

# Duin- en dekzandvorming in 'koude woestijnen'

E.A. Koster

**De verbreiding, geomorfologie, sedimentologie en de litho- en chronostratigrafie van de grote Weichselien en Holocene 'zandgordel' in de Noordwestelijke en Centraaleuropese laaglandgebieden, zijn vaak bestudeerd. De klimatologische omstandigheden waaronder het transport en sedimentatie plaatsvond, de invloed van permafrost en vegetatie op de ontwikkeling en vorm van deze zandafzettingen en de aard van de waarschijnlijk fluviatiele brongebieden, zijn moeilijk te bestuderen op grond van de vorm en sedimenteigenschappen alleen. Vergelijkende studies aan eolische processen zijn onlangs uitgevoerd in duin- en dekzandgebieden in Noordwest-Alaska en West-Groenland, waar de huidige (periglaciale) omstandigheden, die welke tijdens het Weichselien in Noordwest-Europa heersten, benaderen.**

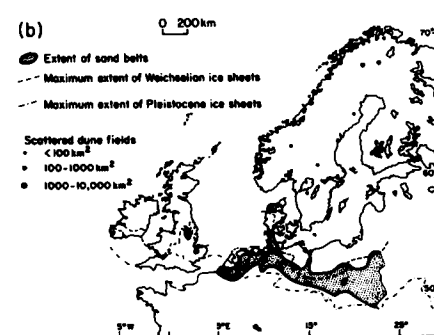
## Inleiding

In Nederland is een grote en gedetailleerde kennis van Kwartaire vormen en afzettingen opgebouwd. Meer en meer dringt het besef door dat, voor de genetische interpretatie van de in Nederland voorkomende 'fossiele' geomorfologische fenomenen, kennis van de actuele processen onontbeerlijk is. Hiertoe moet men op zoek gaan naar gebieden, die voor wat betreft klimaat, reliëf en gesteente min of meer vergelijkbaar zijn met Nederland gedurende bepaalde tijdsintervallen van de Laat-Pleistocene glaciële cycli.

Overigens moet men de waarde van het actualiteitsprincipe niet overschatten. Naast overeenkomsten zijn er ook essentiële verschillen tussen het Laat-Pleistocene periglaciale milieu op onze gematigde breedten en het huidige, dat veelal op een hogere breedtegraad wordt bestudeerd. Waar het om gaat is, of de actuele processen van transport en sedimentatie indicatief zijn voor de omstandigheden zoals wij die ons voorstellen voor de tijd waarin de te onderzoeken fenomenen zijn gevormd. In dit artikel, dat gebaseerd is op onderzoek dat de afgelopen tien jaren verricht is aan de universiteiten van Amsterdam en Utrecht in samenwerking met de U.S. Geological Survey, wordt een overzicht gegeven van het veldonderzoek van eolische processen onder huidige periglaciale omstandigheden in Alaska en Groenland en de betekenis hiervan voor een beter begrip van de vele door windwerking ontstane relictvormen in Noordwest-Europa.

## Vraagstelling

Eolische zanden van Laat-Pleistocene en Holocene ouderdom komen in een



*Figuur 1. De 'duin- en dekzandgordel' in Noordwest- en Centraal-Europa (naar Koster, 1988a in Pye & Tsoar, 1990).*

groot deel van Nederland aan het oppervlak voor. Deze duin- en dekzanden vormen het meest westelijke deel van een enorme W-O verlopende zandgordel (fig. 1), die tot in de Baltische staten te vervolgen is en een oppervlakte beslaat van enkele tienduizenden km<sup>2</sup> (Ruegg, 1983; Koster, 1988a; Pye & Tsoar, 1990). De oppervlakten die door land- en rivierduinen worden ingenomen bedragen volgens Koster (1978) en Castel et al. (1989) voor Nederland ca. 950 km<sup>2</sup>, België ca. 200-300 km<sup>2</sup>, Duitsland ca. 3100-4800 km<sup>2</sup>, Denemarken ca. 450-550 km<sup>2</sup>, en Polen ca. 3500-5500 km<sup>2</sup>. De verbreiding, geomorfologische gesteldheid, materiaaleigenschappen, litho- en chronostratigrafie van deze eolische sedimenten zijn veelvuldig object van onderzoek geweest. Er blijkt echter nog steeds onduidelijkheid te bestaan over de herkomst en transportrichting. Evenmin bestaat er overeenstemming omtrent de feitelijke transport- en afzettingscondities (Koster, 1988a). Daarom is een aantal vragen geformuleerd waarop vergelijkend-onderzoek in actueel-periglaciale gebieden mogelijk antwoord kan bieden (Dijkmans & Koster, 1987):

## a. herkomst en transportafstand:

wat zijn de belangrijkste brongebieden? Indien windtransport van zand plaatsvindt vanuit vlechtende of meanderende riviersystemen, welke opeenvolging in geomorfologische eenheden (eolische accumulatievormen) wordt dan gevonden in windafwaartse richting vanaf de bron?

**b. vormontwikkeling:** welke factoren, zoals windsnelheidsverdeling, aard van de vegetatie, en voorkomen van permafrost, beïnvloeden de ontwikkeling van hoge paraboolvormige (rivier)duinen, lage paraboolvormige (dekzand)ruggen, en reliëfarme accumulatievormen (dekzandvlaktes)?

**c. processen:** welke rol speelt het rivierregime op de beschikbaarheid van materiaal voor windtransport en zijn er belangrijke seizoenverschillen in eolisch transport? Speelt sneeuw een belangrijke rol in het windtransport en zo ja, hoe wordt dit dan gereflecteerd in de resulterende accumulatievormen en of sedimentaire structuren?

**d. materiaaleigenschappen:** wat is de invloed van de aard van het transport en de transportafstand op textuur (korrelgrootte, -afronding, en gewichtsverdeling), sedimentaire structuur, en mineralogische samenstelling?

## Terminologie

Aangezien geomorfologische, stratigrafische en bodemkundige concepten weinig kritisch door elkaar heen gebruikt worden, is de terminologie van windafzettingen en gerelateerde terreinvormen nogal verwarrend (zie voor een uitvoerige bespreking Koster, 1982).

Dekzandafzettingen zijn overwegend (sub)horizontaal gelaagde, fijn gelamineerde, relatief goed gesorteerde, overwegend humusloze zanden met

een dichte korrelstapeling, die gedurende het Weichselien (tot Vroeg-Holoceen) onder periglaciale omstandigheden door de wind neergelegd zijn. Stuijfandafzettingen daarentegen zijn ontstaan door eolische resedimentatie van dekzanden of andere terrestrische afzettingen gedurende het Holoceen, overwegend onder invloed van de mens. In tegenstelling tot de dekzanden bevatten stuijfanden vaak humuslaagjes. Bovendien worden stuijfanden gekenmerkt door een relatief losse korrelstapeling en het ontbreken van periglaciale verschijnselen. Wanneer zandige windafzettingen aan het oppervlak voorkomen en lokale hoogteverschillen vertonen van  $> 5$  m en hellingen van  $> 5$  à  $6^\circ$  dan wordt gesproken van duinzanden, die vervolgens het voorvoegsel land-, rivier- of kust- krijgen afhankelijk van de ligging. Niveo-eolische afzettingen zijn het resultaat van windtransport waarbij zand en sneeuw gelijktijdig of afwisselend gesedimenteerd worden. Het proces van het vervolgens verdwijnen van de sneeuw uit de afzetting wordt omschreven met de term denivatie. Fluvio-eolische afzettingen zijn het gevolg van het afwisselend optreden van windtransport en watertransport.

### Subarctische gebieden

De onderzoeklocaties waarover hier gerapporteerd wordt liggen in Noordwest-Alaska (het stroomgebied van de Kobuk rivier) en in Zuidwest-Groenland (het Søndre Strømfjord gebied). Ter vergelijking met de gereconstrueerde temperatuur- en neerslagwaarden in Nederland gedurende het Weichselien (zie fig.11) worden hier de huidige klimatologische gegevens vermeld voor het Kobuk gebied resp.

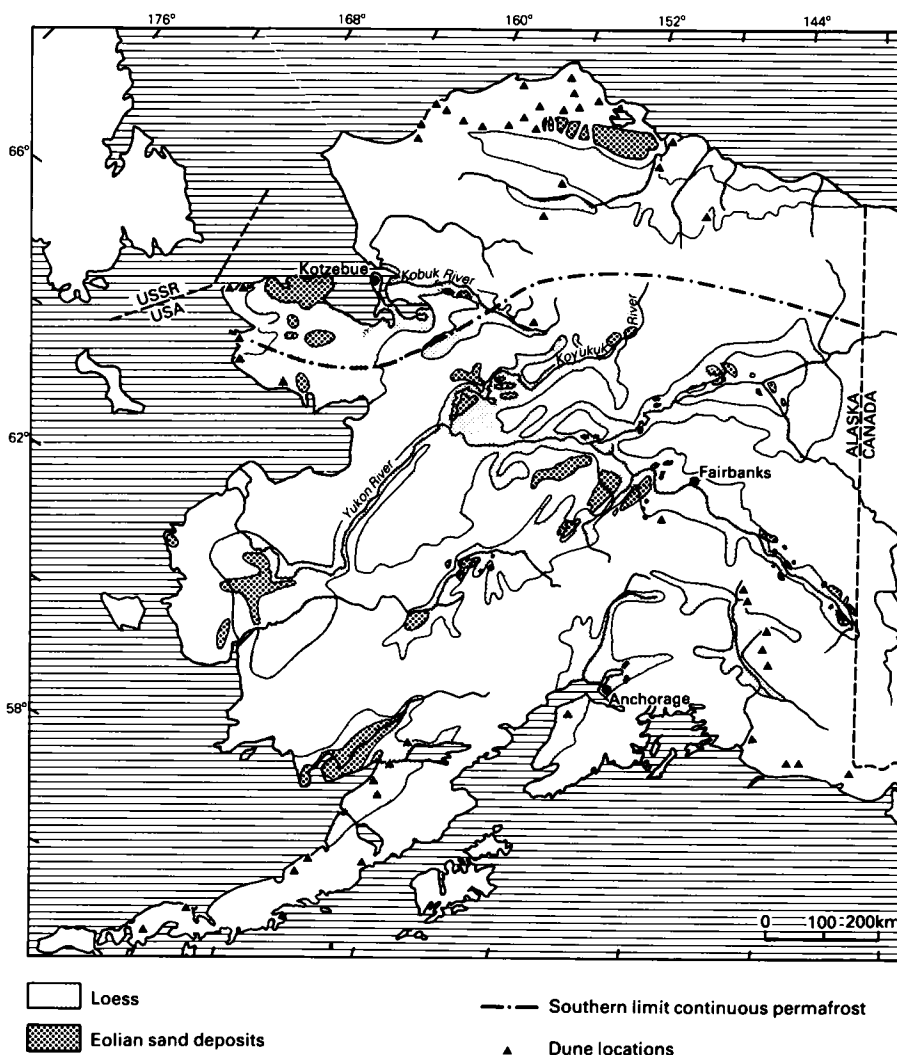
Søndre Strømfjord: gem. jaartemp.  $-6^\circ\text{C}$  resp.  $-6^\circ\text{C}$ , gem. zomertemp.  $15^\circ\text{C}$  resp.  $11^\circ\text{C}$ , gem. wintertemp.  $-27^\circ\text{C}$  resp.  $-18^\circ\text{C}$ , gem. jaarneerslag 500 mm (hoofdzakelijk in de zomer, weinig sneeuw) resp. 150 à 200 mm (zeer weinig sneeuw). Wat het temperatuurverloop betreft komen beide gebieden redelijk goed overeen met de situatie in Nederland gedurende het Boven-Pleniglaciaal en de Late Dryas; echte neerslagreconstructies bestaan er niet voor deze tijdsintervallen, maar algemeen wordt aangenomen dat met name de neerslaghoeveelheden in de winter gering waren (Van Geel et al., 1989; Vandenbergh, 1991a en b), hetgeen eveneens overeenkomt met de situatie in Alaska en Groenland. Beide onderzoekgebieden liggen op de grens van de continue en discontinue permafrost zone. De grote alluviale vlakten in het stroomgebied van de Kobuk rivier (oppervlakte ongeveer even

groot als Nederland) lijken voor wat betreft de geologische gesteldheid sterk op Nederland; het Groenlandse veldwerkgebied kent echter een sterk afwijkende geologie en morfologie.

### Duinvorming in Alaska

Alaska met een oppervlakte van bijna 1.500.000 km<sup>2</sup> werd in 1959 als 49ste staat opgenomen in de V.S. In Alaska komen uitgestrekte loessgebieden, gestabiliseerde duincomplexen, 'dekzand' vlaktes en enkele gebieden met actieve duinvorming voor (fig.2), die voor het overgrote deel geassocieerd zijn met fluvio-glaciale vlaktes en grote

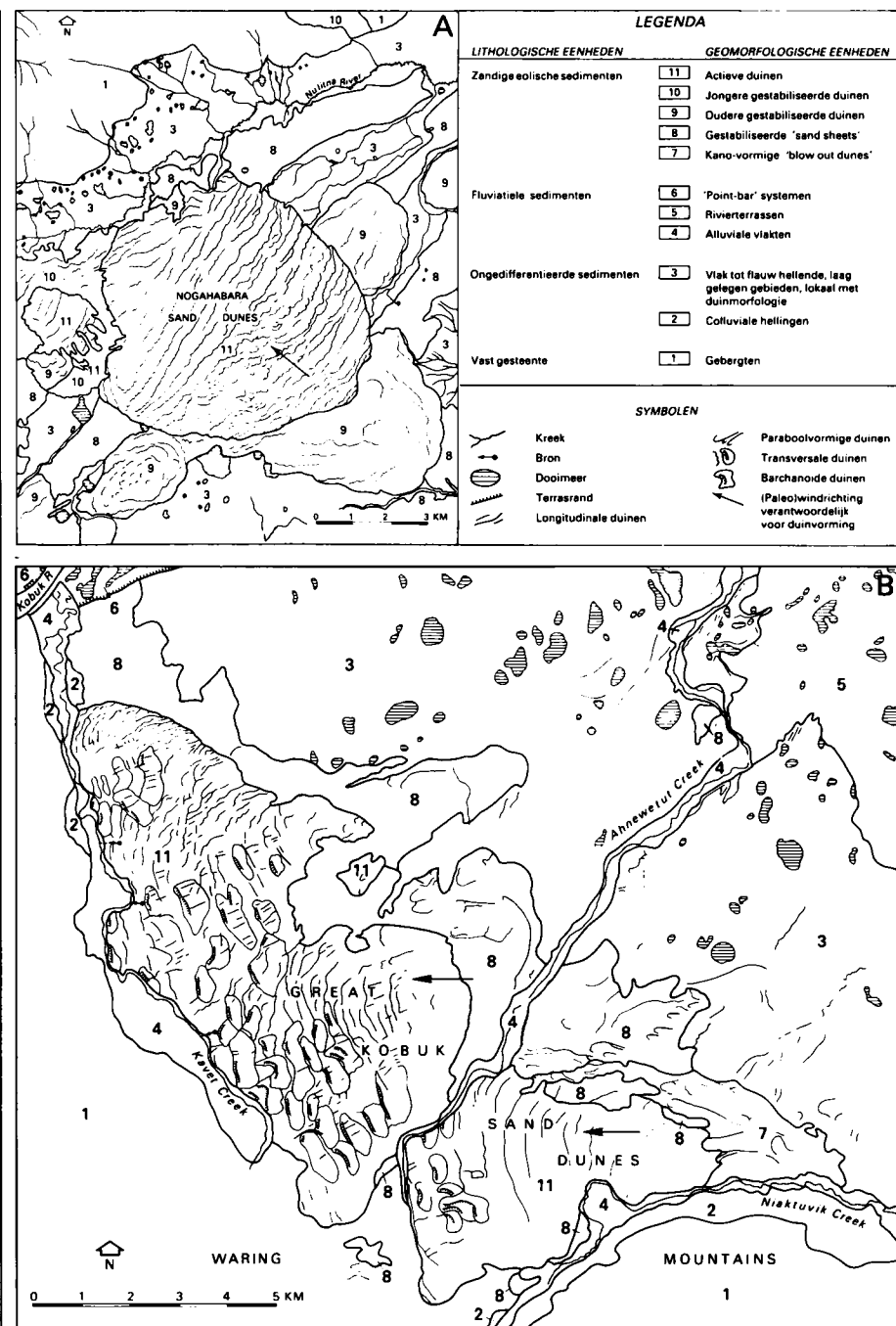
de Kobuk rivier en de Nogahabara Sand Dunes langs de Koyukuk rivier, beide gelegen in enorme nationale parken. Fragmenten van deze kaarten (fig.3) illustreren de aard en patronen van de hier voorkomende duintypen (Dijkmans & Koster, 1990). Het actieve deel van de Nogahabara wordt gevormd door een bijna cirkelvormig, vegetatieloos, aan de randen scherp begrensd zandlichaam met een oppervlakte van 44,5 km<sup>2</sup>; de afzonderlijke duinen met een hoogte van  $< 10$  m zijn transversaal en barchanoid van vorm en worden gescheiden door 50-200 m brede deflatiezones. Eerdere fasen van eolische activiteit zijn onderscheiden in



Figuur 2. De verbreiding van eolische afzettingen in Alaska. Het stroomgebied van de Kobuk Rivier ligt in de overgangszone van continue naar discontinue permafrost (naar Dijkmans, 1990).

riversystemen (Dijkmans & Koster, 1987; Lea & Waythomas, 1990). Zo omvatten alleen al de gestabiliseerde duincomplexen ten westen van Fairbanks langs de Yukon en haar zijrivieren een oppervlakte van ca. 15.500 km<sup>2</sup>. Op basis van luchtfoto-interpretatie en veldcontroles zijn geomorfologische kaarten gemaakt van de twee grootste, nog actieve duingebieden in Alaska: de Kobuk Sand Dunes langs

de door vegetatie vastgelegde duinen (totale opp. 3.200 km<sup>2</sup>). De oudste duinen stammen waarschijnlijk uit het laat Wisconsinian (=Weichselien), hetgeen ondermeer afgeleid kan worden uit de sterke fluviale versnijding en het voorkomen van vele dooi- (of thermokarst)meren in deze gebieden. Het stroomgebied van de Kobuk rivier kan wel enigszins met Nederland vergeleken worden: de oppervlakte bedraagt



Figuur 3. Fragmenten van geomorfologische kaarten gebaseerd op luchtfoto-interpretatie van A. het dal van de Koyukuk River en B. het dal van de Kobuk River (naar Dijkmans & Koster, 1987). Voor lokaties zie figuur 2.

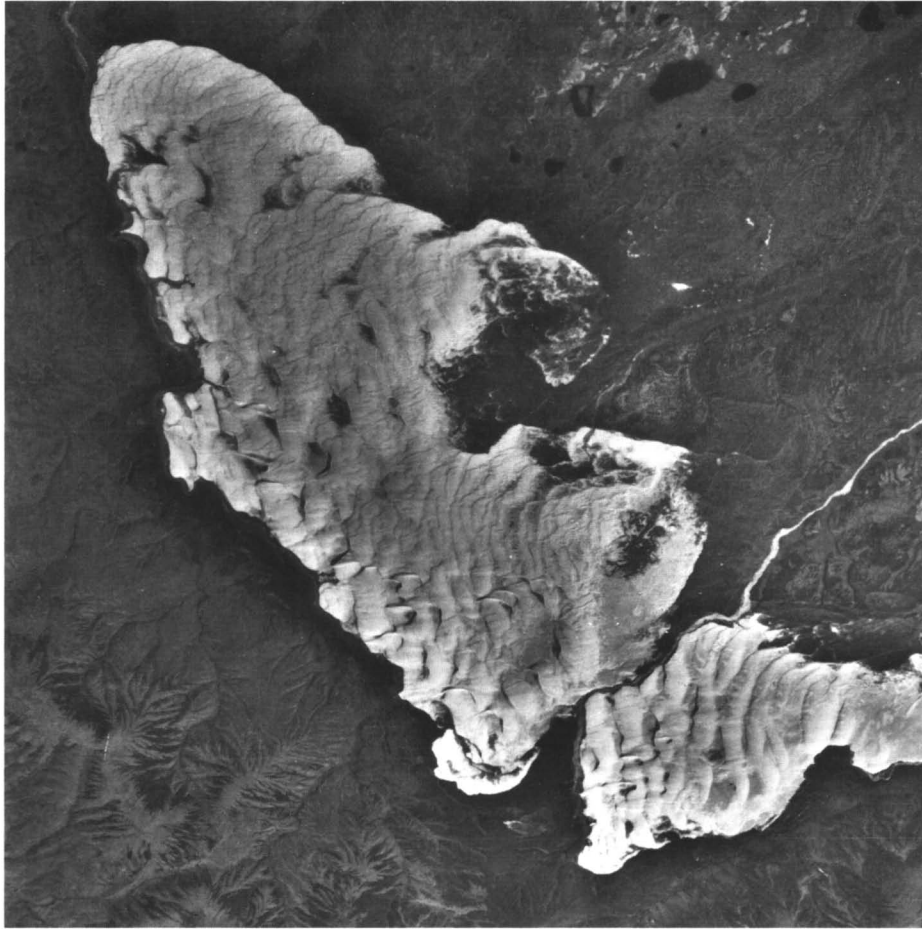
31.000 km<sup>2</sup>, de 560 km lange, meanderende Kobuk rivier (dagafvoer variërend van 20-2.700 m<sup>3</sup>/sec) stroomt door een uitgestrekte rivierlakte, het gebied lag onder een ijskap gedurende de Illinoian (=Saalien) glaciatie, maar was niet vergletsjerd gedurende het Wisconsinian (=Weichselien), en nabij het oppervlak komen hoofdzakelijk (fluvio-)glaciale, fluviatile en eolische sedimenten voor; i.t.t. Nederland bedraagt het aantal inwoners overigens slechts ca. 1.000 personen, overwegend bestaande uit de Kobukmiut of 'arctic woodland' eskimo's, die tot een kortdurende 'gold rush' in 1898

een zeer geïsoleerde positie innamen. In geologisch opzicht is het gebied nog nauwelijks onderzocht. Temidden van een 650 km<sup>2</sup> groot gestabiliseerd duincomplex en een nog veel groter gebied met 'dekzand'- en loessvlaktes ligt het actieve complex van de Kobuk Sand Dunes (opp. 62 km<sup>2</sup>). De luchtfoto (fig.4) toont heel duidelijk het patroon van kamlijnen van de tot 50 m hoge transversale duinen, die vooral in het zuidwestelijke deel uitgeblazen zijn in de vorm van grote barchanoïde duinen. Gedurende het grootste deel van het jaar zorgen oostelijke winden voor migratie van de duinen, maar gedu-

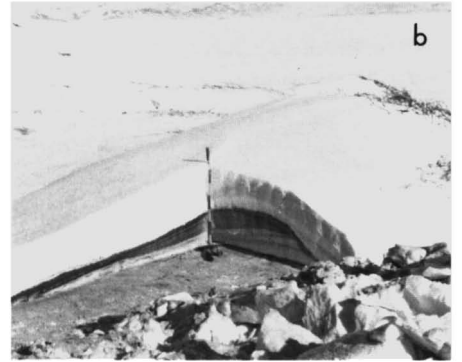
rende de zomermaanden vindt transport in tegenovergestelde richting plaats door westenwinden. Dit bimodale karakter van het windregime vertraagt de migratiesnelheid van de duinen aanzienlijk, en tesamen met de grote sedimentdikten en het intensieve zandtransport is dit waarschijnlijk verantwoordelijk voor het feit dat dit duincomplex nog steeds niet gestabiliseerd is. Bij een overvloedige beschikbaarheid van zand ontstaan grote, klimmende, transversale duinsystemen. Bij volledige afwezigheid van vegetatie en migratie over een niet-winderosie gevoelige ondergrond kunnen hieruit, zelfs in periglaciale milieu's, barchaanvormige duinen ontstaan. Bij een beperkte beschikbaarheid van zand en aanwezige vegetatie ontstaan paraboolvormige duinen, die bij een sterk unimodaal windregime en langdurige migratie vervormd worden tot sterk uitgerekte paraboolvormen. Deze duinen krijgen uiteindelijk een kanoachtige vorm of vervormen tot lengte-duinen, parallel aan de wind(transport)richting (Dijkmans & Koster, 1990). C-14 analyses van door duinzand begraven veen- en venige siltlaagjes (ouderdom ca. 24.000 BP) wijzen uit dat duinvorming in dit gebied in ieder geval al in het Laat-Wisconsinian plaatsvond.

### Dekzandvorming in Groenland

Het Søndre Strømfjordgebied in Groenland (fig.5) is uitgekozen voor het onderzoek van eolische zanddekken die in twee valleien langs proglaciale rivieren worden aangetroffen. Tussen het Søndre Strømfjord en de rand van de Groenlandse ijskap ligt een tweetal W-O georiënteerde dalen: Sandflugtdalen ('sand drift valley') en Orkendalen ('desert valley'), waarvan de naamgeving al wijst op het voorkomen van windafzettingen. De vlechtende rivieren in deze dalen vervoeren enorme hoeveelheden ijsmeltwater en sediment en vormen daarmee bij uitstek een brongebied voor eolisch materiaaltransport. De smeltwaterrijver van Sandflugtdalen wordt gekenmerkt door zeer grote fluctuaties in afvoer, temeer daar zo nu en dan door de rand van de ijskap afgedamde meren plotseling leegstromen. Binnen enkele uren kunnen hierdoor kort durende afvoergolven optreden, waarbij debieten bereikt worden van vele duizenden m<sup>3</sup>/sec. Direct aan de noordzijde van de rivierlakes worden thans door de wind in noordwestelijke richting reliëfarme zanddekken afgezet (fig.6), terwijl tot op honderden meters hoogte over een groot deel van dit gebied eolisch silt oftewel loess wordt gedeponneerd tijdens stofstormen. In beide gevallen vormen



**Figuur 4.** Luchtfoto van de Great Kobuk Sand Dunes (vergelijk figuur 3). De grote transversale en barchanoïde duinen zijn duidelijk waarneembaar in het zuidwestelijke deel van het lichtgrijs getinte duincomplex. In de winter wanneer de rivier, die door het duincomplex stroomt, bevroren is, vindt zandtransport plaats van de ene oever naar de andere (van rechts naar links). (bron: U.S. Geological Survey).

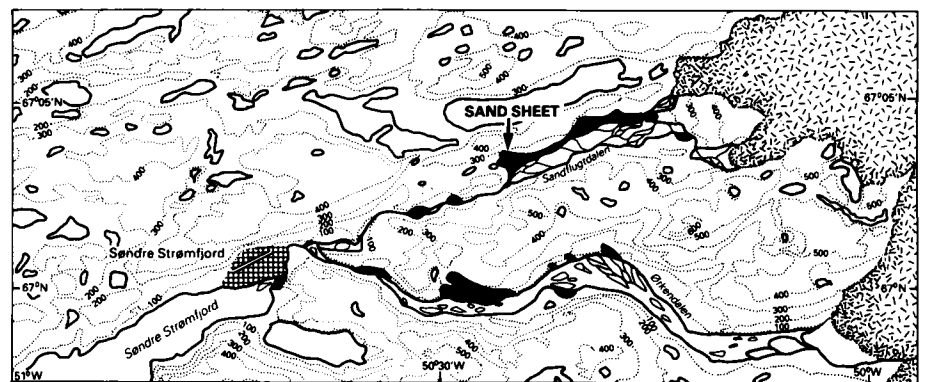


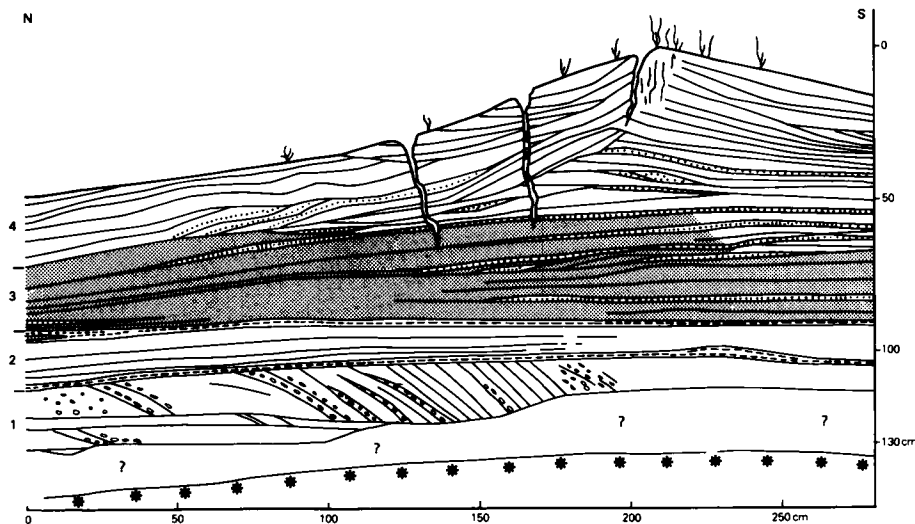
**Figuur 6.** De slechts ten dele met sneeuw bedekte rivierlakte en aangrenzende dekzandvlakte in de winter, Sandflugtdalen (Groenland). a. laag deel met dun aaneengesloten sneeuwdek, b. heuveltje bestaande uit niveo-eolisch materiaal, c. hoog deel met weinig sneeuw.



..... Margin of Greenland Inland Ice Sheet

▲ **Figuur 5.** Lokatie van het Søndre Strømfjord gebied in Groenland. Voornamelijk aan de noordzijde van de vlechtende riviersystemen, die het smeltwater van de ijskap naar de fjord vervoeren, vindt thans een soort dekzandsedimentatie plaats (naar Dijkmans, 1990).





Figuur 7. Doorsnede door een lage 'dekzand' rug nabij de riviervlakte in Sandflugtdalen. Van onderen naar boven is een opeenvolging van fluviatiele (1) naar fluvio-eolische (2 en 3) naar puur eolische zanden te zien. De top van de permafrost (in de zomer) ligt op ca. 130 cm diepte; nabij het oppervlak komen vorstscheuren voor (naar Dijkmans, 1990).

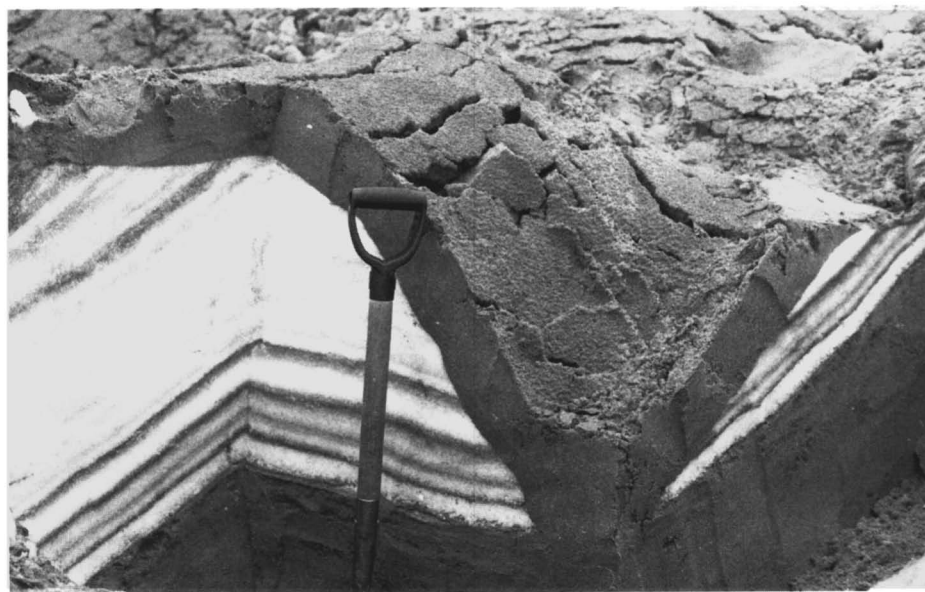
de periodiek droogvallende delen van het vlechtende riviersysteem het bron- gebied. In de lage delen van de zand- vlakten wordt het zand afwisselend door stromend water en door de wind over korte afstanden getransporteerd; hierbij ontstaan horizontaal gelaagde fluvio-eolische pakketten. Op de hoge- ren delen van de zandvlakten vindt thans vlaksgewijze dekzandsedimentatie plaats; daar waar het zand vast loopt in de schaarse vegetatie (*Salix glauca*, *Elymus arenarius*, *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*) ontstaan vooral in zomer lage heuveltjes tot ca. 2 m hoogte (fig.7). Zandtransport vindt plaats gedurende het gehele jaar, en vooral in de wintermaanden, in periodes met een dun en niet-continu sneeuwdek, treedt weer deflatie op, waardoor het gebied reliëfarm blijft (Dijkmans, 1990). Het transport van eolisch silt vanuit de fluvio-glaciale bron- gebieden naar de berghellingen komt uitsluitend voor in de zomermaanden, terwijl deflatie op deze hellingen juist optreedt in de winter. De vorming van een vlak eolisch zandgebied contra een duingebied wordt kennelijk bevorderd door (1) een relatief geringe aan- voer van zand, (2) een grofkorrelig res- idu aan het oppervlak, (3) een laag, min of meer aaneengesloten vegetatiedek en (4) deflatie gedurende de winter- maanden (vergl. Lea & Waythomas, 1990). In tegenspraak tot wat weleens beweerd wordt, blijken de aanwezig- heid van permafrost en een hoog ener- getisch windregime echter niet van es- sentieel belang te zijn. Naar analogie van de onderzochte transport- en afzet- tingscondities van deze actieve peri- glaciale zanddekken op Groenland kunnen soortgelijke omstandigheden waaronder dekzandsedimentatie

plaatsvond gedurende het Weichse- lien in de Noordwest-Europese laag- vlakte verondersteld worden (Koster, 1988a; Dijkmans, 1990; Schwan, 1988; Vandenberghe, 1991a).

### Transport en sedimentatie

Van oudsher wordt aangenomen dat gecombineerd windtransport van zand en sneeuw de afzetting van dek- zand heeft beïnvloed, alhoewel daar- voor aanwijzingen uit gebieden met een huidig periglaciaal klimaat groten- deels ontbreken. In de Kobukduinen in Alaska en in Sandflugtdalen in Groen- land is waargenomen dat in de winter het oppervlak vaak niet geheel door sneeuw bedekt is (zie fig. 6). Het droge

zand dat daardoor aan het oppervlak komt, is niet aan elkaar vastgevroren; de temperatuur blijft immers ver onder nul, zodat er geen oppervlaktewater is dat weer kan bevroren. Daardoor wordt vooral aan de lijzijde (in de wind- schaduw) van hoge duinen een niveo- eolisch pakket neergelegd, bestaande uit afwisselend schone en zandige sneeuw en puur zand. Dit is een jaar- lijks terugkerend fenomeen (Koster & Dijkmans, 1988). Tijdens de vroege zomer verdwijnt de sneeuw verrassend snel. Dit is niet alleen een gevolg van de relatief hoge zomertemperaturen, maar wordt ook veroorzaakt door het vrijwel continue daglicht, en het optre- den van zomerstormen die het afsmel- ten en vervolgens verdampen of het sublimeren van de sneeuw versnellen. Tijdens dit denivatie-proces ontstaan allerlei scheuren en trechtervormige in- zakkingen aan het oppervlak tengevol- ge van het differentieel verdwijnen van de onder het oppervlak liggende sneeuw (fig.8). Capillair opstijgend smeltwater zorgt ervoor dat de zandige toplaag nat blijft; het meeste water ver- dampmt vervolgens aan het oppervlak en daarom is lateraal afstromend smeltwater maar zelden waargeno- men. Nadat alle sneeuw verdwenen is, droogt de bedekkende zandlaag op en vindt weer normaal eolisch trans- port van zand plaats. Op vlakke 'dek- zand'achtige terreinen worden dit soort verschijnselen veel minder fre- quent waargenomen. Door het proces van denivatie ontstaan deformaties van de gelaagdheid van het zandpakket, die onder gunstige omstandigheden gefossiliseerd kunnen worden. Vaak zullen deze nabij het oppervlak voorko- mende denivatie-structuren echter



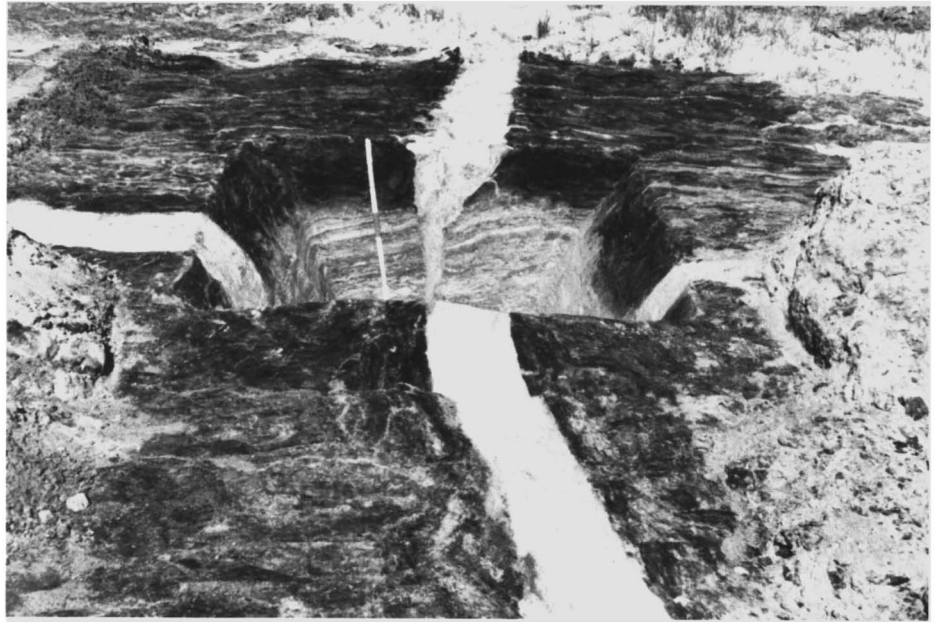
Figuur 8. Doorsnede door een trechtervormige 'sinkhole' in een niveo-eolisch pakket, ontstaan door lokaal versnelde afsmelting van de sneeuw in het late voorjaar. Let ook op de talloze scheuren in het aan het oppervlak liggende zandlaagje.

weer verdwijnen door winderosie. De conclusie luidt dan ook, dat niveo-eolisch transport weliswaar een belangrijk proces kan zijn geweest in de duinen dekzandvorming in Noordwest-Europa gedurende het Weichselien, maar dat dit zelden valt af te leiden uit de sedimentaire structuren van deze zanden (Koster & Dijkmans, 1988; Dijkmans, 1990). Het onderzoek heeft ook uitgewezen dat het een misvatting is om te veronderstellen dat windtransport vooral of uitsluitend in de zomer plaatsvindt. Recent onderzoek in diverse gebieden in Noord-Canada (McKenna Neuman, 1990; Lewkowicz, 1991) heeft dit bevestigd. Het zal duidelijk zijn dat zandtransport in de winter nauwelijks optreedt als er sprake is van een continue en dikke sneeuwbedekking. De niet-begroeide delen van periglaciaire rivier systemen zijn de belangrijkste leveranciers van zand voor windtransport. De rivieren zijn uiteraard bevroren in de winter en leveren dan dus geen sediment. In het late voorjaar of de vroege zomer worden echter bij de dan optredende afvoerpieken grote hoeveelheden sediment neergelegd. Daarom zal windtransport vanuit de riviervlakten vooral gedurende de zomermaanden optreden. In de lagere delen van de riviervlakten is ook waargenomen dat zand afwisselend door de wind en door stromend water wordt getransporteerd, de zogenaamde fluvio-eolische afzettingen. Zodra het zand de riviervlakten (brongebieden) echter heeft verlaten kan resedimentatie gedurende het gehele jaar of voornamelijk gedurende de winter optreden afhankelijk van het lokale sneeuw- en windregime (Koster, 1988a).

### Periglaciaire verschijnselen

Periglaciaire verschijnselen, zoals vorst-scheuren, vorstwiggen (ijswiggen en zandwiggen) en vorstheuvelds zijn uiteraard kenmerkend voor koude gebieden en wijzen op seizoenale vorstomstandigheden of permafrost. In de hoge en droge duingebieden in de Kobukvallei komt dit soort verschijnselen echter nauwelijks voor omdat de zanden weliswaar op enige diepte permanent een temperatuur hebben  $< 0^{\circ}\text{C}$  maar niet bevroren zijn omdat er geen water aanwezig is (zogenaamde droge permafrost). In het Groenlandse onderzoekgebied, dat veel dichterbij de riviervlakte ligt, zijn echter kleine vorstheuvelds en zeer fraai ontwikkelde polygonale vorstwigstructuren in de zan-

*Figuur 10. Fragmenten van de kalkkorst die aan het oppervlak aangetroffen wordt in de laagten tussen de grote duinen in de Great Kobuk Sand Dunes (vergl. figuur 3).*



*Figuur 9. Voorbeeld van grote vorstwiggen in de zandvlakte van Sandflugtdalen (figuur 5). Het donkere materiaal aan het oppervlak is humeus zand en sterk zandig veen, de wigvormige structuren zijn goed zichtbaar door een (primaire) opvulling met schoon zand (het meetlint is 70 cm lang). De profielkuil is gegraven op het snijpunt van enkele polygonen.*

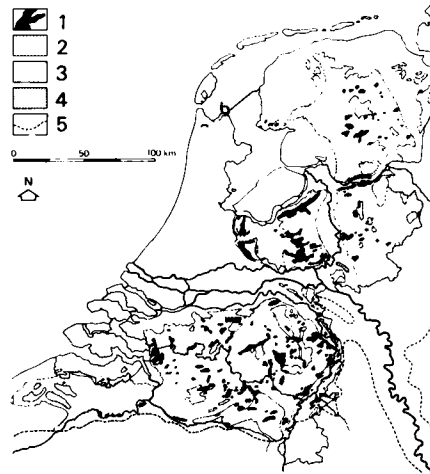


den aangetroffen. Fig. 9 laat een voorbeeld zien van vorstwiggen met een primaire opvulling met eolisch zand. Als dit soort verschijnselen 'fossiliseert' in duin- of dekzanden, dan vormt het een sterke aanwijzing voor het periglaciale karakter van de afzetting.

Het voorkomen van kalkkorsten in gebieden met een warm en droog klimaat is zeer algemeen, maar vormt in periglaciale duingebieden een opmerkelijk verschijnsel.

Tijdens de geomorfologische karteringen van de actieve duincomplexen van de Great Kobuk Sand Dunes en de Nogahabara Sand Dunes (zie fig.10) zijn over grote oppervlakten verspreid voorkomende brokstukken van kalkkorsten aangetroffen (Dijkmans & Koster, 1987). Chemische en mineralogische analyse van deze korsten, waarvan het oppervlak door neerslag en wind sterk verweerd is (fig.10), heeft uitgewezen dat de brokstukken verkit zijn door calciëet (Dijkmans et al., 1986). De kalk is geleverd door oplossing van in het duinzand aanwezige primaire carbonaatkorrels.

De kalkkorsten blijken vooral gevormd te worden aan of nabij het oppervlak aan de lizijde van duinlichamen, waar infiltrerend water uittreedt en de opgeloste kalk neerslaat. Dat dit proces van verkittung zich juist in dit specifieke milieu voltrekt, is waarschijnlijk te verklaren door de sterke temperatuur- en daarmee samenhangende



Figuur 12. De verbreiding van windafzettingen in Nederland en België. 1 - stufzanden, 2 en 3 - dekzanden, continue resp. discontinue bedekking, 4 - complex van stuifzanden en rivierduinen, 5 - begrenzing loess- en zandige loessgebied (naar Koster, 1978).

oplossingsgradiënt in de bodem. In de koude ondergrond (droge permafrost) wordt calciumcarbonaat opgelost, terwijl dit dicht bij het in de zomer warme oppervlak door verlaging van de oplosbaarheid weer neerslaat. De kalkkorsten zijn weliswaar niet erg resistent tegen vertering, maar kunnen toch, bij snelle afdekking door duinzand, gemakkelijk 'fossiliseren'. Kalkkorsten in duinzanden kunnen dus zowel indicatief zijn voor warme als koude condities.

## Noordwest-Europa

De literatuur over eolische zanden in de Noordwest- en Centraaleuropese laagvlakte is zo omvangrijk, dat hier slechts enkele punten aangestipt kunnen worden.

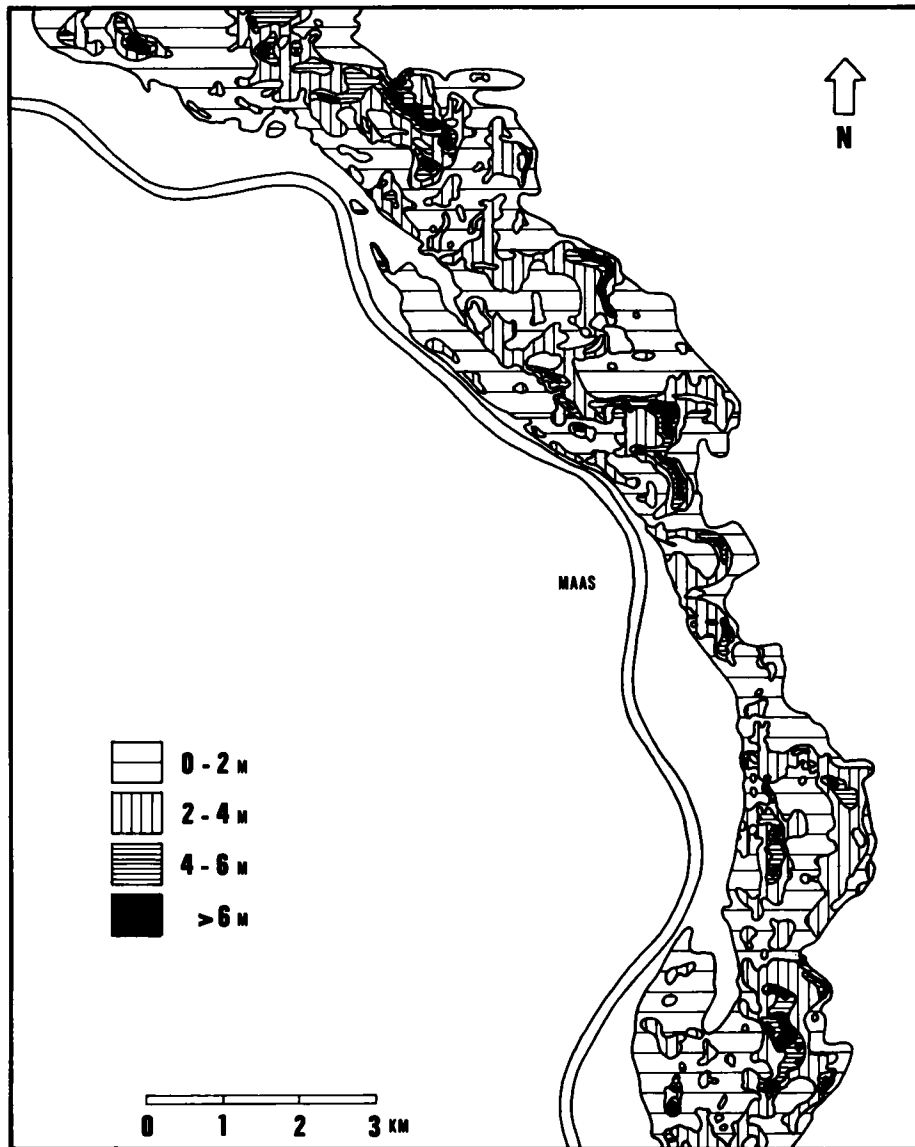
Voor recente overzichten wordt verwezen naar de studies van Koster (1978 en 1988b), Schwan (1988) en Vandenberghe (1991 a en b) voor Nederland, Pyritz (1972) voor Duitsland, Kolstrup et al. (1990) voor Denemarken, en Kozarski (1991) en Nowaczyk (1976) voor Polen.

## Land- en rivierduinen, dekzanden en stuifzanden

De stratigrafische positie van de diverse typen windafzettingen is samengevat in fig. 11. Over de grote verbreiding van de eolische sedimenten (fig. 1) is al gesproken. Fig. 12 laat zien in welke delen van Nederland en België windafzettingen aan het oppervlak voorkomen, terwijl fig. 13 een detailkaartje toont van het grootste rivierduinen complex in Nederland langs de Maas, zoals er vele voorkomen meer naar het oosten langs de Ems, Weser, Elbe, Odra en Wisla. De grote en hoge paraboolduinen, die uit de Jonge-Dryas riviervlakte van de Maas door zuidwestelijke winden zijn opgestoven, lijken in vele opzichten op de rivierduin complexen die ook thans nog tot ontwikkeling komen langs de Kobukrivier

CHRONOSTRATIGRAFIE		Ouderdom B.P.	LITHOSTRATIGRAFIE			Eolische Fasen	Overheersende windrichting	(gem.) juli	Temperatuur °C jaar	°C jan.
			Terminologie							
HOLOCEEN	Subatlantisch		Jonger stuifzand				± WZW	16/17	8.5/10	1/3
	Subborea	3.000	Oudere	Antropogeen	Jongere landduinen ('Jungduinen')					
	Atlantisch	5.000	stuif-							
	Borea	8.000	zanden							
	Preborea	9.000								
WEICHSELIEEN		10.150						17	8	0
	Late Dryas stadiaal	10.950	Jonger / Rivier- Dekzand 2 / duinen				± WZW	12	-1	-11
	Allerød interstadiaal							10/12	-5/-1	-18/-11
	Vroege Dryas stadiaal	11.900	Jonger Dekzand 1				± WNW	± 15	-	-
	Bølling interstadiaal	12.150						± 13	< -2	± -13
		12.400						± 15	-	-
	Vroegste Dryas ?	13.000	Ouder Dekzand 2				± NNW	± 9	± -1	± -10
	Boven	14.000						7/10	-12/-2	-25/-20
	22.500									
	29.000		Ouder Dekzand 1	Gedeeltelijk fluvio-eolisch	Oudere landduinen ('Alduinen')		± NW			

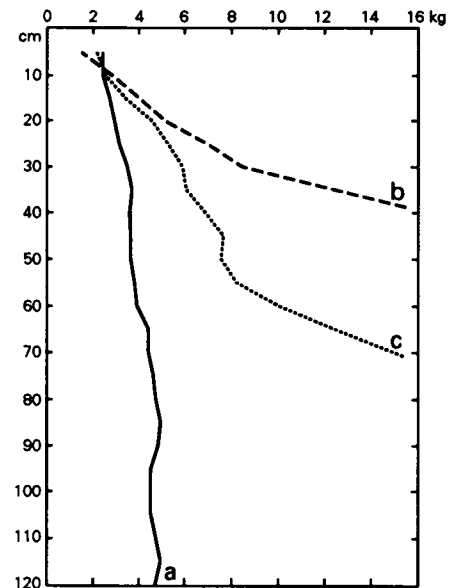
Figuur 11. Opeenvolging van windafzettingen, overheersende wind-(transport)richtingen en temperatuurwaarden gedurende het laat Weichselien en Holoceen in Nederland (naar gegevens van Koster, 1988a en b; Van Geel et al., 1989; Vandenberghe, 1991b).



Figuur 13. De dikte van de complexe paraboolvormige rivierduinafzettingen ten oosten van de Maas (gegevens verzameld door Zhou Li, RUU).

FACIES	DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	STRUCTURES
6 DUNE SAND FACIES (Older inland dunes and river dunes)	dry eolian	dune-foreset cross-bedding, (sub)horizontal lamination
5 SAND SHEET FACIES A (Younger cover sands)	deflation surface, desert pavement	evenly laminated/even horizontal or slightly inclined parallel lamination, rarely cross-bedded/low-angle cross-lamination, granule and adhesion ripples/occasional strings of small pebbles, deflation levels, small frost cracks and cryogenic deformations
	dry eolian (seasonal frost?)	
4 SAND SHEET FACIES B (Older cover sands)	moist eolian (permafrost?)	evenly laminated ("layer-cake")/horizontal alternating bedding, silty laminae or silt layers, adhesion ripples, frost wedges and major cryogenic deformations, "vertical-platy" cracks
	wet eolian (permafrost?)	
3 (EOLIAN-)LACUSTRINE FACIES	shallow pools, eolian supplied material	evenly or wave-ripple laminated, silt and gyttje layers, adhesion lamination
2 (LOCAL) FLOWING-WATER OR FLUVIATILE FACIES A AND B	water current velocity low	fining-upward sequence of climbing-ripple cross-lamination, scour troughs, horizontal lamination, adhesion lamination
	low energy (ripple phase) fast running water	
	low energy (dune phase) fast running water	large-scale trough cross-bedding, sand with scattered granules, no cryogenic deformations
	high energy very fast running water	

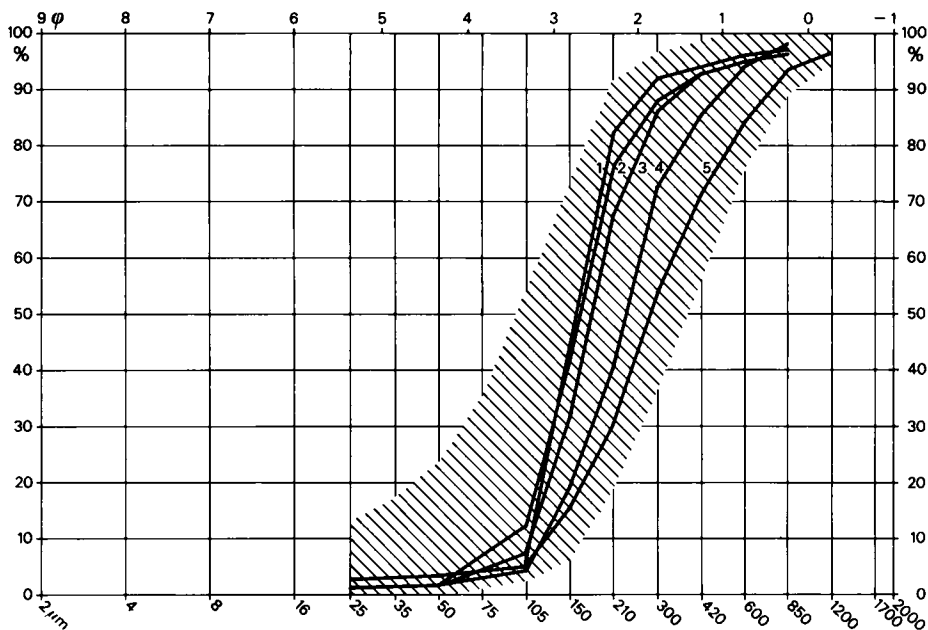
Figuur 14. Afzettingstypen van Weichselien duin- en dekzanden in Noordwest-Europa in min of meer chronologische volgorde, vergelijk figuur 7 (naar Koster, 1988a).



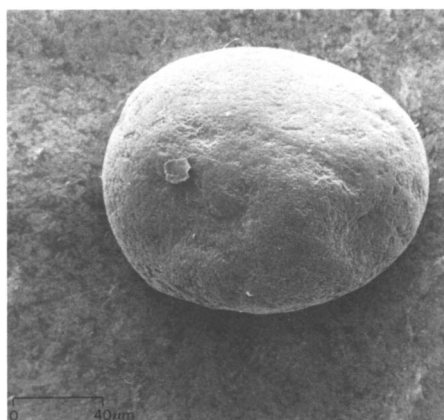
Figuur 16. Gemiddelde indringingsweerstand profielen, die een maat zijn voor de dichtheid van de korrelstapeling, voor a - stuifzand, b - dekzand in uitgestoven laagte, c - stuifzand op dekzand (naar Koster, 1978).

in Alaska. Het is algemeen bekend dat van west naar oost gaande in de zandgordel van de Noordwest- en Centraal-europese laagvlakte het aandeel van dekzanden afneemt en het aandeel van duinzanden (van gelijke ouderdom) toeneemt (vergl. Koster, 1978; Kozarski, 1991; Nowaczyk, 1976; Pyritz, 1972; Schwan, 1988). Meer continentale, droge klimaatcondities in het oostelijke deel van de zandgordel zijn gesuggereerd als verklaring voor dit verschijnsel (Schwan, 1988). Het is tevens algemeen bekend dat Laat-Holocene resedimentatie van dekzanden en andere afzettingen, waarbij de stuifzanden zijn ontstaan, onder invloed van de mens vooral in het westelijke deel van de zandgordel is opgetreden, daar waar de 'oude bouwlandgronden of plaggenbodems' hun grootste verbreiding vinden (Castel et al., 1989; Castel, 1991). Door middel van gedetailleerd onderzoek aan sedimentaire structuren heeft Ruegg (1983) een onderscheid kunnen maken tussen dekzand-accumulatie op natte, vochtige en droge oppervlakken. Schwan (1988) heeft nog meer verschillende stratificatietypen onderscheiden en heeft een jaarlijkse cyclus van sedimentatie voorgesteld ter verklaring van de overwegend horizontale, alternerende siltzand gelaagdheid in dekzanden (zomer - relatief fijn materiaal bij lage windsnelheden; winter - relatief grof materiaal bij hoge windsnelheden). In fig. 14 zijn deze zogenaamde facietypen samengevat en zonder hier in detail op in te gaan mag duidelijk zijn dat deze facies reconstructies redelijk kloppen met de waarnemingen in het

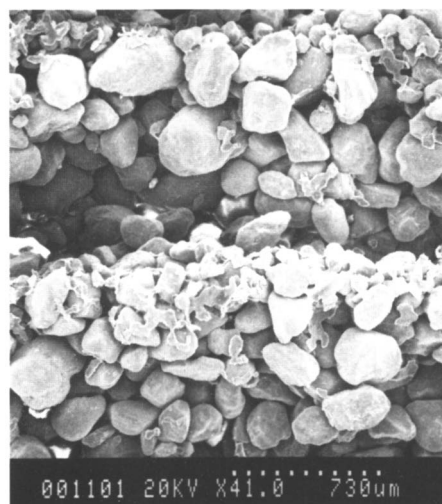




**Figuur 15.** Karakteristieke korrelgrootteverdelingen van eolische zanden in Nederland. 1 - kustduinafzettingen, Westland Formatie, 2 - dekzand, Formatie van Twente, 3 - stuifzand, Formatie van Kootwijk, 4 - rivierduinafzettingen, Formatie van Kreftenheye, 5 - oudere landduinen ('Aldünen'), Formatie van Twente (naar Koster, 1982).



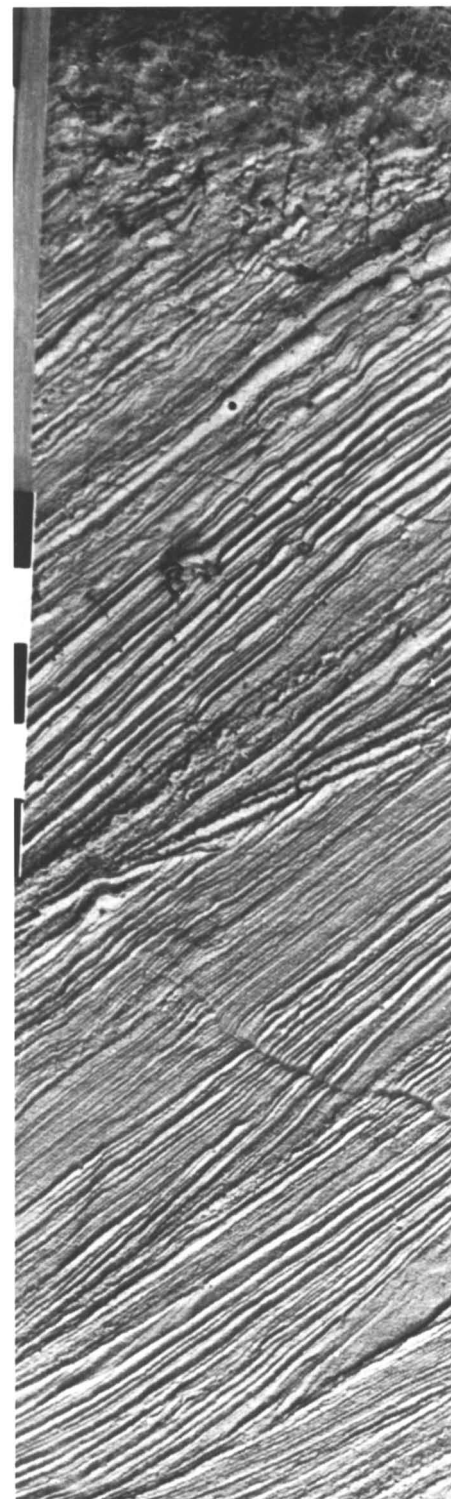
**Figuur 17.** Opname van een perfect afgeronde stuifzandkorrel (diameter ca. 0,14 mm) door een scanning electronen microscoop.



**Figuur 18.** Opname van een klein stukje lakprofiel met een scanning electronen microscoop, ter illustratie van de fijne gelaagdheid in dek- en stuifzand; de twee laagjes met een dikte van elk ongeveer 1,5 mm zijn intern gegradeerd (onderaan fijn naar boven toe grof).

Groenlandse veldwerkgebied. Alhoewel er lithostratigrafisch in Nederland wel verschil gemaakt wordt tussen dekzanden (Formatie van Twente), rivierduinafzettingen (Formatie van Kreftenheye) en stuifzanden (Formatie van Kootwijk) zijn er meer overeenkomsten dan verschillen in materiaaleigenschappen. Fig. 15 laat zien dat er slechts graduele verschillen bestaan in korrelgrootteverdeling van diverse windafzettingen; de door in deze figuur zijn verkregen door de korrelgrootteverdelingen van grote aantallen monsters te middelen. Bestaande verschillen in korrelgrootte, korrelvorm, gewichtsperscentage zware mineralen en mineraalassociaties zijn meestal bepaald door lokale/regionale verschillen in herkomst. Bij ontbreken van al dan niet overstoven bodemprofielen is het

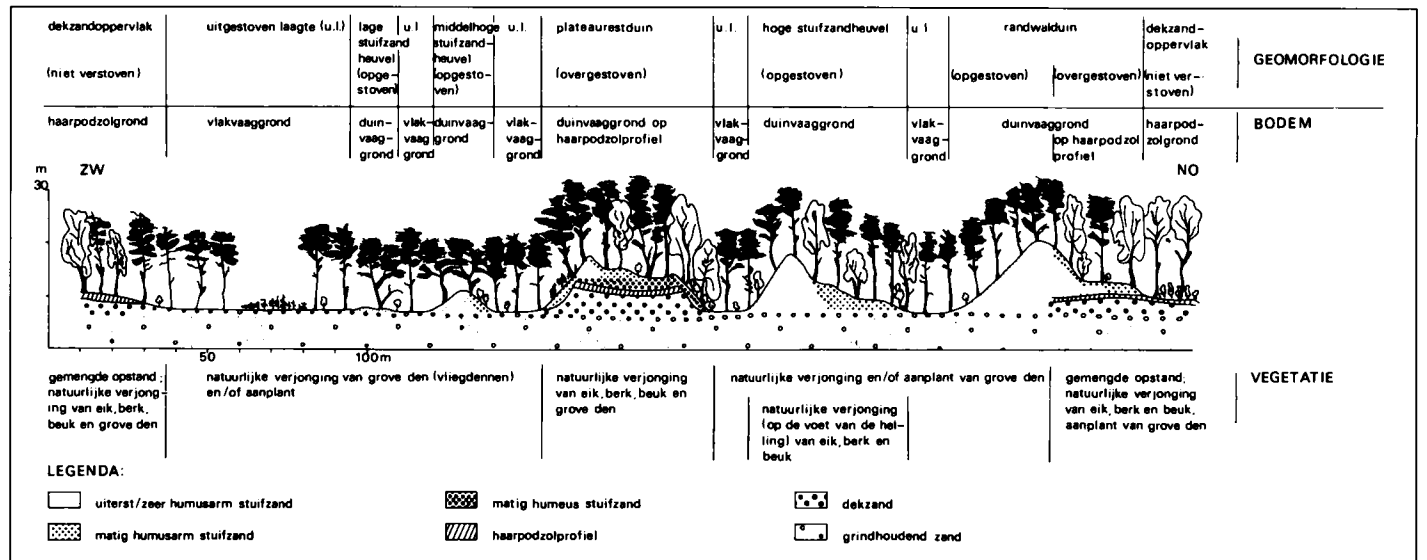
soms moeilijk lithostratigrafisch een onderscheid te maken tussen dekzanden en stuifzanden. Een weinig bekend, maar goed veldkenmerk op grond waarvan het onderscheid dan wel gemaakt kan worden, is de mate van pakking of korrelstapeling van het zand (Koster, 1978). Hiervan kan men een indruk krijgen door het verloop van de indringingsweerstand te bepalen met behulp van een simpele handpenetrometer (fig.16). Hiertoe drukt men een conus met een constante snelheid de grond in en bepaalt dan de kracht die nodig is voor deze handeling. De Nederlandse dek- en stuifzanden bestaan



**Figuur 19.** Lakprofiel van sterk hellend, groot-schalig scheefgelaagd stuifzand. De maatverdeling is in decimeters.

over het algemeen uit kwartsrijke, redelijk tot goed afgeronde, goed gesorteerde en fijn gelamineerde zanden. Een voorbeeld van een perfect afgeronde kwartskorrel wordt gegeven in fig. 17, terwijl fig. 18 laat zien hoe een fijn gelamineerd pakket er in detail uitziet.

Zoals al eerder ter sprake is gekomen zijn de dekzanden veelal (sub)horizontaal gelaagd, terwijl stuifzanden ook sterk hellende, scheefgelaagde pak-



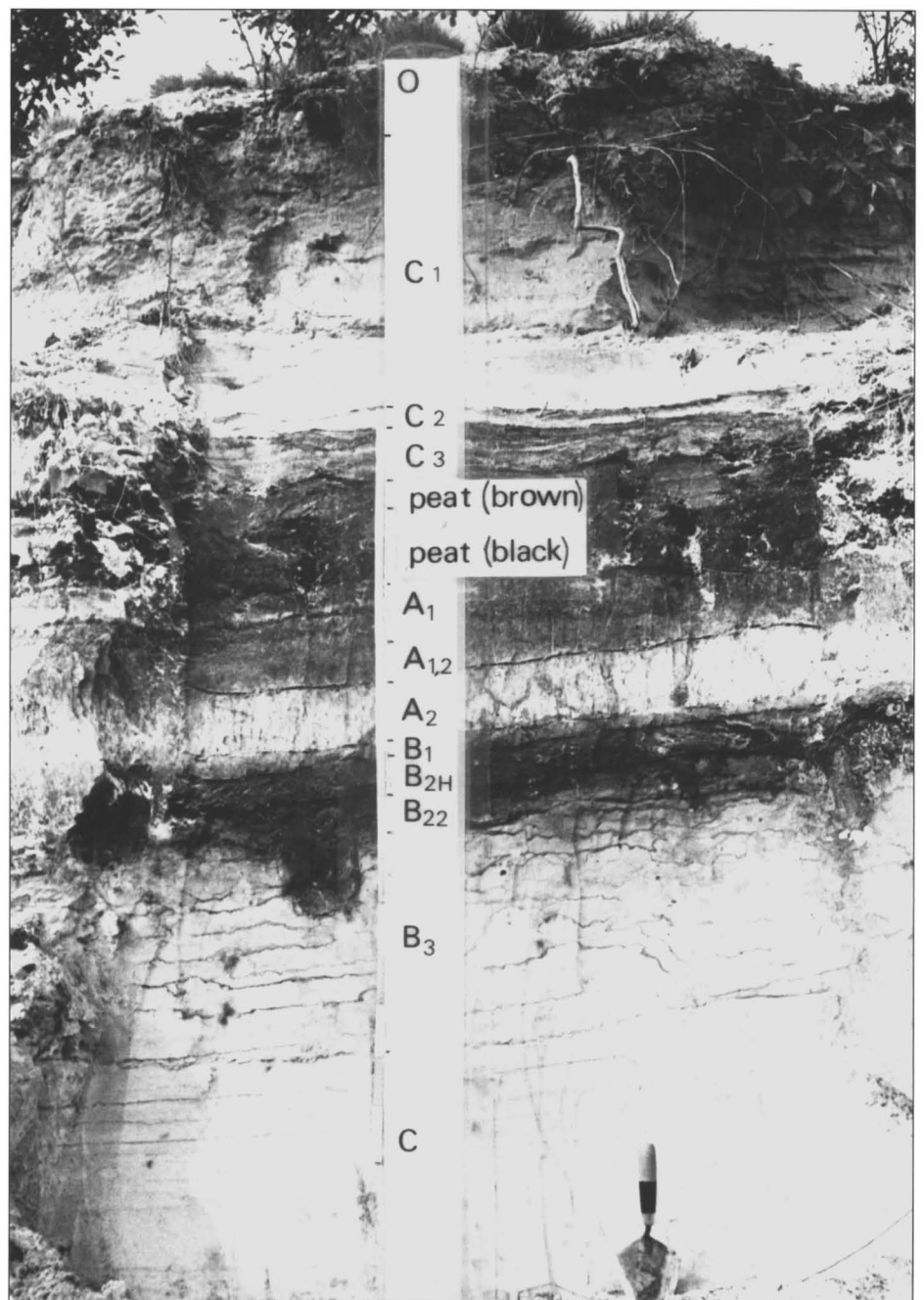
Figuur 20. Schematische doorsnede van een stuifzandlandschap ter illustratie van de relaties tussen bodem, geomorfologie en vegetatie ontwikkeling (naar Castel et al., 1983).

ketten, vooral aan de lizijde van duinen, kunnen bevatten (fig. 19). Wat reliëfontwikkeling betreft is er natuurlijk een duidelijk verschil tussen dek- en stuifzanden. Bij langdurige verstuiwing ontstaat uit een zwakgolvend dekzandgebied door omkering van het reliëf een sterk geaccidenteerd stuifzandlandschap (fig. 20). Bij aanwezigheid van overstoven bodemprofielen of veen (fig. 21) is het mogelijk door pollenanalytisch onderzoek en C-14 dateringen van het organische materiaal tot een chronologie van verstuiwingsfasen te komen (vergl. fig.11). Castel et al. (1989), Castel (1991) en Van Mourik (1988) geven hiervan vele voorbeelden en concluderen dat de Laat-Middeleeuwse fase verreweg de belangrijkste is geweest in Noordwest-Europa.

### Paleoklimatologische betekenis

Het duinonderzoek kent vele facetten die enerzijds gericht zijn op het begrijpen van het proces van transport en sedimentatie en anderzijds op de reconstructie van afzettingscondities (facies); door de resultaten van beide typen onderzoek te combineren kan men tot een zo volledig mogelijke paleo-milieureconstructie komen en verkrijgt men informatie over het paleoklimaat (Koster, 1988a).

Wat dit laatste betreft is het mogelijk gebleken op grond van grote aantallen waarnemingen in duingebieden data te verzamelen over de verdeling van paleo-windrichtingen en -snelheden, die in de vorm van paleo-circulatiepa-



Figuur 21. Stuifzand op een *Sphagnum-Eriophorum* veenlaagje op een humuspodsol in dekzand, lokatie nabij Herzlake langs de Ems, Duitsland.

tronen voor bepaalde tijdsintervallen kunnen worden weergegeven (Kutzbach & Wright, 1985; Koster, 1988a). Hiervoor bestaat de laatste tijd veel belangstelling in het kader van de discussie over (toekomstige) klimaatveranderingen. Het biedt namelijk de mogelijkheid de betrouwbaarheid van klimaat-simulaties, die niet alleen voor de toekomst maar ook voor het verleden gemaakt kunnen worden, te evalueren.

### Dateringsproblemen

De hierboven vermelde klimaatreconstructies hebben natuurlijk alleen dan zin indien het mogelijk is fasen van duin- en dekzandvorming eenduidig en gedetailleerd te dateren. Zoals ondermeer uit de stratigrafische tabel in fig. 11 blijkt, zijn ouderdomsbepalingen van eolische fasen bijna uitsluitend gebaseerd op datering van bodems, veen etc. die juist de stabiele, niet-eolische fasen representeren. Maar niemand weet of tijdens de gehele of slechts delen van de tussenliggende perioden (zoals het Oude- en de Jonge-Dryas stadiaal) windwerking actief was. Mogelijk dat in de toekomst door verfijning van de methoden van thermo- en optische luminescentie dateringen van de windafzettingen zelf hierin vooruitgang geboekt kan worden (zie b.v. Dijkmans, 1990; Dijkmans et al., 1992; Kolstrup et al., 1990). Ondanks vele, nog resterende methodologische problemen lijken de eerste, onlangs gepubliceerde dateringen van dekzanden van het Laat-Glaciaal en Laat-Holocene stuifzanden veelbelovend.

### Conclusies

a. Periodiek droogvallende delen van riviervlakten, zowel van vlechtende als van sterk migrerende, meanderende rivieren, vormen veelal de bron van eolisch sediment. Dit vindt vooral plaats in de periode na de 'break-up' van het rivierijs en de hiermee samenhangende hoge afvoeren. Hierop volgend neemt de afvoer namelijk meestal snel af en drogen de zojuist afgezette riviersedimenten op, waardoor ze door de wind opgenomen kunnen worden. In windafwaartse richting vanaf de bron wordt vaak een opeenvolging van grof- en fijnzandige fluvio-eolische zanden, overwegend fijnzandige 'dekzand'achtige pakketten en vervolgens zandige en pure loessafzettingen aangetroffen. Duinvormen ontstaan daar waar het zand in bestaande vegetatie vastloopt en bovendien per tijdseenheid relatief grote hoeveelheden zand voor windtransport beschikbaar zijn.

b. De duinvormen die in periglaciale gebieden voorkomen lijken in prac-

tisch alle opzichten op hun soortgenoten in warm-aride gebieden; zowel transversale en longitudinale duinen komen voor, evenals paraboolduinen en barchaanachtige vormen. Permafrost speelt hierbij geen belangrijke rol. Welk type duin op een bepaalde plaats tot ontwikkeling komt is, net zoals in 'warme woestijnen', afhankelijk van de bodemruwheid (incl. de vegetatie), het wind- en neerslagregime en de beschikbaarheid van veel of weinig sediment.

De laatste factor lijkt ook van belang te zijn voor de ontwikkeling van duin- resp. dekzandvormen, maar koude gebieden waar thans op grote schaal dekzandvorming plaatsvindt zijn nog niet goed onderzocht.

c. Afhankelijk van wind- en sneeuwregime kan windtransport gedurende het hele jaar, vooral gedurende de zomer (continue sneeuwbedekking in de winter), of vooral gedurende de winter (te nat oppervlak in de zomer) optreden. Niveo-eolische verschijnselen komen veelvuldig voor, maar structuren die wijzen op denivatie blijven zelden bewaard in het sediment, en dan nog eerder in duinzanden dan in dekzanden. Het is onjuist te beweren dat een fijne al dan niet horizontale gelaagdheid op zich, of het voorkomen van gehomogeniseerde zandpakketten wijst op niveo-eolische activiteit. Bij denivatie ontstaan juist lokale verstoringen (breukjes, scheurtjes, depressies etc.) in de eolische gelaagdheid.

d. De materiaaleigenschappen (textuur, mineraalinhoud) van windafzettingen in 'koude woestijnen' zijn net zoals in gematigde streken en warme gebieden primair afhankelijk van de aard van het herkomstmateriaal en in tweede instantie van de aard en intensiteit van het transportmechanisme. De betekenis van periglaciale verschijnselen in windafzettingen is reeds veelvuldig door anderen benadrukt (vergl. Vandenbergh, 1991a en b; Kozarski, 1991).

### Toekomstig onderzoek

Toekomstig onderzoek zal vooral gericht moeten zijn op verduidelijking van de volgende vraagpunten, die in de loop van het onderzoek naar voren zijn gekomen en die nog onvoldoende onderzocht konden worden:

a. Onder welke condities vindt thans in delen van de Alaskan Arctic Coastal Plain (Noord-Alaska) 'dekzand' sedimentatie plaats, inclusief de vorming van grote paraboolvormige dekzandruggen van geringe hoogte?

b. Welke factoren van bodemruwheid en wind- en neerslagregime in (semi)aride periglaciale gebieden bepalen in detail het proces van duin-

dekzand- en loessvorming?. Hiervoor zullen meetcampagnes, ook in de winter, uitgevoerd moeten worden.

c. Welke relaties bestaan er tussen het optreden van fasen van windtransport en -sedimentatie en de vegetatieontwikkeling onder invloed van het klimaat?; b.v. in een randglaciaal-gebied nabij Søndre Strømfjord.

d. Kunnen de (stadiale?) fasen van eolische sedimentatie gedurende het Weichselien in Noordwest-Europa gesynchroniseerd worden, b.v. door middel van thermo- of optische luminescentie dateringen van zand?

### Verantwoording

Deze publicatie is in belangrijke mate gebaseerd op de dissertaties van Dr. J.W.A. Dijkmans en Dr. I.I.Y. Castel (RUU), waarvan de auteur dankbaar gebruik heeft gemaakt. De auteur is tevens dank verschuldigd aan Drs. R. Isarin (RUU) voor het verrichten van literatuuronderzoek en het vervaardigen van enkele figuren.

### Summary

The areal extent, geomorphology, sediment attributes, litho- and chronostratigraphy of the large Weichselian and Holocene 'sand belt' in the Northwestern and Central European lowlands have often been subject of research. However, the climatic conditions under which transport and sedimentation took place, the influence of permafrost and vegetation on form development, and the character of the most-probable fluvial source areas are difficult to reconstruct on the basis of the resultant form and sediment characteristics alone. Therefore comparative studies on eolian processes have been carried out in dune and cover sand areas in Northwestern Alaska and Western Greenland, where present-day (periglacial) environmental conditions approach those prevailing during the Weichselian in Northwestern Europe.

### Adres van de auteur:

Vakgroep Fysische Geografie  
Rijksuniversiteit Utrecht  
Postbus 80.115  
3508 TC Utrecht

### Literatuur

Castel, I.I.Y., Fanta, J. & E.A. Koster 1983. De Vallei van de Leuvenumse Beek (Noordwestelijke Veluwe) Een fysisch-geografische streekbeschrijving. Geogr. Tijds. 17, 85-104. Wet. Med. K.N.N.V. 159, pp.55.

- Castel, I.I.Y., Koster, E.A. & R.T.Slotboom 1989. Morphogenetic aspects and age of late Holocene eolian drift sands in Northwest Europe. *Zeits. f. Geom.* 33, 1-26.
- Castel, I.I.Y. 1991. Late Holocene eolian drift sands in Drenthe (The Netherlands). *Diss.Utrecht, Ned.Geogr.Studies* 133, pp.156.
- Dijkmans, J.W.A., Koster, E.A., Galloway, J.P. & W.G.Mook 1986. Characteristics and origin of calcretes in a subarctic environment. Great Kobuk Sand Dunes, Northwestern Alaska, U.S.A. *Arctic and Alpine Res.* 18, 377-387.
- Dijkmans, J.W.A. & E.A. Koster 1987. Eolische verschijnenselen in (actuele) periglaciale milieus. Eerste resultaten van onderzoek in Subarctisch Noordwest Alaska. *Geogr. Tijds.* 21, 152-167.
- Dijkmans, J.W.A. 1990. Aspects of geomorphology and thermoluminescence dating of cold-climate eolian sands. *Diss. Utrecht, Ned. Geogr. Studies* 111, pp. 250.
- Dijkmans, J.W.A. & E.A.Koster 1990. Morphological development of dunes in a subarctic environment. Central Kobuk Valley, Northwestern Alaska. *Geogr. Annaler* 72A, 93-109.
- Dijkmans, J.W.A., Van Mourik, J.M. & A.G. Wintle 1992. Thermoluminescence dating of aeolian sands from polycyclic soil profiles in the southern Netherlands. *Quat. Science Reviews* 11, 85-92.
- Kolstrup, E., Grun, R., Mejdahl, V., Packman, S.C. & A.G. Wintle 1990. Stratigraphy and thermoluminescence dating of Late Glacial cover sand in Denmark. *Journ. of Quat. Science* 5, 207-224.
- Koster, E.A. 1978. De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch-geografische studie. *Diss. Amsterdam, Publ. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab.* 27, pp. 195.
- Koster, E.A. 1982. Terminology and lithostratigraphic division of (surficial) sandy eolian deposits in The Netherlands: an evaluation. *Geol. & Mijnb.* 61, 121-129.
- Koster, E.A. 1988a. Ancient and modern cold-climate aeolian sand deposition: a review. *Journ. of Quat. Science* 3, 69-83.
- Koster, E.A. 1988b. Eolian processes and deposits. In: Dietvorst, A.G.J. & F.J.P.M. Kwaad (eds.) *Geographical research in The Netherlands 1978-1987. Ned. Geogr. Studies* 64, 101-111.
- Koster, E.A. & J.W.A.Dijkmans 1988. Niveo-aeolian deposits and denivation forms with special reference to the Great Kobuk Sand Dunes, Northwestern Alaska. *Earth Surf. Proc. and Landforms* 13, 153-170.
- Koster, E.A., Castel, I.I.Y. & R.L. Nap (in druk) Genesis and sedimentary structures of late Holocene aeolian drift sands in Northwest Europe. In: Pye, K. (ed.) *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems. Geol. Soc. Spec.Publ.* London.
- Kozarski, S. (ed.) 1991. Late Vistulian (=Weichselian) and Holocene aeolian phenomena in Central and Northern Europe. *Zeits. f. Geom. Supplementband* 90, pp.207.
- Kutzbach, J.E. & H.E. Wright 1985. Simulation of the climate of 18,000 years BP: Results for the North American/North Atlantic/European sector and comparison with the geologic record of North America. *Quat. Science Rev.* 4, 147-187.
- Lea, P.D. & C.F. Waythomas 1990. Late-Pleistocene eolian sand sheets in Alaska. *Quat. Res.* 34, 269-281.
- Lewkowicz, A.G. 1991. Observations of aeolian transport and niveo-aeolian deposition at three lowland sites. *Canadian Arctic Archipelago. Permafrost and Periglacial Processes* 2, 197-210.
- McKenna Neuman, C. 1990. Observations of winter aeolian transport and niveo-aeolian deposition at Crater Lake, Pangnirtung Pass, N.W.T., Canada. *Permafrost and Periglacial Processes* 1, 235-247.
- Nowaczyk, B. 1976. Eolian cover sands in Central-West Poland. *Quaestiones Geographicae* 3, 57-77.
- Pye, K. & H.Tsoar 1990. *Aeolian sand and sand dunes.* Chapman & Hall, pp. 396.
- Pyritz, E. 1972. Binnendünen und Flugsandebenen im Niedersächsischen Tiefland. *Göttinger Geogr. Abhandl.* 61, pp. 153.
- Ruegg, G.H.J. 1983. Periglacial eolian evenly laminated sandy deposits in the Late Pleistocene of NW Europe, a facies unrecorded in modern sedimentological handbooks. In: Brookfield, M.E. & T.S. Ahlbrandt (eds.) *Eolian sediments and processes.* Elsevier, 455-482.
- Schwan, J. 1988. Sedimentology of coversands in Northwestern Europe. *Diss.Amsterdam, Sed.Geology* 49 (1986), 73-108; 52 (1987), 273-298; 55 (1988), 197-232.
- Vandenberghe, J. 1991a. Changing conditions of aeolian sand deposition during the last deglaciation period. In: Kozarski, S. (ed.) *Late Vistulian (=Weichselian) and Holocene aeolian phenomena in Central and Northern Europe. Zeits. f. Geom. Supplementband* 90, 193-207.
- Vandenberghe, J. 1991b. Excursion guide Symposium periglacial environments in relation to climatic change. *Vrije Universiteit, Amsterdam.* pp. 171.
- Van Geel, B., Coope, G.R. & T. Van der Hammen 1989. Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60, 25-129.
- Van Mourik, J.M. (red.) 1988. *Landschap in beweging. Ontwikkeling en bewoning van een stuifzandgebied in de Kempen.* Ned. Geogr. Studies 74, pp. 191.



## Een geologische gids voor Drenthe

Begin juli verscheen 'In de Bodem van Drenthe. Geologische gids met excursies', 286 pp., meer dan 80 foto's waarvan 20 in kleur. Het boek bestaat uit drie delen. In het eerste en meest omvangrijke gedeelte wordt de geologische geschiedenis van Drenthe gedurende de afgelopen 300 miljoen jaar chronologisch beschreven. In het tweede deel worden een aantal thematische onderwerpen behandeld, waaronder zwerfstenen, fossiele zoogdieren en prehistorische overblijfselen. Het derde deel omvat beschrijvingen van vier excursies in verschillende delen van Drenthe.

Het boek werd geschreven door een twaalfstal specialisten in de diverse vakgebieden, o.a. werkzaam bij de Rijks Geologische Dienst, de Universiteit van Amsterdam en het Drents Museum. Er is getracht de huidige kennis en moderne ontwikkelingen van de verschillende onderwerpen toegankelijk te maken voor een groter publiek, maar er is niet nagelaten hier en daar wat dieper te graven, zodat ook de ingewijden aan hun trekken kunnen komen.

De winkelprijs is fl. 39,50. Leden van de NGV kunnen het boek ook direct bij de uitgever bestellen door overmaking

van fl. 35,00 (inclusief verzendkosten) op gironummer 1723729 t.n.v. Lingua Terrae, Postbus 3697, Amsterdam, onder vermelding van 'Boek Drenthe'.