



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

E. Smets.  
borgerhout

model van de kust  
en het scheldeëstuarium

**SAMENSTELLING en TRANSPORT  
van SEDIMENTEN in de  
OMGEVING van ZEEBRUGGE**

1976

**MOD. 265 - 6**

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

---



ministerie van openbare werken  
bruggen en wegen  
bestuur der waterwegen

SAMENSTELLING EN TRANSPORT  
VAN DE SEDIMENTEN IN DE  
OMGEVING VAN ZEEBRUGGE.

---

Model 265-6

## INHOUD

	<u>bladz.</u>
1. Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge.	2
2. Samenstelling van de baggerspecie.	6
2.1. Pas van het Zand - Ribzand.	6
2.2. Scheurpas.	9
3. Sedimenttransportmetingen.	12
4. Bodemveranderingen Paardemarkt en Appelzak.	19
5. Evolutie van de Pas van het Zand.	22
6. Besluit.	24

Lijst der bijlagen.

I t/m III

INLEIDING.

Onderhavig verslag bevat een kompilatie van de meest recente gegevens in verband met de bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge, het sedimenttransport in suspensie nabij de Pas van het Zand en de evolutie van de bodem in de Appenzakgeul.

## 1. Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge.

1.1. In oktober 1975 werd door de Hydrografische Dienst van de Kust in samenwerking met het Instituut voor Aardwetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven een bodembemonstering uitgevoerd in 50 punten rond de Pas van het Zand. Tevens werden enkele ondiepe boorkernen genomen. (1)

De bodemmonsters werden genomen met een Shipex Bottom Sampler, en daarna geanalyseerd volgens de methode beschreven door Prof. Gullentops. (2)

1.2. Na verwijdering van schelpresten op de zeef van 2 mm, werd door verwijdering van de kalk met behulp van chloorwaterstof het kalkgehalte ten opzichte van het totale monster bepaald. Daarna werden de organische bestanddelen met behulp van waterstofperoxyde verwijderd en hun gehalte bepaald. Na peptisatie om flocculatie te voorkomen werd de korrelverdeling van de minerale fractie bepaald door droge of natte zeping en door decantatie. De gewichtsprocenten tussen 707, 500, 354, 250, 177, 125, 88, 63, 32, 16 en 2 micron werden bepaald.

1.3. Ten einde een overzichtelijke synthese van de bodemsamenstelling te maken, wordt verder slechts rekening gehouden met de gewichtsprocenten van drie fracties, nl. :

- zandfractie : fractie met korrelgrootte > 63 micron
- silt : fractie met korrelgrootte tussen 63 en 2 micron
- klei : fractie met korrelgrootte < 2 micron.

Silt en klei te zamen vormen de slibfractie.

1.4. De monsters werden naargelang hun zandgehalte verdeeld in drie klassen met volgende benamingen :

- zand : zandgehalte groter dan 80 %
- slijkerig zand : zandgehalte tussen 50 en 80 %
- slijk : zandgehalte kleiner dan 50 %.

- 
- (1) Rapport nr. 15 van de Hydrografische Dienst van de Kust, Oostende, 1976.
- (2) "Flowsheet for analysis on recent detrital sediments". I.C.W.B. Syntheserapport II van november 1972.

Op deze wijze werd in bijlage 1 het bemonsterde gebied in zones met verschillende samenstelling verdeeld. De bovenvermelde gegevens werden hiertoe aangevuld met de analyses van een 30-tal monsters, genomen op 15 september 1976 in de Pas van het Zand en het Ribzand.

Zowel ten Oosten als ten Westen van de geul vindt men een slijkzone. De westelijke slijkzone is echter beduidend kleiner en meer zeewaarts gelegen en ten dele van de geul gescheiden door een meer zandige zone die aansluit met een zandgebied tegen de kust. Het Ribzand is meer zandig. In dit verband is er wel enige twijfel betreffende het bodemonster in punt 48, gezien de baggermonsters in de Scheurpas op dezelfde plaats eerder zandrijk zijn. De slijkzone ten Oosten raakt de Zandpas over ongeveer 4 km, en strekt zich uit tot voor de kust van Duinbergen.

- 1.5. Om kleigehalte, siltgehalte en kalkgehalte op eenzelfde wijze in kaart te brengen werd nagegaan welke gehalten aan klei, silt of kalk met de 50 % en 80 % zandgehalten overeenstemmen. Daartoe werd in bijlage 2 het siltgehalte uitgezet tegenover het zandgehalte. Hieruit blijkt dat er tussen siltgehalte en kleigehalte een verband bestaat : de slibfractie bestaat gemiddeld uit 25 % klei en 75 % silt. In slechts drie monsters (30, 39 en 40) is deze verhouding sterk verschillend : deze monsters zijn opvallend arm aan klei.

Volgende grenzen werden dan aangenomen :

- zand : siltgehalte  $< 16\%$ ,            kleigehalte  $< 4\%$
- zanderig slijk :    siltgehalte tussen 16 en 40 %,  
                          kleigehalte tussen 4 en 10 %,
- slijk : siltgehalte  $> 40\%$ ,            kleigehalte  $> 10\%$

Voor het kalkgehalte werd eenzelfde grafiek getekend, waarna de grenzen op 15 en 20 % gekozen werden.

- 1.6. In bijlage 3 is het siltgehalte weergegeven, in bijlage 4 het kleigehalte. Op enkele details na vinden we dezelfde indeling in klassen als voor het zandgehalte. Ook het kalkgehalte geeft hetzelfde beeld (bijlage 5).
- 1.7. Daar het Shipek-toestel een bodemmonster tot circa 10 cm onder de bodem grijpt, en een mengmonster levert, is het belangrijk meer te weten over de samenstelling volgens de diepte. Uit de boorkernen blijkt dat over de geboorde diepte (max. 80 cm) de bodem uit opeenvolgende laagjes is samengesteld. Hierdoor vermindert de waarde van de hoger weergegeven analyse. In onderstaande tabel wordt de vergelijking gemaakt tussen de gehalten aan zand, klei en silt voor de boring en voor het bodemmonster. Voor de boringen wordt het gemiddelde bepaald van de analyses om de vijf centimeter tot op 35 cm diepte.

Punt	zand %		silt %		klei %	
	Kern	Bodem	Kern	Bodem	Kern	Bodem
16	25,3	34,5	52,3	48,3	22,4	17,2
20	45,3	72,5	42,9	20,2	11,8	7,3
32	17,6	46,7	63,5	44,5	18,9	8,8
36	19,7	32,9	62,9	52,1	17,4	15,0
37	10	34,5	67,1	46,5	22,9	18,9

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt, is de bodem kennelijk rijker aan zand nabij de oppervlakte. In de analyses van de kernboringen is dit niet steeds terug te vinden in de zandgehaltenes van de deelmonsters op 1, 6 en 11 cm diepte.



1. 8. Men mag niet uit het oog verliezen dat het bodempeil met meerdere decimeters per jaar kan variëren door aanzanding en uitschuring. Bijgevolg kan een bemonstering van een tien centimeter dikke laag slechts een momentopname zijn. Vrij diepe boringen zijn noodzakelijk om blijvend de samenstelling van de bodem te kennen na uitschuring. Na afzettingen moeten nieuwe bodemmonsters genomen worden.

De gemiddelde samenstelling van de vermengde Shipek monsters levert ook geen uitsluitel betreffende de samenstelling van het materiaal dat langs de bodem wordt getransporteerd.

## 2. Samenstelling van de baggerspecie.

In de loop van de maanden maart, mei en november 1975 werden tijdens het baggeren in de Pas van het Zand aan boord van het schip monsters van de gebaggerde specie genomen aan het uiteinde van de stortgoot. Telkens werden 21 monsters genomen, op 7 plaatsen langs de Pas, telkens één in de as, één op de westrand en één op de oostrand van de geul. Van de 7 posities langs de vaargeul zijn er 2 gelegen in het Ribzand, 4 in de Zandpas en 1 in de Buitenrede (zie liggingsplan, bijlage 6).

In de maanden mei en november werden tevens telkens 21 monsters genomen tijdens vaarten in de Scheurpas, eveneens op 7 posities in de as, en op de twee randen van de geul. Van deze monsters werd door het Rijksinstituut voor Grondmechanica de korrelverdeling bepaald. De voornaamste parameters van de korrelverdeling zullen hier worden weergegeven.

### 2.1. Pas van het Zand - Ribzand.

#### 2.1.1. Gemiddelde diameter.

In volgende tabel I vindt men de gemiddelde diameter  $d_{50}$  (50% van de korrels zijn kleiner dan  $d_{50}$ ) en de diameter  $d_{90}$  (90% van de korrels zijn kleiner dan  $d_{90}$ ).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen Zand en Ribzand.

Met Ribzand wordt bedoeld op dat deel van de vaarpas tussen Wielingen en Scheur. De gegeven korreldiameters zijn gemiddelde waarden voor 2 monsters voor het Ribzand en voor 5 monsters voor het Zand.

Men vindt dus gemiddeld in de Zandpas een mengsel van fijn zand en slib, met een gemiddelde diameter kleiner dan 100 micron. Tevens is 90% van het materiaal gemiddeld fijner dan 200 micron.

Op de oostrand van de Zandpas vindt men fijner materiaal dan op de westrand.

In het Ribzand is de gemiddelde korreldiameter ongeveer 200 micron en is nog 10% van het materiaal grover dan 370 micron.

TABEL I.

Datum		Zand		Ribzand	
		$d_{50} (\mu)$	$d_{90} (\mu)$	$d_{50} (\mu)$	$d_{90} (\mu)$
13/3/75	West	114	191	245	390
	As	63	168	142	300
	Oost	75	177	191	310
	Gemiddeld	84	179	193	333
27/5/75	West	100	200	175	430
	As	152	285	300	510
	Oost	64	170	200	435
	Gemiddeld	105	218	225	460
17/11/75	West	104	193	195	331
	As	67	170	210	420
	Oost	43	169	152	262
	Gemiddeld	71	177	186	338
Gemid- delde der 3 metin- gen	West	106	195	205	384
	As	94	208	217	410
	Oost	60	172	181	336
	Gemiddeld	87	192	201	377

2.1.2. Zand, silt en klei.

In tabel II is voor alle monsters de verdeling in zand-, silt- en kleifractie gegeven, volgens volgende definitie van deze fracties :

- (z) zand grover dan 63 micron
- (s) silt tussen 63 en 2 micron
- (k) klei kleiner dan 2 micron

TABEL II.

Datum		13-3-75			27-5-75			17-11-75		
		z %	s %	k %	z %	s %	k %	z %	s %	k %
As	1	49	32	19	80	14	6	39	34	27
	2	38	41	21	72	20	8	48	31	21
	3	46	41	13	83	11	6	65	27	8
	4	57	34	9	71	22	7	68	23	9
	5	60	28	12	76	18	6	36	43	21
	6	49	35	16	83	11	6	81	11	8
	7	90	10	-	96	4	-	96	3	1
West	1	77	14	9	83	12	5	89	7	4
	2	91	9	-	58	27	15	44	36	20
	3	77	17	6	62	25	13	53	34	13
	4	82	13	5	58	30	12	72	19	9
	5	56	31	15	42	43	15	72	19	9
	6	88	12	-	68	21	11	95	3	2
	7	96	4	-	88	8	4	93	4	3
Oost	1	85	9	6	51	37	12	34	44	22
	2	61	26	13	48	33	19	38	43	19
	3	57	30	13	49	39	12	37	49	14
	4	27	47	26	33	51	16	48	39	13
	5	40	40	20	64	28	8	43	40	17
	6	88	12	-	59	28	13	81	13	6
	7	87	13	-	92	8	-	92	5	3

Bij de monsters met hoog zandgehalte is niet steeds de bepaling van de kleifractie uitgevoerd (streepje in de tabel).

In de Buitenrede vinden we in de helft van de monsters aanzienlijke hoeveelheden zand, wat wellicht samenhangt met de zanderige zone ten oosten (zie bodemkaartjes).

In de Zandpas is de samenstelling gemiddeld over de drie metingen :

	zand	silt	klei
West	64 %	25 %	11 %
As	60 %	28 %	12 %
Oost	45 %	39 %	16 %

De variatie van het zandgehalte langs de Pas is weergegeven in bijlage 7.

Op de oostrand is het klei- en siltgehalte gemiddeld merkkelijk hoger. Deze vaststelling is in overeenkomst met de resultaten van de bodembemonstering, waar men vond dat ten oosten de Pasgeul over de ganse lengte raakt aan een slibveld. In het Ribzand is de baggerspecie zandrijk (meer dan 80 % zand).

De samenstelling van het slib (kleiner dan 63 micron) blijkt uit de grafiek in bijlage 8. Bij veranderlijke hoeveelheden zand bestaat het slib zelf uit 25 % klei en 75 % silt.

## 2.2. Scheurpas.

In tabel III zijn de parameters van de korrelverdeling weergegeven voor de baggermonsters genomen in de Scheurpas op de posities aangegeven in bijlage 6.

TABEL III. - BAGGERMONSTERS UIT DE SCHEURPAS.

	27-5-1975					18/19-11-1975					
	d <sub>50</sub>	d <sub>90</sub>	z %	s %	k %	d <sub>50</sub>	d <sub>90</sub>	z %	s %	k %	
As	1	152	208	76	19	5	180	360	83	10	7
	2	160	222	79	17	4	149	210	77	18	5
	3	188	272	93	7	-	155	210	81	15	4
	4	150	260	78	17	5	160	205	85	11	4
	5	138	242	79	16	5	118	180	82	14	4
	6	200	352	95	5	-	149	210	75	21	4
	7	180	300	93	7	-	135	260	77	20	3
Zuid	1	198	355	90	10	-	160	290	71	21	8
	2	192	420	81	15	4	175	297	89	7	4
	3	185	280	97	3	-	160	205	88	7	5
	4	195	278	98	2	-	122	185	82	13	5
	5	135	210	76	18	6	125	185	86	11	3
	6	238	295	99	1	0	145	210	81	16	3
	7	130	270	75	19	6	195	280	96	2	2
Noord	1	202	395	87	8	5	105	190	56	36	8
	2	230	520	93	7	-	125	200	64	30	6
	3	185	270	96	4	-	125	200	61	33	6
	4	210	295	95	5	-	92	175	66	27	7
	5	168	270	82	12	6	98	185	62	30	8
	6	242	445	94	6	-	112	200	70	26	4
	7	255	448	97	3	-	130	205	82	15	3

Per meetdag zijn de gemiddelde waarden van  $d_{50}$  en  $d_{90}$  (in micron) in onderstaande tabel weergegeven.

	mei		november	
	$d_{50}$	$d_{90}$	$d_{50}$	$d_{90}$
As	167	265	149	233
Zuid	182	301	155	236
Noord	213	378	112	193
Gemiddeld	187	315	139	221

Opvallend is het verschil (vooral voor de noordrand) in gemiddelde korreldiameter tussen de twee tijdstippen van monsternamen.

In november vindt men aan de noordrand van de Scheurpas slechts 60 tot 70 % zand, terwijl het zandgehalte aldaar in mei rond de 90 % lag.

Het verloop van het zandgehalte is weergegeven in bijlage 9.

Langs de vaargeul is er geen grote schommeling van het zandgehalte.

De slibfractie blijkt uit 20 % klei en 80 % silt te bestaan (zie bijlage 8), en is armer aan klei dan de slibfractie uit de Zandpas.

### 3. Sedimenttransportmetingen.

#### 3.1. Meetcampagne.

Gedurende de jaarlijkse vakantie van de aannemer der baggerwerken te Zeebrugge, werden in twee punten metingen verricht van de watersnelheid, te zamen met monstername van het water, teneinde de concentratie aan vast materiaal te bepalen. Uit het produkt van snelheid en concentratie kan het zwevend sedimenttransport bepaald worden.

Het meetpunt ST 1 is gelegen ten westen van de Zandpas, nabij de ZAND 1 - boei, het meetpunt ST2 ligt ongeveer 800 m ten NW van ZAND 2 - boei, ten oosten van de Pas van het Zand (zie bijlage 1). In onderstaande tabel zijn de uitgevoerde metingen vermeld :

Datum	Meetpunt	Tijverschil	Begin-Einduur	Opmerking
17-7-75	ST2	3m32 : Doodtij	9u15 - 20u15	vloed en eb
18-7-75	ST1	3m20 : Doodtij	8u30 - 20 u	"
24-7-75	ST1	Springtij	9u15 - 15u15	vloed. Geen snelheden
28-7-75	ST2	4m00 : Middeltij	9u15 - 19u15	vloed en eb
29-7-75	ST1	3m48 : "	9u45 - 19u15	"
30-7-75	ST2	3m24 : "	11u - 20u	"
31-7-75	ST1	2m88 : Doodtij	10u15 - 20u15	"
1-8-75	ST2	2m74 : Doodtij	10u45 - 19u15	"
7-8-75	ST1	4m30 : Springtij	11u - 16u	vloed
8-8-75	ST2	4m37 : Springtij	11u30 - 16u30	vloed

Geen enkele meting duurde een volledige tijperiode.

De meting van 24-7-75 is niet bruikbaar voor transportberekeningen, daar er geen snelheden gekend zijn. In de twee punten is er tweemaal gemeten tijdens doodtij. De metingen tijdens springtij duurden echter slechts 5 uur en omvatten enkel de vloed.



Door de grote hoeveelheid metingen bij klein tijverskil t. o. v. enkele metingen bij groot tijverskil is het mogelijk dat de resultaten van de hierna besproken berekeningen een enigszins vertekend beeld geven.

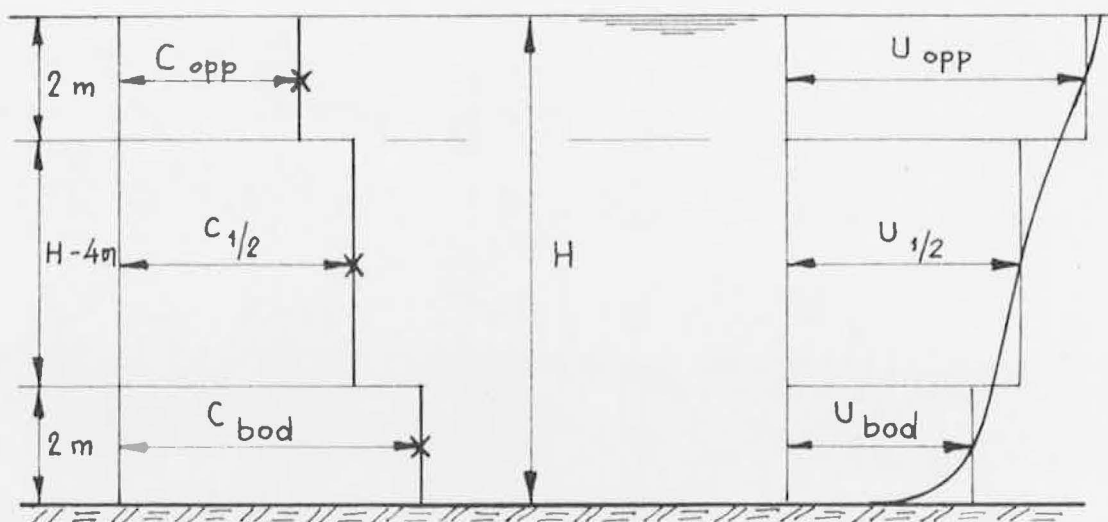
### 3.2. Beschikbare gegevens.

In elk meetpunt werd om het half uur op 1 m boven de bodem, 1 m onder de oppervlakte en op halve diepte een watermonster genomen. Terzelfdertijd werd elk kwartier een vertikaal snelheidsprofiel (zes punten op de vertikaal) opgemeten. De stroomrichting werd bepaald aan de hand van het scheepskompas wat verplicht tot enige voorzichtigheid, gezien vrij hoge windsnelheden soms tijdens de metingen werden geregistreerd.

De watermonsters werden door het Instituut voor Aardwetenschappen van de K.U.L. geanalyseerd. De hoeveelheid droge stof werd bepaald, evenals de hoeveelheid minerale stof (na calcinatie van het monster). Opmerkelijk zijn de hoge percentages biologisch materiaal door de calcinatie verbrand : meestal 80 % van de totale hoeveelheid droge stof. Met een Coulter Counter werd de korrelverdeling van de minerale fractie bepaald. Hieruit blijkt dat de gemiddelde korrel-diameter 20 tot 40 micron bedraagt en 5 tot 10 % der korrels groter dan 63 micron is. Korrels groter dan 100 micron werden praktisch niet waargenomen.

### 3.3. Berekening van het totale en minerale transport.

3.3.1. Daar slechts op drie punten van de verticale een concentratie gekend is, dient men een wet aan te nemen voor de verandering van concentratie volgens de verticale. In wat volgt is aangenomen dat de concentratie  $C_{opp}$  gemeten 1 m onder het wateroppervlak, geldt over een diepte van 2 m onder het oppervlak. De concentratie  $C_{bod}$  gemeten op 1 m boven de bodem wordt aangenomen als concentratie in de waterlaag tot 2 m boven de bodem, en de op halve diepte gemeten concentratie  $C_{1/2}$  geldt voor het resterende deel van de verticale.



Voor het berekenen van het transport wordt het snelheidsprofiel in dezelfde drie zones verdeeld. Voor elke zone wordt de gemiddelde snelheid berekend. Tenslotte wordt het transport berekend als :

$$T = 2 C_{\text{opp}} \cdot U_{\text{opp}} + (H-4) C_{1/2} \cdot U_{1/2} + 2 C_{\text{bod}} \cdot U_{\text{bod}}$$

Op deze wijze werd voor elk moment  $T_{\text{tot}}$  en  $T_{\text{min}}$  berekend (totaal en mineraal transport, met als eenheden : gram/m/s).

- 3.3.2. Om een idee te vormen van de fout als gevolg van de aanname van deze berekeningsmethode, zullen twee theoretische gevallen nagerekend worden. Aangenomen wordt een logaritmische snelheidsverdeling voor een ribbelhoogte van 10 cm, een waterdiepte van 10 m en een schuifsnelheid  $U_*$  gelijk aan 5 cm/s. Het concentratieprofiel voor  $z_* = \frac{\omega}{0.4 U_*} = 1$  en voor  $z_* = 0.4$  wordt telkens berekend volgens de theorie van Rouse (Zie rapport 265-4). Voor deze twee valsnelheden  $\omega$  is het zwevend transport volgens Bijker respectievelijk gelijk aan  $0,254 C_a$  en  $1,643 C_a$ , waar  $C_a$  de concentratie bij de bodem is. Uit volgende tabel volgt de berekening van het transport volgens de hier aangenomen methode.

	U	$z_* = 1$		$z_* = 0.4$	
		$C/C_a$	$T/C_a$	$C/C_a$	$T/C_a$
opp	0.999	1/891	0.00224	0.066	0.13186
1/2	0.9175	1/99	0.0556	0.159	0.8753
bod	0.6878	1/11	0.12505	0.383	0.5268
Transport over de vertikale			0.18289		1.5339
Afwijking t.o.v. de exacte waarde			28 %		7 %

Hoe kleiner de valsnelheid, hoe kleiner de fout, die voor zand met valsnelheid van 2 cm/seconde ongeveer 30 % bedraagt.

### 3.4. Verband tussen zwevend transport en gemiddelde snelheid.

3.4.1. Aangezien de metingen nimmer een volledig tij hebben geduurd, is het niet mogelijk, aan de hand van één enkele meetdag, een transportbalans op te stellen. Voor de studie van de Zandpas is het tevens van belang het transport te kennen per jaar. Zodoende werd voor het reduceren van de transporten naar het middeltij te Zeebrugge (tijverschil 37 dm) aangenomen dat er een verband bestaat tussen transport en gemiddelde snelheid. Is dit verband gekend, kan men na reductie van de snelheden naar middeltij, het gemiddeld transport voor dit tij bepalen.

3.4.2. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de metingen in ST1 en ST2, en tussen eb en vloed. Zodoende dienen vier verbanden tussen  $T_{tot}$  en gemiddelde snelheid  $\bar{U}$  en vier verbanden tussen  $T_{min}$  en  $\bar{U}$  gevonden. Op semilogaritmisch papier uitgezet blijkt dat een lineair verband tussen snelheid en logaritme van het transport mogelijk is. Dit verband, van de vorm :

$$\log T = a + b\bar{U} \quad (\pm \sigma_{est})$$

waarin

T transport (gram/m/sec)

$\bar{u}$  gemiddelde snelheid (m/s)

a en b te bepalen coëfficiënten

$\sigma_{est}$  est standaardafwijking van de berekende t. o. v. de gemeten waarden (als  $\sigma_{est}$  nul is, liggen alle meetpunten (T,  $\bar{u}$ ) op de rechte)

heeft het nadeel dat het transport niet nul wordt als de snelheid nul is. Dit is echter geen bezwaar, aangezien de snelheid nimmer nul wordt.

In onderstaande tabel zijn de correlatiecoëfficiënten  $r$  en de waarden a, b en  $\sigma_{est}$  gegeven. Deze verbanden zijn, te zamen met de lijnen die de standaardafwijking aangeven, weergegeven in de bijlagen 10 t. e. m. 13 voor het totale zwevend transport, en 14 t. e. m. 17 voor het minerale zwevend transport.

		$r$	a	b	$\sigma_{est}$		
Totaal	ST 1	Eb	0.886	1.36232	1.81846	0.17941	
			Vloed	0.808	1.68357	1.36832	0.22460
		ST 2	Eb	0.897	1.39428	1.62489	0.18996
				Vloed	0.715	1.78765	1.04497
Mineraal	ST 1	Eb	0.872	0.62416	2.00359	0.21211	
			Vloed	0.794	1.06568	1.31414	0.22663
		ST 2	Eb	0.820	0.66090	1.77100	0.29289
				Vloed	0.718	1.16690	1.09610

3.5. Gemiddelde suspensietransporten.

3.5.1. Uiteindelijk werden de snelheden vermenigvuldigd met de tijfactor (gemiddeld tijverschil (3m70)/gemeten tijverschil), en werd het transport voor elke gereduceerde snelheid berekend aan de hand van de gevonden correlaties. Voor elk meetpunt vindt men aldus een bundel krommen die het transport in de tijd weergeven voor een middeltij. Door deze bundel werd een gemiddelde getekend, weergegeven in de bijlagen 18 t. e. m. 21 (stippellijnen).

Tenslotte werd de gemiddelde richtingsverandering in de tijd voor elk meetpunt bepaald, onder verwaarlozing van de metingen met duidelijke meetfout omwille van de invloed van de wind op de ligging en kompasrichting van het meetschip. Met deze gemiddelde richting werd het transport bepaald, loodrecht op de Pas van het Zand (volle lijnen op bijlagen 18 t. e. m. 21).

3.5.2. Door planimetreren vindt men volgende resulterende eb- en vloedtransporten loodrecht op de Zandpas :

		totaal transport	mineraal transport
ST 1	EB	6.5 t/m	1.6 t/m
	<u>VL</u>	<u>4.0 t/m</u>	<u>0.9 t/m</u>
	TIJ	2.5 t/m EB	0.7 t/m EB
ST 2	EB	9.5 t/m	2.3 t/m
	<u>VL</u>	<u>3.8 t/m</u>	<u>1 t/m</u>
	TIJ	5.7 t/m EB	1.3 t/m EB

De waarden in deze tabel geven slechts een grootteorde van het zwevend transport weer, aangezien ze op een vereenvoudigde wijze berekend zijn uit de gemeten snelheden en concentraties.

3.5.3. Daar de gegevens voornamelijk betrekking hebben op getijden met gering tijverschil, ontbreken voldoende gegevens bij gemiddelde snelheden hoger dan 1 m/s. Daarom is het niet mogelijk de berekening tevens voor een gemiddeld springtij uit te voeren.

De nauwkeurigheid van de cijfers uit bovenstaande tabel is omwille van de nauwkeurigheid van het gebruikte verband tussen gemiddelde snelheid en transport zodanig dat met 65 % zekerheid kan gesteld dat de zwevende transporten tussen 50 en 200 % van de aangegeven waarden liggen.

3.5.4. Door hun ligging zijn de meetpunten kennelijk niet representatief voor de ganse lengte van de Zandpas. Met name in het snelheidsverloop is er een verschil.

Door de metingen voorzien in 1976, die gespreid zijn langs de pas, zal het mogelijk zijn hierover uitsluitsel te geven.

Door het groter aantal gegevens en een nauwkeuriger opmeten van het concentratieprofiel, vooral nabij de bodem, zullen de berekeningsfouten kunnen verkleind worden.

Een bodembemonstering uitgevoerd op 15 september 1976 toont aan dat het humusgehalte van de specie op de bodem van de geul slechts 0,5 tot 2 % bedraagt.

#### 4. Bodemveranderingen Paardemarkt en Appelzak.

In het verslag 265-5 werd de vergelijking gemaakt tussen de bodempeilingen van de Appelzakzone in 1972, 1974 en 1975 die opgemeten werden door de Hydrografische Dienst van de Kust. Ter aanvulling en bevestiging wordt hier de vergelijking gemaakt tussen de Nederlandse peilingen van dit gebied.

##### 4.1. Gebruikte Peilingsplans.

Volgende plans werden gebezigd :

"Rand Westerschelde, Lodingen R.W. ";

Rijkswaterstaat, Studiedienst Vlissingen.

C7 70.301	vak 15	(18 juni - 5 sept. 1969)
C7 70.115	vak 16	(21 maart - 13 juni 1969)
C7 72.148	vak 15	(15 aug. - 17 sept. 1971)
C7 72.124	vak 16	(2 juli - 6 sept. 1971)
C7 74.214	vak 15	(10 juli - 24 sept. 1973)
C7 74.184	vak 16	(21 mei - 13 aug. 1973)
C7 76.331	vak 15	(15 aug. tot 29 aug. 1975)
C7 76.294	vak 16	(2 juli - 7 aug. 1975)

##### 4.2. Vergelijking 1969-1971 (zie bijlage 22).

Deze bijlage 22 is een uitbreiding van de reeds eerder gemaakte vergelijking tussen deze peilingen (zie verslag 265-4). Op elke tekening is de NAP-100 dm dieptelijn in streeplijn getekend, ten-einde de ligging van de Appelzakkuil weer te geven (voor het eindjaar uit de vergelijking).

In het tijdperk 1969-1971 blijken de diepten over het algemeen weinig veranderd. In de Appelzaktrog zijn de diepten met ongeveer 3 dm toegenomen. Vóór het strand van Heist en op de Paardemarkt ter hoogte van de Lekkerbek is er meer dan 5 dm aanzanding.

4.3. Vergelijking 1971-1973 (zie bijlage 22).

Vanaf oktober 1971 werd de baggerspecie afkomstig van de haven en voorhaven van Zeebrugge aan de R 4 boei gestort (circa 2,5 miljoen  $m^3$ /jaar met densiteit 1,6  $t/m^3$ ). Enig effect is niet merkbaar. Uit de vergelijking blijkt zelfs een verdieping in de onmiddellijke omgeving van de stortboei.

Aangezien de eerste stortingen van baggerspecie uit de Scheurpas slechts tegen het einde van de maand juli 1973 aangevat werden, is het onmogelijk dat daarvan enig spoor te vinden zou zijn op deze vergelijking.

De bodemveranderingen zijn gering, met zowel aanwas als erosie. Enkel benoorden de buitenrede van de haven van Zeebrugge is er een belangrijke verdieping. Daar de vergelijking 1973-1975 op dezelfde plaats een belangrijke aanwas vertoont, is het mogelijk dat zowel de verdieping als de afzetting aan een fout in de lading van 1973 te wijten zijn.

4.4. Vergelijking 1973-1975 en 1971-1975 (zie bijlage 23).

Tussen de opname van 1973 en 1975 is er circa 12 miljoen  $m^3$  2e soort (densiteit 1,6  $ton/m^3$ ) in de stortzone gestort (zie bijlage 24). De stortingen gebeuren aan de westrand van de stortzone en sporen van deze stortingen zijn terug te vinden in de vergelijking.

Door planimetreren en berekenen van de gemiddelde aanzanding blijkt dat in de zone met een aanwas groter dan 5 dm een volume van 2,2 miljoen  $m^3$  afzetting terug te vinden is voor de kust van Knokke - voor de periode 1973-1975. Uit de vergelijking 1971-1975 vindt men aldaar circa 2,8 miljoen  $m^3$  terug.

Aan de stortboei R 4 is er opnieuw verdieping te merken.

De aanzandingszone evenwijdig met de kust (en wellicht ook de geringe aanzanding zeewaarts) is duidelijk te wijten aan het storten van de zandrijke specie uit de Scheurpas (gemiddelde korrelgrootte 160 micron; zandgehalte gemiddeld 80 %). De specie uit de voorhaven heeft slechts een zandgehalte van 6 à 7 % (volgens de gegevens



van ir. Verschave<sup>\*</sup>), en blijkt uit de bijlagen 22 en 23 weinig invloed te hebben.

Daar wegens de diepgang van de Vlaanderen 18 enkel rond hoogwater kan gestort worden, dus steeds in een vloedstroom, wordt de specie uit de Scheurpas verspreid over de ganse noordelijke flank van de Appelzakgeul, tot op Nederlands grondgebied.

Opmerking : De grote verdieping volgens één Decca-raai ten westen van de R4 boei is vermoedelijk het gevolg van een peilingsfout in 1975.

#### 4.5. Besluit.

Alhoewel niet kan bepaald worden hoe de bodemconfiguratie in 1975 zou zijn, ware er geen stortingen geweest, kan men stellen dat circa 3 miljoen m<sup>3</sup> (met onbekende densiteit) terug te vinden zijn, van de stortspecie uit de Scheurpas. Tegen de kust is er echter ontzanding, die echter met de Nederlandse peilingen niet te becijferen valt.

Aan de hand van de Belgische peilingen werd (zie verslag 265-5) gevonden dat de aanwas in de zone tussen R4 boei en Krib 17 ongeveer 1,2 miljoen m<sup>3</sup> bedroeg in de periode 1972-1975.

De Appelzakgeul is versmald, ligt dicht bij het strand en eerder verdiept, en het strand is sterk aangetast. De vergelijking der Nederlandse peilingen bevestigt deze tendensen. Ook de verdieping voor Duinbergenwindt men terug.

Het is wenselijk dat enkele boringen verricht worden in de afzettingszone, teneinde de densiteit en de samenstelling van de afgezette specie te bepalen. Slechts indien de densiteit gekend is, kan bepaald worden welk deel van de stortspecie werd afgezet.

---

\*) Tijdschrift van Openbare Werken, 1976, nr. 1.

## 5. Evolutie van de Pas van het Zand.

- 5.1. Teneinde enig inzicht te verwerven in de invloed van de verdieping van de Zandpas op de nodige onderhoudsbaggerwerken, en zo onrechtstreeks een raming te maken van de hoeveelheid specie die in de Zandpas jaarlijks bezinkt, werden de sinds 1962 uitgevoerde peilingen verwerkt.
- 5.2. Tussen 2,5 km (ZAND 4 - boei) en 6 km (ZAND - boei) uit het hooglicht (bijlage 6) werden de dieptecijfers op de as, op de oost-rand van de geul (150 m uit de as) en op de westrand (150 m uit de as) gemiddeld. De gemiddelden van oost-rand, as en westrand werden op hun beurt gemiddeld. Deze waarde wordt in deze studie per definitie de gemiddelde diepte van de Pas van het Zand.

In bijlage 25 is vanaf 1962 tot heden het verloop van deze gemiddelde diepte te zamen met de maandelijks gebaggerde hoeveelheden weergegeven. Onderaan is tevens aangegeven welk gedeelte der baggerwerken in het Ribzand werden uitgevoerd.

In bijlage 26 zijn de jaargemiddelde diepten en de jaarlijkse baggerwerken weergegeven (per kalenderjaar).

In bijlage 27 zijn deze jaargemiddelde diepten tegenover de gebaggerde hoeveelheden uitgezet.

- 5.3. Op bijlage 25 valt duidelijk op dat het onderhouden van de Pas op H - 80 dm slechts baggerwerken van circa 1 miljoen m<sup>3</sup> 2e soort (1600 t / m<sup>3</sup>) per jaar vergde : er diende slechts sporadisch gebaggerd. In de periodes dat er niet gebaggerd werd konstateert men een aanzanding van ongeveer 1 dm per maand. Daartegenover staat dat het onderhoud in 1975 circa 7,5 miljoen m<sup>3</sup> 2e soort bedraagt (enkel in de Pas van het Zand) bij een gemiddelde geuldiepte van 97 dm. Men kan uit de grafiek opmaken dat gedurende dit kalenderjaar geen verdieping werd verwezenlijkt.

Ook kan gezegd worden dat gedurende de jaren 1972-1973 geen verdieping voorkwam, waar gemiddeld een kleine 6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar voor onderhoud diende gebaggerd te worden bij een gemiddelde geuldiepte in de Pas van het Zand van circa 92 à 93 dm.

In 1968 werd op 12 maanden tijd een verdieping van 9 dm gerealiseerd, door het baggeren van 6,86 miljoen m<sup>3</sup> 2e soort. Dergelijke forse verdieping wordt later niet meer bereikt. Gezien de grote verdieping in 1968 moet men dit punt terzijde laten in de grafiek van bijlage 27.

- 5.4. Op de grafiek baggerhoeveelheden - gemiddelde diepte - zijn de jaren, waarbij de verdieping verwaarloosbaar is, en dus enkel voor onderhoud gebaggerd is, met een kruisje aangeduid.

Aangenomen wordt dat voor een geuldiepte van H - 65 dm geen baggerwerken nodig zijn.

Het opgaande deel van de grafiek vertoont een helling van 6 miljoen m<sup>3</sup> per meter verdieping onder H - 9 m.

6. Besluit.

In dit verslag werden de resultaten opgenomen van de metingen die vóór december 1976 uitgewerkt waren.

Zoals uit de bespreking bij elke meting blijkt, zijn deze metingen onvoldoende om een eerste inzicht te verwerven in de mechanismen die de sedimentatie in de Pas van het Zand en de sedimentatie en erosie voor de Oostkust beheersen. Daarom zijn meer gegevens uit natuurmetingen noodzakelijk. In die zin werd dan ook het hydrografisch meetprogramma voor 1976 opgesteld.

Tijdens de zomercampagne van 1976 werden de suspensietransportmetingen rond de Pas van het Zand hernomen, ditmaal in 10 punten. Ook de peiling van de Appelzak en het nemen van baggermonsters zijn reeds herhaald.

december 1976.

De ingenieur van Bruggen  
en Wegen,  
belast met de studie,

De Hoofdingenieur-Directeur  
van Bruggen en Wegen,

De Inspecteur-Generaal van  
Bruggen en Wegen,  
Directeur van het Waterbouw-  
kundig Laboratorium,

ir. E. LAFORCE.

ir. P. ROOVERS.

ir. A. STERLING.

LIJST DER BIJLAGEN.

Bijlage nr.

1	Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge. Zandgehalte.	W. L. 76.507
2	Bepaling van de grenzen voor de kartering van de korrelverdeling.	76.508
3	Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge. Siltgehalte.	76.509
4	Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge. Kleigehalte.	76.510
5	Bodemsamenstelling in de omgeving van Zeebrugge. Kalkgehalte.	76.511
6	Posities van de monsternamen der baggerspecie.	76.512
7	Baggermonsters Pas van het Zand - Ribzand. Verloop zandgehalte langs de vaargeul.	76.513
8	Samenstelling baggermonsters uit de Pas van het Zand, Ribzand en Scheur.	76.514
9	Baggermonsters Scheurpas. Verloop zandgehalte langs de vaargeul.	76.515
10	Verband tussen totaal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 1 bij eb.	76.516
11	Verband tussen totaal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 1 bij vloed.	76.517

Bijlage nr.

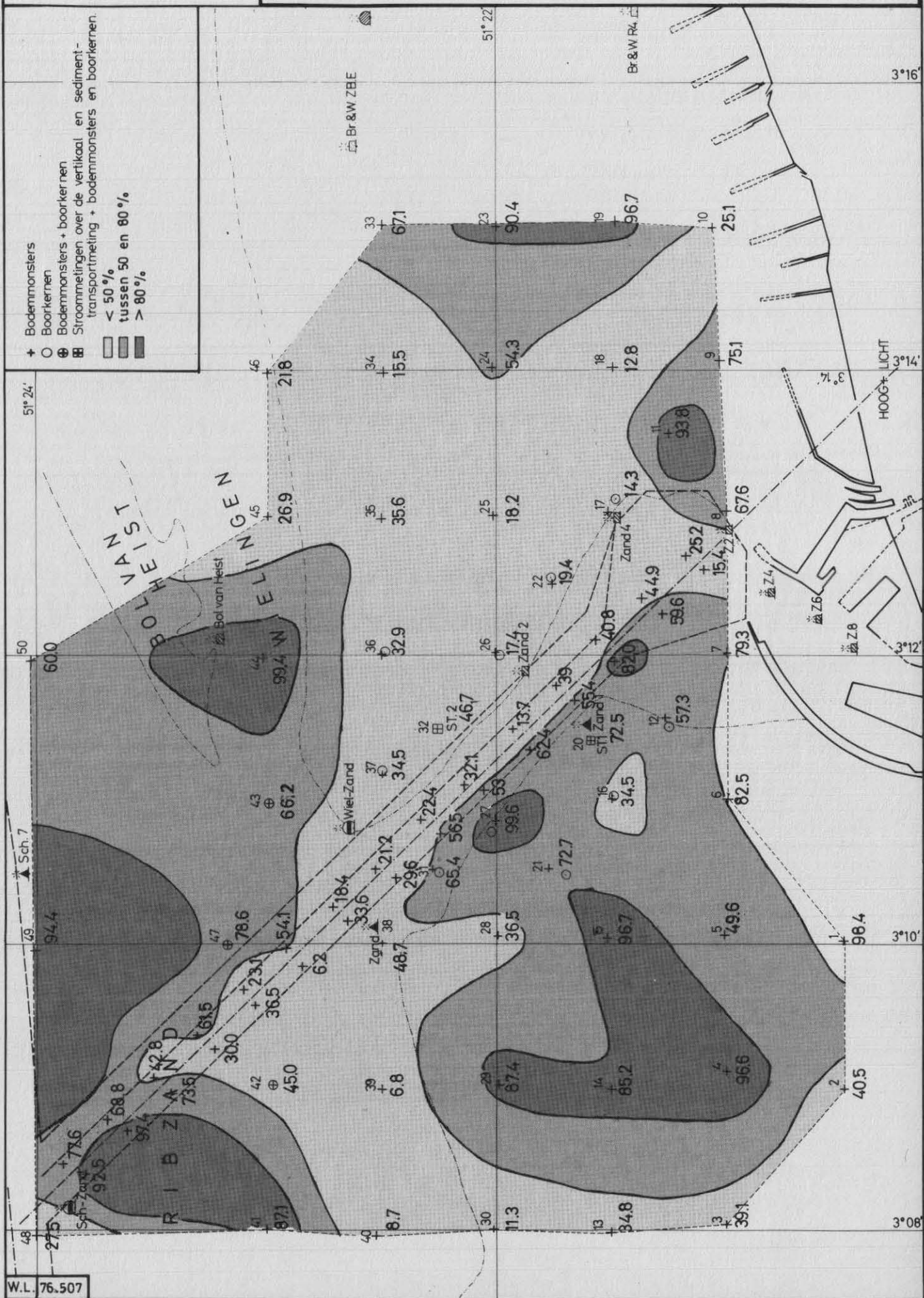
12	Verband tussen totaal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 2 bij eb.	W. L. 76.518
13	Verband tussen totaal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 2 bij vloed.	76.519
14	Verband tussen mineraal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 1 bij eb.	76.520
15	Verband tussen mineraal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 1 bij vloed.	76.521
16	Verband tussen mineraal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 2 bij eb.	76.522
17	Verband tussen mineraal zwevend transport en gemiddelde snelheid voor meetpunt ST 2 bij vloed.	76.523
18	Gemiddeld verloop van het totaal transport in ST I na omrekening naar het middeltij te Zeebrugge.	76.524
19	Gemiddeld verloop van het totaal transport in ST 2 na omrekening naar het middeltij te Zeebrugge.	76.525
20	Gemiddeld verloop van het mineraal transport in ST 1 na omrekening naar het middeltij te Zeebrugge.	76.526

Bijlage nr.

21	Gemiddeld verloop van het mineraal transport in ST 2 na omrekening naar het middeltij te Zeebrugge.	W. L. 76.527
22	Bodemverandering langsheen de Oostkust. Nederlandse peilingen 1969-1971-1973.	76.530
23	Bodemverandering langsheen de Oostkust. Nederlandse peilingen 1971-1973-1975.	76.531
24	Evolutie van de Appelzak. Stortingen Scheurspecie.	76.853
25	Overzicht van de baggerwerken en de gemiddelde geuldiepte in de Pas van het Zand sinds 1961.	76.856
26	Evolutie van de jaarlijkse baggerwerken en de jaargemiddelde geuldiepten in de Pas van het Zand.	76.854
27	Verband tussen gemiddelde geuldiepte en baggerwerken in de Pas van het Zand.	76.855

Schaal 1:40.000

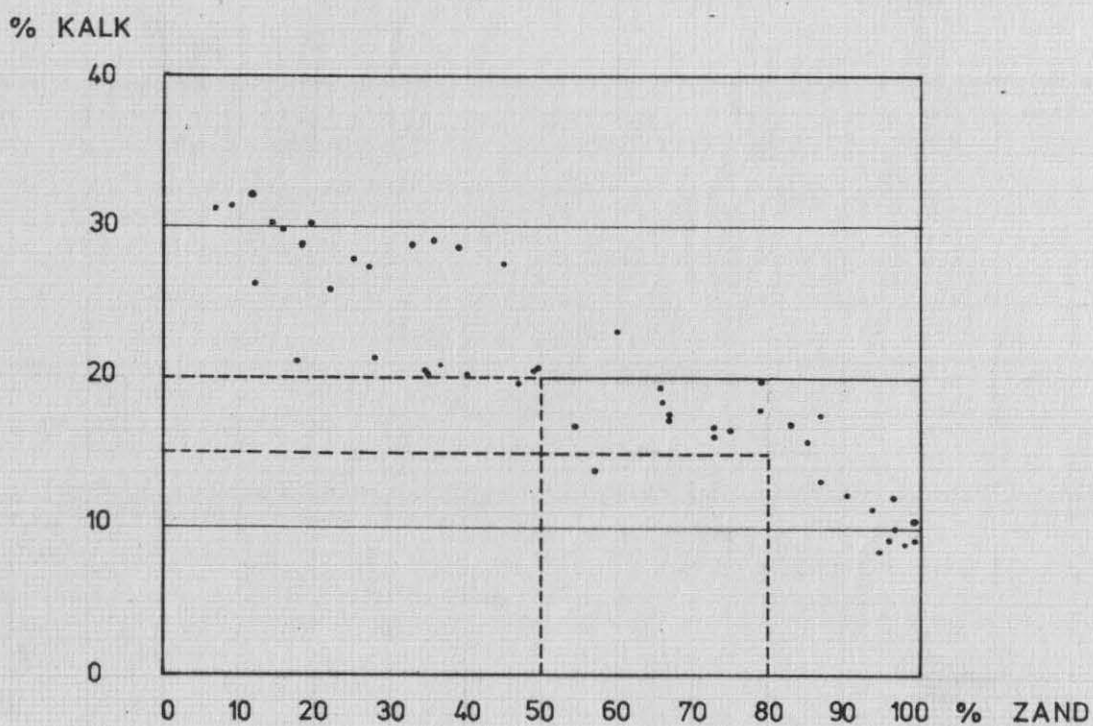
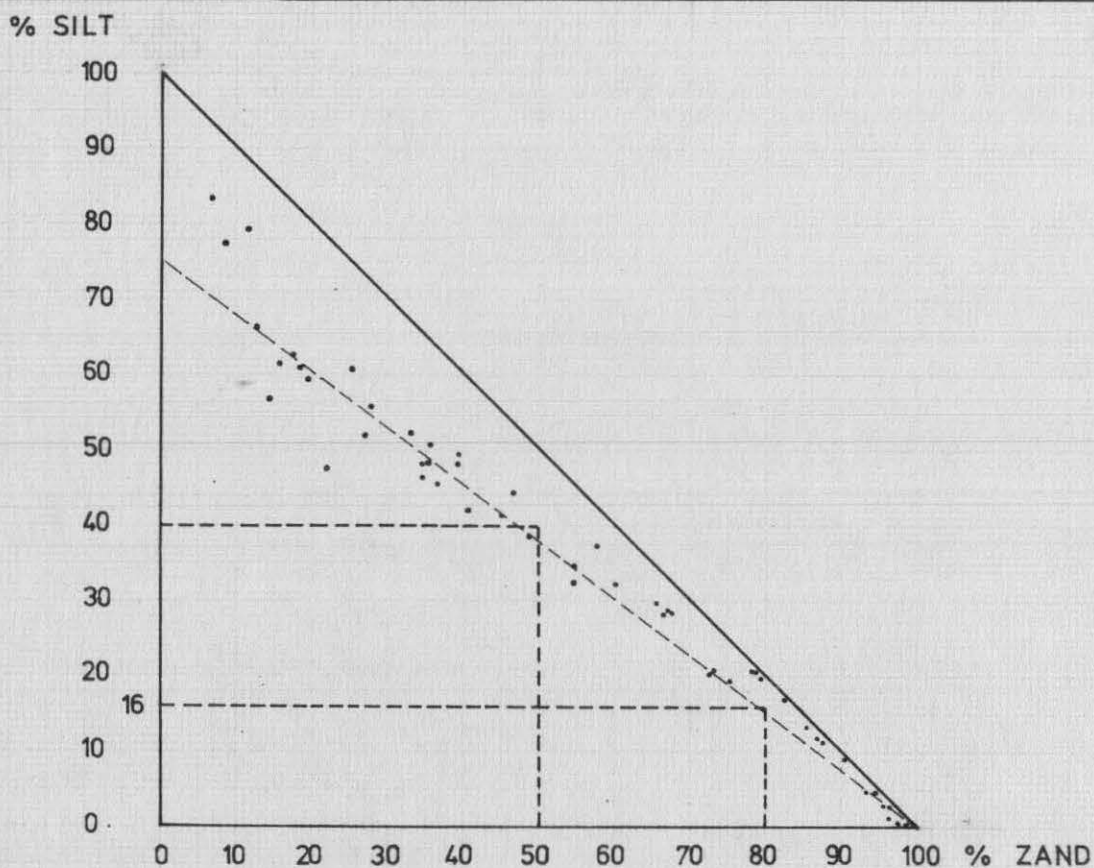
**BODEMSAMENSTELLING IN DE OMGEVING VAN ZEEBRUGGE**  
ZANDGEHALTE ( fractie > 63µ )







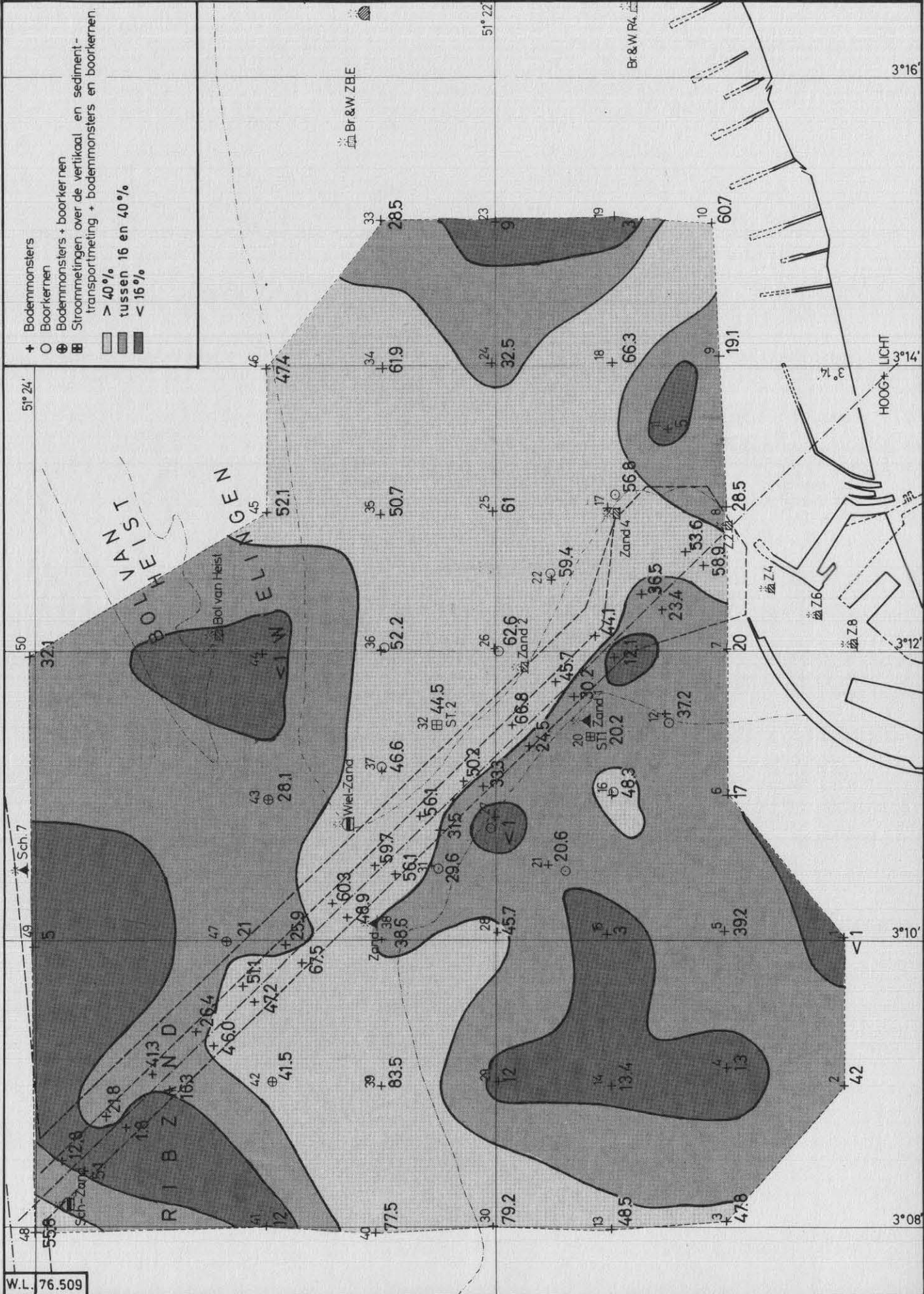
BEPALING VAN DE GRENZEN VOOR DE KARTERING VAN DE  
KORRELVERDELING





Schaal 1:40.000

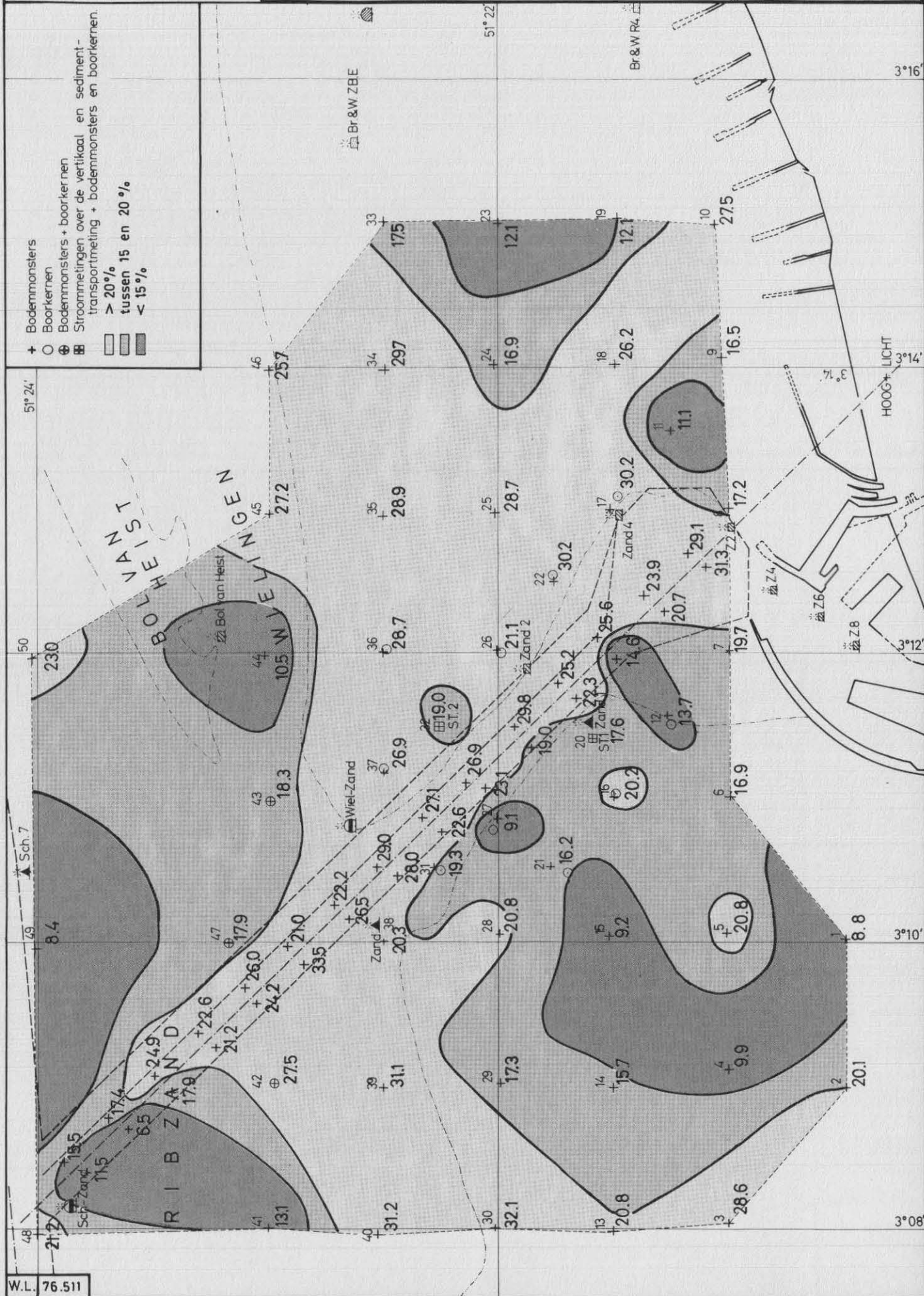
BODEMSAMENSTELLING IN DE OMGEVING VAN ZEEBRUGGE  
SILTGEHALTE ( fractie tussen 63 en 2  $\mu$  )





Schaal 1:40.000

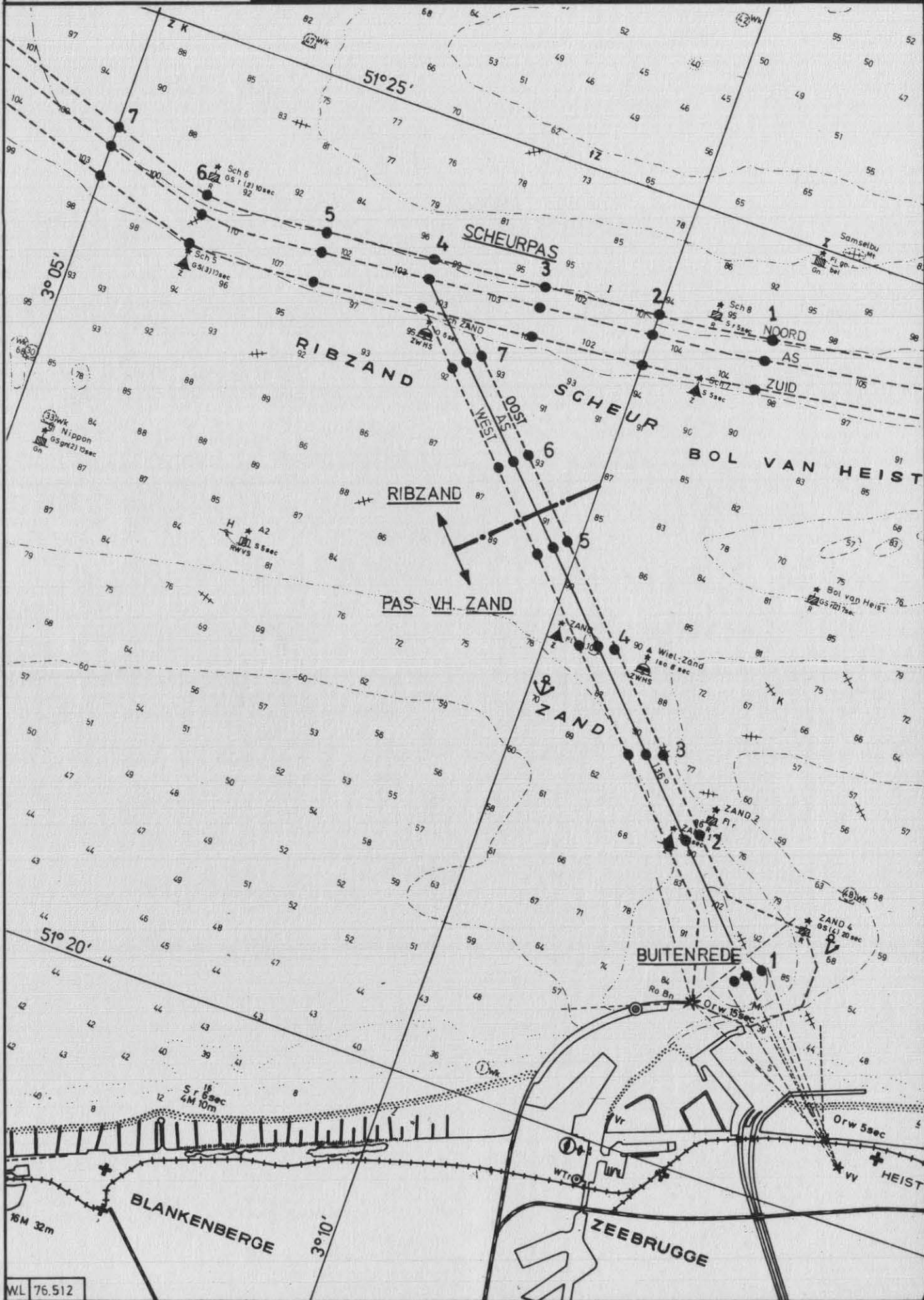
**BODEMSAMENSTELLING IN DE OMGEVING VAN ZEEBRUGGE  
KALKGEHALTE ( in % v.h. totale monster )**





Schaal: 1: 50.000

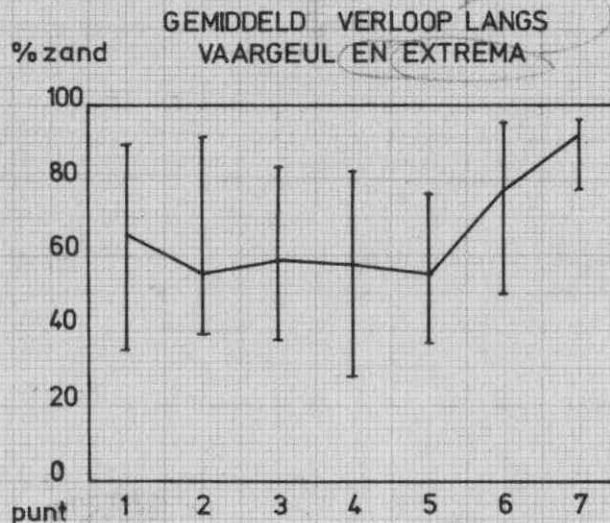
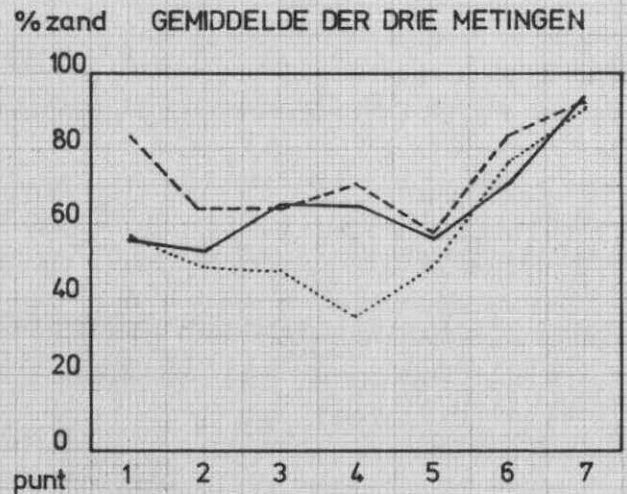
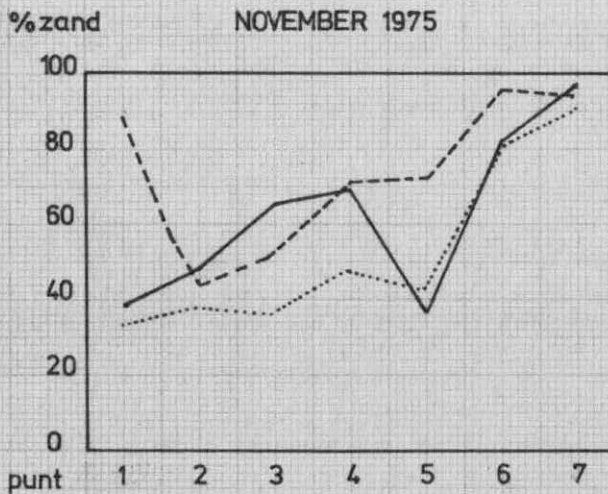
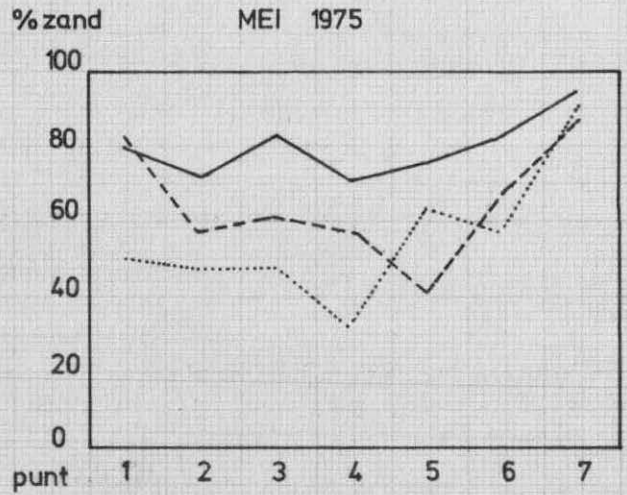
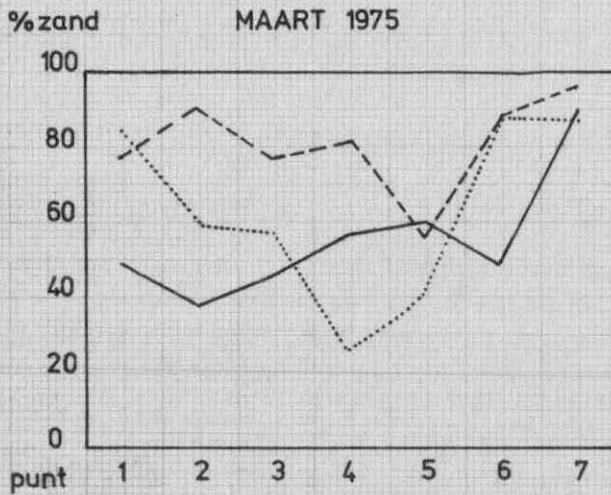
POSITIE VAN DE MONSTERNAME DER BAGGERSPECIE



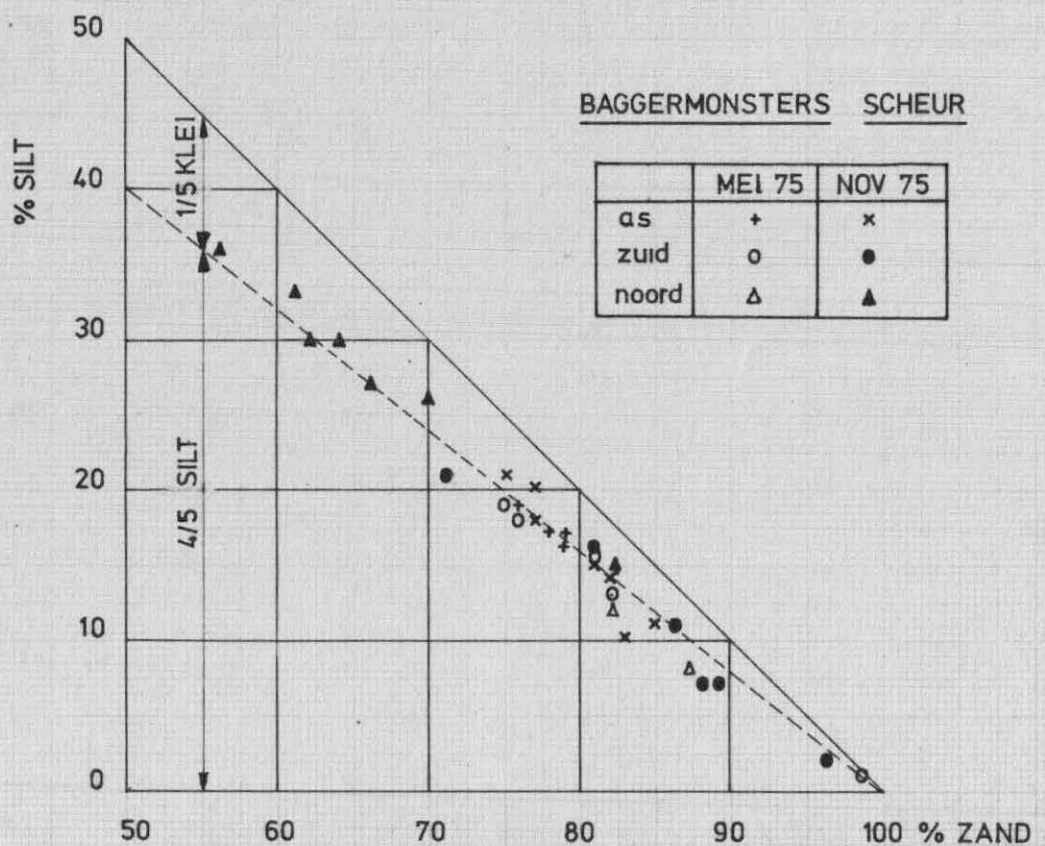
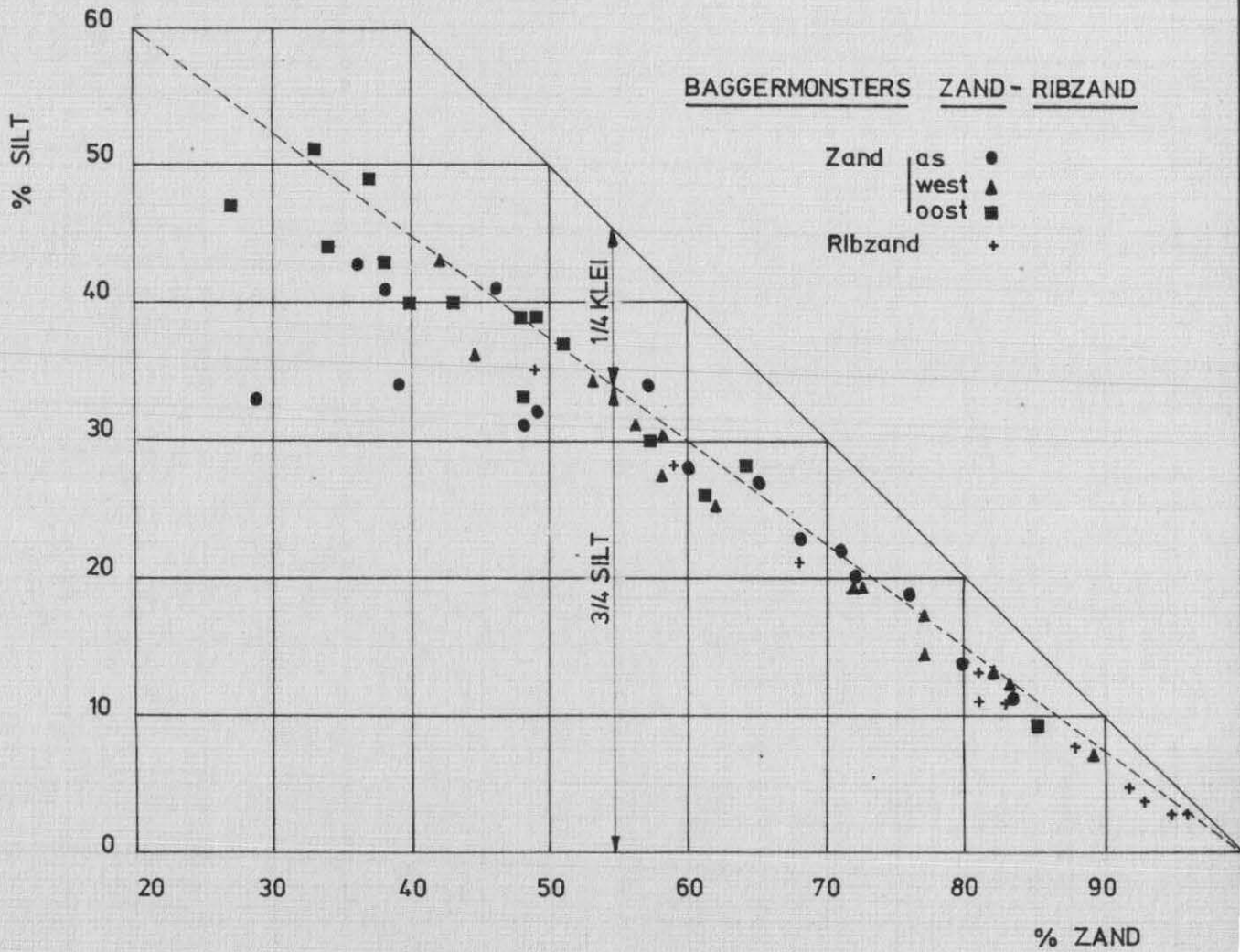


----- WESTRAND  
———— AS  
..... OOSTRAND

BAGGERMONSTERS PAS VAN HET ZAND - RIBZAND  
VERLOOP ZANDGEHALTE LANGS DE VAARGEUL

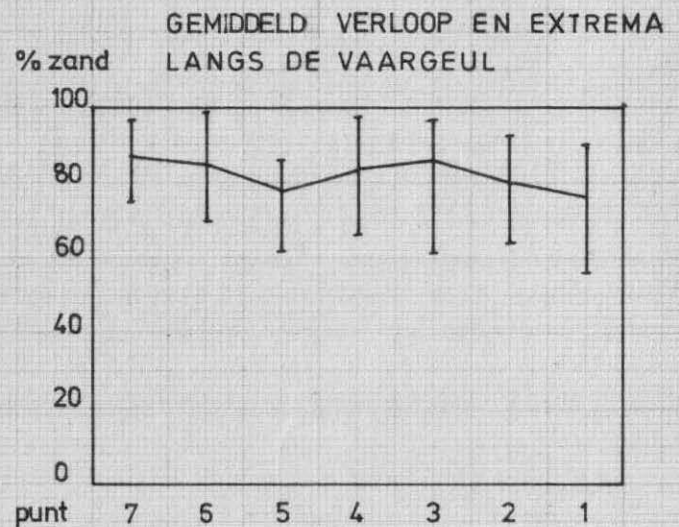
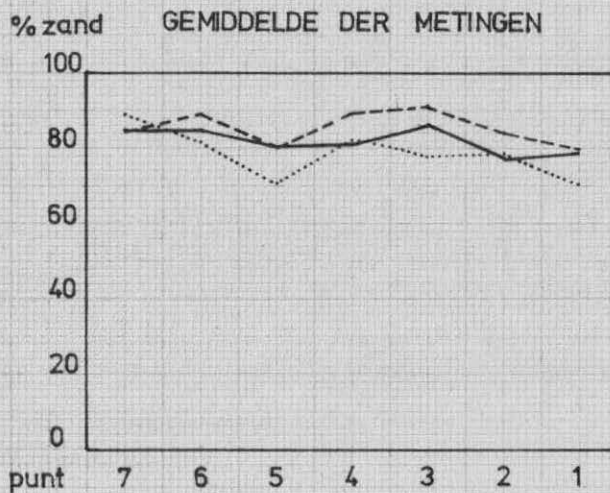
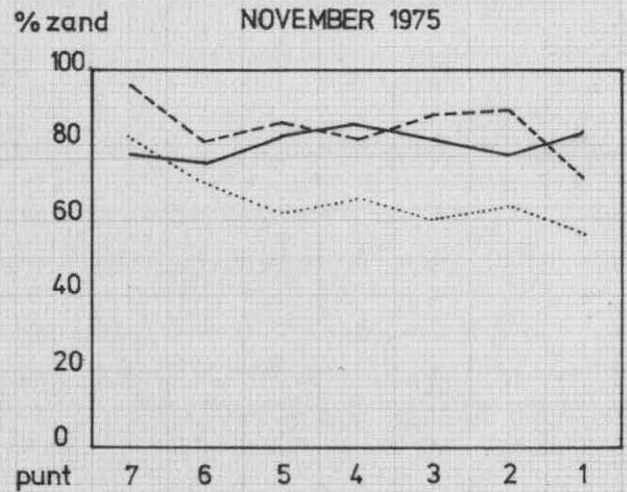
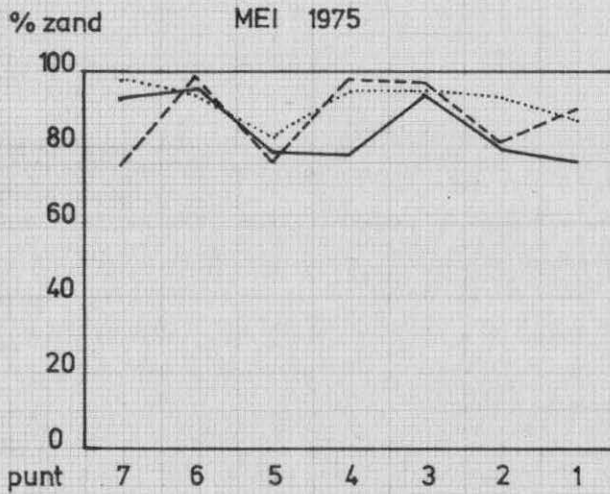


SAMENSTELLING BAGGERMONSTERS UIT DE PAS VAN HET ZAND,  
RIBZAND EN SCHEUR



----- ZUIDRAND  
—— AS  
..... NOORDRAND

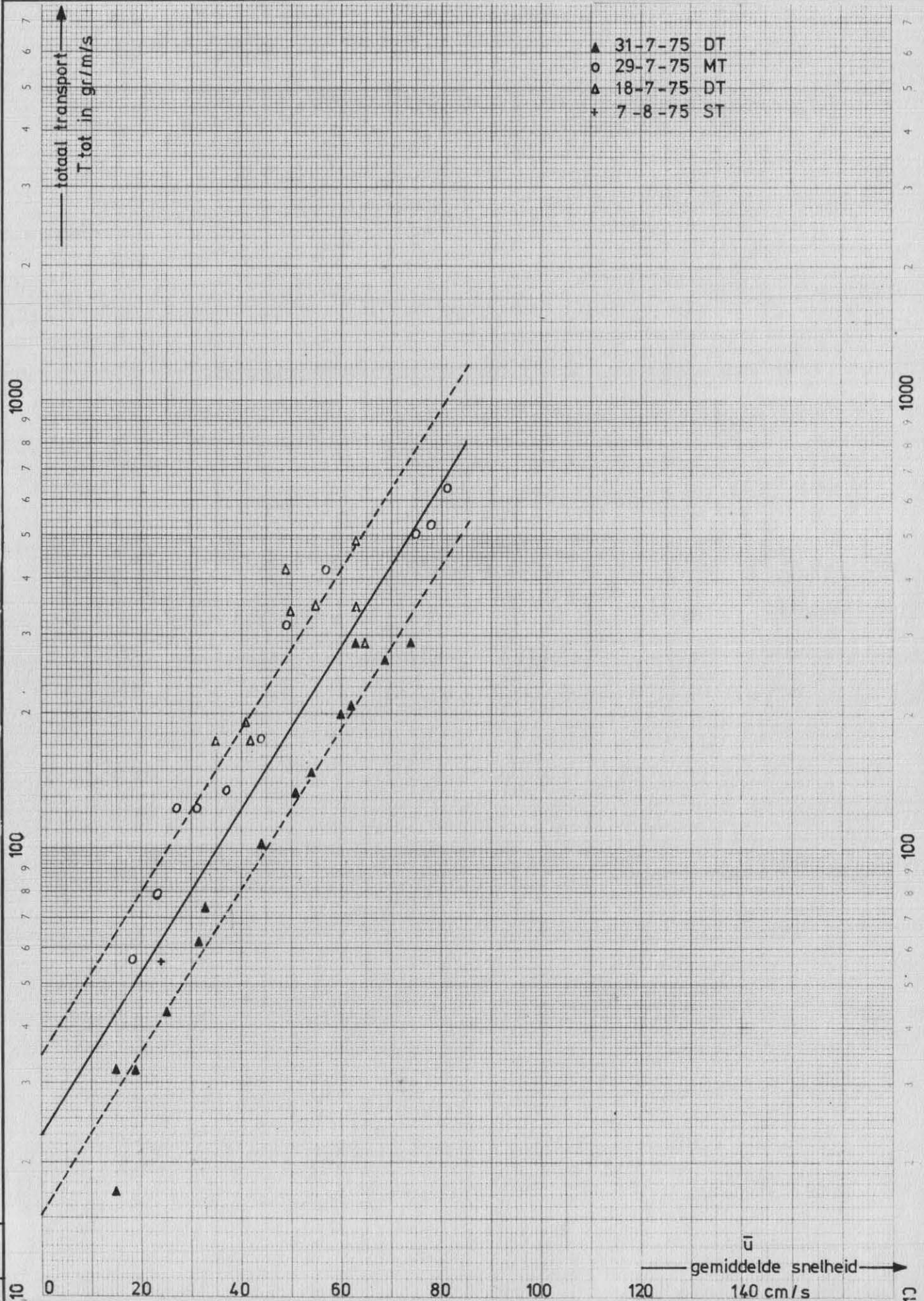
BAGGERMONSTERS SCHEURPAS  
VERLOOP ZANDGEHALTE LANGS DE VAARGEUL





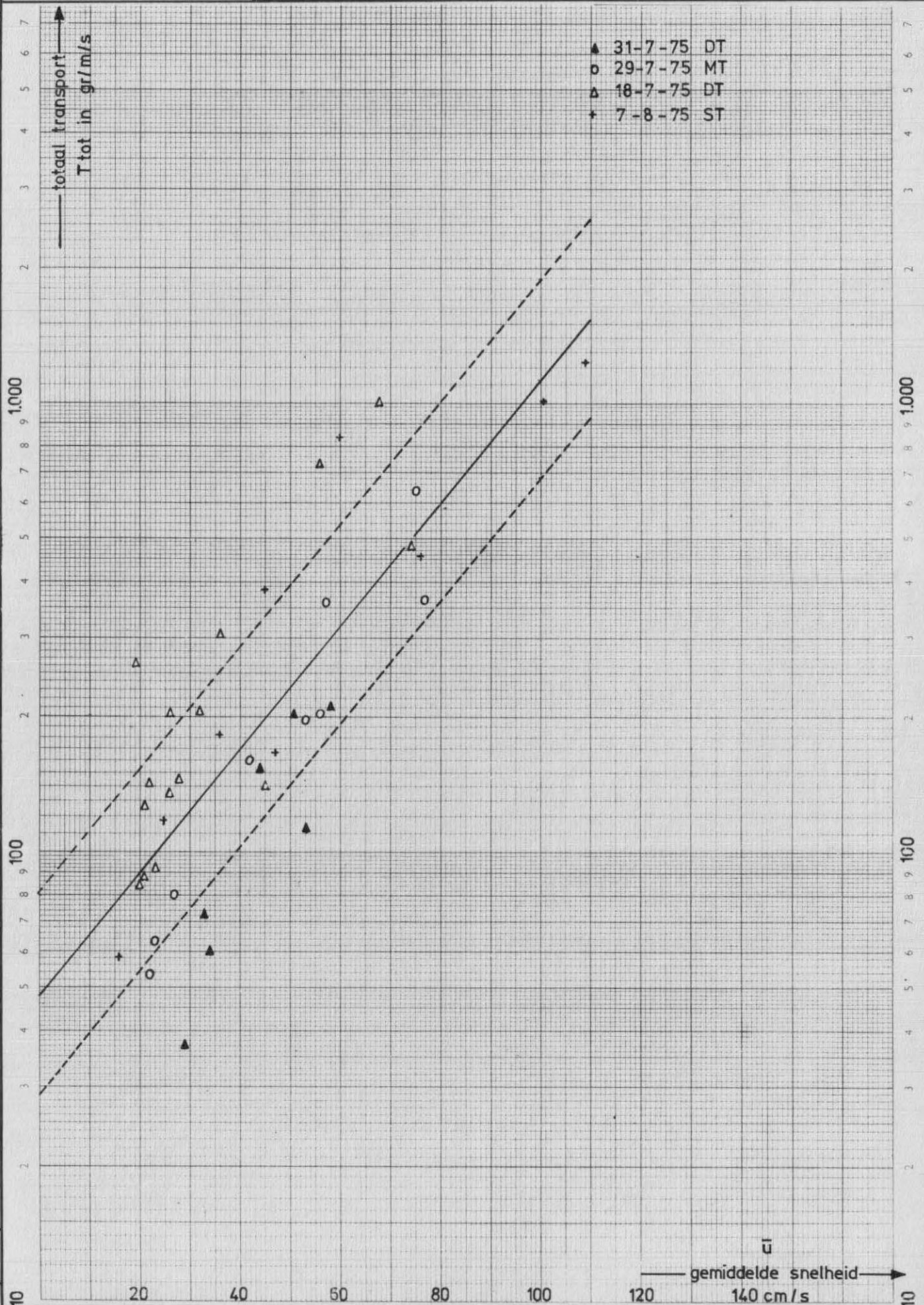


VERBAND TUSSEN TOTAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST1 BIJ EB



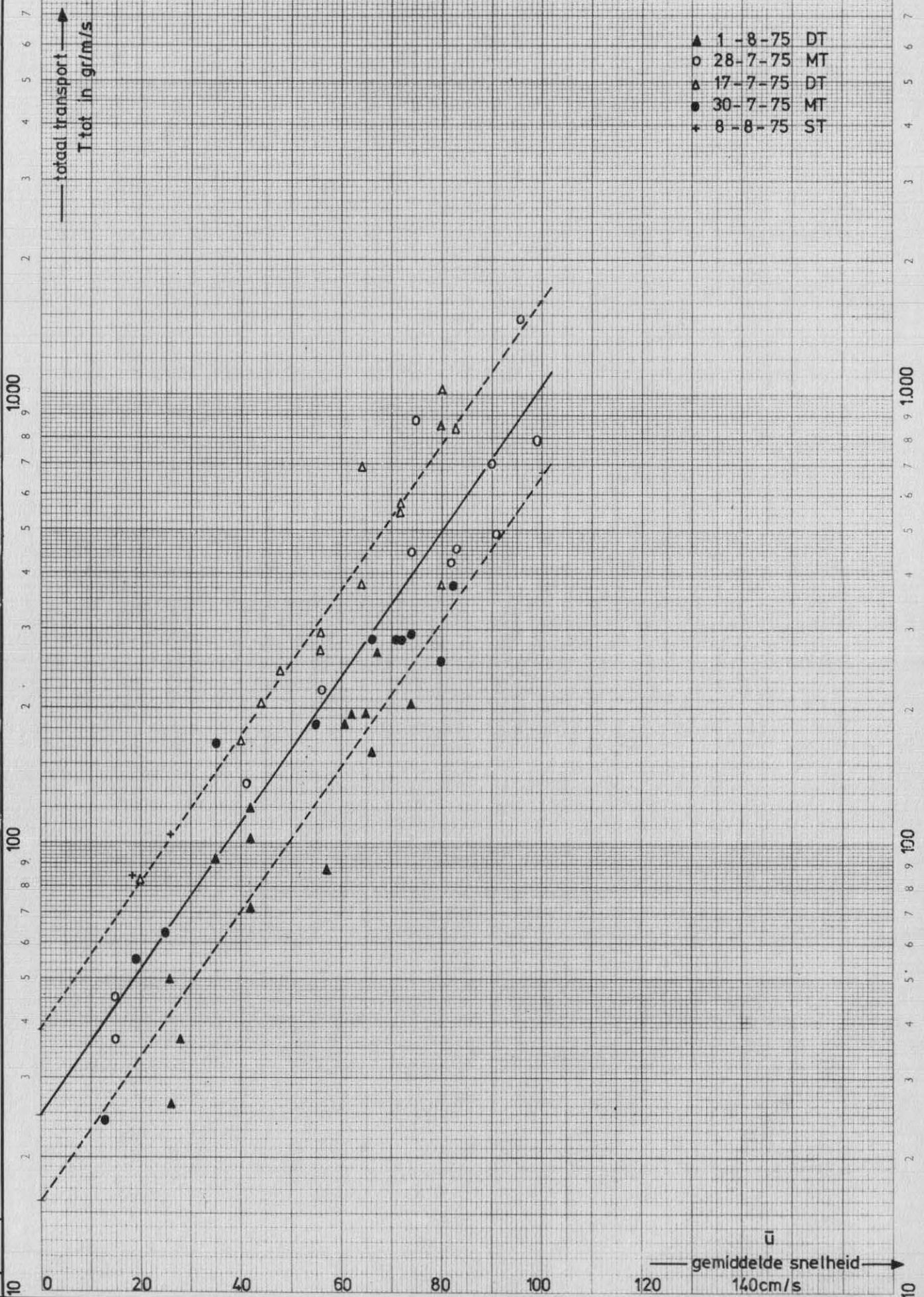


VERBAND TUSSEN TOTAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST1 BIJ VLOED



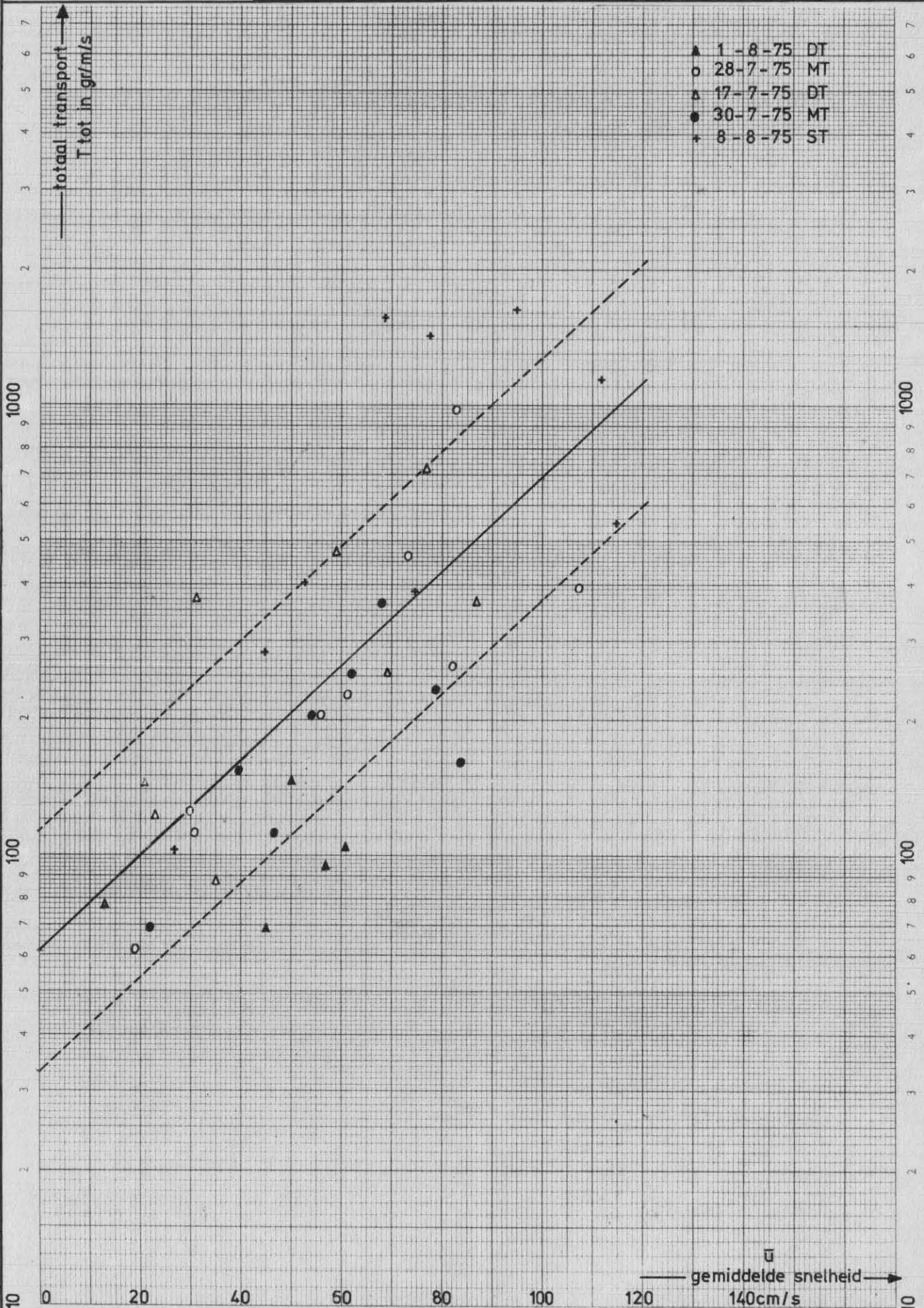


VERBAND TUSSEN TOTAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST2 BIJ EB



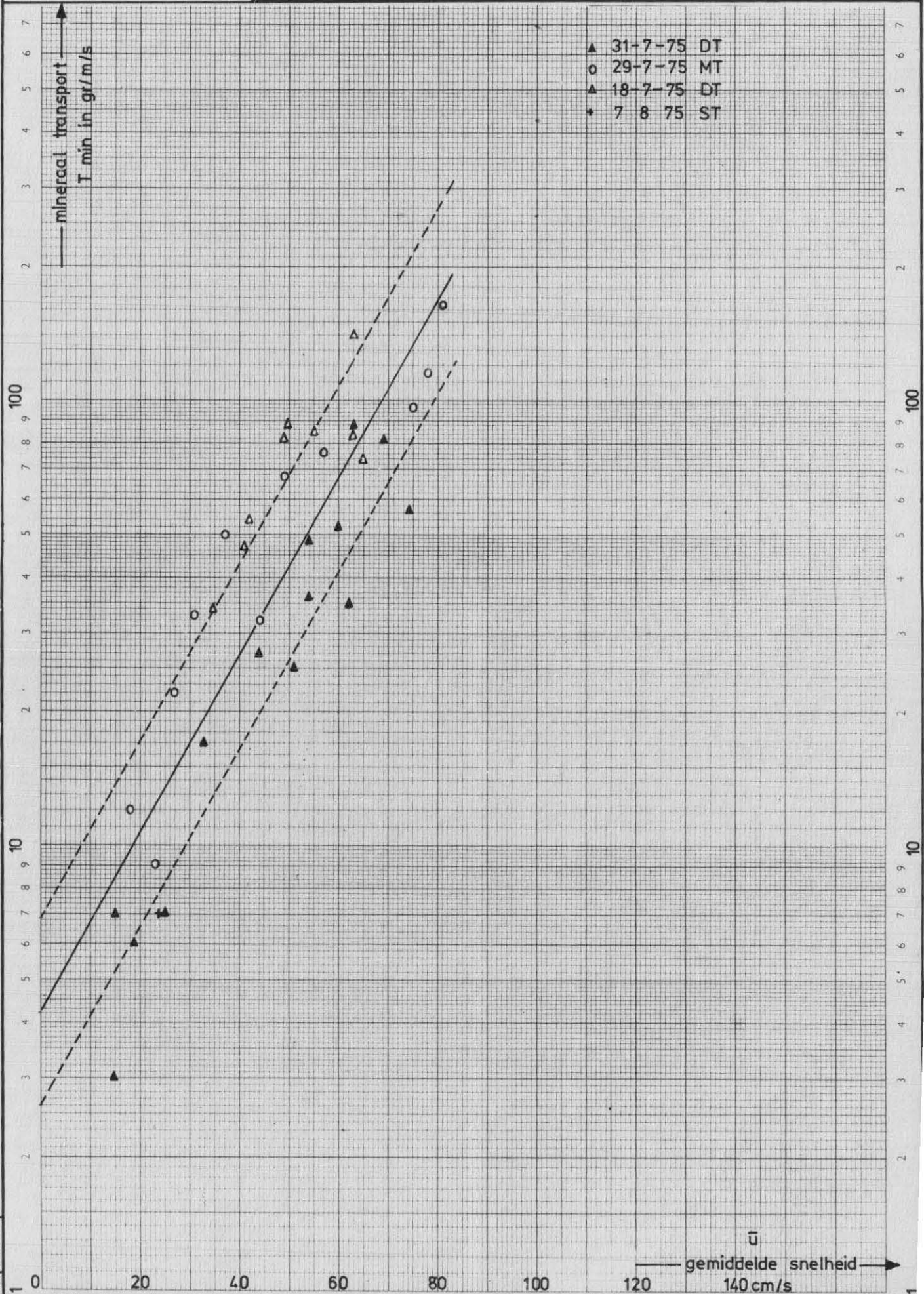


VERBAND TUSSEN TOTAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELTE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST2 BIJ VLOED



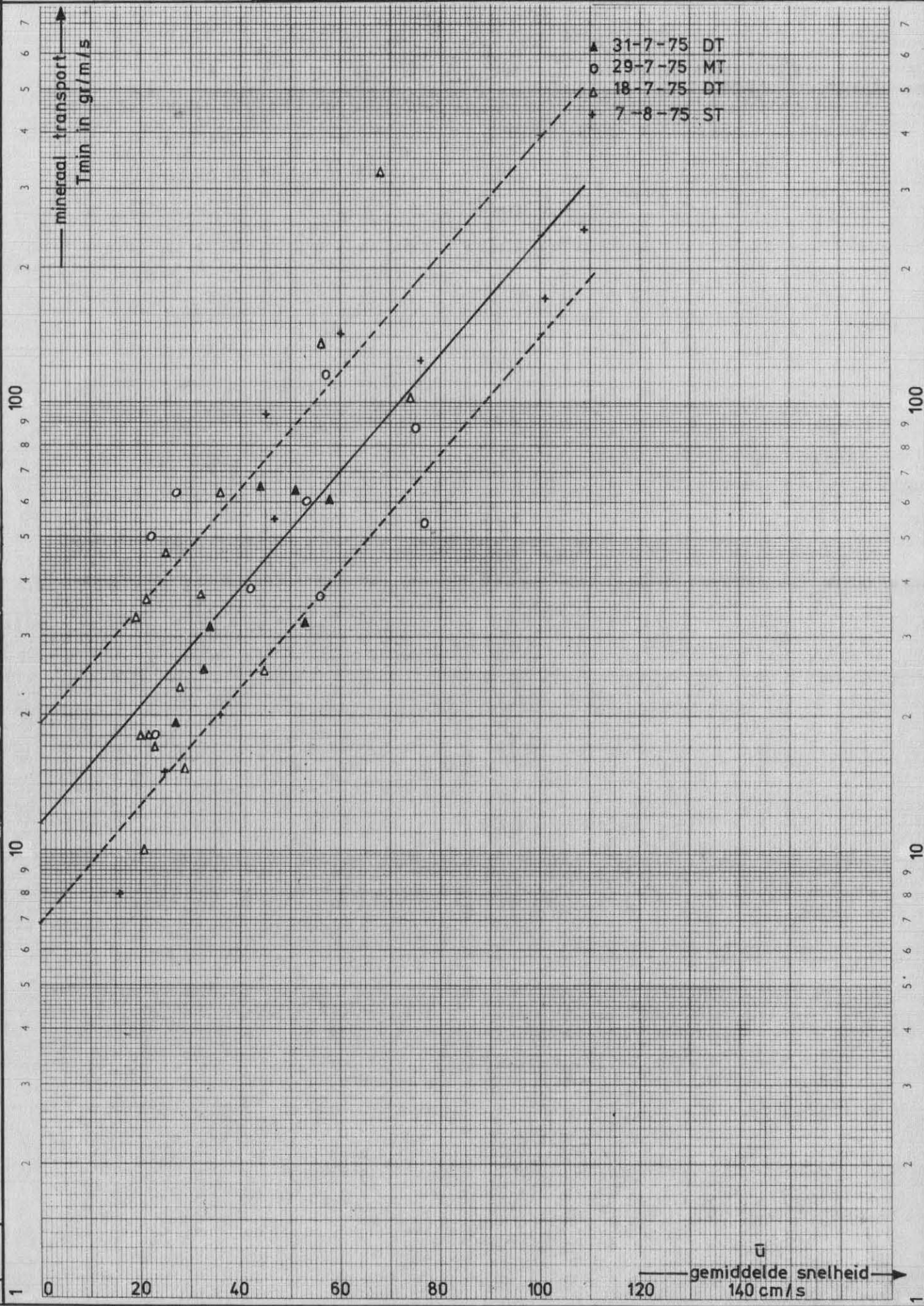


VERBAND TUSSEN MINERAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST1 BIJ EB

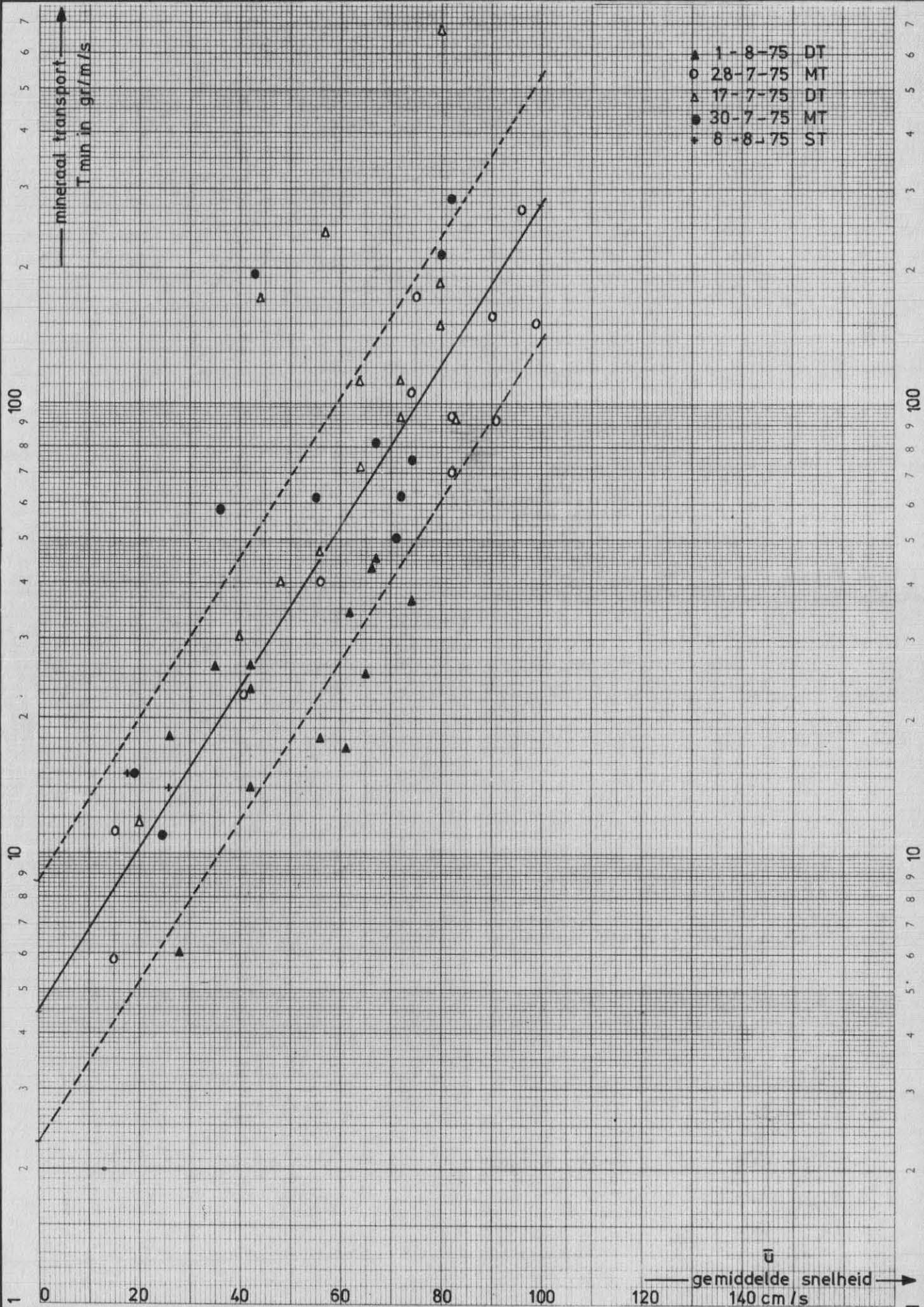




VERBAND TUSSEN MINERAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST1 BIJ VLOED

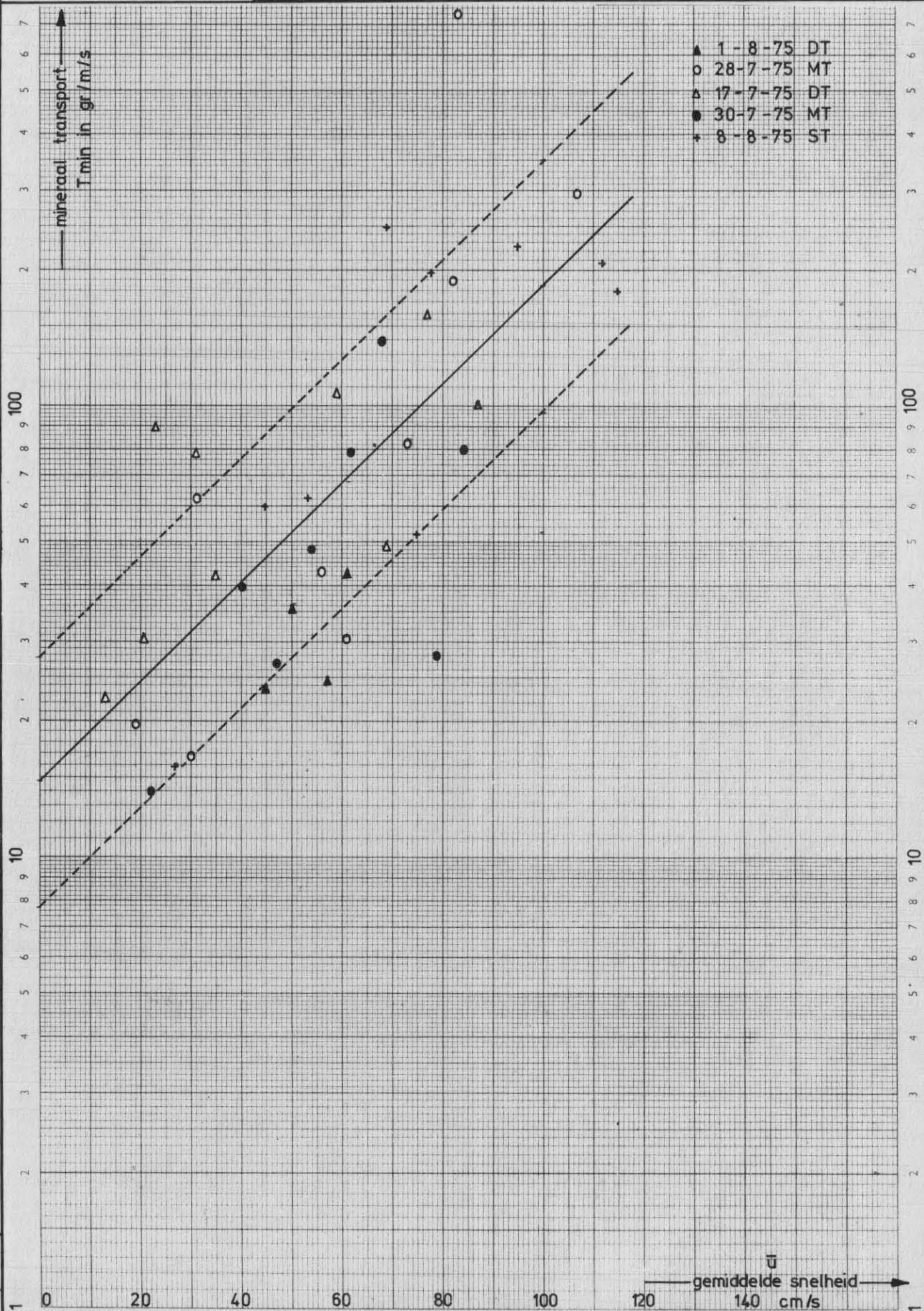


VERBAND TUSSEN MINERAAL ZWEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST2 BIJ EB



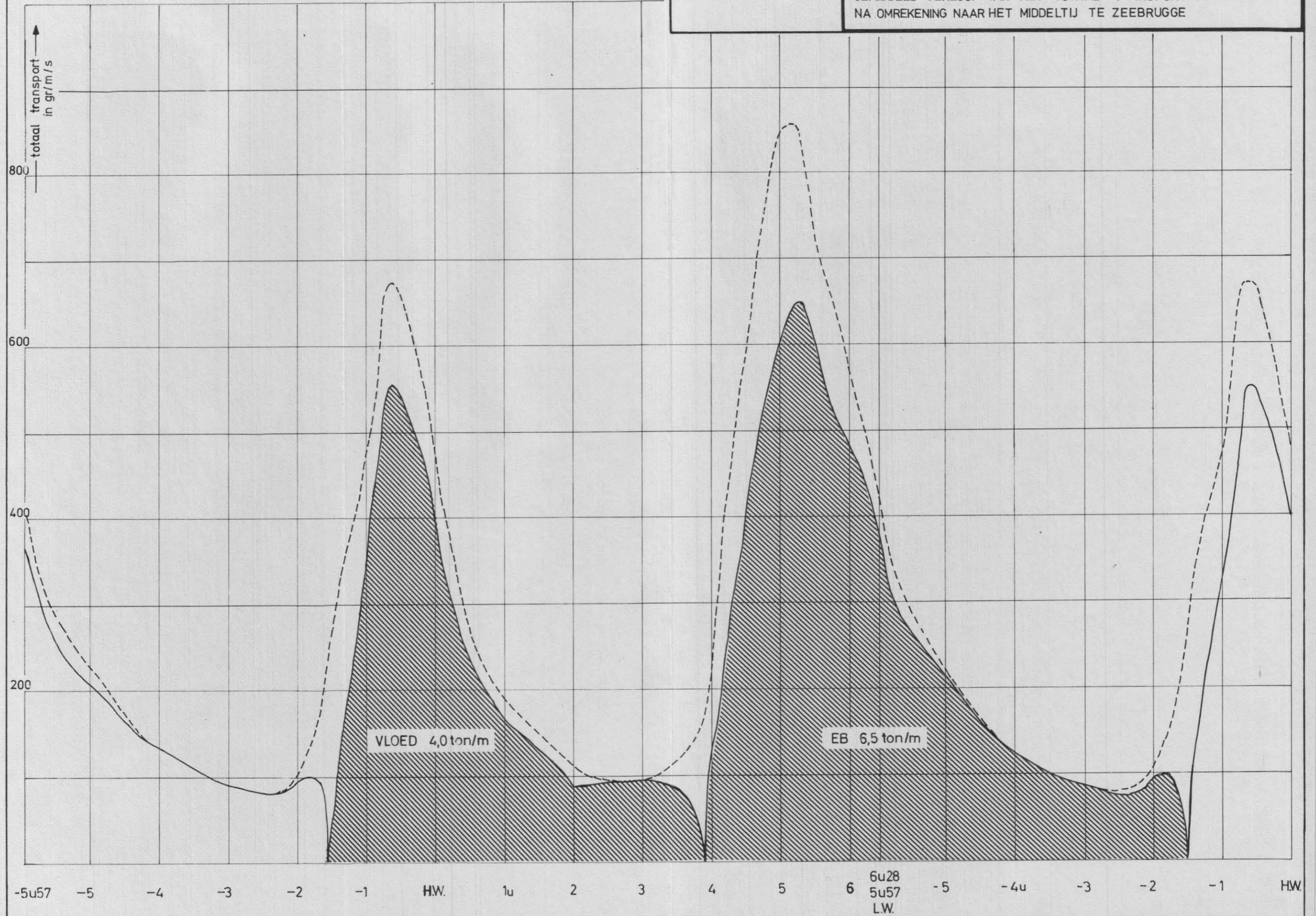


VERBAND TUSSEN MINERAAL ZWEEVEND TRANSPORT EN GEMIDDELDE  
SNELHEID VOOR MEETPUNT ST2 BIJ VLOED

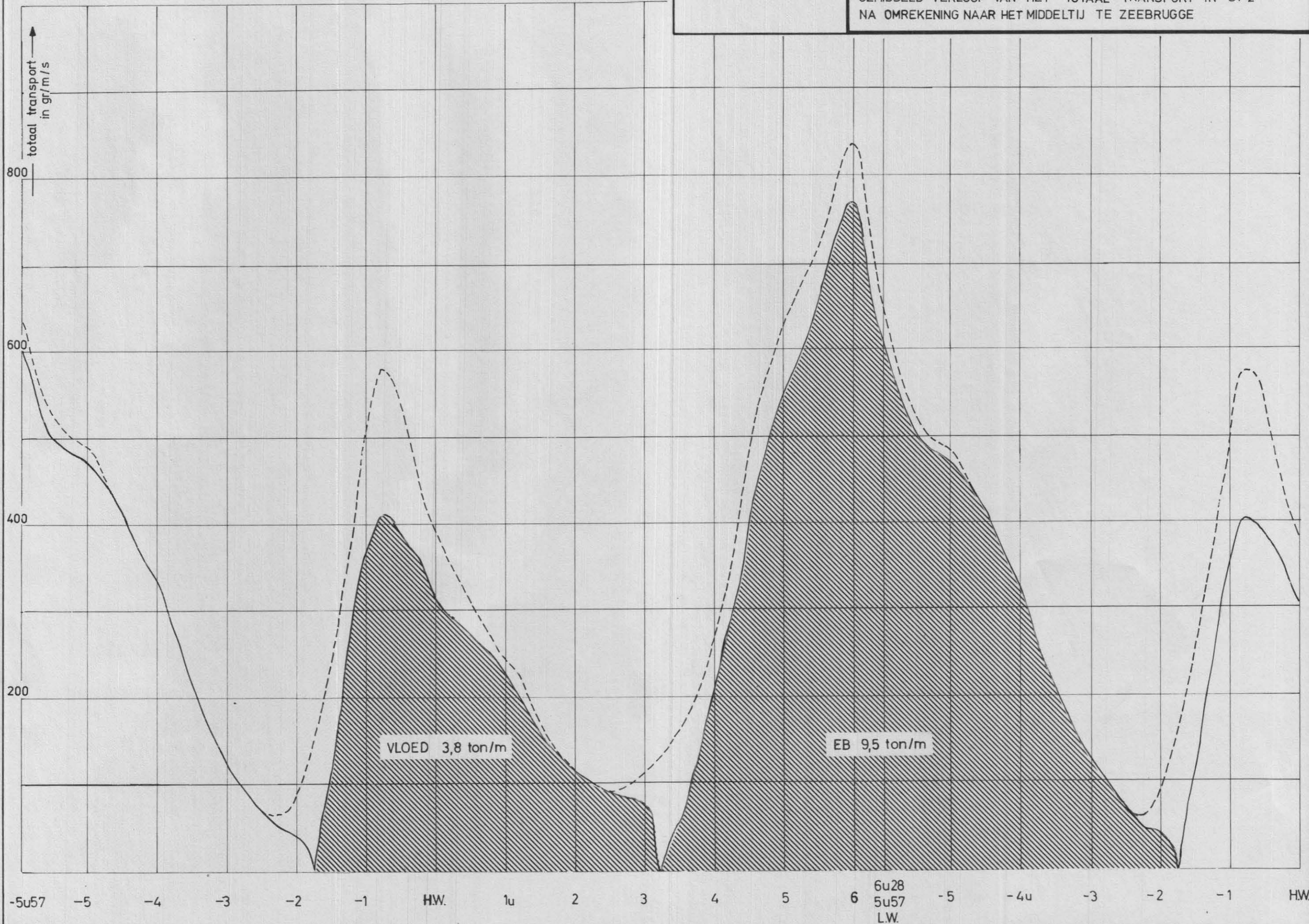




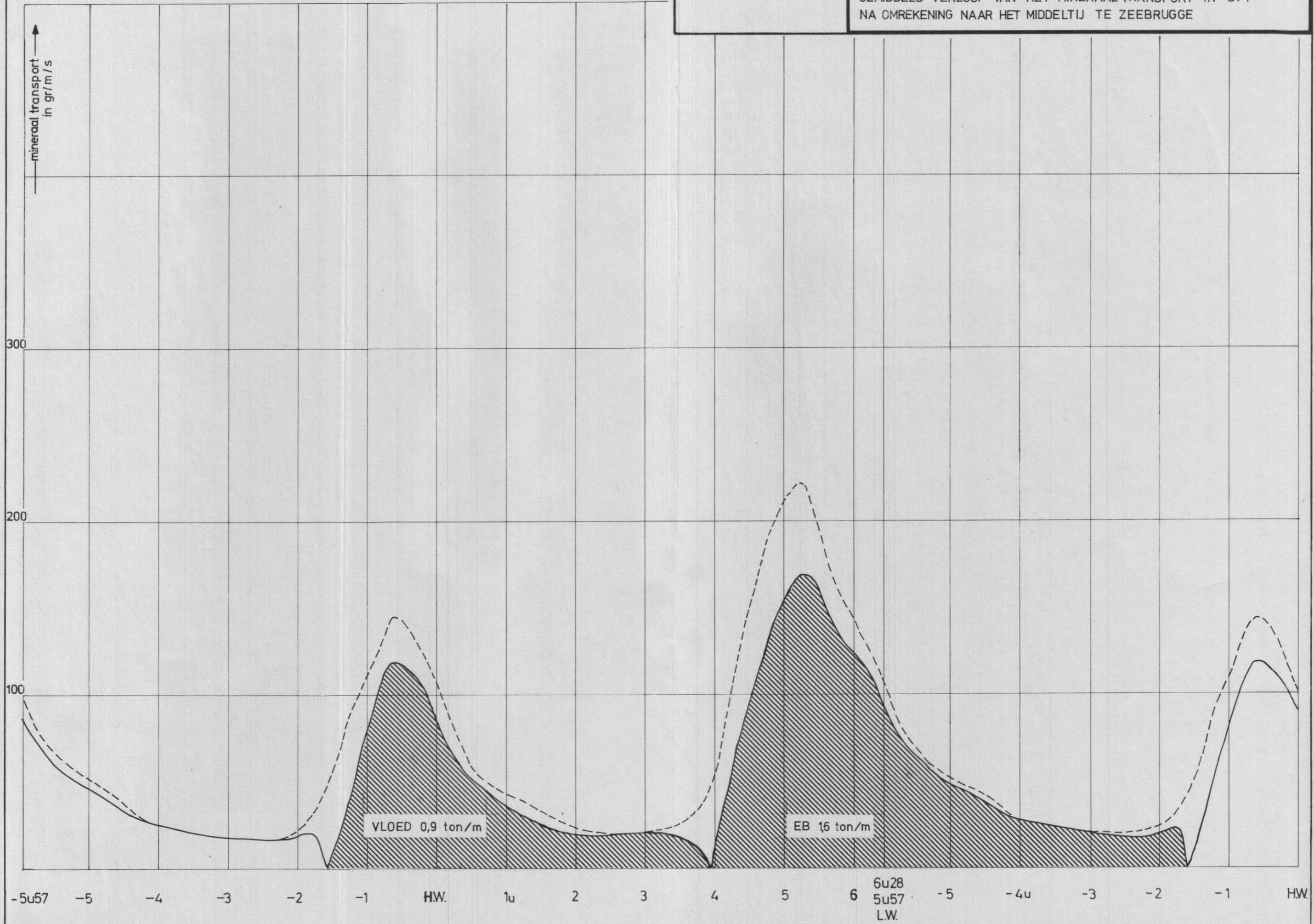
GEMIDDELD VERLOOP VAN HET TOTAAL TRANSPORT IN ST 1  
NA OMREKENING NAAR HET MIDDELTIJ TE ZEEBRUGGE



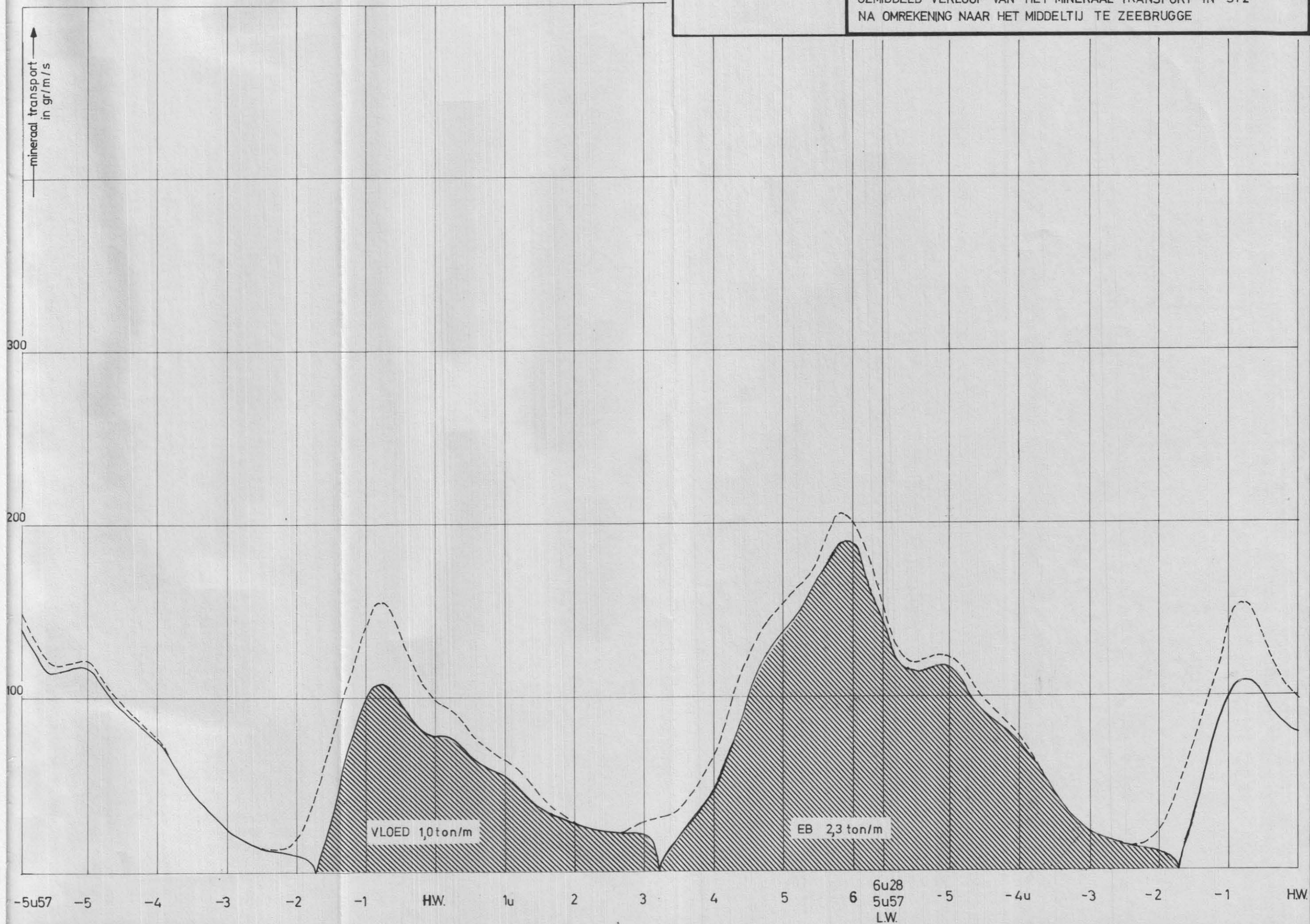
GEMIDDELD VERLOOP VAN HET TOTAAL TRANSPORT IN ST 2  
NA OMREKENING NAAR HET MIDDELTIJ TE ZEEBRUGGE



GEMIDDELD VERLOOP VAN HET MINERAAL TRANSPORT IN ST1  
NA OMREKENING NAAR HET MIDDELTIJ TE ZEEBRUGGE

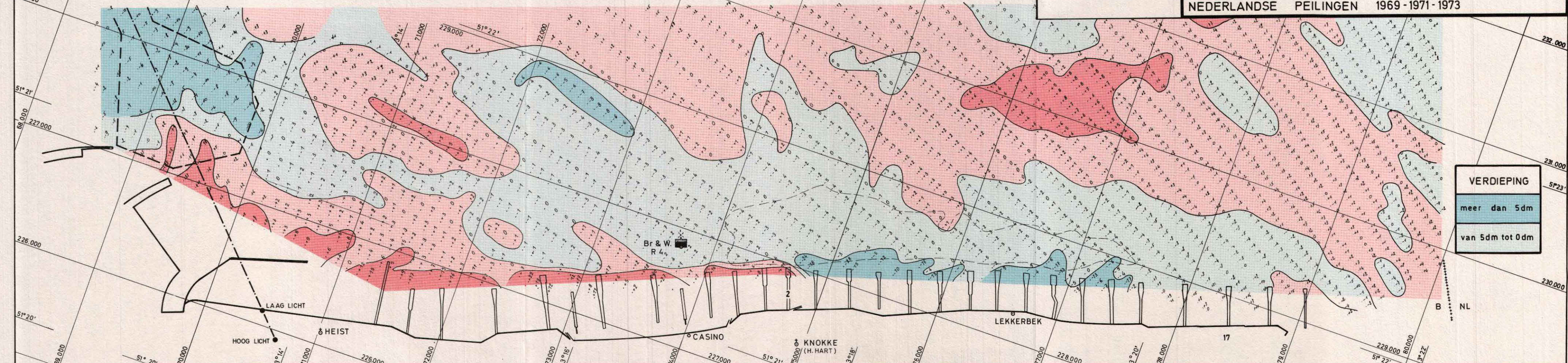


GEMIDDELD VERLOOP VAN HET MINERAAL TRANSPORT IN ST2  
NA OMREKENING NAAR HET MIDDELTIJ TE ZEEBRUGGE



VERKLARING : BODEMVERANDERINGEN 1969-1971  
-1 verdieping in 1971 t.o.v. 1969 in dm  
+3 verondieping in 1971 t.o.v. 1969 in dm

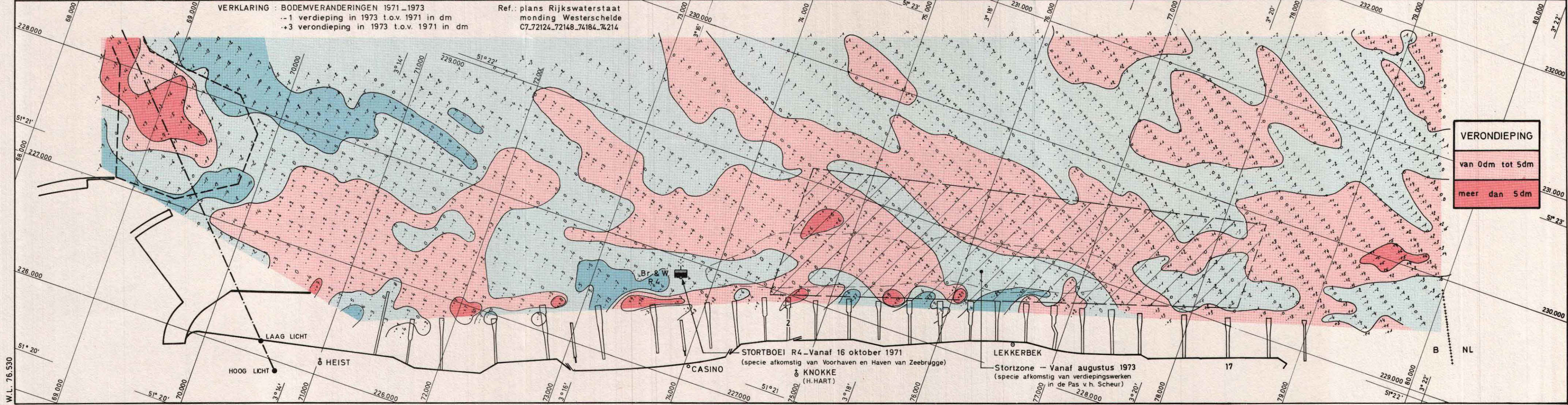
Ref.: plans Rijkswaterstaat  
mondig Westerschelde  
C7.70115\_70301-72124\_72148



**VERDIEPING**  
meer dan 5dm  
van 5dm tot 0dm

VERKLARING : BODEMVERANDERINGEN 1971-1973  
-1 verdieping in 1973 t.o.v. 1971 in dm  
+3 verondieping in 1973 t.o.v. 1971 in dm

Ref.: plans Rijkswaterstaat  
mondig Westerschelde  
C7.72124\_72148\_74184\_74214



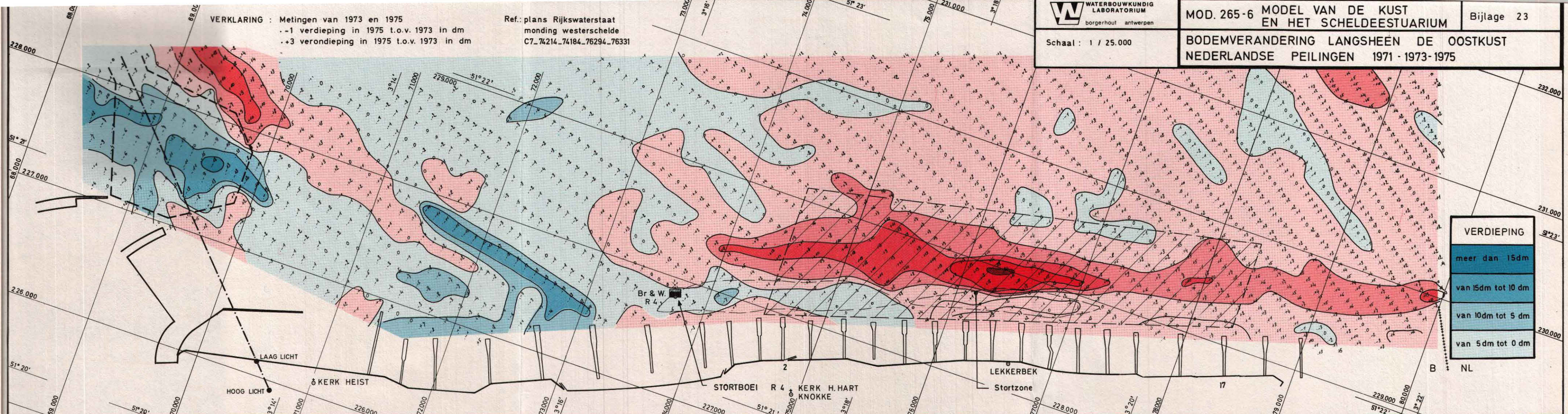
**VERONDIEPING**  
van 0dm tot 5dm  
meer dan 5dm

Schaal : 1 / 25.000

BODEMVERANDERING LANGSHEEN DE OOSTKUST  
NEDERLANDSE PEILINGEN 1971 - 1973 - 1975

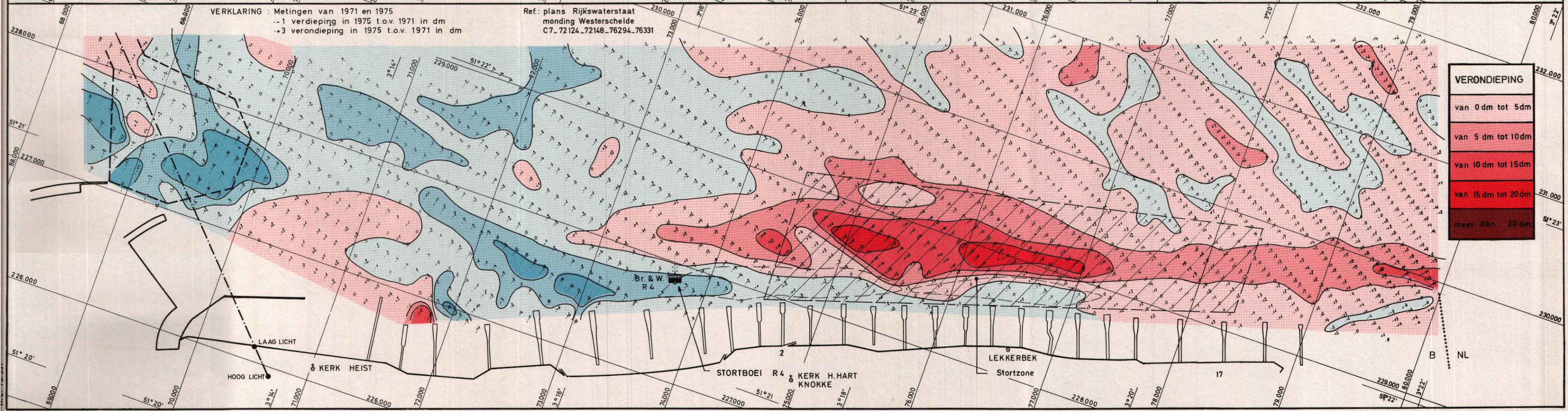
VERKLARING : Metingen van 1973 en 1975  
-1 verdieping in 1975 t.o.v. 1973 in dm  
+3 verondieping in 1975 t.o.v. 1973 in dm

Ref.: plans Rijkswaterstaat  
mondung westerschelde  
C7\_74214\_74184\_76294\_76331

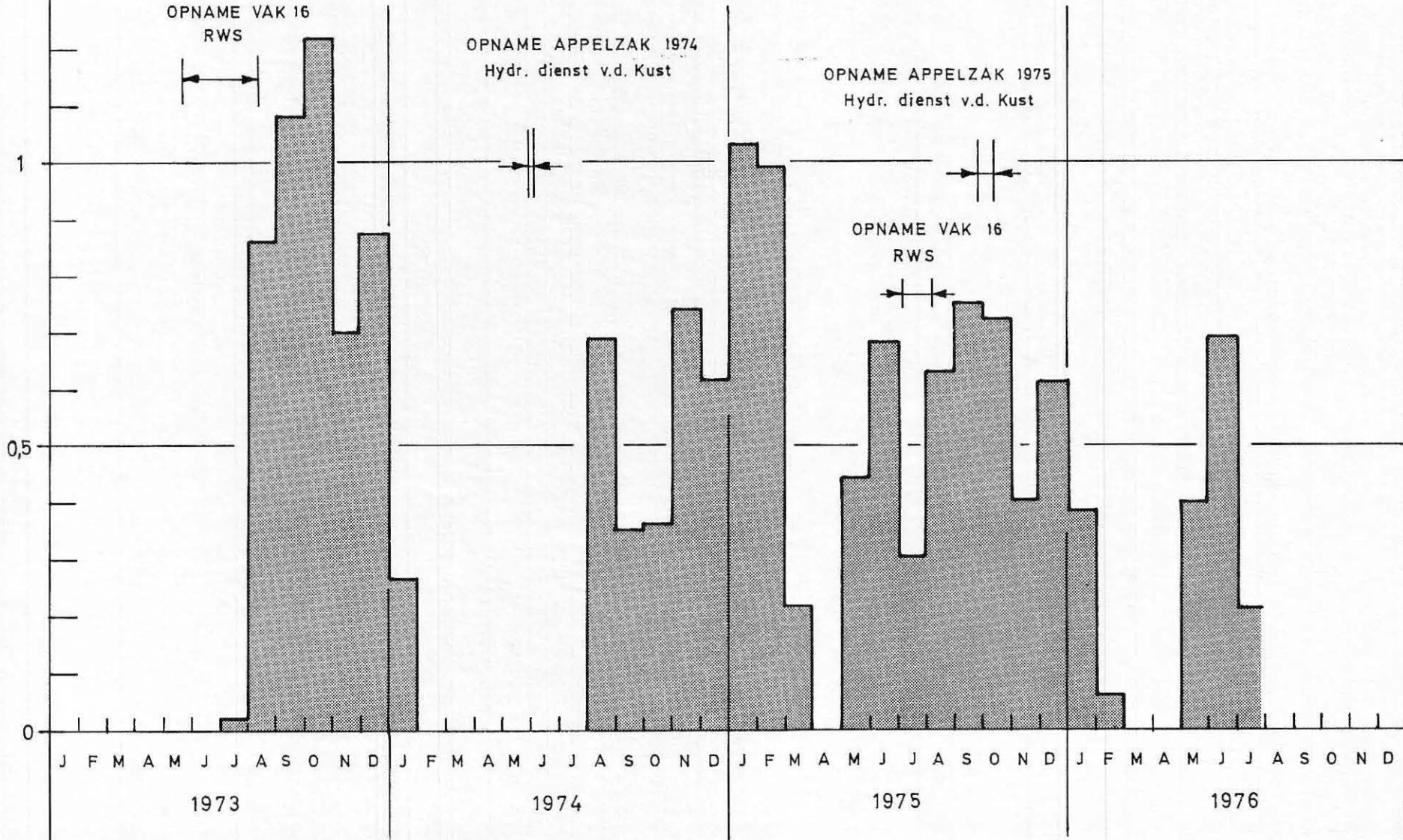


VERKLARING : Metingen van 1971 en 1975  
-1 verdieping in 1975 t.o.v. 1971 in dm  
+3 verondieping in 1975 t.o.v. 1971 in dm

Ref.: plans Rijkswaterstaat  
mondung Westerschelde  
C7\_72124\_72148\_76294\_76331



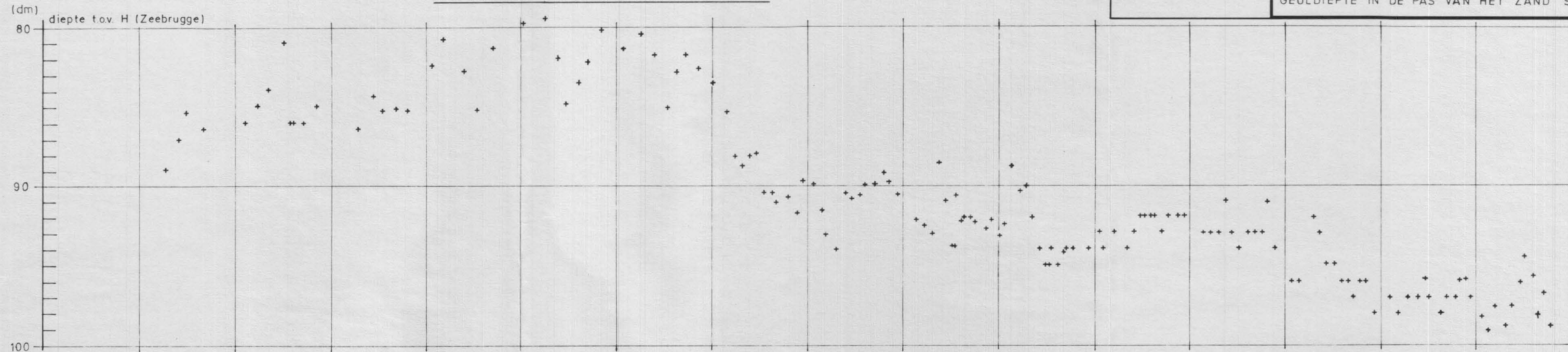
$10^6 \text{ m}^3 \text{ 2}^{\text{e}} \text{ soort}$



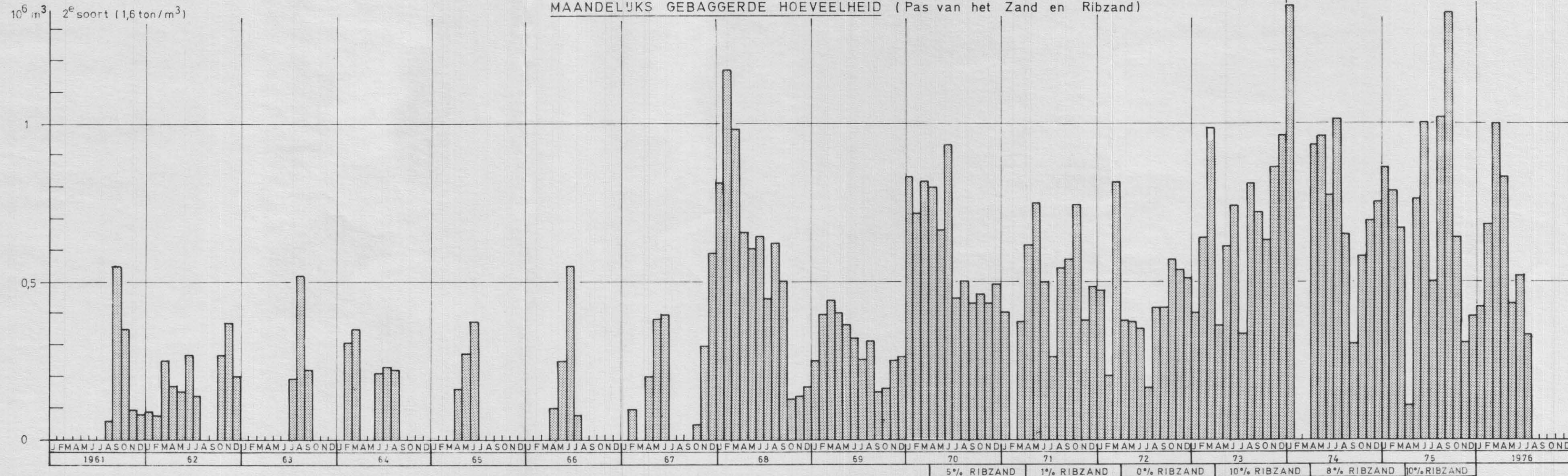
EVOLUTIE VAN DE APPELZAK  
STORTINGEN SCHEURSPECIE

GEMIDDELDE GEULDIEPTE onder G.L.L.W.S.

OVERZICHT VAN DE BAGGERWERKEN EN DE GEMIDDELDE  
GEULDIEPTE IN DE PAS VAN HET ZAND SINDS 1961



MAANDELIJKS GEBAGGERDE HOEVEELHEID (Pas van het Zand en Ribzand)



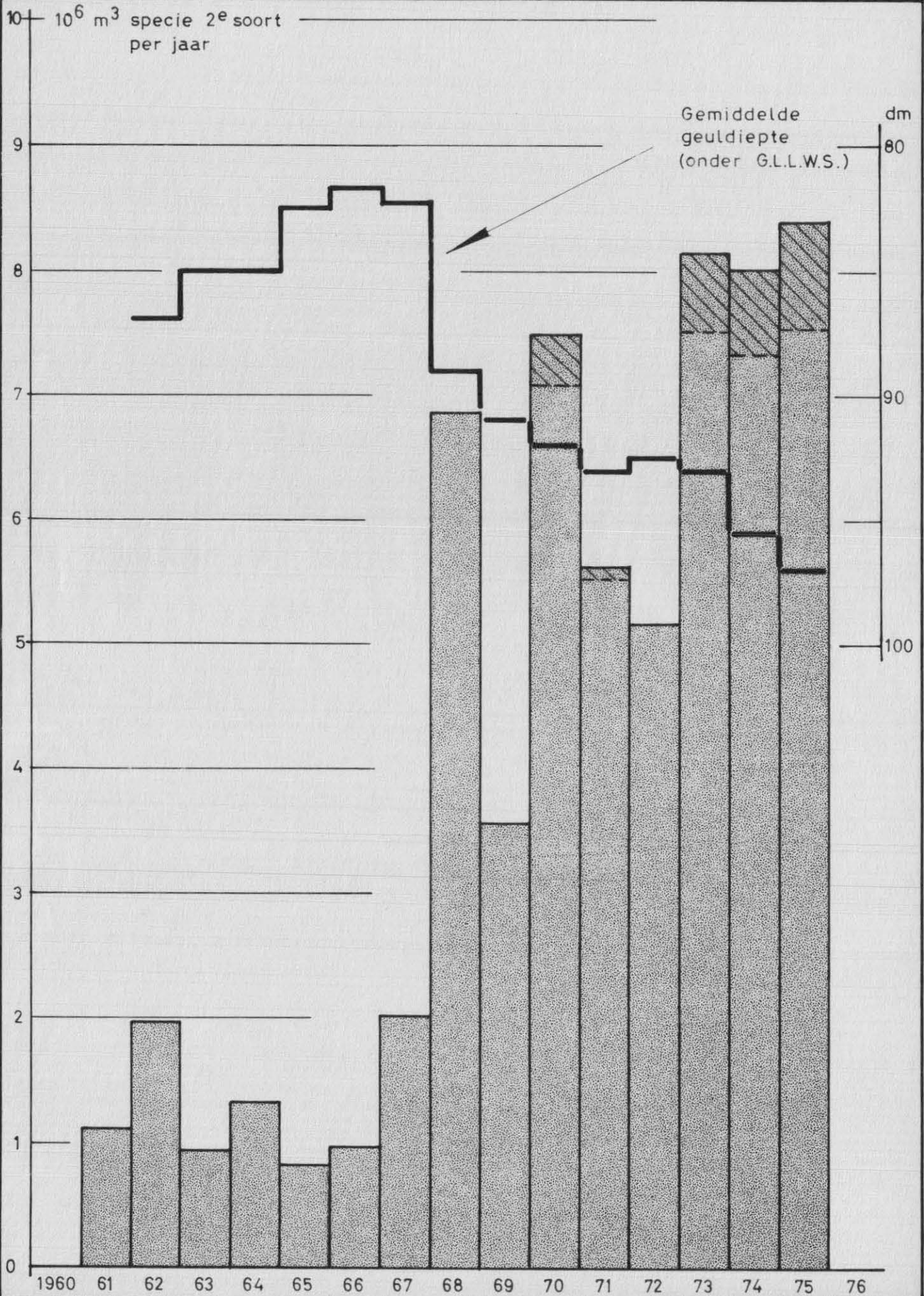
5% RIBZAND 1% RIBZAND 0% RIBZAND 10% RIBZAND 8% RIBZAND 10% RIBZAND





GEBAGGERD  
IN RIBZAND

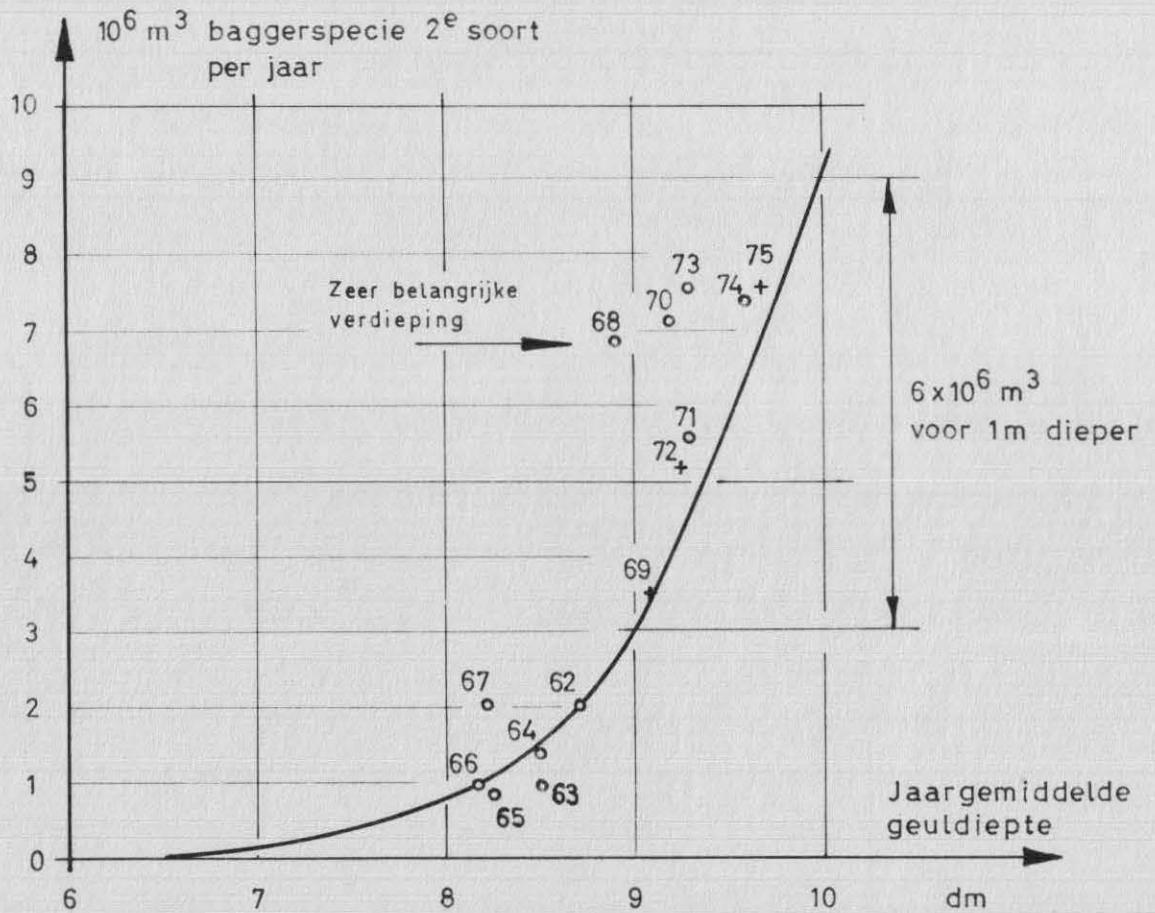
EVOLUTIE VAN DE JAARLIJKSE BAGGERWERKEN EN DE  
JAARGEMIDDELDDE GEULDIEPTE IN DE PAS VAN HET ZAND



W.L. 76.854



VERBAND TUSSEN GEMIDDELDE GEULDIEPTE EN  
BAGGERWERKEN IN DE PAS VAN HET ZAND



+ geen verdieping merkbaar in gemiddelde geulcota