

Is zandaanvoer door de zeereep de sleutel tot succes?

kustduinen
duinmobiliteit
winddynamiek
herstelprojecten

Duinmobiliteit

De duinen van de Nederlandse kust vormen een multifunctioneel en internationaal belangrijk landschap. Het herbergt zeldzame flora en fauna, beschermt het achterliggende land tegen overstromingen, wordt gebruikt voor de drinkwatervoorziening en voorziet in een grote recreatiebehoefte. Voor een duurzaam beheer van dit landschap en behoud van de hoge biodiversiteit is het nodig een goed begrip te hebben van het duinsysteem en van de rol van dynamische kust- en duinprocessen hierin.

De meeste West-Europese kustsystemen bevinden zich momenteel in een fase van stabiliteit. Bij stabilisatie spelen factoren een rol, zoals de aanplant van helm (*Ammophila arenaria*) en bomen en struiken, het achterwege blijven van versturende menselijke activiteiten, sterke afname in konijnenaantallen, luchtverontreiniging en veranderingen van het klimaat.

Door stabilisatie en voortschrijdende successie worden pionier- en graslandstadia van het duin zeldzaam, waardoor de daarbij behorende karakteristieke organismen ook steeds zeldzamer worden. Duinbeheerders nemen allerlei maatregelen om deze negatieve effecten te bestrijden, bijvoorbeeld door te plaggen, maaien en het inzetten van grote grazers (Van der Zee *et al.*, 2005). De laatste vijftien jaar zijn ook experimentele projecten uitgevoerd om stuivende/mobiele duinen te herstellen (Arens *et al.*, 2005). De gedachte daarachter is dat jonge successiestadia die volgen op het open duin zo ook automatisch een kans krijgen. De vraag is of herstel van duurzame mobiliteit zonder voortdurend ingrijpen van de beheerder in Nederland mogelijk is en kan leiden tot een voortdurende verjonging van het systeem en instandhouding van de biodiversiteit. Het alternatief is dat beheerders steeds weer opnieuw aan de slag moeten om verjonging te bewerkstelligen.

In dit artikel schetsen we eerst het ontstaan van ons huidige duinlandschap en gaan vervolgens in op de factoren die van belang zijn voor duinmobiliteit enerzijds,

en stabiliserende vegetatieontwikkeling anderzijds. We verduidelijken vervolgens met een conceptueel model onze kijk op de historische ontwikkeling van het duinlandschap en betogen op grond van onze ervaringen dat de sleutel tot mobiliteit in de duinen gezocht moet worden in de verbinding met het strand.

Het duinlandschap toen en nu

De jonge duinen in Nederland hebben zich ontwikkeld in een aantal fasen tussen ongeveer 800 en 1600 A.D. (Jelgersma *et al.*, 1970; Klijn, 1990). Kennis over de precieze mechanismen is beperkt. In de literatuur worden verschillende hypothesen genoemd: stormactiviteit, kusterosie en exploitatie van het duin door de mens (Boerboom, 1958; Van Haperen, 2009; Klijn, 1990; Jelgerma *et al.*, 1970). Een studie over Schouwen (Beekman, 2006) legt een verband tussen fasen van grootschalige duinontwikkeling en kusterosie, veroorzaakt door zeevatverplaatsingen die weer werden te weeg gebracht door menselijke activiteiten als het afgraven van veen.

In de huidige morfologie van de vastelandsduinen is de omvang en activiteit van de mobiliteit en verstuiving van de duinen in het verleden terug te vinden. Veel van deze vastelandsduinen bestaan uit series van paraboolduinen die toenemen in omvang van west (kustlijn) naar oost, afgewisseld met grote deflatieoppervlakken die kunnen

BAS ARENS, LUC
GEELEN, HARRIE
VAN DER HAGEN &
RIENK SLINGS

Dr. S.M. Arens Bureau voor
Strand- en Duinonderzoek,
Iwan Kantemanplein 30,
1060 RM Amsterdam
arens@duinonderzoek.nl
Ir. L.H.W.T. Geelen
Waternet
Drs. H.G.J.M. van der
Hagen Dunea
Drs. Q.L. Slings NV PNW
Waterleidingbedrijf
Noord-Holland

Foto Tjitte-Jan Hogeterp
doorhetoogvandemens.nl.
Zeereep tussen Bergen aan
Zee en Camperduin

uitstuiven tot op het (oude) grondwaterniveau. De duinen eindigen in een hoge duinrug in het oosten, de binnenduinrand (figuur 1) die aansluit op de oude duinen of veengebieden, nu veelal polders. De maximale duinbreedte is ongeveer 4,5 kilometer. De hoogte varieert van enkele meter boven NAP tot 54 meter.

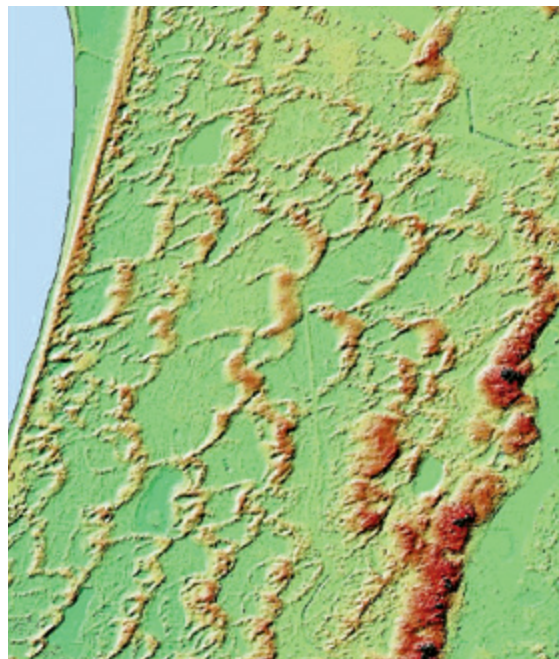
Deze specifieke morfologie doet ons vermoeden dat al die reeksen van parabolen zijn ontstaan in de zeereep. Bij afslag verdwijnt het beschermende plantkleed van de zeereep aan de buitenzijde en ontstaan stuifkuilen die in de loop van de tijd uitgroeien tot kleine parabolen. Deze komen vervolgens langzaam los van de zeereep en bewegen landinwaarts. Gedurende enkele honderden jaren is op deze manier zand landinwaarts geblazen, in hoeveelheden tot 50 m³ per jaar per stekken-

de meter kustlijn (Pool & Van der Valk 1988; Beekman 2006). Vervolgens smelten deze kleine parabolen samen tot grotere die nog verder landinwaarts stuiven om ten slotte te eindigen in de hoge binnenduinrand. Omdat kleine parabolen sneller migreren dan grotere, worden de landwaarts gelegen complexen door nieuwe parabolen ingehaald, waardoor hun omvang verder toeneemt. Het huidige kuststelsel is totaal veranderd. Het geven en nemen van de zee is al langere tijd gestopt doordat de zeereep is veranderd in een hoge en stabiele zanddijk. De mens oefent al eeuwen een stabiliserende invloed uit door het planten van (dennen)bomen, helm en andere grassen. Dat heeft geleid tot stabilisatie van het duin vanaf het begin van de 19e eeuw. Aan het einde van die eeuw bestonden er nog grote oppervlakten kaal en stuwend zand (tot tientallen procenten); aan het einde van de 20e eeuw was dat nog maar 1 tot 3%.

Plant tegen zand

Het is bekend dat duinen over de hele wereld fasen doormaken van mobiliteit en stabiliteit (onder meer McFadgen 1985, 1994; Arbogast *et al.*, 2002; Tsoar & Blumberg, 2002; Clemmensen & Murray, 2006; Provoost *et al.*, 2009). Binnen één systeem kunnen mobiele en stabiele fasen ook naast elkaar voorkomen (Barbosa & Dominguez, 2004; Hugenholtz & Wolfe, 2005; Tsoar, 2005; Yizhaq *et al.*, 2007). Verschillende variabelen controleren de mobiliteit of stabiliteit van duinen. De staat waarin het systeem verkeert, blijkt vooral te worden bepaald door klimatologische parameters, de groeikracht van de vegetatie en de beschikbaarheid van zand. In essentie kan het verschil tussen mobiliteit en stabiliteit nog verder worden gereduceerd tot de strijd tussen plant en zand.

Dit proces is samengevat in een conceptueel model (figuur 2), waarbij omgeving- en klimaatsfactoren zijn gerangschikt die op een of andere manier invloed heb-



Figuur 1 de kustduinen van Kennemerland. Bron: hoogtegegevens PWN. Groen: valleien; rood en wit: paraboolduinen en hoog binnenduin.

Figure 1 the coastal dunes of Kennemerland. Data source: PWN. Green: dune slacks; red and white: parabolic dunes and high innerdune.

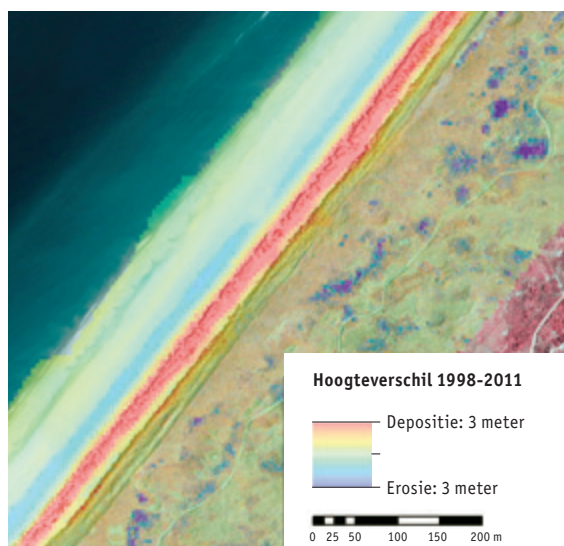
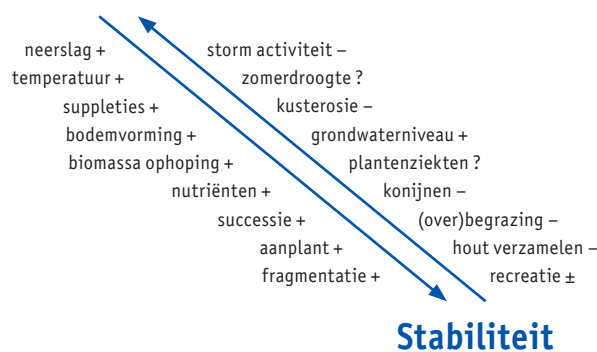
ben gehad op de verplaatsing van zand in het kust- en duinsysteem in Nederland. Links staan alle factoren die stabiliteit bevorderen, rechts de factoren die mobiliteit op landschapsschaal en verstuiwing op lokaal niveau veroorzaken. Over grofweg de afgelopen duizend jaar hebben de factoren aan de rechterzijde – waarvan kusterosie en exploitatie door de mens de belangrijkste zijn – aan belang ingeboet, terwijl de factoren links (sterk) in belang zijn toegenomen, vooral in de laatste eeuw, met als gevolg een steeds verder toenemende stabilisatie. Zo is in de afgelopen halve eeuw de hoeveelheid neerslag toegenomen en de temperatuur gestegen (Boxel & Cammeraat, 1999), waardoor de groeikracht van de vegetatie is toegenomen. In de laatste tientallen jaren is het groeiseizoen met ongeveer een maand verlengd. Daarnaast is de toename in de biomassa gestimuleerd door verhoogde stikstofdepositie (Kooijman et al., 2009). Een andere factor die een belangrijke (misschien wel cruciale) rol speelt is de konijnenpopulatie die door de virale ziekten myxomatose en VHS is gedecimeerd. Al deze factoren samen hebben geleid tot een fenomenale toename van de plantenbiomassa en de organische stof in de bodem

De winst van de plantengroei en de bedreiging die dit oplevert voor de biodiversiteit lijkt een tegenstelling. Vergaande stabilisatie en veroudering betekenen echter een steeds verdergaande afname van pioniervegetaties en duingraslanden. Deze vegetaties behoren tot de grijze duinen die de Habitatrictlijn (EU, 2004) als prioritair habitat heeft bestempeld. Hierin zijn de belangrijkste te beschermen natuurwaarden van het duin tegenwoordig.

Effecten kustlijnzorg

Rond 1990 is de strategie ten aanzien van de kustbescherming gewijzigd. Sinds die tijd worden vooroever-

Mobiliteit



en strandsuppleties uitgevoerd om kusterosie te voorkomen (Hillen & Roelse, 1995; Baptist & Wiersinga, 2012). Hierdoor wordt de kustlijn van 1990 vastgehouden. Er zijn aanwijzingen dat het suppleren van zand op het strand en/of in de vooroever de interactie tussen het strand en het achterliggende duingebied heeft veranderd (Arens et al., 2012). Op verschillende plaatsen zorgt het

Figuur 2 invloed van milieufactoren op de mobiliteit en stabiliteit van duinen (+: stabiliserende factoren; -: mobiliserende factoren; ±: beide mogelijk; ?: onbekend).

Figure 2 impact of environmental stress factors on dune mobility and stability (+: stabilising factors; -: mobilising factors; ±: both possible; ?: unknown).

Figuur 3 kleinschalige duinontwikkeling als gevolg van vooroesuppletie ten noorden van Scheveningen, Zuid-Holland. Bron: hoogtegegevens Rijkswaterstaat. Luchtfoto Dunea.

Figure 3 small scale dune building due to beach nourishment, north of Scheveningen, province of South-Holland. Source: data Rijkswaterstaat. Air photograph Dunea.

voor een verdergaande fixatie van het duinlandschap. Langs grote delen van de kustlijn zijn onder invloed van het suppletiezand nieuwe duintjes op het strand ontstaan (figuur 3). De subtiele zandtoevoer van 5-15 m³ per jaar per strekkende meter kust is echter niet voldoende om biestarwegras en helm die daar groeien te bedelven. Sterker nog, deze hoeveelheid stimuleert juist sterk de groei van helm en voorkomt dat zand verder naar binnen kan stuiven. Door de dichte bedekking met vegetatie is de wind niet in staat zand over de huidige hoge en dichtbegroeide zeereep te transporteren. Het gevolg is dat de al brede zanddijk zeewaarts nog breder wordt.

Herstel verstuiving vanuit de zeereep

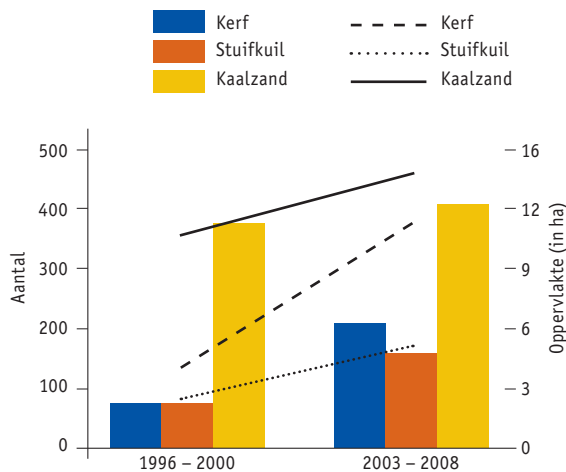
Suppleties, en dan met name vooroversuppletie, maken echter ook het dynamisch beheer van de zeereep mogelijk. Intensief zeereepbeheer is dan op veel plaatsen niet meer nodig en natuurlijke processen kunnen een veel grotere rol gaan spelen dan voorheen (Hillen & Roelse, 1995). Er zijn verschillende plaatsen langs de kust waar een lichte afslag zorgt voor een opvallende toename van

de dynamiek, soms alleen in de zeereep, maar soms ook doorwerkend tot in de achterliggende duinen. De zeeduinen langs de kust van Noord-Holland bijvoorbeeld, zijn binnen tien jaar drastisch veranderd door de ontwikkeling van kerven en stuifkuilen (figuur 4). Vóór 1990 werd dit type ontwikkeling door de beheerder in de kiem gesmoord. Experimenten met eenvoudige ingrepen in de zeereep tonen aan dat herstel van dynamische duinen op grote schaal mogelijk is. Het weghalen van de vegetatie en aanbrengen van windgaten/kerven in de richting van de meest actieve wind heeft gezorgd voor een landwaartse verplaatsing van de zeereep met een gemeten zandtransport van 45 m³ per jaar per strekkende meter kustlijn (Nieuwjaar, 1995). Dit zijn hoeveelheden waar zelfs helm niet tegen op kan groeien. Lokaal ontstaan daardoor nieuwe fasen van mobiliteit in de duinen.

Het loslaten van de zeereep heeft echter niet overal hetzelfde effect gehad. Het is van belang te onderzoeken waar deze verschillen in ontwikkeling op zijn gebaseerd. Recent onderzoek (Arens *et al.*, 2010) heeft uitgewezen dat een opleving van de zeereepdynamiek verschillende oorzaken kan hebben, zoals lokale (kleinschalige) afslag (Heemskerk); vatbaarheid voor winderosie door minder diepe doorworteling waardoor stuifkuilen ontstaan die kunnen uitgroeien tot kerven (Bergen-Egmond); stuifkuilontwikkeling die gestimuleerd wordt door betreding (Vlieland); lokaal een enorme zandaanvoer waardoor vegetatie aan de voorkant van de zeereep niet in staat is al het passerende zand in te vangen (Terschelling). Ook in buitenlandse duingebieden zien we nieuwe duinmobiliteit ontstaan vanuit de zeereep. Figuur 5 laat een voorbeeld zien van duinen aan de monding van de Authie in noordwest Frankrijk. Forse kusterosie bij de monding van deze rivier remobiliseert de zeeduinen. Het duinfront is kaal en blijft dat al enige

Figuur 4 toename van windvormen in een deel van de Nederlandse voorduinen (56,5 km) in aantallen (staven en linker Y-as in histogram) en oppervlakte (lijnen en rechter Y-as).

Figure 4 increase of aeolian features for a number of sites (56.5km) in the Dutch foredunes in numbers (bars and left Y axis in histogram) and surface area (lines and right Y axis).





Figuur 5 herstarten van de zandmotor: een voorbeeld uit noordwest Frankrijk, monding van de Authie. Foto **Luc Geelen**

Figure 5 restarting the sand engine: an example from northwestern France, mouth of the Authie. Photo **Luc Geelen**

jaren. Er is voortdurend zand beschikbaar voor transport en het zand loopt landinwaarts waardoor bos wordt bedolven. De interactie tussen kustprocessen en verstuvingsdynamiek is hier overduidelijk.

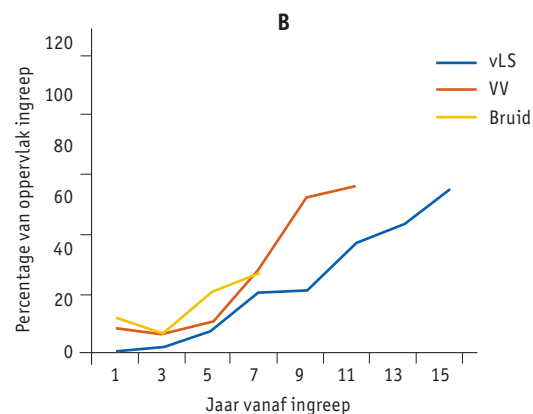
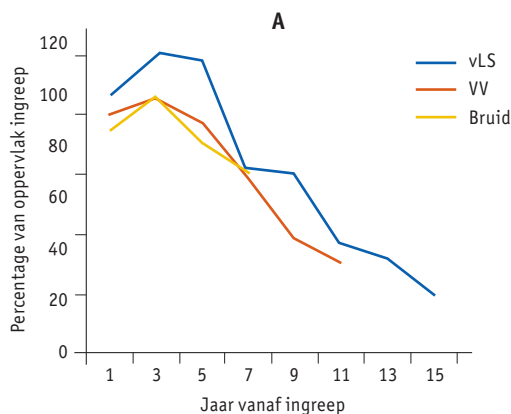
Herstel verstuving in de duinen

Niet alleen in de zeereep, maar ook in het duinencomplex zelf is de afgelopen vijftien jaar druk geëxperimenteerd om het zand op grotere schaal in beweging te krijgen. Dat blijkt niet eenvoudig te zijn; de experimenten lijken niet te leiden tot duurzame mobiliteit (Arens et al., 2004, 2005; Arens & Geelen, 2001, 2006). Duidelijk is dat het verwijderen van de vegetatie en de bodem (plaggen) gedurende een krappe tien jaren een enorme opleving

veroorzaakt (figuur 6 boven) zelfs over een groter oppervlak dan geplagd (115%), maar hergroeit uit en dode restanten van wortels (veelal helm en duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) leiden weer tot een (snelle) stabilisatie (figuur 6, onder). Na de ingreep blijkt het nodig om een aantal jaren achter elkaar dode en uitlopende wortels te verwijderen. Monitoring in de komende jaren moet uitwijzen of dit nabeheer, inmiddels bij diverse experimenten in praktijk gebracht, uiteindelijk tot een duurzaam herstel leidt van de verstuvingsdynamiek, of dat stabiliserende factoren toch overheersen. Als dit laatste waar zou zijn, zou dit betekenen dat de sleutel tot succes van nieuwe duinmobiliteit, volledig gezocht moet worden in zandaanvoer door de zeereep.

Figuur 6 veranderingen in dynamiek (A) en stabilisatie (B) voor drie natuurherstelprojecten na interventie. Figuur A = aandeel actief stuivend oppervlak; figuur B = aandeel gestabiliseerd oppervlak; vLS = Van Limburg Stirumduinen 34,4 ha; VV = Verlaten Veld 12,7 ha; B = de Bruid van Haarlem 7,8 ha.

Figure 6 Changes in dynamic (A) and stabilised (B) surfaces for three restoration projects. Figure A = share active sand; figure B = share stabilised area; vLS = Van Limburg Stirumduinen 34,4 ha; VV = Verlaten Veld 12,7 ha; B = de Bruid van Haarlem 7,8 ha.



Discussie

Het is duidelijk dat erosie zand losmaakt voor transport door de wind. Het is ook duidelijk dat bij een groot zandtransport vanaf het strand de begroeiing in toom wordt gehouden of zelfs ten onder gaat. Vooral dat laatste leidt tot de zo gewenste mobiliteit. Het lijkt erop dat een geleidelijke zandbeschikbaarheid onder het huidige supplementier regime leidt tot een milde duinaangroei, maar ook tot het stilvallen van de doorvoer landwaarts. De grote vraag is: waar ligt het evenwicht? Kunnen we met specifieke vormen van zandsuppletie het systeem zo manipuleren dat golferosie een blijvende zandaanvoer garandeert? Een slimme manier van suppleren kan de ruimte scheppen die nodig is voor kusterosie. Het tijdelijk toelaten van afslag kan zorgen voor 'openingen' in de zeereep en voor een verder zandtransport landinwaarts. Eigenlijk zou men moeten wachten met suppleren totdat afslag de kans krijgt het zeereepfront te mobiliseren. Een extra hoeveelheid suppletiezand daarna kan kansen bieden voor extra zand dat het achterliggende systeem voedt. Om de landinwaartse verplaatsing te versnellen is het graven van windgaten in de zeereep aan te bevelen, zie figuur 7.

In het verleden werd landwaarts transport door kustverdedigers beschouwd als een verlies voor de bescherming van de kustlijn. Tegenwoordig weten we dat elke bijdrage tot de opbouw van het duinsysteem helpt bij het opvangen van de gevolgen van zeespiegelstijging en het versterken van het kustfundament (Arens & Mulder, 2008).

Verscheidene studies lijken uit te wijzen dat huidige klimaatveranderingen het proces van mobiliteit zouden moeten bevorderen (Lancaster, 1997; Forman *et al.*, 2001; Thomas *et al.*, 2005; Witte *et al.*, 2008, dit nummer). Klimaatscenario's voorspellen namelijk een toename van zomerdroogte, zoals ervaren tijdens de voorjaren van 2006, 2007 en 2011. Mogelijk dat na 2040 door zomerdroogtes een verwitting van het duin (Witte *et al.*, 2008) kan optreden. Vooralsnog zien we dat echter nog niet gebeuren. Bovendien onderzoekt geen enkele studie het verband tussen duinmobiliteit en toename van temperatuur en neerslag. Door dat laatste zou de vegetatiegroei kunnen toenemen en de mobiliteit afnemen. Ondanks voorspellingen over een toename van de stormfrequentie en -intensiteit door de opwarming van de aarde, is de windactiviteit de laatste decennia afgeno-



Figuur 7 artist impression van de proef met kerven in de Kennemerduinen. Bron: PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. Foto © **Harm Botman**, Impression © **Ulco Glimmerveen**.

Figure 7 artist impression of the trail with nicks in the Kennemerduinen. Source: PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. Photo © **Harm Botman**, Impression: © **Ulco Glimmerveen**.

men (KNMI, 2003; 2008). Dit resulteert in een afname van kusterosie én een vermindering van het zandtransport door de wind.

Vooralsnog lijkt klimaatverandering dus, in ieder geval op korte termijn, geen positieve bijdrage tot verstuuving te leveren.

Is duurzame mobiliteit haalbaar?

In de huidige situatie blijken veel factoren stabilisatie te bevorderen (zie ook figuur 2). Om begroeiing te onderdrukken zijn grote hoeveelheden zand nodig, die op de een of andere manier het systeem binnen moeten komen. Een zeereepfront van 10-25 meter hoogte, waarbij de voorkant door regelmatige afslag wordt kaal gehouden kan fungeren als zandbron. Het weghalen van die vegetatie alleen is niet voldoende. Enige hulp vanuit

zee voor een duurzame ontwikkeling is noodzakelijk. Hiervoor is een subtiel suppletieprogramma noodzakelijk die ook ruimte biedt voor periodieke erosie. En voor het verkrijgen van mobiliteit in de duinen lijkt vooralsnog ook additioneel beheer noodzakelijk.

Summary

Dune mobility; is sand supply through the foredunes the key to success?

Bas Arens, Luc Geelen, Harrie van der Hagen & Rienk Slings
coastal dunes, mobility, aeolian dynamics, restoration

[In this paper we discuss mechanisms for dune mobility and stability, with special reference to the Dutch situation. Currently in the Netherlands, as in other parts](#)

of western Europe, dunes are in a phase of stabilization, which results in loss of biodiversity. Dune grasslands, rich in Red List species disappear gradually because of shrub encroachment. Managers are confronted with this process. Stimulating blowouts inside the system seems not enough to enhance durable rejuvenation of the system. Can we restore dune mobility from the

beach land inward into the sand dune ecosystem as a solution to maintain biodiversity? Is dune mobility and hence forth increase of the surface of blowouts realistic under the current climatic and environmental changes? We argue that sand supply and an open sea front can be the key factor in the Dutch situation for sustainable rejuvenation.

Literatuur

Arbogast, A.F., E.C. Hansen & M.D. van Oort, 2002. Reconstructing the geomorphic evolution of large coastal dunes along the southeastern shore of Lake Michigan. *Geomorphology* 46: 241-255.

Arens, S.M. & L.H.W.T. Geelen, 2001. Geomorfologie en regeneratie van duinvalleien. *Landschap* 18/3: 133-146.

Arens, S.M., Q.L. Slings & C.N. de Vries, 2004. Mobility of a remobilised parabolic dune in Kennemerland, The Netherlands. *Geomorphology* 59: 175-188.

Arens, S.M., L.H.W.T. Geelen, Q.L. Slings & H.E. Wondergem, 2005. Herstel van duinmobiliteit. *Landschap* 22/4: 191-202.

Arens, S.M. & L.H.W.T. Geelen, 2006. Dune landscape rejuvenation by intended destabilisation in the Amsterdam Water Supply Dunes. *Journal of Coastal Research* 23: 1094-1107.

Arens, S.M. & J. Mulder, 2008. Dynamisch kustbeheer goed voor veiligheid en natuur. *Land + Water*, 9 33-35.

Arens, S.M., S.P. van Puijvelde & C. Brière, 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Bosschap Rapport OBN142 DK in opdracht van Ministerie van LNV.

Arens, S.M., F.H. Everts, A.M. Kooijman, S.T. Leek, M. Nijssen & N.P.J. de Vries, 2012. Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust. Rapport Bosschap OBN166-DK, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van ELI en Rijkswaterstaat Waterdienst.

Baptist, M.J. & W.A. Wiersinga, 2012. Zand erover; vier scenario's voor zachte kustverdediging. *De Levende Natuur* 113 (2): 56-60.

Barbosa, L.M. & J.M.L. Dominguez, 2004. Coastal dune fields at the São Francisco river strandplain, Northeastern Brazil: morphology and environmental controls. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 443-456.

Beekman, F., 2006. De kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebouwen op een Zeeuws eiland. Thesis Universiteit van Amsterdam.

Boerboom J.A.H., 1958. Begroeiing en landschap van de duinen onder Scheveningen en Wassenaar van ± 1300 tot heden. In: *Beplanting en recreatie in de Haagse duinen*. ITBON meded. Nr. 39.

Boxel, J.H. van & E. Cammeraat, 1999. Wordt Nederland steeds natier? *Meteorologica*, 8, 1.11-15.

Clemmensen, L.B. & A. Murray, 2006. The termination of the last major phase of aeolian sand movement, coastal dunefields, Denmark. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 795-808.

EU, 2004. Beschikking van de commissie van 7 december 2004 tot vaststelling, op grond van Richtlijn 92/43/EG van de Raad, van de lijst van gebieden van communautair belang voor de Atlantische biogeografische regio.

Forman, S.L., R. Oglesby & R.W. Webb, 2001. Temporal and spatial patterns of Holocene dune activity on the Great Plains of North America: megadroughts and climate links. *Global and Planetary Change* 29: 1-29.

Haperen, A.M.M. van, 2009. Een wereld van verschil. Landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. Zeist. KNNV.

Hillen, R. & P. Roelse, 1995. Dynamic Preservation of the Coastline. *Journal of Coastal Conservation* 1:17-28.

Hugenholtz, C.H. & S.A. Wolfe, 2005. Bio-geomorphic model of dunefield activation and stabilization on the northern Great Plains. *Geomorphology* 70: 53-70.

Jelgersma, S., J. de Jong, W.H. Zagwijn & J.F. van Regteren Altena, 1970. The coastal dunes of the western Netherlands; geology, vegetational history and archaeology. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst, Nieuwe Serie* 21: 93-167.

Klijn, J.A., 1990. The Younger Dunes in The Netherlands; chronology and causation. In: T.W.M. Bakker, P.D. Jungerius & J.A. Klijn (eds.). *Dunes of the European coast; geomorphology - hydrology - soils*. *Catena Supplement* 18: 89-100.

-
- KNMI, 2003.** De toestand van het klimaat in Nederland 2003. De Bilt. KNMI.
- KNMI, 2008.** De toestand van het klimaat in Nederland 2008. De Bilt. KNMI.
- Kooijman, A.M., H. Noordijk, A. van Hinsbergen & C. Cusell, 2009.** Stikstofdepositie in de duinen: een analyse van N-depositie, kritische niveaus, erfenissen uit het verleden en stikstofefficiëntie in verschillende duinzones. Universiteit van Amsterdam/Planbureau voor de Leefomgeving.
- Lancaster, N., 1997.** Response of eolian geomorphic systems to minor climate change: examples from the southern Californian deserts. *Geomorphology* 19: 333-347.
- McFadgen, B., 1985.** Late Holocene stratigraphy of coastal deposits between Auckland and Dunedin, New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 15: 27-65.
- McFadgen, B., 1994.** Archaeology and Holocene sand dune stratigraphy on Chatham Island. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 24: 17-44.
- Nieuwjaar, M.W.C., 1995.** Achtergrondnota bij het Kustbeheersplan Noordzee- en Waddenzeekeringen: Waterkeringen te Kust en te Keur. Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier.
- Pool, M.A. & L. van der Valk, 1988.** Volumeberekening van het Hollandse en Zeeuwse Jonge Duinzand. Kustgenese Project, Taakgroep 1000, Rapport BP10705, RGD, Haarlem.
- Provoost, S., L.M. Jones & S.M. Edmondson, 2009.** Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in Northwest Europe: a review. *Journal of Coastal Conservation*, Published online 24 September: DOI 10.1007/s11852-009-0068-5.
- Thomas D.S.G., M. Knight & G.F.S. Wigs, 2005.** Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming. *Nature* 435: 1218-1221.
- Tsoar, H., 2005.** Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A* 357: 50-56.
- Tsoar, H. & D.G. Blumberg, 2002.** Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. *ESPL* 27: 1147-1161.
- Yizhaq, H., Y. Ashkenazy & H. Tsoar, 2007.** Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions? *Phys. Rev. Letters* 98: 188001-04.
- Witte J.P.M., R.P. Bartholomeus, D.G. Cirkel & P.W.T.J. Kamps, 2008.** Ecohydrologische gevolgen van klimaatverandering voor de kustduinen van Nederland. Rapport Kiwa 08.006.
- Witte, J.P.M., R.P. Bartholomeus, B.R. Voortman, H. van der Hagen & S.E.A.T.M van der Zee, dit nummer.** Droge duinvegetatie zeer zuinig met water. *Lanschap* 29/3: 109-117.
- Zee, F. van der, R. Verhoeven & L. Fliervoet, 2005.** De betekenis van de waterwinsector voor de natuur in Nederland. Een overzicht van de natuur bij waterwinbedrijven en een vergelijking van de verschillende waterwinbedrijven onderling. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Directie Kennis, rapport DK nr. 2005/002. 46 pp.