

DE ZEEREOP LANGS DE NEDERLANDSE KUST; EEN KLASSIFICATIE.

S.M. ARENS EN J. WIERSMA*

Zandtransport door de wind in de zeereep is van belang voor de zandhuishouding van het kuststelsel. Als eerste aanzet tot de kwantificatie van zandtransport in de zeereep is een klassificatie van zeereepvormen opgesteld, waarbij is uitgegaan van ontwikkeling, beheer en resultaten van windactiviteit. De klassificatie geeft een goed overzicht van de verbreiding van natuurlijke processen in de Nederlandse zeereep. Slechts op enkele locaties blijkt de zeereep geheel door natuurlijke processen te zijn gevormd. Voor het overgrote deel is de zeereep in mindere of meerdere mate door het beheer beïnvloed. Bij uitblijven van beheersingrepen echter, zou een weinig natuurlijke zeereep binnen 10 tot 20 jaar kunnen worden omgevormd tot een hoogst dynamische en natuurlijke overgang van zee naar land.

Inleiding

De Nederlandse duinen vormen reeds lang onderwerp van studie (zie bijvoorbeeld van Dieren 1934, Klijn 1981). De zeereep, de eerste duinenrij langs het strand, wordt echter meestal buiten beschouwing gelaten. Hierbij wordt dan vaak gewezen op de grote invloed van de mens op de vorm en ontwikkeling van de zeereep. De zeereep vormt in Nederland de belangrijkste barrière tegen de zee. Wordt deze aan zijn lot overgelaten, dan zal binnen korte tijd een groot deel van het Nederlandse polderland door de zee worden overspoeld. Dit is de belangrijkste reden waarom de mens voortdurend een sturende en corrigerende werking heeft uitgeoefend op de instandhouding en

ontwikkeling van de zeereep.

Over de hoeveelheid zand die vanuit de onderwateroever via het strand naar de zeereep wordt getransporteerd en vastgelegd is nog niet veel bekend. Kennis over veranderingen in het zandvolume van de zeereep is van belang voor het opstellen van een sedimentbalans voor de gehele Nederlandse kust. Dit is een belangrijk doel van het project 'Kustgenese', een onderzoeksproject naar vorming en vervorming van de kust, dat door de Rijkswaterstaat in samenwerking met een aantal onderzoeksinstituten en universiteiten wordt uitgevoerd. Gebleken is dat er grote regionale verschillen in de zandhuishouding bestaan, zonder dat geheel duidelijk is waar deze verschillen het gevolg van zijn. Een kwantitatieve analyse voor de Hollandse kust is uitgevoerd door De Ruig (1989). Hierbij is gebleken dat het relatieve belang van de eolische component in het sedimentbudget van de Nederlandse kustzone werd onderschat.

Naar de zandhoeveelheden die binnen de

* S.M. Arens, Fysisch-Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, Universiteit van Amsterdam; J. Wiersma, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee. Dit artikel is mede tot stand gekomen dankzij de bereidwillige medewerking van verschillende diensten van Rijkswaterstaat. De Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat verzorgde de productie en financiering van de kaartbijlage.

zeereep door de wind worden verplaatst of worden afgevoerd (landinwaarts of zeewaarts) is eveneens nog weinig onderzoek verricht. Onderzoek naar zandtransport heeft zich voornamelijk beperkt tot het strand (bijvoorbeeld Svasek & Terwindt, 1974; Sarre, 1988), en heeft met name betrekking op de hoeveelheden zand die door de wind worden verplaatst (zandflux), waarbij herkomst (erosie) of bestemming (depositie) buiten beschouwing is gelaten. Het is van groot belang om ook hier nader onderzoek naar te verrichten: voor beheerders is kennis van zowel het zandtransport in de zeereep als van de plaatsen waar erosie dan wel sedimentatie optreedt van belang teneinde het beheer van de zeereep te kunnen optimaliseren. De laatste tijd bestaat er een groeiende belangstelling voor natuurlijke processen in het duin- en kustbeheer (zie bijvoorbeeld Van Bohemen et al. 1989). Op plaatsen waar dit mogelijk is zou men, ter verhoging van de natuurwaarde, meer dynamiek kunnen toelaten, bijvoorbeeld in de vorm van verstuingen in de zeereep. Voor een onderbouwing is het noodzakelijk de eolische processen in de zeereep te kwantificeren.

Vanuit deze achtergronden is onlangs een onderzoek gestart naar de zandhuishouding van de Nederlandse zeereep. In een eerste verkennende fase is een klassificatie van zeereepvormen opgesteld, gebaseerd op vorm en ontwikkeling. Aan de hand van terreinomstandigheden, beheer, kustligging etc. zal een verklaring worden gezocht voor verschillen in eolische activiteit tussen verschillende kustsegmenten. Met behulp van de opgestelde klassificatie zal uiteindelijk een dynamische zandbalans voor de Nederlandse zeereep worden opgesteld.

In dit artikel wordt, na een inleiding over het ontstaan van de duinen in relatie tot zandtransport in de zeereep, een overzicht gegeven van de resultaten van de inventarisatie van eolische activiteit langs de Nederlandse kust en van de klassificatie van zeereepvormen.

Bronnen

Voor de klassificatie van de zeereep is in hoofdzaak van de volgende bronnen gebruik gemaakt:

— Luchtfoto's:

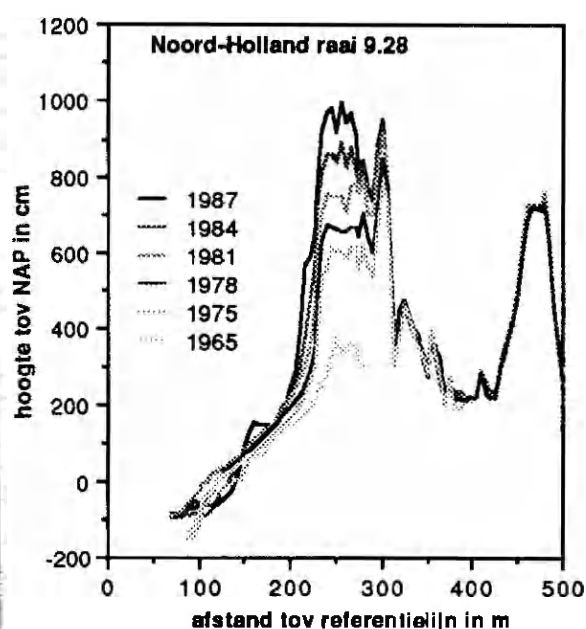
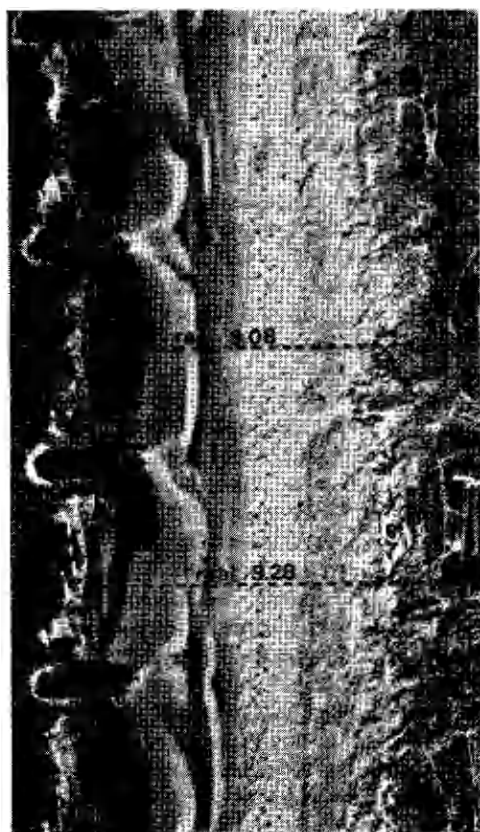


Fig. 1. Luchtfoto met JARKUS-raaien (links) en bijbehorende profielontwikkeling (rechts). (Luchtfotografie KLM Aerocarto 's-Gravenhage)

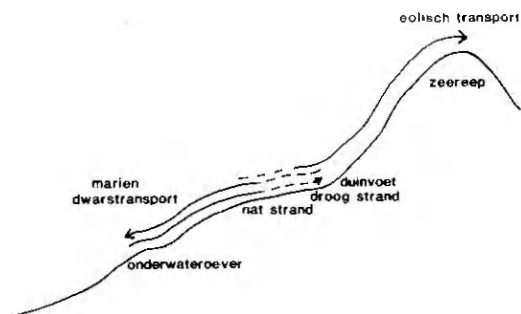


Fig. 2. Sedimenttransport in het systeem onderwateroever – strand – zeereep

1. Full colour luchtfoto's, schaal 1:4000, 1979 en 1988 van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat voor inventarisatie van de huidige situatie;
2. Zwart-wit luchtfoto's, schaal 1:8000, uit de Tweede Wereldoorlog (R.A.F. foto's) van het Staringcentrum te Wageningen ter vergelijking met de huidige situatie.

– JARKUS – bestand voor de bestudering

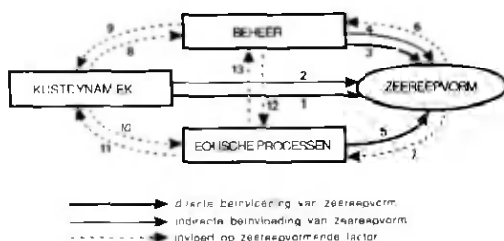


Fig. 3. De relatie tussen kustdynamiek, beheer, windactiviteit en de zeereëpvorm.

1. directe invloed: afslag.
2. indirecte invloed: aanvoer van zand.
3. directe invloed: (her)modelleren van de zeereep.
4. indirecte invloed: ingrijpen in processen.
5. directe invloed: vorming en vervorming van de zeereep.
6. bijv: ingrijpen na overschrijden van veiligheidsnorm.
7. bijv: windsnelheid wordt beïnvloed door hellingshoek en zeereephoogte.
8. erosie of accretie is bepalend voor soort beheer.
9. bijv: beïnvloeding van het grootschalige zandtransport door vastleggen van de zeereep.
10. aanvoer van zand wat beschikbaar komt voor transport door de wind.
11. bijv: beïnvloeding van het grootschalige zandtransport door onttrekken van zand bij snelle landinwaartse verplaatsing.
12. bijv: het stimuleren van depositie en het tegengaan van erosie.
13. bijv: ingrijpen na natuurlijke stuifkuilvorming.

van de ontwikkeling van de zeereep. Dit morfologische databestand is opgezet door de Rijkswaterstaat, teneinde een inzicht te verkrijgen in de morfologische ontwikkeling van onderwateroever, strand en zeereep. De Nederlandse kust is onderverdeeld in circa 3000 dwarsprofielen (de zogenaamde JARKUS-raaien), van onderwateroever tot zeereep, met een onderlinge afstand van 200 tot 250 m (Figuur 1). Sinds 1963 wordt ieder jaar de hoogte- en diepteligging in de dwarsprofielen bepaald. Voor deze studie is alleen gebruik gemaakt van de hoogtemetingen. Voor meer informatie over het JARKUS-bestand zie De Ruig (1989).

Zeereëpvorming en het ontstaan van de Jonge Duinen

Over de vorming van de Jonge Duinen bestaat nog geen zekerheid. De meest gangbare theorie is dat de brede duinen zoals deze langs de Nederlandse kust voorkomen het gevolg zijn van een eroderende kustlijn (zie bijvoorbeeld Klijn 1981). Snelle kustachteruitgang leidt tot afbraak van de vegetatie waardoor opname van zand uit voorduinen en strandwallen en landinwaarts transport van dit zand kan optreden. Op deze wijze kunnen op grote schaal zogenaamde 'transgressive dunesheets' ontstaan. Het totale volume aan Jong Duinzand bedraagt voor de Zeeuwse en Hollandse kust $2132 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, waarvan zich ca. $1800 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in het kustvak Hoek van Holland – Den Helder bevindt; in de Waddeneilanden is boven 1 m + NAP $567 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Jong Duinzand vastgelegd (Pool & van der Valk 1988; Pool 1989a). Gezien dit volume moet de kustlijn, uitgaande van een mariene erosie als oorzaak, ten tijde van het begin van de Jonge Duinvorming tot ca. 2.5 km zeewaarts van de huidige kustlijn hebben gelegen (Pool 1989b). Pool & van der Valk (1988) hebben berekend dat voor accumulatie van dergelijke volumina langs de centrale Hollandse kust tussen 1000 en 1850 hoeveelheden van gemiddeld $40 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ moeten zijn aangevoerd. Dat er bij een eroderende kust grote hoeveelheden zand kunnen worden verplaatst blijkt uit berekeningen voor Texel (Arens in prep. a). Een deel van het bij duinafslag vrijkomend zand wordt na verloop van tijd weer door de wind over de zeereep afgezet. Hier zijn maxima tot ca. $50 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ aanvoer (gedurende enkele jaren) bepaald. Netto gezien verliest het duinsysteem hierdoor natuurlijk zand, omdat bij afslag een groot

deel van het zand uit het duinsysteem verdwijnt. Mogelijk is een dergelijk systeem enigszins vergelijkbaar met de situatie ten tijde van de Jonge Duinvorming.

Volgens Pye (1984) zou bij aangroei slechts sprake van beperkte duinvorming kunnen zijn. De hoeveelheden door de wind getransporteerd zand zijn veel geringer dan bij afslag, er worden strandwallen en kleinere voorduinen gevormd. Dit blijkt ook uit recente berekening van maximale aanstuiving (Arens in prep. a) Op plaatsen met zeer sterke aangroei (zoals bijvoorbeeld op Schiermonnikoog) vindt aanstuiving plaats tot een maximum van $30 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (gedurende een tiental jaren). Kroon & Hoekstra (1990) hebben voor een aangroeiend kustdeel op Goeree een transport van $75 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ berekend. Hierbij moet echter vermeld worden dat dit een zeer lokale aanvoer is (bij paal 19 over een gebied van enkele honderden meters breedte), waarschijnlijk ten gevolge van de aanleg van de Brouwersdam. Voor een samenvatting van de mogelijke oorzaken van Jonge Duinvorming wordt verder verwezen naar Stolk et al. (1987).

Tegenwoordig komt massale zandaanvoer zoals ten tijde van de Jonge Duinvorming plaats moet hebben gevonden, niet meer voor. Bij het berekenen van de kustontwikkeling voor de komende honderd jaar in het kader van de discussienota Kustverdediging na 1990 (RWS 1989) wordt voor de Delta en de Hollandse kust uitgegaan van een dwarstransport van onderwateroever naar duinen van $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ en voor de Wadden van een dwarstransport van $2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ (Stive & Eysink 1989). Uit het onderzoek van De Ruig (1989) is echter gebleken dat deze schattingen aan de lage kant zijn. De Ruig berekent voor de Hollandse kust een aanvoer van onderwateroever naar duinen van gemiddeld $3 - 3.5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Deze hoeveelheid komt in orde van grootte overeen met het berekende dwarstransport over de -10 m waterlijn. Dit zou er op wijzen dat eolische depositie in de zeereep een belangrijk onderdeel is in de zandhuishouding van de kust.

In een aantal proefgebieden zal de komende jaren het zandtransport door de wind worden bestudeerd met behulp van gedetailleerde metingen, zowel in de ruimte als in de betreffende tijd. Hierbij worden niet alleen de volumeveranderingen berekend, maar zullen ook de werkelijke transportfluxen worden bepaald. Het zal interessant zijn te bestuderen hoe dit korte ter-

mijn zandtransport zich verhoudt tot langere termijn (netto) transporten zoals berekend met behulp van het JARKUS-bestand, en de zeer lange termijn berekeningen van Pool & van der Valk (1988).

Uitgangspunten van de klassificatie

Over klassificatie van duinvormen is al heel wat geschreven (zie bijvoorbeeld Goldsmith 1978 en Klijn 1981). Het betreft hier echter altijd klassificaties van binnenduinen. Door Hesp (1982 en 1984) is een klassificatie van natuurlijke zeerepen (voorduinen) opgesteld. Hesp onderscheidt twee hoofdeenheden op grond van morfologische en ecologische kenmerken. De eerste eenheid bestaat uit embryonale strandduinen (incipient foredunes), gevormd door het invangen van zand in pioniervegetaties. Als een dergelijke zeereep wordt gekoloniseerd door hogere planten gaat deze over in de tweede eenheid (established foredune). Een verdere onderverdeling van de eerste hoofdeenheid is gebaseerd op ecologische kenmerken, voor de tweede hoofdeenheid is deze gebaseerd op morfologische ontwikkeling. Wanneer vegetatie een minder dominante rol speelt (zoals bijvoorbeeld in Zuid-Afrika) ontwikkelen voorduinen zich slechts matig of zelfs geheel niet (Short 1987). Psuty (1989) hanteert een driedeling van zeerepen: primaire en secundaire zeerepen (analoog aan primair en secundair duin) en sand sheets, waarbij eigenlijk geen sprake is van een zeereep, maar waarbij zand vanaf het strand landinwaarts wordt verplaatst. Psuty beschouwt de zeereep als een actieve component tussen strand en duin, betrokken bij de uitwisseling van zand.

Hoewel in Nederland de vegetatie een belangrijke rol speelt, is de klassificatie van Hesp toch niet bruikbaar. Dit is het gevolg van de dominerende rol die het beheer bij de ontwikkeling van de zeereep speelt, waardoor slechts een relatief klein deel van de Nederlandse zeereep een natuurlijke ontwikkeling kent. Daarom is gekozen voor een nieuwe klassificatie. De vorm van de Nederlandse zeereep wordt bepaald door de kustdynamiek (het voorkomen van erosie en afslag), het beheer en de mate van windactiviteit (Figuur 3). Het doel van de klassificatie is een (geografisch) inzicht te verschaffen in het voorkomen van verschillende vormen, de mate van natuurlijkheid van de zeereep, en het belang van eolisch transport in de Nederlandse zeereep. In een later stadium van het onderzoek zal getracht worden te

verklaren waarom op een bepaalde plaats een bepaalde zeereepontwikkeling voorkomt.

Kustdynamiek

Als drijvende kracht achter de zeereepontwikkeling wordt de kustdynamiek gezien: het grootschalige proces van de aan- of afvoer van sediment door de zee, welk bepalend is voor de sedimentbalans op het grensvlak land-zee. Bij aanvoer van sediment is er sprake van een indirecte invloed op de zeereepvorm: het door het water aangevoerde zand zal door de wind verder getransporteerd worden. In gebieden met kustachteruitgang, waar sediment aan de zeereep wordt onttrokken kan door mariene erosie een afslagklif worden gevormd. Dit is een directe beïnvloeding van de zeereepvorm. Aanvoer of afvoer van sediment is verder bepalend voor de twee andere zeereep(ver)vormende factoren, namelijk windactiviteit en beheer.

Beheer

De beïnvloeding van de zeereep door het beheer wordt sterk bepaald door kustdynamiek en windactiviteit; omgekeerd heeft het beheer ook invloed op de kustdynamiek en de windactiviteit. De beïnvloeding van kustdynamiek door beheer zal hier verder buiten beschouwing worden gelaten; volstaan wordt met de opmerking dat door intensief langdurig beheer van delen van de zeereep meer zand aan de zee kan worden onttrokken dan er vanuit dieper water wordt aangevoerd (Wiersma 1989).

Hoofddoel van het zeereepbeheer is de zeereep als zeewering in stand te houden. Dit geschiedt op meer of minder ingrijpende wijze, al naar gelang de toestand van de zeereep, de plaatselijke kustdynamiek, de windactiviteit en de beheersfilosofie in het betreffende kustvak. Tussen de kustvakken onderling kunnen, ten gevolge van ervaring en traditie, daarom aanzienlijke verschillen in beheer voorkomen.

Beheersingrepen kunnen onderverdeeld worden in:

- 1. Beheersingrepen die een indirecte invloed op de zeereepvorm hebben. Hierbij bestaat de ingreep uit het sturen of stimuleren van natuurlijke processen. Over het algemeen worden dergelijke ingrepen toegepast in gebieden met een stabiele of uitbreidende zeereep. Bij een tweetal ingrepen wordt natuurlijke accumulatie van zand gestimuleerd: aanplant (tevens tegengaan van winderosie) en stuifschermen.

Goldsmith (1978) klassificeert op deze wijze gevormde duinen als "artificially inseminated dunes". Een groot deel van de duinen in de wereld zou hiertoe behoren. Bij andere ingrepen wordt met name schade of zandverlies door mariene erosie tegengegaan: suppleties op strand of onderwateroever (kunstmatige toevoer van een hoeveelheid zand), strandhoofden en palenrijen en de rollende zeereep (de zeereep ontdoen van vegetatie waardoor deze door de wind landinwaarts wordt verplaatst, zonder dat noemenswaardig volumeverlies optreedt).

- 2. Beheersingrepen die een directe invloed op de zeereepvorm hebben. Hierbij bestaat de ingreep uit het direct toevoeren van zand of opnieuw vormgeven van de zeereep. Vaak is de invloed op de zeereepvorm zodanig dat deze niet meer als natuurlijk beschouwd kan worden. Dergelijke ingrepen worden voornamelijk toegepast in gebieden waar door voortdurende afslag de zeereep dermate is aangetast dat de veiligheid van het achterliggende gebied in gevaar komt. Voorbeelden zijn: duinsuppleties (verzwaren van de zeereep aan de voor- of achterzijde met een extra hoeveelheid zand), egalisatie van stuifkuilen (beperken van winderosie) en het opnieuw in profiel brengen van een deel van de zeereep, of van de gehele zeereep.

Windactiviteit

Windactiviteit heeft een grote invloed op de zeereepvorm. Allereerst is de wind verantwoordelijk voor het ontstaan van de zeereep. Daarnaast is de wind voortdurend bezig de zeereepvorm te veranderen, hetzij door depositie, hetzij door erosie, maar vaak gecombineerd. Het volume van de zeereep kan hierdoor toenemen of juist afnemen. De wind oefent steeds een directe invloed uit op de zeereepvorm. Afhankelijk van de mate van de windactiviteit en van het overheersen van depositie of erosie ontstaat een typische zeereepvorm. De windactiviteit zelf is afhankelijk van factoren zoals vegetatiedichtheid, reliëf, expositie etc. De wijze waarop duinafslag plaatsvindt kan bepalend zijn voor het optreden van winderosie. Als afslag slechts op enkele punten aangrijpt kunnen hier stuifkuilen worden gevormd, terwijl bij afslag over een groot gebied de winderosie veel geleidelijker plaatsvindt (Short & Hesp 1982). De windactiviteit wordt zeer sterk door het beheer beïnvloed.

Depositie wordt gestuurd door het plaatsen van stuifschermen, erosie wordt zoveel mogelijk voorkomen met behulp van o.m. helmaanplant.

Een zeereep waarvan de vorm volledig door het beheer wordt bepaald, is geen natuurlijk maar een kunstmatig systeem. Desondanks is het interessant om nader te onderzoeken in welke mate zandtransport over een dergelijke zeereep plaatsvindt, en hoe groot de tijdsperiode is waarin deze zeereep door de wind omgevormd zou kunnen worden tot een meer natuurlijk systeem. Opgemerkt wordt dat bij recente duinsuppleties het zand in een min of meer natuurlijke duinmorfologie wordt opgebracht (Veenbaas et al. 1989).

De klassificatie

Voor het opstellen van de klassificatie zijn er een groot aantal parameters opgenomen, die informatie geven over beheersingrepen, processen, vorm en begroeiing. Uiteindelijk is op grond van deze parameters tot een klassificatie gekomen die de bovengenoemde drie zeereepvormende factoren als uitgangspunt heeft. De klassificatie pretendeert niet definitief te zijn. In de verdere loop van het onderzoek zal blijken in hoeverre de klassificatie voldoet, en of eventuele uitbreidingen of aanpassingen noodzakelijk zijn.

1. Onderverdeling op grond van kustdynamiek; ontwikkelingstypen – Deze onderverdeling is gebaseerd op gegevens uit het JARKUS-bestand. Op grond van de kustdynamiek wordt de Nederlandse zeereep onderverdeeld naar de verplaatsingsrichting van de duinvoet. Onderscheiden zijn: progressieve zeerepen P met een zeewaartse verplaatsing van de duinvoet; stabiele zeerepen S, waarbij de duinvoet in de loop van de tijd op zijn plaats blijft; regressieve zeerepen R, waarbij de duinvoet zich in landinwaartse richting verplaatst. Bij minder uitgesproken aangroei of afslag kunnen tussenvormen SP en SR (minder uitgesproken uitbreiding respectievelijk terugtrekking) voorkomen. Een verdere onderverdeling van deze typen tot zogenaamde ontwikkelingstypen is gebaseerd op de plaats van depositie van zand (zie Tabel 1).

Per type is een globaal zandbudget aangegeven. Voor het strand geldt dat een negatief zandbudget terugtrekken van de zeereep tot gevolg heeft, een positief zandbudget uitbreiding, en een neutraal (0) zandbudget stabiliteit. Voor het duin geldt dat een positief zandbudget leidt tot een volume toename

van de zeereep, een negatief zandbudget tot een volume afname, een neutraal zandbudget tot een gelijk blijvend volume (zie ook Psuty 1986). Per ontwikkelingstype is tevens een karakteristieke profielontwikkeling weergegeven. Verschillen in ontwikkeling zijn het gevolg van kustdynamiek, beheer en van windactiviteit.

2. Onderverdeling op grond van beheer – Deze onderverdeling is hoofdzakelijk gebaseerd op een visuele analyse van de luchtfoto's van 1988. Per JARKUS-raai is een kwalitatieve onderverdeling gemaakt naar de mate van natuurlijkheid van de zeereep. De onderverdeling is weergegeven in Tabel 2 en geeft in feite een overzicht van het zeereepbeheer op lange termijn. Zo zal een onnatuurlijke zeereep die al tientallen (of misschien honderden) jaren onder controle van de beheerder is en die vrijwel volledig is gestabiliseerd (zoals bijvoorbeeld op Walcheren), door het uitblijven van verstuiwingen en dergelijke zijn natuurlijke karakter hebben verloren.

type	strand	zandbudget duin	profielontwikkeling
PROGRESSIEVE ZEEREPE			
P1	+	++	
P2	+/++	++	
P3	+	++	
STABIELE ZEEREPE			
S0	0	0	
S1	0	+	
S2	(+)	0/+	
S3	(+)	+	
S4	0	+/++	
REGRESSIEVE ZEEREPE			
R0	-/-	-	
R1	-/-	-/0/+	
R4	-	-/0	

Tabel 1. Onderverdeling van de zeereep in 'ontwikkelingstypen' (tussenvormen zijn weggelaten).

P,S,R zie tekst

0: geen depositie; 1: depositie op top; 2: depositie tegen duinvoet; 3: depositie op top en tegen duinvoet; 4: depositie op top en achter zeereep.

Tabel 2. Onderverdeling van de zeereep naar aanleiding van de mate van natuurlijkheid.

code	beheers ingreep
N	natuurlijke zeereep met (vrijwel) ongestoorde ontwikkeling
S	semi-natuurlijke zeereep met indirecte beheersinvloed
O	onnatuurlijke zeereep met directe beheersinvloed
K	kunstmatige zeereep
D	dijken

Om ook een indruk te kunnen geven van het recente zeereepbeheer is aangegeven welke beheersingrepen er in de zeereep en op het strand hebben plaats gevonden. Op grond hiervan is een onderverdeling gemaakt waarbij wordt uitgegaan van die beheersingreep in de zeereep die de sterkste invloed op de zeereepvorm heeft. Ingrenen als strandhoofden, palenrijen etc. die een zeer indirecte invloed op de zeereepvorm hebben zijn hier buiten beschouwing gelaten. In Tabel 3 zijn de ingrepen aangegeven.

De volgorde van de verschillende ingrepen is tevens een rangschikking met betrekking tot mate van beïnvloeding; bij aanplant is sprake van een minder sterke beïnvloeding dan bij een rollende zeereep. Dit betekent tevens dat wanneer een raai in klasse i1 valt, alle onder i1 voorkomende ingrepen (i2 t/m d4) niet in die raai worden toegepast, terwijl als een raai in d4 valt, wel alle boven d4 voorkomende ingrepen (i1 t/m d3) kunnen worden toegepast. De ingreep 'd0' geeft aan waar betreding van de zeereep wordt toegelaten en de destructieve invloed van betreding op de vegetatie goed zichtbaar is.

Een zeereep waaraan tegenwoordig weinig onderhoud wordt verricht, kan in het verleden sterk door het beheer zijn beïnvloed. Na verloop van tijd zal

Tabel 3. Onderverdeling van de zeereep naar aanleiding van recent beheer.

code	beheers ingreep
— (geen)	geen beheer
indirecte invloed	
i1	aanplant van helm
i2	aanleg van bufferzone met behulp van stuifschermen
i3	suppletie op strand of onderwateroevers; banketvorming
i4	stuifdijk
i5	rollende zeereep
directe invloed	
d0	betreding
d1	kleinschalige egalisatie of kleinschalige verzwaringen
d2	veelvuldige herprofilering van de zeewaartse helling
d3	veelvuldige beheersingrepen in de gehele zeereep
d4	kunstmatige zeereep: volledig geheel-modelleerd of verzwaard

deze kunstmatige vorm, als niet opnieuw ingegrepen wordt, door natuurlijke processen worden getransformeerd in een natuurlijke vorm. Goldsmith (1989) zegt hierover: 'Since coastal dunes may return in a few tens of years, and at that time look completely natural, the earlier dune history of the area is usually not recognised'. Dit maakt duidelijk op wat voor kleine tijdschaal geomorfologische processen in de zeereep zich kunnen afspelen.

3. *Onderverdeling op grond van windactiviteit* – Een visuele (kwalitatieve) onderverdeling in mate van windactiviteit is ook af te leiden uit de luchtfoto's. In feite zijn alleen de resultaten van windactiviteit aangegeven, dus de mate van erosie of depositie. Ook op plaatsen waar geen depositie of erosie waarneembaar is zal de wind immers actief zijn, echter blijkbaar zonder resultaat. Tevens is aangegeven of actieve embryo-duinvorming optreedt. De coderingen zijn in Tabel 4 weergegeven. Hier moet nogmaals benadrukt worden dat de gemaakte onderverdeling gebaseerd is op luchtfoto's uit 1988; deze geeft dus in feite een momentopname weer. Na de stormrijke periode januari – februari 1990 zijn er waarschijnlijk veel meer sporen van sterke windactiviteit zichtbaar dan daarvoor.

4. *Gebruik van de klassificatie* – De zeereep kan nu gekarakteriseerd worden met behulp van de in Tabel 1 t/m 4 gegeven onderverdelingen. In feite is er geen sprake van een hiërarchische klassificatie. De vier onderverdelingen zouden los van elkaar gebruikt kunnen worden. Een voordeel hiervan is dat een zeer gedetailleerde presentatie mogelijk is, en dat vermeden wordt dat de klassificatie tot zeer veel eenheden leidt. Bovendien zijn later op simpele wijze onderverdelingen toe te voegen. Een nadeel kan zijn, dat op deze wijze moeilijk te doorgronden is wat veel voorkomende combinaties tussen eenheden uit de verschillende tabellen zijn. In paragraaf zes zal hier nader op worden ingegaan.

Tabel 4. Gehanteerde codering voor weergave van de (effecten van) windactiviteit.

4a	code	windactiviteit
	— (geen)	geen (effecten van) windactiviteit
	d	depositie; zwak tot matig
	D	depositie; sterk tot zeer sterk
	e	erosie; zwak tot matig
	E	erosie; sterk tot zeer sterk
	de, dE, De, DE	combinaties
4b	+	actieve vorming van embryo-duinen
	x	gekerfde zeereep

Typering van een zeereep kan op de volgende manier plaatsvinden:

- P3/N/DE+: een zich uitbreidende natuurlijke zeereep waarbij zowel de hoogte als de breedte toeneemt, met zeer sterke erosie en depositie, en met embryo-duinvorming voor de zeereep;
- SR1/Od2/D: een zich in geringe mate terugtrekkende, onnatuurlijke zeereep waarbij een deel van het bij afslag vrijkomende zand door de wind over de zeereep wordt gedeponeerd, waardoor de hoogte geleidelijk aan toeneemt;
- R0/Kd4/0: een volledig kunstmatige, zich terugtrekkende zeereep, waarbij (behalve afslag) natuurlijke processen geen enkele rol spelen.

Resultaten van de klassificatie

Op de kaartbijlage zijn, voor een beperkt aantal kustvakken, de besproken onderverdelingen weergegeven. De zeereep is afgebeeld als een driedelige balk, waarin voor de verschillende raaien ontwikkeling, beheer en windactiviteit zijn aangegeven. Symbolen en een lijn met wisselende dikte verschaffen extra informatie over de zeereep vorm.

Om ook inzicht te geven in de verdeling van de verschillende legenda-eenheden over de gehele kust zijn op de kaartbijlage per kustvak frequentieverdelingen weergegeven. De histogrammen geven een goed overzicht van de verschillende kustvakken en van de verschillen tussen kustvakken. Tevens is met behulp van kruistabellen aangegeven wat de mate van samenhang tussen de verschillende onderverdelingen is. De mate van samenhang wordt uitgedrukt met behulp van de 'contingency coëfficiënt'; hoe dichter deze bij 1 ligt, hoe

groter de samenhang is.

1. Globale beschrijving van de Nederlandse zeereep

Aan de hand van de kaart, frequentieverdelingen en kruistabellen wordt hieronder een globaal overzicht van de Nederlandse zeereep gegeven. Voor meer detail wordt verwezen naar Arens (in prep. b).

Kustdynamiek – Op de Wadden houden aangroei, achteruitgang en stabiliteit elkaar ongeveer in evenwicht. Langs de Hollandse kust en in de Delta domineren de stabiele (gestabiliseerde) zeerepen. Aangroei langs de Hollandse kust komt weinig voor. De sterkste afslag en aangroei komen voor op de Wadden. Bij een groot deel van de zeerepen vindt verandering van het reliëf door overstuiving plaats (niet statisch). In de Delta is het aandeel van de statische zeerepen (statisch: geen enkele verandering) veel groter.

Beheer – Over het algemeen geldt dat vanzelfsprekend de meest ingrijpende beheersmaatregelen worden getroffen op plaatsen waar het het hardst nodig is, dus op plaatsen met terugtrekkende zeerepen. Uitbreidende zeerepen worden vooral beïnvloed door aanplant en stuifschermen. Dit beeld wordt bevestigd door de kruistabellen. Er zijn echter uitzonderingen op deze algemeenheid. Gezien het geringe aantal functies in de duinen en de geringe veiligheidsproblemen vindt het minst intensieve beheer plaats op de Wadden. Langs de Hollandse kust heeft het beheer vaak een grotere invloed op de zeereepvorm heeft dan op grond van de ontwikkeling verwacht zou worden (Rijnland). In de Delta, waar veiligheidsproblemen een belangrijke rol spelen, is een relatief groot aandeel van de zeereep gestabiliseerd (zie aandeel statische zeerepen). Ook bevinden zich hier gebieden waar de in-

Tabel 5. Frequentieverdeling als % van totaal voor Wadden, Hollandse kust en Delta van (afgeleide kaarteenheden).

	Ontwikkeling (exclusief dijk)						natuurlijksheidsgraad (inclusief dijk)								windeffectiviteit (exclusief dijk)				
	P	SP	S	SR	R	totaal	st	nst	N	S	O	K	D	totaal	geen	zw1	zw2	st1	st2
Wadden	29.2	6.4	24.8	6.2	33.3	100%	24.1	75.9	18.4	46.7	21.5	12.2	1.2	100%	5.0	11.5	3.1	47.7	37.3
Holland	3.7	4.8	53.3	18.5	19.8	100%	35.2	64.8	5.7	21.7	40.6	27.0	5.7	100%	8.5	49.6	3.7	15.4	22.8
Delta	13.4	8.9	45.2	20.5	12.0	100%	49.0	51.0	4.3	31.4	26.2	17.4	20.7	100%	27.4	25.0	14.7	14.7	18.2
Nederland	16.8	6.4	39.3	13.7	23.8	100%	33.5	66.5	10.3	34.0	29.0	18.5	8.2	100%	11.2	27.8	5.9	29.2	25.9

Verklaring tabelcoderingen:

ontwikkeling: P, SP, S, SR, R (zie Tabel 1)
st = statisch (SO, RO, SRO: zie Tabel 1); nst = niet statisch

natuurlijksheidsgraad: N, S, O, K, D (zie Tabel 2)

windeffectiviteit: zw1 = zwakke overstuiving; zw2 = zwakke overstuiving + zwakke erosie; st1 = sterke overstuiving; st2 = overstuiving + sterke erosie

vloed van het beheer op de vorm juist minder is dan verwacht (Schouwen, Goeree). Hier wordt enige achteruitgang getolereerd. De aanwezigheid van functies in de achterliggende duinen heeft dus een duidelijke invloed op het gevoerde beheer.

Voor wat betreft de natuurlijkeheidsgraad van de zeereep is het heeld overeenkomend met bovenstaande. De Wadden vallen op door het hoge percentage natuurlijke en semi-natuurlijke zeerepen. De Hollandse kust valt vooral op door het hoge percentage onnatuurlijke en kunstmatige zeerepen. De Delta wordt gekenmerkt door een hoog percentage semi-natuurlijke zeerepen en door een hoog percentage dijken.

Windactiviteit – Over het algemeen bestaat er een sterke relatie tussen het gepleegde beheer en resultaten van windactiviteit. Bij intensief beheer worden sporen van windactiviteit uitgewist. Door aanplant en het plaatsen van stuifschermen wordt met name winderosie onderdrukt. Op Schiermonnikoog gaat sterke winderosie aan de oostkant gepaard met een volledig vrije ontwikkeling van de zeereep. Op Ameland is de situatie aan de oostkant vergelijkbaar, zij het dat winderosie minder extreem is. Zowel op Schiermonnikoog als op Ameland komt in gebieden waar de vegetatie in stand wordt gehouden nauwelijks winderosie voor. De kustzone van Terschelling tot Noord-Holland (tot ongeveer paal 20) lijkt veel gevoeliger voor winderosie. Op veel plaatsen zijn stuifkuilen ontstaan die vaak door de beheerder worden geëgaliseerd en ingeplant. Een mogelijke verklaring voor deze grotere gevoeligheid is het geringe kalkgehalte van het duinzand in deze kustzone.

Bij aangroei is steeds een sterke overstuiving waarneembaar. Met name in de uitbreidende zeerepen op Schiermonnikoog, Terschelling en Ameland vindt overstuiving tot achter de zeereep plaats. Ook op Texel en Vlieland komt plaatselijk zeer sterke overstuiving voor. Dit proces hoeft niet gepaard te gaan met aanvoer, ook het zand uit de zeereep zelf kan landinwaarts getransporteerd worden. Met name op Texel lijkt het optreden van sterke overstuiving direct gepaard te gaan met recente duinafslag.

2. Voorbeelden

Hieronder wordt een aantal voorbeelden van zeerepen langs de Nederlandse kust gegeven, gegroepeerd naar dynamiek.

Dynamische zeerepen met een natuurlijke ontwikkeling – Zeerepen met een vrijwel natuurlijke ontwikkeling zijn zeldzaam langs de Nederlandse kust en vrijwel uitsluitend te vinden langs aangroeiende kusten op de Wadden en in de Delta. Voorbeelden van grotere gebieden zijn:

- Schiermonnikoog – Oosterstrand: sterk gekerfde en doorgebroken zeereep (voormalige stuifdijk), die zich onder invloed van de wind gedeeltelijk terug trekt;
- Ameland – Hon en Oerd: vergelijkbaar met Schiermonnikoog maar met minder sterke winderosie;
- Terschelling – Bosplaat (zie kaart): een zeer geleidelijke overgang tussen land en zee, met onderbroken duinenrijen, met daarachter een onvolledig afgesnoerde strandvlakte met kwelders (zie ook Arens & van der Meulen 1990). Hoewel dit gebied een opbouwende ontwikkeling doormaakt zijn er toch recentelijk stuifdijken aangelegd, waardoor de duinenrij op onnatuurlijke wijze is afgesloten;
- Goeree – Kwade Hoek (zie kaart): een serie van niet gesloten duinenrijen waarachter een omvangrijk kweldergebied ligt. Ook in 1945 vond hier al aangroei plaats. Vergeleken met andere aangroeigebieden is de uitbreiding hier de afgelopen 40 jaar minder sterk geweest.

Op een aantal plaatsen treedt spontane duinvorming op. Zonder enig beheersingrijpen zijn hier (soms vrij hoge) duinen voor de zeereep ontstaan, waarop zich een natuurlijke begroeiing heeft gevestigd. Opvallend is dat ondanks een vrije ontwikkeling, dit soort duinen vaak geen tekenen van extreme winderosie vertoont. Mogelijk is de aanvoer van zand zo groot, dat de wind verzadigd is met zand en daardoor een geringere erosieve capaciteit heeft. Dit soort gebieden beslaan over het algemeen enkele honderden meters tot 2 km. Voorbeelden zijn:

- Vlieland, rond paal 49 (zie kaart): een klein gebied waar natuurlijke aangroei plaatsvindt. Deze zone was in 1945 niet aanwezig, hetgeen erop wijst dat de aangroei niet het gevolg van een zandgolf kan zijn (dan zou de aangroei-zone zich destijds reeds in de buurt van paal 49 bevonden moeten hebben);
- Noord-Holland, rond paal 9 (zie kaart): sinds ca. 1960 is hier een nieuwe duinenrij voor de zeereep gevormd. Het is nog niet duidelijk waarom juist hier (de zeereep in Noord-Holland is vrijwel overal stabiel of licht erosief) zulke sterke duinvorming is opgetreden. Mogelijk zijn de vormingscondities vergelijkbaar met die op Vlieland rond paal 49;
- Brouwersdam (zie kaart): na aanleg zijn voor de dam door aanstuiving duinenrijen gevormd;
- Zeeuws-Vlaanderen: vorming van duintjes tegen of op de zeedijken.

In 1945, toen de Brouwersdam nog niet was aangelegd, bevond zich aan de zuidkant van Goeree een

gebied met zeer sterke overstuiving. Achter de zee-reep bevond zich een dichte begroeiing waarvan het front volledig door het stuifzand werd bedekt. In feite was hier sprake van een actief 'transgressive dunesheet'.

Een vergelijkbare situatie kon in 1945 op Schouwen worden waargenomen. Hier was de binnenduintrand nog volop in beweging, die als het ware als een golf de achterliggende polder overspoelde.

Dynamische zeerepen met een gestuurde ontwikkeling – Sterke aangroei betekent niet automatisch een natuurlijke ontwikkeling (zoals ook uit de kruistabellen blijkt). Waar voldoende zand wordt aangevoerd kan met behulp van stuifschermen aangroei gestimuleerd worden. Ondanks de voortdurende aangroei wordt aanplant zoveel mogelijk in stand gehouden, teneinde winderosie te voorkomen. De zeereep krijgt daardoor een stuifdijk – karakter. De kruistabellen ondersteunen de hypothese dat het plaatsen van stuifschermen een lage, snel uitbreidende zeereep tot gevolg heeft, terwijl zonder stuifschermen de zeereep minder sterke aangroei maar een grotere hoogte toename zou ondergaan. Een andere aanwijzing hiervoor is de zeereep op Schiermonnikoog in 1945 (geen stuifschermen, hoog en onregelmatig) en nu (wel stuifschermen, snel aangegroeid, laag). Voorbeelden zijn onder andere:

- Schiermonnikoog – west en midden: sterk aangroeiende zeereep, opeenvolging van verschillende ruggen;
- Ameland – westkant (zie kaart): vrijwel identiek aan de situatie op Schiermonnikoog;
- Terschelling – Noordvaarder (zie kaart): tussen paal 5 en 7 is de situatie enigszins vergelijkbaar met die ten noorden van de Bosplaat. Een oorspronkelijk rafelige en zeer onregelmatige zeereep (al aanwezig in 1945) is hier door stuifdijkaanleg omgevormd tot een gesloten zeereep. Achter de zeereep bevond zich in 1945 een zeer actief stuifgebied, met grote hoeveelheden stuifkuilen. De stuifkuilen zijn nu allemaal gestabiliseerd, maar de vormen zijn nog zeer goed herkenbaar.

Ook achteruitgang betekent niet automatisch een sterke aantasting door het beheer. Zeer lokaal wordt bij afslag niet ingegrepen. Een voorbeeld is:

- Texel, rond paal 8.60 (zie kaart): hier vond vroeger sterke aangroei plaats, inmiddels sterke afslag. Omdat er niet wordt ingegrepen is er sprake van een sterke dynamiek, waarbij door winderosie extreem gekerfde vormen zijn ontstaan.

Plaatselijk wordt achteruitgang door de beheerder gecontroleerd. In Noord – Holland en op de Waddeneilanden gebeurt dit door de zeereep onder invloed van de wind naar achter te laten rollen. Hiermee wordt voorkomen dat door afslag zand aan de zeereep wordt onttrokken. Ook worden zandsuppleties uitgevoerd. Voorbeelden zijn:

- Terschelling – De Stuifdijk (zie kaart): tussen paal 14 en 20 gaat de zeereep over zijn geheel ge-

nomen achteruit. Door de beheerder wordt de vegetatie verwijderd met behulp van bulldozers;

- Texel rond paal 9.20 (zie kaart): niet helemaal duidelijk is of dit inderdaad een rollende zeereep betreft. De zeereep ondergaat zeer extreme overstuiving. Door afslag vindt wel aantasting plaats;

- Noord – Holland – noord (zie kaart): vooral tussen paal 2 en 6 is het laten rollen van de zeereep door de wind als beheersmaatregel toegepast. Rond paal 5 wordt dit uitgevoerd door parallel aan de overheersende windrichting sleuven in de zeereep te graven. Rond paal 2.69 is het rollen als actieve ingreep inmiddels gestopt. De zeereep heeft hier nu een vrij natuurlijk, sterk gekerfd uiterlijk.
- Goeree – paal 14 – 18 (zie kaart): hier worden regelmatig strandsuppleties uitgevoerd, teneinde afslag te compenseren. De suppletie wordt ingeplant met helm. Een deel van het gesuppleerde zand wordt waarschijnlijk door de wind over de zeereep verspreid. De zeereep zelf is enigszins gekerfd. Het voordeel van het toepassen van suppleties is hier dat de zeereep zelf relatief onaangetast blijft.

Niet dynamische, statische zeerepen – De relatie tussen stabiliteit en beheer is niet eenvoudig. In sommige gebieden is de zeereep dankzij het beheer gestabiliseerd. In andere gebieden is het de vraag of dit het geval is. Voorbeelden zijn:

- Vlieland (zie kaart): Een groot deel van de zeereep op Vlieland heeft een enigszins kunstmatig uiterlijk ten gevolge van stabilisatie. Het grootste deel van Vlieland lijkt sinds 1945 niet sterk veranderd;
- Rijnland (zie kaart): de zeereep is stabiel of zelfs licht uitbreidend en heeft een kunstmatig uiterlijk, met een zeer strakke vlak geschoven en volledig beplante zeewaartse helling. In feite wordt door de beheerder de zeereep in een statische toestand gehouden. Het is moeilijk uit te maken of de stabiliteit het gevolg is van het beheer. De indruk bestaat echter (als vergeleken wordt met delen in Noord – Holland waar ook een stabiele zeereep voorkomt) dat bij een zekere toename van de dynamiek (zeker wanneer dit in kleine deelgebieden zou gebeuren) de stabiliteit van de zeereep niet zal afnemen. Ook in 1945 had de zeereep al een stabiel (statisch) en kunstmatig uiterlijk. Het is nog niet duidelijk wanneer de sterke beheersinvloed op de Rijnlandse zeereep is begonnen. Mogelijk is de kunstmatige vorm deels het gevolg van de aanleg van bunkers op de zeereep in de Tweede Wereldoorlog. In de 17e eeuw had de Rijnlandse zeereep, blijkens oude gravures, in ieder geval nog een natuurlijk aanzien;
- Walcheren (zie kaart): Opvallend zijn de zeer statische gebieden tussen paal 12.65 en 16.53 en tussen paal 23.62 en 25.83. Hier lijkt geheel niets te gebeuren, zelfs geen beheersinspanning, maar

aan de vorm van de zeereep is te zien dat deze niet natuurlijk is. Langs grote delen van Walcheren ligt direct achter de zeereep het Zeeuwse polderland. In verband met de veiligheid is hier geen achteruitgang of aantasting toelaatbaar.

Niet dynamische, kunstmatige zeerepen – Vaak wordt de zeereep door afslag dermate verzwakt dat er zand toegevoegd moet worden of dat de zeereep opnieuw in model gebracht moet worden. Dit zijn de meest aangetaste en minst natuurlijke zeerepen. Voorbeelden zijn:

- centraal-Ameland: de zeereep had in 1945 al een enigszins kunstmatige vorm. Rond 1980 is de zeereep verzwakt door het aanbrengen van zand tegen de zeevaartse helling;
- Ameland–west (zie kaart): door een opdringende geul vindt sterke afslag plaats. Dit leidt tot een terugtrekkende zeereep zonder verdere natuurlijke zandaanvoer;
- Texel (zie kaart): grote delen van de zeereep zijn kunstmatig of sterk aangetast;
- Ten noorden van de Hondsbosse zeekering is de zeereep plaatselijk omgevormd tot zanddijk. De achterliggende duinzone is zeer smal, of zelfs afwezig (Callantsoog);
- Delfland: kunstmatige, verzwakte zeereep tussen paal 107 en 114. Bij de aanleg van deze verzwaring is het zand niet in een strakke gekunstelde vorm aangebracht, maar in een onregelmatige ‘natuurlijke’ topografie;
- Zeeuws-Vlaanderen: het grootste deel van de zeereep is laag, smal en kunstmatig en heeft geen achterliggend duingebied.

Conclusies en discussie

De hierboven opgestelde klassificatie maakt een goed inzicht in en overzicht van de mate van natuurlijkheid en de dynamiek van de Nederlandse zeereep mogelijk. Met behulp van de ontwikkelingstypen is het mogelijk een zeer globale en kwalitatieve zandbalans voor de zeereep op te stellen. In principe is het mogelijk met behulp van het JARKUS – bestand en uitgaande van de ontwikkelingstypen in een vervolg een meer kwantitatieve zandbalans op te stellen.

De invloed van het beheer op de zeereep is groot. Meer dan 40% van de Nederlandse zeereep is onnatuurlijk of kunstmatig. Het beheer richt zich op het in stand houden en waar mogelijk vergroten van het zeereepvolume. Dit leidt ertoe dat ook in gebieden met aangroei nog steeds ingegrepen wordt, waardoor vaak rechte structuren in het landschap ontstaan.

Door fixatie wordt het dynamische proces van zanduitwisseling tussen onderwateroever, strand en duin verstoord. Erosie op de onderwateroever gaat door, zodat de helling van de onderwateroever versteilt en het strand smaller wordt. Op den duur zou dit een bedreiging voor de zeereep kunnen gaan betekenen. Twee beheersmaatregelen vormen een uitzondering. Ten eerste kan men met suppleties op de onderwateroever het natuurlijke profiel herstellen, zonder dat de zeereep enige verandering hoeft te ondergaan. Ten tweede kan, door de zeereep achterwaarts te laten rollen onder invloed van de wind, het hele kustprofiel zich landinwaarts verplaatsen, terwijl de aantasting van de zeereep door afslag wordt beperkt.

Slechts ongeveer 10% van de Nederlandse zeereep kent een natuurlijke ontwikkeling waar de wind vrij spel heeft. Afhankelijk van de hoeveelheid aangevoerd zand en van de stabilisatie van een natuurlijke vegetatie ontstaat een of erosief of opbouwend karakter. Een groot deel van de natuurlijke zeerepen bevindt zich op de Wadden. De sterkste natuurlijke dynamiek is te vinden langs aangroei-kusten. Toch wordt ook hier vaak de dynamiek beperkt door erosie te voorkomen, c.q. aanwas vast te leggen. Vergeleken met 40 jaar geleden is de dynamiek langs de Nederlandse kust sterk afgenomen. Door een beperking van de natuurlijke processen heeft dit geleid tot een afname van natuurlijke vormen.

In een niet natuurlijke zeereep is de invloed van de wind aan banden gelegd. Als er zand wordt aangevoerd beperkt de wind zich tot depositie van zand. Wanneer beheersingrepen uitblijven zal de wind na verloop van tijd echter weer een rol gaan spelen in de ontwikkeling van de zeereep. Op Schiermonnikoog is gebleken dat na verloop van een tiental jaren de stuifdijk aan de oostkant tot een zeer dynamisch en natuurlijk systeem is omgevormd. Deze relatief korte tijd maakt zeerepen geschikt voor ‘natuurlijke restauratie’. Iedere willekeurige zeereep zou binnen 10 tot 20 jaar in een dynamische overgang tussen land en zee kunnen transformeren. Gezien het belang van een veilige zeekering in Nederland zijn de beste mogelijkheden daar waar aangroei plaatsvindt, waar de duinzone breed is en waar de zeereep geen essentiële veiligheidsrol speelt.

Literatuur:

- ARENS, S.M. (in prep. a), De Nederlandse zeereep; kwantificatie van eolisch transport met behulp van het JARKUS-bestand. Rijkswaterstaat – publicatie
- ARENS, S.M. (in prep. b), De Nederlandse zeereep; overzicht van vormen en processen. Rijkswaterstaat – publicatie.
- ARENS, S.M. & F. VAN DER MEULEN (1990), Sluiften op de Waddeneilanden. In: Duinen in beweging. Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee / Stichting Duinbehoud.
- BOHEMEN, H.D. VAN, P.D. JUNGERIUS & F. VAN DER MEULEN (1989), Herstel, ontwikkeling en beheer van landschapsecologische processen op het strand en in de buitenduinen. De Levende Natuur 5 / Duin 3, themanummer Kustbeheer, pp. 88–96.
- DIEREN, J.W. VAN (1934), Organogene Dünenbildung. Nijhoff, 's-Gravenhage.
- GOLDSMITH, V. (1978), Coastal Dunes. In: Davis, R.A. Jr. (Ed.), Coastal Sedimentary Environments. Springer Verlag.
- GOLDSMITH, V. (1989), Coastal sand dunes as geomorphological systems. In: GIMINGHAM, C.H., W. RITCHIE, B.B. WILLETTTS & A.J. WILLIS (Eds.), Coastal Sand Dunes. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 96B, pp. 3–15.
- HESP, P. & A.D. SHORT (1980), Dune forms of the Youngusband Peninsula, S.E. South Australia. Proc. Conf. Aeolian landscapes in the semi-arid of South Eastern Australia, Aust. Soc. Soil. Sci., Riverina Branch, pp. 65–66.
- HESP, P. (1984), Foredune formation in Australia. In: Thom, B.G. (ed.), Coastal Geomorphology in Australia, pp. 69–97, Academic Press.
- KLIJN, J.A. (1981), Nederlandse kustduinen; Geomorfologie en bodems. Pudoc, Wageningen.
- KLIJN, J.A. (1990), Dune forming factors in a geographical context. In: BAKKER, Th.W., P.D. JUNGERIUS & J.A. KLIJN (eds.), Dunes of the European Coasts; Geomorphology–Hydrology–Soils. Catena supplement 18.
- KROON, A. & HOEKSTRA, P. (1990), Journal of Coastal Research, 6 – 2, pp. 367–379.
- POOL, M.A. (1989a), Volumeberekening van het Jonge Duinzand van de Waddeneilanden. Kustgenese rapport BP10730, Rijks Geologische Dienst.
- POOL, M.A. (1989b), Kustlijnreconstructie: een benadering met behulp van berekende volumina van het Hollandse Jonge Duinzand. Kustgenese rapport, Rijks Geologische Dienst.
- POOL, M.A. & L. VAN DER VALK (1988), Volumeberekening van het Hollandse en Zeeuwse Jonge Duinzand. Kustgenese taakgroep 1000, Rijk Geologische Dienst, Haarlem, BP10705.
- PSUTY, N.P. (1986), A dune/beach interaction model and dune management. Thalassas, 4–1, pp. 11–15.
- PSUTY, N.P. (1989), An application of science to the management of coastal sand dunes along the Atlantic coast of the USA. In: GIMINGHAM, C.H., W. RITCHIE, B.B. WILLETTTS & A.J. WILLIS (Eds.), Coastal Sand Dunes. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 96B, pp. 289–307.
- PYE, K. (1984), Models of transgressive coastal dune building episodes and their relationship to Quaternary sea level changes: a discussion with reference to evidence from eastern Australia. In: Clark, M.W. (ed.), Coastal Research: UK perspectives, workshop of the small study group on nearshore dynamics.
- RIKSWATERSTAAT (1989), Discussienota Kustverdediging na 1990. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- RUIJG, J.H.M. DE (1989), De sedimentbalans van de gesloten Hollandse kust over de periode 1963 tot 1986. Rijkswaterstaat; Dienst Getijdewateren, Den Haag / Directie Zeeland, Middelburg; Nota GWAO–89.016/ZL–NLX–89.42.
- SARRE, R.D. (1988), Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. Sedimentology, 35, pp. 671–679.
- SHORT, A.D. & P. HESP (1982), Wave, beach and dune interaction in southeastern Australia. Marine Geology, 48, pp. 259–284. Short, A.D. (1987), Modes, timing and volume of Holocene cross-shore and aeolian sand transport, southern Australia. In: KRAUS, N.C. (ed.), Coastal Sediments '87.
- STIVE, M.J.F. & W.D. EYSINK (1989), Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990–2090, fase 3. Deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse kuststelsel. M825 deel IV, Waterloorkundig Laboratorium.
- STOLK, A., J. WIERSMA & T.J. ZITMAN (1987), Kustgenese fase I, vorming en toetsing van hypothesen. Deelrapport III: literatuurstudies grootschalige processen. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, 's-Gravenhage.
- SVASEK, J.N. & J.H.J. TERWINDT (1974), Measurements of sand transport by wind on a natural beach. Sedimentology 21, pp. 311–322.
- VEENBAAS, G., D. VAN DER LAAN & W.H. VAN DER PUTTEN (1989), Duinverzwaring Voorne. De Levende Natuur 5 / Duin 3, themanummer Kustbeheer, pp. 124–127.
- WIERSMA, J. (1989), Kustgenese; van kustregiem tot kustregie. De Levende Natuur 5 / Duin 3, themanummer Kustbeheer, pp. 102–105.

Summary

Aeolian transport of sand in the foredunes is of importance with respect to the sediment budget of the coastal system. In preparation for quantification of aeolian transport, a classification of foredune types has been made, on basis of development, management and aeolian activity, which provides insight into the occurrence and extent of natural processes in the foredunes. Only in a few places

the foredunes are completely formed by natural processes. The majority of the foredunes is more or less influenced by man. However, if no further management measures are taken, within 10 to 20 years foredunes might develop into a highly dynamic and natural transition between land and sea.