

**MINISTERIE
VAN
OPENBARE WERKEN**

**BESTUUR DER WATERWEGEN
DIENST DER KUST**

VERSLAG EERSTE MEETKAMPAGNE

EOLISCH ZANDTRANSPORT

ZSZ443

85.4644



HAECON
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

VERSLAG 1E MEETKAMPAGNE EOLISCH ZANDTRANSPORT

-ooo-

I N H O U D S T A B E L

=====

	VOORWOORD.....	1
1.	INLEIDING	2
2.	DE PROEFOPSTELLING	2
2.1.	DE MEETSTATIONS	2
2.2.	DE TERREINOPNAMEN EN DE WAARNEMINGSMETHODEN	6
3.	DE WAARNEMINGEN	8
3.1.	ANALYSE VAN DE MONSTERS	9
3.2.	DE INTENSITEIT VAN HET REPTATIETRANSPORT	14
3.2.1.	Betekenis van de "gemiddelde windsnelheid" voor de intensiteit van het reptatietransport	14
3.2.2.	Invloed van de vochtigheidstoestand van het strand- oppervlak op de intensiteit van het reptatietran- sport	18
3.2.3.	Invloed van de korrelgrootte van het strandzand op de intensiteit van het reptatietransport	18
3.2.4.	Invloed van de windrichting op de intensiteit van het reptatietransport	19

3.3.	DE INTENSITEIT VAN HET SALTATIE-TRANSPORT	20
3.3.1.	Opvanghoogte en intensiteit van het saltatie-transport - het vertikaal transportprofiel	21
3.3.2.	Invloed van de opvangmethode op de intensiteit van het saltatie-transport	21
3.3.3.	Invloed van de windsnelheid op de intensiteit van het saltatie-transport	22
3.3.4.	Invloed van het windpatroon op de intensiteit van het saltatie-transport	22
3.3.5.	Invloed van de vochtigheidstoestand van het strandoppervlak op de intensiteit van het saltatie-transport	22
3.3.6.	Invloed van de korrelgroottekenmerken van het strandzand op de intensiteit van het saltatie-transport	23
3.4.	DE VERHOUDING SALTATIE - REPTATIE	23
3.5.	KORRELGROOTTE-KENMERKEN VAN HET REPTATIE- EN HET SALTATIEMATERIAAL	25
3.5.1.	Korrelgroottekenmerken van het reptatiemateriaal	25
3.5.1.1.	Invloed van de korrelgroottekenmerken van het strandzand op de kenmerken van het reptatiemateriaal	25
3.5.1.2.	Invloed van de windsnelheid op de kenmerken van het reptatiemateriaal	26
3.5.2.	Korrelgroottekenmerken van het saltatiemateriaal	27

3.5.2.1.	Invloed van de opvanghoogte op de korrelgrootte- kenmerken van het saltatiemateriaal	27
3.5.2.2.	Invloed van de kenmerken van het strandzand op de kenmerken van het saltatiemateriaal	28
3.5.2.3.	Invloed van de windsnelheid op de kenmerken van het saltatiemateriaal	30
3.6.	TRANSPORTVERDELING OVER DE STRANDBREEDTE	31
3.7.	RESIDUELE EFFECTEN	34
3.8.	PROGNOSE VAN HET EOLISCH ZANDTRANSPORT OP BASIS VAN METEOROLOGISCHE GEGEVENS IN EEN REFERENTIESTATION	36
4.	BESLUIT	37
	LIJST DER TABELLEN	
	LIJST DER FIGUREN	

VERSLAG 1E MEETKAMPAGNE EOLISCH ZANDTRANSPORT

-oOo-

VOORWOORD

Na de strandsuppletie te Knokke mocht verwacht worden dat het zandtransport t.g.v. het windeffekt zou vergroot worden daar een strandverbreding van gemiddeld 200 m gerealiseerd werd. In dit vooruitzicht werd een schatting van de windtransportcapaciteit opgemaakt op basis van de voor de Oostkust optredende windsnelheden en de mogelijk optredende vochtgehaltes op het strand. Toepassing van de formule van Bagnold bij verschillende vochtigheidsgraden leverde een eolisch transportvermogen op van ca. 80.000 m³/jaar. Dit zou het zandverlies kunnen zijn welke langs en over de kustdijk de strandzone verlaat.

Teneinde de zandoverlast op de kustdijk te reduceren en ook om belangrijke zandverplaatsingen langs de kust te vermijden zijn na de strandsuppletie op verscheidene plaatsen hagen aangebracht. Hierbij werden zowel rijshouten hagen (Lekkerbek) als lattenhagen (Knokke) toegepast. Reeds na enkele stormen bewezen deze hagen hun efficiëntie en toonden inderdaad aan dat het eolisch zandtransport een niet te onderschatten komponent is bij de stranddynamiek op de Oostkust.

Teneinde de theoretische benaderingen van het eolisch transport te controleren en bovendien een verdeling van het transport in functie van de wind-omstandigheden toe te laten werd voorgesteld een proefopstelling op de Oostkust te plaatsen welke toelaat deze effecten lokaal, doch met grote betrouwbaarheid, op te meten.

1.

INLEIDING

Het fundamenteel doel van deze studie is het meten van het eolisch sedimenttransport door reptatie en door saltatie bij wisselende kenmerken van weersomstandigheden, welke een duidelijke invloed hebben op het eolisch sedimenttransport, nl. windsnelheid, windregime en zandvochtigheid. Aan de hand hiervan wordt verwacht een antwoord te geven op de volgende vragen :

- In welke verhouding staat het transport in saltatie t.o.v. het transport over de bodem ?
- Over welke hoogte speelt zich het belangrijkste transport af en hoe is de transportverdeling over de vertikaal ?
- Van welke grootte-orde is het zanddebiet op verschillende strandzones doorheen een eenheidsprofiel, loodrecht op de windrichting ?
- In welke mate zijn de metingen te korreleren aan de windopmetingen in de meteo te Zeebrugge, dit voor eventuele extrapollaties ?

Het eolisch zandtransport en zijn residuele effecten vormen echter een zeer ingewikkeld en multifactorieel natuurlijk proces waarvan de factoriële analyse niet onder gecontroleerde voorwaarden kan gebeuren, maar berust op een dataselectie. Het opstellen van een groot databestand van een hoge waarnemingsfrequentie en bij grote factoriële diversiteit is hier absoluut noodzakelijk teneinde de resultaten en inzichten beter te argumenteren en te omschrijven.

2.

DE PROEFOPSTELLING

2.1.

DE MEETSTATIONS

Terreinwaarnemingen werden uitgevoerd in 6 meetstations ten oosten van de Zeebrugge havenuitbouw. In elk van de waarnemingsplaatsen werden 1 tot 4 meetpunten gekozen, zowel op het droog als op het nat strand.

Een beschrijving van de meetpunten : hun lokalisatie op het strand, de data van opmetingen, de type

monsters welke er genomen werden en hoeveel, volgt hieronder schematisch (zie ook figuur 1). De meetpunten werden gerangschikt van west naar oost. Een meer gedetailleerde beschrijving van elk dezer meetpunten en van de genomen monsters is opgenomen in de deelverslagen.

a. Zeebrugge-Dijk

ZBD/P1 :

- 1e monstername 09.02.84
- laatste monstername 02.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 12
 - saltatie op 10 cm : 1
 - 20 cm : 3
 - 30 cm : 1
- opmerkingen :
 - * vanaf 26.04.84 werden strandcabines geplaatst in de omgeving van het meetpunt.
 - * de verzamelbak werd voor een aantal reptatie-monsters ingegraven op de rug van een megaribbel.

ZDB/P2 :

- 1e monstername 07.05.85
- laatste monstername 12.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 9
 - saltatie op 10 cm : 5
 - 20 cm : 3

ZBD/P3 :

- 1e monstername 25.06.84 (eenmalige opname)
- plaats op het strand : nat strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 1
 - saltatie op 10 cm : 1

ZBD/P4 :

- 1e monstername 12.07.84 (eenmalige opname)
- plaats op het strand : nat strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 1
 - saltatie op 10 cm : 1

b. Heist-Standbeeld

HS/P1 :

- 1e monstername 08.05.84
- laatste monstername 12.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 2
saltatie op 20 cm : 1

HS/P2 :

- 1e monstername 24.04.84
- laatste monstername 12.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 8
- opmerking :
* het meetpunt bevindt zich midden in een zone
waar deflatie domineert en waar schelpmateriaal
achterblijft.

HS/P3 :

- 1e monstername 21.05.84
- laatste monstername 12.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 9
saltatie op 10 cm : 2
 20 cm : 3
 40 cm : 1
- opmerking :
* het meetpunt situeert zich in een uitzonderlijke
zone van fijn zand.

HS/P4 :

- 1e monstername 25.06.84
- laatste monstername 12.07.84
- plaats op het strand : nat strand
- aantal monsters :
reptatie : 4
saltatie op 20 cm : 1

c. Knokke-Aan-Zee

KAZ/P1 :

- 1e monstername 11.05.84
- laatste monstername 02.07.84
- plaats op het zand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 3
saltatie op 20 cm : 2

KAZ/P2 :

- 1e monstername 11.05.84
- laatste monstername 02.07.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 3

KAZ/P3 :

- 1e monstername 06.06.84 (eenmalige opname)
- plaats op het strand : tussen Spring Hoog
Water Lijn en Dood Hoog Water Lijn
- aantal monsters :
reptatie : 1

d. Knokke-Dijk

KD/P1 :

- 1e monstername 31.01.84
- laatste monstername 27.03.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 2
saltatie op 20 cm : 2
- opmerking :
* het strandoppervlak bestaat hier uit opgespoten grof zand waaruit de fijne fractie weggeblazen is.

KD/P2 :

- 1e monstername 07.02.84 (eenmalige opname)
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 4
saltatie op 20 cm : 2
40 cm : 2

KD/66 m :

Dit meetpunt dient ter vervanging van het meetpunt KD/P3 dat geen representatieve resultaten gaf omwille van een te dichtbij gelegen hagenrij. Het meetpunt situeert zich op 66 m zeewaarts van de dijk, op het droog strand. In dit meetpunt werd eenmalig de windsnelheid gemeten op 13.03.84.

e. Knokke-Swimming-Pool

KSP/P1 :

- 1e monstername 24.05.84 (eenmalige opname)
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
reptatie : 1

KSP/P2 :

- 1e monstername 29.03.84
- laatste monstername 28.06.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 2
 - saltatie op 10 cm : 1
 - 20 cm : 2
 - 30 cm : 1

KSP/P3 :

- 1e monstername 11.01.84
- laatste monstername 28.06.84
- plaats op het strand : droog strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 13
 - saltatie op 10 cm : 1
 - 20 cm : 6
 - 30 cm : 1
 - 40 cm : 4
- opmerking :
 - * de monsters op 20 en op 40 cm werden zowel met de verzamelbak (horizontale opvangopening) als met de zandcollector (vertikale opvangopening) genomen.

f. Knokke-Zwin

KZW/P1 :

- 1e monstername 22.06.84
- laatste monstername 03.07.84
- plaats op het strand : hoog strand aan de duinvoet
- aantal monsters :
 - reptatie : 2
 - saltatie op 10 cm : 1

KZW/P2 :

- 1e monstername 22.06.84
- laatste monstername 03.07.84
- plaats op het strand : nat strand
- aantal monsters :
 - reptatie : 2

2.2. DE TERREINOPNAMEN EN DE WAARNEMINGSMETHODEN

Bij elke monstername werden volgende terreinwaarnemingen uitgevoerd :

- (1) Het meten van de windsnelheid in de vrije lucht met de schoepanemometer, type Schildknecht 655. De metingen gebeurden minstens op de hoogte van de opening van de zandcollector. De mogelijke waarnemingshoogten zijn 20, 40, 100 en 150 cm boven het grondoppervlak. Gedurende periodes van 15 minuten, herhaald om het uur vanaf het begin tot het einde van de metingen, werd om de 5 seconden de windsnelheid op een welbepaalde hoogte opgenomen. Hiermee werd de "gemiddelde windsnelheid" berekend, zijnde het rekenkundig gemiddelde van de waarnemingen voor één enkele meting. Deze zeer frekwente snelheidsmetingen lieten tevens toe het windregime te volgen.
- (2) De windrichting werd volgens eenzelfde schema opgetekend als de windsnelheid met behulp van een windvaan, gekoppeld aan een kompas. Hiervan werden eveneens gemiddelde waarden berekend.
- (3) De vochtigheidsgraad van het zand tot op een diepte van 10 à 20 cm werd opgemeten met een Lambrecht-hygrometer op verschillende plaatsen rond het waarnemingspunt. Een supplementaire evaluatie werd uitgevoerd aan de hand van de neerslag en de temperatuur gedurende de laatste 24 uur.
- (4) Gelijktijdig werd eveneens de luchttemperatuur met de Lambrecht-thermohygrometer gemeten.
- (5) Aangezien het meten van het actief, ogenblikkelijk zandtransport geen informatie geeft over residuele effecten werden gedetailleerde transversale strandprofielen langs vaste profiellijnen in elk waarnemingspunt gewaterpast. Door vergelijking van de desbetreffende opeenvolgende profielen kunnen de residuele zandverplaatsingen over langere periodes geëvalueerd worden.
- (6) Het noteren van de getijdestand.
- (7) Het kwalitatief waarnemen van de toestand van het strand en het weer (het voorkomen van hagen, hindernissen, duinen, de bewolkingsgraad, enz. ...).

Opmerking : Naast de eigen meteorologische waarnemingen beschikt men over continue meteorologische gegevens opgemeten te Zeebrugge door M.O.W. en door Distrigas, respectievelijk op een hoogte van 12 en 15 m. Deze geven informatie over neerslag,

windrichting, gemiddelde windsnelheid en windsnelheidspieken per uur of per 15 minuten.

Wat betreft de monsternames van het repterende en het salterende materiaal, werd gebruik gemaakt van :

- (1) verzamelbakken met cirkelvormige bovenopening van 25 cm diameter, in horizontale positie aangebracht. Deze werden ingegraven voor het meten van het reptatietransport of op verschillende hoogten boven het maaiveld geplaatst (vb. op 10, 20, 30 en/of 40 cm) voor het meten van het saltatietransport,
- (2) de zandcollector met verticale opvangopening van 12 cm diameter, geplaatst op een hoogte van 20 en 40 cm boven het maaiveld. De opening van deze zandcollector richt zich voortdurend naar de wind,
- (3) zandopvangstaafjes, op 15 m van elkaar langs het transversale strandprofiel uitgezet. Dit zijn houten latjes, 3 cm breed, 40 cm hoog, voorzien van kleefband. Ze worden met de brede kant en de kleefband tegen de wind gekeerd zodat het salterende zand gedurende 10 minuten opgevangen wordt.

De oppervlakkige strandzanden zijn onderzocht aan de hand van bodemstalen die over een oppervlakte van 300 cm² uit de bovenste 5 cm genomen werden : voor de stations KSP en HS zijn dit stalen, genomen langs het gehele transversaal profiel op tussenafstanden van 15 m, voor de overige stations zijn dit stalen, overwegend genomen op het hoogstrand.

3. DE WAARNEMINGEN

De resultaten van de terreinwaarnemingen zijn terug te vinden in de tussentijdige rapporten. De opgevangen reptatie- en saltatiestalen en de grondstalen werden granulometrisch onderzocht. (1)

(1) Reptatietransport = d.i. sedimentverplaatsing door rollen en verschuiven over de bodem
Saltatietransport = d.i. sedimentverplaatsing waarbij de sedimentpartikels transiteren door min of meer korte sprongen boven het oppervlak.

Vervolgens werd getracht de invloed van de eerdervermelde transportfactoren te bepalen. Het gegevenbestand is vooralsnog te gering om reeds tot een mathematische formulering van verbanden over te gaan. Toch werd de weg geopend tot een eerste benadering van de prognose van het zandtransport.

3.1. ANALYSE VAN DE MONSTERS

Het laboratoriumonderzoek bestond enerzijds uit de granulometrische grofanalyse van het gehele veldstaal, en anderzijds uit de fijnanalyse van de zandfractie (4000-50 μm) door droge zeping met een standaardreeks zeven. Analyses werden slechts uitgevoerd indien voldoende materiaal opgevangen werd. Elke analyse werd verricht op niet-ontkalkte en op ontkalkte stalen. Eveneens de totale leem- en kleifracctie werden bepaald.

De opeenvolgende handelingen bij de analyse zijn in het kort geschetst :

- voor de grofanalyse :
 - . zeping op zeven 32, 16, 8, 4 en 2 mm
 - . gewichtsbepaling van de fracties
- voor de fijnanalyse (op de fractie 4000 μm) :
 - . met zeven op 50 μm en bepaling van het totale gewicht van de zandfractie (4000-50 μm)
 - . gewichtsberekening van de leem- en kleifracctie (50 μm)
 - . droog zeven van de niet-ontkalkte zandfractie met een standaardreeks zeven en gewichtsbepaling van de fracties
 - . na ontkalking gewichtsbepaling van de zandfracties door droogzeving op dezelfde zeven.

De resultaten van de analyses en de cumulatieve korrelgrootte verdelingsdiagrammen werden opgenomen in de deelverslagen.

Een overzicht van de voornaamste parameters voor de onderscheiden stalen na analyse vóór ontkalking is te vinden in Tabellen 1 en 2.

Tabel 1 : Overzicht van de granulometrische karakteristieken van reptatie-, saltatie- en oppervlaktestalen (niet-ontkalkte) voor elk waarnemingspunt.

Datum	Meet- plaats	Volg- num- mer	Aard van staal	Meet- instr.	P A R A M E T E R S					
					d50% µm	d90% µm	Standev µm	CaCO ₃ %	> 2 mm %	
09.02.84	ZBD/P1	25a	R		200	141	71,6	5,05	0,01	
07.03.84		32a	R		180	133	53,5	5,12	0	
08.03.84		34a	R		189	135	56,8	4,95	0	
16.04.84		50	R		170	132	37,5	4,60	0	
26.06.84		60	R		205	148	32,9	5,80	0	
07.05.84		62	R		201	140	51,8	4,77	0	
08.06.84		85	R		213	147	62,3	6,70	0	
21.06.84		89	R		208	147	46,5	5,70	0	
28.06.84		130	R		207	149	38	4,96	0	
02.07.84		133	R		206	146	49,5	5,88	0	
21.06.84		91	S10	∅		169	132	30,1	2,82	0
21.06.84		90	S30	∅		180	133	43,5	6,52	0
07.05.84		ZBD/P2	64	R		214	147	72	6,30	0
21.05.84			77	R		212	147	62,7	7,40	0
08.06.84	86		R		205	146	43	6,30	0	
21.06.84	92		R		208	153	36,2	4,50	0	
25.06.84	117		R		208	152	36,1	3,45	0	
	131		R		207	152	1576	4,78	0	
02.07.84	134		R		202	143	38,8	4,43	0	
12.07.84	145		R		205	149	50,3	5,13	0	
21.06.84	93		S10	∅		177	133	32,3	3,20	0
25.06.84	118		S10	∅		200	142	26,6	2,18	0
02.07.84	135		S10	∅		168	132	36,94	2,39	0
12.07.84	146		S10	∅		168	131	43,25	4,11	0
25.06.84	119		S20	∅		184	134	30,3	2,07	0
25.06.84	ZBD/P3		120	R		215	150	56,8	4,37	0
25.06.84		121	S10	∅		211	142	62,1	3,47	0
12.07.84	ZBD/P4	147	R		210	147	56,6	4,84	0	
12.07.84		148	S10	∅		199	139	45,9	2,80	0
08.05.84	HS/P1	67	R		187	132	52,0	6,13	0	
11.05.84		72	R		204	136	70,1	6,25	0,01	
08.06.84		88	R		205	138	55,4	6,25	0	
25.06.84		114	R		201	134	91,7	7,25	0	
12.07.84		149	R		195	133	65,8	6,44	0	
08.05.84		73	S20	zz		175	119	54,1	3,54	0
		17	OPP			201	133	399	10,24	4,31
		18	OPP			184	129	281	8,25	9,07

Datum	-Meet- plaats	Volg- num- mer	Aard van staal	Meet- instr.	P A R A M E T E R S				
					d50% µm	d90% µm	Standev µm	CaCO ₃ %	> 2 mm %
24.04.84	HS/P2	55	R		171	128	39,0	6,52	0
26.04.84		58	R		175	128	42,0	5,18	0
08.05.84		68	R		200	135	64,0	6,50	0,1
11.05.84		74	R		196	134	77,5	5,70	0
12.07.84		150	R		175	130	43,3	4,45	0
		22	OPP		199	133	144,0	7,55	1,64
		23	OPP		208	138	87,6	8,31	0,19
21.05.84	HS/P3	76	R		209	137	71,0	5,04	0
06.06.84		84	R		197	135	45,2	4,87	0
08.06.84		87	R		201	135	57,3	4,90	0
25.06.84		111	R		201	135	67,4	5,25	0
28.06.84		126	R		187	132	48,0	5,50	0
03.07.84		141	R		187	131	47,7	5,38	0
12.07.84		151	R		197	133	216,0	8,90	0
25.06.84		112	S20	∅	164	127	45,5	3,50	0
		15	OPP		207	136	115,0	6,64	0,25
		16	OPP		206	136	103,0	6,09	0,14
25.06.84	HS/P4	115	R		215	146	71,0	4,90	0
		114	R		199	135	63,8	4,42	0
25.06.84		116	S20		216	144	71,0	2,09	0
		29	OPP		161	106	120,0	7,50	3,03
		30	OPP		216	143	137,0	4,87	4,32
	KSP/P1	2	OPP		409	200	269,0	21,17	0,17
		3	OPP		395	192	269,0	19,36	0,86
22.06.84	KSP/P2	103	R		391	280	139,0	13,50	0
22.06.84		104	S10	∅	338	259	73,7	4,20	0
22.06.84		105	S20	zz	328	232	89,11	4,30	0
22.06.84		107	S30	∅	348	268	80,2	2,69	0
		7	OPP		407	283	115,0	12,55	0
		8	OPP		530	246	1123,0	44,51	60,04
11.01.84	KSP/P3	1a	R		437	256	425	31,30	1,85
11.01.84		3a	R		409	224	374	26,10	1,26
11.01.84		5a	R		438	197	394	23,07	0
17.01.84		7a	R		438	244	353	20,11	0,95
08.02.84		23a	R		424	207	542	30,67	3,40
08.03.84		36a	R		286	148	102	6,51	0
02.04.84		46	R		243	131	174	11,60	0,25
22.06.84		95	R		315	153	168	10,99	0
22.06.84		101	R		396	262	216	20,30	0
22.06.84		96	S10	∅	303	160	109	6,22	0

Datum	Meet- plaats	Volg- num- mer	Aard van staal	Meet- instr.	P A R A M E T E R S				
					d50% µm	d90% µm	Standev µm	CaCO ₃ %	>2 mm %
17.01.84	KSP/P3	2a	S ₂₀	zz	381	251	166	13,98	0,06
17.01.84		4a	S ₂₀	zz	397	257	203	16,21	0,09
08.02.84		24a	S ₂₀	zz	422	252	399	26,19	1,53
08.03.84		37a	S ₂₀	zz	318	203	36,7	2,70	0,02
22.06.84		97	S ₂₀	∅	358	253	133	6,70	0
22.06.84		98	S ₂₀	∅	330	186	122	6,87	0
22.06.84		99	S ₃₀	∅	365	261	114	4,60	0
17.01.84		6a	S ₄₀	zz	433	275	241	20,12	0,29
17.01.84		8a	S ₄₀	zz	415	275	172	15,40	0,10
22.06.84		100	S ₄₀	∅	381	266	168	7,20	0
22.06.84		102	S ₄₀	zz	359	255	107	4,90	0
		5	OPP		418	181	332	24,03	0,89
		6	OPP		362	166	323	17,70	4,00
11.05.84		KAZ/P1	69	R	∅	320	180	135	9,57
11.05.84	70		S ₂₀	zz	298	189	77	2,77	0
02.07.84			OPP		350	181	227	15,91	1,67
07.02.84	KD/P2	15	R	∅	492	329	206	25,18	0
07.02.84		16	S ₂₀	zz	396	277	74	8,08	0,06
07.02.84		17	R	∅	536	341	224	29,68	0,04
07.02.84		18	S ₂₀	zz	404	282	99	8,56	0,02
07.02.84		19	R	∅	574	358	251	35,17	0,18
07. 2.84		20	S ₄₀	zz	413	296	121	8,09	0
07.02.84		21	R	∅	523	316	230	29,94	0,07
07.02.84		22	S ₄₀	zz	404	285	128	5,07	0
22.06.84	KZW/P1	108	R	∅	416	264	195	22,06	0
22.06.84		109	S ₁₀	∅	344	246	108	8,50	0
22.06.84	KZW/P2	110	R	∅	262	181	97	7,61	0

Voetnoot : R : reptatiestaal
S : saltatiestaal
OPP : oppervlaktestaal
∅ : doos
zz : zandzuiger
S₁₀ : saltatiestaal op 10 cm boven maaiveld
S₂₀ : saltatiestaal op 20 cm boven maaiveld
S₃₀ : saltatiestaal op 30 cm boven maaiveld
S₄₀ : saltatiestaal op 40 cm boven maaiveld
NB : Alleen analyses van de zandfracties

Tabel 2 : Niet-ontkalkte oppervlaktetalen - Zandfractie - Middenwaarden van sediment parameters. Per waarnemingspunt.

	n	M50 (μm)	M90 (μm)	M σ (μm)	Mca (%)
<u>ZEEBRUGGE</u>					
ZBD/P1	-	-	-	-	-
ZBD/P2	1	202	141	50,3	5,57
ZBD/P3	-	-	-	-	-
ZBD/P4	-	-	-	-	-
ZBD profiel	-	-	-	-	-
<u>HEIST</u>					
HS/P1	2	193	131	331	9,25
HS/P2	2	204	136	115	9,90
HS/P3	2	207	136	110	6,25
HS/P4	2	189	125	129	6,20
HS profiel	8	204	134	131	7,55
<u>KNOKKE</u>					
KSP/P1	2	402	196	269	20,05
KSP/P2	2	468	265	619	28,50
KSP/P3	2	390	174	328	20,85
KSP profiel	6	408	196	323	20,70

3.2.

DE INTENSITEIT VAN HET REPTATIETRANSPORT

Uit het geheel van waarnemingen over de intensiteit van het reptatietransport blijkt dat binnen de windsnelheden waarbij gemeten werd, en die nooit meer dan 70 km/uur bereikte, intensiteiten opgetekend werden die wisselen tussen 0,1 en 11 à 12 gr/cm²/uur.

De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatietransport worden gegeven in Tabellen 3 t.e.m. 6.

3.2.1.

Betekenis van de "gemiddelde windsnelheid" voor de intensiteit van het reptatietransport

Bij het onderzoek naar de invloed van de "gemiddelde windsnelheid" op de intensiteit van het reptatietransport werd het reptatie-eenheidsdebiet uitgezet in functie van de gemiddelde windsnelheid, gemeten op een referentiehoogte van 40 cm (\bar{V}_W^{40}) boven "droog" zandoppervlak. Dergelijke kurven^w werden opgesteld per waarnemingsplaats (zie figuur 2). De grafieken tonen dat onder alle omstandigheden het reptatietransport toeneemt met de windsnelheid.

De curven voor de meetstations Heist (HS) en Zeebrugge (ZBD) waar relatief fijn strandzand voorkomt, lopen zeer dicht bij elkaar. Het reptatietransport begint er reeds bij gemiddelde snelheden \bar{V}_W^{40} van 3 à 3,5 m/s. Het debiet neemt snel toe als \bar{V}_W^{40} boven 4 m/s stijgt. In Heist blijkt het reptatie-eenheidsdebiet boven die kritische waarde zelfs nog wat sneller toe te nemen bij stijgende windsnelheid dan te Zeebrugge.

In Knokke (KSP), waar het zand merkkelijk grover is en de mediaan tot boven 500 um kan stijgen, ligt de kritische beginsnelheid voor reptatietransport op het droog hoog strand rond een \bar{V}_W^{40} van 3,5 m/s. De intensiteitstoename van het reptatietransport bij stijgende windsnelheid gebeurt er echter veel trager. Beiden worden maar belangrijk vanaf gemiddelde snelheden die, gemeten op 40 cm boven maaiveld, 5 m/s overschrijden.

Tabel 3 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 10 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 10 cm voor elk waarnemingspunt.

	Datum	qR_d^0 (gr/cm ² /u)	qS^{10} (gr/cm ² /u)	Meet- instr.	qR_d^0/qS^{10}	\bar{v}_w^{40} (km/u)
BD/P1	21.06.84	1,9939	0,0139	∅	143,446	14,5-16
BD/P2	21.06.84	2,5504	0,0188	∅	135,66	14,5-18
	25.06.84	5,3427	0,0950	∅	56,2389	22
	28.06.84	1,9504	0,0162	∅	120,39	14,5
	2.07.84	1,4206	0,0087	∅	163,28	15
	12.07.84	0,1202	0,0030	∅	40,06	13,5
S/P3	28.06.84	0,7360	0,0044	∅	16,72	14-15
	3.07.84	1,7575	0,0035	∅	500	14,5
SP/P2	22.06.84	6,6678	0,5754	∅	11,588	20,5
SP/P3	22.06.84	0,2883	0,0476	∅	6,056	17,5
ZW/P1	22.06.84	0,6950	0,1401	∅	4,960	17,5

Tabel 4 : De opgemeten eenheidsdebiëten voor reptatie- en saltatietransport op 20 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 20 cm voor elk waarnemingspunt.

	Datum	qR_d^0 (gr/cm ² /u)	qS^{20} (gr/cm ² /u)	Meet- instr.	qR_d^0/qS^{20}	\bar{v}_w^{40} (km/u)
BD/P1	9.02.84	0,4	0,001	zz	400	11,3
	7.03.84	0,1	0	zz	∞	15,1
	8.03.84	3,7	0,003	zz	1233,3	12,7
	16.04.84	0,3558	0	zz	∞	10,1
	26.04.84	0,0589	0	zz	∞	18,9
	7.05.84	5,6618	0,0211	zz	268,3	
	BD/P2	7.05.84	9,3325	0,0127	zz	734,8
	25.06.84	5,3427	0,0144	∅	371,0	20
	2.07.84	1,4206	0	∅	0	15
S/P1	11.05.84	8,4644	0,0492	zz	172,04	20,3
S/P2	24.04.84	0,3437	0	zz	∞	10,8
	26.04.84	0,0836	0	zz	∞	13,2
S/P3	25.06.84	5,4598	0,0146	∅	389,98	17
	28.06.84	0,7360	0,0002	∅	3680,0	15
	3.07.84	1,7575	0	∅	∞	14,5
S/P4	25.06.84	7,7161	0,0252	∅	306,194	17-19
SP/P3	17.01.84	10,3	22,4	zz	0,46	
		11,7	21,6	zz	0,54	
	8.02.84	0,06	0,1	zz	0,60	18,4
	8.03.84	0,6	0,05	zz	12	17,7
	2.04.84	0,325	0,0017	zz	191,2	20-17
	22.06.84	0,288	1,2509	zz	0,2305	
Z/P1	11.05.84	6,074	0,501	zz	12,12	17,6
O/P1	31.01.84	0,8	0,007	zz	11,43	
		0,97	0,15	zz	6,47	
O/P2	7.02.84	4,1	1,8	zz	2,28	
		10,8	4	zz	2,70	

Tabel 5 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 30 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 30 cm voor elk waarnemingspunt.

	Datum	qR_d^0 (gr/cm ² /u)	qS^{30} (gr/cm ² /u)	Meet. instr.	qR_d^0/qS^{30}	\bar{v}_w^{40} (km/u)
BD/P1	21.06.84	1,9939	0,0063	∅	316,49	16,5
SP/P2	22.06.84	0,2883	0,0199	∅	14,487	17,5-18
SP/P3	22.06.84	6,6678	0,0195	∅	341,93	20,5-18

Tabel 6 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 40 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 40 cm voor elk waarnemingspunt.

	Datum	qR_d^0 (gr/cm ² /u)	qS^{40} (gr/cm ² /u)	Meet- instr.	qR_d^0/qS^{40}	\bar{v}_w^{40} (km/u)
/P3	25.06.84	5,4598	0,0002	∅	272,99	17
/P3	17.01.84	6,7 7,3	3,4 4,8	zz zz	1,97 1,52	- -
P2	7.02.84	3,0 0,8	0,3 0,05	zz zz	10 16	- -

3.2.2. Invloed van de vochtigheidstoestand van het strandoppervlak op de intensiteit van het reptatietransport

Uit opmetingen in het meetstation ZBD/P2 die gebeurden eens als het strandoppervlak nat was en eens in droge toestand, blijkt dat op een nat oppervlak de beweging veel moeilijker start dan op een droog, maar toch niet uitgesloten is. Eveneens ligt de intensiteit van het reptatietransport bij gelijke windsnelheid en korrelgrootte veel lager bij een nat zandoppervlak dan in het geval van een droog zandoppervlak.

3.2.3. Invloed van de korrelgrootte van het strandzand op de intensiteit van het reptatietransport

De korrelgroottekenmerken van het oppervlakkig strandzand vormen de eerste, zonet de belangrijkste, passieve factor voor het eolisch zandtransport langs het strand.

De granulometrische karakteristieken van de oppervlaktestalen voor elk waarnemingspunt zijn vervat in Tabel 1 en 2.

Hieruit blijkt dat het oppervlakkig strandzand te Heist en te Zeebrugge veel fijner is dan te Knokke. Het strandzand op het hoog strand te Knokke is ook veel minder goed gesorteerd dan te Heist en vooral dan te Zeebrugge (westzijde).

De vergelijking van de korrelgroottekenmerken van het strandzand en van het reptatiezand (zie Tabel 1 en paragraaf 3.3.) opgevangen op dezelfde plaats tonen aan dat in de onderzochte punten en bij de heersende windsnelheden de kenmerken van strandzand en van het lokale reptatiezand zeer weinig verschillen, niet alleen wat betreft de sedimentologische parameters zoals de mediaan, maar wel degelijk voor het geheel van de korrelgrootteverdeling zoals aangegeven door de desbetreffende kumulative frekwentiekurven voor stalen van strandzand en lokaal reptatiezand zowel te Zeebrugge, te Heist als te Knokke.

In figuur 3 is het reptatie-eenheidsdebiet uitgezet in functie van de mediaan van het opgevangen reptatiemateriaal bij verschillende windsnelheden.

Deze grafiek toont dat het reptatie-eenheidsdebiet afneemt als de korrelgrootte toeneemt. Ze illustreert waarom het reptatie-eenheidsdebiet in de meetpunten te Zeebrugge en Heist hoger ligt dan te Knokke onder vergelijkbare omstandigheden en meer bepaald bij gelijke gemiddelde windsnelheid.

Opmerking :

De korrelgrootteverdeling is een veel ingewikkelder kenmerk dan dat dit door de mediaan alleen weergegeven wordt. Er zijn talrijke types van korrelgrootteverdelingen die door eenzelfde mediaan weergegeven kunnen worden.

Daarom zou de heterogeniteit van het sediment bij de beoordeling van de waarnemingspunten eveneens in rekening moeten gebracht worden en zou het waarnemingsbestand uitgebreid moeten worden.

3.2.4. Invloed van de windrichting op de intensiteit van het reptatietransport

Uit kwalitatieve waarnemingen blijkt, dat aanlandige winden wel afzetting op het hoogstrand positief beïnvloeden en dat longitudinale winden wel veel transport veroorzaken maar niet noodzakelijk veel effect hebben, althans niet op het hoogstrand.

De intensiteit van het reptatietransport wordt op grafiek (zie figuur 4) weergegeven t.o.v. de gemiddelde windsnelheid gemeten op 40 cm hoogte voor 2 verschillende windrichtingen en rekening houdend met de mediaanwaarde van het droog zandoppervlak. De mediaanverschillen van het voorbeeld zijn echter zo gering dat de korrelgrootte weinig differentiërend kan zijn.

Indien alleen met de windrichting rekening gehouden wordt blijkt dat boven een referentiesnelheid van 4 m/s, over 't algemeen een hogere gemiddelde windsnelheid nodig is voor een gelijk reptatie-eenheidsdebiet uit het SW tot NW, dus longitudinaal, dan uit het NW tot NE, dus aanlandig. Dit valt er op omdat bij longitudinale wind de aanvoerlengte groter is dan bij aanlandige winden. Hierbij gaat het dus niet om het afzettingseffect ! Mogelijk is het verschijnsel te verklaren door het feit dat winden uit het SW tot NW meer met neerslag gepaard gaan dan winden uit het NW tot NE. Een ander merkwaardig feit is dat beneden gemiddelde windsnelheden \bar{v}_{40} van 4m/s, het eenheidsdebiet bij gelijke snelheid^w voor

longitudinaal transport neiging heeft om hoger te liggen dan voor aanlandige winden. Het gaat hier dan om de fijnere zanden en mogelijk is ook de atmosferische gesteldheid uitsluitend hier de oorzaak.

3.3. DE INTENSITEIT VAN HET SALTATIETRANSPORT

De studie van het saltatietransport is veel ingewikkelder dan die van het reptatietransport wegens de grote betekenis van de waarnemingshoogte in de saltatiewolk en van het vertikaal windprofiel.

Behoudens enkele uitzonderingen die bij hoge windsnelheid te Knokke op een grof lokaal strandzand vastgesteld werden, ligt het saltatie-eenheidsdebiet op alle hoogten, d.w.z. voor een discreet punt in de niet uniforme saltatiewolk, lager dan het reptatie-eenheidsdebiet. De saltatie-eenheidsdebieten relatief hoger dan reptatiedebieten, zoals waargenomen te Knokke met de zandzuiger op 20 cm kunnen door uitwaaien verklaard worden. Bovendien neemt het transport af met de hoogte, daar waar de windsnelheid toeneemt met stijgende hoogte.

Op 10 cm hoogte en bij matige winden werden met de opvangdoos saltatie-eenheidsdebieten (QS_{10}^d) opgemeten tot $0,58 \text{ gr/cm}^2/\text{u}$. Over 't algemeen lagen ze evenwel beneden $0,1 \text{ gr/cm}^2$. Op 20 cm hoogte werden met de zandzuiger saltatie-eenheidsdebieten gemeten tot $22 \text{ gr/cm}^2/\text{u}$, meer bepaald bij stormwind op 17 januari 1984 te Knokke (KSP). Over 't algemeen ligt dit debiet bij matige winden echter beneden $0,1$ en zelfs beneden $0,001 \text{ gr/cm}^2$.

Op 30 en op 40 cm hoogte werden zowel met de zandzuiger als met de opvangdoos, nooit saltatie-eenheidsdebieten boven $0,02 \text{ gr/cm}^2/\text{u}$ waargenomen, behalve bij stormwind te Knokke waar tot $5 \text{ gr/cm}^2/\text{u}$ gevonden werd. Voor verdere details wordt verwezen naar Tabellen 3, 4, 5 en 6. In elk geval zijn opvanghoogte, windsnelheid en korrelgroottekenmerken van het strandzand sterk differentiërende factoren.

Opmerking :

Bij het beoordelen van het totale sedimentdebiet door saltatie dient rekening gehouden met het feit dat het saltatie-eenheidsdebiet in feite maar een deel van het eenheidsdebiet over de gehele saltatiewolk voorstelt en dat het volledige saltatie-eenheidsdebiet over de gehele

saltatiewolk ongetwijfeld hoger ligt dan de hier gebruikte diskrete eenheidsdebieten. Uit de verhoudingen en absolute waarden blijkt evenwel duidelijk dat in de meeste gevallen dit totale saltatie-eenheidsdebiet over de gehele hoogte van de saltatiewolk toch nog kleiner zal blijven dan het reptatie-eenheidsdebiet over dezelfde transversale breedte.

3.3.1. Opvanghoogte en intensiteit van het saltatietransport - het vertikaal transportprofiel

De hoogte van de saltatiewolk is niet systematisch kwantitatief onderzocht geweest. Uit de waarnemingen op vaste punten, onder analoge windkenmerken en op droog oppervlak uitgevoerd op 10, 20, 30 en 40 cm hoogte kan wel het volgende afgeleid worden :

- Er is een snelle afname van het saltatie-eenheidsdebiet met de hoogte. Deze afname gebeurt sneller op het grof materiaal te Knokke dan op de fijnere strandzanden te Zeebrugge en te Heist.
- Bij toenemende windsnelheid neemt de dikte van de saltatiewolk asymptotisch toe.
- Bij gemiddelde windsnelheden op 40 cm hoogte (\bar{V}_{40}), beneden 5 m/sec is er geen merkbaar saltatietransport meer boven 50 à 70 cm. Bij een \bar{V}_{40} rond 7 m/sec bereikt de dikte waarschijnlijk nog 1 à 1,2 m, maar boven 80 cm hoogte blijft het eenheidsdebiet zeer gering.

3.3.2. Invloed van de opvangmethode op de intensiteit van het saltatietransport

Methodologisch is het interessant vast te stellen dat de opvangmethode een belangrijk differentiërende invloed speelt op de conclusies. Inderdaad is het duidelijk dat bij analoge snelheden het eenheidsdebiet bepaald met de opvangdoos lager ligt voor het grof strandzand dan voor het fijn, terwijl met de zandzuiger relatief grotere debieten bij analoge snelheid en hoogte bekomen worden. Dit toont dus aan dat methodologisch de gebruikte opstellingen nog verder zullen moeten uitgetest worden. Een systematisch onderzoek aan welke technische kenmerken de zandzuiger en de opvangdoos moeten voldoen om

onder analoge voorwaarden een vergelijkbaar saltatie-eenheidsdebit te leveren of om een conversiefactor te bepalen is nog niet uitgevoerd.

3.3.3. Invloed van de windsnelheid op de intensiteit van het saltatietransport

Deze invloed werd reeds ten dele besproken in 3.3.1. Dit dient nog aangevuld met de waarnemingen dat de intensiteit op een bepaalde hoogte met toename van de windsnelheid sneller stijgt op grof materiaal te Knokke dan op fijner zandstrand te Heist en te Zeebrugge.

Het vraagstuk van de minimale snelheid voor het begin van saltatietransport op een bepaalde hoogte is hier bij gebrek aan gegevens niet behandeld geweest.

3.3.4. Invloed van het windpatroon op de intensiteit van het saltatietransport

Kwalitatieve waarnemingen tonen duidelijk aan dat snelheidspieken een zeer belangrijke invloed hebben, zowel op de intensiteit als op het ontstaan en de werking van saltatietransport.

Om dit effect kwantitatief te bestuderen zouden nog een groot aantal bijkomende toevallige waarnemingen nodig zijn.

3.3.5. Invloed van de vochtigheidstoestand van het strandoppervlak op de intensiteit van het saltatietransport

De vochtigheid speelt een zeer grote rol voor het saltatietransport wegens aaneenkittig van het zand door cohaesie. Kwalitatieve waarnemingen tonen dit aan, zowel voor wat stilvallen van saltatietransport bij het begin van neerslag als voor starten van saltatietransport na droogvallen van het zandoppervlak betreft. Men stelt vast dat saltatietransport reeds onder twee voorwaarden start zeer vroeg bij het droogproces, nl. van zo haast een bovenste

korrellaagje door drogen beweeglijk wordt, en ook waar door verbreken van de korstlaag onderliggend droog zand vrij komt. Het effect van toenemende windsnelheid is in beide gevallen opvallend. In het tweede geval kan saltatietransport zelfs gedurende de neerslag optreden. Overigens komt saltatietransport bij hoge windsnelheden ook nog gedurende neerslag voor. Bij hoge windsnelheden kan ook saltatietransport van weggeslagen zandvlokjes gebeuren.

Kwantitatief onderzoek dat zinvol is zal maar mogelijk zijn indien vooraf veel meer verfijning in het meten van de vochtigheidstoestand van het bovenste zandlaagje technisch zal uitgewerkt zijn.

3.3.6. Invloed van de korrelgroottekenmerken van het strandzand op de intensiteit van het saltatietransport

De invloed van het strandzand op de intensiteit van het saltatietransport is reeds ten dele besproken in voorgaande paragrafen. Bijkomend kan opgemerkt worden dat het saltatie-eenheidsdebiet veel sneller daalt met toenemende hoogte op het grof materiaal te Knokke dan op het fijner strandzand te Zeebrugge en te Heist. Bij gelijke windsnelheid ligt het eenheidsdebiet te Knokke, op grof materiaal dus, iets hoger dan te Zeebrugge.

3.4. DE VERHOUDING SALTATIE - REPTATIE

Over 't algemeen is de intensiteit van het reptatie-eenheidsdebiet groter dan het saltatie-eenheidsdebiet. Dit blijkt duidelijk uit het totale gegevensbestand dat in de Tabellen 3, 4, 5 en 6 voorgesteld is. Die vaststelling geldt zowel voor saltatie op 10, 20, 30 als op 40 cm hoogte en bij elke opvangtechniek.

Wat wel opvalt is dat de plaats, en dus de korrelgrootte van het lokale strandzand, in belangrijke mate de verhouding beïnvloedt. Te Zeebrugge (ZBD) en te Heist (HS) is het reptatietransport meestal tientallen tot honderden malen groter dan het saltatietransport en valt de verhouding maar uiterst zelden beneden 10. Men stelt vast dat vooral rond

20 cm hoogte relatief weinig materiaal in saltatie is.

Te Knokke daarentegen is de relatieve hoeveelheid saltatiemateriaal altijd veel groter, zowel in de verschillende stations (KSP, KAZ, KD), op de verschillende hoogten, voor verschillende absolute eenheidsdebieten, bij verschillende opvangmethodes als bij verschillende windsnelheden, zelden stijgt de verhouding reptatie-eenheidsdebiet/saltatie-eenheidsdebiet er boven 10 en in periodes van hevige wind kan het saltatietransport zelfs belangrijker worden dan het reptatie-eenheidsdebiet en kan het laatste zelfs tot rond 0,2 van het saltatie-eenheidsdebiet dalen. Het is duidelijk dat het uitwaaien van de fijne fracties uit het grof materiaal met de vorming van een deflatierest die zelfs voor reptatietransport te grof is hierbij een rol speelt.

Het is dus niet uitgesloten dat plaatselijk en tijdelijk het saltatietransport voor een belangrijker aanvoer zorgt dan het reptatietransport. Dit is vooral het geval bij hevige winden en op heterogeen zand rijk aan grove fracties, zoals te Knokke. In dit opzicht zouden de opgespoten grovere zanden toch de kustbescherming door secundair eolisch transport kunnen in de hand werken.

Verder blijkt duidelijk dat een toename van het reptatie-eenheidsdebiet overeenkomt met een toename van het saltatie-eenheidsdebiet. Tot rond een reptatie-eenheidsdebiet van 8 à 10 gr/cm²/u zou de toename van het saltatie-eenheidsdebiet op 10 cm hoogte veel belangrijker zijn op het grove zand te Knokke dan op de fijnere zanden te Zeebrugge.

3.5. KORRELGROOTTE-KENMERKEN VAN HET REPTATIE- EN HET SALTATIEMATERIAAL

3.5.1. Korrelgroottekenmerken van het reptatiemateriaal

Zoals reeds eerder vermeld zijn de resultaten van de granulometrische analyses opgenomen in de deelverslagen en kort weergegeven in Tabel 1.

De mediaanwaarden van het reptatiemateriaal te Zeebrugge en te Heist liggen rond 200 um, te Knokke liggen deze duidelijk hoger, nl. rond 400 um.

3.5.1.1. Invloed van de korrelgroottekenmerken van het strandzand op de kenmerken van het reptatiemateriaal

Opvallend in de korrelgroottekenmerken is de gelijkenis met het lokale strandzand, zelfs bij sterk verschillende windsnelheden. Voorlopig kan die gelijkenis verklaard worden door het feit dat binnen zekere snelheidsgrenzen saltatiemateriaal in zulke mate terug aan het reptatiemateriaal toegevoegd wordt of dat bij afwezigheid van saltatie de verschillende repterende fracties zich opnieuw zo vermengen dat het reptatiesediment niet veel verschilt van het uitgangsmateriaal.

Toch werden te Knokke (KSP) op eenzelfde plaats reptatiestalen van 2 verschillende types opgevangen. Het fijnere heeft een mediaan rond 250 um en een standaardafwijking rond 170 um, het grovere heeft een mediaan rond 400 um en een standaardafwijking rond 350 um, en is dus duidelijk minder goed gesorteerd.

Het voorkomen van het fijne reptatietype te Knokke kan aan verschillende oorzaken toegeschreven worden. Vooreerst is er de gelijkenis met het oppervlaktemateriaal dat te Heist voorkomt, hetgeen laat vermoeden dat het hier materiaal betreft, in een accumulatiezone opgevangen waar vanop grote afstand materiaal aangevoerd wordt. Het is ook niet uitgesloten dat het hier reptatietransport betreft van vroeger afgezet saltatiemateriaal, afkomstig van lokaal uitgeblazen zand (kafsediment). Een aanwij-

zing in die zin is dat het fijne type bij relatief lagere windsnelheid opgevangen werd.

3.5.1.2. Invloed van de windsnelheid op de kenmerken van het reptatiemateriaal

Gezien het sorteringseffect van eolische pick-up en transport zowel op de afzetting als op het restsediment, kan de weerslag van die korrelgroottekenmerken niet los gezien worden van de windsnelheden.

Zoals reeds eerder vermeld onder 3.5.1.1. wordt het fijne type van reptatiemateriaal in KSP opgevangen bij relatief lagere windsnelheid. Verder blijkt dat een toenemende windsnelheid ook een toename van de mediaan van het opgevangen reptatiemateriaal met zich meebrengt (zie Tabel 7). Deze toename is echter, relatief gezien gering, zelfs bij verdubbeling van de windsnelheid.

Tabel 7 : Korrelgrootte van het reptatiemateriaal bij toenemende windsnelheid in verschillende punten met ander strandzand.

REFERENTIESNELHEID (ZEEBRUGGE) \bar{V}_{40} w 1500	MEDIAAN MIDDENWAARDEN (um)		
	KNOKKE KSP	HEIST HS	ZEEBRUGGE ZBD
68	410	-	-
64	433	-	-
62	435	-	-
48	-	198	-
46	394	-	-
44	-	207	-
42	-	-	208
36	260	-	215
32	-	203	-
28	-	195	207
25	-	187	208
23	-	-	205
20	-	196	-
18	-	187	-

3.5.2. Korrelgroottekenmerken van het saltatiemateriaal

Over 't algemeen wordt saltatiemateriaal gemakkelijker vanop verre afstand aangevoerd dan het reptatiemateriaal. Dit heeft invloed op de korrelgrootte-kenmerken en op hun mogelijke gelijkenis met het lokale strandzand.

De opvanghoogte heeft in verband met de toename van de windsnelheid met de hoogte in het vertikaal windsnelheidsprofiel en in verband met het specifiek verplaatsingsmechanisme van de saltatie, een invloed op zowel de hoeveelheid, als op de korrelgroottekenmerken van het opgevangen saltatiemateriaal. De granulometrische differentiatie is evenwel geringer dan men zou kunnen verwachten.

De vraag rijst hier ook of de opvangtechniek een invloed heeft op de korrelgroottekenmerken.

De granulometrische karakteristieken van het saltatiemateriaal zijn opgenomen in de deelverslagen en kort weergegeven in Tabel 1.

3.5.2.1. Invloed van de opvanghoogte op de korrelgroottekenmerken van het saltatiemateriaal

Deze factor zou niet onafhankelijk van de windsnelheid mogen besproken worden. Het gegevenbestand is daarvoor echter te gering.

Op het grove strandzand te Knokke (KSP/P3), bij hoge windsnelheden, vertoont de mediaan met toenemende hoogte eerst een afname en hoger terug een toename.

Andere waarnemingen (zie Tabel 8) op verschillende plaatsen en hoogten bij analoge windsnelheden van 16 à 18 km/u maar bij opvang met de opvangdoos tonen dat de mediaan van het saltatiemateriaal met toenemende hoogte afneemt.

Tabel 8 : Mediaanwaarde (um) voor de korrelgrootte van het zand in transport en opgevangen met de opvangdoos bij een gemiddelde windsnelheid van 16 à 18 km/u.

PLAATS EN DATUM	REPTATIE-MATERIAAL	OPVANGHOOGTE VAN SALTATIE-MATERIAAL			
		10 cm	20 cm	30 cm	40cm
<u>ZEEBRUGGE (ZBD)</u>					
21.06.84	208	196	-	180	-
25.06.84	208	200	184	-	-
<u>KNOKKE (KSP)</u>					
22.06.84	315	303	358	-	-
	396	-	-	365	381

3.5.2.2. Invloed van de kenmerken van het strandzand op de kenmerken van het saltatiemateriaal

Uit Tabel 1 blijkt dat het saltatiemateriaal te Zeebrugge (ZBD) en te Heist (HS) over 't algemeen veel fijner is dan te Knokke (KSP). De mediaan voor de saltatiestalen te Zeebrugge en die voor de saltatiestalen te Heist varieert tussen 160 en 210 um. De mediaan voor de saltatiestalen opgevangen te Knokke wisselt tussen 330 en 430 um.

In Heist waar een zelfde type strandzand voorkomt als te Zeebrugge verdwijnt vooral middelmatig fijn zand uit het saltatiemateriaal; te Zeebrugge is er een vrij uniforme vermindering van alle korrelgroottefracties. Het saltatiemateriaal blijft er, vooral bij grotere snelheden toch nog te grof om verre aanvoer a priori uit te sluiten.

Te Knokke (KSP) zijn in het saltatiezand twee types te herkennen, een grover en een fijner, en dit zowel op 40 cm hoogte als op 20 cm. Deze 2 types onderscheiden zich ook doordat het grovere type een hoger CaCO₃ gehalte heeft (zie Tabel 1), wat op een groter belang van schelpfragmenten uit die korrelgroottefracties wijst. Dit illustreert de

mogelijke invloed van de lokale voeding in het saltatieproces te Knokke gezien de kenmerken van de strandzanden in-situ.

Een interessant aspect van dit probleem is de verandering van het kalkgehalte gedurende het transport. Die vraag is nauw gebonden aan de vraag naar de granulometrische kenmerken van de schelpfragmenten in de zanden en naar hun aandeel in het sedimenttransport, meer bepaald in hoever het aandeel en de grootte van de schelpfragmenten door de transportmodaliteiten (snelheid, mechanisme, etc. ...) gewijzigd worden.

Een eerste gedeeltelijk antwoord op die vraag kan gegeven worden door vergelijken van de granulometrische analyse van ontkalkte en van niet-ontkalkte stalen van strandzanden zoals die opgegeven zijn in de werkrapporten, en meer bepaald door de vergelijkende korrelverdelingsdiagrammen aldaar. Voor het reptatie- en saltatiemateriaal kan op die manier ook een beeld van de sortering of van de differentiëring bekomen worden.

Over 't algemeen kan gesteld dat de schelpfragmenten die toch het CaCO_3 -gehalte bepalen meer in de grovere fracties voorkomen. Het is echter weinig waarschijnlijk dat zij, spijs hun grotere specifieke afmetingen en vorm, de toename van de grovere fractie in het hoger saltatiemateriaal te Knokke zouden kunnen verklaren. Inderdaad blijkt uit onderstaande Tabel 9 dat te Knokke (KSP) op grof strandzand en bij relatief hoge referentiewindsnelheid (op 40 cm hoogte) het CaCO_3 -gehalte van het saltatiemateriaal bijna systematisch daalt bij toenemende hoogte.

Tabel 9 : Procentueel CaCO₃-gehalte van het transitzand te Knokke (KSP)

Datum	OPVANGHOOGTE EN -METHODE					\bar{v}_{40} w
	OPVANG- DOOS	ZANDZUIGER				
	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	(km/u)
17.01.84	31,3	-	14,0	-	-	60 à 70
	26,1	-	16,2	-	-	60 à 70
	23,1	-	-	-	20,1	60 à 70
	29,1	-	-	-	15,4	60 à 70
08.03.84	6,5	-	2,7	-	-	30 à 35
22.06.84	11,0	6,2	6,7	4,6	7,2	45 à 50

Deze Tabel 9 illustreert ook hoe bij lagere windsnelheden (beneden 50 km/u) het kalkgehalte in de saltatiewolk te Knokke systematisch laag blijft. Gezien de grofheid van de lokale strandzanden en het voorkomen van een fijnere en een grovere populatie, wijst dit op een differentiëring uitgaande van het lokale strandzand en in functie van de windsnelheid, tenzij dat daar inderdaad beneden die drempelsnelheid toch verre aanvoer zou gebeuren. Om deze laatste veronderstelling te staven zou evenwel traceronderzoek nodig zijn.

3.5.2.3. Invloed van de windsnelheid op de kenmerken van het saltatiemateriaal

Het beschikbare databestand is nog te gering om de invloed van de windsnelheid op de kenmerken van het saltatiemateriaal nu reeds systematisch en kwantitatief te onderzoeken, d.w.z. rekening houdend met verschillende factoren zoals hoogte, plaats, opvangtechniek, enz. ...

Zoals reeds hiervoor getoond blijkt bij toenemende windsnelheid de gemiddelde korrelgrootte van het saltatiemateriaal toe te nemen. Bovendien blijken er specifieke drempelsnelheden te bestaan.

Een eerste stap naar de totale evaluatie van het zandtransport op een strand bestaat er in de intensiteit en de hoogte van het zandtransport op verschillende punten over de gehele strandbreedte te meten bij een windrichting met hoge longitudinale component en daaruit verschillende strandzones met een gelijke transportintensiteit en haar waarde af te leiden.

Dit gebeurt m.b.v. zandopvangstaafjes zoals beschreven in 2.2., langs het transversaal strandprofiel te Zeebrugge (ZDB) op drie verschillende data. Deze plaats leent zich namelijk tot een relatief grote fetch vanuit het SW. De semi-kwantitatieve analyse van de zandbezetting gebeurden in het laboratorium m.b.v. foto's van de staafjes na fixatie van het opgevangen zand en m.b.v. een binoculair. Zo nauwkeurig mogelijk werden de hoogten opgemeten tot waar de volledige zandbedekking (verzadiging) reikt en werden eveneens de hoogten bepaald waar enige zandbedekking ophoudt. De resultaten hiervan zijn opgenomen in deelverslag 3 en in de Tabellen 10, 11 en 12.

Op basis van deze gegevens kan men verschillende strandzones onderscheiden waar, onder de gegeven omstandigheden, een bepaald type en intensiteit van zandtransport gebeurt.

Deze methode is vooral nuttig voor de studie van het saltatietransport.

Een kwantitatieve evaluatie kan voorlopig nog niet gebeuren zonder hulp van de eenheidsdebiëten opgemeten met zandzuiger of met opvangdoos.

Uit de gegevens in de Tabellen 10, 11 en 12 blijkt duidelijk dat niet alleen de mikromorfologie en de vochtigheid van het strand een rol spelen. Andere factoren die invloed uitoefenen zijn de windrichting, de positie t.o.v. de hoog- of laagwaterlijn, de windkracht.

Eveneens blijkt nu duidelijk dat niet altijd op het hoge strand de sterkste transportintensiteiten voorkomen. Op 09.08.84, bij transversale aanlandige winden van 13 à 18 km/u werd de grootste transport gemeten op de lage zandruggen. Bij longitudinale wind op 12.07.84 bij vergelijkbare snelheid gebeurde eolisch zandtransport vooral in de centrale stranddelen.

Tabel 10 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair

Datum : 9.8.84
 Plaats : Zeebrugge Dijk
 Windrichting : NNE
 Windsnelheid : 13-18 km/h
 Duur : 10 min.

Nummer staafjes	Afstand staafje t.o.v. Dijk(in m)	Hoogte waar verzadiging ophoudt (cm)	Hoogte waar eolisch transport ophoudt (cm)
23	60	7	17,5
24	69	-	-
33	78	7,5	18
28	87	4,5	16
1	96	6	20
2	105	5	16
3	114	6	16,5
4	123	5,5	19
29	132	-	-
5	141	4,5	20
6	150	5,5	21
27	159	-	-
7	168	8	22
8	177	-	-
9	186	10	16,5
10	195	10,5	20,5
26	204	11	24
11	213	11,5	28

Tabel 11 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair

Datum : 12.7.84
 Plaats : Zeebrugge Dijk
 Windrichting : SW
 Windsnelheid : 10-15 km/h
 Duur : 10 min.

Nummer staafje	Afstand staafje t.o.v. Dijk(in m)	Hoogte waar verzadiging ophoudt (cm)	Hoogte waar eolisch transport ophoudt (cm)
3	87	<5	13,5
7	102	13,5	24
9	117	17,5	>25
1	132	17,5	>25
2	147	19,5	>25
11	162	17	>25
10	177	14,5	24,5
8	192	10	24
5	207	9,5	24
6	222	9	23,5

Tabel 12 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair

Datum : 24.7.84
 Plaats : Zeebrugge Dijk
 Windrichting : NNE
 Windsnelheid : 7-12,5 km/h
 Duur : 30 min.

Nummer staafje	Afstand staafje t.o.v. Dijk(in m)	Hoogte van verzadiging ophoudt (cm)	Hoogte waar eolisch transport ophoudt (cm)
32	18	0	3
31	27	0,5	3,5
1	36	0	5
2	45	0	6,5
3	54	4,5	10
4	63	0,5	6
5	72	1,1	6
6	81	1,5	5,5
7	90	0	0
8	99	0	0
+	+		
22		0	0

Met residuele effecten wordt hier bedoeld de effectieve aanwas of afslag tengevolge van sedimentverplaatsingen van diverse intensiteit en in opeenvolgende verschillende richtingen.

De evolutie kan visueel vergelijkend door opeenvolgende gesuperponeerde doorsneden of door volumetrische-numerische waarden voorgesteld en geanalyseerd worden.

In figuren 5, 6 en 7 worden 3 opeenvolgende strandprofielen voorgesteld, opgenomen tussen 30 augustus 1983 en 10 augustus 1984 langs een vast transversaal referentieprofiel te Knokke (KSP) t.o.v. een vast referentiehoogtepunt en nulpunt, vanaf de rand van de Zeedijk tot aan de voet van de terrassenzone die tevens een wateruitsijpelingslijn vormt. Het profiel omvat een kleine strook opgewaaid zand tegen de zeedijk, vervolgens een relatief vlak gebied tot aan een longitudinale hoogte op 60 m van de zeedijk, een onbeschermd deel van het hoogstrand, waar soms zeewater op komt, een tijdelijke berm rond 110 m, de terrassenzone tussen 110 en 140 m afstand die met een relatief steil talud van 3 à 4 m overeenkomt en het begin van het nat strand, waar dus tevens bij laagwater uitsijpelingen voorkomen. De golfwerking is vooral intens op de sterke terrassenzone en bij voldoende zware zee ook op de berm en het lage deel van het hoog strand. Eolische weiking treedt vooral landwaarts van de berm op.

De eerste figuur 5 toont dat tussen augustus 1983 en half december 1983 geen grote veranderingen gebeuren. De terrassenzone wijkt een 6-tal meter achteruit, waarschijnlijk vooral in november, maar een deel van het zand vindt men terug in een duidelijke berm die zich gelijktijdig gevormd had. Het is manifest dat beide verschijnselen hoofdzakelijk aan golfwerking toe te schrijven zijn. Er is dus toch een niet onbelangrijk zandverlies. Over de rest van het profiel op het hoog strand is er in die periode weinig verandering. Men ziet wel duidelijk het positief effect van de hagen geplant juist vóór augustus 1983 op 16 m, voor het fixeren van eolisch zand. Anderzijds vertoont de "duin"voet eolische erosie, waarvan het zand grotendeels hoger op de "zeereep" teruggevonden wordt en er de dijk nog meer mee bedekt.

De tweede figuur 6 dekt de winter 1984 tussen half

december 1983 en half maart 1984.

Er is eerst een gevoelige terugslag van de terrassenzone door golfwerking minstens tot begin februari. Op het hoogstrand is er een belangrijke ophoging rond de fixeringshagen terwijl de rest van het hoogstrand zeer weinig residuele effecten vertoont. In februari is er een belangrijke aanwas op het onderste deel van de terrassenzone terwijl de topconvexiteit achteruitwijkt zodat - essentieel door golfwerking - het hele talud van de terrassenzone vooral afgevlakt wordt. Deze periode eindigt ongetwijfeld echter met een gevoelig verlies door golfwerking op de top van de terrassenzone; de berm is nagenoeg verdwenen. Residuele windeffecten laten zich vooral rond de fixatiehagen gelden.

De derde figuur 7 toont de residuele effecten van de sedimentenbewegingen, mede door de wind en de golven, van de lente en de voorzomer van 1984. Er is weinig verandering op het hoog strand, zodat de eolische werkingen zeer weinig residuele effecten schijnen gehad te hebben in die periode. Er is wel wat aanwas op de terrassenzone waardoor zich een nieuwe berm opbouwde.

Globaal gezien blijkt dat de effecten van het eolisch transport weinig belangrijk zijn in de waarnemingsperiode. Het transport op de lage zandruggen (bij transversaal aanlandige wind) is rechtstreeks van weinig belang voor de zandaanvoer op het hoogstrand wegens de tussenliggende duinen.

Onrechtstreeks kan het ongetwijfeld betekenisvol zijn wegens de verhoging van de landwaartse kanten van de strandruggen en de versnelde landwaartse progradatie van de strandruggen zodat ook meer zand door opbouwende golftypes naar de hoogwaterlijn toe kunnen verplaatst worden.

Het longitudinaal transport (welk vooral in de centrale stranddelen opgemeten werd) is wel belangrijk voor verandering in de strandmorfologie door verplaatsing van de muien.

Het is ongetwijfeld zo dat waar het reliëf oploopt, en vooral op de zeereep, de windsnelheid met de hoogte veel belangrijker wordt. Dit houdt verband met het samendrukken van de stroomlijnen en leidt uiteindelijk tot de beperking van de hoogteaangroei van de duinvormen.

Alleen waar fixatiehagen geplant werden is er een

onmiskbare aanwas en dus fixatie van reptatie- en saltatietransport.

De vraag rijst hierbij in hoeverre die eolische fixatie en aanwas de toch belangrijke verliezen door golfwerking in de terrassenzone kunnen blijven vergoeden en in hoeverre het fixeren van de eolische transit de tijdelijke verliezen in andere plaatsen niet tot permanente verliezen en tot destabilisatie doet evolueren in andere zones vanwaar de aanvoer vertrekt.

3.8. **PROGNOSE VAN HET EOLISCH ZANDTRANSPORT OP BASIS VAN METEOROLOGISCHE GEGEVENS IN EEN REFERENTIESTATION**

Een laatste punt dat bij dit onderzoek aangesneden werd betreft de mogelijkheid om op basis van wind- en vochtigheidsgegevens uit een centraal referentiestation te evalueren in hoever op de onderscheiden meetstations eolisch zandtransport zou kunnen optreden en in een verdere ontwikkeling welke de aard en de intensiteit van het eolisch zandtransport zou zijn.

De voornaamste stappen bij zo'n prognose zijn de volgende :

- (1) Bepalen van het verband tussen windkenmerken op de referentiehoopte in het referentiestation en de windsnelheid op willekeurige hoogte in elk meetstation. Hiervoor beschikt men over continue windgegevens op 1500 cm in het referentiestation te Zeebrugge (referentiegegevens) en over diskrete windgegevens op 20, 40 en 100 cm in waarnemingstations (plaatsgegevens).
- (2) Bepalen van het verband tussen transportdebiet in het waarnemingstation en de referentiewaarden voor de windsnelheid.
- (3) Dank zij de continue referentiegegevens kunnen de periodes van potentieel windtransport en, na invoeren van correcties voor windrichting en vochtigheid, van het effectief windtransport voor de verschillende plaatsen (korrelgrootte) bepaald worden.

4. BESLUIT

4.1. Gedurende dit onderzoek en bij de verwerking van de gegevens werd eerst en vooral getracht, alvorens tot de afschatting van het totale eolisch zandtransport over te gaan, de invloed na te gaan van een aantal belangrijke transportfactoren op de hoeveelheden en de aard van het vertransporteerd materiaal. Dit onderzoek resulteerde in een vrij duidelijke, deels kwantitatieve, deels kwalitatieve formulering van de relatie tussen transportfactoren en vertransporteerd materiaal, ook al is het databestand vrij gering gebleven :

- De invloed van de windsnelheid op het totale transport is zowel kwalitatief als kwantitatief bepaald. Er blijkt een zogenaamde "drempelwaarde" van windsnelheid te bestaan waaronder zich geen transport voordoet. Deze drempelwaarde is vrij exact bepaald voor de verschillende meetpunten en blijkt voornamelijk afhankelijk te zijn van de korrelgrootte-eigenschappen van het strandzand.
- Het is vooral de verandering van windregime dat zijn invloed heeft op het transport.
- De invloed van de zandvochtigheid is onduidelijk gebleven. De vochtigheidstoestand van het strandzand kon niet nauwkeurig genoeg opgemeten worden; nochtans, bestaan er naar de observaties gedurende de metingen, vermoedens dat het eolisch zandtransport hoger is wanneer het zand droger is : konkreet gezien zou dit betekenen dat het eolisch zandtransport het hoogst is na de zomerperioden.

4.2. Vervolgens werd meer in detail de verhouding saltatie- / reptatietransport bestudeerd. Algemeen werd waargenomen dat het reptatie-eenheidsdebiet groter is dan het saltatie-eenheidsdebiet. De korrelgrootte kenmerken van het strandzand spelen opnieuw een belangrijke rol.

Hierbij is reeds ten dele antwoord gegeven op de derde vraag ; op welke hoogte zich het belangrijkste transport voordoet. Daarenboven werd waargenomen dat het saltatietransport over de vertikaal omgekeerd evenredig verloopt met het windsnelheidsprofiel. Daar waar de windsnelheid stijgt met toenemende

hoogte, daalt het saltatietransport en blijft beperkt tot een hoogte van maximaal 1 m.

- 4.3. Veel moeilijker, vooral wegens gebrek aan voldoende opmetingen, was de afschatting van de grootte-orde van het zandtransport doorheen een eenheidsprofiel loodrecht op de windrichting. Daarom werd supplementair een reeks semi-kwantitatieve metingen uitgevoerd : opvangstaafjes werden loodrecht op de kustlijn geplaatst en brachten zodoende het transport over de strandbreedte in beeld. Tevens werd ten behoeve van dit probleem een vast transversaal referentieprofiel te Knokke opgemeten. Hierdoor werd een algemeen idee bekomen over het transport en de plaatsen waar dit zich voordoet. Zo ziet men dat bij transversale aanlandige winden het grootste transport gebeurt op de lage zandruggen. Dit is, alhoewel aanlandig, rechtstreeks van weinig belang voor de zandaanvoer op het hoogstrand wegens de tussenliggende zwinen. Bij longitudinale wind is zand vooral in de centrale stranddelen in transport.

Globaal gezien blijkt dat de morfologie van het strand gedurende de waarnemingsperiode een weinig waarneembare verandering ondergaat o.i.v. de windwerking. Alleen waar fixatiehagen geplant werden is er een onmiskenbare aanwas van vertransporteerd materiaal. Die kleine verschillen in het strandprofiel, welke van de grootte-orde van de opmetingsfouten zijn, komen overeen met toch grote volumes van vertransporteerd materiaal. De opgemeten strandprofielen zijn als dusdanig zeker onvoldoende nauwkeurig om tot een afschatting van de totale hoeveelheid vertransporteerd materiaal over te gaan.

- 4.4. Wat betreft een eventuele korrelatie met windopmetingen in de Meteo te Zeebrugge zouden een groter aantal metingen noodzakelijk zijn.
- 4.5. Na deze eerste verkenning, waarbij de relatie tussen aard en intensiteit van eolisch sedimenttransport en invloedsfactoren zowel kwantitatief als kwalitatief gedefinieerd werden en waarbij een idee verkregen werd over hoe het globale transport verloopt, kan verder noodzakelijk onderzoek op een degelijke basis van verworven kennis gestuurd worden. Vooral de

seizoensinvloed op het eolisch transport dient hier nog afgeschat te worden.

Ter vervollediging van de kennis omtrent de problematiek van de grote zandverplaatsing en de mogelijke oplossingen om dit proces te minimaliseren, is het bijzonder interessant het onderzoek uit te breiden met een meer toegepast, praktisch gericht gedeelte. Men weet reeds dat opspuitingen met grover zand bijdragen tot de fixatie van het strandzand en dus tot de stabiliteit van het strand. Eveneens heeft men duidelijk kunnen waarnemen dat bij aanplanting van fixatiehagen een aanwas van materiaal gebeurt, doch enkel een tijdelijke bescherming biedt. Onderzoek naar en op andere systemen die tot een meer definitieve invloed en fixatie leiden zou deze studie kunnen afronden.

Gent, 17 januari 1986

HAECON N.V.

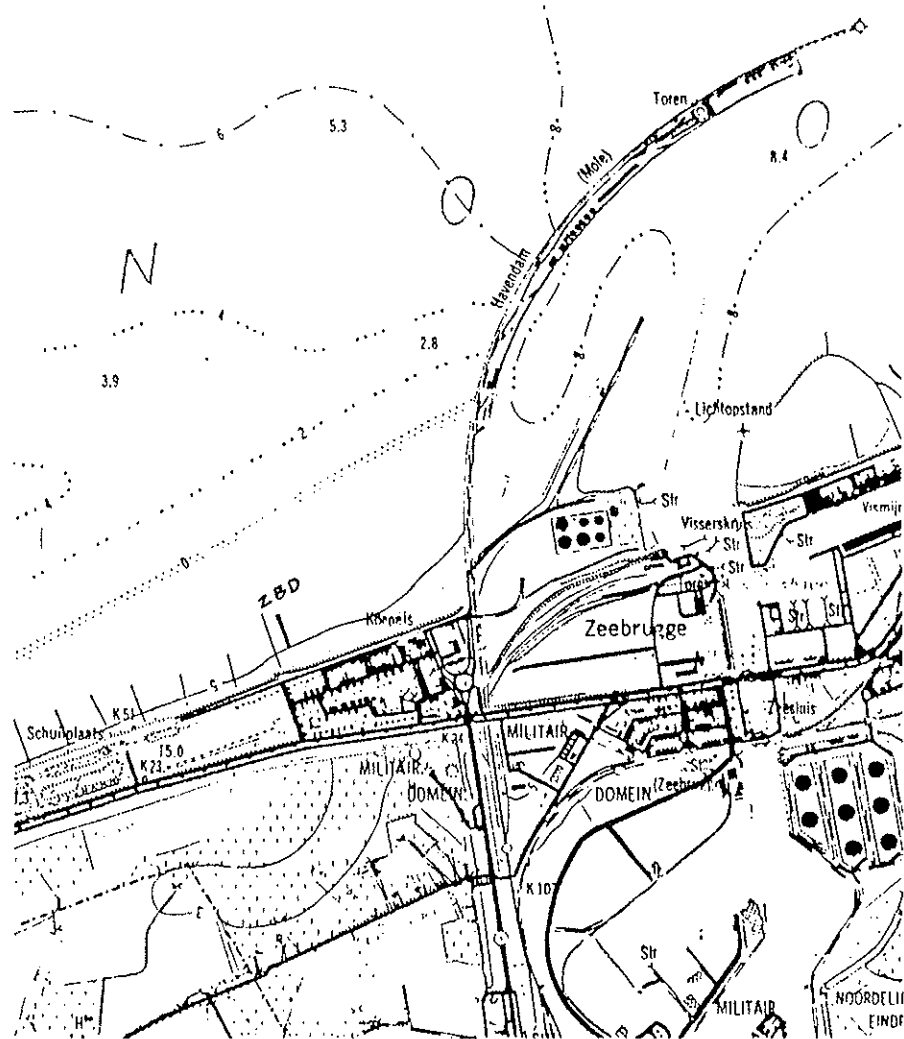
ir. B. MALHERBE

LIJST DER TABELLEN

- Tabel 1 : Overzicht van de granulometrische karakteristieken van reptatie-, saltatie- en oppervlaktestalen (niet-ontkalkt) voor elk waarnemingspunt.
- Tabel 2 : Niet-ontkalkte oppervlaktestalen - Zandfractie - Middenwaarden van sediment parameters. Per waarnemingspunt.
- Tabel 3 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 10 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 10 cm voor elk waarnemingspunt.
- Tabel 4 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 20 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 20 cm voor elk waarnemingspunt.
- Tabel 5 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 30 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 30 cm voor elk waarnemingspunt.
- Tabel 6 : De opgemeten eenheidsdebieten voor reptatie- en saltatietransport op 40 cm en de verhouding reptatie/saltatie op 40 cm voor elk waarnemingspunt.
- Tabel 7 : Korrelgrootte van het reptatiemateriaal bij toenemende windsnelheid in verschillende punten met ander strandzand.
- Tabel 8 : Mediaanwaarde (μm) voor de korrelgrootte van het zand in transport en opgevangen met de opvangdoos bij een gemiddelde windsnelheid van 16 à 18 km/u.
- Tabel 9 : Procentueel CaCO_3 -gehalte van het transitzand te Knokke (KSP).
- Tabel 10 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair.
- Tabel 11 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair.
- Tabel 12 : Semi-kwantitatieve benadering van de transportverdeling over het strand te Zeebrugge met opvangstaafjes. Analyse onder binoculair.

LIJST DER FIGUREN

- Fig. 1a : Lokalisatie van de waarnemingspunten te Zeebrugge (ZBD).
- Fig. 1b : Lokalisatie van de waarnemingspunten te Heist (HS).
- Fig. 1c : Lokalisatie van de waarnemingspunten te Knokke (KAZ, KD, KSP en KZW).
- Fig. 2 : Reptatie-eenheidsdebiet in functie van de gemiddelde windsnelheid.
- Fig. 3 : Reptatie-eenheidsdebiet in functie van de mediaan van het reptatiemateriaal.
- Fig. 4 : Invloed van de windrichting en gemiddelde windsnelheid op het reptatie-eenheidsdebiet.
- Fig. 5 : Strandevolutie te Knokke (KSP) tussen augustus 1983 en december 1983.
- Fig. 6 : Strandevolutie te Knokke (KSP) tussen december 1983 en maart 1984.
- Fig. 7 : Strandevolutie te Knokke (KSP) tussen maart 1984 en augustus 1984.



25 m

BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

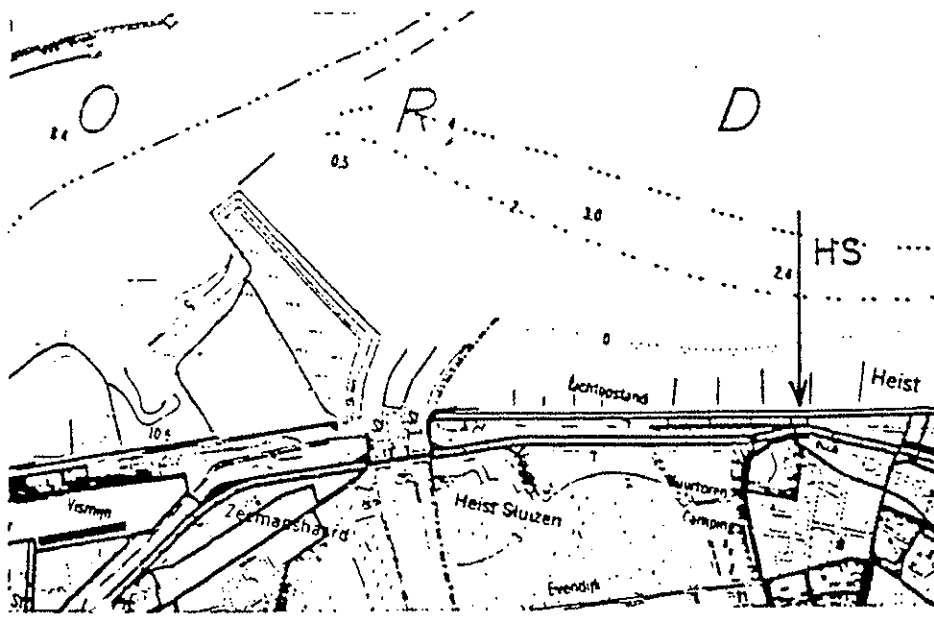
LOKALISATIE VAN DE WAARNEMINGS-
PUNTEN TE ZEEBRUGGE (ZBD)

GETEK HCE

GEZ ir BME

ZSZ-443/85 4644

Fig. 1a



25m

BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

LOKALISATIE VAN DE WAARNEMINGS-
PUNTEN TE HEIST (HS)

GETEKENED door HCE

GEZEGEN door BME

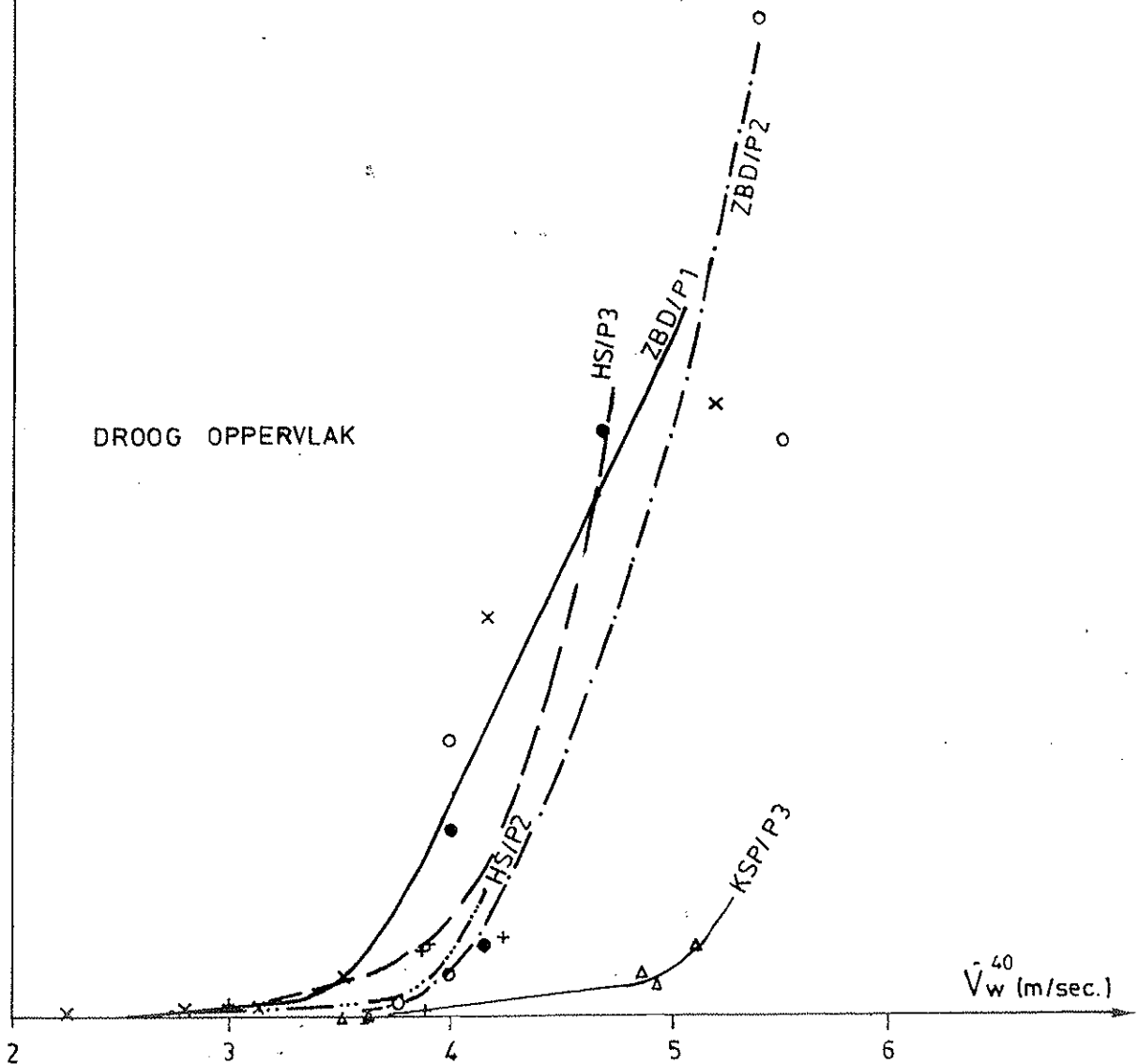
2SZ-443/85-4644

Fig 1b

qR_d^0 (gr/cm²/u)

WAARNEMINGSPUNTEN

- x ZBD/P1 ZEEBRUGGE
- o ZBD/P2
- + HS/P2 HEIST
- HS/P3
- Δ KSP/P3 KNOKKE



BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

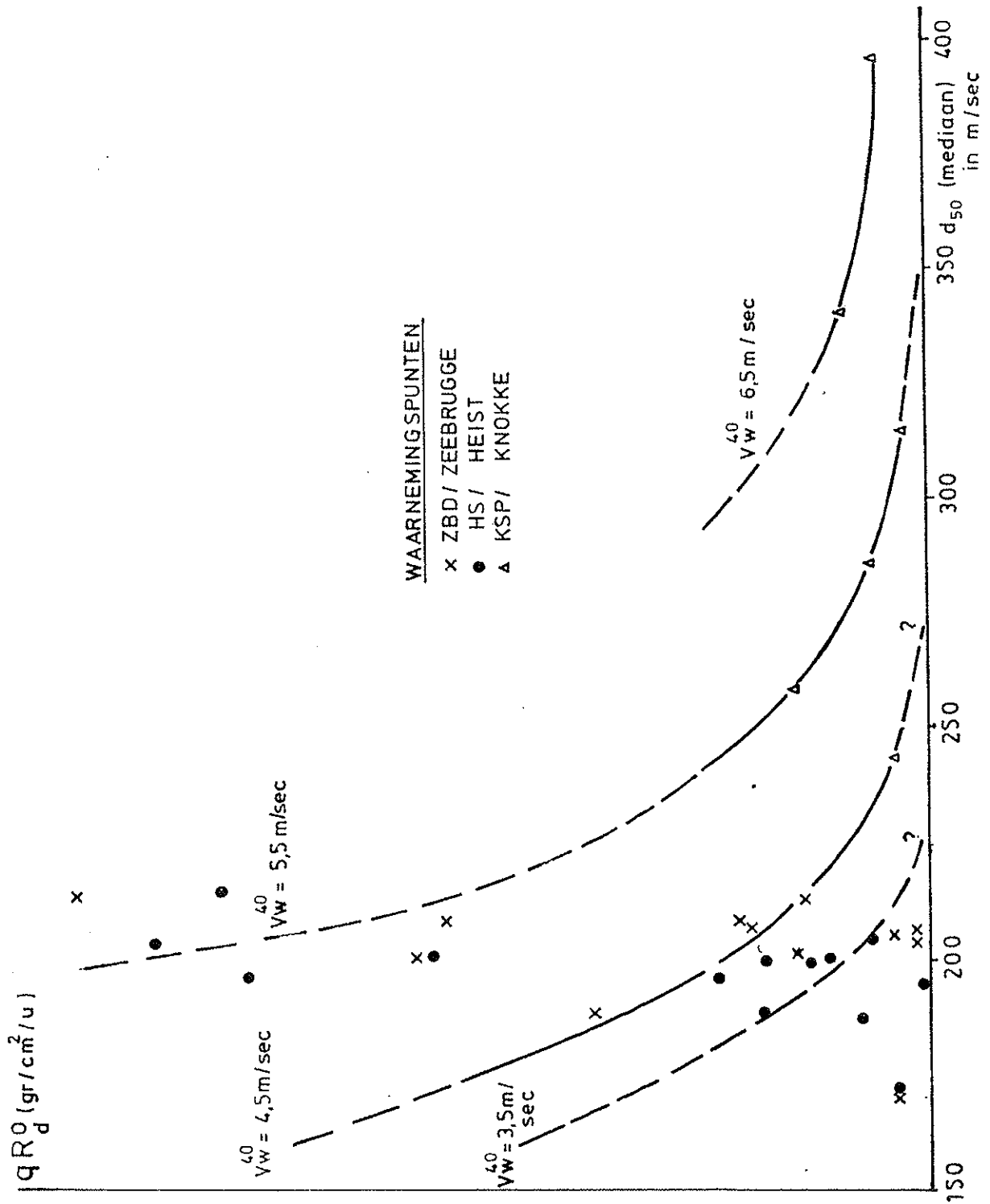
REPTATIE - EENHEIDSDEBIET IN
FUNCTIE VAN DE GEMIDDELDE
WINDSNELHEID

GETEK HCE

GEZ ir BME

ZSZ - 447/85 4644

Fig 2



BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
 HARBOUR
 and
 ENGINEERING CONSULTANTS

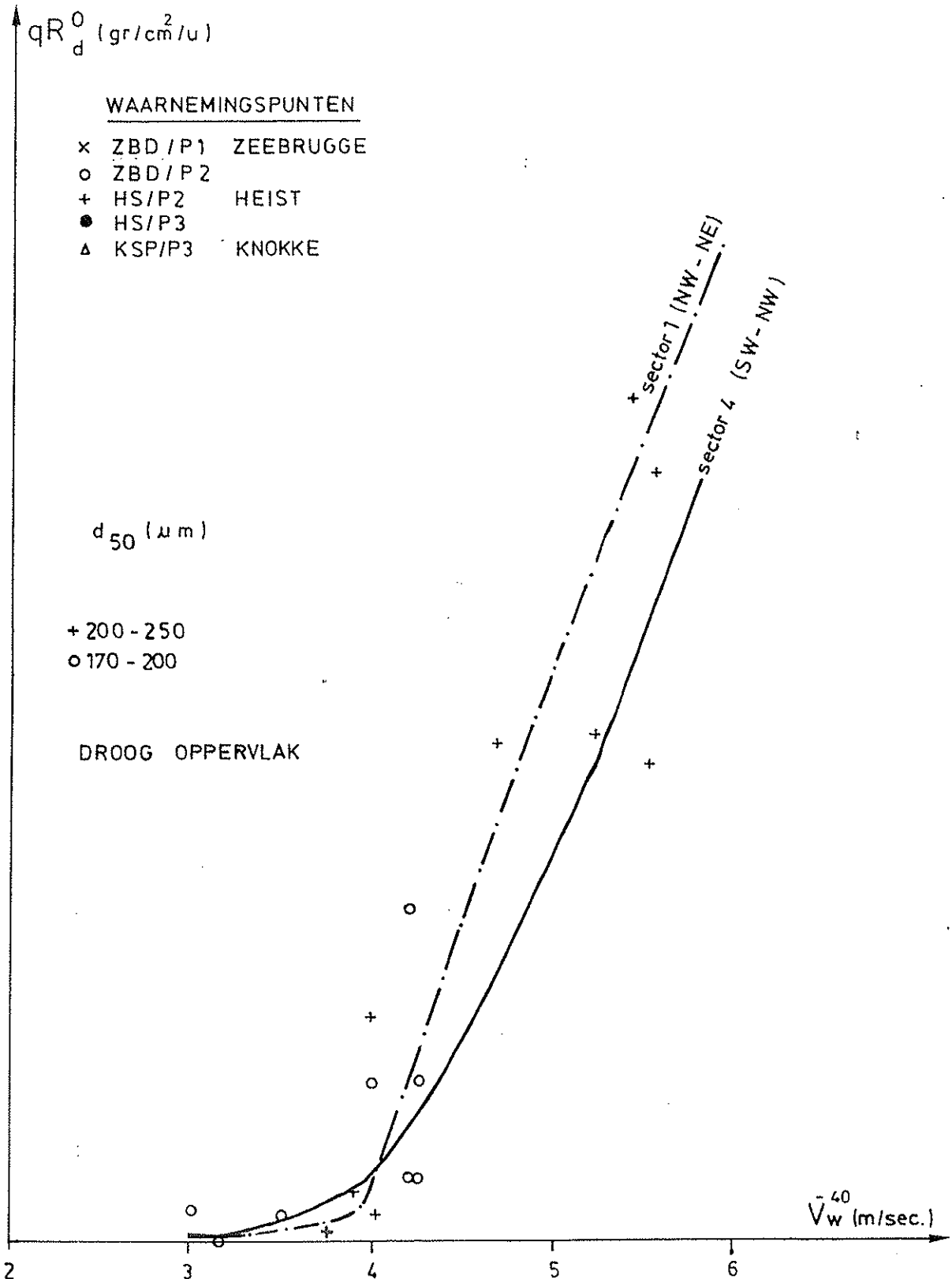
REPTATIE-EENHEIDSDEBIET IN
 FUNCTIE VAN DE MEDIAAN VAN HET
 REPTATIE-MATERIAAL

GETEK: HCE

GEZ: ir BME

ZSZ-443185 4644

Fig 3



BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

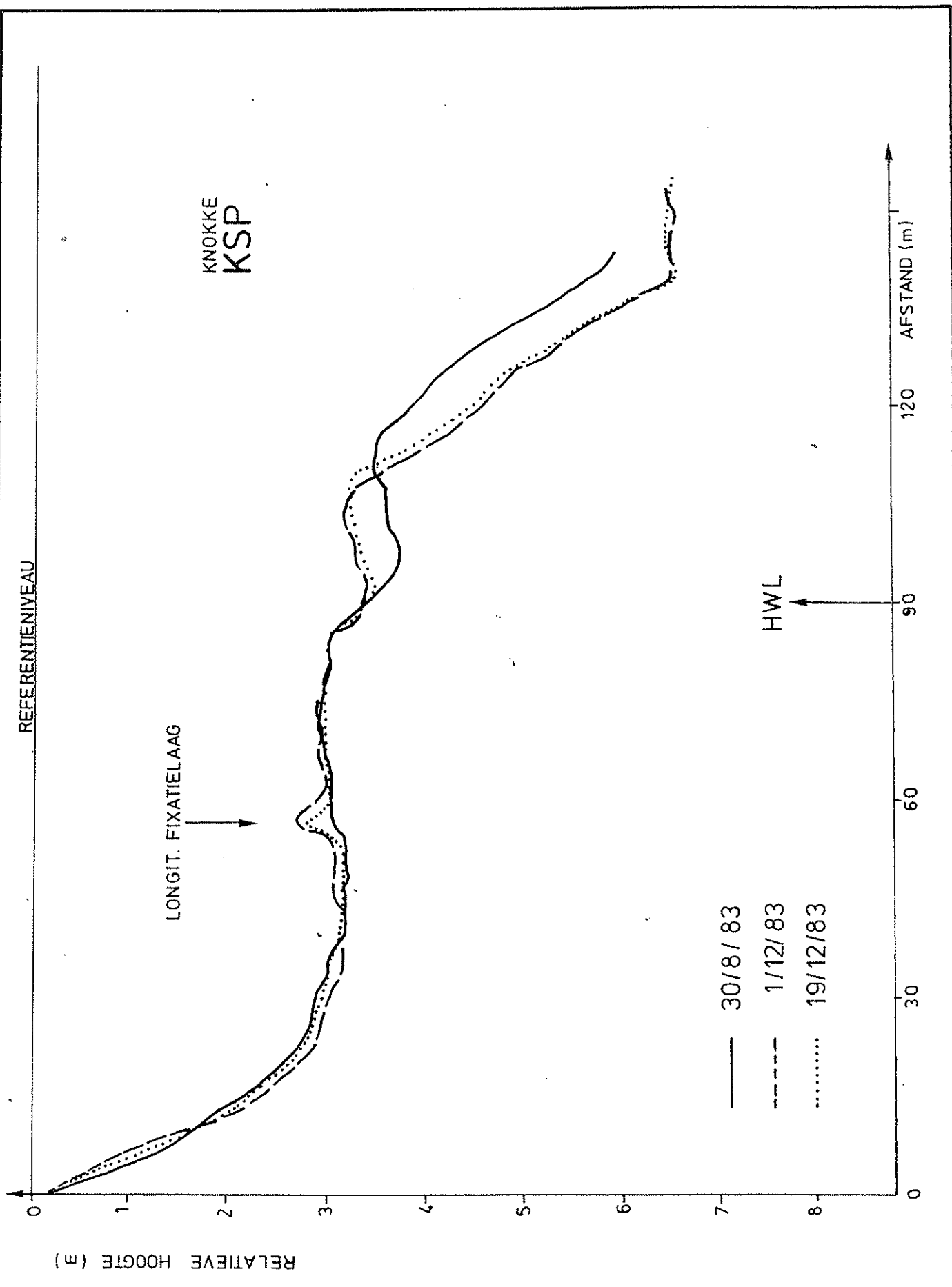
INVLOED VAN WINDRICHTING EN
GEMIDDELDE WINDSNELHEID OP HET
REPTATIE - EENHEIDSDEBIET

GETEK HCE

GEZ ir BME

ZSZ-443/85 4644

Fig. 4

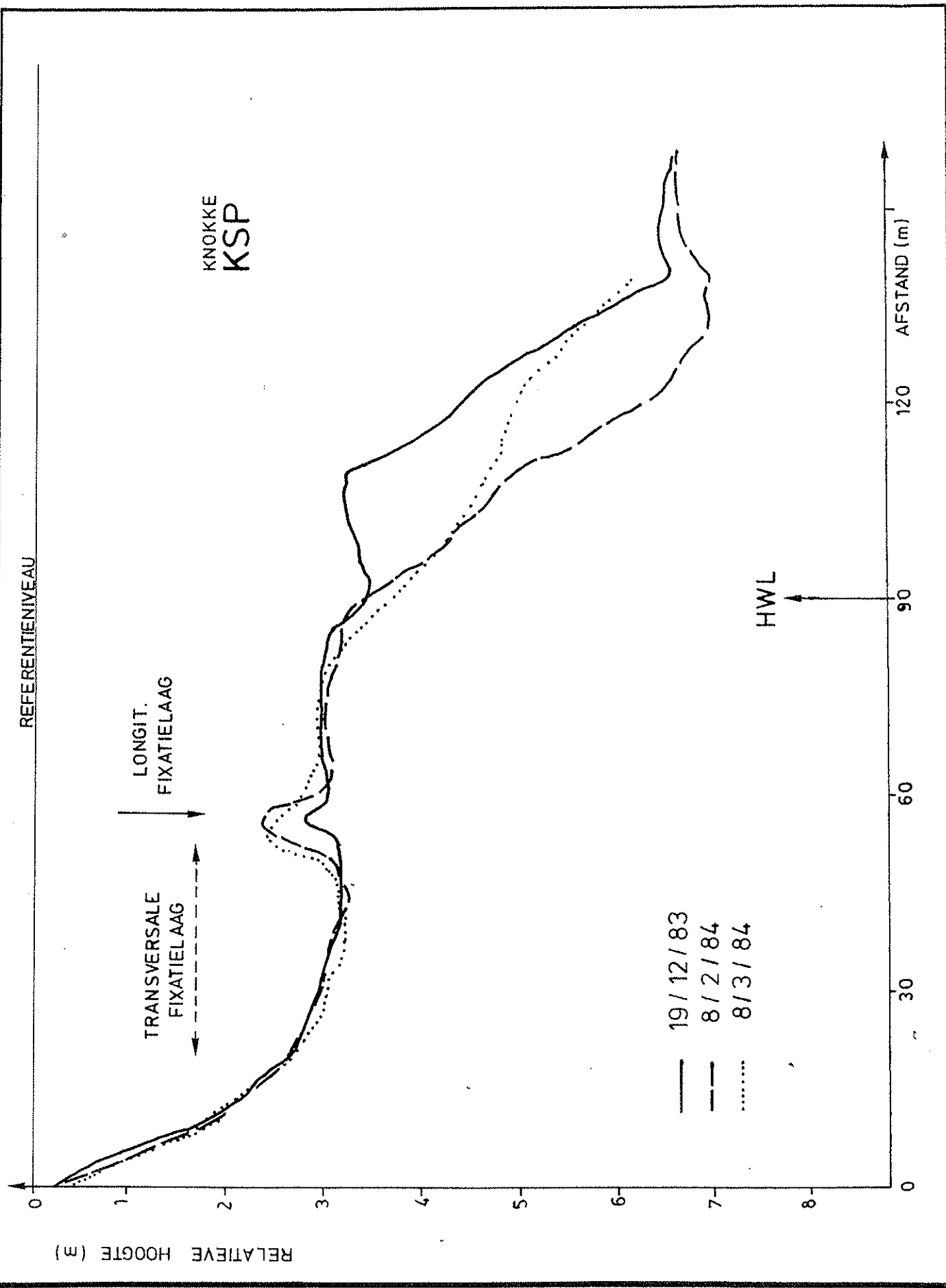


BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

STRANDEVOLUTIE TE KNOKKE (KSP)
TUSSEN AUGUSTUS '83 EN DECEMBER '83



BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

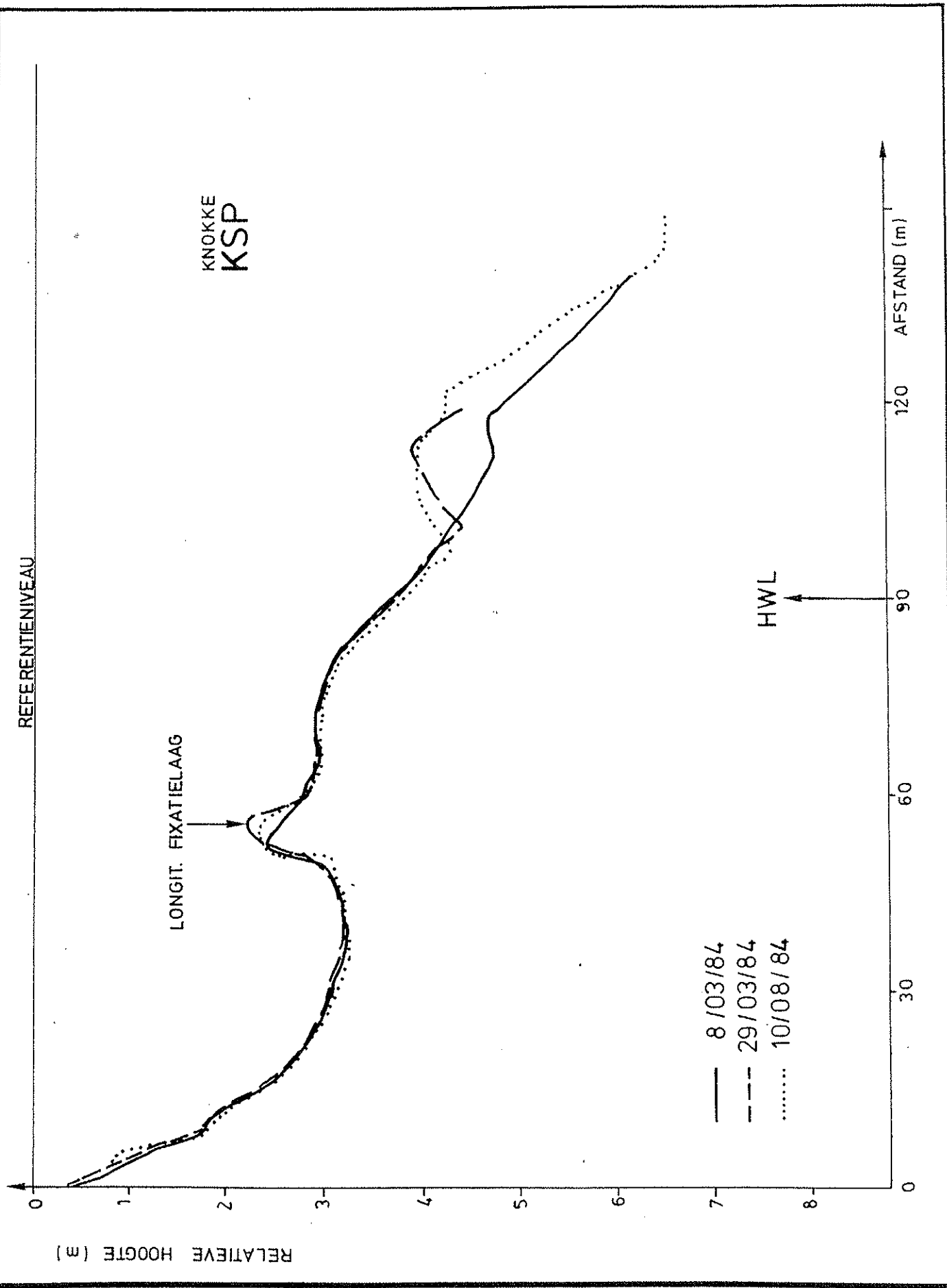
STRANDEVOLUTIE TE KNOKKE (KSP)
TUSSEN DECEMBER '83 EN MAART 84

GETEK HCE

GEZ: ir BME

ZSZ-443/85 4644

Fig. 6



BUITENHAVEN ZEEBRUGGE WAAK - EN BEGELEIDINGSDIENST



HAECON n.v.
 HARBOUR
 and
 ENGINEERING CONSULTANTS

STRANDEVOLUTIE TE KNOKKE (KSP)
 TUSSEN MAART '84 EN AUGUSTUS 1984

GETEK HCE

GEZ ir BME

ZSZ-443/85 4644

Fig 7