

MEMO 74.7

NOVEMBER 1974

Verloft
RUKSWATERSTAAT
DIRECTIE WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING
STUDIEDIENST VLISSINGEN

EERSTE BERICHT BETREFFENDE EEN EMPIRISCHE
METHODE TER BEPALING VAN ZANDTRANSPORTEN
IN DE WESTERSCHELDE

RIJKSWATERSTAAT
DIRECTIE WATERHUISHOUDING
EN WATERBEWEGING
STUDIEDIENST VLISSINGEN

Memo 74.7

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

BIBLIOTHEEK

EERSTE BERICHT BETREFFENDE EEN EMPIRISCHE
METHODE TER BEPALING VAN ZANDTRANSPORTEN
IN DE WESTERSCHELDE.

Vlissingen, november 1974

INHOUDSOPGAVE.

par. 1	Inleiding	blz. 1
par. 2	De berekening van het zandtransport	" 1
2.1	De stroomsnelheidsverticaal als n^e - graads parabool	" 2
2.2	De zandgehalteverticaal nabij de bodem	" 3
2.3	Het maximum zandgehalte als functie van de gemiddelde stroomsnelheid	" 4
2.4	Het bodemtransport	" 5
2.5	Het totale transport	" 6
par. 3	Slotbeschouwing	" 7
	Lijst van bijlagen	" 9

Eerste bericht betreffende een empirische methode ter bepaling van zandtransporten in de Westerschelde.

1. INLEIDING.

Ten behoeve van de voorlopige schatting der aanzanding van het toekomstig noordelijk bekken der Westerschelde, na voltooiing van de bochtafsnijding bij Bath (nota 72.10 van de Studiedienst Vlissingen) is een empirisch verband opgesteld tussen de gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal, de waterdiepte en het zandtransport.

Deze studie is in 1971 door ir. M. Meulenberg aangevangen, teneinde de tot die tijd aanwezige leemte in de kennis betreffende zandtransportverschijnselen in de Westerschelde op te vullen. De nadruk is hierbij vooral gelegd op het verkrijgen van enig kwantitatief inzicht.

Voor het opstellen van het verband is gebruik gemaakt van de materiaaltransportmetingen die in 1970 door de Studiedienst Vlissingen zijn uitgevoerd in de meetpunten 1 en 2 (achtereenvolgens 36 en 40 verticaalmetingen ter plaatse van het geplande tunneltracé van de vaste oeververbinding) en in meetpunt 3 in de Everingen (40 verticaalmetingen ter plaatse van de P.Z.E.M. kabelsleuven). De situatie der meetpunten is weergegeven op bijlage 1. De wijze van uitvoering en verwerking van deze metingen is reeds beschreven in de eerdergenoemde nota 72.10, onder paragraaf 2, waarnaar korthedshalve wordt verwezen.

2. DE BEREKENING VAN HET ZANDTRANSPORT.

Het totale zandtransport over een hoogte van h kan beschreven worden door:

$$S = \int_0^h c_z \cdot v_z \cdot dz \quad (I)$$

Hierin zijn c_z en v_z het zandgehalte, respectievelijk de stroomsnelheid op hoogte z boven de bodem. Aan de hand van de simultaan gemeten zandgehalte- en snelheidsverticalen zou men per meetpunt

voor iedere gemeten waterdiepte het "werkelijke" totale zandtransport (volgens vorengenoemde formule) kunnen berekenen. De aldus gevonden transporten kunnen vervolgens gerelateerd worden aan de gemiddelde snelheid in de verticaal. Deze aanpak vergt echter zeer veel tijd en mankracht, terwijl dan bovendien -i.v.m. de onvermijdelijke spreiding in de meetresultaten- een groot aantal en geografisch goed verspreide metingen ter beschikking moeten staan. Gelet op het in 1971 nog beperkte aantal metingen is destijds onder druk der omstandigheden gekozen voor de hiernavolgende sterk geschematiseerde werkwijze.

- a De snelheidsverticaal wordt benaderd door een n^e -graads parabool (par. 2.1);
- b Het zandtransport wordt gesplitst gedacht in bodemtransport en in zwevend transport; de zandgehalte-verticaal nabij de bodem wordt benaderd door een m^e -graads parabool (par. 2.2);
- c Het maximum zandgehalte in de verticaal wordt gerelateerd aan de gemiddelde stroomsnelheid (par. 2.3);
- d Met de onder a t/m c gevonden verbanden kan vervolgens het bodemtransport berekend worden (par. 2.4);
- e Uit een beperkt aantal zandgehalte- en snelheidsverticalen wordt m.b.v. vergelijking I de verhouding bepaald tussen het totale transport en het bodemtransport (par. 2.5).

Per meetpunt is nu de relatie vastgelegd tussen de gemiddelde snelheid in de verticaal en het totale zandtransport. Deze relatie is slechts geldig voor de gemiddelde waterdiepte t.p.v. het meetpunt. De invloed van het getij op de waterdiepte is niet in rekening gebracht.

2.1 DE STROOMSNELHEIDSVERTICAAL ALS N^e -GRAADS PARABOOL.

De stroomsnelheidsverticaal kan goed worden benaderd door een n^e -graads parabool volgens:

$$v_z = v_1 \sqrt[n]{z}$$

Hieruit kan worden afgeleid:

$$v_z = \frac{n+1}{n} \cdot \sqrt[n]{\frac{z}{h}} \cdot v \quad (\text{II})$$

In deze formules zijn:

v_z = stroomsnelheid op z meter boven de bodem;

v_1 = stroomsnelheid op 1 meter boven de bodem;

h = waterdiepte;

v = gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal.

Voor een aantal stroomverticalen (nl. de verticalen gemeten bij de hoogste stroomsnelheden en tijdens waterstanden rond N.A.P.) is de waarde van de coëfficiënt n (formule II) bepaald. Tevens zijn voor deze verticalen de volgens de parabool gevonden snelheden gecorreleerd aan de werkelijk gemeten snelheden. Bijlage 2 geeft van een aantal verticalen van de meetpunten 1 en 2 de waarden van n met de correlatiecoëfficiënten. Bij een goede correlatie blijkt n in het algemeen waarden te bereiken tussen 4 en 8.

2.2 DE ZANDGEHALTEVERTICAAL NABIJ DE BODEM.

Om praktische redenen is onderscheid gemaakt tussen het bodemtransport (het transport in de zandrijke laag ter dikte van a meter boven de bodem) en het zwevend transport (het transport in de laag tussen de oppervlakte en a meter boven de bodem). De zandgehalteverticaal t.p.v. de beschouwde meetpunten kan voor transporten van enige betekenis in de laag ter dikte van a meter boven de bodem goed benaderd worden door de volgende parabool:

$$c_z = c_{\max} \cdot \frac{a^m - z^m}{a^m - (0,50)^m} \quad (\text{III})$$

Hierin is:

c_z = Het zandgehalte op z meter boven de bodem;

$c_{\max}$ = Het maximum zandgehalte in de verticaal.

Een en ander is op bijlage 3 schematisch weergegeven.

In deze formule is verondersteld dat het maximum zandgehalte gevonden wordt op een hoogte van 0,5 m bovenge bodem, hetgeen bij nagenoeg alle metingen het geval bleek te zijn. Voor de waarde van a (die blijkens de metingen ligt tussen 1 en 2 meter) is een praktische waarde van 1,65 meter aangehouden. Er kan nu altijd een zodanige waarde voor m worden gekozen, dat het "werkelijke" bodemtransport bepaald met behulp van formule I gelijk is aan het bodemtransport volgens formule III. Voor transporten van enige betekenis zal de waarde van m 2 à 3 bedragen (zie bijlage 3).

2.3 HET MAXIMUM ZANDGEHALTE ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELDE STROOMSNELHEID.

Voor gemiddelde stroomsnelheden groter dan 0,5 m/s kan het maximum zandgehalte in de verticaal $c_{\max}$ (in mg/l) weergegeven worden als functie van de gemiddelde stroomsnelheid $\bar{v}$ (in cm/s) volgens:

$$c_{\max} = p \cdot \bar{v}^q \quad (\text{IX})$$

ofwel:

$$\log c_{\max} = \log p + q \cdot \log \bar{v}$$

De regressielijnen voor zowel vloed als eb en voor vloed en eb van de meetpunten 1 en 2 staan achtereenvolgens op de bijlagen 4 en 5. De correlatiecoëfficiënten en de waarden voor log p en q zijn in onderstaande tabel vermeld.

Tabel 1. Verband tussen $c_{\max}$ (in mg/l) en $\bar{v}$ (in cm/s).

meetpunt	stromingssituatie	log p	q	correlatiecoëfficiënt
1	eb en vloed	- 4,091	3,183	0,761
	vloed	- 2,181	2,201	0,657
	eb	- 8,179	5,242	0,887
2	eb en vloed	- 5,841	4,144	0,761
	vloed	- 5,688	4,047	0,827
	eb	- 5,640	4,081	0,694

9 Voor meetpunt 2 blijken de regressielijnen voor vloed en voor eb nagenoeg samen te vallen; voor meetpunt 1 is dat niet het geval maar de bijbehorende correlatiecoëfficiënten zijn niet zo hoog dat het maken van onderscheid tussen vloed en eb hier noodzakelijk is.

2.4 HET BODEMTRANSPORT.

Het bodemtransport S_B kan met behulp van de formules II, III en IV als volgt worden geschreven:

$$S_B = \int_0^a c_z \cdot v_z \cdot dz = \int_0^a p \bar{v}^q \times \frac{a^m - z^m}{a^m - (0,50)^m} \times \frac{n+1}{n} \sqrt{\frac{z}{h}} \cdot \bar{v} \cdot dz$$

$$S_B = \left(2 - \frac{1}{1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{nm}} \right) \cdot \frac{a^{1+\frac{1}{n}}}{1 + \left(\frac{0,50}{a}\right)^m} \cdot \sqrt{\frac{1}{h}} \times p \bar{v}^{q+1}$$

of eenvoudshalve:

$$S_B = D \times p \bar{v}^{q+1}$$

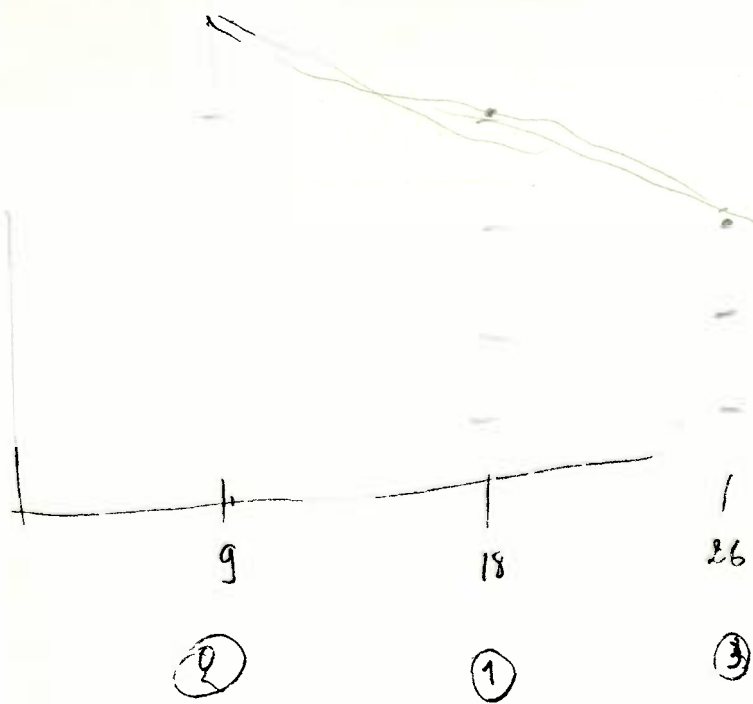
De waarde van de term D blijkt bij variatie van m, n en h slechts in geringe mate te veranderen, zoals uit de in de tabel 2 vermelde waarden van D blijkt.

Tabel 2. D als functie van n, m en h.

n	m = 2			m = 3		
	h=10	h=17,5	h=25	h=10	h=17,5	h=25
5	1,45	1,30	1,21	1,44	1,29	1,20
6	1,53	1,39	1,31	1,52	1,39	1,30
7	1,59	1,47	1,40	1,58	1,46	1,39

Uitgaande van een 5^e à 7^e-graads parabool voor de snelheidsverticaal en een gemiddelde waterdiepte van 15 à 20 m is voor de coëfficiënt D een waarde gekozen van 1,46. Men komt dan voor de onderhavige meetpunten 1 t/m 3 tot de onderstaande betrekkingen (met $\bar{v}$ in m/s) voor het bodemtransport S_B :

*Welke waarde van
p en q*



$$\begin{aligned} \text{mp. 1 : } S_B &= 255 \cdot \bar{v}^{4,2} \text{ gr/m'.s ;} \\ \text{mp. 2 : } S_B &= 430 \cdot \bar{v}^{5,1} \text{ " ;} \\ \text{mp. 3 : } S_B &= 142 \cdot \bar{v}^{2,9} \text{ " .} \end{aligned}$$

$$p = 174$$

2.5 HET TOTALE TRANSPORT.

Het totale transport kan berekend worden door gebruik te maken van de voor ieder meetpunt vrij constante verhouding tussen het bodemtransport (S_B) en het totale transport (S_T). Deze verhouding is bepaald door van één meetdag van de gemeten verticalen waarbij transporten van enige omvang optraden, zowel het transport in de onderste laag ter dikte van 1,65 meter, als het totale transport zo nauwkeurig mogelijk te bepalen. Een voorbeeld van het verband tussen S_B en S_T wordt gegeven op bijlage 6; de voor alle meetpunten vastgestelde waarden voor het quotiënt S_T/S_B zijn vermeld in tabel 3.

In deze verzameltabel zijn voorts de uiteindelijk verkregen formules voor het totale transport S_T vermeld. Deze zijn grafisch weergegeven op bijlage 7. Voor de herleiding van de transporten van gr/m'.s naar $\text{m}^3/\text{m'.uur}$ is voor het soortelijk gewicht van zand $2,65 \text{ gr/cm}^3$ aangehouden bij de holtepercentage van 40%.

Tabel 3. Transportformules voor de meetpunten 1, 2 en 3.

meetpunt	gem. waterdiepte (in meters)	bodemtransport (S_B in gr/m'.s $\bar{v}$ in m/s)	$\frac{S_T}{S_B}$	totaal transport (S_T in gr/m'.s $\bar{v}$ in m/s)
1	18,6	$S_B = 255 \cdot \bar{v}^{4,2}$	2,75	$S_T = 700 \cdot \bar{v}^{4,2}$
2	9,2	$S_B = 430 \cdot \bar{v}^{5,1}$	1,75	$S_T = 750 \cdot \bar{v}^{5,1}$
3	26,0	$S_B = 142 \cdot \bar{v}^{2,9}$	4,38	$S_T = 620 \cdot \bar{v}^{2,9}$

Met behulp van de voor de 3 meetpunten gevonden transportformules is tenslotte bijlage 8 opgesteld, die het verband geeft tussen het zandtransport (in nota 72.10 verder gedefinieerd als bemonsteringstransport) en waterdiepte voor een reeks van waarden

voor de gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal. Deze bijlage is geheel overeenkomstig met bijlage 2 van nota 72.10 van de Studiedienst Vlissingen.

3. SLOTBESCHOUWING.

In 1970 is bij de Studiedienst Vlissingen een onderzoek begonnen naar het zandtransport in de stroomgeulen van de Westerschelde. Dit onderzoek, dat in 1971 door ir. M. Meulenberg is verricht, is gebaseerd op in 1970 uitgevoerde materiaaltransportmetingen in een drietal meetpunten. Teneinde een aantal zeer dringende vraagstukken betreffende de aanzanding van zinkersleuven, van de tunnelsleuf van de toekomstige vaste oeververbinding en van het gebied ten noorden van de toekomstige bocht-afsnijding bij Bath te kunnen beantwoorden, is m.b.v. de destijds beschikbare meetresultaten een empirisch verband opgesteld tussen het zandtransport, de gemiddelde snelheid in de verticaal en de waterdiepte. In dit rapport is een verantwoording gegeven van de wijze waarop dit verband, dat in nota 72.10 van de Studiedienst Vlissingen als bijlage 2 is opgenomen, tot stand is gekomen.

Om een zo complexe materie als het zandtransport in een getijrivier op een eenvoudige, bruikbare wijze te beschrijven was het aantal beschikbare natuurgegevens -gelet op de in de meetresultaten voorkomende spreiding- te beperkt voor een diepgaand onderzoek. De beschikbare tijd noodzaakte voorts tot een sterk geschematiseerde aanpak van het probleem, terwijl tevens een aantal aannamen gedaan moesten worden, die niet alle op hun juistheid konden worden getoetst. Het resultaat van deze studie (bijlage 8) draagt dan ook in de eerste plaats een oriënterend karakter.

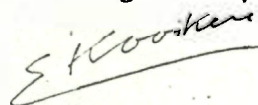
De gevonden zandtransportberekeningsmethode is vervolgens "geijkt" m.b.v. in de natuur opgetreden aanzandingen in het oostelijk deel der Westerschelde. Over de hierin afgeleide correctiefactor $\alpha = 1/3$ en de oorzaak van het aangetoonde verschil tussen het werkelijk transport en het zandtransport

- bepaald -

bepaald met behulp van bijlage 8, is uitvoerig gerapporteerd in paragraaf 4 van nota 72.10 van de Studiedienst Vlissingen.

Sinds 1972 is een uitgebreid programma opgesteld voor materiaaltransportmetingen in de Westerschelde waarbij met een verbeterde bemonsteringsmethode wordt gewerkt. Hierbij wordt nl. de wateruitwisseling na het vullen van de monsterfles door middel van een kurken balletje voorkomen. De eerste resultaten van deze nieuwe metingen, waarvan de verwerking uitvoeriger en daarmee ook tijdrovender zal zijn, kunnen in de loop van 1975 verwacht worden.

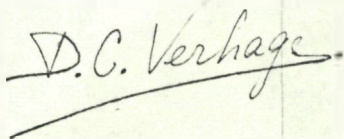
de ingenieur,



(ir. E.P. Kooiker)

Gezien:

Het wnd. Hoofd van de Studiedienst
Vlissingen,

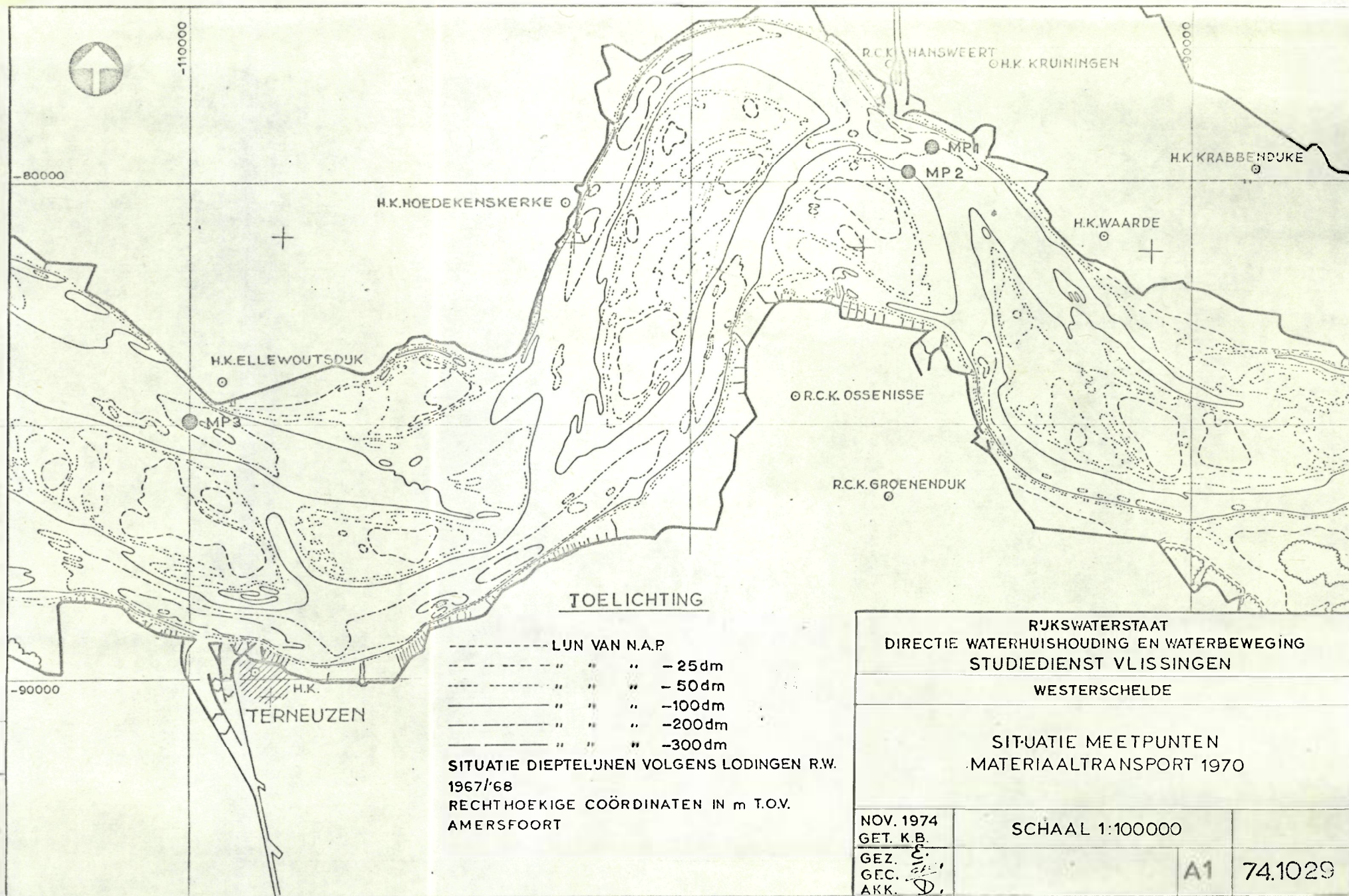


(ir. D.C. Verhage)

Vlissingen, november 1974

LIJST VAN BIJLAGEN.

Bijlage nr.	Omschrijving	For- maat	Stamboek nr.
1	Situatie meetpunten materiaaltrans- port 1970	A1	74.1029
2	De snelheidsverticaal als n^e -graads parabool; waarden voor n en de corre- latiecoëfficiënten r .	A1	74.1044
3	De zandgehalteverticaal nabij de bodem benaderd door een parabool.	A1	74.1043
4	Verband tussen het max. gemeten zand- gehalte en de gemiddelde stroomsnel- heid in de verticaal voor meetpunt 1.	A1	74.1035
5	Verband tussen het max. gemeten zand- gehalte en de gemiddelde stroomsnel- heid in de verticaal voor meetpunt 2.	A1	74.1036
6	Verband tussen totaal transport en bodemtransport in meetpunt 1.	A1	74.1028
7	Het verband tussen de gem. stroom- snelheid in de verticaal en het to- tale transport voor de meetpunten 1, 2 en 3.	A1	74.1034
8	Verband tussen bemonsteringstransport, waterdiepte en gemiddelde stroomsnel- heid in de verticaal.	A2	74.1038



Waarden voor de factor n met bijbehorende correlatiecoëfficiënten voor de meetpunten 1 en 2.

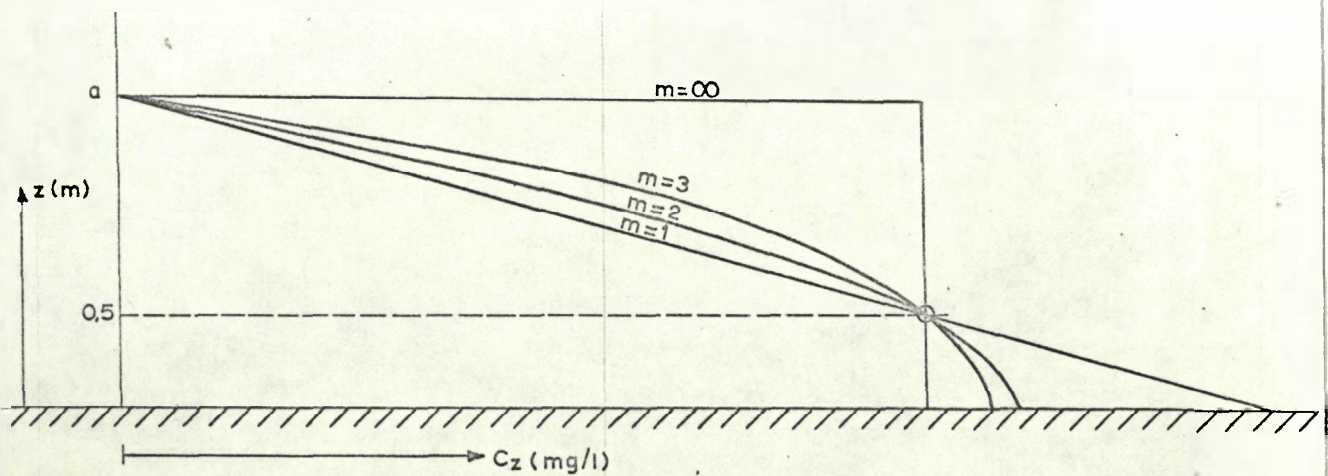
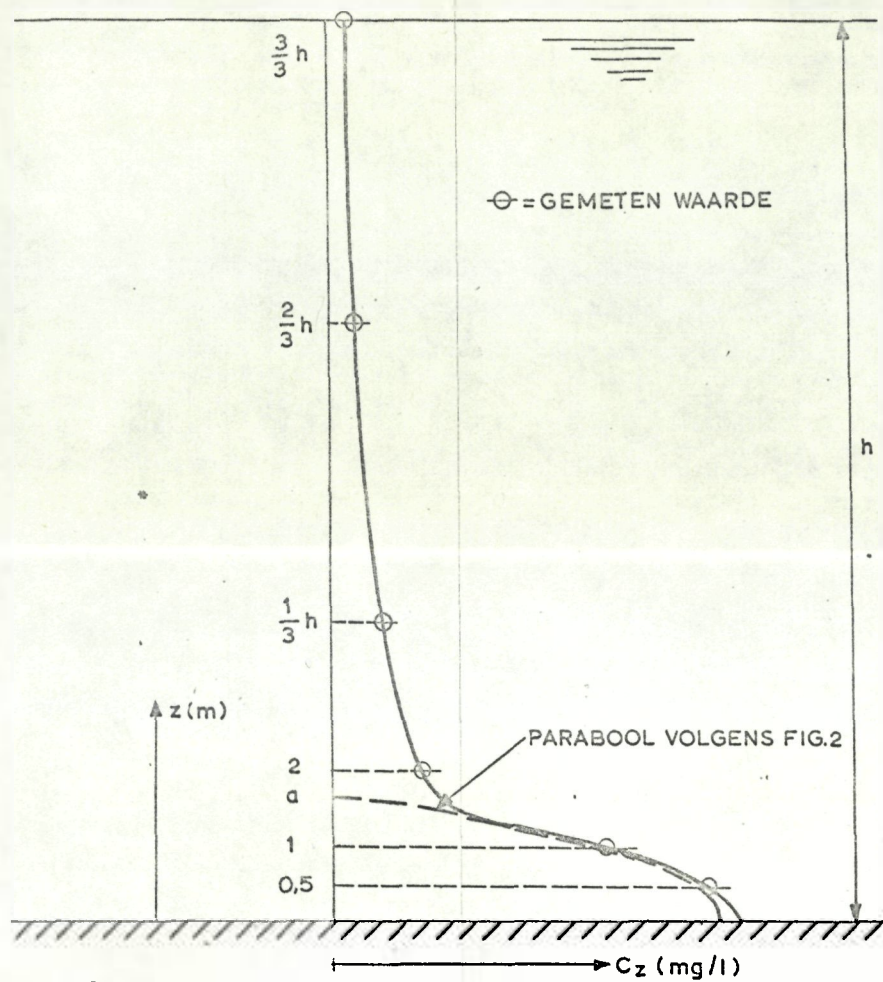
	Stromingssituatie: vloed				Stromingssituatie: eb			
	meetpunt 1		meetpunt 2		meetpunt 1		meetpunt 2	
	n	r	n	r	n	r	n	r
water-stand: rond N.A.P.	7,352	0,935	3,846	0,942				
	3,378	0,993	3,003	0,986				
	6,578	0,840	5,847	0,891				
stroombeeld: rond de maximale snelheid.	5,076	0,898	7,692	0,685	6,060	0,788	5,988	0,971
	4,149	0,958	20,408	0,774	5,434	0,903	3,533	0,991
	4,366	0,937	250,000	0,064	5,434	0,894	6,897	0,851
	5,181	0,935	3,787	0,967	3,649	0,966	6,897	0,936
	6,410	0,910	2,724	0,982	4,219	1,000	5,376	0,876
	7,299	0,948	6,666	0,971	7,042	1,000	5,649	0,987
	4,651	0,944	6,211	0,879	5,291	0,871	4,366	0,966
	6,849	0,861	9,524	0,870	5,434	0,940		
	4,132	0,774	7,299	0,831				
	7,575	0,922	6,944	0,896				
	6,711	0,939	9,523	0,907				

mediane waarden voor de factor n voor de meetpunten 1 en 2

Meetpunt 1	vloed: mediaan n= 6,49
Meetpunt 2	vloed: mediaan n= 6,44
Meetpunt 1	eb : mediaan n= 5,43
Meetpunt 2	eb : mediaan n= 5,65

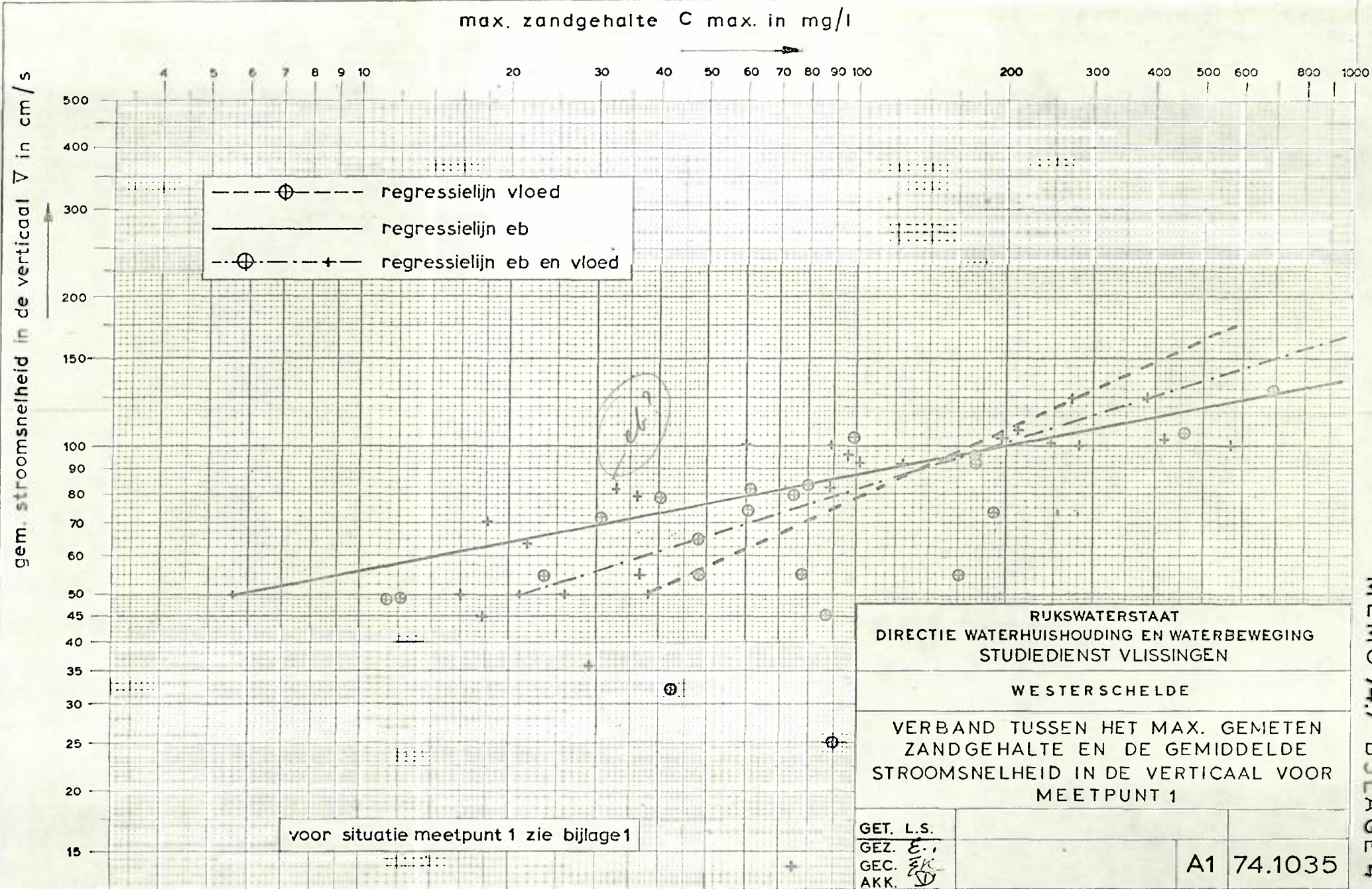
De snelheidskromme wordt benaderd door $v_z = v_1 \cdot \sqrt{z}$

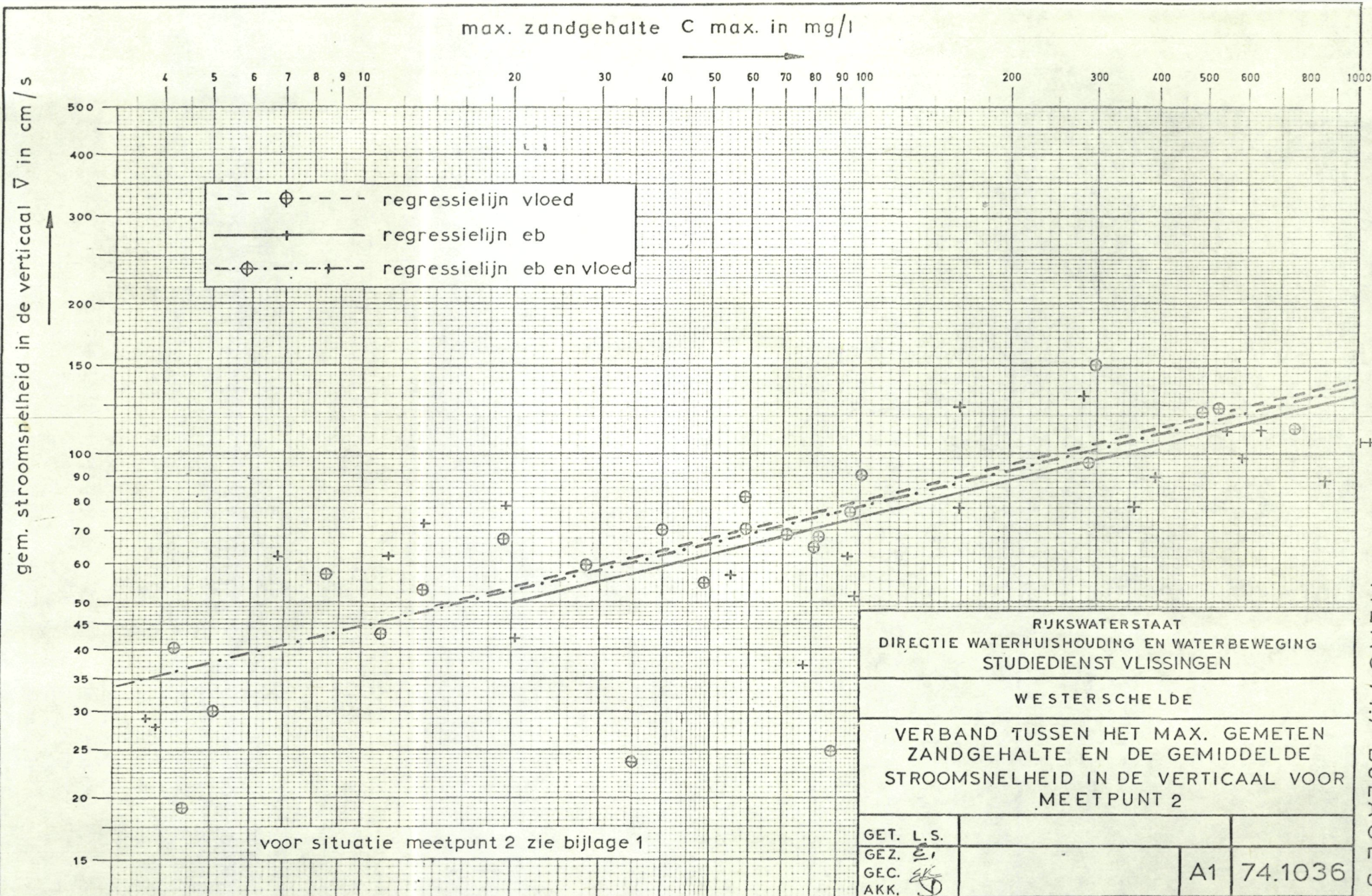
Voor de situatie der meetpunten 1 en 2 zie bijlage 1.

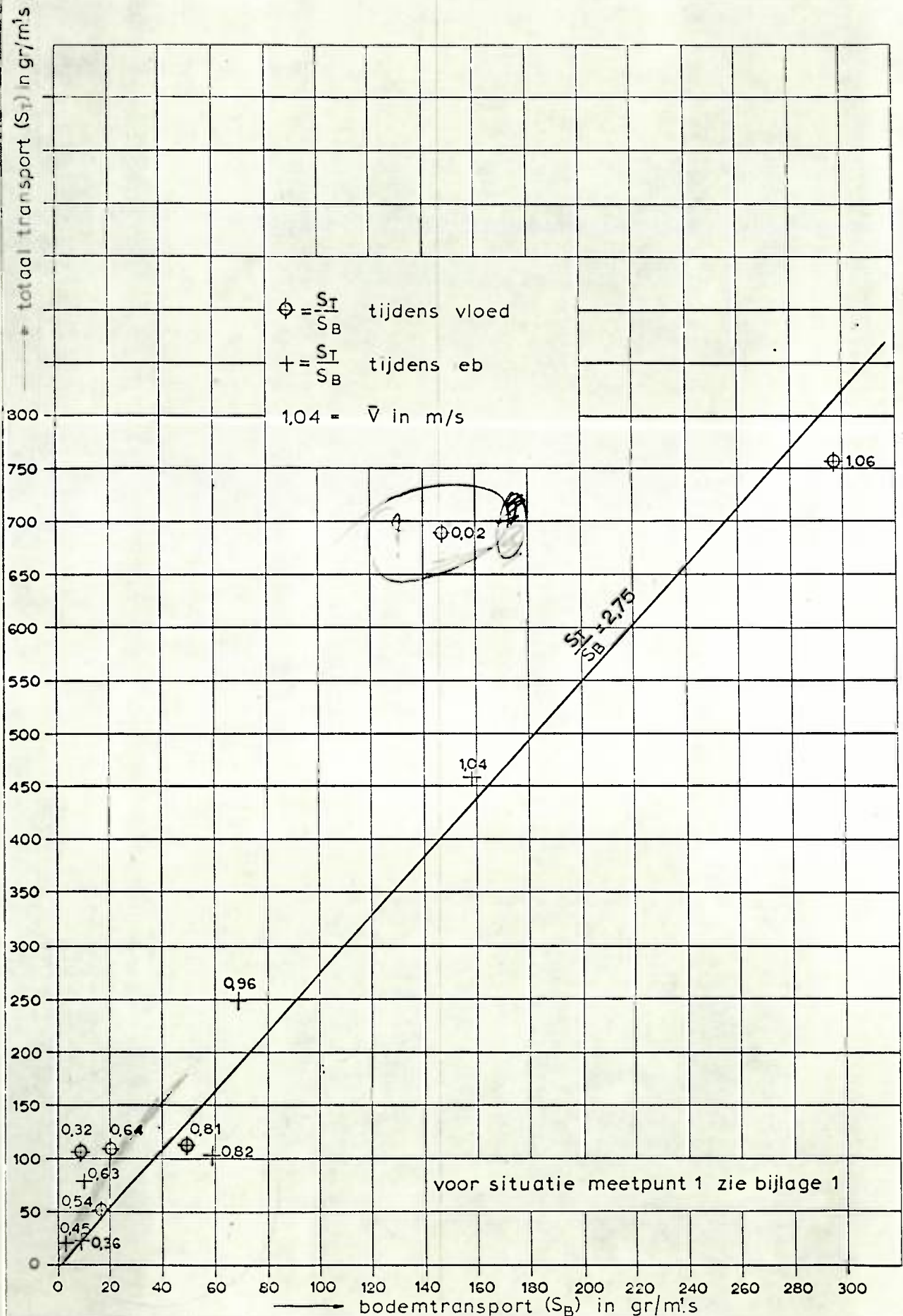


$$C_z = C_{\max} \cdot \frac{a^m - z^m}{a^m - (0.50)^m}$$

GET	GEZ	GEC	AKK	DE ZANDGEHALTEVERTICAAL NAB'J DE		
NOV 1974	E.	K	D	BODEM BENADERD DOOR EEN PARABOOL		A1 74.1043
KB						







GET.

GEZ.

GEK.

AKK.

 RIJKSWATERSTAAT
 DIRECTIE WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING
 STUDIEDIENST VLISSINGEN

A.S.B.

E.

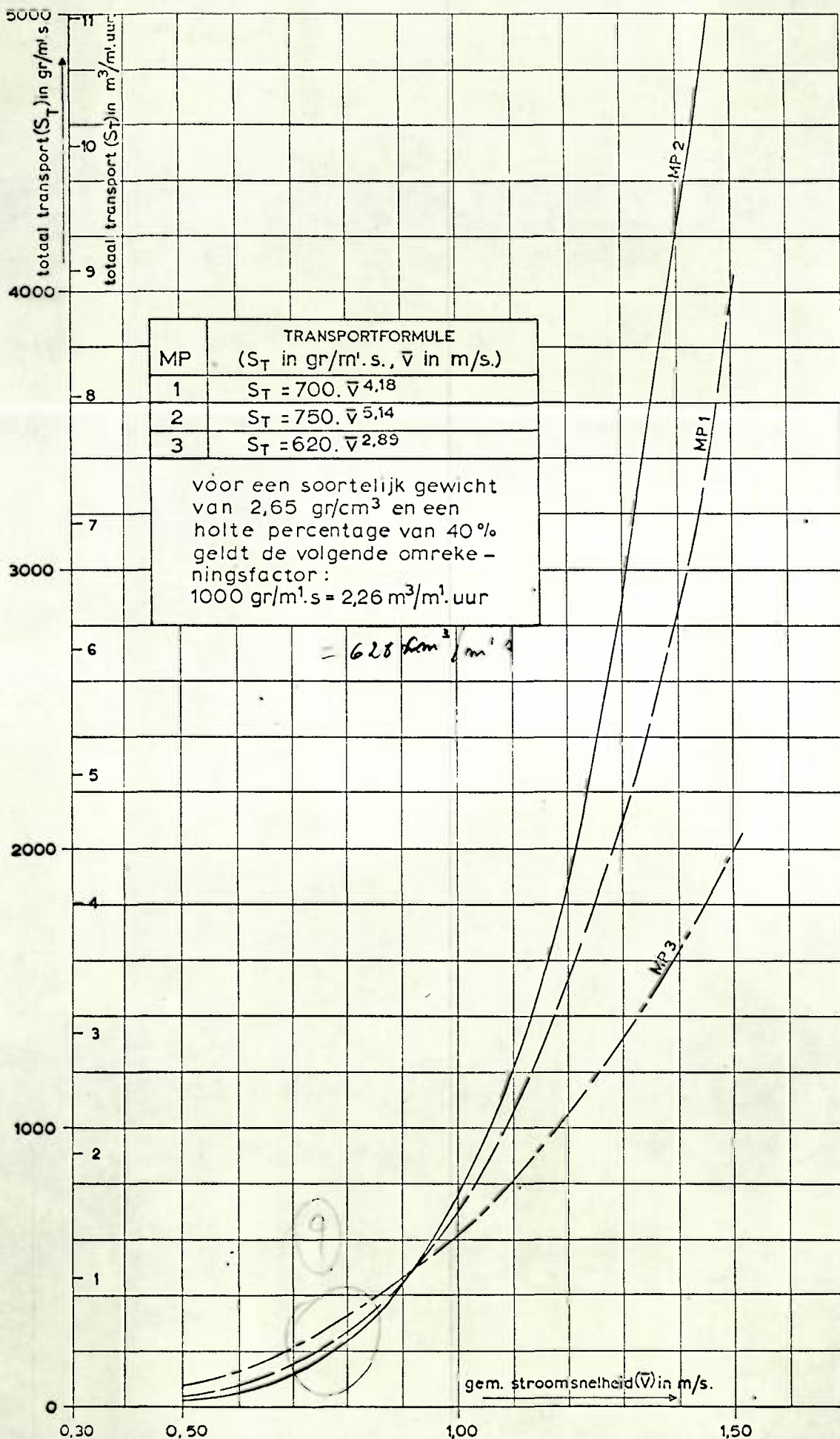
ZK

S

 VERBAND TUSSEN TOTAAL TRANSPORT
 EN BODEMTRANSPORT IN MEETPUNT1

A 1

74.1028



RIJKSWATERSTAAT
 DIRECTIE WATERHOUDEING EN WATERBEWEGING
 STUDIEDIENST VLISSINGEN

HET VERBAND TUSSEN DE GEM. STROOMSNELHEID
 IN DE VERTICAAL ($\bar{v}$) EN HET TOTALE TRANSPORT
 (S_T) VOOR DE MEETPUNTEN 1, 2 EN 3

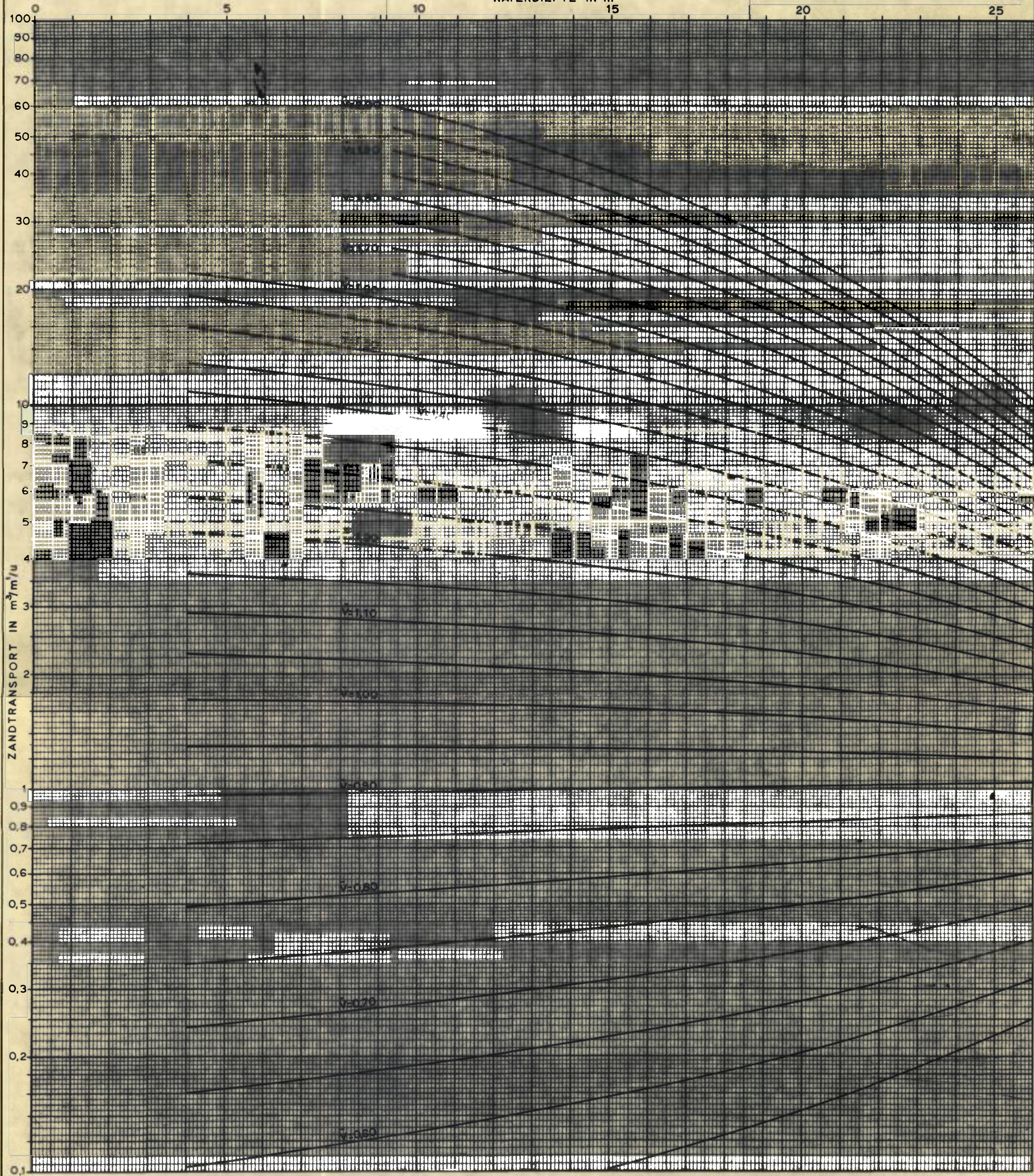
GET.	GEZ.	GEC.	AKK.
A.S.B.	E.	E.	D.

MP 2

MP 1

MP 3

WATERDIEPTE IN m



Toelichting

Het verband is bepaald uit stroomsnelheidsmetingen en waterbemonsteringen met literflessen in het tunneltracé van de vaste oeververbinding (03.08.T70) en in het tracé voor de P.Z.E.M.-kabel (05.06.T70) vooronderstellende dat het zandtransport gelijk is aan het product van zandgehalte en stroomsnelheid

$\bar{V}$ = gemiddelde stroomsnelheid in de vertikaal
 1 m³ zand is voorondersteld voor 60 % te bestaan uit minerale bestanddelen $> 50 \mu$ en voor 40 % uit holten

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE ZEELAND
 STUDIEDIENST VLISSINGEN

WESTERSCHDELDE

.VERBAND TUSSEN BEMONSTERINGSTRANSPORT,
 WATERDIEPTE EN GEMIDDELDE
 STROOMSNELHEID IN DE VERTIKAAL

12-6-1971

GET. J.

GEZ. E.

GEC. E.K.

AKK. D.

A2 74.1038