

SEDIMENTOLOGIE VAN STUIFZAND

Een groot deel van Nederland is bedekt door wind-afzettingen. Dit betreft zowel dekzand- en löss-afzettingen van de laatste en daaraan voorafgaande ijstijden, als jongere kustduin-, rivierduin- en landduinafzettingen. De windafzettingen van (Jong) Holocene ouderdom, die niet aan de kust en/of rivieren zijn gebonden, worden stuifzanden genoemd. De materiaaleigenschappen van deze stuifzanden zijn heel kenmerkend voor de transport- en afzettings-mechanismen tijdens intensief windtransport. Met behulp van combinaties van eigenschappen, zoals de korrelgrootteverdeling, de sedimentaire structuur en de mineralogische samenstelling, kan de herkomst van het stuifzand en de aard van het windtransport gereconstrueerd worden.

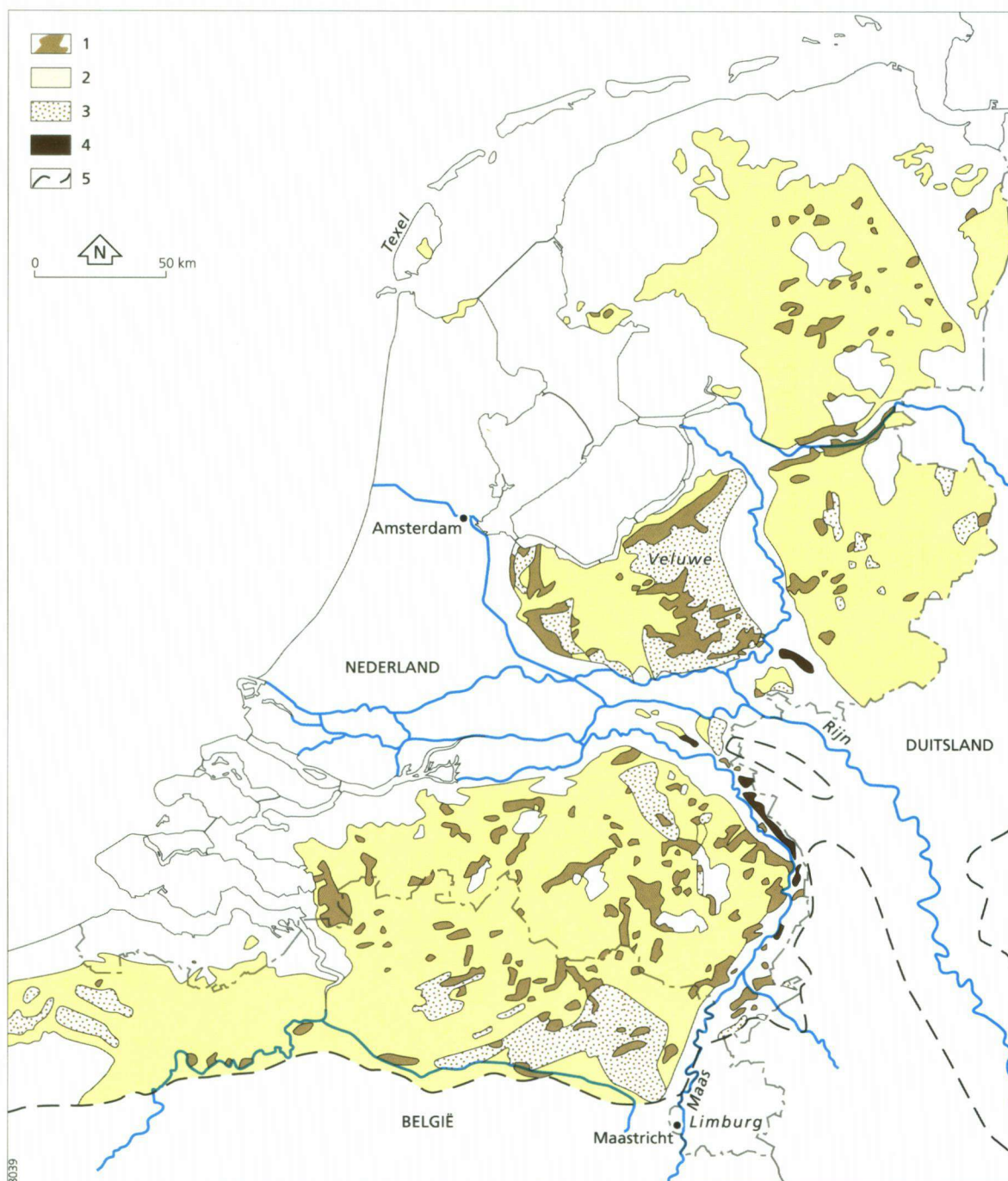
Materiaalonderzoek

Bij de bestudering van een sedimentcomplex - zoals zandige windafzettingen - kan ruwweg een onderscheid gemaakt worden in drie onderzoekrichtingen:

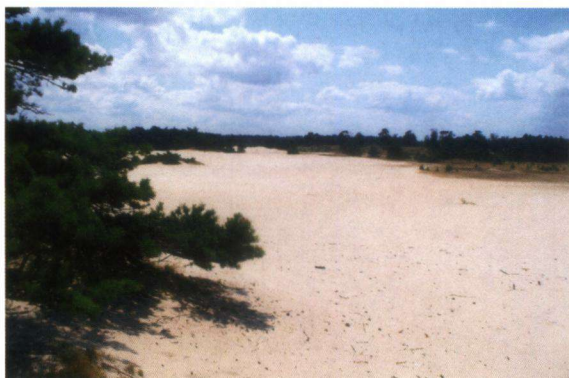
- a. De bestudering van de sedimentaire *textuur*, d.w.z. de korrelgrootteverdeling en de fysische eigenschappen van de korrels in de afzetting; hierbij kan men denken aan de aard van het oppervlak van de korrels, aan de gewichts-, vorm-, en afrondingsverdeling van de korrels en aan de korreloriëntatie en -stapeling.
- b. De bestudering van de sedimentaire *structuur*, d.w.z. de ruimtelijke organisatie of desorganisatie van de interne gelaagdheid in een afzetting op een horizontale en/of verticale doorsnede; de belangrijkste structuurelementen zijn horizontale en scheve gelaagdheid, laagvlak-kenmerken en allerlei vormen van verstoringen van de gelaagdheid. Gelaagdheid kan veelal geconstateerd worden op grond van verschillen in korrelgrootteverdeling, mineralogische en/of chemische samenstelling, cementatie, compactie en kleur.
- c. De bestudering van de petrografische en mineralogische *samenstelling* en de paleontologische inventarisatie, d.w.z. de aard van de voorkomende gesteentefragmenten en (zwarte, lichte en klei-) mineralen. De paleontologische inventarisatie heeft betrekking op de fossielinhoud en op het voorkomen van specifieke componenten, zoals hout, veen, bot, aardewerkfragmenten etc.

Combinaties van textuur-, structuur-, en samenstellingskenmerken maken een *paleogeografische reconstructie* mogelijk, waarin factoren als de herkomst van het sediment en de aard, richting, snelheid en constantheid van het sedimentatieproces een rol spelen. Bij dit soort reconstructies moet men echter bijna altijd gebruik maken van associaties van

Afbeelding 1.
Verbreiding van
windafzettingen in
Nederland en België.
1: stuifzanden,
2: dekzanden,
continue bedek-
king;
3: dekzanden, discon-
tinue bedekking;
4: complex van
stuifzanden en
rivierduinen,
5: begrenzing löss- en
zandige lössge-
bied.



Afbeelding 2.
Actief stuifzand-
gebied in het
Hulshorster Zand.

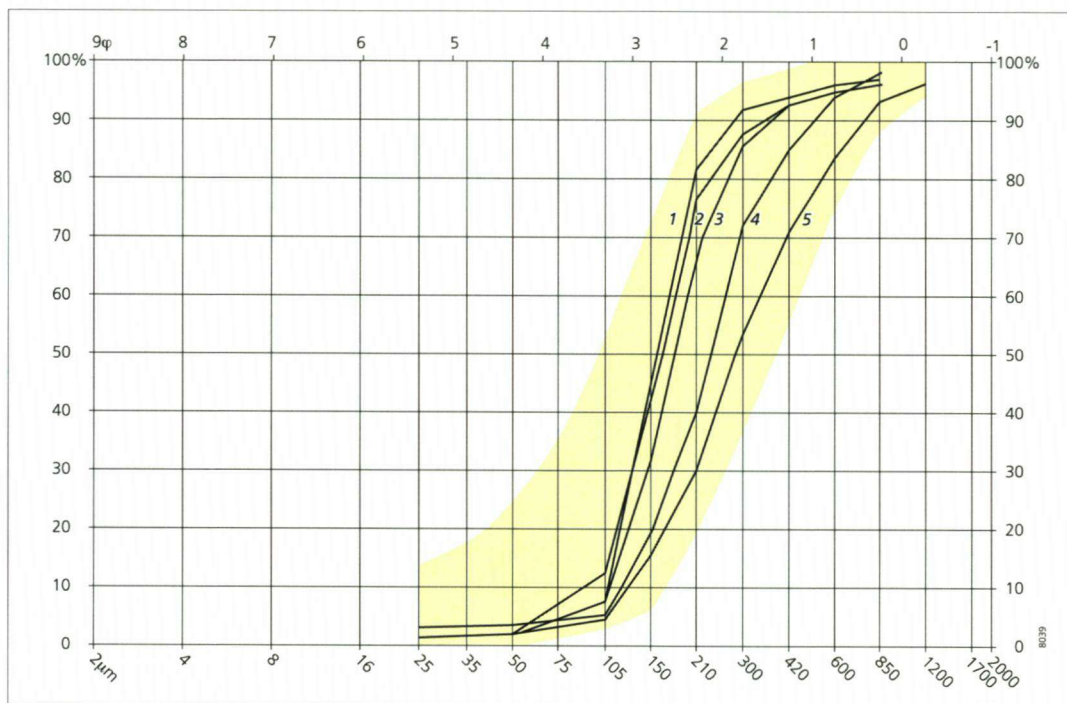


kenmerken; afzonderlijke kenmerken op zich zijn zelden doorslaggevend. In dit verband is ook het begrip *facies* van belang. Dit begrip wordt in zeer vele betekenissen gehanteerd, maar kan in de sedimentologie omschreven worden als het complex van materiaaleigenschappen, dat een bepaalde afzetting op een bepaalde plaats karakteriseert ("de som van de eigenschappen

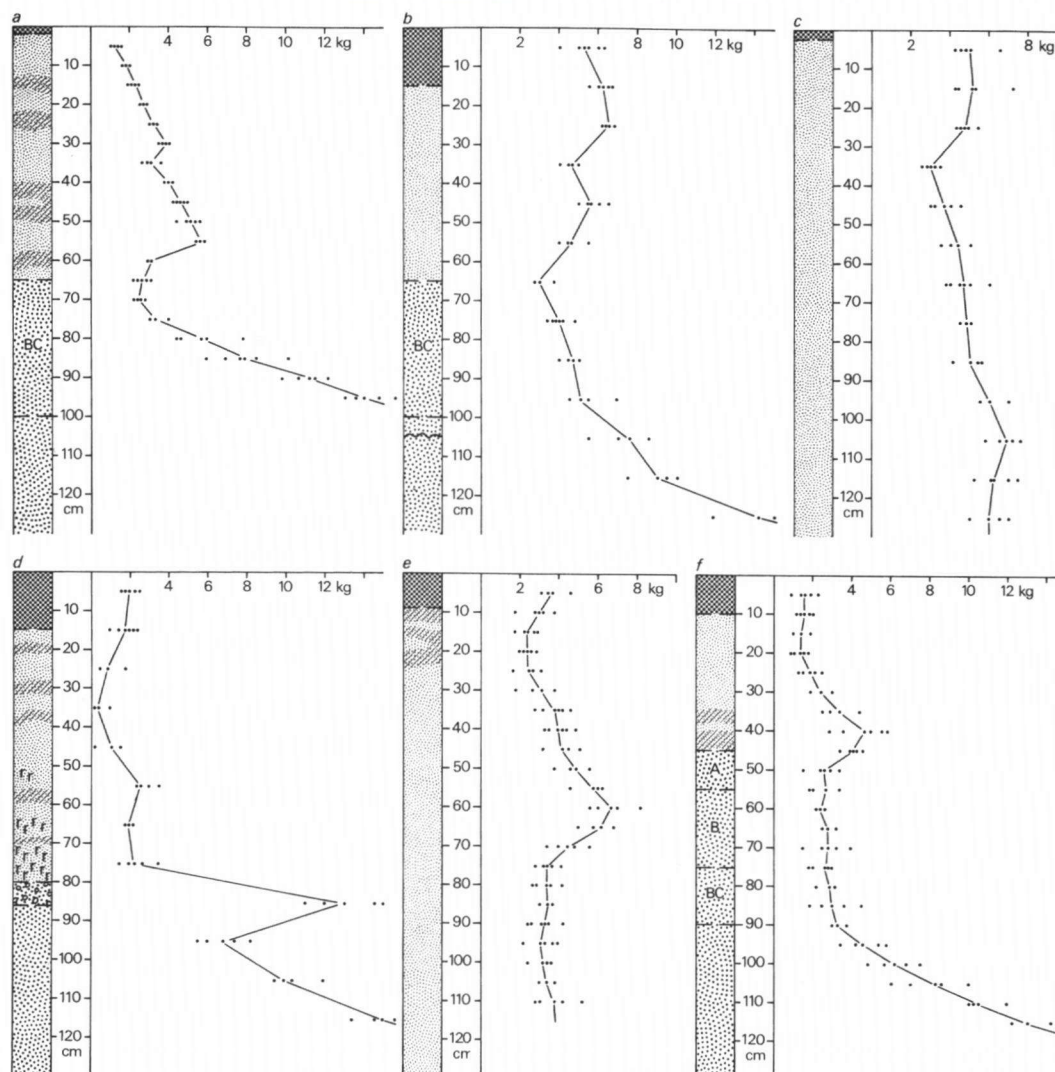
die bij het ontstaan zijn verkregen"). In dit korte overzichtsartikel over stuifzandafzettingen worden de materiaaleigenschappen volgens bovenstaand schema behandeld.

Terminologie

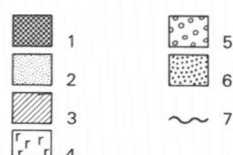
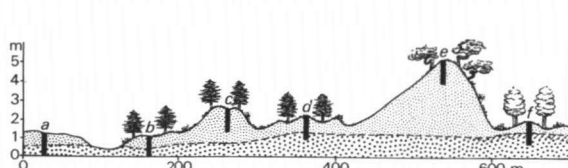
Stuifzanden, die ook wel als landduinafzettingen worden aangeduid – in tegenstelling tot kust- en rivierduinafzettingen – maken deel uit van de grote "Europese zandgordel" in noordwest en centraal Europa (Koster, 1992, 2010). Deze zandgordel loopt van East Anglia in Engeland via België en Nederland, Duitsland en Polen tot ver in Europees Rusland. Vooral in het westelijk gedeelte van deze enorme zandgordel komen stuifzanden veelvuldig voor met een geschat areaal van 3.000 à 4.000 km². Deze stuifzandafzettingen zijn het gevolg van intensieve winderosie gedurende het Laat-Holocene, waarbij vooral de uitgebreide aan de oppervlakte liggende dekzandafzettingen in verstuiving zijn geraakt. De verstuiving wordt veelal toegeschreven aan vernietiging van de vegetatie door de mens, maar



Afbeelding 3.
Karakteristieke
korrelgrootteverde-
lingen van zandige
windafzettingen in
Nederland.
1: kustduinafzet-
tingen,
2: dekzanden,
3: stuifzanden,
4: rivierduinafzet-
tingen,
5: oudere stuifzand/
landduinafzet-
tingen.
Bron: Koster, 1982.

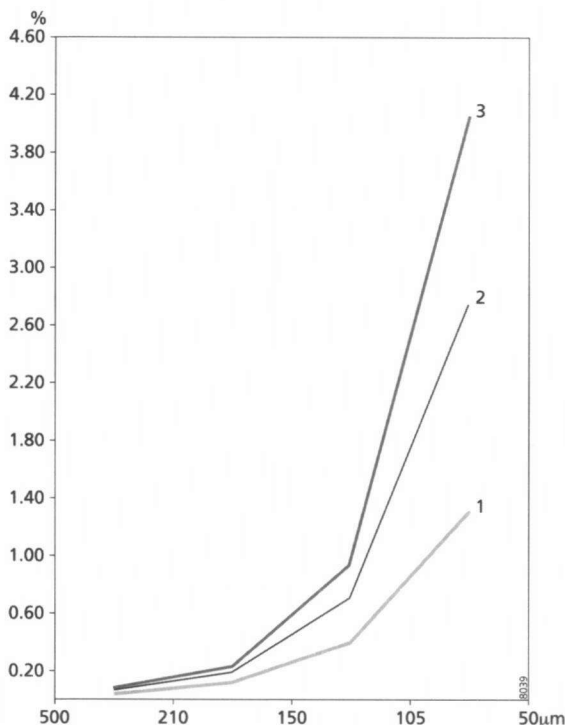


Afbeelding 4.
Indringingsweer-
stand in stuifzand-
profielen gemeten
met een hand-
penetrometer (een
conus van 1 cm²
met een tophoek
van 60° is gebruikt),
en bijbehorende
schematische
doorsnede van
een deel van het
Otterlose Bos. a, b
en d: stuifzand op
uitgestoven laagte
in dekzand, f: stuif-
zand op bodempro-
fiel in dekzand, c en
e: dik stuifzandpak-
ket. 1: micropodzol,
2: stuifzand, 3:
humeuze laagjes in
stuifzand, 4: 'rood
zand', 5: (deflatie-)
grindlaagje, 6:
dekzand, 7: grond-
waterniveau. Bron:
Koster, 1978.



natuurlijke oorzaken kunnen niet geheel uitgesloten worden. Het overgrote deel van de stuifzanden is thans gestabiliseerd door bebossing (door de mens) en spontane opslag van vegetatie. Vooral in de late 19^e en vroege 20^e eeuw vond op uitgebreide schaal bebossing plaats, vooral met grove den (*Pinus sylvestris*) en in mindere mate met zwarte den (*Pinus nigra*) en met Douglasspar (*Pseudotsuga menziesii*). Veel van dit hout werd gebruikt als stuthout in de steenkoolmijnbouw. De laatste decennia vindt bovendien spontane opslag van vegetatie versneld plaats ten gevolge van luchtverontreiniging, die o.a. tot neerslag van stikstof leidt.

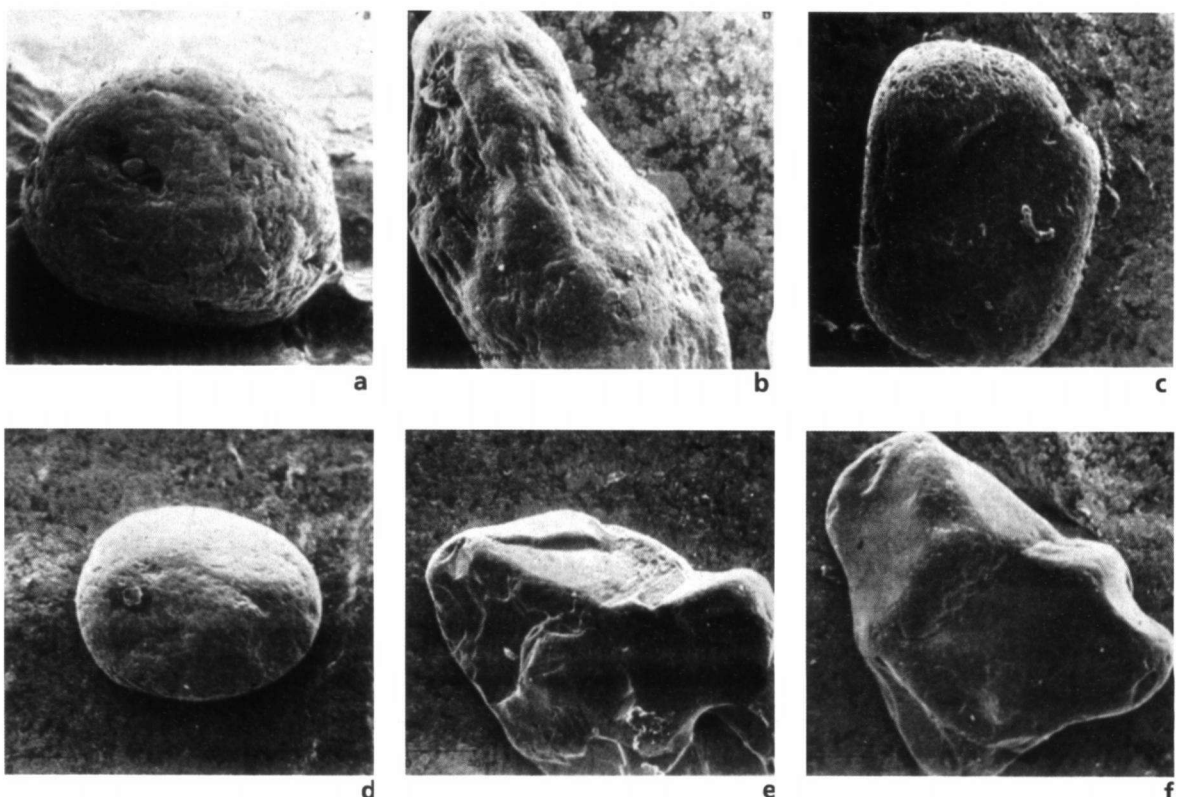
Afbeelding 5.
Toename van gewichtspercentages zware mineralen bij afname van de korrelgrootte van Noord- (1), Midden- (2) en Oost-Veluwse (3) stuifzanden.



De omvang van de stuifzandcomplexen in België, Duitsland en Denemarken wordt geschat op 200-300 km², resp. 1.400-2.000 km² en resp. 450-550 km² (Koster, 1992; Koster et al., 1993). De vele, min of meer geïsoleerde stuifzandcomplexen in Nederland beslaan een oppervlakte van ca. 950 km² (Afb. 1). Hiervan is nog maar een zeer klein deel, ca. 2% = 15-16 km² niet gestabiliseerd en actief in beweging. Op de Veluwe komen de grootste stuifzandgebieden voor (> 300 km²); de in de onderstaande tekst becijferde materiaalkenmerken betreffen gemiddelde waarden voor de Veluwse stuifzandcomplexen van het Oud-Reemster en Deelense Zand in het zuiden, via het Otterlose, Harskampse, Kootwijker en Stroese Zand naar de 30 km lange WZW-ONO geörienteerde stuifzandzone op de Noord Veluwe. Het Hulshorster Zand (Afb. 2) is een goed voorbeeld van een steeds verder door algen, korst- en bladmossen, grassen, heide en vliegdennen dichtgroeïend stuifzandgebied; rond 1900 bestond nog ca. 4 km² uit actief stuivend zand, rond 1970/80 was dit teruggelopen tot minder dan 1 km² en in 2006 was dit areaal nog slechts 0,35 km².

De term *stuifzand* (Engels - 'shifting' of 'blowing sands', Duits - 'Flugsand' of 'Wehsand', Deens - 'flyvesand') wordt gebruikt voor die eolische zandafzettingen, die het gevolg zijn van relatief recente (Laat-Holocene) resedimentatie van terrestrische Pleistocene afzettingen (Koster, 1982). Dit betreft overwegend dekzanden van Weichselien ouderdom. Dekzandafzettingen en daaruit door lokale verstuiwing ontstane stuifzanden zijn wat materiaaleigenschappen betreft vaak moeilijk van elkaar te onderscheiden, zeker in die gevallen waarin het oorspronkelijke bodemprofiel - vaak een hoge droge xeropodzol, zoals een haarpodzolgrond - ontbreekt d.w.z. uitgestoven is. Wat korrelgrootteverdeling en mineralogische samenstelling betreft, lijken beide typen afzettingen veel op elkaar. In tegenstelling tot dekzanden vertonen stuifzanden echter nooit periglaciale structuren.

Afbeelding 6.
Micrografische (scanning elektronen microscoop, SEM) opnames van matig tot goed afgeronde stuifzandkorrels. Korrelgroottefractie variërend van 600-1000 µm (d), 150-210 µm (a, e, f) tot 105-210 µm (b, c); vergroting variërend van 100x tot 500x. Bron: Koster, 1978.



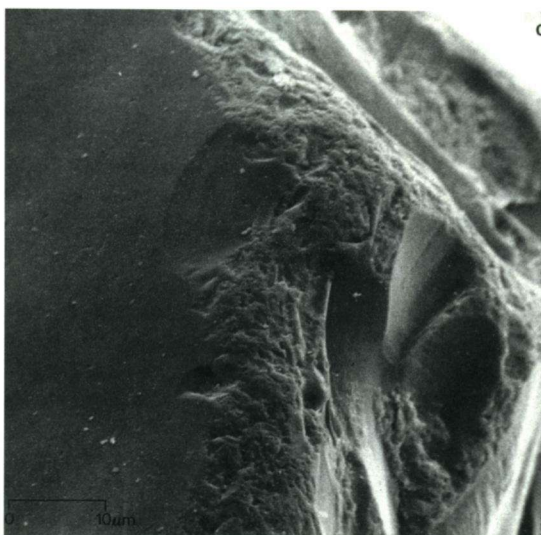
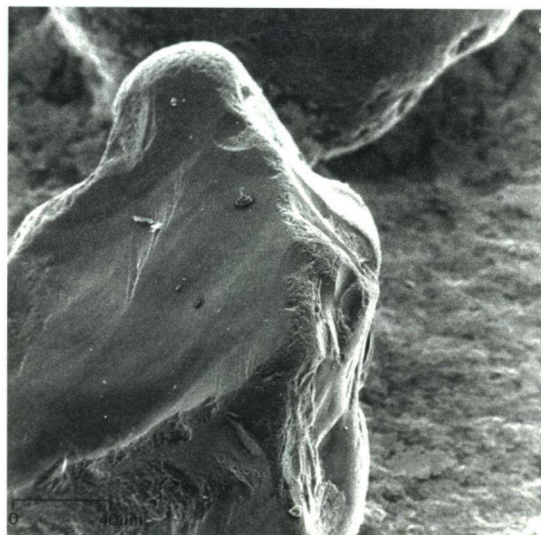
Textuur

Stuifzanden bestaan voornamelijk uit zeer fijne tot matig fijne, niet-lemige, goed gesorteerde en redelijk tot sterk afgeronde, unimodale zanden [= zanden met een ééntoppige korrelgrootte-verdeling]. De korrelgrootteverdeling van de meeste eolische zanden in Nederland is tamelijk uniform; alle kust-, rivier-, en landduinafzettingen zijn geconcentreerd in de fracties 105-420 μm , met een gemiddelde mediaan waarde¹ in de fractie 150-210 μm (Afb. 3). In uitzonderlijke gevallen worden lemige, uiterst fijne ($< 105 \mu\text{m}$) tot zeer fijne ($< 150 \mu\text{m}$) zanden, of niet-lemige, matig ($> 210 \mu\text{m}$) tot zeer grove ($> 420 \mu\text{m}$) zanden aangetroffen (Koster, 1978).

Stuifzanden hebben over het algemeen in vergelijking tot nabij gelegen dekzanden een iets hogere sorteringsgraad. De korrelgrootteverdeling van stuifzand wordt gekenmerkt door een positieve scheefheid en een gepiekttheid van $> 1,00^2$. Deze verschillen zijn echter meestal zo gering dat onderscheid alleen op grond van de korrelgrootteverdeling niet mogelijk is.

Eén van de weinige textuurkenmerken op grond waarvan stuifzanden onderscheiden kunnen worden van dekzanden is de korrelstapeling oftewel pakking (poriënvolume) van de afzetting. Over het algemeen hebben dekzanden van Weichselien ouderdom een dichtere pakking dan de veel jongere stuifzanden. Kennelijk wordt de korrelstapeling dichter met toenemende ouderdom als gevolg van processen zoals infiltratie van water en fijne partikeltjes, bodemvorming, en toegenomen drukbelasting door een dikker sedimentpakket. De verschillen kunnen op eenvoudige wijze gemeten worden met een handpenetrometer, een apparaat dat in de grond gedrukt wordt om de indringingsweerstand daarvan te meten. Afbeelding 4 illustreert een serie weerstandsprofielen in verschillende delen van een stuifzandgebied. Goed te zien is dat op die plaatsen waar het profiel reikt tot in het schone dekzand onder het bodemprofiel (Afb. 4a, b en d) de curves hoge waarden bereiken van $> 10\text{-}15 \text{ kg/cm}^2$. In de op het dekzand liggende stuifzanden daarentegen, blijft de conusweerstand gering en min of meer gelijk met toenemende diepte. Het constante verloop van het poriënvolume met de diepte leidt er overigens toe dat de bewortelingsdiepte vaak minstens even groot is als de dikte van het stuifzandpakket. Hierdoor is de beschikbare watervoorraad, ondanks de geringe vochtgehalten, toch nog relatief groot. Het resultaat is dat de grove den met zijn penwortels wel 5 à 6 meter diep in de grond kan dringen.

Stuifzanden bestaan overwegend uit kwarts- en veldspaatkorrels, terwijl de zware mineralenfractie zeer gering is. Het is niet verwonderlijk dat de gewichtspersentages zware mineralen evenals de voorkomende zware mineralen-associaties in stuifzand een nauwe verwantschap vertonen met de waarden die in de herkomstmaterialen aangetroffen worden. Ongeacht de totale gewichtspersentages zware mineralen in een windafzetting blijkt bij gefractioneerd onderzoek dat de persentages zware mineralen bij afname van de korrelgroottefractie sterk toenemen, van verwaarloosbaar in de fracties $> 210 \mu\text{m}$ tot 1-5% in de fracties $< 105 \mu\text{m}$ (Afb. 5). De curven in afbeelding 5 hebben betrekking op verschillende Veluwe stuifzandgebieden; de Oost-Veluwse stuifzanden, bijvoorbeeld, hebben relatief hoge waarden aan



Afbeelding 7.
Micrografische (SEM) opnames van een matig afgeronde stuifzandkorrel (fractie 150-210 μm) met kleine afslagen (5 à 10 μm groot) ten gevolge van korrelbotsingen tijdens windtransport; vergroting 500x (a), 1000x (b), 2000x (c). Bron: Koster, 1978.

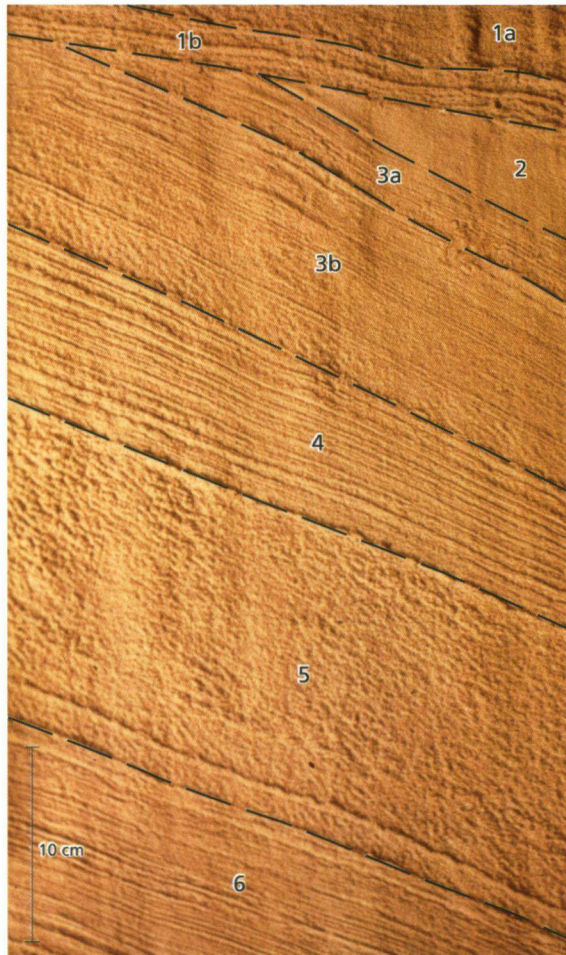
¹ De mediaan geeft de middelste waarde van een verdeling weer, d.w.z. bij een korrelgrootteverdeling is 50% van de korrels grover en 50% fijner dan de mediaan.

² Volkomen symmetrische verdelingen hebben een scheefheid van nul. Positieve waarden van scheefheid wijzen op een 'staart' van grof materiaal. De gepiekttheid van een volstrekt normale verdeling bedraagt 1,00. Bij een gepiekttheid van $> 1,00$ is het centrale deel van de korrelgrootteverdeling beter gesorteerd dan de 'staarten'. Met de term 'sortering' wordt de uniformiteit van de korrelgrootte in een fractie bedoeld; hoe uniformer, hoe hoger de sorteringsgraad.

zware mineralen, hetgeen verklaard kan worden door de bijmenging met mineralogisch rijke gestuwde afzettingen in de stuifzanden. Voorzover de toename van de gewichtspercentages zware mineralen niet al aanwezig was in de herkomstafzettingen, kan een selectie naar soortelijk gewicht tijdens het eolisch transport en de afzetting deze toename ook nog versterkt hebben [Koster, 1978].

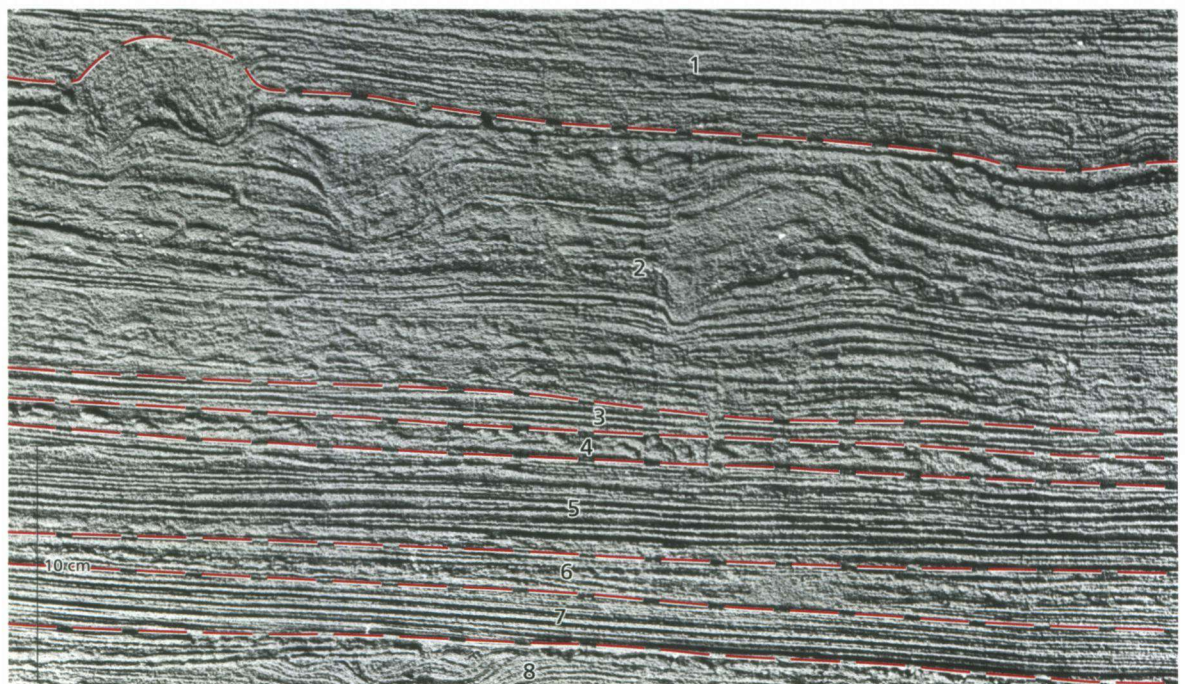
Afbeelding 8.

Lakprofiel van fijn gelamineerde, sterk hellende, scheef gelaagde sets; locatie lijzijde van een duin nabij Geeste langs de Ems (Duitsland, tussen Lingen en Meppen). Het voorkomen van zwak golvende laminae (bv. in de sets 1b, onderste deel set 3b en set 5) wijst op afzetting van duinzand tijdens relatief vochtige omstandigheden. De fijne, ongestoorde laminatie in de sets 4 en 6 wijst op migratie van zand onder droge omstandigheden. De wigvormige, bijna structuurloze zandlaag (set 2) wordt geïnterpreteerd als het resultaat van 'grainfall laminatie'. Bron: Koster et al., 1993.



Afbeelding 9.

Lakprofiel van parallel, horizontaal gelaagd stuifzand; locatie Kootwijkerzand. De fijne laminatie is veroorzaakt door kortdurende verschillen in windsnelheid (windvlagen) tijdens de migratie van zand-ribbels over het oppervlak. De verstoringen van de gelaagdheid in een groot deel van set 2 zijn veroorzaakt door oppervlakkige afstroming van water. Fijne grindsnoertjes (bovenzijde en in set 2) wijzen op deflatie van zand. Bron: Koster et al., 1993.



De zandkorrels in stuifzand zijn over het algemeen normaal tot zeer sterk afgerond. Afbeelding 6 (a t/m f) toont een aantal kwartskorrels met verschillende maten van afronding. De korrels a t/m d zijn goed tot zeer goed afgerond, terwijl de korrels e en f waarschijnlijk nog de oorspronkelijke overgeërfde vorm van eerder, niet-eolisch transport laten zien. Aangezien stuifzanden meestal bestaan uit geresedimenteerde dekzanden hebben de korrels reeds meerdere eolische cycli doorlopen. Tijdens dit transport door de wind neemt de afronding toe, voornamelijk als gevolg van mechanische abrasie tijdens het saltatietransport ('saltatie' = sprongsgewijze voortbeweging van de korrels). Bij de talloze botsingen van de korrels onderling en bij de inslag van salterende korrels op het oppervlak, worden van de uitstekende delen (hoeken en ribben) van de kwartskorrels splinters afgeslagen. Dit proces wordt afsplintering ('chipping' of 'spalling') genoemd. Dergelijke afslagputjes zijn onder het microscoop goed waarneembaar, zoals afbeelding 7 (7a t/m c) laat zien. De schelpvormige ('conchoïdale') afslagputjes zijn in dit geval ca. 5-10 µm groot, d.w.z. overeenkomend met splinters van siltgrootte.

Structuur

In Koster et al. [1993] worden karakteristieke, primaire sedimentaire structuren en secundaire, syn- en postgenetische structuren³ in stuifzandafzettingen besproken. De primaire structuren zijn het gevolg van transport van korrels door windribbelmigratie ('tractional deposition'), door vrije val ('grainfall deposition') of door afglijden ('grainflow') van korrels op de lijzijde van ribbels of duinen (zie Pye & Tsoar, 1990 voor nadere uitleg). Deformaties van de primaire gelaagdheid tijdens of na de afzetting worden secundaire structuren genoemd. Specifieke combinaties van deze structuren kunnen geïnterpreteerd worden in de zin van droge, vochtige of natte condities tijdens het windtransport en de afzetting van het zand.

³ Syngenetische structuren ontstaan tijdens de afzetting, terwijl postgenetische structuren het gevolg zijn van processen die na de afzetting hebben plaatsgevonden.

Waarnemingen in actief verstuivende gebieden hebben aangetoond dat verplaatsing van zand niet alleen optreedt onder droge condities, maar zelfs wanneer het zandoppervlak nat is tijdens of na neerslag, mits windsnelheden van > 30 km/u (gelijk aan ca. 8 m/s of Beaufort 5) bereikt worden. Tijdens soortgelijke condities kunnen tevens fijne grindkorrels (ca. 2-5 mm) nog in saltatie geraken tot hoogtes van 50 cm boven het oppervlak. In het Kootwijkerzand is ook transport van zeer grof zand en fijn grind waargenomen tijdens strenge wintercondities, waarbij de korrels bij hoge windsnelheden zich rollend over een bevroren oppervlak bewegen (rollend transport wordt *reptatie* genoemd). Hierdoor kunnen zogenaamde grindribbeltjes ontstaan (*'granule ripples'*), die na afdekking met zand als grindsnoertjes in stuifzanden herkenbaar zijn. Mede ten gevolge van de hydrofobe (d.w.z. waterafstotende) eigenschappen van vele zandafzettingen, kan ook tijdens of na regenval afstromend water stuifzandkorrels meevoeren. Zelfs op hellingen van slechts enkele graden vindt watertransport plaats, dat vervolgens in afzettingen weer aan onregelmatig zwak golvende of fijn scheef gelaagde structuren herkend kan worden.

In lakprofielen zijn sedimentaire structuren het best waarneembaar en in detail te bestuderen. Lakprofielen worden gemaakt door een dunne laklaag op een volkomen gladgeschaafd zandoppervlak in een al dan niet gegraven profielkuil aan te brengen en het verkitte laagje vervolgens als een soort negatief van de wand te trekken. De fijne interne laminatie die te zien is in zowel (sub)horizontale als klein- of grootschalig scheef gelaagde eenheden (*sets* genaamd) is ontstaan door al dan niet kortdurende variaties in windsnelheid tijdens transport en afzetting. De individuele laminae, met diktes variërend van 1 tot 5 mm, zijn vaak scherp begrensd en bezitten onderling flink afwijkende korrelgrootteverdelingen. Kenmerkende structuren voor sterk hellende scheef gelaagde zanden, zoals die voorkomen op de lijzijde van landduinen zijn te zien in afbeelding 8 (Koster, 1992). De grootschalig scheef gelaagde, intern fijn-gelamineerde sets, die afwisselend getuigen van afzetting onder droge en vochtige condities, worden scherp begrensd door deels erosieve grensvlakken. De sets 3b en 5 hebben een typische fijne 'pokdalige' (*'crinkly'*) structuur, die het gevolg lijkt van grote druppelinslagen of in ieder geval een aanwijzing vormt voor een vochtig oppervlak tijdens de accumulatie van zand. Hellingshoeken in afbeelding 8 bereiken waarden tussen 20-30°, maar op dezelfde locatie zijn zelfs hellingshoeken tot 45° aangetroffen. Dit type sterk hellende eenheden is in overeenstemming met de interpretatie van vochtige condities tijdens de vorming en migratie van het duinlichaam. Echte verspoelings- en *'grainflow'* structuren ontbreken echter in dit lakprofiel. Over het algemeen wordt de fijne laminatie in dit lakprofiel geïnterpreteerd als het gevolg van de migratie van klimmende ribbels, min of meer dwars op de hellingsrichting van het duinoppervlak, zo nu en dan afgewisseld met *'grainfall'* afzetting (Koster et al., 1993).

Een lakprofiel uit de stuifzandvlakte van Kootwijkerzand illustreert de structuren in een geheel andere morfologische eenheid van het duinlandschap (Afb. 9). De meest voorkomende structuur in dit lakprofiel is een fijne (sub)horizontale laminatie. Sets van enkele centimeters dik (sets 3 t/m 8) met een volledig ongestoorde horizontale gelaagdheid worden afgewisseld door sets met een *'crinkly'* (of zoals het ook



Afbeelding 10. Micrografische (SEM) opname van een klein stukje lakprofiel van horizontaal gelaagd stuifzand; de twee laminae zijn ieder ongeveer 1,5 mm dik. Bron: Koster, 1992.

wel eens genoemd wordt *'convoluted'*) gelaagdheid; dit wijst dus weer op afzetting tijdens afwisselend droge en vochtige condities. De geulvormige opvullingen in set 2 laten echter zien dat hier sprake is van secundaire verstoringen van de gelaagdheid door afstromend water, dus echt natte condities. De fijne grindsnoertjes aan de bovenzijde en in set 2 wijzen op sterke deflatie van zand. De geulvormige structuur in set 8 kan door stromend water zijn veroorzaakt, maar soortgelijke structuren zijn ook wel geïnterpreteerd als hoefindrukken (*'hoof-print structures'*) van dieren (Koster et al., 1993).

Hoe fijn de laminatie van het horizontaal gelaagde zand is, is te zien in afbeelding 10 die een detail van een lakprofiel toont. De opname van deze afbeelding is tot stand gekomen door een klein stukje uit een lakprofiel te snijden en dat vervolgens te fotograferen met een scanning electronen microscoop (SEM). Te zien is dat de korrelgrootte binnen de ca. 1,5 mm dikke laagjes naar boven toe iets groter wordt, we noemen dit *inverse* (= omgekeerde) gradering, die toegeschreven wordt aan de migratie van klimmende ribbeltjes⁴. De grootte van de afzonderlijke stuifzandkorrels varieert van ca. 105 tot 210 µm.

Samenstelling

Behalve door een unimodale korrelgrootteverdeling met een hoge sorteringsgraad worden stuifzanden ook gekenmerkt door een licht geelgrijze kleur [10Y(ellow) R(ed) 5/2-6/2 volgens de kleurschaal van Munsell], de afwezigheid van kalk, een dominantie van kwarts (85-90%) en in mindere mate veldspaatkorrels (10-15%), een variabele maar normaliter zeer laag percentage zware mineralen (fractie > 105 µm < 1%, fracties < 105 µm 1-5%) en een meestal zeer laag organisch stofgehalte (< 1,5%). Net als de korrelgrootteverdeling van stuifzand meestal lijkt op die van dekzand uit het zelfde gebied, is dat ook het geval met de zware mineralen percentages. Kennelijk blijven texturele en mineralogische kenmerken bewaard tijdens lokale resedimentatie

⁴ De zeer fijne partikeltjes op de grensvlakken van de laagjes hebben niets met de grootte van de zandkorrels te maken; dit zijn reststukjes van de lak die gebruikt is bij de vervaardiging van het lakprofiel.

door de wind. Bij transport over grote afstanden is dit uiteraard veel minder het geval. De organische stof is nooit uniform verdeeld door het stuifzand, maar geconcentreerd in laagjes. Als de stuifzandaccumulatie traag of diverse malen onderbroken is verlopen, ontstaan laagjes met hogere organische stofgehaltes (matig humusarm tot matig humeus 1,5-2,5%, resp. 2,5-5%). Deze humeuze laagjes wijzen op de vorming van overstoven vegetatiehorizonten of micropodzolen. In andere gevallen komen dunne humeuze, deels klastische laagjes voor die het resultaat zijn van verstuiving op korte afstand van bodemprofielmateriaal van het oorspronkelijke dekzandoppervlak. Micro-morfologisch onderzoek van dunne slijpplaatjes van deze horizonten maakt het mogelijk uit te zoeken wat de oorsprong van deze humeuze laagjes is. In dekzanden komen dit soort humeuze horizonten niet voor.

Facies

De mate van transformatie van herkomstafzettingen in windafzettingen maakt het mogelijk de aard en duur van het eolisch transportproces te reconstrueren. De beste indicatie hiervoor is een combinatie van de volgende sedimenteigenschappen: korrelgrootteverdeling, de vorm en mate van afronding van kwartskorrels, kenmerken van het korreloppervlak, en mineralogische samenstelling (Pye & Tsoar, 1990). Vergelijkende studies van stuifzanden, afkomstig van vele uiteenlopende Europese locaties, laten de volgende karakteristieke verschillen zien met het materiaal van herkomst:

- a. een hoger percentage resistente, oftewel weerstandskrachtige kwartskorrels;
- b. een toegenomen percentage resistente zware mineralen zoals granaat, zirkoon, rutiel, toermalijn en distheen;
- c. een lager percentage in de mica-groep, zoals biotiet, muscoviet, chloriet en glauconiet. Dunne plaatvormige mineralen worden relatief snel verkleind door botsingen tijdens het windtransport;
- d. een hogere sorteringsgraad;
- e. een toename in afronding (incl. bolvormigheid) van de korrels.

In die gevallen waarin sedimenten verschillende sedimentatiecycli hebben doorlopen, kan onderzoek

van de korreloppervlakte-kenmerken met behulp van een SEM indicatief zijn voor opeenvolgende transportmechanismen. De onregelmatige vorm van de korrels e en f in afbeelding 6 wijst bijvoorbeeld waarschijnlijk op een vroeger, niet-eolisch transport-mechanisme voorafgaand aan het windtransport. Daarbij zijn vervolgens de scherpe randen en uitsteeksels van de korrels afgerond.

In een bepaald gebied is het soms mogelijk verschillende eolische faciéstypen (oud dekzand, jong dekzand, stuifzand, löss) te onderscheiden, louter op grond van de korrelgrootteverdeling, maar dat wil zeker niet zeggen dat korrelgrootte gebruikt kan worden als algemeen diagnostisch criterium. Uiteraard is er wel een algemene relatie tussen de korrelgrootte en de verschillende mechanismen van korreltransport door de wind (Pye & Tsoar, 1990).

LITERATUUR

- Koster, E.A., 1978. De stuifzanden van de Veluwe: een fysisch-geografische studie. Publ. Fys. Geogr. Laboratorium, UvA nr. 27 / Dissertatie Universiteit van Amsterdam.
- Koster, E.A., 1982. Terminology and lithostratigraphic division of [surficial] sandy eolian deposits in The Netherlands: an evaluation. *Geologie en Mijnbouw* 61, pp. 121 - 129.
- Koster, E.A., 1992. Duin- en dekzandvorming in 'koude woestijnen'. *Grondboor & Hamer*, jrg. 46, nr. 4/5/6, pp. 81 - 92.
- Koster, E.A., 2010. Origin and development of Late Holocene drift sands: geomorphology and sediment attributes. In: Fanta, J. & Siepel, H. (eds.) *Inland drift sand landscapes*. KNNV Publishing, Zeist, pp. 25 - 48.
- Koster, E.A., Castel, I.I.Y. & Nap, R.L., 1993. 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*. Geological Society Special Publication nr. 72, pp. 247 - 267.
- Pye, K. & Tsoar, H. 1990. *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman, London.