

Het stuifzandlandschap als natuurverschijnsel

Zandverstuivingen worden doorgaans toegeschreven aan lokale menselijke ingrepen in het landschap, zoals afplaggen van de heide of de aanleg van zandwegen. Een nieuw hulpmiddel bij het karteren - het met behulp van laser-altimetrie opgebouwde Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) - laat echter zien dat de grote zandverstuivingen van de Midden-Veluwe geomorfologische ontwikkelingen zijn van een schaal die uitgaat boven lokaal menselijk ingrijpen.

Actieve stuifzanden verdwijnen in rap tempo uit het Nederlandse landschap. In de negentiende eeuw besloegen de stuifzanden in Nederland nog een areaal van bijna 80.000 ha (Koster, 1978). Daarvan is minder dan 1400 ha over (Bakker *et al.*, 2003). Buiten Nederland zijn praktisch alle stuifzanden vastgelegd. Met het stuivende zand verdwijnt één van de meest markante Europese landschappen. Stuifzanden strekten zich eens van België over Nederland en Noord-Duitsland tot ver in Polen uit. Met het verdwijnen van actieve stuifzanden, verdwijnt ook een aantal Rode-Lijstsoorten dat aan dit dynamische landschap is gebonden (Bal *et al.*, 2001).

Tot halverwege de vorige eeuw werden veel stuifzanden vastgelegd door bosaanplant. Momenteel is het spontane dichtgroeien van stuifzanden door algen, grassen en mossen de grootste bedreiging. Dit verschijnsel wordt toegeschreven aan de verhoogde stikstofdepositie. De toenemende begroeiing op en om de stuifzanden, waardoor de werking van de wind afneemt, is echter zeker zo bedreigend.

In 1989 startte het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). Daarmee kunnen beheersmaatregelen worden gesubsidieerd die zijn gericht op het tegengaan van de effecten van verhoogde atmosferische depositie op natuurterreinen (Van Ommering, 2002). Voor stuifzanden wordt nagegaan welke maatregelen in aanmerking komen voor OBN-subsidie (Bakker *et al.*, 2003). Met kennis van de condities waaronder stuifzanden ontstonden, kan vastgesteld worden van welke beheersmaatregelen het meeste effect verwacht mag worden.

Er bestaan twee gangbare theorieën over het ontstaan van stuifzanden. Ze berusten beide op cultuurhistorische verklaringen. In Nederland is de meest gangbare theorie dat het zand is gaan stuiven omdat de organische bovengrond van zandbodems, verdween door herhaald afplaggen van de heide. De heideplaggen werden in de potstal gebracht en later verzadigd met mest over de akkers verspreid. Volgens de andere theorie, die vooral in Duitsland gangbaar is, ontstonden stuifzanden door het uitstuiven van zandwegen (Pyrwitz, 1972). Er zijn ook verklaringen die wijzen op het afbranden van heidevelden (Hesselink, 1926) en het drijven van schapen. Het verbod op deze praktijken bleek echter weinig effectief en de oorzaak van de verstuiving wordt niet meer in die richtingen gezocht.

Koster (1978) zoekt de oorzaak voor de vorming van de meeste Veluwe stuifzanden en de aanvang van de Jonge Duin afzettingen in een droge periode, die tussen 950 en 1250 AD zou zijn opgetreden (zie ook Heidinga, 1984). In een recentere publicatie (Koster, in druk) wijst hij echter op het feit dat er voor die droge periode nooit aanwijzingen zijn gevonden in veenprofielen uit die periode. Moerman (1934) koppelde de vorming van de stuifzanden van de westelijke Veluwe aan een regionale grondwaterstanddaling, maar ook deze verklaring is niet algemeen geaccepteerd. Tot op heden blijft onduidelijk wat de juiste verklaring is voor het ontstaan van stuifzanden.

De introductie van laser-altimetrie en de verwerking van de gegevens in het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) maakt het mogelijk grote landschappelijke structuren en details in hun onderlinge samenhang waar te nemen.

ARJAN KOOMEN,
GILBERT MAAS & PIM
JUNGERIUS

Drs. A. Koomen en ing. G. Maas, Alterra, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, arjan.koomen@wur.nl.
Prof. dr. P.D. Jungerius, Stichting Geomorfologie en Landschap, Oude Bennekomseweg 31, 6717 LM Ede.

Foto: Saxifraga, Jules Philippona

men. Deze informatie is gebruikt en verwerkt in de Geomorfologische Kartering van Nederland (GKN) voor de kaartbladen van de Veluwe. Resultaten van deze kartering geven aanleiding opnieuw te kijken naar de vorming van de stuifzandgebieden. Hierbij zijn de AHN-beelden en de geomorfologische kaarten vergeleken met het beeld van topografische kaarten van 200 jaar geleden. In dit artikel laten we zien dat het reliëf van het stuifzand aanleiding geeft tot een heroverweging van de bestaande verklaringen voor de genese van dit landschap.

Methode

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van het Actuele Hoogtebestand Nederland, kortweg AHN genoemd. Het is tussen 1996 en 2001 door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat opgebouwd met behulp van laser-altimetrie. Het geeft zeer gedetailleerde informatie over de hoogteligging aan maaiveld. Per gridcel van 5 m x 5 m is een geïnterpoleerde waarde beschikbaar. De gedetailleerde hoogte-informatie maakt het mogelijk om geomorfologische structuren op een hoog detailniveau en tegelijkertijd in een groter landschappelijk verband, te bestuderen. Uitgedrukt in een kaartschaal betekent dit dat het reliëf met behulp van het AHN tot een schaal van 1: 5.000 waargenomen kan worden, terwijl de bestaande geomorfologische kaarten het reliëf op 1: 50.000 weergeven. Reliëfvormen kunnen met behulp van het AHN bovendien tamelijk scherp begrensd worden. Andere methoden zoals remote sensing of luchtfotoanalyse, bieden minder detail. Voor de stuifzandgebieden in deze studie, is gebruik gemaakt van een hoogtekaart met een interval van 0.25 meter op verschillende kaartschalen (tot maximaal 1: 5.000). Om het reliëf nog beter zichtbaar te maken is een schaduwingstechniek toegepast.

Voor vergelijking met het voormalige landgebruik en reliëf is gebruik gemaakt van de nauwkeurige topografische

kaarten die M.J. de Man tussen 1802 en 1810 van de Veluwe heeft gemaakt, met een schaal van circa 1: 15.000 (Zandvliet, 1984).

Tenslotte zijn de waarnemingen die met behulp van het AHN zijn gedaan, in het veld gecontroleerd in het Harskampse en Wekeromse Zand West. Hierbij is vooral gelet op de juistheid van de geomorfologische detailkartering. Bovendien is door middel van grondboringen bepaald waar dekzand en waar stuifzand aan het oppervlak ligt.

Zandverstuivingen als landschappelijke eenheden

De zandverstuivingen van de Midden-Veluwe liggen in twee stroken aan weerszijden van het glaciale dal van Lunteren, dat zich opent naar de Gelderse Vallei (Figuur 1). De oostelijke strook strekt zich uit langs de voet van de stuwwal van de Hoge Veluwe en bestaat uit een reeks grote zandverstuivingen. De zuidelijke strook bestaat uit een reeks van kleinere zandverstuivingen, die zich hebben ontwikkeld op de flank van de stuwwal tussen Lunteren en Oud Reemst.

Voor deze zandverstuivingen wordt in dit artikel de term 'cel' gebruikt vanwege de afgeronde vorm, de karakteristieke interne structuur en de duidelijke begrenzing met het omliggende landschap. Naast de zandverstuivingen in deze twee stroken liggen er verspreid in het gebied nog een aantal kleinere, onregelmatig gevormde stuifgebieden in de onmiddellijke nabijheid of direct grenzend aan de enken van de dorpen (Figuur 2). Deze lokale verstuivingen missen de structuurkenmerken van de andere zandverstuivingen en vallen daarom buiten het bestek van dit onderzoek.

Patroon, vorm en reliëf van de reeks grote zandverstuivingen

In de oostelijke strook liggen vijf grote zandverstuivingen, als ovalen van noord naar zuid onder elkaar, in een land-

Figuur 1 Op de vereenvoudigde geomorfologische kaart van het studiegebied is de ligging van de stuifzandcellen duidelijk waarneembaar. Aan de oostelijke kant van het glaciële dal van Lunteren liggen de grote zandverstuivingen; terwijl aan de westelijke kant de reeks kleinere verstuivingen liggen. Alle stuifzandgebieden zijn aan de westkant begrensd door dekzandrelief.

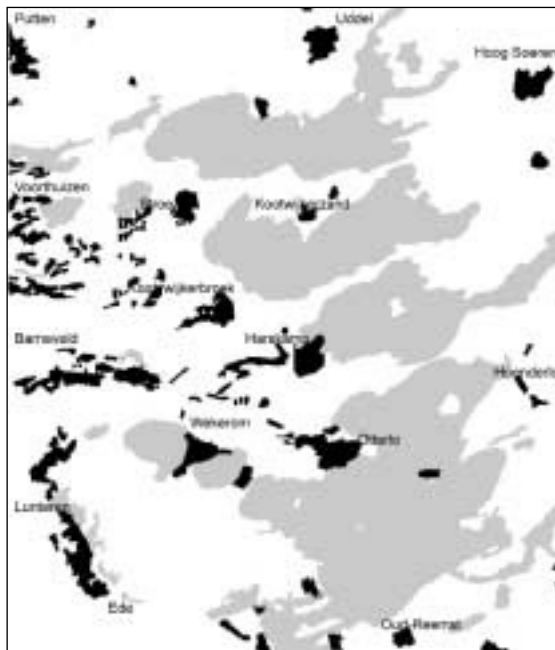
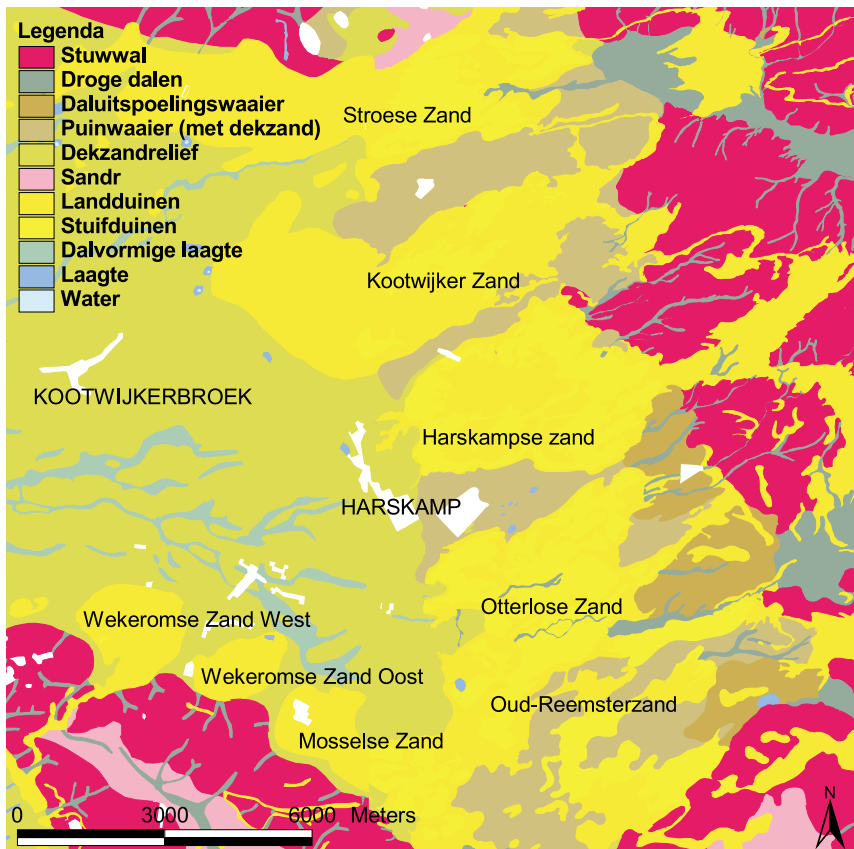
Figure 1 The simplified geomorphological map of the study area clearly shows the locations of the drift sand areas. East of the glacial valley of Lunteren the larger drift sand areas can be recognized; West of the glacial valley a number of smaller drift sand areas are present. Note that all drift sand areas towards the West have a sharp transition to coversand deposits.

schap waar het dekzand naar het oosten toe uitwigt op de puinwaaier. Van Zuid naar Noord zijn dat het Oud-Reemster, het Otterlose, het Harskampse, het Kootwijkse en het Stroese Zand. Ze zijn van elkaar gescheiden door relatief smalle zones waar geen verstuiving is opgetreden. Het originele niveau van de puinwaaier is hier nog aanwezig en plaatselijk bedekt met dekzand. De situatie is door Hesselink (1926) beschreven als 'stuifzandcomplexen gescheiden door heide'.

De geomorfologische kaart en het AHN laten zien dat in de cellen omwerking van het dekzand heeft plaatsgevonden, waarbij het oorspronkelijke niveau van de puinwaaier is aangetast (Figuren 1 en 3). In feite is hier sprake van inversie van het reliëf. De cellen zijn van elkaar gescheiden door hoger gelegen gronden met dekzand aan het oppervlak. De cellen zelf liggen duidelijk lager dan de directe omgeving. Het zuidwestelijke uiteinde ervan steekt wigvormig in het dekzand uit; het noordoostelijke uiteinde is breder en eindigt in lobben. De cellen lijken deels door het aaneengroeien van oorspronkelijk kleinere cellen te zijn ontstaan.

Nemen we als voorbeeld de zandverstuiving van het Harskampse Zand, dan kunnen we op basis van het reliëf drie landschappelijke zones onderscheiden (Figuur 3):

1. Het zuidwestelijke deel heeft een markant reliëf van onregelmatige kopjesduinen en uitgestoven vlakten. Deze zone is nu grotendeels beplant met Grove den. De kopjesduinen bestaan uit stuifzand dat afkomstig is van een primaire bron: het dekzand. Naar het noordoosten toe worden de kopjesduinen geleidelijk hoger en rijgen zij zich aaneen tot duinrijen, maar zij behouden hun onregelmatige verspreidingspatroon. Het is het 'typische stuifzandlandschap' van Hesselink (1926) dat nu overal onder bos ligt.

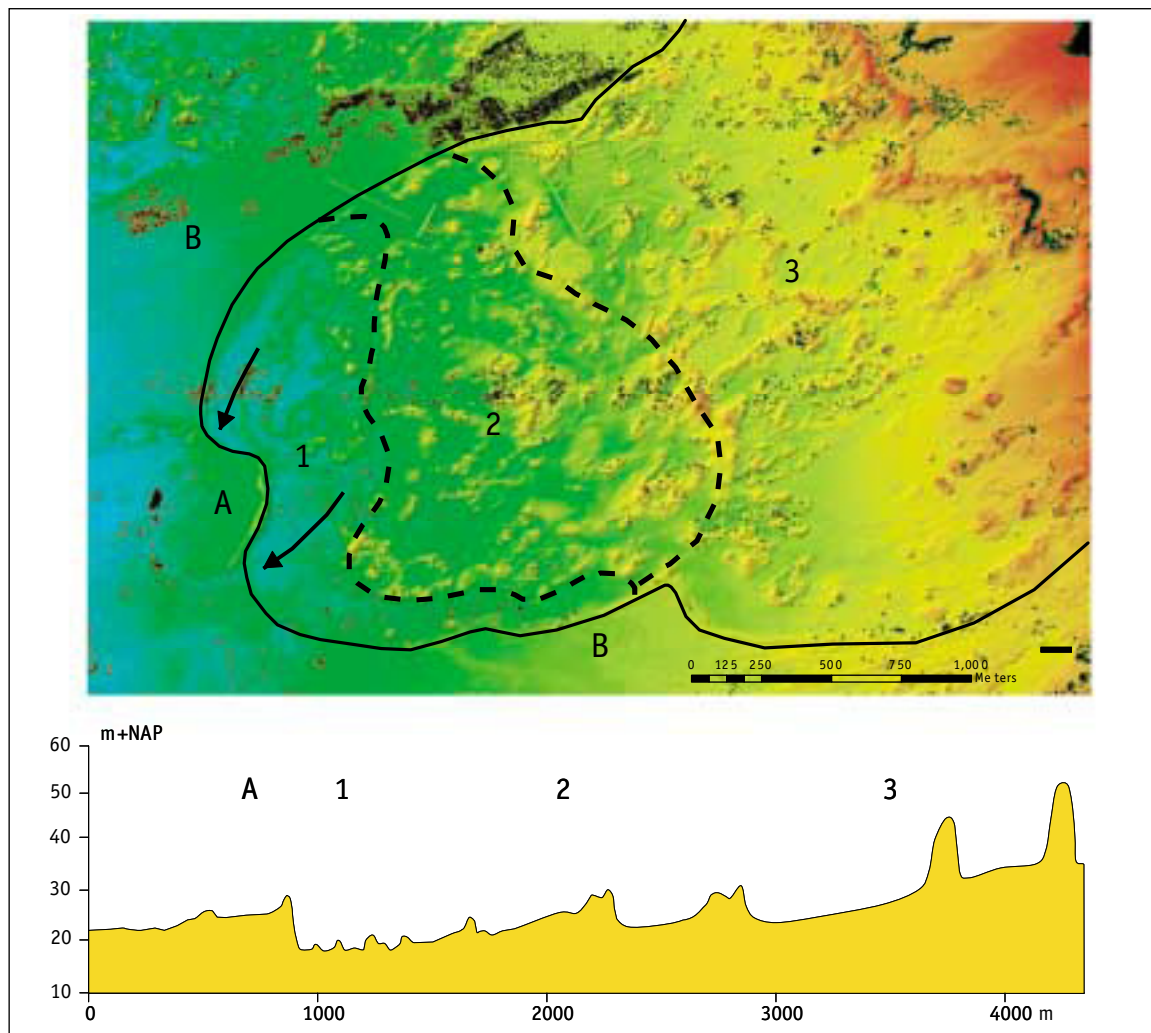


Figuur 2 Naast de dorpen zijn in dit kaartbeeld de 'Hoge zwarte enkeerdgronden' en 'Duinvaaggronden' aangegeven. Deze twee eenheden van de Bodemkaart 1:50.000 (Anon., 1979 en 1997) zijn representatief voor respectievelijk de enken en de stuifzanden. Op de kaart zijn net zoals in figuur 1 de stuifzandcellen goed te zien, net zoals de onregelmatige verstuivingen die gekoppeld zijn aan enken zoals bij Lunteren en Barneveld.

Figure 2 Except for the villages, also two major soil types in this region are shown on this map. These two soil types correspond very well with the old farmland ('enkeerdgronden') and the drift sand area ('vaaggronden'). On both sides of the glacial valley of Lunteren these oval-shaped drift sand areas occur. Other drift sand areas on the map are related to villages and old farmlands and are lacking the oval structures.

Figuur 3 Dit AHN-beeld toont de interne zonerings van het reliëf in het Harskampse Zand. Op de kaart is de hoogte volgens het AHN weergegeven waarbij de opeenvolging in kleuren van blauw-groen-geel-rood corresponderen met de overgang van laag naar hoog. De nummers 1, 2 en 3 in de kaart corresponderen met de beschrijvingen van de zonerings in de tekst. Van deze zonerings is een schematisch dwarsprofiel weergegeven onder de kaart. Met de letters A en B zijn respectievelijk de enk van de Harskamp (A) waar de verstuiving aan zowel de Noord-als de Zuidkant zich om de enk heeft ingevreten en het oorspronkelijke niet verstoven niveau van de puinwaaier van de stuwwal (B) weergegeven.

Figure 3 This AHN-overview shows different relief zones within the Harskampse sand area. Elevation is shown in colours ranging from blue-green-yellow-red reflecting increasing elevation. The numbers on the map correspond to the description of the different relief zones in the area. Also, a schematic profile is shown with elevations above Dutch Ordnance Datum. The different relief zones are indicated as well. The letter A stands for the older farmland area of the Harskamp where eolian erosion both at the northern and southern side has eroded the higher elevated old farmland. The letter B indicates the non-erosive area from before the eolian activity. The original relief was inverted by the eolian process.



2. De centrale zone is de grote, open zandverstuiving die ook nu nog actief is. Ofschoon de oorspronkelijke podzol hier en daar nog aan de oppervlakte ligt, is er toch veel meer sprake van een aaneengesloten stuifvlakte. Deze vlakte dankt haar ontstaan aan het weg-eroderen van de kopjesduinen. Op talrijke plaatsen zijn nog restanten van deze duinen te vinden, in verschillende stadia van aantasting door wind (en lokaal ook water). Dit is het 'secundaire stuifzandlandschap' van Hesselink (1926). Aan weerszijden wordt de stuifvlakte door een smalle zone beboste duinruggen en kopjesduinen gescheiden van het omringende vlakke dekzand.
3. De stuifvlakte gaat aan de noordoostzijde over in een beboste accumulatiezone met duintjes. In tegenstelling

tot de zone aan de zuidwestzijde, is het zand hier niet in kopjesduinen maar in langgerekte ruggen en paraboolduinen vastgelegd. Een duidelijke randwal ontbreekt. Deze drie zones zijn in elk van de vijf grote zandverstuivingen terug te vinden, maar in verschillende verhoudingen: het aandeel van de zone met de kopjesduinen wordt groter van zuid naar noord. Ook op de topografische van De Man is dat zichtbaar. In de meest zuidelijke cel, het Oud-Reemster Zand, ontbreken de kopjesduinen bijna geheel. Op het Otterlose Zand komen de kopjesduinen beperkt voor, maar op het Harskampse Zand en het Kootwijkse Zand nemen ze een groot deel van het oppervlak in. Het Stroese Zand is geen beschermd natuurgebied en geeft door de vele ingrepen die er hebben plaatsgevonden,



geen duidelijke geomorfologisch beeld meer. De topografische kaart van De Man (Zandvliet, 1984) toont echter de typische kopjesduinensignatuur voor het gehele Stroese Zand. Met de centrale stuifvlakte is het omgekeerde het geval. Deze is het best ontwikkeld op het Oud-Reemster Zand. Volgens de topografische kaart van De Man ontbreekt de stuifvlakte zelfs geheel in de drie noordelijke cellen.

Patroon, vorm en reliëf van de reeks kleine zandverstuivingen

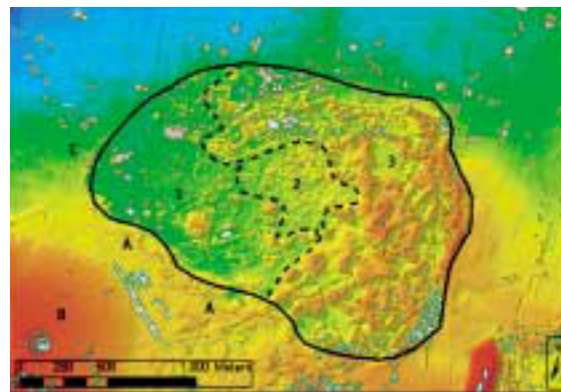
De reeks kleine zandverstuivingen van de zuidelijke strook, begint bij het Mosselse Zand/Planken Wambuis in het oosten en strekt zich via het Roekelse Zand en het Wekeromse Zand Oost uit tot het Wekeromse Zand West in het westen (Figuur 1). Op de AHN-kaart hebben de verstuivingen de vorm van halve ovalen. De basis aan de zuidwestzijde ligt op de flank van de stuwwal. De noordoostzijde lijkt op een parabool en is duidelijker omlijnd. Het Wekeromse Zand West en Oost aan de westkant van de strook, zijn geïsoleerde cellen maar naar het oosten toe overlappen de zandverstuivingen elkaar. Bij Oud-Reemst komt de strook met de kleine verstuivingen samen met de strook grotere verstuivingen. Het Mosselse Zand/Planken Wambuis ligt hier met paraboolduinen over het Oud-Reemster Zand heen. De zuidwestelijke begrenzing van het Oud-Reemster Zand is daardoor onduidelijk.

Nemen we ook hier als voorbeeld de best ontwikkelde cel, het nu nog actieve Wekeromse Zand West aan het einde van de strook, dan zien we evenals bij het Harskampse Zand het vlakke dekzand op de flank van de stuwwal via een strook reliëfrijk dekzand, naar het noordoosten overgaan in een kopjesduinenlandschap, dat op zijn beurt verandert in een reliëfarme stuifvlakte die nu nog actief is (Figuur 4). Deze stuifvlakte grenst aan weerszijden en aan de noordoostkant aan een zone waarin het verstoven zand is

geaccumuleerd tot langgerekte en paraboolvormige duinruggen. Een hoge duinrug scheidt de zandverstuiving van de enk van Wekerom. De andere cellen in deze strook vertonen een vergelijkbaar beeld, maar ze liggen zo dicht bij elkaar dat de paraboolduinen van een westelijke cel soms op de stuifvlakte van een oostelijke cel liggen. Dat maakt het beeld verwarrend.

Relatie met dorpen en enken

De ruimtelijke samenhang tussen de dorpen en de lokale zandverstuivingen die buiten het bereik van dit onderzoek vallen is groot. Hoewel sommige van de reeks kleine zandverstuivingen in deze studie eveneens aan enken grenzen, vertonen zij toch niet de samenhang met de lokale zandverstuivingen. De Wekeromse Enk ligt op de dekzandrug tussen het Wekeromse Zand West en het Wekeromse Zand Oost. De boerderijen stonden aan het begin van de negentiende eeuw aan de rand van de enk, in de beschutting van de buitenste duinrug van de westelijke zandverstuiving. Men haalde waarschijnlijk plaggen van de heide hogerop de stuwwal, want van de stuifzanden viel niets te halen. De vijf grote zandverstuivingen in het oosten liggen in een vrijwel onbewoond gebied. De nederzettingen Oud-Reemst, Otterlo, Harskamp en Kootwijk



Figuur 4 Dit AHN-beeld toont de interne zonering van het reliëf van het Wekeromse Zand. Deze is iets anders dan bij het Harskampse Zand. Toch is ook hier de driedeling nog herkenbaar op de kaart (nummers 1, 2 en 3). Op de kaart is de hoogte volgens het AHN weergegeven waarbij de opeenvolging in kleuren van blauw-groen-geel-rood corresponderen met de overgang van laag naar hoog. Met de letters zijn achtereenvolgens aangegeven de dekzandrug aan de zuidwestkant van het Wekeromse Zand (A); de stuwwal van Lunteren (B) en het celtic field (C).

Figure 4 The different relief zones at the AHN-overview of the Wekeromse Zand look somewhat different from the Harskampse Zand, but the three zones can still be detected following the numbers 1, 2 and 3. Elevation is shown in colours ranging from blue-green-yellow-red reflecting increasing elevation. Letters mark a coversand ridge south of the Wekeromse Zand (A), the ice-pushed ridge of Lunteren (B) and a celtic field west of the Wekeromse Zand (C).



stelden aan het begin van de negentiende eeuw niet veel voor, vergeleken met de westelijk gelegen nederzettingen Ede, Lunteren, Barneveld en Voorthuizen. De vier boerderijen waaruit Oud-Reemst bestond, staan in geen verhouding tot de omvang van het Oud-Reemster Zand.

Relatie met wegen

Het wegenpatroon in het onderzoeksgebied is sinds de opname van de topografische kaart van De Man (Zandvliet, 1984), nauwelijks veranderd. De wegen tussen de grote zandverstuivingen lopen op de smalle zones die bestaan uit dekzand op het oorspronkelijke niveau van de puinwaaier. Het AHN-beeld geeft geen enkele aanwijzing voor stuifzandafzetting langs deze wegen. Ook de oudere wegen op de Veluwe lijken geen bron van verstuivingen, hoewel zij wel overstoven konden raken vanuit de nabijgelegen zandverstuivingen. Eén van de oudste wegen, de Grote Hessenweg tussen Deventer en Utrecht, die waarschijnlijk uit de Karolingische tijd dateert, liep over de stabiele zone tussen het Stroese en het Kootwijkse Zand (Leijden, 1940). Voor de Schaapsdrift ten noordoosten van Kootwijk geldt hetzelfde (Topografische Dienst, 1991).

Interpretatie

Begin van de zandverstuivingen en groei 'tegen de wind in'

De interne zonering van de stuifzandcellen - met van West naar Oost achtereenvolgens kopjesduinen, stuifvlakte en accumulatiezone - biedt een aanknopingspunt om opnieuw het proces van ontstaan en groei van de cellen onder de loep te nemen. De kopjesduinen aan de westkant van de cellen in combinatie met een scherpe overgang naar een hoger gelegen en niet geërodeerd niveau, dat om bestaande enken heen is gegaan doet vermoeden dat we hier te maken hebben met een groeirichting tegen de overheersende windrichting in.

Kopjesduinen remmen door begroeiing en vorm de snelheid en daarmee de erosieve kracht van de wind. Het kopjesduinenareaal breidde zich daarom bij voorkeur naar het zuidwesten uit, tegen de overheersende wind in. Dit verklaart de situatie aan de zuidwestpunt van het Harskampse Zand (zie figuur 3). Hier is duidelijk te zien dat de erosie zich aan weerszijden van de enk heeft ingevreten. De enk wordt aan de noordoostzijde gemarkeerd door een hoge wal.

Ook de zuidwestpunt van het Otterlose Zand breidde zich uit tegen de overheersende windrichting in, om een bestaande enk heen. Het opwerpen van een wal was al in de 18de eeuw een effectieve maatregel om uitbreiding van het stuifzand-areaal tegen te gaan (Edelman, 1974). Het is niet bekend of de uitbreiding van het stuifzand in zuidwestelijke richting ophield bij de grens van het Jongere en het Oudere Dekzand, of over die grens heen kon grijpen.

Bij het Wekeromse Zand West ligt aan de westzijde een *celtic field* (Figuur 4) dat aan de oostzijde lijkt te zijn opgegruimd door de zandverstuiving. Ten westen van dit *celtic field* zijn geen aanwijzingen te vinden voor erosie door verstuiving. Ook dit is een verdere aanwijzing dat de zandverstuiving tegen de heersende windrichting in groeide.

Groei tegen de wind in, ofwel *terugschrijdende erosie*, is bekend van vorming van stuifkuilen in de duinen langs de Nederlandse kust (Jungerius et al., 1981). De verklaring ervoor is, dat de wind aan het begin van de verstuiving zijn grootste erosieve kracht heeft. Zodra erosie begint, d.w.z. zandkorrels worden opgenomen, gaat er energie verloren aan het transport van deze korrels. Hoe meer zand de wind op zijn weg opneemt, hoe minder energie voor erosie overblijft. Tenslotte wordt het punt bereikt dat de wind ook voor transport geen energie meer heeft. Op dat moment gaat de accumulatie overheersen en vormen zich duinen.

De grote zandverstuivingen breidden zich naar twee richtingen uit: naar het zuidwesten door erosie en naar het noordoosten door accumulatie. Dit betekent dat de oorsprong van de cellen ergens tussenin moet hebben gelegen. In eerste instantie zal de uitbreiding van de kopjesduinen naar het zuidwesten, dominant zijn geweest. Nadat deze zone breed genoeg was geworden begonnen de kopjesduinen in het noordoosten weer te eroderen. De grens van geërodeerd dekzand en dekzand dat nog niet is aangetast, is bedekt met stuifzand.

Verplaatsing eolische activiteit binnen de grote cellen in noordelijke richting

Als de stuifcellen gelijktijdig waren ontstaan, zou verwacht mogen worden dat de verhouding van de arealen van de zones: kopjesduinen – stuifvlakte – accumulatiezone, in alle cellen min of meer gelijk zou zijn. Dat is niet het geval. Het relatieve areaal van de stuifvlakte die uit de kopjesduinen ontstaat, neemt in de richting van de noordelijke cellen af. Over het Stroese Zand kan niet veel worden gezegd, omdat het reliëf hier door menselijk ingrijpen grondig is gewijzigd. Wel tekent De Man juist deze zandverstuiving in als een volledig kopjesduinenlandschap. Dit zou kunnen betekenen dat de zuidelijke zandverstuivingen het oudste zijn. Het feit dat het areaal nu nog stuwend zand, in de vier stuifzandcellen van noord naar zuid afneemt, wijst in dezelfde richting.

Aanwijzingen voor een hogere ouderdom van de zuidelijkste zandverstuiving zijn ook in de literatuur te vinden. Maarleveld & Pape (1960) gaan uit van een hoge ouderdom op basis van de humuspodzol die zich aan de oppervlakte heeft gevormd. Een C14-bepaling van de A1 horizont van het dekzandprofiel onder het stuifzand wees uit dat de verstuiving hier al ca. 550 A.D. is begonnen (Koster, 1978). Ook de Vroeg-Middeleeuwse nederzetting op het Kootwijkse Zand ondervond hinder van verstuivingen (van

Rechteren Altena, 1974; Koster, 1978), hoewel de grote verstuivingen die deze nederzetting tenslotte verdreven, plaatsvonden tussen 900 en 1300 A.D. Deze grote verstuivingen vallen samen met de vorming van de Jonge Duinen aan de kust (Koster, 1978). Een algemene klimaatsverandering wordt hiervoor verantwoordelijk geacht (Heidinga, 1984), hoewel een directe samenhang nog niet is aangetoond (Koster, in druk). Hoe het ook zij, de vorming van de zandverstuivingen van de Midden-Veluwe vond in het verre verleden plaats: hun huidige grenzen zijn vrijwel identiek aan die van 1802-1810, vóór het midden van de 19de eeuw dat als de periode van maximale stuifactiviteit wordt beschouwd.

De verplaatsing van de activiteit van de wind binnen de grote cellen naar het westen en tussen de cellen naar het noorden kan op een regionale oorzaak wijzen. Moerman (1934) koppelde de ontwikkeling van de zandverstuivingen aan grondwaterstanddalingen. De glaciële vallei van Lunteren loopt naar het noordwesten af en de gevolgen van een geleidelijke daling van de grondwaterstand zouden zich zowel in die richting als naar het centrum van de vallei, dus naar het zuidwesten, manifesteren. Dit zijn ook de twee richtingen waarin respectievelijk de cellen zijn ontstaan en zich na hun ontstaan hebben ontwikkeld. De ontwikkeling van de reeks kleine zandverstuivingen aan de andere zijde van het glaciële dal van Lunteren bevestigen dit beeld. Het Wekeromse Zand West aan het westelijke uiteinde van deze reeks, vertoont het meeste reliëf en is als enige nu nog actief. De daling van de grondwaterstand was mogelijk een gevolg van de agrarische ontginning van het veen in de Gelderse Vallei, die vanaf de rode eeuw een aanvang nam (De Bont, 1991).

De vraag rijst of de vorming van zandverstuivingen elders in het land volgens hetzelfde principe kan zijn verlopen. Het antwoord is vooralsnog bevestigend. Andere zandverstuivingen op de Veluwe, zoals de Vierhoutense Hei-

Foto: Arjan Koomen



de, en elders in het land, zoals de Weerterheide (Van den Ancker & Jungerius, 2003b), vertonen een vergelijkbare celvorm, hoewel de inwendige structuur kan verschillen. Een studie van het AHN bestand van een groter deel Nederland is nodig om te kunnen vaststellen, hoe algemeen het verschijnsel is.

Het ontstaan van de zandverstuivingen

De kleine zandverstuivingen op de flank van de stuwwal tussen Lunteren en Reemst in het zuiden, vertonen al op de topografische kaart van De Man een cellenpatroon, en wijken daarmee af van de lokale zandverstuivingen uit die tijd, die als reliëfloze terreinen om de dorpen lagen. Zij liggen echter in een dichtbevoond deel van de Veluwe en daarom kan een directe relatie met afplaggen of uitstuiven van wegen en schaapsdriften niet worden uitgesloten. Anders ligt het met de reeks van grote zandverstuivingen op de flank van de oostelijke stuwwal. Het is mogelijk dat ook deze zandverstuivingen begonnen zijn door menselijk ingrijpen, maar noodzakelijk is dat niet. Zij zijn niet ontstaan door uitstuiven van wegen, want die lopen al honderden jaren tussen de zandverstuivingen in en hebben in al die tijd geen stuifzandreliëf opgeleverd. Afplaggen als oorzaak ligt ook niet voor de hand. Het

Oud-Reemsterzand stooft al in 6de eeuw na Chr. (Koster, 1978), lang voor de tijd van de potstalcultuur (Spek, 1995). De ontwikkeling van de zandverstuiving begon met de vorming van kopjesduinen. Zij ontstonden omdat het opgenomen dekzand niet over grote afstanden werd getransporteerd, maar vrijwel direct weer werd vastgelegd in zandbindende vegetatie, die met het zand omhoog groeide (Schelling, 1955). Dit was mogelijk helm (*Ammophila arenaria*), een plant die ook op de stuifzanden van de aangrenzende delen van Duitsland voor spontane vastlegging zorgde (Müller & Hanstein, 1998). Het zand ging stuiven als de minstens 40 cm dikke podzol volledig was verdwenen. In bestaande zandverstuivingen gebeurt dit door ondergraving van de podzol in steilwandjes. Het afplaggen van de heide ging niet zo diep en verliep bovendien niet met de planmatigheid die aan het patroon van de stuifcellen ten grondslag ligt.

Deze planmatigheid moet de verklaring geven voor de oorsprong van de zandverstuivingen. Hesselink (1926) zag een samenhang met het afwateringspatroon van de stuwwal. Volgens deze auteur zijn de zandverstuivingen begonnen in geulen in de oorspronkelijk lager gelegen en met heidevelden begroeide dekzanden. Koster (1978) is het daar niet mee eens. Op grond van nauwkeurige hoogte-

metingen concludeert hij dat de huidige stuifzandcellen lager liggen dan de tussenliggende stroken die bestaan uit een met dekzand bedekte puinwaaier. Vóór de verstuiwing lagen de huidige stuifzandcellen gelijk met dit niveau.

Recent onderzoek op het Wekeromse Zand West geeft de richting aan waarin het antwoord op de vraag naar het ontstaan moet worden gezocht. In het eerste deel van de zone met kopjesduinen in deze cel (figuur 4) blijkt de podzol aan de oppervlakte te liggen. Pas na een paar honderd meter noordoostwaarts maken de dekzandkopjes plaats voor stuifzandkopjes (Van den Ancker & Jungerius, 2003a). Het dekzand ter plaatse was dus vóór de omvorming tot stuifzand, al reliëfrijk. Het zand kan geclassificeerd worden als Jonger Dekzand, zoals beschreven door Pannekoek (1956). Volgens deze auteur komt het Jongere Dekzand veel voor op de grenzen van hogere en lagere terreinen, zoals onder meer aan de voet van stuwwallen.

Op grond van deze aanwijzingen nemen wij aan dat de zandverstuiwingen oorspronkelijk afzettingen waren van reliëfrijk, Jonger Dekzand op de flank van de stuwwallen. Aan de scheiding in cellen kan de toenmalige verdeling van de vegetatie ten grondslag liggen, al of niet in combinatie met het afwateringspatroon van de flank van de stuwwallen. Dankzij het reliëf kwam dit jongere dekzand gemakkelijk in verstuiwing, in tegenstelling tot het omringende vlakke Oudere Dekzand.

Het veelvuldig voorkomen van zogenaamde forten is een verdere aanwijzing voor het ontstaan van de zandverstuiwingen uit het reliëfrijke Jonger Dekzand. Forten zijn erosieresten van het oorspronkelijke dekzandlandschap. Bovenop ligt vaak veen omdat het om de laagste delen van het vroegere landschap gaat. Dit wijst op het bestaan van aanzienlijke hoogteverschillen voordat het dekzand opnieuw in verstuiwing ging. Welke rol de mens in dit proces gespeeld heeft is onduidelijk.

Implicaties voor beleid en beheer gericht op reactivering van stuifzanden

De implicaties van dit onderzoek voor het reactiveren van stuifzanden zijn binnen de stuifzandcellen anders dan voor de stuifzandcellen onderling. Binnen de cellen geldt als regel dat de kans op succesvol reactiveren van gestabiliseerd stuifzand, het grootst is op plaatsen die van oudsher als brongebied voor het stuifzand hebben gefunctioneerd. Van plaatsen waar de wind in het verleden onvoldoende snelheid had om het zand te transporteren en het in de duinen heeft neergelegd, mag immers niet worden verwacht dat daar de kritische windsnelheden voor erosie in de toekomst wel zullen worden gehaald.

Met behulp van de AHN-beelden is het goed mogelijk om de brongebieden voor stuifzand uit het verleden te lokaliseren. Vooral de stuifvlaktes maar ook de zones met kopjesduinen komen voor reactivering in aanmerking. De wind zal echter in de gebieden met kopjesduinen meer worden afgeremd dan in de stuifzandvlaktes. Het feit dat de herbebossing met Grove den in het besloten kopjesduinenlandschap succesvoller verliep dan in de open stuifvlaktes, wijst in die richting. Bovendien moet bij mogelijke reactivering van het kopjesduinenlandschap bestaand reliëf worden aangetast om nieuw reliëf te laten ontstaan.

Vergelijken we de cellen onderling dan zou verondersteld kunnen worden dat pogingen om zandverstuiwingen te reactiveren meer kans op succes hebben in cellen met een relatief 'jong' reliëf, zoals het Harskampse Zand en het Kootwijkse Zand, dan in cellen met een 'uitgewerkt' reliëf, zoals het Otterlose Zand en het Oud-Reemster Zand. Er bestaat echter nog te weinig inzicht in het ontstaan en de ontwikkeling van de zandverstuiwingen om hierover een uitspraak te kunnen doen. Zo lag het Otterlose Zand in het midden van de negentiende eeuw lang voor de bosaanplant, al nagenoeg vast (Veldhorst, 1965), en de vraag



waarom de wind op de wijde, open vlaktes de verstuiving niet aan de gang kon houden is nog niet beantwoord.

Conclusies

Zandverstuivingen worden doorgaans toegeschreven aan overmatig afplaggen van de heide en uitstuiven van wegen. Deze verklaringen alleen voldoen niet voor de zandverstuivingen op de flanken van de stuwwallen aan weerszijden van het glaciale dal van Lunteren. Hun regelmatige patroon en interne structuur wijzen op een zelfstandige geomorfologische ontwikkeling die verschilt van de lokale stuifzanden rond de nederzettingen en hun enken. De oude wegen lopen juist over onaangetaste bodems tussen de zandverstuivingen in. Kennelijk hebben ze geen uitstuiving veroorzaakt.

Aangenomen wordt dat het, het reliëfrijke en leemarme

Jonger Dekzand is geweest dat in verstuiving is geraakt. De locatie van stuifzandcellen is dan mede bepaald door het dekzandreliëf aan het einde van het Pleistoceen. De omvorming van het Jonger Dekzand tot stuifzand is in de kop van het glaciale dal van Lunteren begonnen en heeft zich geleidelijk verplaatst in de richting van het uiteinde van dit dal, mogelijk als gevolg van een daling in de regionale grondwaterstand. Binnen de cellen begon het proces met de vorming van kopjesduinen. Deze zone breidde zich uit naar het zuidwesten, tegen de heersende windrichting in. Aan de andere zijde verstoven de eerder gevormde kopjesduinen geleidelijk aan tot een stuifvlakte. Het stuivende zand werd aan de noordoostzijde afgezet in langgerekte duinen en paraboolduinen. De cellenstructuur van de stuifzanden aan weerszijden van het glaciale dal van Lunteren is ook elders in het land gevonden.

Summary

The geomorphological nature of drift-sand landscapes

Arjan Koomen, Gilbert Maas & Pim Jungerius

Active drift sands, laser altimetry, Veluwe, Geomorphological mapping

Landschap 21 (2004)

Up to the 20th century, active drift-sand landscapes were widespread in the aeolian sand belt that runs across the north-western and central European Lowlands. The drift sands are commonly attributed to human activities resulting in damage of the heath podzol, particularly by excessive cutting of heath sods for fertilizing the agricultural fields, or by trampling and riding on sandy roads and sheep drifts. This leaves the underlying cover sand exposed to wind erosion.

New developments in laser altimetry and geomorpho-

logical mapping reveal that most drift sands on the Veluwe show features that are not compatible with human intervention. The drift sands occur as large cells far from the settlements, with a regular distribution pattern and a characteristic internal structure. Centuries-old roads run in between the cells and show no sign of wind erosion. It is postulated that the drift-sand cells are former occurrences of Younger cover sand that have been transformed into drift sands, possibly as a result of gradual lowering of the regional groundwater table. Compared to older cover sands, the Younger cover sands show more relief and contain less loam which make them more sensitive to wind erosion.

Literatuur

- Ancker, J.A.M. van den & P.D. Jungerius, 2003a.** Evaluatie van 10 jaar verstuiving op het Wekeromse Zand. Rapport G&L in opdracht van Het Geldersch Landschap.
- Ancker, J.A.M. van den & P.D. Jungerius, 2003b.** De ontwikkelingsmogelijkheden van stuifzanden op de Weeterheide/Boshoeverheide. Rapport G&L in opdracht van DGW&T, Min. van Defensie.
- Anon., 1979.** Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50000. Toelichting bij de kaartbladen 33 West Apeldoorn en 33 Oost Apeldoorn. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Anon., 1997.** Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50000. Toelichting bij het herziene kaartblad 32 Oost-Amersfoort. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen
- Bakker, H. de & J. Schelling, 1966.** Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie PUDOC, Wageningen.
- Bakker, Th., H. Esselink, H. Everts, P.D. Jungerius, R. Ketner-Oostra, A.M. Kooijman & C. van Turnhout, 2003.** Preadvies stuifzanden. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Bal, D., H.M. Beije, M. Fellinginger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff, 2001.** Handboek Natuurdoeltypen. Tweede editie. Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2001/020. Wageningen.
- Bont. C. de, 1991.** Het historisch-geografische gezicht van het Nedersticht : een cultuurhistorische landschapsverkenning van de provincie Utrecht. DLO-Staring Centrum, rapport nr. 133, Wageningen.
- Boxel, Eilander, D.A., J.H. Kloosterhuis, F.H. de Jong & J. Koning, 1982.** Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50000. Toelichting bij de kaartbladen 26 Oost Harderwijk en 27 West Heerde. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Edelman, C.H., 1974.** Harm Tiesing, over landbouw en volksleven in Drenthe. Deel 1, 2^{de} druk. Van Gorcum, Assen.
- Heidinga, H.A., 1984.** Indications of severe drought during the 10th century A.D. from an inland dune area in the Central Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 63: 241-248.
- Hesselink, E., 1926.** Ontstaan, uitbreiding en beteugeling der zandverstuivingen. In: Tesch, De zandverstuivingen bij Kootwijk in woord en beeld. Staatsboschbeheer, Utrecht: 7-39.
- Jungerius, P.D., A.J.T. Verheggen, & A.J. Wiggers, 1981.** The development of blowouts in 'De Blink', a coastal dune area near Noordwijkerhout, The Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 6: 375-396.
- Koster, E.A., 1978.** De stuifzanden van de Veluwe, een fysisch-geografische studie. Publ. FGBL, Universiteit van Amsterdam.
- Koster, E.A. (red.) (in druk).** The physical geography of Western Europe. Chapter 8. Oxford University Press.
- Leijden, F., 1940.** Oude wegen op de Veluwe. *Bijdr. en Meded. Gelre XLIII*: 93-152.
- Loo, H. van het, 1997.** Toelichting bij het herziene kaartblad 32 Oost-Amersfoort. DLO-Staring Centrum.
- Moerman, J.D., 1934.** Veluwe beken en daling van het grondwaterpeil. *Tijdschr. KNAG* 51: 495-520 en 676-697.
- Müller, R. & U. Hanstein, 1998.** Flugsande, Binnendünen und der Strandhafer (*Ammophila arenaria* (L.) LK.) in der Lüneburger Heide. *Jb. Nturw. Verein Fstm. Lbg.* 41: 161-184.
- Ommering, G. van (red.), 2002.** Handleiding subsidie Effectgerichte Maatregelen 2003. Rapport EC-LNV nr. 2002/160-). Ministerie van LNV, Den Haag.
- Pannekoek, A.J., (red.) (1956).** Geologische geschiedenis van Nederland. Staatsdrukkerij en Uitgeverijbedrijf, 's-Gravenhage.
- Pyritz, E., 1972.** Binnendünen und Flugsandebenen im Niedersächsischen Tiefland. *Göttinger Geogr. Abhandl.* 61.
- Rechteren Altena, H.H. van, 1974.** Een Vroeg-Middeleeuwse nederzetting bij Kootwijk (Gld.). *ZWO Jaarboek 1973*: 109-116.
- Schelling, J., 1955.** Stuifzandgronden. Stichting voor Bodemkartering. *Uitv. Versl. Bosbouwproefstation TNO 2-1.*
- Smidt, J.T. de, 1969.** Het Kootwijkerzand, kerngebied der Europese stuifzanden. *De Levende Natuur* 7-11.
- Stoutjesdijk, Ph., 1959.** Heath and inland dunes of the Veluwe. A study on some of the relations existing between soil, vegetation and microclimate. Diss. Utrecht. Wentia 2.
- Topografische Dienst, 1991.** Grote Provincie Atlas 1:25000, Gelderland Veluwe. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Veldhorst, A.D.M., 1965.** Uit de geschiedenis van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe'. *Boor en Spade XIV*: 117-137.
- Zandvliet, K., 1984.** Topographische kaart van de Veluwe en de Veluwezoom door M.J. de Man. Canaletto, Alphen aan den Rijn.