

SEDIMENTKENMERKEN VAN STRANDZANDEN OP DE BELGISCHE KUST

Abstract

G. DE MOOR*
M. DE DECKER**

KORTE INHOUD

De auteurs hebben sedimentkenmerken van oppervlakkige strandzanden nabij Klemskerke onderzocht volgens 2 strandprofielen op 1 km van elkaar.

In het meest westelijke punt (KP37) gebeurde de staalname 4 maand na een zandspijzing met zanden van de Ravelingen. In het oostelijke punt (KP38) werden de jonge duinzanden op dat moment sterk door kusterosie afgeslagen.

De korrelgroottekenmerken en de zware-mineralenkenmerken (gewichtsgehalte in de gehele zandfractie, gewichtsgehalte aan zware mineralen in de afzonderlijke fracties, zware-mineralensamenstelling in de zandfractie, korrelgroottekenmerken van de meest voorkomende zware mineralen) werden onderzocht, zowel van de strandzanden als van de opgespoten zanden en de jonge duinzanden aan KP38.

Bij dit onderzoek werden de verschillen in het licht van de strandmicromorfologie, de verschillen tussen beide stations en de invloed van de herwerkte Ravelingenzanden en jonge duinzanden nagegaan.

Het onderscheid tussen de zanden bleek duidelijk uit de zware-mineralenassociaties waartoe ze behoren. De jonge duinzanden vertonen grote gelijkenis met de H-groep van BAAK; de opgespoten Ravelingenzanden met de strandzanden ten zuiden van Bergen/Zee (EDEL-MAN - EISMA). De eigenlijke strandzanden vertonen vooral gelijkenis met de Rijn-AS-Kreftenheyeassociatie (ZONNEVELD). Dit onderzoek van mineralogische samenstelling en korrelgrootte opent interessante vooruitzichten i.v.m. de identificatie van de duinzanden, de strandzanden, de huidige eolische zanden en sommige kustzanden langs de Belgische kust. Het toont aan dat onder zekere voorwaarden deze mineralogisch verschillende zanden bij herwerking als tracer materiaal voor de stranddynamiek en de sedimentverplaatsingen kunnen aangewend worden. Het toont ook aan dat de micromorfologie van het strand in belangrijke mate de sedimentologische kenmerken van de oppervlakkige strandzanden beïnvloedt, waarbij de fengte van de zware mineralen een interessant criterium is voor de herkomst en dat de zware-mineraleninhoud sterk verschilt volgens de zandfracties.

* G. DE MOOR, dr. sc., geassocieerd hoogleraar, Laboratorium voor Fysische Aardrijkskunde en Regionale Bodemkunde (dir.: Prof. dr. R. TAVERNIER), Rijksuniversiteit Gent, Krijgslaan 281, 9000-Gent.

** M. DE DECKER, lic. aard- en delfstofkunde, wetenschappelijk medewerker bij het B.T.K.-project nr. 12 373.

lees van linker
1982

RÉSUMÉ. - *Caractéristiques sédimentologiques de quelques sables de plage dans la partie centrale de la côte belge.*

Les auteurs étudient les caractéristiques granulométriques et minéralogiques des sables superficiels de plage le long de deux profils transversaux situés à 1 km d'intervalle le long de la côte belge près de Klemskerke.

Au point KP37, situé à l'ouest, les échantillons ont été prélevés quatre mois après un rehaussement artificiel avec des sables provenant des Ravelingen, un banc de sable situé à quelques kilomètres au large d'Ostende. Lors du prélèvement (31-1-'79) l'érosion côtière attaqua vigoureusement les dunes récentes près de la station KP38, située à l'est.

Les caractéristiques granulométriques et celles des minéraux lourds (contenu en poids dans la fraction sableuse, composition minéralogique de la fraction sableuse totale, dimension des minéraux lourds les plus représentés) ont été étudiées, aussi bien celles des sables de plage, des sables de rehaussement que celles des sables des dunes récentes. L'étude a permis d'établir des variations en fonction de la micromorphologie de plage, des différences entre les deux stations ainsi que l'influence des sables remaniés sur la plage et provenant des Ravelingen ou des sables dunaires.

Du point de vue génétique ces sables se distinguent par leur association minéralogique. Les sables dunaires récents présentent une grande ressemblance avec l'association H de BAAK, les sables en provenance des Ravelingen avec les sables de plage au sud de Bergen (Hollande) (EDELMAAN - EISMA) et les sables de plage avec l'association minéralogique de Rhin-AS-Kreftenheye (ZONNEVELD).

Cette étude ouvre des perspectives intéressantes au sujet de l'utilisation des caractéristiques granulométriques et minéralogiques pour l'identification des sables dunaires, des sables éoliens actuels, des sables de plage et de certains sables côtiers le long de la côte belge. Elle montre également que ces sables de composition minéralogique différente peuvent être utilisés sous certaines conditions en tant que traceurs pour l'étude de la dynamique de plage et des déplacements des sédiments. Les résultats prouvent également que la micromorphologie de plage influence les caractéristiques sédimentologiques des sables superficiels de plage dans lesquels la longueur des minéraux lourds forme un critère intéressant de différenciation des sédiments.

ABSTRACT. - *Sedimentological characteristics of beach sands on the central part of the Belgian coast.*

The authors review the sedimentological characteristics of superficial beach sands using samples taken every 15 m along two transversal beach profiles separated by a distance of 1 km along the Belgian coast near Klemskerke.

The westernmost spot (KP37) has been sampled four months after a beach nourishment with sands supplied from the Ravelingen bank situated at a few kilometers off Ostend. At the sampling time (31-1-'79) strong beach erosion attacked the youngest dunes near by the eastern station (KP 38).

Granulometric characteristics and heavy-mineral characteristics (weight of heavy minerals in the sand fraction 63 - 2000 μ m, weight of heavy minerals in the different grades, heavy-mineral composition of the over-all sand fraction, length of the most occurring heavy minerals) of the beach sands as well as of the nourishment sands and of the youngest dune sands have been analysed. The results have been used to study the sedimentological variations in relation to the micromorphological position on the beach, the differences between

both stations and the influence of reworked Ravelingen sands and youngest dune sands upon the beach material.

The three main sediment groups belong to different heavy-mineral associations. The youngest dune sands are similar to the H-group (BAAK), the nourishment sands of the Ravelingen to the beach sands south of Bergen (Holland coast) (EDELMAAN - EISMA). The beach sands themselves show similarity to the Rhine-AS-Kreftenheye association (ZONNEVELD).

This study of mineralogical and granulometric characteristics offers interesting prospects of the identification of dune and beach sediments, of present day eolian sands and of some off-shore bank sands along the Belgian coast. It shows as well that these mineralogically different sediments may be used, if reworked, as natural tracers for the analyses of beach dynamics and sediment movements. The beach micromorphology commands greatly the sedimentological differences of the superficial beach sands. Especially the length of the heavy minerals proved to be an interesting argument. The heavy-mineral content varies greatly with the granulometric grade.

1. INLEIDING

Dit onderzoek wil de sedimentkenmerken van de oppervlakkige strandzanden nabij Klemskerke nagaan, in hoever ze door de micromorfologie van het strand beïnvloed zijn en in welke mate die kenmerken bij de studie van de stranddynamiek kunnen gebruikt worden.

Oppervlakkige strandzanden zijn diegene die tussen 2 mm en 2 cm onder het oppervlak voorkomen.

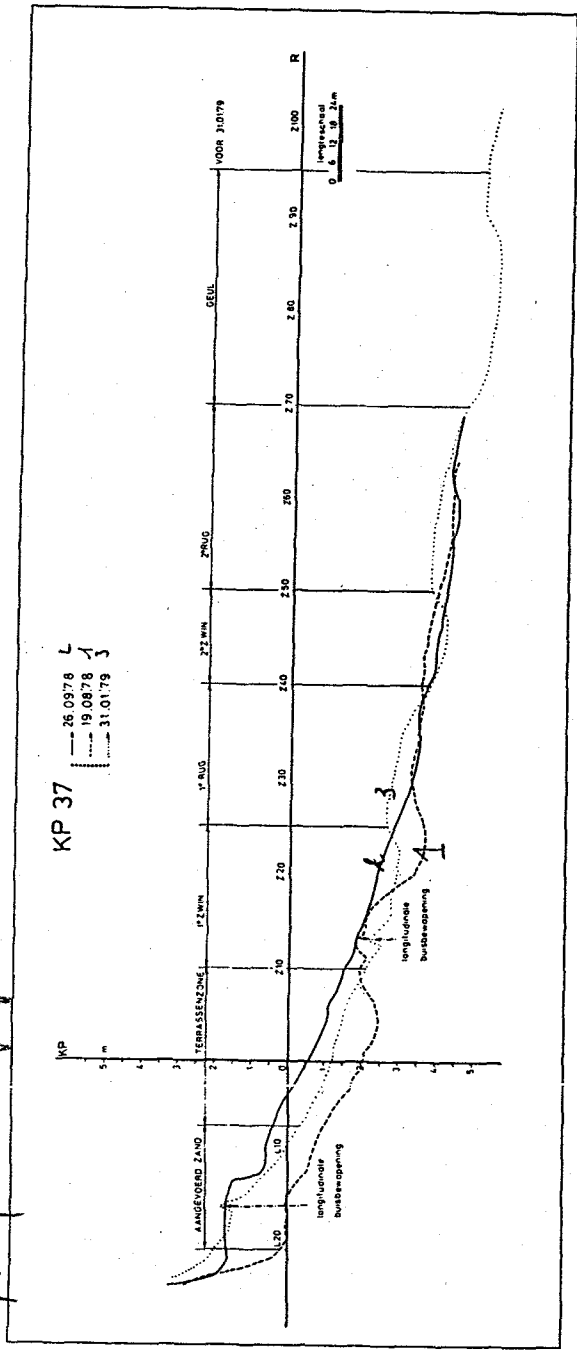
De onderzochte sedimentkenmerken zijn de korrelgroottesamenstelling, het gehalte aan zware mineralen en de samenstelling van de zware mineralenfractie.

Het onderzoek gebeurde te Klemskerke-Vosseslag (fig. 1). De strandprofielen bevonden zich in het waarnemingsstation KP 37 en in het station KP 38, 1 km meer oostwaarts gelegen. Oppervlakte monsters werden om de 15 m langs elk transversaal profiel genomen. Op die manier werden stalen van alle morfologische en morfodynamische stranddelen bekomen. Opname van strandprofielen en staalnamen gebeurden op beide plaatsen bij het springtij van 31 januari 1979. De strandprofielen werden opgenomen met waterpassing om de 3 m.

De kust en het typische zwin- en ruggenstrand vertonen geen noemenswaardige verschillen tussen de beide stations (G. DE MOOR, 1979a). Op het ogenblik van de opname was de gehele kuststrook tussen Bredene en De Haan onderhevig aan een intense erosie die reeds verschillende jaren duurde en die gepaard ging met een gevoelige terugslag van de duinvoet en met een algemene strandverlaging (G. DE MOOR, 1979a, 1981). De dynamiek op het strand werd er ook gekenmerkt door een hoge mobiliteit van het zand.

M. K. K. K.

opputing van de hoogte gedurende strand



177

Fig. 2. Transversaal strandprofiel in waarnemingsstation KP37 vóór, bij en na de zandspijzing met opgave van de strandeenheden.
Profil transversal de la plage dans la station KP37, avant, pendant et après le rehaussement avec indication des éléments de plage.
Transversal profile of the beach in station KP37, before, during and after the nourishment with indication of the beach units.

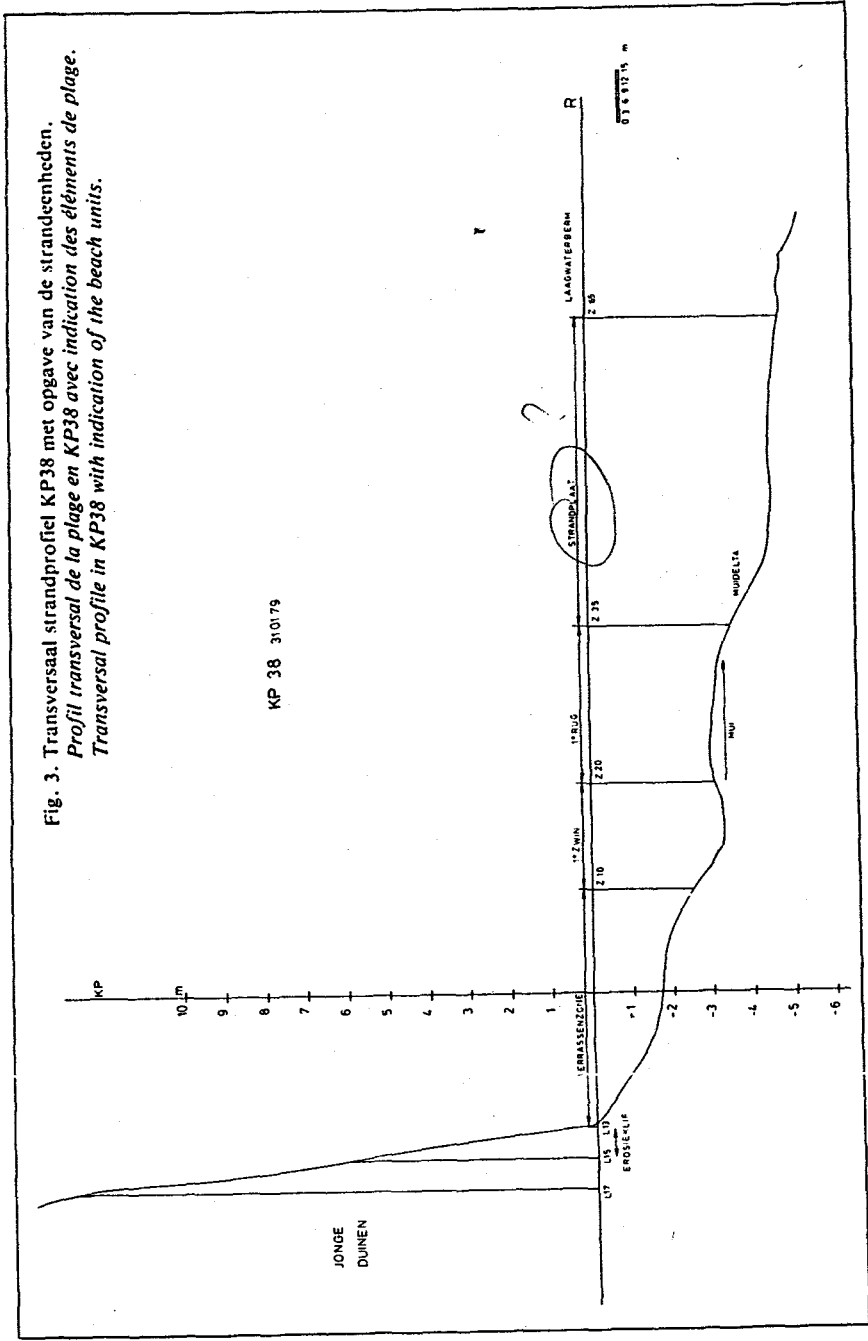


Fig. 3. Transversaal strandprofiel KP38 met opgave van de strandeenheden.
Profil transversal de la plage en KP38 avec indication des éléments de plage.
Transversal profile in KP38 with indication of the beach units.

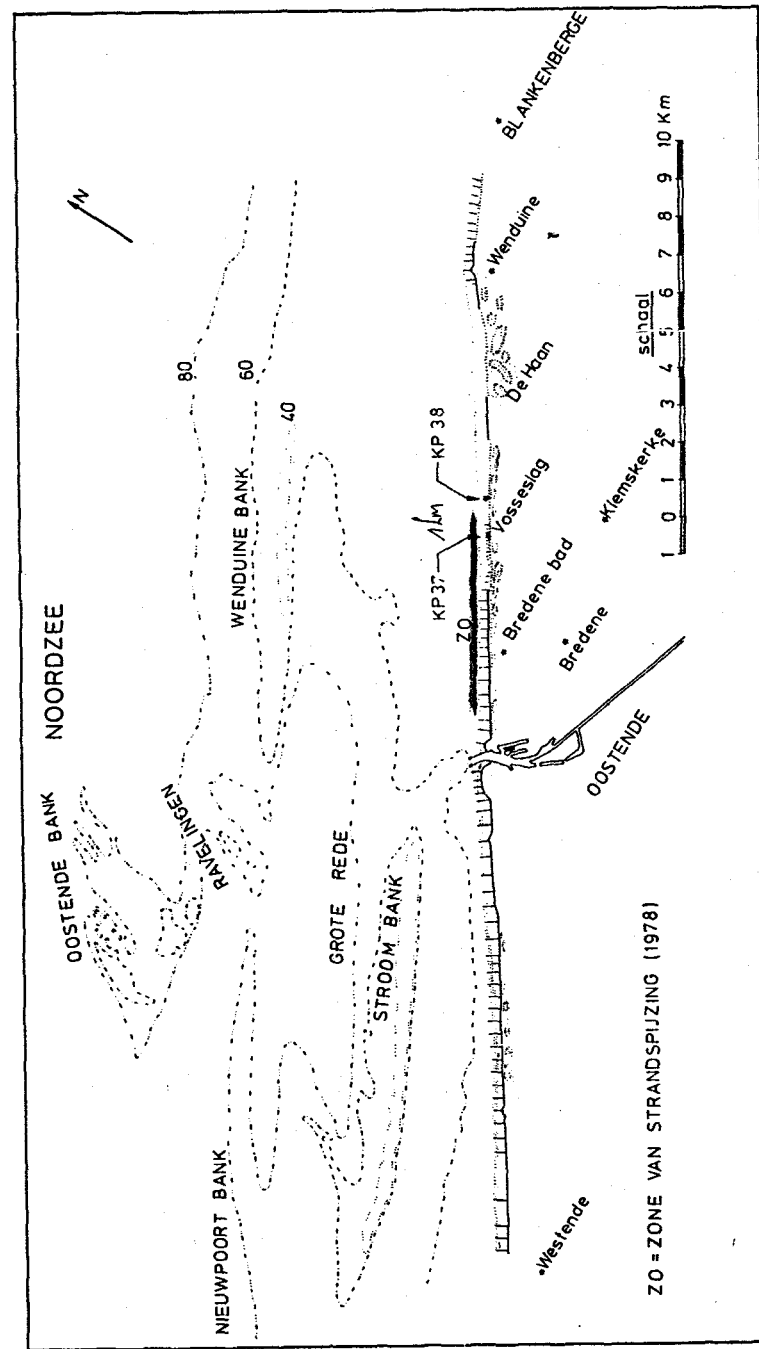
Om de strandafbraak tegen te gaan, was tussen mei en september 1978 een belangrijke zandspijzing van het strand gebeurd vanaf Bredene tot aan Vosseslag, d.i. tot ongeveer 400 m ten oosten van KP37. De opgespoten zanden werden aangevoerd vanaf de Ravelingen (!), bank op een zevental kilometers vóór de kust van Oostende.

Het zand werd met baggerschepen naar Oostende gevoerd en vandaar verder door een hydraulische persleiding op het strand uitgespoten. Deze gehele zandspijzing gebeurde volgens het Longard-systeem. Nabij station KP37 was ze beëindigd op 30 september 1978.

De zandspijzing was vooral belangrijk tegen de duinvoet en op het hoger gedeelte van het eigenlijke strand en veroorzaakte een algemene afvlakking en hoekvergroting van het strand, vooral op het hoger gedeelte. Er ontstond een kunstmatig hoog strand gelegen boven de springhoogwaterlijn, die aanvankelijk op een twintigtal meters zeewaarts van de kilometerpaal KP37 lag. Vrij snel, spijs de aanwezigheid van de Longard-bewapening, tastte de erosie het kunstmatig strand aan en geleidelijk ontwikkelde zich weer de natuurlijke zwin- en ruggenmicromorfologie (G. DE MOOR, 1979b). Hierbij sneed de veegzone de opgespoten zanden aan (fig. 2). Op het ogenblik van de staalname lagen de opgespoten zanden nog onaangeroerd op een groot deel van dat hoog strand, meer bepaald boven de springhoogwaterlijn die bij de opname reeds verschoven was tot op een twintigtal meters landwaarts voorbij de kilometerpaal KP37, meer bepaald tot op opnamepunt L7 (fig. 2). De opgespoten zanden werden vanaf de flexuurlijn regressief weggeslagen, tijdelijk over het voorliggende stranddeel uitgespreid, en dan door de werking van golven en stromingen op het strand heen- en weergeslagen en uiteindelijk weggevoerd. Deze opgespoten zanden werden eveneens onderzocht om na te gaan in hoever zij verschillen van de natuurlijke strandzanden en in welke mate het volgen van hun verplaatsing iets kan leren over de stranddynamiek.

In het tweede station KP38, gelegen op ongeveer 600 m ten oosten van de uiterste rand van de opspuiting, vertoonde het strand bij de staalname op 31 januari 1979 het natuurlijke strandprofiel ontwikkeld in de lokale strandzanden. Door de hevigheid van de erosie, - de duinvoet schreed toen met een gemiddelde van 4 m per jaar terug - en door de grote mobiliteit van de strandzanden met een relatief diepe veegzone, werden ook zanden uit vroegere, bedolven veegzones vrijgemaakt. Op het hoge strand en

(1) Volgens mondelinge mededeling van Ir. R. SIMOEN, Inspecteur-Generaal van Bruggen- en Wegen, Dienst der Kust.



Op het loze strand

aan de basis van de zeereep werden bij springtij en bij storm ook resten van de middeloude duinen aangesneden en op het strand herwerkt. Ondertussen kwamen door onderminning en afschuiving ook grotere pakketten zand uit de jonge duinen op de terrassenzone terecht. Dit zand uit de jonge duinen, dat geen recent opgeblazen strandzand is, werd van daaruit door de golfwerking weggeslagen, herwerkt en op het hogere strandgedeelte in grote terugstroomribbels uitgespreid (G. DE MOOR, 1981).

Overigens kon men vermoeden dat er enige residuele aanvoer vanaf de opgespoten zone nabij KP37 door oostwaartse vloedstroming mogelijk was op grond van de afzetting van veenkeien ten oosten van KP37 gedurende de opspuiting. Die veenkeien waren afkomstig uit de specie opgespoten nabij Bredene.

Het is duidelijk dat het strandzand in deze zone contaminatie kon vertonen en dat daarom ook onderzoek van de duinzanden en van de opgespoten zanden noodzakelijk bleek. Bovendien vertoonden deze aangevoerde zanden na baggering, transport en opspuiting niet noodzakelijk meer de oorspronkelijke kenmerken van de sedimenten op de Ravelingen zelf.

De hier opgegeven resultaten gelden uiteraard alleen voor de onderzochte plaatsen en voor de periode van onderzoek.

2. STRANDMORFOLOGIE

De specifieke kenmerken van het zwin- en ruggenstrand nabij KP37 en KP38 zijn voorgesteld op figuren 2 en 3. De ligging van de afgeslagen duinen, van de opgespoten zanden en van de Longardbewapening zijn er eveneens op aangegeven. Het profiel voor KP37 toont dat de erosie die er na de opspuiting opgetreden is, de opgespoten zanden nog niet volledig weggeruimd had op het lage strand. Vergelijking van opeenvolgende strandprofielen toont echter dat de veegzone er tamelijk diep reikt.

3. KORRELGROOTTEKENMERKEN

3. 1. Methode

Er werden twee reeksen stalen van de oppervlakkige strandzanden onderzocht. De eerste reeks werd genomen langs het transversale strandprofiel ter hoogte van kilometerpaal KP37 op 31 januari 1979, de tweede reeks langs de transversale op KP38 op dezelfde datum. De duinzanden nabij KP38 werden bemonsterd in oktober 1981. De opgespoten zanden werden bemonsterd op het kunstmatig hoogstrand nabij KP37, kort na

het beëindigen van de zandaanvoer.

De afstand tussen de opeenvolgende staalnamen langs de transversalen bedroeg op beide plaatsen 15 m, waarbij het bemonsteringspunt bij de kilometerpaal als vertrekpunt beschouwd werd. De stalen gemerkt met Z werden zeewaarts genomen. Deze bemonsteringsplaatsen komen telkens met stations van de waterpassing overeen. Daarenboven werden enkele speciale punten bemonsterd om de micromorfologische complexiteit van het strand beter te leren kennen. Nabij KP37 werd een staal Z8 genomen op 24 m zeewaarts van de kilometerpaal. Nabij KP38 werden de zanden uit de jonge duinen bemonsterd aan de zeezijde van de zeereep in de punten L19, L17 en L15, dit is op respectievelijk 57,51 en 45 m landwaarts van de kilometerpaal. Langs hetzelfde profiel werd het staal L13 genomen aan de voet van de zeereep, op 39 m van de kilometerpaal. Bij de bemonstering werd vermeden daarbij recente duinzanden te mengen. Dit zijn zanden die door de huidige windwerking bovenop de erosieklif in de jonge duinzanden geblazen worden. De preciese ouderdom van de jonge duinzanden is niet bekend, maar ze dateren in elk geval van na de Duinkerken II-transgressie en zijn waarschijnlijk ouder dan de erosiefase die deze sector rond 1910 aangetast heeft (G. DE MOOR, 1979a).

De stalen van de oppervlakkige strandzanden werden genomen tussen 2 en 20 mm onder het oppervlak, altijd nadat eerst een bovenste laagje sediment weggeschraapt was. Dit is belangrijk omdat dit bovenste laagje meestal sterk verschilt van de rest van het sediment. Na drogen aan de lucht in het laboratorium en na homogenizeren, werd van elk van de stalen een deelmonster van ongeveer 100 g afgezonderd voor analyse.

Deze deelmonsters werden droog gezeefd en, alleen indien de fractie kleiner dan $63\mu\text{m}$ meer dan 5 % bedroeg, werd deze fractie verder granulometrisch onderzocht. De frekwentie in de verschillende korrelgrootteintervallen werd gemeten door gewichtsbepaling van elke fractie na zeven. Er gebeurde geen omrekening van gewichtsfrekwentie naar aantalfrekwentie. Het procentuele aandeel van iedere fractie werd berekend t.o.v. het totaal bekomen gewicht na zeven.

Voor ieder staal werden de gewichtsbepalingen uitgevoerd voor 12 fracties begrensd door de afmetingen van de volgende gebruikte zeven: $2000\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$, $500\mu\text{m}$, $355\mu\text{m}$, $300\mu\text{m}$, $250\mu\text{m}$, $180\mu\text{m}$, $125\mu\text{m}$, $90\mu\text{m}$ en $63\mu\text{m}$. De twee uiterste gewichtsbepalingen zijn dus uitgevoerd op open korrelgrootteklassen.

De stalen werden niet ontkalkt vóór de analyse, omdat sommige sedimenten voor een belangrijk deel uit schelpfragmenten bestonden die

intrinsiek deel uitmaken van het vervoerde sediment en omdat het hier hoofdzakelijk gaat om een onderzoek naar sedimentologische kenmerken.

De gewichtspercenten (y) bekomen per korrelgrootteklasse worden verwerkt in een frekwentietabel en in een histogram. Voor iedere korrelgrootteklasse wordt de korrelgrootte (x) van het klassemiddelpunt bepaald als rekenkundig gemiddelde van de klasse-uiteersten. Op dat ogenblik kan een approximatieve berekening gebeuren van statistische parameters met behulp van de momentenmethode (S. GEETS, 1978). Om tot nauwkeuriger waarden van deze parameters te komen, werd volgende rekentechniek toegepast (R. ROTTHIER et al., 1981). De verschillende gegeven klassemiddelpunten worden lineair verbonden en in de open begin- en eindklassen wordt een exponentiële functie aangepast, teneinde een volledige cumulatieve curve te bekomen. De verschillende momenten en de daarvan afgeleide parameters kunnen dan aan de hand van de aldus bekomen cumulatieve curve berekend worden.

Het eerste moment wordt bepaald als:

$$m_1 = \frac{1}{100} \int_0^{100} y \cdot dx$$

De andere momenten worden berekend t.o.v. dit eerste moment als gemiddelde afmeting.

$$m_2 = \frac{1}{100} \int_0^{100} (y - m_1)^2 \cdot dx$$

$$m_3 = \frac{1}{100} \int_0^{100} (y - m_1)^3 \cdot dx$$

$$m_4 = \frac{1}{100} \int_0^{100} (y - m_1)^4 \cdot dx$$

Deze momenten zijn gebruikt om een uitdrukking te bekomen voor de statistische parameters aangewend om de sedimenten te karakteriseren (A. RIVIERE, 1977).

Gemiddelde afmeting	$\bar{x} = m_1$	
Sortering	$\sigma = (m_2)^{\frac{1}{2}}$	(standaarddeviatie)
Asymmetrie	$Sk = m_3 \cdot (\sigma)^{-3}$	(skewness)
Steilte	$K = m_4 \cdot (\sigma)^{-4}$	(kurtosis)

Bij de hier gebruikte rekentechniek werden de korrelgrootten uitgedrukt in μm . Hierdoor zijn de gemiddelde afmeting en de sortering ook in μm uitgedrukt, terwijl asymmetrie en kurtosis onbenoemde getallen zijn.

3.2. Algemene kenmerken

Bij de opname was het zand nabij KP37 over het gehele strand grover dan nabij KP38.

Nabij KP37 ligt de gemiddelde waarde voor de gemiddelde korrelgrootte van de stalen genomen op het lage strand rond $255\mu\text{m}$. In de terrassenzone is het zand grover ($283\mu\text{m}$), terwijl de aangevoerde zanden sterk analoog aan die van het lage strand ($256\mu\text{m}$) zijn. Nabij KP38 kan het volledige strand- en duinprofiel granulometrisch in twee zones onderverdeeld worden: in de duinen en op het hogere gedeelte van de terrassenzone bedraagt de gemiddelde waarde voor de gemiddelde afmeting $215\mu\text{m}$, vanaf KP tot aan de doortij-laagwaterlijn bedraagt dit gemiddelde ongeveer $230\mu\text{m}$.

De gemiddelde waarden voor de standaarddeviatie op de verschillende strandzones tonen aan dat het strandzand nabij KP37 toen over 't algemeen slechter gesorteerd was dan dat nabij KP38. Langs het gehele actieve strand nabij KP37 ligt de gemiddelde standaarddeviatie rond $208\mu\text{m}$, nabij KP38 bedraagt ze $146\mu\text{m}$. Best gesorteerd is het jonge duinzand nabij KP38. De gemiddelde standaarddeviatie bedraagt daar maar $49\mu\text{m}$. De aangevoerde zanden nabij KP37 zijn beter gesorteerd dan de actieve strandzanden. Nabij KP38 komt in de terrassenzone vrij goed gesorteerd zand voor (de gemiddelde standaarddeviatie is er $97\mu\text{m}$). De gemiddelde standaarddeviatie van de zanden op het bovenste deel van de terrassenzone ($50\mu\text{m}$) lijkt sterk op die van de jonge duinzanden. Ook hieruit blijkt de uitspreiding van de jonge duinzanden die door erosie aangesneden zijn.

Zeewaarts van de kilometerpaal KP38 wordt de sortering op het laagstrand merkkelijk slechter.

3.3. Granulometrische kenmerken in verband met het microreliëf

De gemiddelde afmeting van de oppervlakkige zanden in de onderscheiden delen van het eigenlijke strand vertoont op beide waarnemingspunten slechts weinig verschil. De andere granulometrische parameters laten wel verschillen blijken (zie tabel I). De strandruggen en de terrassenzone hebben een betere sortering dan de respectievelijk zeewaarts gelegen zwinnen.

Tabel I. Granulometrische parameters voor strandzanden te Klemskerke.
Indices granulométriques des sables de plage à Klemskerke.
Granulometric parameters of beach sands at Klemskerke.

GRANULOMETRISCHE PARAMETERS AAN KP37		L20-L10	L5-210	Z15-295	Z15-225	Z30-235	Z40-245	Z50-270	Z15-295	L5-295
zone	para- meter	aangevoerd sand	terras- senezone	laag strand	1° zwin	1° rug	2° zwin	2° rug	(pau)	strand zonder aangevoerd sand
	gemiddelde afmeting (μm)	256	283	255	255	248	240	257	257	262
	standaard deviatie (μm)	176	167	221	190	185	210	234	282	208
	scheefheid	7,7	5,5	6,7	11,3	9,8	8,4	7,3	7,8	7,9
	kurtosis	107	73	126	235	166	107	78	83	113
GRANULOMETRISCHE PARAMETERS AAN KP38		L19-L15	L13-210	Z15-270	Z15-220	Z25-235	Z40-265	Z70	L13-270	
zone	para- meter	duinen	terras- senezone	laag strand	1° zwin	1° rug	strand- plaat	laag- terborm	totale strand	
	gemiddelde afmeting (μm)	215	229	230	234	243	223	224	230	
	standaard deviatie (μm)	49	97	171	165	150	183	173	146	
	scheefheid	3,6	7,7	12,3	12,1	10,3	13,2	13,5	10,8	
	kurtosis	45	137	243	217	191	273	268	208	

4. MINERALOGISCHE KENMERKEN

4.1. Gewichtsgehalte aan zware mineralen in de totale zandfractie

4.1.1. Methode

De zware mineralen in de zandfractie (63 - 2000 μm) werden afgezonderd door scheiding op bromoform (dichtheid = 2,89). De scheiding gebeurde telkens op deelstalen van 20 gram, die onafhankelijk van het partieel staal, bestemd voor de granulometrische analyse, genomen werden. Elk deelstaal werd vooraf ontkalkt door behandeling met koud HC(0,1N). Organisch materiaal werd vernietigd door behandeling met waterstofperoxyde (0,1N), eerst koud en daarna warm.

Het totale gehalte aan zware mineralen in de zandfractie is uitgedrukt in gewichtsprocent t.o.v. het totale gewicht van de zandfractie in het partieel staal.

De bestudeerde stalen bestaan bijna altijd voor meer dan 95 % uit zand.

4.1.2. Algemene kenmerken

Langs het transversaal profiel op KP37 wisselt het totale gewichtsgehalte aan zware mineralen tussen 0,05 en 1,27 %. Langs het profiel op KP38 varieert het gehalte tussen 0,07 en 3,43 %.

De aangevoerde maar niet op het strand herwerkte zanden, aangetroffen op het hoogstrand nabij KP37, bevatten 0,50 tot 0,80 % zware mineralen. Op de lagere gedeelten van het strand aldaar ligt het gehalte meestal tussen 0,20 en 0,50%. Er komen echter enkele pieken tot boven 1,20 % voor.

In de jonge duinzanden nabij KP38 wisselt het gehalte tussen 1,4 en 3,1 %. Dit hoge gehalte kan toegeschreven worden aan een selectieve sedimentatie, waarbij de lichtere mineralen verder weggeblazen zijn. Het is ook niet uitgesloten dat de strandzanden van waaruit de uitblazing gebeurde andere kenmerken vertoonden dan de huidige ofwel dat de toenmalige meest effectieve wind andere karakteristieken had dan de huidige zodat de sortering verschilt.

In de terrassenzone en op de flexuur nabij KP38 schommelt het gehalte aan zware mineralen in de zandfractie tamelijk sterk tussen 0,5 en meer dan 3,0 % met een gemiddelde waarde van 1,7 % (zie tabel IIb). Dit hoge gehalte kan verklaard worden door de aanwezigheid van herwerkt zand uit de jonge duinen en uit de middeloude duinen die daar aangesneden werden.

Tabel IIIa. Zware-mineralensamenstelling van strandzanden te Klemskerke.
Association des minéraux lourds des sables de plage à Klemskerke.
Heavy-mineral association of the beach sands at Klemskerke.

GEMIDDELTE AANTALPROCENTEN AAN ZWARE MINERALEN PER STRANDZONE AAN KP37										
niet-opake mineralen	L20-L10 aangevoerd zand	L5-Z10 terras-senzone	Z15-Z75 laaf-strand	Z15-Z25 1° zwin	Z30-Z35 1° rug	Z40-Z45 2° zwin	Z50-Z70 2° rug	Z75 feul	L5-Z75 strand zonder aangevoerd zand	
HD										
Granaat	35	15,9	21	24	16,3	21,3	21	28,5	19,9	
Augiet	3,8	4,9	2,3	3,7	2,8	2	1,6	1	3,0	
Distheen	1	0,8	1	0,8	1,5	0,8	0,9	1,5	2,7	
Stauroliet	4	2,1	3,0	2,5	3,3	2,8	3	4	0,9	
Zirkoon	2,3	0,7	1,7	0,7	0,3	1,8	1,9	6	1,3	
Andere	1,5	0,4	1,2	1,1	1,3	1,3	0,8	3	0,9	
TOTAAL	47,6	24,8	30,7	32,8	25,5	30,0	29,2	44	28,7	
MD										
Epidoot	13,2	16,9	20,5	20	17,8	21,8	20,8	23	19,5	
Andere	1,1	1,6	1,4	1,1	1,8	1	1,8	0,5	1,4	
TOTAAL	14,3	18,5	21,9	21,1	19,6	22,8	22,6	23,5	20,9	
LD										
Hoornblende	12,2	13,1	13,9	9,3	14	13,3	17	13,5	13,7	
Toermalijn	3,2	8,3	4,4	4,2	5,5	4,5	4,4	2	5,3	
Andaloosiet	2,3	1,8	3,1	2,3	3,5	4,5	2,6	4,5	2,8	
Andere	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0	0,2	
TOTAAL	18,2	23,5	21,6	16,0	23,3	22,6	24,3	20,0	22,0	
A.S.G.Ch.	19,5	33,6	26,4	30,7	32,1	25	24,8	12,5	28,1	
TOTAAL	99,6	100,4	100,5	100,6	100,5	100,4	100,7	100,0	99,7	
Opake	24,8	40,9	16,9	16,2	20,8	16,3	15,2	20,5	27,6	
Gewichts%	0,65	0,24	0,37	0,60	0,27	0,47	0,24	0,35	0,34	

Tabel IIIb. Zware-mineralensamenstelling van strandzanden te Klemskerke.
Association des minéraux lourds des sables de plage à Klemskerke.
Heavy-mineral association of the beach sands at Klemskerke.

GEMIDDELTE AANTALPROCENTEN AAN ZWARE MINERALEN PER STRANDZONE AAN KP36									
niet-opake mineralen	L19-L15 duinen	L13-Z10 terras-senzone	Z15-Z75 laaf-strand	Z15-Z20 1° zwin	Z25-Z35 1° rug	Z40-Z65 strand-plaat	Z70 laaf-terberm	L13-Z70 totale strand	
HD									
Granaat	30	28,6	13,2	14	11,8	14,3	9	18,3	
Augiet	3,3	3	3,4	2,5	4,2	3,2	4	3,3	
Distheen	0,7	0,6	1,5	2	1,5	1,2	0,5	3,0	
Stauroliet	2,7	5,1	3,3	3,8	2,3	3,7	2,5	1,2	
Zirkoon	0,5	0,7	0,8	0	0	0,9	0,5	0,7	
Andere	0,5	0,7	0,9	0,5	1,0	1,0	0,5	0,1	
TOTAAL	37,7	38,5	23,1	23,6	20,8	24,6	19	27,5	
MD									
Epidoot	23	20,1	20,7	21,8	20,3	20,3	22	20,5	
Andere	0,5	1,8	2,1	1,5	2,2	2	3	2	
TOTAAL	23,5	21,9	22,8	23,3	22,5	22,3	25	22,5	
LD									
Hoornblende	9,8	9,2	15,1	13,8	11,5	16,5	20	13,1	
Toermalijn	5	5,7	7,7	6,5	7,5	8,5	6	7,0	
Andaloosiet	2,3	2,8	4,1	2,7	3,7	4,6	4,5	3,6	
Andere	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0,1	
TOTAAL	17,3	17,8	27,2	23,3	23,0	29,9	30,5	23,8	
A.S.G.Ch.	21,3	22,1	27,2	30	33,7	23,3	25	25,4	
TOTAAL	99,8	100,3	100,3	100,2	100,0	100,1	99,5	99,2	
Niet-opake	9,7	12,8	16,7	15,3	13,8	18,7	16,5	14,4	
Opake	2,0	1,69	0,57	1,78	0,37	0,32	0,27	0,98	

Op het lage strand zowel nabij KP37 als nabij KP38 blijft het gehalte aan zware mineralen beneden 0,30 % en zelden worden waarden boven 1,00 % of onder 0,1 % bereikt. Het gemiddelde ligt respectievelijk bij 0,37 % en 0,57 % (zie tabellen IIa en IIb).

4.1.3. Gewichtsgehalte in verband met het microreliëf

In de zwinen ligt het gewichtsgehalte aan zware mineralen over 't algemeen hoger dan op de ruggen. Ook de terrassenzone is in beide stations armer aan zware mineralen dan het voorliggende zwin. De krachtigere branding op de terrassenzone en op de strandruggen blijkt daar dus niet voor aanrijking te zorgen. De aanrijking in de zwinen, vooral in het bovenste, kan toegeschreven worden aan het trapect van de zwinen t.o.v. transversaal transport door golfploop en terugloop (back wash), maar vooral ook aan het uitwassen van de lichtere elementen door de zwinstroming naar de muien.

Die verschillen in gehalte aan zware mineralen tussen de zwinen en de strandruggen nemen zeewaarts af. Dit gebeurt echter veel sneller aan KP38 dan aan KP37. Die daling kan verband houden met het terugvoeren van lichtere korrels door de zwin- en muistroming naar lager gelegen zwinen.

Nabij KP38 komt landwaarts van de eerste strandrug een gewichtsgehalte aan zware mineralen voor (2 %) dat vrij analoog is aan dat van de aangesneden jonge duinzanden. In KP37 ligt het zware-mineralengehalte in de terrassenzone merklijk lager dan in de opgespoten zanden op het hoogstrand (zie tabel IIa). In de zwinen is het gehalte even hoog als in de opgespoten zanden. Mogelijks snijden de zwinen nabij KP37 nog de onderliggende opgespoten zanden aan (fig. 2).

Meer dan 4 maand na het beëindigen van de opspuiting blijkt het gewichtsgehalte aan zware mineralen op het laagstrand langs beide strandprofielen ongeveer gelijk te zijn en lager te liggen dan landwaarts van de eerste strandrug. Die grotere longitudinale uniformiteit wijst op het overwicht van longitudinaal transport op het laagstrand. Bovendien blijken wel grote verschillen te bestaan tussen de gewichtsgehalten op het hoge gedeelte van deze erosiestranden. Hierbij komt op KP38 een duidelijke invloed van de jonge duinzanden naar voor. Op het hogere gedeelte van deze erosiestranden domineert dus transversaal terugstromingstransport waarbij de zware mineralen grotendeels in het bovenste zwin opgevangen worden. Dit sluit evenwel zware-mineralenaanvoer door transversale effecten van de golfwerking vanaf het laagstrand niet uit. In elk geval

blijkt de naar het oosten toe gerichte longitudinale stroming op het hoogstrand weinig effectief te zijn.

Alleen sequentiële opnamen van het zware-mineralengehalte en de samenstelling langs de strandprofielen zullen toelaten uit te maken in hoeverre zware mineralen uit het bovenste zwin door zwin- en muistroming naar lagere strandgedeelten gevoerd worden en van daaruit door de golfwerking landwaarts gerecycleerd worden.

4.2. Gewichtsgehalte aan zware mineralen in de verschillende zandfracties

4.2.1. Methode

Deelstalen van ongeveer 150 g, afkomstig van 5 bemonsteringspunten langs elk van de 2 strandprofielen, werden zonder enige voorbehandeling droog gezeefd op de reeds eerder vermelde zevenreeks. Van elk van de zandfracties werd de zware-mineraleninhoud afgescheiden op bromoform en het gewicht bepaald tot op 0,1 mg. De gewichtspercenten werden berekend t.o.v. het gewicht van elke afzonderlijke fractie en ook t.o.v. het gewicht van de volledige zandfractie, wat in deze gevallen met het volledige monster overeenkwam.

4.2.2. Algemene kenmerken

De tabellen IIIa en IIIb tonen aan dat nog slechts zeer weinig zware mineralen voorkomen in de fracties groter dan $500\mu\text{m}$ en in die kleiner dan $90\mu\text{m}$.

Tabel IIIa. Gewichtsgehalte aan zware mineralen in de verschillende zandfracties.

- (1) = gewichtspercent van elke fractie t.o.v. het totaal gewicht van het deelstaal;
- (2) = gewichtspercent aan zware mineralen t.o.v. het totaal gewicht van het deelstaal;
- (3) = gewichtspercent aan zware mineralen t.o.v. het gewicht van de fractie.

Taux pondéral des minéraux lourds dans les fractions sableuses.

- (1) = *taux pondéral de chaque fraction par rapport au poids total de l'échantillon partiel;*
- (2) = *taux pondéral des minéraux lourds par rapport au poids total de l'échantillon partiel;*
- (3) = *taux pondéral des minéraux lourds par rapport au poids de la fraction.*

Weight percentage of the heavy minerals in the different sand fractions.

- (1) = *weight percentage of each fraction in regard of the over-all weight of the partial sample;*
- (2) = *weight percentage of the heavy minerals in regard of the over-all weight of the partial sample;*
- (3) = *weight percentage of the heavy minerals in regard of the fraction weight.*

Granulo- metrische fractie in µm	FP37 (710)			FP37 (75)			FP37 (715)			FP37 (735)			FP37 (770)		
	samenmond rand			tetraammon			laagstrand 10 µm			laagstrand 10 µm			laagstrand 20 µm		
	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %
> 2000	0	0	0	0,101	0	0	0,086	0	0	0,097	0	0	1,464	0	0
1000 - 2000	0,004	0	0	0,155	0	0	0,300	0	0	0,287	0	0	2,061	0	0
710 - 1000	0,000	0	0	0,203	0	0	0,375	0	0	0,274	0	0	1,868	0,006	0
500 - 710	0,008	0	0	1,685	0,00	1,32	0,961	0,007	0	1,210	0,018	0	3,107	0,012	0,30
355 - 500	1,337	0,004	0,37	13,530	0,074	0,56	5,786	0,014	0,24	4,661	0,064	1,36	4,300	0,002	0,05
300 - 355	2,387	0,017	0,15	15,275	0,037	0,25	8,957	0,013	0,15	5,340	0,006	0,10	3,354	0,001	0,03
250 - 300	43,405	0,047	0,13	36,323	0,066	0,18	11,066	0,035	0,20	17,301	0,005	0,03	11,400	0,002	0,02
180 - 250	63,663	0,430	0,60	28,708	0,001	0,32	40,535	0,281	0,46	58,888	0,124	0,21	58,130	0,078	0,14
125 - 180	18,124	0,338	1,86	4,060	0,196	2,88	10,168	0,108	3,03	10,017	0,139	1,21	16,882	0,063	0,38
60 - 125	0,586	0,118	0,30	0,148	0,045	0,81	0,731	0,104	1,124	0,705	0,054	0,78	1,112	0,056	5,00
63 - 90	0,116	0	0	0,015	0	0	0,072	0	0	0,051	0	0	0,156	0	0
< 63	0,006	0	0	0,000	0	0	0,017	0	0	0,005	0	0	0,026	0	0
totaal wicht deelstaal	140,026			151,654			140,6810			140,6463			150,0000		
totaal re- wicht zware mineralen	1,3888			1,3148			1,1300			0,6020			0,3211		
re- wicht procent zware min.	0,009			0,867			0,762			0,402			0,210		

Tabel IIIb. Titel cf. IIIa.
Explanation cf. IIIa.
Explanation cf. IIIa.

Granulo- metrische fractie in µm	vpsr (710)			vpsr (713)			vpsr (725)			vpsr (735)			vpsr (770)		
	teen			duistvoet			laagstrand 10 µm			laagstrand 10 µm			laagstrand 20 µm		
	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %	(1) %	(2) %	(3) %
> 2000	0,025	0	0	0	0	0	0,122	0	0	0,250	0	0	0,169	0	0
1000 - 2000	0,014	0	0	0,009	0	0	0,004	0	0	0,566	0	0	0,473	0	0
710 - 1000	0,044	0	0	0,017	0	0	0,121	0	0	0,418	0	0	0,293	0	0
500 - 710	0,273	0	0	0,208	0	0	0,320	0	0	1,224	0,003	0	0,621	0	0
355 - 500	1,504	0,006	0,36	0,208	0,002	0,15	0,071	0,002	0,21	5,132	0,006	0,11	1,636	0,005	0,33
300 - 355	2,847	0,005	0,45	1,183	0,012	0,40	2,206	0,001	0,04	6,200	0,003	0,04	2,285	0,001	0,03
250 - 300	16,720	0,036	0,23	26,034	0,019	0,40	18,246	0,007	0,04	26,266	0,018	0,07	11,583	0,004	0,04
180 - 250	64,967	1,073	1,67	62,487	0,282	0,40	60,322	0,241	0,35	48,620	0,259	0,52	58,142	0,101	0,17
125 - 180	13,347	0,813	6,08	7,707	0,281	3,63	0,869	0,261	2,64	0,566	0,352	3,87	23,160	0,183	0,79
90 - 125	0,561	0,593	83,60	0,135	0,070	51,00	0,040	0,000	18,36	0,278	0,115	41,32	1,260	0,064	5,30
63 - 90	0,052	0	0	0,014	0	0	0,002	0	0	0,031	0	0	0,152	0	0
< 63	0,005	0	0	0,005	0	0	0,002	0	0	0,006	0	0	0,038	0	0
totaal re- wicht deelstaal	140,7704			140,267			140,7403			140,3516			140,6000		
totaal re- wicht zware mineralen	3,7248			0,9220			0,9124			1,1273			0,5361		
re- wicht procent zware min.	2,487			0,617			0,611			0,755			0,359		

In de jonge duinzanden en in de zanden aangevoerd vanaf de Ravelingen, valt de granulometrisch modale fractie (180-250 μm) samen met de modale fractie voor het gewichtsgelalte aan zware mineralen van de gehele zandfractie (63-2000 μm). In alle oppervlakkige strandzanden langs beide profielen te Klemskerke ligt de modale fractie voor het gewichtsgelalte aan zware mineralen (125 - 180 μm) daarentegen lager dan die voor de granulometrie (180-250 μm).

Steeds is het gewichtspersent aan zware mineralen, bepaald t.o.v. het gewicht van de afzonderlijke fracties, het grootst in de fractie 90 - 125 μm . Ook de grovere fracties blijken voor een groter gedeelte uit zware mineralen te bestaan dan de middenfracties. De fractie 90 - 125 μm bevat veel meer zware mineralen in de jonge duinzanden dan in de andere zanden. In de jonge duinzanden nabij KP38 bestaat die fractie zelfs voor meer dan 80 % uit zware mineralen. Ook in de strandzanden aan de duinvoet aldaar bestond die fijne zandfractie toen voor meer dan 50 % uit zware mineralen, wat op hun herkomst uit de jonge duinzanden wijst, gezien de intense afslag van de zeereep.

De aangevoerde zanden nabij KP37 bevatten wel meer zware mineralen dan de strandzanden die op beide plaatsen voorkomen, maar ze zijn veel armer aan zware mineralen dan de jonge duinzanden. Meer dan de andere fracties bestaat ook hier de fractie 90-125 μm uit zware mineralen, maar het relatief gewichtsgelalte ligt hier veel lager dan in de jonge duinzanden (20,2 % i.p.v. 83,6 %).

4.3. Zware-mineralengroepen en hun voorkomen

4.3.1. Methode

Eerst werd nagegaan welke het procentuele aantal van de verschillende soorten zware mineralen in de totale zandfractie is. De identificaties en tellingen gebeurden optisch door vlaktellingen onder de polarisatiemicroscop, na fixatie op een draagglas met behulp van Canadabalsem van een constante hoeveelheid zware mineralen (meestal 0,1 g) uit elk van de deelstalen. De procenten werden bepaald op een totaal aantal van 200 tot 250 doorschijnende korrels per preparaat. Vervolgens werden de afzonderlijke mineralen gegroepeerd volgens een drietal criteria. Het gelalte aan opake mineralen werd bepaald in aantal procent t.o.v. de totale som van het aantal getelde doorschijnende korrels samen met het ondertussen getelde aantal opake korrels.

4.3.2. Dichtheidsgroepen

Er werden 5 groepen zware mineralen onderscheiden op grond van hun dichtheid, een criterium dat in belangrijke mate het sedimentologisch gedrag van de korrels bepaalt bij opname, transport en afzetting.

- (1) Zware mineralen met hoge dichtheid (meer dan 3,3): HD-groep. Deze groep omvat granaat, distheen, augiet, stauroliet, rutiel, zirkoon, clinozoisiet, titaniet, aegyrien, anataas en brookiet.
- (2) Zware mineralen met gemiddelde dichtheid (3,1 tot 3,3): MD-groep. Daartoe behoren epidoot, enstatiet, diopsiet, apatiet, sillimaniet, zoï-siet en hypersteen.
- (3) Zware mineralen met lage dichtheid (2,89 tot 3,1): LD-groep. Hiertoe worden gerekend hoornblende, toermalijn, andalusiet, tremoliet, glaucofaan en actinoliet.
- (4) Alteriet, saussuriet, glauconiet en chloriet: ASGC-groep.
- (5) Opake mineralen: OM-groep.

De dichtheidswaarden van de verschillende mineralen werden overgenomen van S. DUPLAIX (1958).

4.3.2.1. Algemene kenmerken

In tabellen IIa en IIb is de samenstelling volgens dichtheidsgroepen opgegeven aan de hand van de rekenkundige gemiddelden van aantalprocenten voor elk van de stalen die genomen werden binnen de zone van aangevoerde zanden, in de jonge duinen, en in de verschillende micro-morfologische zones langs de eigenlijke strandprofielen op beide waarnemingsstations.

Wat de dichtheidsgroepen HD, MD en LD betreft, vertonen de eigenlijke strandzanden slechts weinig verschillen tussen de beide stations. Langs beide strandprofielen bereikt het gelalte aan zware mineralen van de HD-groep ongeveer 28%, dat van de MD- en dat van LD-groep elk ongeveer 22 % (zie tabellen II). Wanneer men de terrassenzone en het laagstrand afzonderlijk beschouwt, vertonen de gemiddelde waarden wel grotere verschillen.

De ASGC-groep is belangrijk in de eigenlijke strandzanden: gemiddeld 26,4 % nabij KP37 en 27,2 % nabij KP38. Die strandzanden blijken heel wat rijker te zijn dan de duinen en de opgespoten zanden. In die groep zijn glauconiet en chloriet echter zeldzaam.

Het gelalte aan opaken op het eigenlijke strand langs het transversaal profiel nabij KP38 bereikte op 31.01.79 gemiddeld ongeveer 14 %. In de terrassenzone lag het gemiddelde echter iets lager (13 %) terwijl het toen

op het laagstrand (beneden Z10) bijna 17 % bereikte. Opvallend is het geringe gehalte aan opake mineralen in de jonge duinzanden nabij KP38 (slechts 9,7 %). De relatieve armoede aan opaken op de terrassenzone kan aan herwerking uit de jonge duinzanden toegeschreven worden.

Op het eigenlijke strand nabij KP37 lag het gemiddelde opaaikgehalte veel hoger en bereikte het 28 %, een waarde die zeer sterk het gemiddelde opaaikgehalte in de aangevoerde zanden benadert. Er was daar toen een opvallend hoog gehalte aan opaken in de oppervlakkige strandzanden van de terrassenzone (L5-Z10) aan de voet van het hoogstrand in de opaaikrijke aangevoerde zanden. Op de rest van het strand (Z15-Z75) beneden de meest zeewaarts gelegen en toen reeds blootgelegde longitudinale Longardbewapeningsbuis, bereikte het gemiddelde opaaikgehalte slechts 17 %, een waarde die sterk analoog is aan de waarde op het laagstrand nabij KP38. De aanrijking van opaken in de terrassenzone nabij KP37 is duidelijk toe te schrijven aan uitwassen en achterblijven van opaken bij het herwerken van de opgespoten zanden. De analogie in het gemiddelde opaaikgehalte op het laagstrand in beide waarnemingsstations laat vermoeden dat in de beschouwde zone het residueel effect van longitudinale zandverplaatsingen dat van transversale bewegingen toen overtrof.

Opvallend is wel dat de jonge duinzanden veel meer mineralen van de HD-groep bevatten dan de actuele strandzanden en vooral veel rijker aan granaat zijn (30 % i.p.v. ongeveer 19 % gemiddeld). Het hoge gehalte aan zware mineralen van de hoge-dichtheidsgroep in de jonge duinen op KP38 kan verklaard worden door een differentieel transport, waarbij de lichtere mineralen verder vervoerd zijn, en niet door een preferentieel transport van de zwaarste mineralen (DEPUYDT, 1972).

Wat de aangevoerde Ravelingenzanden betreft, valt het gemiddeld hoge gehalte aan zware mineralen van de HD-groep op, vooral dat van granaat, zirkoon en titaniet, dit alles vooral ten koste van de groep MD. De granaataanrijking en het relatief laag gehalte aan MD- en LD-mineralen kunnen aan de uitwassing gedurende het opspuiten toegeschreven worden.

4.3.2.2. Dichtheidsgroepen in verband met het microreliëf

Het gehalte aan MD-mineralen is in beide stations ongeveer constant langs het hele strandprofiel en schommelt rond 22 %.

Aan KP37 schommelt het gehalte aan LD-mineralen rond 22 % langs het hele strandprofiel. De laagste waarde vindt men in het eerste (bovenste) zwin. Langs het strandprofiel aan KP38 neemt zeewaarts het gehalte aan LD-mineralen sprongsgewijze toe vanaf de terrassenzone

(ongeveer 18 %), over een eerste strandzone die het bovenste zwin en de voorliggende strandrug omvat (ongeveer 23 %) naar de laagwaterlijn toe (30,5 %).

Het gemiddeld gehalte aan HD-mineralen ligt langs beide strandprofielen overal hoger dan dat van de andere dichtheidsgroepen. Granaat is overal veruit het belangrijkste HD-mineraal. Wel komen er grote verschillen voor tussen de beide strandprofielen onderling en wisselt het gehalte aan HD-mineralen in belangrijke mate tussen de verschillende strandzones.

Nabij KP38 is de terrassenzone rijker aan HD-mineralen dan de andere microreliëfeenheden; aan KP37 is die zone het armst aan HD-mineralen. In beide gevallen vertegenwoordigt granaat er meer dan de helft van de zware mineralen.

Systematisch komen langs beide strandprofielen minder HD-mineralen voor op de strandruggen dan in de zwinnen. Nabij de laagwaterlijn is het gehalte aan HD-mineralen zeer hoog aan KP37 (44 %) maar daarentegen het laagst aan KP38 (19 %).

In de terrassenzone nabij KP38 is het gehalte aan zware mineralen van de verschillende dichtheidsgroepen sterk analoog aan dat in de zanden van de jonge duinen.

In de opgespoten zanden nabij KP37 vertoont het gehalte aan zware mineralen van de verschillende dichtheidsgroepen grote gelijkenis met dat nabij de doodtij-laagwaterlijn, behalve wat epidoot betreft dat aan de laagwaterlijn veel meer vertegenwoordigd is. Dit gaat gepaard met een sterk verschil in het gehalte aan alteriet, saussuriet, glauconiet en chloriet in de opgespoten zanden.

4.3.3. Groottegroepen

4.3.3.1. Methode

De korrelgrootte van de zware mineralen is een ander aspect dat hun sedimentologisch gedrag beïnvloedt.

Sommige auteurs hebben korrelgroottegroepen voor zware mineralen onderscheiden (M. L'ABBE, 1975).

Behalve het feit dat de normen voor het meten en klasseren van de mineralen naar hun grootte nog niet vast staan, lijkt het onredelijk zonder meer over te stappen van een mineralogische identiteit naar een korrelgrootteklasse. Een eerste kwalitatieve benadering toonde aan dat in de strandzanden nabij KP37 en KP38, zirkoon en granaat tot de kleinere

korrels behoorden maar dat bovendien epidoot er gemiddeld minstens even klein was als granaat, terwijl aan de andere kant hoornblende en opaaak tot de grotere korrels behoorden. De korrelgrootte van de zware mineralen op een bepaalde plaats wordt nog door andere factoren bepaald dan alleen maar de dichtheid. Ook de herkomst en de transportwijze spelen een rol. Dit wordt o.a. aangetoond door het feit dat deze groottegroepen mineralen van sterk verschillende dichtheid omvatten.

De korrelafmeting van de zware mineralen werd afgeleid uit de micro-metrische bepaling van de korrelengte, dit is de grootste waarneembare afmeting van de korrels ingebed op het draagglas.

De tellingen werden uitgevoerd op de meest frekwente mineralensoorten in elk van de dichtheidsgroepen, d.w.z. granaat (HD-groep), epidoot (MD-groep), hoornblende (LD-groep) en opake mineralen. Voor elk van deze mineralensoorten werd de korrelengte gemeten op 10 tot 20 korrels van ieder van de stalen genomen langs de transversale strandprofielen nabij KP37 en nabij KP38. Dan werden de gemiddelde korrelengten berekend (rekenkundig gemiddelde) voor het gehele strandprofiel, voor de jonge duinzanden, voor de aangevoerde Ravelingenzanden en voor elk van de morfodynamische strandsectoren. Ook werd de grootte van een aantal zirkoonkorrels bepaald.

4.3.3.2. Algemene kenmerken

Tabel IV toont aan dat er over 't algemeen geen belangrijke verschillen bestaan in de gemiddelde korrelengte van de meest voorkomende zware mineralen langs beide strandprofielen. De verschillen zijn het grootst voor epidoot en voor de opake mineralen. De gemiddelde korrelengte van de mineralensoorten in de aangevoerde zanden en in de terrassenzone nabij KP37 is duidelijk groter dan die van de strandzanden. Die in de jonge duinzanden verschilt weinig van die in de strandzanden, behalve wat granaat betreft, dat iets grover is in de jonge duinzanden.

De gemiddelde korrelengte van die zware mineralen op een zelfde plaats blijkt af te nemen naargelang hun dichtheid stijgt, wat op aanvoer wijst. In de aangevoerde zanden en in de jonge duinzanden is de korrelengte van 3 zwaardere en eerder bolvormige granaatkorrels groter dan die van de lichtere en eerder eivormige epidootkorrels. Dit is een andere aanwijzing voor differentiële afzetting in een eolisch transport. Op de meeste plaatsen vertoont granaat de kleinste en hoornblende de grootste korrelengte. Voor granaat ligt het totale strandgemiddelde in beide stations rond 200 μm .

Tabel IV. Gemiddelde korrelengte (in μm) per strandzone.
Longueur moyenne du grain (en μm) par section de la plage.
Mean grain length (in μm) in the different beach areas.

STATION KP37									
Strandzone	Aangevoerde zanden	Totaal strand	Terras- sazone	Laar- strand	1 ^o Zwijn	1 ^o Strand- ruil	2 ^o Zwijn	2 ^o Strand- ruil	Gail
	L20-L10	L5-275	L5-210	215-275	215-225	230-235	240-245	250-270	275
Granaat	224	200	247	181	212	156	170	166	134
Epidoot	204	192	223	181	217	100	165	166	141
Hoornblende	298	276	335	253	206	205	223	235	105
Zirkoon	-	100	-	-	-	-	-	-	-
Opaaak	282	256	381	235	271	272	172	173	141

STATION KP38									
Strandzone	Jonge duinzanden	Totaal strand	Terras- sazone	Laar- strand	1 ^o Zwijn	1 ^o Strand- ruil	Strand- plaat	Tanmeter- beem	
	L19-L15	L13-270	L13-210	215-270	215-220	225-235	240-265	270	
Granaat	227	204	226	193	195	197	180	205	
Epidoot	211	212	228	201	223	216	194	192	
Hoornblende	273	278	283	275	294	279	270	251	
Zirkoon	-	100	-	-	-	-	-	-	
Opaaak	227	230	235	227	215	253	213	244	

Over het gehele strand, zowel in KP37 als in KP38, is de gemiddelde lengte van de zirkoonkorrels merklijk kleiner dan die van de andere onderzochte zware-mineralensoorten. Dit lijkt verband te houden met de herkomst en de sedimentaire geschiedenis van die korrels als doorlopers.

De gemiddelde korrellengte van de zware-mineralensoorten op de lage strandgedeelten nabij KP38 blijkt systematisch groter te zijn dan op de lage strandgedeelten nabij KP37, behalve voor opaak en buiten het eerste zwin. Dit is niet het geval in de terrassenzone. Daar is de gemiddelde korrellengte groter in KP37 dan in KP38, behalve voor epidoot.

4.3.3.3. Gemiddelde korrellengte en microreliëf

De gemiddelde korrellengte van de onderzochte zware-mineralensoorten is in beide stations het grootst in de terrassenzone. Dit houdt verband met het hoog energetisch niveau dat op de terrassenzone en op de flexuur voorkomt. De zware mineralen zijn er onderhevig aan een opvoermechanisme dat bekend is op stranden en schoorwallen ontwikkeld in grint. Bij storm wordt een mengeling van fijn en grof materiaal op de hoogwaterberm opgeworpen, maar bij het dalen van de brandingsenergie worden de grootste elementen moeilijker verwijderd zodat ze op de hoogwaterberm blijven liggen.

Langs de beide strandprofielen neemt de gemiddelde korrellengte van de meeste zware mineralen zeewaarts af. Die afname gebeurt stapsgewijze. Een eerste zone omvat het eerste zwin en de voorliggende strandrug. Een tweede zone omvat het tweede zwin en de zeewaarts voorliggende strandrug. Een derde zone, waar de gemiddelde korrellengten nog kleiner zijn, begint aan de doortijlaagwaterberm. De gemiddelde korrellengte is er overigens tot op de helft of eenderde van de waarde in de terrassenzone gevallen. Dit geldt evenwel niet voor opake mineralen en granaat nabij KP38.

Merkwaardig is wel dat, behalve voor de opake korrels, de gemiddelde korrellengte van de onderzochte zware mineralen kleiner is in een zwin dan in de landwaarts gelegen strandrug. Dit kan verband houden met transversaal, landwaarts golftransport van heterogeen materiaal naar de terrassenzone of de strandrug vanuit het voorliggende zwin, gevolgd door een selectieve terugvoer van de fijne elementen naar dat zwin. Het is niet uitgesloten dat uitwassing van fijne korrels door longitudinale zwinstroming en hun afzetting in de muidelta's in de voorliggende zwinnen, daarbij een rol spelen.

4.3.4. Zware-mineralenassociaties

Een zware-mineralenassociatie is een groep van mineralen met een dichtheid hoger dan 2,89, die meestal in klein aantal (minder dan 1 %) samen in een sediment voorkomen, en gekenmerkt wordt door de aanwezige soorten en hun relatief gehalte.

Zware-mineralenassociaties zijn van belang voor de studie van de verbreiding en de herkomst van de sedimenten, voor zover de mineralenassociaties in de mogelijke brongebieden bekend zijn.

Verschillende onderzoekers (BAAK, 1936; ZONNEVELD, 1958; EISMA, 1968) hebben zware-mineralenassociaties in de zandfractie van bodemsedimenten van de zuidelijke Noordzee en ook in de kwartaire sedimenten van de continentale randzones gedefinieerd, sedimenten die voor mogelijk transport naar de Noordzee en herwerking aldaar in aanmerking komen.

Het beschikbare vergelijkingsmateriaal komt vooral van de zuidelijke Noordzeebodem, de Nederlandse kust-, strand- en duinzanden, de pleistocene afzettingen van Rijn, Maas en oostelijke rivieren in Nederland en ook van de glaciogene Saalesedimenten in Nederland (EISMA, 1968). De bepalingen van de zware-mineralenassociaties in dit vergelijkingsmateriaal gebeurden op grond van de zware-mineralensamenstelling in de zandfractie (50 - 500 μ m). Daaraan kon nieuw vergelijkingsmateriaal toegevoegd worden, opgesteld voor de zandfractie (200 - 250 μ m) in de Nederlandse kust-, strand- en duinzanden tussen Den Helder en Katwijk en in een aantal reeds eerder gedefinieerde associaties van pleistocene rivierafzettingen in Nederland (EISMA, 1968). Tussen de verschillende bepalingen treden geen fundamentele verschillen op.

Opvallend is wel dat de Nederlandse strandzanden ten noorden van Bergen/Zee zeer sterk verschillen van die ten zuiden van die kustplaats in Noord-Holland. Ten zuiden van Bergen/Zee is het granaatgehalte zelfs tot tienmaal lager dan verder noordwaarts (EISMA, 1968). Bovendien is gebleken dat de zware-mineralensamenstelling van de duinzanden ten zuiden van Bergen/Zee zeer analoog is aan die van de voorliggende strandzanden. Noordwaarts zijn de duinzanden daarentegen heel wat armer aan granaat en rijker aan saussuriet dan de voorliggende strandzanden.

Uit het onderzoek te Klemskerke komt naar voor dat de zware mineralen in de oppervlakkige strandzanden nabij KP37 en KP38 bijna uitsluitend in de fractie 63 - 500 μ m voorkomen. Daarom werden de bekomen zware-mineralensamenstellingen alleen vergeleken met die van de zware-mineralenassociaties zoals vermeld op de synthesetabel van EISMA (1968, p. 162).

Het bepalen, respectievelijk identificeren van de zware-mineralenassociaties is gebeurd op basis van de gemiddelde aantalfrekwenties voor de volgende zware-mineralensoorten: granaat, epidoot, hoornblende; saussuriet en alteriet; stauroliet, augiet, toermalijn en distheen (kyaniet) en verder de groep van de andere zware-mineralensoorten.

De aldus omschreven gemiddelde zware-mineralensamenstelling van de jonge duinzanden nabij KP38 vertoont gelijkenis met die van de Nederlandse kustzanden (*Dutch North Sea Coastsands* of H-groep, volgens BAAK). Het voornaamste verschil is een iets hoger saussurietgehalte nabij KP38.

De gemiddelde zware-mineralensamenstelling van de opgespoten zanden, afkomstig van de Ravelingen, vertoont gelijkenis enerzijds met de mineralenassociatie van de strandzanden ten zuiden van Bergen/Zee (definitie volgens EDELMAN) en anderzijds ook met die van de H-groep (BAAK). Die zanden bevatten evenwel minder epidoot en veel meer granaat dan de strandzanden ten zuiden van Bergen/Zee. Aan de andere kant onderscheiden ze zich van de H-associatie door hun hoger gehalte aan saussuriet.

De gemiddelde samenstelling van de strandzanden nabij KP38 en nabij KP37 is zeer analoog. Het granaatgehalte is er veel lager dan in de duinzanden en in de aangevoerde Ravelingenzanden, die op dat vlak een grote gelijkenis vertonen.

Die strandzanden hebben een zware-mineralensamenstelling die gelijkenis vertoont met de Rijn-AS-Kreftenheyeassociatie (ZONNEVELD, 1958), met dat verschil dat hun augietgehalte veel lager ligt (3 % i.p.v. 12 %) en hun toermalijngesalte hoger (5,3 % i.p.v. 1,9 %). Het belang van de hoornblende-epidootgroep is zeer analoog, maar het aandeel van de beide mineralensoorten is omgewisseld. De strandzanden vertonen ook een sterke overeenkomst met de zware-mineralenassociatie van de veel oudere Rijn-S-Sterksel Formatie (ZONNEVELD, 1958), waarin het augietgehalte van de strandzanden echter veel hoger (3,0 % i.p.v. 0,8 %) en het saussuriet-alterietgehalte evenwel lager ligt dan in de referentiefornatie. Het relatief hoge augietgehalte wijst eerder op analogie van de strandzanden vóór de Belgische middenkust met de bovenpleistocene Rijn-AS-Kreftenheyeformatie.

Het zou nuttig zijn de zware-mineralensamenstelling van de onderzochte strandzanden te kunnen vergelijken met de zware-mineralenassociaties van de kwartaire afzettingen van het Scheldebekken.

Tabel V. Gemiddelde zware-mineralensamenstelling van Belgische kustzanden en van Nederlands referentiemateriaal.

Composition moyenne des minéraux lourds des sables de plage belges et du matériel de référence hollandais.
Mean heavy-minerals content of the Belgian beach sands and of the Dutch reference material.

Gemiddelde zware-mineralensamenstelling voor de fractie 63 - 2000 µm.											
1. Belgische Middenkust	aantal monsters	zirkoon	granaat	hoornblende	epidoot	saussuriet-alteriet	stauroliet	augiet	toermalijn	distheen	andere
KP36 strandzanden	18	0,7	18,3	13,1	20,5	23,0	3,9	3,3	7,0	1,2	8,0
KP36 duinen	3	0,5	30,0	9,8	23,0	21,0	2,7	3,3	5,0	0,7	4,0
KP37 strandzanden	18	1,3	19,9	13,7	19,5	25,6	2,7	3,0	5,3	0,9	8,1
KP37 aangevoerde zanden	3	2,3	35,0	12,7	13,2	18,2	4,0	3,3	3,2	1,0	6,6
2. Vergelijkingsmateriaal (EISMA, 1968) : gemiddelde zware-mineralensamenstelling voor de fractie 50 - 500 µm.											
associatie van											
Strandzanden noord v. Bergen	29		38,5	6,0	17,1	16,8	5,0	2,0	8,0	1,3	5,0
Strandzanden zuid van Bergen	86		23,3	15,1	22,3	20,1	3,0	4,7	3,4	1,0	7,1
H-groep (BAAK)	96		35,9	9,6	22,4	10,4	3,7	5,6	4,4	0,9	7,1
Rijn-AS	67		6,9	12,9	15,6	35,5	2,5	18,8	2,5	0,8	4,5
Rijn-AS	14		29,4	7,4	14,4	23,5		14,3	5,2		5,8
Rijn-AS-Kreftenheye formatie	15		17,0	18,3	14,8	28,7		12,4	1,9		4,8
Rijn-S-Sterksel formatie	23		19,8	16,2	19,8	34,2		0,8	1,9		5,6
Maas-Veghel formatie	8	> 20	18,5	4,5	16,6	6,8		0	13,5		< 10

5. BESLUIT

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de jonge duinzanden te Klemskerke duidelijk verschillen van de voorliggende strandzanden. Ingevolge afslag is er wel een proces van vermenging ontstaan. Voorlopig biedt dit echter de mogelijkheid de jonge duinzanden, op basis van hun zware-mineraleninhoud, als tracer materiaal voor de studie van de stranddynamiek op langere termijn te gebruiken. Meer gedetailleerd onderzoek in sequentiële opnamen zou nuttig zijn om de residuele sedimentverplaatsingen en de morfodynamiek op het strand nader te bestuderen.

Hetzelfde geldt, maar minder uitgesproken, voor de opgespoten zanden afkomstig van de Ravelingenbank.

De zanden van het laagstrand vertonen in beide waarnemingsstations een vrij grote overeenkomst, maar sommige sedimentologische kenmerken zijn duidelijk verbonden aan de micromorfologische positie. De grootste zanden komen voor op de flexuur en op de terrassenzone. Er is een vermindering van het zware-mineralengehalte en een verandering in samenstelling naar de eblijn toe. In de zwinnen komt een relatieve aanrijking aan zware mineralen voor, vooral zware mineralen van hoge dichtheid en vooral ook in het bovenste zwin.

De granaatrijksdom van de jonge duinzanden kan beter door differentiële afzetting dan door differentiële erosie verklaard worden.

De verspreiding van de zware mineralen laat uitkomen dat op de terrassenzone en langs de flexuur, transversaal golftransport domineert, terwijl op het laagstrand residueel, longitudinaal transport overweegt. Dit wordt bevestigd door de sedimentaire oppervlaktestructuren.

Strandzanden, zanden aangevoerd vanaf de Vlaamse Banken (Ravelingen) en jonge duinzanden behoren tot verschillende zware-mineralenassociaties. Het zou evenwel interessant zijn over vergelijkingsmateriaal te beschikken dat afkomstig is van sedimenten uit het Scheldebekken, in plaats van uit het Maas- en Rijngebied in Nederland.

De resultaten die hier naar voor gebracht werden, zouden nog door onderzoek op een groter aantal stalen, op talrijker plaatsen en op opeenvolgende tijdstippen moeten geconsolideerd worden. Voorlopig hebben ze een lokale en tijdsgebonden betekenis.

REFERENTIES

- × BAAK, J.A. (1936). *Regional petrology of the Southern North Sea*, 127 p. Wageningen: Veenman (Proefschrift).
- o DE MOOR, G. (1979a). Recent beach evolution along the Belgian North Sea coast. *Bull. Belg. Veren. Geol.* 88, 143-157.
- DE MOOR, G. (1979b). Premiers effets du rehaussement artificiel d'une plage sableuse le long de la côte belge. In: *Les côtes atlantiques d'Europe, évolution, aménagement, protection* (ed. GUILCHER), p. 97 - 114. Brest: Public. CNEXO (Actes de colloques, n° 9).
- o DE MOOR, G. (1981). Erosie langsheen de Belgische Kust. *Aardrijkskunde* 5, 279-294.
- o DEPUYDT, F. (1972). De Belgische strand- en duinformaties in het kader van de geomorfologie der zuidoostelijke Noordzeekust. *Verh. Kon. Acad. Wet. Lett. Sch. Kunsten Belg., Kl. Wet.* 34 (122), 1-128.
- DUPLAIX, S. (1958). *Détermination des minéraux des sables*, 93 p. Paris: Béranger.
- EISMA, D. (1968). Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the Island of Vlieland. *Neth. Journ. Sea Res.* 4, 132-267.
- o GEETS, S. (1978). De overgang Ieperiaan-Paniseliaan in de streek van Roeselare en Tielt. *Natuurwet. Tijdschr.* 60, 41-69.
- ? L'ABBE, M. (1975). *Sedimentpetrologie van recente strandafzettingen langs de Vlaamse en Noordfranse kust*, 72 p. Gent: Rijksuniversiteit (Licentiaatsverhandeling).
- × RIVIERE, A. (1977). *Méthodes granulométriques: techniques et interprétations*, 170 p. Paris: Masson.
- ROTTHIER, R., DE DECKER, M. & DE MOOR, G. (1981). Vergelijkende studie van enkele granulometrische parameters en van hun berekeningsmethodes. *Natuurwet. Tijdschr.* 63, 35-48.
- ZONNEVELD, J.I.S. (1958). Litho-stratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistoceen. *Meded. Geol. Sticht., N.S.* 12, 31-64.
- ### AANVULLENDE BIBLIOGRAFIE
- BERTHOIS, L.A. & AUBERT, M. (1954). Triage différentiel des minéraux dans les sables de plages. *Bull. Soc. Linn. Normandie* 59 7, 52 - 57.
- BRADLEY, J.S. (1957). Differentiation of marine and sub-aerial sedimentary environments by volume percentage of heavy minerals, Mustang Island, Texas. *Journ. Sed. Petr.* 27, 116-125.
- BRAJNIKOV, B. (1944). Sur l'importance de la granulométrie pour l'étude quantitative des minéraux lourds dans un sédiment. *Bull. Soc. Géol. France, 5e S* 14, 381-390.
- DAVIS, R.A. (1978). *Coastal Sedimentary environments*, 420 p. New York: Springer.
- FLORES, R.M. & SHIDELER, G.L. (1978). Factors controlling Heavy-Mineral variations on the South Texas outer continental shelf, Gulf of Mexico. *Journ. Sed. Petr.* 48, 269-280.
- HAND, B.M. (1967). Differentiation of beach and dune sands using settling velocities of light and heavy minerals. *Journ. Sed. Petr.* 37, 514-520.
- LOOTENS, M. (1977). Zware-Mineralensamenstelling van de kwartaire afzettingen in het Leiedal (zone Deinze-St.-Baafs-Vijve). *Natuurwet. Tijdschr.* 59, 39-50.
- MILNER, H.B. (1962). *Sedimentary petrography*, (4th ed.), vol. 2, 715 p. London: George Allen & Unwin.
- PARFENOFF, A., POMEROL, D. & TOURENQ, J. (1970). *Les minéraux en grains*, 578 p. Paris: Masson.
- SNACKEN, F. (1956). Eolisch zandtransport langs het Belgisch strand. *Natuurwet. Tijdschr.* 38, 89-99.

- SWIFT, D.J.P., DILL, C.E. jr. & Mc HONE, J. (1971). Hydraulic fractionation of heavy mineral suites on an unconsolidated retreating coast. *Journ. Sed. Petr.* 41, 683-690.
- VAN STRAATEN, L.M.J.U. (1954). Composition and structure of Recent marine sediments in the Netherlands. *Leidse Geol. Meded.* 19, 1 - 110.
- ZONNEVELD, J.I.S. (1946). Beschouwingen naar aanleiding van de korrelgrootte der zware mineralen in zandige sedimenten. *Geol. Mijnb. N.S.* 8, 83-105.

(Ingekomen 23 februari 1982).