstaat uit verschillende landschapselementen, zoals strand, strandvlakte, kwelder, duin en groen strand. In essentie is het dynamische proces van het ontstaan van een eilandstaart hetzelfde voor alle eilandstaarten. Daardoor bevatten de meeste eilandstaarten globaal ook dezelfde elementen in een vergelijkbare configuratie (Figuur 6). Deze elementen zijn niet statisch, maar ontwikkelen zich in de tijd. Ze kunnen ook in grootte toenemen of afnemen. Daarmee is het "modeleiland" een te statische weergave.

Hoe ver de eilandstaart en de elementen erop zijn ontwikkeld, hangt af van de leeftijd van de eilandstaart, de grootte van de eilandstaart (accommodatieruimte) en de mate en timing van menselijke beïnvloeding. Deze laatste bepalen in hoeverre de natuurlijke processen hun gang hebben kunnen gaan. Elk eiland kent daarmee haar eigen ontwikkeling (Figuur 22). Van de meer in detail onderzochte eilanden is Spiekeroog bijvoorbeeld het minst ver in de successie, daarna Schiermonnikoog, en Terschelling is het verste. Dat heeft directe consequenties voor de ruimte die beschikbaar is voor de verdere ontwikkeling van de afzonderlijke elementen en de flora en fauna die daaraan verbonden zijn.

Onder natuurlijke omstandigheden is er niet alleen ruimte voor aangroei en successie, maar ook voor erosie en regressie. Tempo en richting worden dan bepaald door de natuurlijke grootschalige ontwikkelingen (Holocene ontwikkeling, ontwikkeling binnen zeegatsystemen, eilandverplaatsingen, etc.) en door de ontwikkelingen op een kleinere schaal (onderlinge beïnvloeding onderdelen eilandstaart, interactie abiotiek-biotiek, etc.). Wanneer de invloed van biota de overhand krijgt (fase 3 en 4 in Figuur 5), en dit niet wordt teruggezet door grootschalige processen, kan deze in sterke mate de grondwaterlichamen, kreken en washovers vastleggen. Daarmee kan ze de effecten van overstroming door zeewater op het gebied beïnvloeden, en daarmee weer de verdere morfo-ecologische ontwikkeling.

Tabel 6. Samenvatting van de factoren, processen, vormveranderingen en habitattypen in de vier fasen van eilandstaartontwikkeling.
 Table 6. Summary of the factors, processes, shape changes and habitat types in the four phases of island-tail development.

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Factoren die bepalen wat er gebeurt en wanneer			
Accommodatieruimte Energiegradiënten	Hoogte => inundatie vermindert => vestiging vegetatie. Zoetwaterlensjes	Duinen groot genoeg zodat luwte ontstaat Uitstroming zoet grondwater	Vegetatiedek sluit zich Uitbreiding elementen zodat meer luwte ontstaat
Dominante processen in dit stadium			
Sedimenttransport door golven en stroming Zandtransport door de wind	Sedimenttransport door golven en stroming Aangroei strand/strandvlakte Stormen: erosie + overwash (sheetflow) Zandtransport en -afzetting door de wind Opbouw zoetwaterlensjes Vegetatievestiging (facilitatie)	Afzetting slib (kwelder) Sedimenttransport en -afzetting door golven en stroming Zandtransport en -afzetting door de wind Stormen: erosie + overwash (sheetflow) Vegetatievestiging (facilitatie dominant) Vegetatiesuccessie (competitie dominant) Vorming drainage Stikstofvastlegging (o.a. microbiële matten), stapeling organische stof, toename nutriënten door opslibbing Beginnende bodemvorming Veranderende redoxcondities Herbivorie/verandering voedselweb	Vegetatiesuccessie (competitie dominant) Bodemvorming, verdere stapeling organische stof, ontkalking Kliferosie Afzetting slib (kwelder) Sedimenttransport en -afzetting door golven en stroming Zandtransport en -afzetting door de wind Stormen: erosie + overwash Herbivorie/verandering voedselweb
Vormveranderingen			
Plaataangroei Lopende duintjes	Vormveranderingen: (Velden van) Embryoduinen	Washovercomplexen vormen, kwelders en kwelderkreken ontwikkelen Duinen bouwen verder op, opbouw zoetwaterlensjes	Dichtstuiven washovers, vorming duinboog Uitbreiden en/of dichtslibben kreken Nieuwe duinvorming Primaire duinvalleien Kwelderklif
Voorkomend Habitatype ^{a)}			
H1140	H1140, H2110, H2120, H1310	H1140, H1310, H1320, H1330, H2110, H2120, H2130	H1140, H1310, H1320, H1330, H2110, H2120, H2130, H2140, H2150, H2160, H2170, H2190,

^{a)} H1140 (Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten); H1310 (Zilte pionierbegroeiingen); H1320 (Slijkgrasvelden); H1330 (Schorren en zilte graslanden); H2110 (Embryonale duinen); H2120 (Witte duinen); H2130 (Grijze duinen); H2140 (Duinheiden met kraaihei); H2150 (Duinheiden met struikhei); H2160 (Duindoornstruwelen); H2170 (Kruipwilgstruwelen); H2190 (Vochtige duinvalleien)

8.1.2 Snelheid van veroudering

Op niet door menselijke ingrepen beïnvloede eilanden verloopt de geomorfologische ontwikkeling trager dan op eilanden met een stuifdijk. Ook de vegetatieontwikkeling op de kwelder lijkt langzamer te gaan (Hoofdstuk 4, vergelijk Spiekeroog met Schiermonnikoog). Dit komt doordat de abiotische processen vanuit de Noordzee dieper op de eilandstaart door kunnen dringen, waardoor niet het hele gebied zich in één keer ontwikkelt en lokaal de successie in een eerdere fase wordt gehouden.

De snelheid van ontwikkeling verschilt ook tussen eilandstaart. Kwelders op eilandstaarten ondergaan een aantal successiestadia en zijn na ongeveer een eeuw volgroeid. Duinen kunnen zich al in de loop van decennia ontwikkelen van embryoduinen naar witte duinen naar grijze duinen. Voldoende beschermde groene stranden kunnen zich nog sneller ontwikkelen, zoals de huidige situatie op Schiermonnikoog en Spiekeroog laat zien. Hun ontwikkeling gaat dan verder richting een mozaïek van duinen, kwelder en/of duinvalleien, zodat hun oorspronkelijke verschijningsvorm en ligging aan het strand vaak een tijdelijk (hooguit enkele decennia durend) verschijnsel zijn (hoofdstuk 6). Bij washovercomplexen lijkt het er echter op dat het samenspel tussen microbiële matten, erosie door overwash en eolische depositie zelfs eeuwenlang kunnen leiden tot een handhaving van de status quo (Meyer-Deepen & Meijering, 1979; Oost, 1995; Ten Haaf & Buijs, 2008). Dit is echter nog nooit specifiek onderzocht.

Een verdere factor die voor versnelde vegetatiesuccessie heeft geleid is de verhoogde stikstofdepositie ten opzichte van een natuurlijke situatie: eilandkwelders en duinen zijn stikstofgelimiteerde systemen. Maar ondanks dit zijn op Schiermonnikoog kleidikte en successiestadium van de kwelder nog steeds gecorreleerd.

8.1.3 Convergentie

De aanleg van een stuifdijk is in feite de geforceerde ontwikkeling van een duinboog, waarbij de natuurlijke ruggengraat van lage duintjes op het midden van de eilandstaart geen tijd heeft om tot ontwikkeling te komen en ook washovercomplexen worden afgesloten. De aan- of afwezigheid van een dergelijke rug zou bepalend kunnen zijn voor de ontwikkeling van het krekenspatroon: vergelijk Spiekeroog en oostpunt van Ameland met rug en meer korte 'harige' krekenspatroon met Schiermonnikoog en Terschelling met vertakte krekenspatroon over een lage vlakte anderzijds (Hoofdstuk 4). Gezien de soms grote verschillen tussen de krekenspatroon per eiland, zijn er echter ook andere factoren van belang.

De stuifdijken hebben de ontwikkeling versneld waar het de gedeelten achter de duinboog betreft (m.n. kwelders) en daarnaast fundamenteel gewijzigd. Er zou bijvoorbeeld langdurig een washovercomplex tussen duinboog en eilandstaart hebben gelegen en verder op de eilandstaart zouden er meerdere gewone washovers bestaan als onderdeel van een gekerfde zeereep. Pas als een natuurlijke duinboog zich sluit gaat deze enigszins op een situatie met stuifdijk lijken, maar dan met veel meer ruimtelijke variatie in het hele gebied.

8.2 Toekomstige ontwikkelingen

8.2.1 Autonome ontwikkelingen

De huidige ontwikkeling van de eilandstaarten wijst erop dat in de toekomst de vegetatiesuccessie verdergaat en daarmee het gebied steeds verder vastlegt. Op kleine schaal zullen er echter interne processen zijn (vernating, afdammen van krekenspatroon, begrazing, erosie van de kwelderrand, overstuiving, duinerosie tijdens stormen) die de vegetatiesuccessie wel terug kunnen zetten. Het grootschaliger terugzetten van de vegetatiesuccessie gebeurt alleen door processen op grotere tijds- en ruimteschaal dan de ontwikkelingen binnen een eilandstaart.

8.2.2 Klimaatverandering en consequenties voor eilandstaarten

De verwachte ontwikkelingen voor het Nederlandse klimaat in de 21^{ste} eeuw zijn gegeven in de KNMI'14-klimaatscenario's (Klein Tank et al., 2014, <http://www.klimaatscenarios.nl/>). De verwachte veranderingen in het windklimaat zijn klein, ook voor de extremen. Aan de andere kant is er een KNMI studie (Haarsma et al., 2013) die erop wijst dat de kans bestaat dat orkanen vaker het Noordzeegebied kunnen bereiken. Daarbij kunnen extreem hoge windsnelheden optreden. De temperatuur blijft stijgen, en zachte winters en hete zomers zullen vaker voorkomen. De gemiddelde neerslag en de extreme neerslag in de winter zullen toenemen. Ook de intensiteit van extreme regenbuien in de zomer zal toenemen, hagel en onweer worden heviger. Anderzijds komt, door de toegenomen verdamping, sinds 1951 ook droogte iets vaker voor. De zeespiegelstijging zal versnellen in de loop van de 21e eeuw, maar er heerst nog grote onzekerheid omtrent deze prognoses. De zeespiegelstijgingsnelheid zal naar verwachting liggen tussen 1 - 7,5 mm/jaar in 2050 en 1 - 10,5 mm/jaar in 2085 (Dillingh et al., 2010; Katsman et al., 2011; Klein Tank et al., 2014). Het gemiddeld hoogwater, laagwater en zeeniveau stijgen niet evenveel. De getijslag zou daardoor kunnen toenemen, maar het is niet duidelijk in welke mate. Het golfklimaat en de opzet van de zeespiegel (ten gevolge van windsterkte- en windrichtingvariaties en luchtdrukverschillen) zal niet noemenswaardig veranderen.

Door een toename van de temperatuur zal het groeiseizoen wordt verlengd, en de toename van neerslag leidt mogelijk tot sterkere vegetatieontwikkeling. Toenemende zomerdroogte en -temperaturen kunnen echter voor stresssituaties voor planten zorgen. De vegetatiebedekking kan dus zowel toe- als afnemen en kan in samenstelling veranderen. Dit zal mede afhangen van het grondwaterpeil. De dichtheid van het plantendek is van belang voor de vastlegging van het duin en dus de mate van verstuing en verjonging. Welke van de ontwikkelingen te verwachten is, is nog onduidelijk (bijvoorbeeld Keijsers et al., 2014).

Een versnelling van de zeespiegelstijging en mogelijke toename van stormvloed en overwash zal leiden tot het vaker voorkomen van overwash en overstroming, mits dit niet wordt tegengewerkt door een grotere sedimentimport en daarmee snellere ophoging. Tijdens overwash en reguliere overstromingen kan het sediment namelijk frequenter tot op de eilandstaart worden getransporteerd. In het gebied dat direct beïnvloed wordt door een washover en op de kwelder zal dit bijdragen aan het meegroeien met de zeespiegelstijging. Waar stuifdijken de vroegere washovers en washovercomplexen hebben afgesloten zal geen zand vanaf de Noordzee worden aangevoerd. In hoeverre dat gecompenseerd wordt door slibaanvoer vanaf de Waddenzeezijde is niet goed bekend. Uit o.a. de bodemdalingsstudie Ameland (Dijkema et al., 2011) is bekend dat de sedimentatiesnelheid afneemt met afstand tot het wad en de kwelderkreken, waardoor maar een beperkte hoeveelheid slib de gebieden ver van het wad bereikt. Dit leidt mogelijk tot achterblijven van de maaiveldhoogte t.o.v. de relatieve zeespiegelstijging en daarmee hogere inundatiefrequentie en -duur. Wanneer en of dit effect heeft op de vegetatie (regressie of doorgaande successie) is via de sedimentatie afhankelijk van de snelheid van zeespiegelstijging en van de locatie op de kwelder. Eenmaal gevestigde kweldervegetatie is echter veel robuuster onder zeespiegelstijging dan vroeger werd gedacht (Dijkema et al., 2011). Of de verwachte vermindering van extreme vorst en ijsgang van grote invloed zal zijn op de eilandstaarten is niet bekend.

8.2.3 Waterveiligheid

De functie van eilandstaarten in de waterveiligheid is door Oost & Van Rooij (2012) beschreven: "Het geheel van Noordzeekustzone, de eilanden en de Waddenzee beschermt de vastelandskust tegen overstromingen, doordat ze de stormgolven dempen die uit de Noordzee aan komen rollen. Daarnaast is er de veiligheid op de eilanden zelf. Daar werd waarschijnlijk al aan gewerkt vanaf het eerste moment dat mensen op de eilanden woonden. Vooral in de 19^e en 20^e eeuw namen de inspanningen sterk toe en veranderden van lokaal herstelbeheer naar grootschalig preventief beheer, waarbij Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer een belangrijke rol speelden. Door het onder controle krijgen van de dynamiek werd de veiligheid steeds beter gewaarborgd. Geleidelijk is men daar deels weer van teruggekomen; ook al omdat ingezien werd dat dit te zeer ten koste ging van de natuurwaarden en niet extra bijdroeg aan de veiligheid van de bewoners. Dit betekent geen achteruitgang van de

veiligheid: het beschermingsniveau is nog nooit zo hoog geweest als nu het geval is.” Dit wil echter niet zeggen dat dit ook zo beleefd wordt door de eilandbewoners. Een verhoging van dynamiek wordt vaak (ten onrechte) als een vermindering van de veiligheid beleefd.

Dat de Waddeneilanden altijd zullen blijven bestaan zonder beschermende maatregelen is niet vanzelfsprekend. Op dit moment worden op Ameland geregeld zandsuppleties uitgevoerd. Klimaatverandering en al lopende ontwikkelingen (zoals bodemdaling door gaswinning en de effecten van de Afsluitdijk) zullen in de toekomst waarschijnlijk grotere beheer- en onderhoudsinspanningen nodig maken, naar verwachting grotendeels met zandsuppleties. Dit zou regelmatig suppleren kunnen inhouden of grotere hoeveelheden. Beide opties kunnen mogelijk interfereren met de ontwikkeling van de eilandstaarten. Een betere integratie van kust- en natuurbeheer, in zowel ruimte als tijd, wordt dan nog belangrijker.

8.3 Beheer

8.3.1 Natuurbeleid

Uitgangspunt van het huidige natuurbeleid (Natura 2000, PKB Waddenzee, Kaderrichtlijn Water en Trilaterale afspraken) is dat op de eilandstaarten prioriteit wordt gegeven aan het ongestoord laten verlopen van natuurlijke processen. Men verwacht daarmee op de lange termijn de kwetsbare habitats het meest te dienen. In de Natura 2000-beheerplannen wordt er ook rekening mee gehouden dat in dergelijke dynamische gebieden in ruimte en tijd grote natuurlijke fluctuaties in het voorkomen van soorten en habitats kunnen optreden.

Belangrijke menselijke verstoringen met een mogelijke invloed op Natura 2000 gebieden zijn weergegeven in de "effectenindicator" (<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/effectenindicator.aspx?subj=effectenmatrix>). Dit is een instrument waarmee mogelijke schadelijke effecten ten gevolge van een menselijke activiteit en plannen kunnen worden verkend. De effectenindicator geeft informatie over de gevoeligheid van soorten en habitattypen voor de meest voorkomende storende factoren. Deze informatie is generiek: om vast te stellen of een activiteit in praktijk schadelijk is moet vervolgonderzoek plaats vinden.

Ook voor ingrepen die gericht zijn op natuurbeheer is in het concept Natura 2000-beheerplan Waddenzee (Nicolai, 2014) een 'Richtinggevend toetsingskader natuurontwikkelingsprojecten Waddenzee' opgenomen. Daarin zijn uitgangspunten opgenomen over onder andere natuurlijke dynamiek, kwaliteit van habitattypen en monitoring. Deze zijn ook van toepassing op ingrepen op de eilandstaarten, aangezien deze deels binnen dit beheerplan vallen.

8.3.2 Inrichtings- en beheermaatregelen

Er zijn een aantal inrichtings- en beheermaatregelen mogelijk om de biogeomorfologische successie (soms plaatselijk) terug te zetten, waarmee de totale biodiversiteit verhoogd zou kunnen worden. Deze worden hieronder kort behandeld.

Het (deels) verwijderen van **stuifdijken** heeft als doel het toestaan/herintroduceren van overwashprocessen. Dit leidt tot vergroting van de waterdynamiek en een toename van de kans op eolisch zandtransport van het strand richting het achterliggende gebied (instuiving, overstuiving, vorming nieuwe duinen in het washovercomplex). De ingreep kan bestaan uit één of meerdere kerven, een groot gat, of het helemaal weghalen van de stuifdijk. Aandachtspunten zijn:

- de aanwezigheid van helmwortels (kunnen snel opnieuw uitlopen en het zand stabiliseren),
- waar het afgegraven zand moet worden gelaten,
- eventuele aanwezigheid van een groen strand zeewaarts (beperkt dynamiek van wind en water),
- de aanwezige drainage (krekens) op de kwelder,

- de toestand van de bodem in het landwaartse gedeelte (nutriënten, organische stof, klei),
- eventuele invloed op de lokale waterveiligheid.

Geschikte locaties voor deze ingreep zijn: geulen/laagtes in de kwelder, de aanwezigheid van een smalle duinenrij/stuifdijk (het duinvolume kan als een proxy worden gebruikt voor de energie die nodig is om gebied dynamischer te maken, zowel voor natuurlijke processen als voor beheersmatige ingrepen, hoofdstuk 5), een relatief smal strand zonder groen strand. Op basis van tot nu toe uitgevoerde modelstudies worden geen effecten op de waterveiligheid verwacht.

Het toestaan of stimuleren van **verstuiving** van het duin leidt tot introductie van meer waterdynamiek waar de duinen verdwijnen, een toename van zandtransport landinwaarts (instuiving, overstuiving, vorming nieuwe duinen) en mogelijk zelfs wandelduinen. Dit kan worden bewerkstelligd door het weghalen van vegetatie (bijvoorbeeld Kwade Hoek). Ook is het mogelijk eenvoudig niets te doen (dynamisch kustbeheer), wat in de praktijk wachten op grootschalige veranderingen in het gebied betekent. Aandachtspunten zijn:

- de aanwezigheid van helmwortels (kunnen snel opnieuw uitlopen en stabiliseren),
- uit dynamiseringspogingen in het verleden blijkt dat dit over een voldoende groot gebied moet worden gedaan met inachtneming van de specifieke terreinsituatie.

Geschikte locaties voor dit beheer: het gebied moet een goede oriëntatie op de overheersende windrichting hebben.

Het toestaan van **erosie** van de kwelderrand vanuit de Waddenzee. Dit bestaat uit het weghalen stortsteen en andere beschermingsmaatregelen. Op korte termijn kan dit leiden tot klifvorming. Op langere termijn kan mogelijk in het geërodeerde gebied nieuwe kweldervorming plaatsvinden, en daarmee verjonging. Dit hangt af van de (hoogte)ontwikkeling van het voorliggende wad. In de praktijk is hier weinig ervaring mee op de Waddeneilanden, en dit mechanisme (bekend uit estuaria) moet zich daar nog bewijzen, maar er zijn geen redenen om aan te nemen dat dit proces in de Waddenzee anders zou verlopen.

Vegetatiebeheer van duinen en/of kwelders omvat een heel scala aan mogelijkheden. Deze variëren van bovengrondse (maaien en beweiding) tot bodemberoerende maatregelen (oppervlakkig afplaggen van de zode of dieper afgraven). Het leidt tot verjonging van de vegetatie of zelfs geheel terugzetten van de ontwikkeling naar de pionierfase. Daarnaast worden bij afplaggen en afgraven nutriënten verwijderd en wordt in de duinen zanddynamiek weer mogelijk gemaakt. Aandachtspunten zijn: veeveiligheid, vertrapping, afvoer van maaisel, plaggen en grond, bij afgraven in een kwelder moet er aansluiting zijn bij krekken om water en sediment aan- en afvoer mogelijk te maken. Geschikte locaties (eindstadia van de successiereeks) zijn vrijwel op alle eilandstaarten aanwezig. Maatwerk is ook hier van belang. Korte-termijn beheerdoelen spelen bij de keuze voor een locatie een bepalende rol, omdat de effecten bij vegetatiebeheer sneller dan bij de andere maatregelen te zien zullen zijn. Echter, t.o.v. maatregelen als het verwijderen van (delen van) stuifdijken, het toestaan van erosie of het bevorderen van verstuiving maken dit soort maatregelen minder gebruik van de natuurlijke processen en hebben dus naar verwachting continue of geregelde beheersinspanning nodig.

Beheer door middel van **suppleties** kan bestaan uit het gericht suppleren of juist uit het (eventueel tijdelijk) achterwege laten van reguliere suppleties. Extra suppleties, op de eilandstaart of in de nabijheid daarvan, leiden tot extra zandaanbod en daarmee extra ruimte voor duin- en groene strandvorming. Indien de suppleties juist worden nagelaten kan erosie plaatsvinden, waardoor grootschalige afbraak kan plaatsvinden gevolgd door verjonging van de vegetatie of zelfs compleet herbeginnen van landschapselementen. Aandachtspunt is of suppleties passen binnen de grootschalige veranderingen, en dat extra zandaanbod kan zorgen voor verstarring van de zeereep wanneer embryoduinen ontwikkelen. Verder kunnen ook suppleties op andere delen van de eilanden dan de staart effect hebben op de staart doordat het zand netto naar het oosten wordt verplaatst.

Niet van alle bovengenoemde maatregelen is de effectiviteit bekend, en soms is het resultaat afhankelijk van niet goed te voorspellen natuurlijke processen. Met vegetatiebeheer is redelijk veel ervaring. Het inzetten van verstuivingsmaatregelen begint inmiddels de pilotfase te ontgroeien, maar de effecten op langere termijn zijn nog niet met zekerheid bekend. Het inzetten van suppleties mede voor natuurfuncties lopen pilots in Zuid-Holland (de Zandmotor en Spanjaardsduin). Met het weghalen van stuifdijken is nog geen ervaring. Bij nieuwe ingrepen is het belangrijk dat eerst een pilot wordt uitgevoerd, waarbij goede monitoring en gericht onderzoek essentieel zijn.

Op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog is met beheerders en bewoners gepraat over hun visie op dynamiseringsingrepen. Dit verschilt sterk per eiland; een samenvatting hiervan staat in Bijlage C.

8.3.3 Aanbevelingen voor beheer en inrichting

Op basis van dit rapport kunnen de volgende beheer- en beleidsadviezen voor eilandstaarten worden gegeven:

1. De variatie tussen de onderzochte eilandstaarten is zo groot dat het moeilijk is om met een algemeen "recept" te komen. Beheer zal daarom maatwerk moeten zijn en moeten inspelen op de specifieke situatie per deelgebied en per eiland.
2. Eilandstaartbeheer is integraal beheer:
 - a. Wees bewust van de verschillende tijd- en ruimteschalen: ga niet tegenwerken bij grootschalige ontwikkelingen (schaalniveau II), maar speel erop in.
 - b. Wees bij beheerkeuzen bewust van de onderlinge afhankelijkheid van de elementen. Het ene element kan bijvoorbeeld sedimenttransport naar het andere element verhinderen, of luwte genereren waardoor een ander element zich anders ontwikkelt. Wanneer er een groen strand aanwezig is, zal er bijvoorbeeld weinig zandaanbod voor de zeereep zijn.
 - c. Dynamiek houdt ook in dat bepaalde habitattypen (tijdelijk) kunnen verdwijnen.
3. Eilandstaarten doorlopen van nature een biogeomorfologische successie (Hoofdstuk 3). Het is in het beheer belangrijk om te realiseren dat successie voor een deel van de milieus een natuurlijk gegeven is. De aanwezigheid van alle successiestadia geeft de grootste biodiversiteit, omdat verschillende soorten en habitattypen in verschillende successiestadia hun optimum hebben (Tabel 6). Voor ongewervelden kunnen juist climaxstadia de hoogste biodiversiteit hebben (Van Klink, 2014).
4. Er kan (lokaal) naar verjonging worden gestreefd wanneer jonge successiestadia over het Waddengebied als geheel te sterk in de verdrinking komen. Wanneer maatregelen tot verjonging worden overwogen, is het van belang om van te voren duidelijk te hebben:
 - a. in hoeverre verjonging werkelijk noodzakelijk is in het specifieke gebied (ten opzichte van lokaal, regionaal, nationaal, Waddenzee of internationaal belang);
 - b. wat in dat geval de precieze beheerdoelen zijn;
 - c. welk beheer of welke ingreep daar het meest geschikt voor is op korte en lange termijn. Eenmalige ingrepen waarna de natuurlijke processen het overnemen hebben daarbij de voorkeur boven herhaalde ingrepen;
 - d. of het, gezien de ontwikkelingsfase van de eilandstaart, nog haalbaar is om de situatie terug te zetten in de successie. Per eilandstaart is dit maatwerk, zelfs per deel van elke eilandstaart.
5. Grootschalig dynamiseren van delen van de eilandstaart kan naar verwachting door middel van verstuiving of washoverherstel.

6. Voor lokaal verjongen van de vegetatie kan worden gekozen voor beperkt gericht beheer met beweiding en plaggen. De geomorfologie wordt hiermee echter niet of in mindere mate verjongd.
7. De stadia hebben verschillende gevoeligheid voor menselijke verstoring, afhankelijk van het substraat, de dynamiek en de eigenschappen van de vegetatie. Vooral pioniervegetaties op kwelder en groen strand zijn erg gevoelig voor verstoring (kreekvorming, vernietiging van de vegetatie), en daarom is het aan te bevelen om deze delen te ontzien van berijden en betreden (ruimtelijk zoneren).
8. Sterke dynamiek in tijd en ruimte (d.w.z. snelle veranderingen, en sterke abiotische dynamiek) zijn wezenlijk voor groene stranden, stranden, washovercomplexen, washovers en strandvlakten. De plaats van habitattypen in de ruimte moet daarom niet worden vastgelegd door het beleid.
9. Zorg bij grote ingrepen voor logische/zo veel mogelijk natuurlijke aan- en afvoerroutes voor het water. Dit verbetert de voorspelbaarheid van de effecten van de ingreep.
10. Zorg voor ruimtelijke variatie in beheer, d.w.z. niet elk eiland en niet elk deel van het eiland hetzelfde beheer. Dit is het meest robuust onder eventuele externe veranderingen en levert de hoogste biodiversiteit op.
11. Bij plannen voor grootschalige dynamisering moet rekening worden gehouden met eventuele consequenties voor de nabije waterkeringen, al zijn deze op basis van huidige berekeningen niet waarschijnlijk. Consequenties kunnen negatief zijn (grotere hydraulische belastingen, kleiner duin), maar ook positief (ophoging voorland, robuuster worden duin).
12. Ingrijpen in een natuurlijk krekenspatroon, bijvoorbeeld om delen van de kwelder te vernatten, wordt niet aangeraden. In de Waddenzee als geheel hebben zo veel (vastelands)kwelders een kunstmatig afwateringspatroon, dat kwelders met natuurlijke krekenspatronen zeer waardevol zijn.
13. Het beheer op eilandstaarten is tot nu toe voornamelijk gericht geweest op onderdelen van de kwelders of duinen. Aan het beheer van de groene stranden, stranden, strandvlakten, washovers en washovercomplexen en de onderlinge verbanden tussen de diverse elementen wordt echter nog niet veel aandacht besteed. Met het natuurlijke referentiemodel in het achterhoofd en met aandacht voor de hele eilandstaart kan het beheer geoptimaliseerd en duurzamer worden.

Voor de in dit rapport behandelde Nederlandse Waddeneilanden zijn er nog wel een aantal eilandspecifieke aandachtspunten te geven:

Terschelling

De eilandstaart van Terschelling ondergaat erosie. Dat is een grootschalig en natuurlijk fenomeen, waarvan de verwachting is dat deze op den duur weer tot staan komt. Veiligheid is daarbij tot nog toe geen issue. Door de aanleg van de stuifdijk bestaat de kwelder uit een groot oppervlakte van ongeveer dezelfde ouderdom. Er is vernatting gaande op de kwelder bij de stuifdijk, en de rietvegetatie die daar ontstaan kan waarde hebben voor broedvogels.

Ameland

Het Neerlands Reid bestaat deels uit een oud washovercomplex, dat intussen van de Noordzee is afgesloten door een serie stuifdijken. Op Oost-Ameland is voorbij de NAM locatie sterke duin- en kwelderontwikkeling ontstaan. Als gevolg van gaswinning zakt een deel van het oppervlakte van de eilandstaart. Nu al kan nagedacht worden hoe het beheer er na verwijdering van de NAM locatie uit zou kunnen zien.

Schiermonnikoog

Aandachtspunten voor Schiermonnikoog zijn de stuifdijk, het grote zandaanbod en de aanwezigheid van een groen strand en de invloed daarvan op de omgeving. De kwelder laat een unieke leeftijdsgradiënt van west naar oost zien, waar tot voor kort steeds nieuwe kwelders werden gevormd. Het gebied direct oostelijk van de Kobbeduinen is een betrekkelijk jong washovercomplex-gebied, waarvan de morfologische ontwikkeling door de aanleg van de stuifdijk sterk is veranderd. De oudere kwelder bevat een kleilaag waar bij eventuele ingrepen tot verjonging rekening mee moet worden gehouden.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

Natuurlijke ontwikkeling

Er bestaan geen volledig ongestoorde eilandstaarten in het Waddengebied van Nederland en Nedersaksen. Door vergelijking van verschillende staarten kon toch een model voor de ontwikkeling van eilandstaarten opgesteld worden. Eilandstaarten ontwikkelen zich van kale platen via een aantal fasen naar een samenhangend geheel van strandvlakke, duinen, stranden, groene stranden, duinvalleien, kwelders en washovercomplexen. Deze ontwikkeling is het gevolg van het samenspel tussen fysische krachten en biota (biogeomorfologische successie) en vindt geheel spontaan plaats, zoals dit op dit moment grotendeels op Spiekeroog gebeurt. Dit is het mechanisme waarop in vroegere tijd duinboogcomplexen met bijbehorende kwelders ontstonden. Het maakt voor de ontwikkeling van de elementen van de eilandstaart uit of de zandplaat waaruit de eilandstaart zich ontwikkelt als één geheel aangeland is (abrupte vergroting eilandstaart) of langzaam aangroeit. Uiteindelijk bepalen de grootschalige processen of een eilandstaart kan aangroeien of af zal slaan.

De snelheid van ontwikkeling is niet voor alle afzonderlijke elementen van de eilandstaart gelijk. Stranden kunnen zeer lang in een kale fase blijven, terwijl groene stranden vaak een tijdelijk (decennia) verschijnsel zijn waarna ze verdwijnen of veranderen in kwelder of duinvallei. Washovercomplexen, met uitgebreide microbiële matten en groene stranden, kunnen mogelijk eeuwen blijven bestaan, terwijl kleine washovers binnen enkele jaren dicht kunnen stuiven. Het dominante proces in de vegetatieontwikkeling is successie naar een climaxstadium, en spontane regressie komt maar beperkt voor. Op washovercomplexen kan de vegetatie langer in een eerder stadium blijven. Over het geheel gezien neemt de dynamiek van nature af met de tijd, met verschillende snelheden per onderdeel.

Menselijke ingrepen in het verleden

Menselijke ingrepen hebben grote effecten gehad op de ontwikkeling van eilandstaarten (gehad). Op de Nederlandse eilanden is dit met name de aanleg van stuifdijken geweest. De oude geomorfologie wordt door de stuifdijk grotendeels gefossiliseerd en sommige elementen zijn niet tot ontwikkeling gekomen, zoals washovers en washovercomplexen. De kwelders zijn versneld en over grote oppervlakken tegelijk tot ontwikkeling gekomen. De vegetatiesuccessie over de hele staart is versneld. Door de afwezigheid van ruimtelijke variatie is het aantal zoet-zoutgradiënten kleiner. Samen heeft dit er toe geleid dat de abiotische en biotische variatie in ruimte en tijd is afgenomen en dat de eilandstaarten versneld zijn verouderd.

Huidige situatie

De huidige situatie verschilt per eilandstaart, afhankelijk van wanneer de stuifdijk is aangelegd, in welk stadium het eiland toen was, welk deel van de eilandstaart beïnvloed was (en is), en hoe de grootschalige processen sindsdien de eilandstaart hebben beïnvloed. Op sommige plaatsen wordt de successie vertraagd door beweiding van kwelder en duinen en plaggen van duinvalleien. Ook vindt er lokaal enige regressie door vernatting en afslag plaats. Van de Nederlandse eilanden is op Terschelling de successie het verst voortgeschreden, en de staart bevindt zich intussen in een afslagfase waarbij de oostpunt, inclusief de Cupidopolder, kleiner wordt. Op Ameland is het westelijke deel van de staart (Neerlands Reid) vrijwel geheel vastgelegd, terwijl het oostelijke deel (De Hon) veel meer onder invloed van natuurlijke processen staat. Op Schiermonnikoog is een zeer duidelijke gradiënt te zien

van een ouder, meer vastgelegd gebied aan de westkant van de staart, naar een jonge, vrij ontwikkelende oostpunt.

Op de kwelder zijn, op de schaal van stroomgebieden per kreek, de dominante sturende factoren voor vegetatieontwikkeling: natuurlijke successie (tijd), menselijk ingrepen (met name stuifdijken), zuidelijk aangroei van de kwelder, dikte van de kleilaag en daarmee nutriënten, en de ontwikkeling van een groen strand of washovercomplex. De invloed van kreekvorming en de connectie van kreken met washovers kon niet duidelijk in de vegetatieontwikkeling worden teruggevonden.

Beheer- en inrichtingsmaatregelen

De eilandstaarten behoren nu al tot de meest dynamische delen van de Nederlandse kust. Als er ergens mogelijkheden zijn om in het beheer de natuurlijke processen hun gang te laten gaan, dan is dat hier.

Een stuifdijk is in feite een kunstmatige 'duinboog'. Als er geen stuifdijken zouden zijn aangelegd, zouden op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog waarschijnlijk intussen ook duinbogen zijn ontwikkeld. Vanuit dat oogpunt is ingrijpen in de huidige situatie niet per sé noodzakelijk. Maar, de staarten zouden er zonder stuifdijken wel anders hebben uitgezien, met grotere washovercomplexen, een grilliger verloop van de duinenrijen en meer gradiënten dan er nu zijn. Dit kan wel een aanleiding vormen om in te grijpen. Bij de beheeroptie 'niets doen' zal er alleen in en na een situatie met grootschalige erosie ook grootschalige verjonging op kunnen treden. Er ligt namelijk op veel plaatsen een vrij grote hoeveelheid zand in de stuifdijk opgeslagen. Zonder grootschalige erosie wordt niet verwacht dat de ontwikkeling overal convergeert in de richting van de natuurlijke ontwikkeling. In die laatste gevallen kan overwogen worden door middel van actief ingrijpen een meer natuurlijke situatie te herstellen. Er zitten echter grenzen aan wat hiermee bereikt kan worden, omdat de dynamische geomorfologische processen uit de beginfasen, die voor landschappelijke variatie zorgen, in de latere fasen in de successie lang niet altijd grootschalig zijn te herstellen.

Wanneer vanuit beheeroogpunt wordt ingegrepen op de eilandstaarten, zijn daar verscheidene mogelijkheden voor. Van sommige is het resultaat vrij goed te voorspellen (bijvoorbeeld beweiding), van andere is dat op dit moment nog lastig (bijvoorbeeld opening maken in een stuifdijk). Grote, nieuwe ingrepen zoals het herstellen van washovers, moeten in het begin worden uitgevoerd als pilot. Daarbij is een goed monitoringprogramma onontbeerlijk, zodat van de resultaten geleerd kan worden en eventueel bijgestuurd kan worden waar nodig. Op basis van modelstudies wordt niet verwacht dat de meeste in dit rapport voorgestelde maatregelen effect zullen hebben op de waterveiligheid. Maatregelen die het directe voorland van een waterkering op de eilanden beïnvloeden kunnen in sommige gevallen mogelijk leiden tot een grotere werking van golven op de kering. Hier moet per maatregel aandacht aan worden geschonken.

De elementen van eilandstaarten zijn in samenhang ontstaan en beïnvloeden elkaar gedurende de ontwikkeling. Ook al is maatwerk in beheer nodig per onderdeel (een zandig groen strand heeft bijvoorbeeld ander beheer nodig dan een kleiige kwelder), het beheer van eilandstaarten dient ook deze de samenhang mee te nemen.

Niet alle onderdelen van de eilandstaart worden in de Natura 2000-systematiek onderscheiden en in hun onderlinge afhankelijkheid erkend. Met verbeterd systeembegrip kan hopelijk meer aandacht komen voor het natuurlijk functioneren en de samenhang van de ontwikkeling op verschillende ruimte- en tijdschalen.

9.2 Open kennisvragen

9.2.1 Kennisleemtes

Het voorliggende rapport heeft zich noodzakelijkerwijs gericht op de hoofdlijnen van de ontwikkeling van eilandstaarten. Een groot aantal vragen ligt nog open, waarvan de belangrijkste hieronder kort worden behandeld. Een aantal daarvan worden opgepakt in onlangs gestarte promotieonderzoeken, die als laatste worden genoemd.

Kwelder, krekens en vegetatie

Binnen de kwelders blijven er vragen open over het meegroeivermogen onder zeespiegelstijging: blijft het sediment aan de wadrand hangen zodat de verder gelegen delen verdrinken, of ontstaat er een terugkoppeling door een grotere overstromingsfrequentie en een uitbreidend krekennetwerk dat sediment naar de verder gelegen delen kan brengen? Verder is onbekend waarom bepaalde krekens wel en andere niet aansluiten bij een washover, en wat dit voor effect dit lokaal op de vegetatie heeft.

De relatie tussen vegetatie en kreekvorming was minder duidelijk dan van tevoren verwacht werd. De ontwikkeling van de krekenspatronen en de vegetatie laat van eiland tot eiland grote verschillen zien, die niet goed begrepen worden. Het harige kreekpatroon van Spiekeroog wordt waarschijnlijk in de hand gewerkt door de hoge ruggengraat van lage duintjes op het midden van de eilandstaart. Ook op andere eilanden blijkt dat de duinen een eindpunt zijn voor de terugschrijdende erosie waarmee de krekens zich uitbreiden. Om beter te begrijpen hoe de patronen zich ontwikkelen en wat de oorzaken daarvan zijn, zouden in trilateraal verband op meerdere eilanden de krekenspatronen en vegetatie kunnen worden onderzocht, zowel in ruimte als in tijd. Daarbij moet zowel naar de effecten op kleine schaal (oeverwallen – kommen – drainage door kreek of washover – bodemsamenstelling) gekeken worden, als op de schaal van het kombergingsgebied.

Overwash en washovers

De ophoging van de kwelder met zand door overwash is gering (De Groot et al., 2011a), maar de ophoging van duinen en washovercomplexen is naar verwachting wel groot. Deze bijdrage moet nog gekwantificeerd worden. Verder openstaande vragen zijn: onder welke condities (stormfrequentie, locatie, leeftijd eilandstaart) zet overwash en eolisch transport zand af in het systeem? In welke gevallen wordt er kweldersediment opgeruimd? Tot hoe ver wordt het systeem daarmee teruggezet? Is dit soort verstoringen essentieel is om een continu proces van kwelder- en duinontwikkeling op grotere schaal in gang te zetten?

In paragraaf 8.3.2 zijn enige handreikingen gegeven voor het lokaliseren van de beste plekken voor het toestaan van washovers. Locaties en dimensies zouden bepaald moeten worden aan de hand van modelstudies in combinatie met analyses van de verwachte ontwikkeling in het gebied, inclusief kwelders. De resultaten kunnen dan met stakeholders worden geëvalueerd in samenhang met eventuele andere belangen.

Verder is er nog weinig bekend over hoe het samenspel tussen microbiële matten, erosie door overwash en eolische depositie lijkt te kunnen leiden tot het eeuwenlang bestaan van washovercomplexen.

9.2.2 Lopend vervolgonderzoek

Aan de universiteiten van Utrecht en Nijmegen zijn, in samenwerking met andere kennisinstellingen, onlangs twee aan het OBN onderzoek gerelateerde onderzoeksprojecten gestart:

- "Rebuilding the natural integrity of barrier islands", toegekend door NWO. Samenwerking met Waddenacademie, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Deltares, Bosschap. "Het Deltaplan richt zich op de veiligheid van beschermde delen van de Waddeneilanden. De niet beschermde en tegelijk ook meest natuurlijke, dynamische en ecologisch waardevolle delen van de eilanden worden echter sterk bedreigd door klimaat- en bodemontwikkelingen. Dit project ontwikkelt

kennis over 2 gevolgen: de afname van sedimentaanvoer naar het gebied achter de zeereep, waardoor de zeespiegelstijging niet wordt gecompenseerd, en de degradatie van het ecosysteem door de afname van sedimentaanvoer en zoutwaterinvloed." De onderzoekers, een ecologe en een morfooloog stellen zich ten doel te weten te komen welke rol de verschillende biotische en abiotische processen spelen bij washover-processen en welke randvoorwaarden bepalend zijn voor de ontwikkeling van washovers.

- "*How flooding can save our barrier coast*", toegekend door Climate-KIC. Het onderzoek betreft de dynamiek van washovers op Waddeneilanden, met name de modellering van de transporten tijdens overwash-gebeurtenissen. De ambitie is om, mede geholpen door de veldwaarnemingen in het bovenstaande onderzoek, een realistische link kan worden te maken met een operationeel morfodynamisch zeegatsysteem-model, dat één tot enkele decennia vooruit moet kunnen voorspellen. Op korte termijn worden met behulp van X-beach voorspellingen gedaan over de ontwikkeling van washovers waarbij de belangrijkste natuurlijke processen tijdens de overwash-gebeurtenis in het model zijn opgenomen.

Binnen het trilateraal onderzoeksprogramma van DPW (Oost et al., 2014) is geconstateerd dat:

- De rol van de eilanden als geheel in de sedimenthuishouding van de sedimentdelende zeegatsystemen nauwelijks bekend is, maar wel als belangrijk wordt ingeschat gezien de hoeveelheden sediment die opgeslagen liggen in de eilanden.
- De sedimenttransporten en bijbehorende mechanismen vanaf de kust eilandwaarts niet bekend zijn en dringend nader onderzoek behoeven.

Beide punten zijn geïdentificeerd als essentiële kennisleemten die in de komende jaren gevuld moeten worden door analyses van bestaande data, modellering, pilotstudies en monitoring.

10 Verantwoording

10.1 Bronnen en dankwoord

De kweldergegevens van Schiermonnikoog en Terschelling (Hoofdstuk 6) zijn verzameld door de Rijksuniversiteit Groningen, door A.V. de Groot, R.M. Veeneklaas, E.C. Koppenaar, D.P.J. Kuijper, H.J. van Wijnen, J.P. Bakker, H. Olf, en vele studenten en assistenten.

Thorsten Balke: bijdrage conceptueel model (via OBN vastelandskwelders).

10.2 Kwaliteitsbewaking

IMARES rapportnummer C183/14
IMARES projectnummer: 4306121501-OBN_eilandstaarten
Deltares rapportnummer 1208549.01

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

Akkoord: Drs. Jacqueline Tamis
Onderzoeker, IMARES



Handtekening:

Datum: 23 december 2014

Akkoord: Luca van Duren
Onderzoeker, Deltares



Handtekening:

Datum: 23 december 2014

Akkoord: Drs. Jakob Asjes
Hoofd afdeling Ecosystemen



Handtekening:

Datum: 23 december 2014

Referenties

- Adam, P., 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 461 pp.
- AHN, 2007-2012. Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2) In: Waterschapshuis (Editor), Amersfoort, The Netherlands.
- Allen, J.R.L., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19(12): 1155-1231.
- Arcadis Heidemij Advies, 2000. Beheerprogramma Rijksgronnen Ameland 2000-2010. Notitie 110202/NA0/828/000074, Rijkswaterstaat, directie Noord-Nederland, Staatsbosbeheer, regio Fryslân, It Fryske Gea.
- Arens, S.M., Van den Burg, A., Esselink, P., Grootjans, A., Jungerius, P., Kooijman, A., de Leeuw, C., Löffler, M., Nijssen, M., Oost, A., 2009. Preadvies duin-en kustlandschap. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Arens, S.M., Van Puijvelde, S.P., Brière, C., 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; rapportage geomorfologie, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.
- Arens, S.M., Wiersma, J., 1994. The Dutch foredunes - inventory and classification. *Journal of Coastal Research*, 10(1): 189-202.
- Bakker, J.P., 1976. Phytogeographical aspects of the vegetation of the outer dunes in the Atlantic province of Europe. *Journal of Biogeography*, 3(2): 85-104.
- Bakker, J.P., 2014. Ecology of salt marshes; 40 years of research in the Wadden Sea. Wadden Academy, Leeuwarden.
- Bakker, J.P., Veeneklaas, R.M., Jansen, A., Samwel, A., 2005. Een nieuw Groen Strand op Schiermonnikoog. *De Levende Natuur*, 106(4): 151-155.
- Bakker, L., Van der Wal, R., Esselink, P., Siepel, A., 1999. Exploitation of a new staging area in the Dutch Wadden Sea by greylag geese *Anser anser*: the importance of food-plant dynamics. *Ardea*, 87(1): 1-13.
- Balke, T., 2013. Establishment of biogeomorphic ecosystems; A study on mangrove and salt marsh pioneer vegetation. PhD Thesis, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Balke, T., Bouma, T.J., Horstman, E.M., Webb, E.L., Erftemeijer, P.L.A., Herman, P.M.J., 2011. Windows of opportunity: thresholds to mangrove seedling establishment on tidal flats. *Marine Ecology-Progress Series*, 440: 1-9. 10.3354/meps09364.
- Beekman, F., 2007. De Kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebruik op een Zeeuws eiland. Uitgeverij Matrijs, Utrecht.
- Beels, C., Henriques, J., De Rouck, J., Pontes, M., De Backer, G., Verhaeghe, H., 2007. Wave energy resource in the North Sea.
- Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning.
- Bertness, M.D., 1991. Interspecific Interactions among High Marsh Perennials in a New-England Salt-Marsh. *Ecology*, 72(1): 125-137.
- Bertness, M.D., Callaway, R., 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9(5): 187-191.
- Bleuten, W., 1971. Een geomorfologische studie van het eiland Schiermonnikoog, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Bokeloh, D.J., 1997. Beheervisie Nationaal Park Schiermonnikoog. O&B rapport 97-17, Natuurmonumenten.
- Brilhuis, R., Bossinade, J.H., Van den Bergs, J., De Vlas, J., 1990. Een meer natuurlijke ontwikkeling van Rottumerplaat en Rottumeroog : aanvaardbaar of niet? Nota GRAN 1990-2003, Groningen/Leeuwarden.
<http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/14004/c9288.pdf>

- Brouwer, D.A., 1936. Ameland: een sociaal-geografische studie van een waddeneiland. HJ Paris.
- Buishand, A., Brandsma, T., De Martino, G., Spreeuw, H., 2011. Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. *H2O*, 44(24): 31.
- Bureau Molenaar, It Fryske Gea, 2013. Beheervisie Oost-Ameland 2013-2038, It Fryske Gea, Olterterp, 78 pp.
- Cheung, K.F., Gerritsen, F., Cleveringa, J., 2007. Morphodynamics and sand bypassing at Ameland Inlet, The Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 23(1): 106-118. 10.2112/04-0403.1.
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., Gurnell, A.M., 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews*, 84(1-2): 56-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.05.004>.
- De Groot, A.V., Brinkman, A.G., Fey, F.E., Van Sluis, C.J., Oost, A.P., Schelfhout, H.A., Smale, A.J., Dijkman, E.M., Scholl, M., 2014. Biobouwers als onderdeel van een kansrijke waterveiligheidsstrategie voor Deltaprogramma Waddengebied. Rapport C163/13A, IMARES Wageningen UR, IJmuiden, 81 pp. <http://edepot.wur.nl/280407>
- De Groot, A.V., Veeneklaas, R.M., Bakker, J.P., 2011a. Sand in the salt marsh: Contribution of high-energy conditions to salt-marsh accretion. *Marine Geology*, 282(3-4): 240-254.
- De Groot, A.V., Veeneklaas, R.M., Kuijper, D.P.J., Bakker, J.P., 2011b. Spatial patterns in accretion on barrier-island salt marshes. *Geomorphology*, 134(3-4): 280-296.
- De Jong, B., Keijsers, J.G., Riksen, M.J., Krol, J., Slim, P.A., 2014. Soft Engineering vs. a Dynamic Approach in Coastal Dune Management: A Case Study on the North Sea Barrier Island of Ameland, The Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 30(4): 670-684.
- De Leeuw, C.C., Grootjans, A.P., Lammerts, E.J., Esselink, P., Stal, L., Stuyfzand, P.J., Van Turnhout, C., Ten Haaf, M.E., Verbeek, S.K., 2008. Ecologische effecten van duinboog- en washoverherstel, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- De Leeuw, J., De Munck, W., Olff, H., Bakker, J.P., 1993. Does Zonation Reflect the Succession of Salt-Marsh Vegetation - A Comparison of An Estuarine and A Coastal Bar Island Marsh in the Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica*, 42(4): 435-445.
- Dijkema, K.S., Nicolai, A., De Vlas, J., Jongerius, H., Nauta, H., 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland, Leeuwarden.
- Dijkema, K.S., Van Dobben, H.F., Koppenaar, E.C., Dijkman, E.M., Van Duin, W.E., 2011. Kweldervegetatie Ameland 1986-2010: effecten van bodemdaling en opslibbing op Neerlands Reid en De Hon. In: Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland (Editor), Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost.
- Dillingh, D., Fedor, B., de Ronde, J., 2010. Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. *Deltares report*: 1201993-002.
- Dobrynin, M., Gayer, G., Pleskachevsky, A., Günther, H., 2010. Effect of waves and currents on the dynamics and seasonal variations of suspended particulate matter in the North Sea. *Journal of Marine Systems*, 82(1): 1-20.
- Ehlers, J., 1988. The Morphodynamics of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam, 397 pp.
- Esselink, P., Helder, G.J.F., Aerts, B.A., Gerdes, K., 1997. The impact of grubbing by Greylag Geese (*Anser anser*) on the vegetation dynamics of a tidal marsh. *Aquatic Botany*, 55(4): 261-279.
- Fitzgerald, D.M., Penland, S., Nummedal, D., 1984. Control of barrier island shape by inlet sediment bypassing: East Frisian Islands, West Germany. *Developments in Sedimentology*, 39: 355-376.
- Flemming, B., Davis Jr, R., 1994. Holocene evolution, morphodynamics and sedimentology of the Spiekeroog barrier island system (southern North Sea). *Senckenbergiana maritima*. Frankfurt/Main, 24(1): 117-155.
- French, J.R., Stoddart, D.R., 1992. Hydrodynamics of salt marsh creek systems: implications for marsh morphological development and material exchange. *Earth Surface Processes & Landforms*, 17(3): 235-252.

- Friedrichs, C.T., Perry, J.E., 2001. Tidal salt marsh morphodynamics: a synthesis. *Journal of Coastal Research*, SI, No. 27: 7-37.
- Grootjans, A., Stuyfzand, P., Everts, H., de Vries, N., Kooijman, A., Oostermeijer, G., Nijssen, M., Wouters, B., Petersen, J., Shahrudin, R., 2014. Ontwikkeling van zoet-zoutgradiënten met en zonder dynamisch kustbeheer : een onderzoek naar de mogelijkheden voor meer natuurlijke ontwikkelingen in het kustgebied. *Boschap, bedrijfschap voor bos en natuur, Driebergen*.
- Haarsma, R.J., Hazeleger, W., Severijns, C., Vries, H., Sterl, A., Bintanja, R., Oldenborgh, G.J., Brink, H.W., 2013. More hurricanes to hit Western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters*, 40(9): 1783-1788.
- Hesp, P.A., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3): 245-268.
- Isbary, G., 1936. Das Inselgebiet von Ameland bis Rottumeroog : morphologische und hydrographische Beitrage zur Entwicklungsgeschichte der friesischen Inseln. *Archiv der Deutschen Seewarte*; Bd. 56, no. 3. Deutsche Seewarte, Hamburg.
- Israel, C.G., Dunsbergen, D.W., 1999. Cyclic morphological development of the Ameland Inlet, the Netherlands, *Proceedings IAHR Symposium on river, coastal and estuarine morphodynamics*, Department of Environmental Engineering, University of Genoa, pp. 705-714.
- Jager, T.D., 2006. Vegetatiekartering 2004 op basis van false colour-luchtfoto's 1:10.000. Rapportnummer AGI-2006-GSMH-015, Rijkswaterstaat, AGI, Delft.
- Jakobsen, B., 1954. The tidal area in south-western Jutland and the process of the salt marsh formation. *Geografisk Tidsskrift*, 53: 49-61.
- Joenje, W., Thalen, D.C.P., 1968. Het Groene Strand van Schiermonnikoog. *De Levende Natuur*, 71: 97-107.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3): 373-386.
- Katsman, C.A., Sterl, A., Beersma, J.J., van den Brink, H.W., Church, J.A., Hazeleger, W., Kopp, R.E., Kroon, D., Kwadijk, J., Lammersen, R., Lowe, J., Oppenheimer, M., Plag, H.P., Ridley, J., von Storch, H., Vaughan, D.G., Vellinga, P., Vermeersen, L.L.A., van de Wal, R.S.W., Weisse, R., 2011. Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta-the Netherlands as an example. *Climatic Change*, 109(3-4): 617-645.
- Keijsers, J.G., Giardino, A., Poortinga, A., Mulder, J.P., Riksen, M.J., Santinelli, G., 2014. Adaptation strategies to maintain dunes as flexible coastal flood defense in The Netherlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*: 1-16. DOI: 10.1007/s11027-014-9579-y.
- Kers, A.S., Koppejan, H., 2005. De Groene Stranden van Rottumerplaat. *De Levende Natuur*, 106(4): 159-161.
- Kers, A.S., Van der Brug, S.R., Schoen, L., Bos, D., Bakker, J.P., 1998. Vegetatiekartering Oost-Schiermonnikoog, 1993 - 1996, *Laboratorium voor Plantenoecologie, Rijksuniversiteit Groningen*.
- Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., van den Hurk, B., Lenderink, G., 2014. KNMI'14: klimaatscenario's voor Nederland. *KNMI, De Bilt*.
- Lammerts, E.J., Van Haperen, A.M.M., 2014. De natuur van de kust; tussen aangroei en afslag. *NatuurMedia, Amsterdam*.
- Löffler, M.A.M., De Leeuw, C.C., Ten Haaf, M.E., Verbeek, S.K., Oost, A.P., Grootjans, A.P., Lammerts, E.J., Haring, R.M.K., 2008. Eilanden natuurlijk. *Natuurlijke Dynamiek en veerkracht op de Waddeneilanden. Het Tij Geleerd*.
- Masselink, G., van Heteren, S., 2014. Response of wave-dominated and mixed-energy barriers to storms. *Marine Geology*, 352: 321-347.
- Matias, A., Ferreira, O., Vila-Concejo, A., Garcia, T., Dias, J.A., 2008. Classification of washover dynamics in barrier islands. *Geomorphology*, 97(3-4): 655-674. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.09.010.
- Meijer, J., Vriens, G., Lammerts, E.J., 2013. Document PAS-analyse Herstelstrategieën voor Duinen Terschelling. pas.natura2000.nl/files/pas-gebiedsanalyse-tereschelling-131206.pdf
- Meyer-Deepen, J., Meijering, M.P., 1979. Spiekeroog. *Naturkunde einer ostfriesischen Insel. Verlag Kurverwaltung Nordseeheilbad Spiekeroog, Spiekeroog*.
- Molenaar, W.J., Krol, J., 2006. Inrichtingsvisie duingebied paal 17-21. *Natuurontwikkeling en recreatieve inrichting in het duingebied tussen paal 17 en 21 op Ameland, In opdracht van Fryske Gea en Staatsbosbeheer*.

- Nicolai, A., 2014. Concept Natura 2000-beheerplan Waddenzee Ontwerpplan Periode 2015 – 2020. Concept 15 juli 2014, versie 7.0, Rijkswaterstaat Noord-Nederland.
- Nielsen, N., Nielsen, J., 2006. Development of a washover fan on a transgressive barrier, Skallingen, Denmark. *Journal of Coastal Research*, 1: 107-111.
- Nijssen, M., Wouters, B., Vogels, J., Kooijman, A., van Oosten, H., van Turnhout, C., Wallis de Vries, M., Dekkers, J., Janssen, I., 2014. Begrazingsbeheer in relatie tot herstel van faunagemeenschappen in droge duingraslanden : eindrapportage 2009-2013. OBN rapport;2014/OBN190-DK. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.
- Oertel, G.F., 1977. Geomorphic cycles in ebb deltas and related patterns of shore erosion and accretion. *Journal of Sedimentary Research*, 47(3).
- Oloff, H., De Leeuw, J., Bakker, J.P., Platerink, R.J., Van Wijnen, H.J., De Munck, W., 1997. Vegetation succession and herbivory in a salt marsh: changes induced by sea level rise and silt deposition along an elevational gradient. *Journal of Ecology*, 85(6): 799-814.
- Oost, A.P., 1995. Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet. PhD Thesis, Universiteit Utrecht
- Oost, A.P., Hoekstra, P., Wiersma, A., Flemming, B., Lammerts, E.J., Pejrup, M., Hofstede, J., van der Valk, B., Kiden, P., Bartholdy, J., van der Berg, M.W., Vos, P.C., de Vries, S., Wang, Z.B., 2012. Barrier island management: Lessons from the past and directions for the future. *Ocean & Coastal Management*, 68(0): 18-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.07.010>.
- Oost, A.P., Van Rooij, D., 2012. Effecten huidig kustbeheer op de Waddeneilanden. 1206239-000-ZKS-0007, Deltares, Delft, 66 pp.
- Oost, A.P., Wang, Z.B., de Groot, A.V., van Duren, L.A., van der Valk, L., 2014. Preparing for climate change: a research framework on the sediment-sharing systems of the Dutch, German and Danish Wadden Sea for the development of an adaptive strategy for flood safety. *Deltares*, [Delft].
- Petersen, J., Kers, A.S., Stock, M., 2013. TMAP-typology of coastal vegetation in the Wadden Sea area; version: 1.0, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- Petersen, J., Pott, R., 2005. Ostfriesische Inseln: Landschaft und Vegetation im Wandel, 1. Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover.
- Psuty, N., 1992. Spatial variation in coastal foredune development. In: R.W.G. Carter, T.G.F. Curtis & M.J. Sheehy - Skeffington (Editors), *Coastal dunes: geomorphology, ecology and management of conservation: proceedings of the third European dune congress, Galway, Ireland, 17 - 21 June 1992*. Balkema, Rotterdam, pp. 3-13.
- Reitsma, D.T., Bakker, J.P., 1986. Landgebruik op Schiermonnikoog, vroeger en nu. *Waddenbulletin*, 21: 94-100.
- Röper, T., Greskowiak, J., Freund, H., Massmann, G., 2013. Freshwater lens formation below juvenile dunes on a barrier island (Spiekeroog, Northwest Germany). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 121-122(0): 40-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.02.004>.
- Schwarz, C., Ye, Q.H., van der Wal, D., Zhang, L.Q., Bouma, T., Ysebaert, T., Herman, P.M.J., 2014. Impacts of salt marsh plants on tidal channel initiation and inheritance. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*: 2013JF002900. 10.1002/2013jf002900.
- Severin, I., Stal, L.J., 2008. Light dependency of nitrogen fixation in a coastal cyanobacterial mat. *The ISME Journal*, 2(10): 1077-1088.
- Staatsbosbeheer/Rijkswaterstaat, 1984. Het beheer van Ameland. Staatsbosbeheer/Rijkswaterstaat. publicaties.minienm.nl/download-bijlage/52898/215234.pdf.
- Stal, L.J., Van Gernerden, H., Krumbein, W.E., 1985. Structure and development of a benthic marine microbial mat. *FEMS Microbiology Letters*, 31(2): 111-125.
- Steijn, R., Van Ormondt, M., Van Dongeren, A., 2008. Veiligheidsaspecten project H&U Zeereep; Veiligheidsaspecten van mogelijke herstelsenario's van overslaggronden op de Nederlandse Waddeneilanden Technical report (A1995), Alkyon/WL|Delft Hydraulics.
- Steyaert, F., 1989. Ontwikkeling washover Schiermonnikoog. Conceptnotitie.

- Temmerman, S., Bouma, T.J., Govers, G., Lauwaet, D., 2005. Flow paths of water and sediment in a tidal marsh: Relations with marsh developmental stage and tidal inundation height. *Estuaries*, 28(3): 338-352.
- Temmerman, S., Bouma, T.J., Van de Koppel, J., Van der Wal, D.D., De Vries, M.B., Herman, P.M.J., 2007. Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. *Geology*, 35(7): 631-634.
- Ten Haaf, M.E., Buijs, P., 2008. *Verdiepende Studies Morfologie: Morfologie, hydraulica en ecologie van washoversystemen*, Universiteit Utrecht.
- Townend, I., Fletcher, C., Knappen, M., Rossington, K., 2011. A review of salt marsh dynamics. *Water and Environment Journal*, 25(4): 477-488. 10.1111/j.1747-6593.2010.00243.x.
- Van de Koppel, J., Van der Wal, D., Bakker, J.P., Herman, P.M.J., 2005. Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist*, 165(1): E1-E12.
- Van der Vegt, M., 2006. *Modeling the dynamics of barrier coasts and ebb-tidal deltas*, Utrecht University.
- Van Dieren, J.W., 1934. *Organogene Dünenbildung; Eine Geomorphologische Analyse der Dünenlandschaft der West-Friesischen Insel Terschelling mit pflanzensoziologischen Methoden*, Universiteit van Amsterdam, 's-Gravenhage, 304 pp.
- Van Duin, W.E., Dijkema, K.S., 2012. Randvoorwaarden voor kwelderontwikkeling in de Waddenzee en aanzet voor een kwelderkansenkaart, IMARES Wageningen UR, IJmuiden [etc.]. <http://edepot.wur.nl/220052>
- Van Heteren, S., Oost, A.P., van der Spek, A.J.F., Elias, E.P.L., 2006. Island-terminus evolution related to changing ebb-tidal-delta configuration: Texel, The Netherlands. *Marine Geology*, 235(1-4): 19-33. 10.1016/j.margeo.2006.10.002.
- Van Klink, R., 2014. Of dwarves and giants: how large herbivores shape arthropod communities on salt marshes.
- Van Puijenbroek, M., De Groot, A.V., Berendse, F., in prep. Conditions determining the development of embryonic dune fields.
- Van Straaten, L.M.J.U., 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. *Leidse Geologische Mededelingen*, XIX: 4-96.
- Van Vledder, G.P., 2008. Analysis SWAN hindcasts Wadden Sea, Oosterschelde and Slotermeer Alkyon Report A2085, SBW Waddenzee, Alkyon. <http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:5f3317e1-d609-4eb1-bc7a-f34d17b983fd/TLJ80002.pdf>
- Van Wesenbeeck, B.K., Oost, A.P., Balke, T., Van Geer, P., Calderon, A.C., Smale, A.J., De Groot, A.V., Van Duin, W.E., Veeneklaas, R.M., Esselink, P., 2014 (in prep). Verjonging van half-natuurlijke kwelders en schorren. OBN rapport.
- Van Wijnen, H.J., Bakker, J.P., 1997. Nitrogen accumulation and plant species replacement in three salt marsh systems in the Wadden Sea. *Journal of Coastal Conservation*, 3(1): 19-26.
- Van Wijnen, H.J., Bakker, J.P., 2001. Long-term surface elevation change in salt marshes: a prediction of marsh response to future sea-level rise. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52(3): 381-390.
- Viles, H., 1988. *Biogeomorphology*. Basil Blackwell, Oxford.
- Westhuysen, A., Dongeren, A., Groeneweg, J., Vledder, G.P., Peters, H., Gautier, C., Nieuwkoop, J., 2012. Improvements in spectral wave modeling in tidal inlet seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 117(C11).
- Wiertz, J., 1990. *Ontstaan, grondwater en bijzondere soorten van enkele duinvalleien op Oost-Ameland; Duin-pq's bodemdaling Ameland 1986 - 1989*, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Wolff, W.J., 1986. De Waddenzee: eigenschappen van een dynamisch kustgebied. 252, RIJP, 11-22 pp.
- Yapp, R.H., Johns, D., Jones, O.T., 1917a. The Salt Marshes of the Dovey Estuary. *Journal of Ecology*, 5(2): 65-103.
- Yapp, R.H., Johns, D., Jones, O.T., 1917b. The salt marshes of the Dovey Estuary. Part II. The salt marshes. *Journal of Ecology*, 5: 65-103.
- Zwart, F., 2010. *De Boschplaat: eeuwig bewegend landschap*. Isola Arte, Koninklijke Van Gorcum b.v., Assen, 120 pp.
- Zwart, F., Liebrand, A., Van Mansveld, E., 2006. *Natuurlijk Ameland*. It Fryske Gea/Staatsbosbeheer.

Bijlage A. Historische menselijke ingrepen op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog

Historische menselijke invloeden op de eilandstaart van Terschelling. Bron: Zwart, 2010.

1882/83	N-Z lopende stuifdijk richting Badweg naar Oosterend ter hoogte van paal 18.
1886-1887	Aanleg serie stuifdijken via stuifschermen om de gaten van 1884 weer te dichtten vanaf Meeuwenplak naar Witduin: 1886 paal 19 en 1887: doortrekken naar Paal 20 en naar Witduin.
1911	Groede 225 ha ingerasterd voor gemeenschappelijke inscharingsweide
1928	Oostwaartse verplaatsing raster over 500 m van de Groede gevolgd door later uitbreidingen in oostelijke en noordelijke richtingen
1929/30	Eerste poging aanleg stuifdijk vanaf paal 20 in zuidoostelijke richting van strandpalenlijn 20 naar 22.
1931-1937	Aanleg Stuifdijk door RWS: 1931: 20-22; 1933: 22-24; 1935.
1932	gereedkomen van de Afsluitdijk
Na 1953	Aaneengesloten binnenduinwaterkering op Deltahoogte.
1960	Kustafslag wordt opgevangen door het naar binnen opschuiven van de zeereep. Tussen paal 13 en 20 is zo ruim 400 meter duingebied verdwenen
80er jaren	Plaatsen van rietschermen, stuifdijkjes en dichtschuiven gaten in de duinen ten noorden van paal 23 tot aan Amelander Gat (Cupidopolder)
1982	Laatste grote uitbreiding van beweiding de Groede met 40 ha in noordelijke richting
1990	Vanaf paal 26 geen actief kustbeheer. Paal 19 tot 26 dynamisch gehandhaafd.
1993	Aanleg NOURTEC vooroeversuppletie tussen paal 14 en 18 ($2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)
1995	8 Kleine sleuven tussen paal 15 en 19 om het doorstuiven van zand te stimuleren. Op andere plaatsen juist helm gepoot om zand in te vangen. In de eerste jaren erna werd ook spontaan ontstane begroeiing aan de noordzijde verwijderd
2004	Brandstichting op 2 plaatsen op de Boschplaat. 60 ha afgebrand, waaronder 15 ha bosreservaat. Daarna "niets doen" als beheer.

Historische menselijke invloeden op de eilandstaart van Ameland. Bronnen: Brouwer, 1936; Staatsbosbeheer/Rijkswaterstaat, 1984; Oost, 1995; Molenaar & Krol, 2006; Zwart et al., 2006; Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, 2011; Bureau Molenaar & It Fryske Gea, 2013 www.amelanderhistorie.nl, www.ecomare.nl, www.rws.nl

1717	Veel huizen van Oerd weggespoeld, gehucht grotendeels verdwenen.
1795	Laatste huizen van het Oerd verdwenen.
1839	oostelijk van Buren een moldijk gebouwd.
1851	Versterking zwakke plek in de Kooидуinen met een stuifdijkje
1855-1856	WNW-OZO lopende stuifdijk aangelegd en werd getracht de Kooiduinen te verbinden met de Oerdduinen. Deze poging mislukte.
1880	opnieuw poging om een zanddijk te vormen (vermoedelijk langs het traject 1855-1856 of 1882-1888. Deze poging mislukte.

1880 of kort erna	Aanleg prikkeldraadraaster over 25 km lengte in de lengterichting van het eiland, van de Tonneduinen tot de Oerderduinen, waar ten noorden ervan niet meer gegraasd mocht worden (de zgn. Rijksdraad) Op Oost-Ameland waren de duinen tot in de 19 ^e eeuw aan de Oerol onderworpen, dat wil zeggen dat van half september tot begin december al het vee van de dorpen erin geweid mocht worden (behalve de strandduinen)
1882-1888	Noordelijk van de stuifdijk van 1855-1856 een W-O lopende stuifdijk (Kooi-Oerdstuifdijk) aangelegd over een lengte van 3600 m, die Kooiduinen en Oerd verbond
Begin 20 ^e eeuw	dichtmaken van gaten in spontane duinaagroeï ten noorden van Kooi-Oerdstuifdijk door aanplant van helm, aanleg van takkenschermen en later ook machinale zandverplaatsing
Jaren 60	sluiten zeereep ten noorden van Kooi-Oerdstuifdijk
1960-1970	WZW-ONO lopende stuifdijk aangelegd: paal 20.6 naar paal 23
Vanaf 1980	zandsuppleties
1986	Begin gaswinning op Oost-Ameland. Aanleg stuifdijk, kunstmatig duin en plateau voor gasbehandelinstallatie. Gedeeltelijk dichtmaken Oerdsloot. Bodemdaling als gevolg van gaswinning in, voortdurend tot op heden.
1990	Verstuiving toegestaan in zeereep van paal 7 tot 17 waar veiligheid niet in geding is.
1999	Oostelijk van paal 17 dynamisch kustbeheer ingevoerd
2005/2006	Afplaggen duinvalleien ten noorden van Kooi-Oerdstuifdijk, ca 43 ha, inclusief verwijderen kunstmatige drempel
2011	kerven aangelegd in zeereep tussen paal 18-21

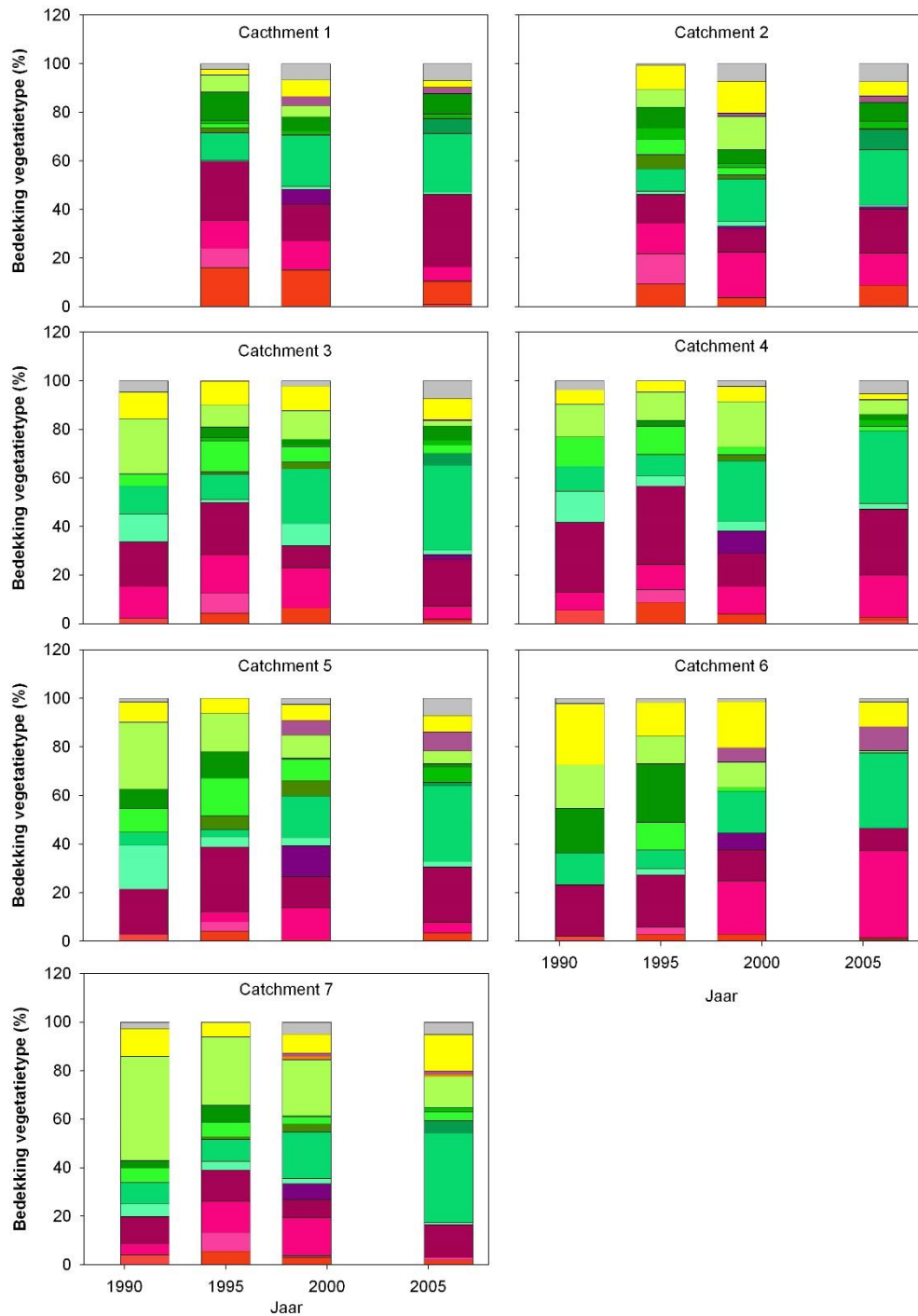
Historische menselijke invloed op de eilandstaart van Schiermonnikoog. Bronnen: Isbary, 1936; Bleuten, 1971; Reitsma & Bakker, 1986; Bokeloh, 1997; Arcadis Heidemij Advies, 2000.

1857	besluit Rijk om onderhoud van de zeereep mede te dragen. Verbod op snijden helm in de zeereep.
Ca. 1900	Grotendeels einde aan zeer intensieve duinbegrazing door vee (konijnen, runderen en later ook schapen)
1945	bij verbreden van zeereep werden inbochtigen en doorbraakgaten (Kobbeduinen) rechtgetrokken, resp. afgesloten
1950	Aanleg van stuifdijken ten oosten van Kobbeduinen, eerste pogingen grotendeels mislukt.
1959	Begin aanleg stuifdijk vanaf paal 7 naar het oosten over het strand richting paal 13, en afbuiging ter hoogte van paal 14 naar net voorbij Willemsduin.
1959	Einde runderbegrazing met herder op Oosterkwelder. Alleen nog zomerbeweiding vlakbij dijk.
1972	Uitbreiding kwelderbeweiding tot 2 ^e slenk en benoorden het fietspad (96 ha)
1987	Uitbreiding kwelderbeweiding tot derde slenk (174 ha).
1970	Pogingen bij paal 13 om de stuifdijk te verlengen. De helm stierf af zodat de verlengde stuifdijk onbegroeid bleef.
Jaren '80	onderhoud van de stuifdijk voorbij paal 10,4 gestaakt
1989	Ter hoogte van Paal 11 wordt tussen de resten duin een drempel in stand gehouden
1990	Dynamisch kustbeheer. Onderhoud aan de zeereep tussen paal 7 en 10.4 stopgezet

Bijlage B. Vegetatieontwikkeling in detailclassificatie

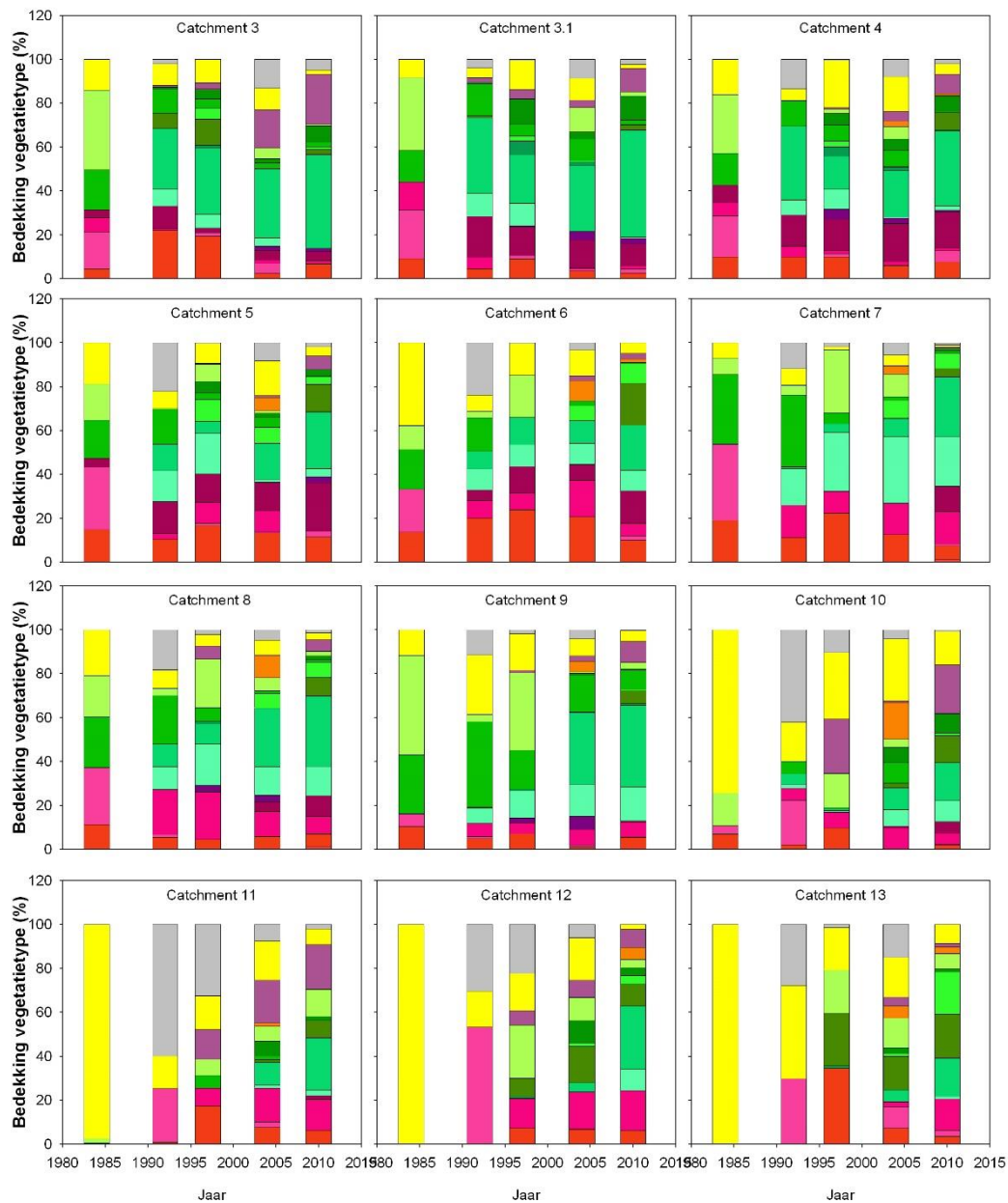
De vegetatiesamenstelling van de stroomgebieden op Terschelling, Schiermonnikoog en Ameland is op het niveau van TMAP-typen geanalyseerd. In de tekst zijn voor het overzicht geaggregeerde figuren gebruikt; in deze bijlage worden de achterliggende figuren gegeven.

Terschelling



Figuur 40. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Terschelling, gebaseerd op VEGWAD vegetatiekaarten. Zie Tabel 4 voor legenda en omschrijving van vegetatietype.

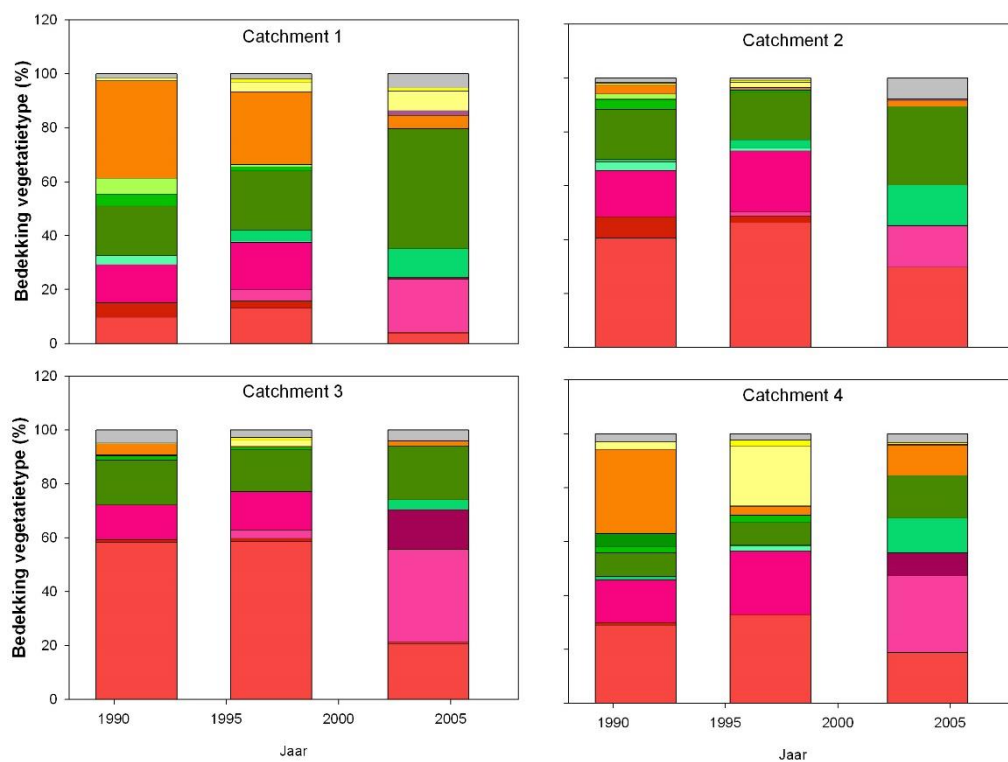
Figure 40. Vegetation development per catchment on Terschelling, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types.



Figuur 41. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Schiermonnikoog, gebaseerd op VEGWAD vegetatiekaarten. Zie Tabel 4 voor legenda en omschrijving van vegetatietype.

Figure 41. Vegetation development per catchment on Schiermonnikoog, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types and Figure 32 for legend.

Spiekeroog



Figuur 42. Vegetatieontwikkeling per stroomgebied op Spiekeroog. Zie Tabel 4 voor legenda en omschrijving van de vegetatietypen.

Figure 42. Vegetation development per catchment on Schiermonnikoog, based on VEGWAD vegetation maps. See Table 4 for a description of the vegetation types.

Bijlage C: Stakeholdersbijeenkomsten

Gebiedsbijeenkomsten

Het OBN Eilandstaartenonderzoek is gepresenteerd op drie gebiedsbijeenkomsten die in najaar 2013 door Deltaprogramma Waddengebied zijn georganiseerd: op Schiermonnikoog, Ameland en Terschelling.

Op Schiermonnikoog staat men positief tot neutraal tegenover meer dynamisering zolang dit de veiligheid niet aantast. Het bleek dat het onderzoek zelf niet erg leeft bij de eilanders, maar dat de informatie die specifiek op het eiland betrekking had wel interessant gevonden werd. Daaronder viel het onderwerp het uitbochten van de Eilanderbalg, waardoor in de (nabije) toekomst mogelijk een deel van de onbegroeide oostelijke zandplaat van Schiermonnikoog af zal breken. Ook hier reageerde men laconiek op.

Op Ameland waren er maar weinig eilanders. Er was sprake van een positieve houding t.o.v. de presentatie over het Deltaprogramma. Men is dit type discussies duidelijk gewend en schrikt niet van ideeën over verdere dynamisering van de kustzone, mits natuurlijk afdoende teruggekoppeld naar het eiland. De presentatie van het eilandstaartenonderzoek nam men ter kennisgeving aan.

Op Terschelling was de opkomst groter. Daar heeft een aantal bewoners, verenigd in het Platform Duurzaam Landschap Terschelling, een duidelijke mening over wat er met de Boschplaat moet gebeuren: beweiding en branden/chopperen om de biodiversiteit terug te krijgen, en een mega-suppletie om de eilandstaart groter te maken. Ze zijn bang dat dynamiek er voor zorgt dat de eilandstaart in een zandplaat verandert. Ze hebben tekst daarover aan de onderzoekers meegegeven en hebben verdere ideeën nagestuurd. Andere eilanders gaven aan dat ze de afslag van de Boschplaat juist als een natuurlijk proces zien, en ze wijzen er op dat er aan de kop van het eiland genoeg zand voor de deur ligt om het eiland daar wel te laten groeien. Daarnaast is er wat verwarring over wat er precies in het N2000 beheerplan komt/staat, en dus hoe de ontwikkeling van de eilandstaart er uit gaat zien. Er heerst op het eiland ook onduidelijkheid over hoe snel, en waar precies, de kwelder van de Boschplaat opslibt: hoe erg blijft het deel bij de stuifdijk achter en is er aan de zuidrand wel voldoende sedimentatie?

De ervaring leert dat de verschillende houdingen ten aanzien van dynamisering voor een belangrijk deel bepaald zijn door communicatie, beeldvorming in het verleden en het daaruit voortkomende mate van vertrouwen in overheden. Een helder verhaal ten aanzien van dynamisering en wat dat al dan niet voor een eiland brengt is essentieel: dit onderzoek kan daarbij helpen.

Beheerders en experts

Tijdens veldexcursies op Ameland, Schiermonnikoog, Spiekeroog en Norderney, in het kader van andere projecten, is met verscheidene beheerders en wetenschappers gesproken over de ontwikkelingen van eilandstaarten. Op Schiermonnikoog is beheerder Natuurmonumenten voorstander van het plaatselijk doorbreken van de stuifdijk om meer Noordzee-dynamiek in de kwelder toe te laten. De verwachting is echter dat het brede groene strand dat er op dit moment ligt, die dynamiek nu sterk

zal beperken. Gezien de grootschalige ontwikkeling van Schiermonnikoog (zandbeschikbaarheid vanaf de eilandkop) zal het groene strand waarschijnlijk op termijn (enkele decennia) grotendeels eroderen, wat dan alsnog goede kansen voor een dynamiseringsingreep biedt. Echter, het groene strand wordt op een aantal plaatsen doorsneden door laagten waarlangs water gemakkelijk naar binnen kan treden. In hoeverre dat voldoende is om nu al overwash processen te faciliteren is nog onduidelijk.

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.



**Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en
gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en BIJ12**

Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 9
3972 NG Driebergen
0343-745250

W.A. (Wim) Wiersinga
Adviseur Plein van de kennis/
Programmaleider Kennisnetwerk OBN
0343-745255 / 06-38825303
w.wiersinga@vbne.nl

M. (Mark) Brunsveld MSc
Programma-medewerker OBN
0343-745256 / 06-31978590
m.brunsveld@vbne.nl