

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee
adviesdienst vliissingen

nota WWKZ-83.V008

Stabiliteit van door-
stroomprofielen in de
Westerschelde.

projectcode									
V	8	2	2	7	B	1	5		

auteur(s) : F. Gerritsen en H. de Jong

datum : november 1983

bijlagen : 23

samenvatting : Het onderzoek naar de stabiliteit van zeegaten is de laatste decennia steeds actueel geweest. Over dit onderwerp verschenen ook enige belangrijke publicaties. Van de Westerschelde was een dergelijke studie nog niet gemaakt. Thans is daartoe een poging ondernomen. Gezocht is naar de relatie waardoor de stabiliteit het meest nauwkeurig kan worden beschreven. De resultaten, die vergeleken zijn met hetgeen andere onderzoekers op dit gebied hebben gevonden, worden gepresenteerd in deze nota.

Inhoudsopgave

	<u>blz</u>
1. <u>INLEIDING.</u>	1
1.1 Historisch overzicht.	1
1.2 Doel van het onderzoek.	3
2. <u>GEGEVENS.</u>	5
2.1 Algemeen.	5
2.2 Herleiding gegevens.	5
2.3 Het doorstroomprofiel (A_c).	6
2.4 Gegevens Mond Westerschelde.	7
2.5 De nauwkeurigheid van de gegevens.	7
2.6 De ontwikkeling van het verticaal getij tijdens de periode waaruit de gegevens dateren.	8
3. <u>DE RELATIE TUSSEN DE STROOMSNELHEID EN HET DOORSTROOM-PROFIEL.</u>	10
3.1 De relatie tussen de gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) en het doorstroomprofiel.	10
3.2 De relatie tussen de maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) en het doorstroomprofiel.	10
3.3 Vergelijking met resultaten van andere onderzoekers.	12
4. <u>DE RELATIE TUSSEN HET GETIJDEBIET EN HET DOORSTROOM-PROFIEL.</u>	13
4.1 Het maximale debiet ($Q_{\max}$) als parameter voor de Westerschelde.	13
4.2 Het sinusoidale maximum ($\hat{Q}$) als parameter.	13
4.3 Verschil tussen Westerschelde (raaien 1 t/m 11 en de Mond Westerschelde (raai 12 en 13).	14
4.4 Eb- en vloedgeulen in de Westerschelde.	15

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: ii

	<u>blz</u>
5. <u>HET GEBRUIK VAN DE MAATGEVENDE SCHUIFSPANNING (τ_s) ALS STABILITEITSPARAMETER.</u>	16
5.1 Definitie van τ_s voor springtij en gemiddeld getij.	16
5.2 De verhouding als stabiliteitsparameter: de waarde van τ_s voor gemiddeld getij en springtij.	18
5.2.1 De verhouding en de waarde τ_s .	18
5.2.2 De verhouding als functie van doorstroomprofiel (A_c').	19
5.3 Vergelijking met de resultaten van Bruun en Gerritsen.	21
5.4 Het effect van golven op de maatgevende schuifspanning.	22
6. <u>RELATIE TUSSEN GETIJVOLUME EN DOORSTROOMPROFIEL.</u>	26
6.1 Westerschelde.	26
6.2 Mond Westerschelde.	26
6.3 Eb- en vloedgeulen Westerschelde.	26
6.4 Vergelijking met de resultaten van Haring.	27
6.4.1 De relatie doorstroomprofiel (A_c) versus getijvolume (TV) voor zeegaten.	27
6.4.2 De relatie doorstroomprofiel (A_c) versus getijvolume (TV) voor geulen in zeegaten.	28
6.5 Vergelijking met resultaten van Bruun.	28
7. <u>CONCLUSIES.</u>	30
Literatuuropgave.	32
Bijlagenlijst.	34
Symbolenlijst.	37

$$\dots = \frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$$

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
datum: november 1983
bladnr: 1

1. INLEIDING.

1.1. Historisch overzicht.

Gedurende de laatste 50 jaar is het onderzoek naar de stabiliteit van zeegaten bijna steeds actueel geweest. Een eerste publicatie op dit gebied verscheen in 1931 van de hand van M.P. O'Brien [1], die aan de hand van gegevens van de Amerikaanse westkust een relatie afleidde tussen de doorsnede van een zeegat en het daarbij behorende getijvolume. Het laatste werd gedefinieerd als het "getijprisma" wat verkregen werd door het product te nemen van het kombergingsgebied en het getijverschil. Door de aard van het getij aan de Amerikaanse westkust werd voor het getijvolume genomen het verschil tussen gemiddeld hoog hoogwater en laag laagwater.

De gegeven relatie was een zuivere empirische relatie die geen rekening hield met voor de verschillende zeegaten afwijkende omstandigheden zoals:

- korreldiameter bodem materiaal;
- grootte van het langstransport (in beide richtingen) in relatie tot getijvermogen;
- rivierafvoer;
- relatieve diepte van de geul (Chezy-coëfficiënt);
- aanwezigheid van havendammen;
- aanwezigheid van zandplaten, enz.

Het is duidelijk dat niet verwacht mag worden dat het gevonden empirische verband universeel voor andere situaties zal opgaan.

In 1960 en volgende jaren is door Bruun en Gerritsen aan het bovengestelde vraagstuk nadere aandacht besteed [2]. Door hen werd de hypothese onderzocht dat voor een stabiliteitsrelatie de gemiddelde schuifspanning langs de bodem een maatgevende parameter zou kunnen zijn. De waarde van deze maatgevende schuifspanning zou dan een functie zijn van de hiervoor genoemde variërende omstandigheden en hun studie richtte zich er op deze relaties te vinden voor verschillende kustvakken.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 2

Bij het onderzoek naar de stabiliteit van zeegaten moet men bedenken dat er twee soorten stabiliteit zijn:

- 1) stabiliteit van de doorsnede;
- 2) stabiliteit van de geulligging.

In stabiliteitsbeschouwingen wordt de aandacht meestal op het eerste aspect gevestigd. In bepaalde gevallen zal de doorsnede stabiliteit in een zeker verband staan met de geulligging; in de meeste gevallen werd dit aspect echter niet in detail in de resultaten van de studies opgenomen.

Bij het beschikbaar komen van wiskundige modellen die de waterbeweging in een zeegat specifiek beschrijven, is het probleem van de stabiliteit van de zeegaten opnieuw actueel geworden. Men wil met de wiskundige modellen niet alleen kunnen voorspellen op welke wijze de waterbeweging (horizontaal en verticaal getij) door bepaalde veranderingen (bv. geulbaggeringen) verandert, maar men wil ook voorspellingen kunnen doen over mogelijke aanzandings- of erosieprocessen in het betreffende gebied.

Voor de studie van de waterbeweging in de Westerschelde staan in principe twee typen van numerieke modellen ter beschikking:

- 1) het ééndimensionale model IMPLIC;
- 2) het tweedimensionale model WAQUA.

Beide modellen zijn operationeel bij de Rijkswaterstaat. Veranderingen in bodemligging kunnen in principe worden voorspeld als aan het model van de waterbeweging een model voor het zandtransport wordt gekoppeld. We gaan hierbij uit van het volgende:

Stabiliteit van stroomgeulen kan in het algemeen gedefinieerd worden door de relatie:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0$$

waarbij Q_s het totale zandtransport (m^3/s) in een doorstroomprofiel voorstelt en x de stroomrichting.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 3

Strikt genomen geldt deze relatie alleen voor het bodemtransport, doch bij gelijkblijvende gemiddelde concentraties van opgewerveld materiaal geldt deze ook voor het totale transport.

In een getijgebied moet bovengenoemde relatie over het getij geïntegreerd worden en krijgt men:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^T Q_s dt = 0$$

Omdat de kennis van het transportverschijnsel nog ontoereikend is, kan bovengenoemde vergelijking nog niet worden gebruikt voor het bepalen van evenwichtscondities.

Als tussenoplossing kan worden gekozen voor een semi-theoretische methode, waarbij van wiskundige modellen gebruik gemaakt wordt voor de waterbeweging maar waarbij de veranderingen in het geulprofiel worden voorspeld door empirische relaties, waarvan men weet dat die voor het betreffende gebied geldig zijn. Deze methode vraagt dan om een iteratieve benadering waarbij door middel van een aantal opvolgende berekeningen de nieuwe evenwichtstoestand bepaald wordt.

Door de Adviesdienst Vliissingen is in het verleden een groot aantal waardevolle metingen uitgevoerd, welke het mogelijk maken bepaalde relaties vrij nauwkeurig te benaderen. Verwezen mag ook worden naar het werk van Haring [3] en naar een recente publicatie van Van de Kreeke en Haring [4].

1.2. Doel van het onderzoek.

Het doel van dit onderzoek is om voor de Westerschelde een aantal empirische relaties te onderzoeken waarbij een verband gelegd wordt tussen het doorstroomprofiel van de rivier en een aantal getijkarakteristieke grootheden, zoals stroomsnelheid, maximaal debiet, vloed- en ebvolume, maatgevende bodemschuifspanning, Chezy-coëfficiënt, etc.

- Daartoe -

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
datum: november 1983
bladnr: 4

Daartoe zijn met behulp van een groot aantal in het verleden verrichte stroommetingen en lodingen op de gebruikelijke wijze de debieten, gemiddelde stroomsnelheden, vloed- en ebvolumes en geuldoorsneden bepaald. De bruikbaarheid en nauwkeurigheid van een bepaalde morfologische parameter zal dan worden beoordeeld aan de hand van de verkregen correlatiecoëfficiënten bepaald uit regressie-analyses tussen de verschillende parameters.

In het algemeen geeft men in grafische voorstellingen de afhankelijke variabele op de Y-as weer en de onafhankelijke op de X-as.

In het onderhavige geval bestaat er een causaal (morfologisch) verband tussen de diverse parameters en kan men dus zowel $Q_{\max}$ als functie van A_c , als A_c als functie van $Q_{\max}$ zien.

In de bijlagen is het doorstroomprofiel op de horizontale as uitgezet. Voorts dient te worden opgemerkt dat alle geanalyseerde relaties in deze nota betrekking hebben op gemiddelde getijomstandigheden.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 5

2. GEGEVENS.

2.1. Algemeen.

De gegevens die bij dit onderzoek zijn gebruikt worden gepresenteerd in tabel 2.1. Deze tabel heeft zowel betrekking op de Westerschelde (raai 1 t/m 11) als op de Mond van de Westerschelde (raai 12 en 13). De plaats van de meetraaien wordt gegeven op bijlage 1. De debietmetingen waaraan de gegevens zijn ontleend, zijn met uitzondering van de meest recente, steeds dubbel uitgevoerd. Op twee achtereenvolgende dagen zijn de metingen uitgevoerd. Bij de berekeningen is het gemiddelde van beide meetdagen aangehouden, zoals aangegeven in tabel 2.1.

2.2. Herleiding gegevens.

De debietmetingen waaraan de gegevens zijn ontleend zijn uitgevoerd bij springtij of gemiddeld getij. De in tabel 2.1 gegeven waarden voor ebvolume (EV), vloedvolume (FV), getijvolume (TV), maximaal debiet ($Q_{\max}$), gem. stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) en maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) zijn herleid naar het gemiddeld getij van het jaar waarin de betreffende meting werd uitgevoerd. De herleiding is verricht aan de hand van de amplitudeverhouding van het dichtstbijzijnde getijstation (Vlissingen, Terneuzen, Hansweert of Bath).

Voor het herleiden van de diverse parameters uit tabel 2.1 naar waarden die behoren bij springtij kan eveneens de amplitudeverhouding van de genoemde getijstations worden aangehouden. In tabel 2.2 worden de getijfactoren (ampl. springtij/ampl. gemiddeld getij) gegeven die nodig zijn om de waarden van de diverse raaien te herleiden naar springtij.

Tabel 2.1: Fysische karakteristieken van de Westerschelde en Mond Westerschelde.

raai- nummer	jaar	(x 10 m ³)				Ac (m ²)	Ac'eb (m ²)	Ac'vloed (m ²)	Qmax eb (m ³ /sec).10 ³	Qmax vloed (m ³ /sec).10 ³	v̄ (m/sec)	vmax(eb) (m/sec)	vmax(vloed) (m/sec)	Q (m ³ /sec)	ū (m/sec)
		EV	FV	TV											
1	1971	142,7	134,8	277,5	12600	12600	15660	9,0	13,3	0,49	0,71	0,85	9752	0,77	
	1975	159,5	154,2	313,7	12690	13030	16770	9,8	14,4	0,55	0,75	0,86	11024	0,87	
	1982	173,3	155,5	328,8	13425	14445	17675	11,6	15,2	0,55	0,80	0,86	11554	0,86	
2	1972	211,4	208,4	419,8	16895	16895	22835	13,1	20,4	0,56	0,78	0,89	14752	0,87	
3	1933/34	261,0	251,0	512,0	16663	16663	24263	14,3	21,1	0,69	0,86	0,87	17992	1,08	
5	1963	245,0	239,3	484,3	13770	16830	21750	16,3	26,4	0,79	0,97	1,21	17019	1,24	
	1980	273,8	256,3	530,1	16880	16880	25620	17,3	27,9	0,70	1,03	1,09	18628	1,10	
	1937	390,0	369,0	759,0	34530	34530	39650	24,5	33,2	0,49	0,71	0,84	26672	0,77	
6	1957	380,4	372,3	752,7	29801	29801	35560	24,8	39,0	0,57	0,83	1,10	26451	0,89	
	1964	359,1	352,1	711,2	28610	28610	34370	21,8	36,1	0,56	0,76	1,05	24992	0,87	
	1970	399,8	442,0	841,8	30565	32485	36965	25,4	46,3	0,62	0,78	1,25	29582	0,97	
7	1975	365,8	373,4	739,2	29975	30935	37015	22,4	37,5	0,55	0,72	1,01	25976	0,87	
	1981	403,2	378,3	782,8	33950	35870	41310	23,2	43,6	0,52	0,65	1,06	27508	0,81	
	1932	545,0	544,0	1089,0	43450	44840	49850	35,0	46,0	0,56	0,78	0,92	38268	0,88	
9	1957	491,4	489,3	980,7	40129	41879	46929	27,8	44,7	0,55	0,66	0,95	34463	0,86	
	1968	517,5	495,5	1013,0	41050	43150	48250	34,0	48,3	0,55	0,79	1,00	35598	0,87	
	1972	506,0	504,4	1010,4	41050	43150	48250	33,2	45,3	0,55	0,77	0,94	35506	0,87	
10	1978	540,2	540,5	1080,7	39200	42700	47200	34,7	57,8	0,62	0,81	1,23	37977	0,97	
	1961	689,4	674,0	1363,4	46550	47850	51230	46,0	62,5	0,66	0,96	1,22	47911	1,03	
	1974	683,0	722,0	1405,0	47940	49240	53140	47,0	67,3	0,66	0,95	1,27	49373	1,03	
11	1982	737,3	689,6	1426,9	49530	50570	54730	51,0	64,4	0,65	1,01	1,18	50142	1,01	
	1960	890,8	891,2	1782,0	74070	72470	87350	61,3	83,9	0,54	0,85	0,96	62621	0,85	
	1979	953,9	943,3	1897,2	73630	76030	91890	70,0	91,5	0,58	0,92	1,00	66669	0,91	
12	1958	985,6	987,9	1973,5	77575	76305	87735	66,4	87,0	0,57	0,87	0,99	69351	0,89	
	1971	990,9	967,5	1958,4	77775	77775	90475	70,8	96,6	0,56	0,91	1,07	68820	0,89	
	1932	1084,0	1065,0	2149,0	86250	86250	93250	76,3	93,9	0,56	0,89	1,01	75518	0,88	
13	1964/66	1080,5	1118,9	2199,0	81938	79938	89938	77,6	101,4	0,60	0,97	1,13	77275	0,94	
	1975	1085,0	1122,7	2208,0	79125	79125	89125	78,5	109,2	0,62	0,99	1,23	77591	0,98	
	berekend	1296,0	1308,0	2604,0	121000	121000	139720	92,4	138,0	0,48	0,78	1,02	91507	0,76	
	berekend	1519,0	1512,0	3031,0	154000	154000	180230	107,0	170,0	0,44	0,70	0,89	106512	0,69	

Voor symbolenlijst zie blz 37.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 6

Tabel 2.2: Getijfactor (ampl. springtij/ampl. gemiddeld getij) van de diverse getijstations.

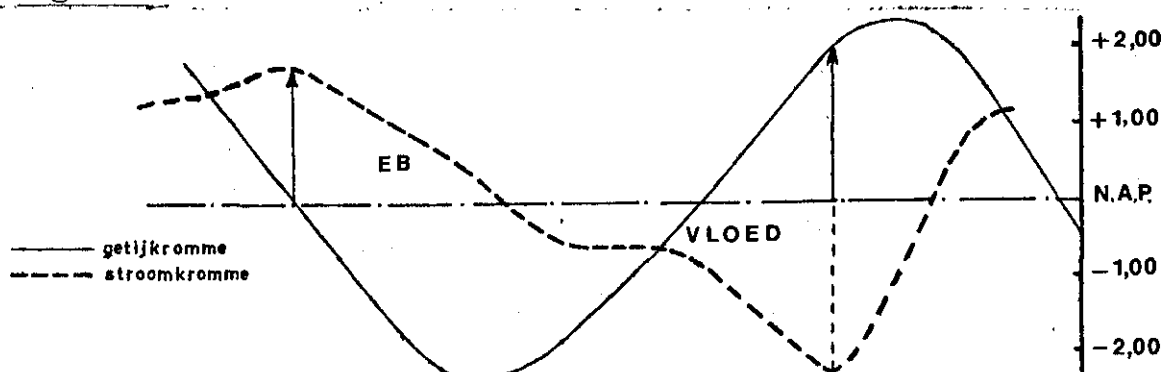
raai	getijstation	getijfactor ($\frac{\text{ampl. springtij}}{\text{ampl. gemiddeld getij}}$)
1 t/m 4	Bath	1,12
5 en 6	Hansweert	1,13
7	Terneuzen	1,14
8 t/m 12	Vlissingen	1,16
13	Cadzand	1,18

2.3. Het doorstroomprofiel (A_c).

De oppervlakte van het doorstroomprofiel (A_c) is gemeten ten opzichte van N.A.P. De opneming is uitgevoerd in hetzelfde jaar als waarin de debietmeting plaatsvond, of in het jaar daaraan voorafgaand.

Naast A_c (doorstroomprofiel ten opzichte van N.A.P.) wordt zowel voor eb als vloed A_c' gegeven. Dit is de oppervlakte van het doorstroomprofiel op het tijdstip waarop het maximaal debiet gemeten wordt ($Q_{\max}$). Uit stroommetingen blijkt namelijk dat de relatie tussen verticaal getij en horizontaal getij het beeld vertoont zoals globaal is aangegeven in figuur 1.

Figuur 1:



behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 7

Uit figuur 2.1 blijkt dat de maximale stroomsnelheid tijdens eb gepaard gaat met een waterstand welke ligt om en nabij het peil van N.A.P. De maximale stroomsnelheid tijdens de vloed treedt op wanneer de waterstand $\pm 2 \text{ m} + \text{N.A.P.}$ bedraagt. De oppervlakte A_c' is derhalve het dwarsstroomprofiel A_c vermeerderd met het profiel boven N.A.P. tijdens $Q_{\max}$.

Bijlage 2 toont de ontwikkeling die de doorstroomprofielen van de raaien 1 t/m 11 in de loop der jaren hebben gemaakt. Vastgesteld kan worden dat in de laatste decennia de profielen in het oostelijk deel van de Westerschelde toegenomen zijn, terwijl in het westelijk deel een afname geconstateerd kan worden.

2.4. Gegevens Mond Westerschelde.

De debieten van de Mond van de Westerschelde (raai 12 en 13) zijn niet ontleend aan metingen, doch berekend met behulp van de continuïteitsvergelijking en het debiet gemeten in raai 11 (1975).

Bij deze berekening is gebruik gemaakt van de gemiddelde getijkrommen van de getijstations Vlissingen, Cadzand en Westkapelle. De doorstroomprofielen van raai 12 en 13 zijn gebaseerd op lodingen van 1976.

2.5. De nauwkeurigheid van de gegevens.

De geschatte fout in de verschillende parameters die gegeven zijn in tabel 2.1 bedraagt 5 à 10%. Gezien de resultaten van de diverse correlatie-analyses is de werkelijk fout waarschijnlijk nog geringer.

Een bron van mogelijke fouten in de verwerkte gegevens is de herleiding van gemeten debieten tot omstandigheden die behoren bij gemiddeld tij. Voor deze herleiding is de verhouding van getijamplituden gekozen. Dit is strikt genomen alleen correct indien men met een zuiver kobergingsgebied werkt, waar de momenten van kentering samenvallen met respectievelijk hoog en laag water.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 8

Op de Westerschelde is er een tijdsverschil van $\frac{1}{2}$ tot ruim 1 uur tussen het tijdstip van HW respectievelijk LW en de daarop volgende kenteringen aanwezig, welk tijdsverschil enigszins kan variëren.

De hoge correlatiecoëfficiënten die bij de verschillende betrekkingen worden gevonden doen vermoeden dat de geïntroduceerde herleidingsfout gering is en gemiddeld slechts enkele procenten bedraagt.

2.6. De ontwikkeling van het verticaal getij tijdens de periode waaruit de gegevens dateren.

De ontwikkeling van het verticaal getij op de Westerschelde in de periode 1900 - 1980 wordt beschreven in [5]. Het volgende is groten-deels aan deze notitie ontleend.

De belangrijkste schommelingen in het verticaal getij zijn de 18,6-jarige cyclus (veroorzaakt door de verandering van de hoek tussen het vlak van de maansbaan en het equatervlak tussen $18,5^\circ$ en $28,5^\circ$ met een periode van 18,6 jaar) en de stijging van het gemiddeld zeeniveau.

In de navolgende tabel worden met betrekking tot het laatstgenoemde de meest recente gegevens gepresenteerd volgens [6].

Tabel 2.6: Gemiddelde stijging van het gemiddeld zeeniveau (MSL), gemiddeld hoogwater (HW), gemiddeld laagwater (LW) en gemiddelde getijverschil (TD) in cm per eeuw (uit [6]).

Station	MSL	HW	LW	TD	Periode met gegevens
Oostende	22	17	5	12	1925 - 1980
Vlissingen		33	19	14	1900 - 1980
Terneuzen		40	18	22	1900 - 1980
Hansweert		40	10	30	1900 - 1980
Bath		44	16	28	1900 - 1980

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
datum: november 1983
bladnr: 9

De toename van het gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddeld tijverskil blijkt niet in alle getijstations gelijk te zijn. Dit wordt nog duidelijker weergegeven door bijlage 3 en 4. Op deze bijlagen worden namelijk de veranderingen gepresenteerd die zijn opgetreden in het verschil tussen het gemiddelde hoogwater, laagwater, halftij en tijdverschil te Vlissingen en de overige getijstations langs de Westerschelde (de stijgingen te Vlissingen zelf zijn hierbij geëlimineerd).

Het blijkt dat de gemiddelde hoogwaterstanden (ten opzichte van Vlissingen) van de stations Terneuzen, Hansweert en Bath een geringe relatieve stijging vertonen, waarbij de stijging toeneemt naarmate men oostelijker komt. De gemiddelde laagwaterstanden vertonen een relatieve daling ten opzichte van Vlissingen. Anders gezegd: de gemiddelde laagwaterstanden van de overige stations stijgen minder sterk dan bij het station Vlissingen. Dit geldt vooral Bath waarbij in het laatste decennium de stijging van de laagwaters zich omzette in een daling. Als gevolg hiervan neemt het tijverskil, relatief ten opzichte van Vlissingen, bij het station Bath en verder stroomopwaarts sterk toe. Volgens [5] wordt deze sterke stijging na 1970 in hoofdzaak veroorzaakt door de baggerwerken. Door de verwijdering van drempels en de daarmee gepaard gaande geulverruiming wordt namelijk de weerstand van de rivier verminderd en de getijgolf minder gedempt, hetgeen voornamelijk tot uitdrukking komt in een verlaging van de gemiddelde laagwaterstanden.

Resumerend kan worden gesteld: de verhouding tussen de amplitudes van de getijstations langs de Westerschelde bleef in de periode waaruit de gegevens dateren (1932 - 1981) vrij constant, met uitzondering van het laatste decennium. In die periode (1970 - 1980) is het tijverskil te Bath onevenredig toegenomen, hetgeen stellig verband kan houden met wijzigingen welke zijn aangebracht in de doorstroomprofielen door middel van baggerwerken.

3. DE RELATIE TUSSEN DE STROOMSNELHEID EN HET DOORSTROOMPROFIEL.

3.1. De relatie tussen de gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) en het doorstroomprofiel.

De gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) wordt gedefinieerd als het getijvolume gedeeld door de oppervlakte van het doorstroomprofiel en de getijperiode. Onder getijvolume wordt verstaan de som van de absolute waarden van eb- en vloedvolume.

In het verleden is de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) wel gebruikt om het evenwicht van doorstroomprofielen te karakteriseren, onder andere in [3] en [7]. In tegenstelling echter tot hetgeen in deze studies werd gesteld, bleek uit meer recent onderzoek [4], dat de waarde $\bar{v}$ niet voor alle estuaria in de Delta hetzelfde is. Vastgesteld werd dat onderscheid dient te worden gemaakt tussen estuaria met en zonder rivierafvoer. Gezien het feit dat de rivierafvoer van de Westerschelde gering is ($< 4\%$ van het ebvolume) kan deze in dit onderzoek worden verwaarloosd.

Bijlage 5 toont de variaties in doorstroomprofiel en gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$), langs de lengte-as van de Westerschelde, volgens opnemingen uit de periode 1970 - 1980. Bijlage 6 geeft hetzelfde, doch als gemiddelde van een groter aantal jaren. Uit deze bijlagen blijkt dat de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) niet in de mond van de rivier maar meer naar binnen (raai 7) de maximale waarde bereikt.

3.2. De relatie tussen de maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) en het doorstroomprofiel.

De maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) wordt gedefinieerd als het maximum getijdebiet ($Q_{\max}$) gedeeld door de oppervlakte van het doorstroomprofiel (A_c). Dus:

$$- v_{\max} -$$

behoort bij: nota

WWKZ nr. 83.V008

datum: november 1983

bladnr: 11

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max}}{A_c'}$$

Op bijlage 7 is voor zowel vloed als eb de maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) uitgezet als functie van het doorstroomprofiel (A_c). Geconcludeerd kan worden dat de maximum stroomsnelheid slechts in geringe mate in relatie staat tot het doorstroomprofiel. Globaal beschouwd kan worden gesteld dat de maximum stroomsnelheid fluctueert om een gemiddelde waarde (voor vloed $\pm 1,05$ m/sec, voor eb $\pm 0,85$ m/sec).

Op bijlage 8 zijn de variaties in doorstroomprofiel en maximum stroomsnelheid bij vloed en eb langs de lengteas van de rivier uitgezet. Dit geeft een beter beeld, waaruit blijkt dat de afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde niet zozeer stochastisch zijn, maar een trend vertonen.

Het verloop van de maximum stroomsnelheid zoals hierboven gedefinieerd komt in sterke mate overeen met het verloop van de gemiddelde stroomsnelheid (over het getij) langs de rivier. Evenals bij de gemiddelde stroomsnelheid blijkt ook de maximum stroomsnelheid in raai 7 het hoogst te zijn. Geografisch treedt hier een vernauwing van de rivier op waardoor het doorstroomprofiel van raai 7 relatief klein is ten opzichte van de omgeving. Dit illustreert bijlage 9, waarop zowel de getijvolumes van de diverse raaien als de oppervlakten der doorstroomprofielen zijn uitgezet in procenten ten opzichte van raai 11 (100%). Procentueel blijkt over de gehele rivier, met uitzondering van raai 7, het doorstroomprofiel minder sterk af te nemen dan het getijvolume. Uit bijlage 8, waarop naast A_c ook A_c' is uitgezet, blijkt dat het doorstroomprofiel tijdens $Q_{\max}$ bij vloed in bepaalde raaien (o.a. 9 en 10) aanmerkelijk groter is. De oorzaak hiervan is het onderlopen van het in deze raaien gelegen bankengebied. Het verschil tussen A_c en A_c' in raai 7 blijkt veel minder groot te zijn. Eén en ander verklaart dat de maximum stroomsnelheden in raai 9 en 10 veel geringer zijn dan in raai 7.

Wanneer het profiel- en breedteverloop van de Westerschelde een meer vloeiend verloop vertoonde zou vermoedelijk ook een meer vloeiend verloop van de maximale stroomsnelheid het gevolg zijn. In een dergelijk geval zou de relatie tussen $v_{\max}$ en A_c stellig minder grillig verlopen.

3.3. Vergelijking met resultaten van andere onderzoekers.

In het verleden is onderzoek verricht naar de relatie tussen doorstroomprofiel en de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$). Resultaten werden o.a. gepresenteerd in [3] en [4].

Vergelijking van deze resultaten met bijlage 5 en 6 leert dat de variaties in door stroomprofiel en gemiddelde stroomsnelheid langs de lengte-as van de Westerschelde globaal overeenkomen met het beeld dat de in [3] en [4] beschouwde zeegaten vertonen (Oosterschelde, Brouwershavensegat, Haringvliet en Rotterdamse Waterweg).

Als punt van verschil kan worden genoemd dat bij de Westerschelde in tegenstelling tot de andere zeegaten de plaats waar de maximale stroomsnelheid wordt gemeten (raai 7) veel verder de rivier op ligt. Een verklaring hiervoor is, zoals beschreven in par. 3.2., de geometrie van de rivier. Zou het profielverloop van de Westerschelde meer vloeiend zijn, bijvoorbeeld zoals aangegeven met streeplijn op bijlage 5, dan zou ook een meer vloeiend verloop van $\bar{v}$ en $v_{\max}$ het gevolg zijn. De plaats waar de maximale stroomsnelheid gemeten wordt zou in een dergelijk geval dichterbij de mond van de rivier liggen.

De gemiddelde stroomsnelheid in de mond van de Westerschelde (raai 11) ligt gemiddeld ook iets hoger dan de waarde 0,55 m/sec welke uit [3] volgt, niettegenstaande het feit dat de rivierafvoer is te verwaarlozen.

4. DE RELATIE TUSSEN HET GETIJDEBIET EN HET DOORSTROOMPROFIEL.

4.1. Het maximale debiet ($Q_{\max}$) als parameter voor de Westerschelde.

Het maximale debiet ($Q_{\max}$) is uitgezet als functie van het doorstroomprofiel (A_c) op de bijlagen 10 en 11 voor zowel eb als vloed. Tevens is $Q_{\max}$ uitgezet als functie van A_c' (bijlage 12 en 13). Deze correlatiediagrammen laten zien dat er een duidelijk verband bestaat tussen het maximale gemeten getijdebiets en het doorstroomprofiel.

De lijn die het verband aangeeft tussen $Q_{\max}$ en A_c' tijdens vloed (bijlage 13) gaat vrijwel door de oorsprong, zodat deze relatie de voorkeur verdient boven de relatie $Q_{\max}$ versus A_c .

Uit een vergelijking tussen de bijlagen 11 en 13 blijkt dat bij gebruik van A_c' voor vloed de raaien 12 en 13 meer afwijken van de lijn die het verband aangeeft voor de gehele Westerschelde, dan bij gebruik van A_c .

Voor de eb is er vrijwel geen verschil tussen A_c en A_c' omdat het maximaal debiet tijdens eb gemeten wordt bij een waterstand van $\pm$ N.A.P.

De raaien 12 en 13 in de Mond van de Westerschelde vertonen alleen bij eb een vrij sterke afwijking. In par. 4.3 wordt hierop nog ingegaan.

4.2. Het sinusoidale maximum ($\hat{Q}$) als parameter.

Het sinusoidale maximum ($\hat{Q}$) wordt gedefinieerd door de relatie:

$$\hat{Q} = \frac{\pi(FV + EV)}{2T}$$

De waarde is uitgezet als functie van A_c op bijlage 14. Uit de correlatiecoëfficiënt (0,990) blijkt dat tussen deze parameters een goed verband bestaat. De relatie die geldt voor de gehele Westerschelde wordt benaderd door de vergelijking:

$$A_c = 1,08 \hat{Q} \quad (4.1)$$

Het sinusoidale maximum debiet ($\hat{Q}$) uit (4.1) heeft betrekking op gemiddelde getijomstandigheden. De hiermede corresponderende maximale getijsnelheid is:

$$\hat{u} = \frac{\hat{Q}}{A_t} = 0,93 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

Deze waarde varieert echter tussen 0,75 m/s en 1,24 m/s (zie tabel 2.1). De stroomsnelheden in raai 3 zijn vermoedelijk niet geheel juist omdat het doorstroomprofiel (A_c) in werkelijkheid waarschijnlijk groter is dan gegeven in tabel 2.1. Aan één zijde grenst dit doorstroomprofiel namelijk aan een groot schorregebied (Land van Saeftinge), zodat boven N.A.P. het doorstroomprofiel aanzienlijk groter is. In [4] is op eenzelfde wijze voor monden van zeegaten de volgende relatie vastgesteld:

$$A_c = 1,17 \hat{Q} \quad (4.3)$$

De hiermede corresponderende maximum getijsnelheid ($\hat{u}$) bedraagt 0,85 m/s. Uit bijlage 14 blijkt dat de relatie tussen A_c en $\hat{Q}$ voor de Westerschelde (raai 1 t/m 11) niet dezelfde is als de relatie die geldt voor de Mond van de Westerschelde (raai 12 en 13). Het verschil tussen vergelijking (4.1) en (4.3) wordt hierdoor bevestigd.

4.3. Vershil tussen Westerschelde (raaien 1 t/m 11) en de Mond Westerschelde (raai 12 en 13).

Uit hetgeen in par. 4.1. en 4.2. is gesteld blijkt dat er onderscheid dient te worden gemaakt tussen de Westerschelde zelf en de Mond van de Westerschelde. Opvallend hierbij is dat bij vloed (bijlage 11 en 13) vrijwel dezelfde relatie ($Q_{\max}$ versus A_c) geldt voor de Westerschelde als voor de Mond van de Westerschelde. Daarentegen blijkt bij eb de Mond van de Westerschelde af te wijken van de relatie welke ge-

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 15

vonden werd voor de Westerschelde zelf. De doorstroomprofielen van de Mond van de Westerschelde (raai 12 en 13) blijken voor eb te groot te zijn.

De oorzaak hiervan moet vermoedelijk worden gezocht in het feit dat door de geringere waterstanden tijdens de eb de bankengebieden minder debiet voeren, zodat niet het gehele profiel ten volle wordt benut.

4.4. Eb- en vloedgeulen in de Westerschelde.

De eb- en vloedgeulen in de Westerschelde zijn met betrekking tot de stabiliteit van de doorstroomprofielen apart beschouwd.

Bijlage 15 geeft de relatie tussen $Q_{\max}$ en A_c voor zowel de ebgeulen als de vloedgeulen. Voor de ebgeulen is het maximum ebdebiet uitgezet en voor de vloedgeulen het maximum vloeddebiet als functie van A_c .

De correlatiecoëfficiënten van de eb- en vloedgeulen (respectievelijk 0,954 en 0,984) verschillen enigszins van die welke gevonden werden voor de totale Westerschelde (eb: 0,985, vloed: 0,978).

Niettemin tonen de vergelijkingen van de lijnen aan, dat het verschil tussen de relatie die geldt voor de eb- en vloedgeulen en de relatie welke betrekking heeft op de gehele Westerschelde, gering is.

Het verschil in steilheid van de lijnen voor de vloed- en ebgeulen hangt samen met het verschil in maximum stroomsnelheid, welke voor eb kleiner is dan voor vloed.

5. HET GEBRUIK VAN DE MAATGEVENDE SCHUIFSPANNING (τ_s) ALS STABILITEITS-PARAMETER.

5.1. Definitie van τ_s voor springtij en gemiddeld getij.

Door Bruun en Gerritsen [2] is gesteld, dat de bedvormende condities voor stroomgeulen zich in de periode rond de maximale stroomsnelheid voordoen, omdat in deze periode het maximale zandtransport optreedt. Daar voorts het zandtransport in stroomgeulen in grote mate afhankelijk is van de door de stroom veroorzaakte schuifspanning aan de bodem, is verondersteld dat er een maatgevende bodemschuifspanning zou kunnen bestaan die de stabiliteit van een geul zou kunnen bepalen. Voorts is gesteld, dat in een getijcyclus in het bijzonder de maximale stroomsnelheid (en de daarbij behorende schuifspanningen) bij springtij maatgevend zouden kunnen zijn voor bedvormende condities en de stabiliteit van geulen.

In verband met het bovenstaande is door hen het begrip maatgevende schuifspanning of stabiliteitsschuifspanning geïntroduceerd.

Deze schuifspanning is dus duidelijk verschillend van (groter dan) de zogenaamde kritieke schuifspanning, die kenmerkend is voor het begin van beweging.

Indien er een vaste relatie bestaat tussen gemiddeld tij en springtij (zoals het geval van deze studie) kunnen ook gemiddelde getijomstandigheden gebruikt worden voor het definiëren van een τ_s .

De gemiddelde schuifspanning voor een stabiele relatie wordt als volgt gedefinieerd.

Voor de schuifspanning τ wordt uitgegaan van de relatie:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot S \quad (5.1)$$

hierin is:

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 17

R = hydraulische straal
 S = energieverhang van de stroming
 ρ = dichtheid van het water

Deze relatie geldt strikt genomen voor een uniforme stroom, maar geldt bij goede benadering ook voor getijstromen. Volgens de relatie van Chezy geldt:

$$RS = \frac{v^2}{C^2} \quad (5.2)$$

waarbij v de gemiddelde stroomsnelheid over het dwarsprofiel voorstelt, zodat tevens geldt:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{v^2}{C^2} \quad (5.3)$$

ofwel:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{Q^2}{A^2 C^2} \quad (5.4)$$

Voor de maximale stroom geldt in overeenkomstige zin:

$$\tau_{\max} = \rho g \frac{Q_{\max}^2}{A^2 C^2} \quad (5.5)$$

Hierin komt A overeen met de eerder gedefinieerde A_c . We noemen nu de gemiddelde schuifspanning langs de bodem bij maximaal debiet waarbij het doorstroomprofiel van een zeegat stabiel is, de stabiliteits-schuifspanning τ_s . We hebben dan:

$$\tau_s = \rho g \frac{Q_{\max}^2}{A_c^2 C^2} \quad (5.6)$$

Omdat τ_s afhangt van $Q_{\max}$, moet worden vastgesteld bij welke getijomstandigheden zijn waarde gedefinieerd is.

- Door -

Door Bruun en Gerritsen is in [2] het gemiddelde springtij aangehouden als bedvormende situatie.

Omdat er in het algemeen een relatie bestaat tussen gemiddeld springtij en gemiddeld tij kan ook het gemiddeld tij worden aangehouden, hetgeen in deze nota is gebeurd. Voor een vergelijking met de vroeger gevonden waarden in [2] moet een correctie naar springtij worden aangebracht.

5.2. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ als stabiliteitsparameter: de waarde van τ_s voor gemiddeld getij en springtij.

5.2.1. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ en de waarde τ_s .

Uit vergelijking (5.6) volgt voor de relatie tussen A_c en $Q_{\max}$:

$$A_c = \frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}} \quad (5.7)$$

De waarde van τ_s moet dan zodanig worden bepaald dat het linker- en rechterlid van (5.7) aan elkaar gelijk zijn.

Voor de Westerschelde (raai 1 t/m 11) is met behulp van vergelijking (5.6) uit par. 5.1 de gemiddelde waarde van de stabiliteitsschuifspanning τ_s berekend. Voor deze berekening moet de waarde van de Chezy-coëfficiënt bekend zijn. Voor het bepalen van C zijn de relaties uit de studie van Beijl [9] aangehouden.

Beijl vond dat de Chezy-coëfficiënt in relatie staat tot de gemiddelde snelheid in de verticaal en dat voor eb en vloed verschillende relaties worden gevonden:

$$\text{eb} \quad C = 42,9 v^{0,28}$$

$$\text{vloed} \quad C = 56,9 v^{0,48}$$

In tabel 5.2.1. worden voor de Westerschelde de waarden van τ_s gegeven voor eb en vloed afzonderlijk bij zowel gemiddeld getij als springtij-omstandigheden. Opgemerkt dient nog te worden dat bij eb voor het oostelijk deel der Westerschelde (raai 1 t/m 5) een andere waarde geldt dan voor het westelijk deel der Westerschelde (raai 6 t/m 11).

Tabel 5.2.1: Stabiliteit schuifspanning voor de Westerschelde bij gemiddeld getij en springtij-omstandigheden.

conditie	τ_s gemiddeld (N/m ²)	τ_s eb (N/m ²)		τ_s vloed (N/m ²)
	raai 1 t/m 11	raai 1 t/m 5	raai 6 t/m 11	raai 1 t/m 11
springtij	5,0	5,0	6,5	4,3
gemiddeld getij	3,9	4,0	4,9	3,3

De gevonden waarden van τ_s zijn voor eb hoger dan voor vloed; dit komt voornamelijk door de lagere waarden van C bij eb, die uit de gebruikte formulering voor C volgen.

Een andere mogelijkheid - in deze studie achterwege gelaten - is dat een andere formulering voor C wordt ingevoerd, waarbij verwacht wordt dat de Chezy-waarden bij eb hoger liggen dan de thans gevonden waarden.

5.2.2. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ als functie van doorstroomprofiel (A_c').

In tabel 5.2.2. worden de basisgegevens gepresenteerd van de verhouding:

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$$

Tabel 5.2.2: Basisgegevens van de parameter $\frac{Q_{\max}}{C/\tau_g/\rho g}$ (blad 1).

EB										
raai- nummer	jaar	ρ	g	ρg	τ_g	$Q_{\max}$	A'_c	$(v_{\text{vert}})_{\max}$	c	$\frac{Q_{\max}}{C/\tau_g/\rho g}$
		(kg/m ³)	(m ² /sec ²)	(kg/m ² sec ²)	(N/m ²)	(m ³ /sec)	(m ²)	(m/sec)	(m ² /sec ⁻¹)	(m ²)
1	1971	1013	9,81	9938	4,0	9,0	12600	0,71	39,0	11503
	1975	1013		9938		9,8	13030	0,75	39,6	12335
	1982	1013		9938		11,6	14445	0,80	40,3	14347
2	1972	1016		9967	4,0	13,1	16895	0,78	40,0	16348
3	1933/34	1017		9977	4,0	14,3	16663	0,86	41,1	17377
5	1963	1017		9977		16,3	16830	0,97	42,5	19154
	1980	1017		9977		17,3	16880	1,03	43,2	20000
	1937	1019		9996	4,0	24,5	34530	0,71	39,0	31404
6	1957	1019		9997		24,8	29800	0,83	40,8	30386
	1964	1019		9996		21,8	28610	0,76	39,8	27382
	1970	1019		9996		25,4	32485	0,78	40,0	31744
7	1975	1019		9996		22,4	30935	0,72	39,2	28566
	1981	1019		9996		23,2	35870	0,65	38,0	30520
	1932	1020		10006	4,0	35,0	44850	0,78	40,0	43763
9	1957	1020		10006		27,8	41879	0,66	38,2	36398
	1968	1020		10006		34,0	43150	0,79	40,1	42407
	1972	1020		10006		33,2	43150	0,77	39,9	41617
10	1978	1020		10006		34,7	42700	0,81	40,5	42852
	1961	1021		10016	4,9	46,0	47850	0,96	42,4	49050
	1974	1021		10016		47,0	49240	0,95	42,3	50235
11	1982	1021		10016		51,0	50570	1,01	43,0	53623
	1960	1022		10026	4,9	61,3	72470	0,85	40,9	67796
	1979	1022		10026		70,0	76030	0,92	41,9	75570
12	1958	1022		10026	4,9	66,4	76305	0,87	41,3	72725
	1971	1022		10026		70,8	77775	0,91	41,8	76617
	1932	1022		10026	4,9	76,3	86250	0,89	41,5	83165
13	1964/66	1022		10026		77,6	79938	0,97	42,6	82398
	1975	1022		10026		78,3	79125	0,99	42,8	82964
	berekend	1022		10026	4,9 (4,25)	92,4	121000	0,78	42,8	97655 (104857)
	berekend	1022		10026	4,9 (3,77)	107,0	154000	0,70	42,8	113085 (128924)

Tussen haakjes de gecorrigeerde waarden met betrekking tot de invloed van golven.
Voor symbolenlijst blz 36.

Tabel 5.2.2: Basisgegevens van de parameter $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{t_g}/pg}$ (blad 2).

VLOED										
raai- nummer	jaar	ρ	g	pg	t_s	$Q_{\max}$	A_c'	$(v_{\text{vert}})_{\max}$	c	$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{t_s}/pg}$
		(kg/m ³)	(m ³ /sec ²)	(kg/m ² sec ²)	(N/m ²)	(m ³ /sec)	(m ²)	(m/sec)	(m ³ /sec ⁻¹)	(m ²)
1	1971	1013	9,81	9938	3,3	13,3	15660	0,85	52,6	13876
	1975	1013		9938		14,4	16770	0,86	52,9	14938
	1982	1013		9938		15,2	17675	0,86	52,9	15768
2	1972	1016		9967	3,3	20,4	22835	0,89	53,9	20800
3	1933/34	1017	9977	21,1		24263	0,87	53,2	21808	
5	1963	1017	9977	26,4	21750	1,21	62,4	23263		
	1980	1017	9977	27,9	25620	1,09	59,3	25870		
	1937	1019	9996	33,2	39650	0,84	52,3	34938		
	1957	1019	9997	39,0	35560	1,10	59,5	36075		
	1964	1019	9996	36,1	34370	1,05	58,3	34080		
	1970	1019	9996	46,3	36965	1,25	63,4	40193		
	1975	1019	9996	37,5	37015	1,01	57,3	36019		
	1981	1019	9996	43,6	41310	1,06	58,4	41089		
	1932	1020	10006	46,0	49850	0,92	54,8	46268		
	1957	1020	10006	44,7	46929	0,95	55,6	44313		
6	1968	1020	10006	48,3	48250	1,00	56,9	46789		
	1972	1020	10006	45,3	48250	0,94	55,2	45234		
	1978	1020	10006	57,8	47200	1,23	62,7	50812		
	1961	1021	10016	62,5	51230	1,22	62,6	55004		
	1974	1021	10016	67,3	53140	1,27	63,7	58206		
	1982	1021	10016	64,4	54730	1,18	61,5	57690		
9	1960	1022	10026	83,9	87350	0,96	55,8	82877		
10	1979	1022	10026	91,5	91890	1,00	56,8	88793		
	1958	1022	10026	87,0	87735	0,99	56,7	84575		
	1971	1022	10026	96,6	90475	1,07	58,7	90708		
11	1932	1022	10026	93,9	93250	1,01	57,1	90643		
	1964/66	1022	10026	101,4	89938	1,13	60,3	92689		
12	1975	1022	10026	109,2	89125	1,23	62,7	95998		
	berekend	1022	10026	138,0	139720	1,02	62,7	121316 (131469)		
13	berekend	1022	10026	170,0	180320	0,89	62,7	149447 (173445)		

Tussen haakjes de gecorrigeerde waarden met betrekking tot de invloed van golven.

Voor symbolenlijst blz 36.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 20

De dichtheid van het water (ρ), gegeven in deze tabel (5.2.2), is ontleend aan [8].

De verhouding

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$$

als functie A_c' is op de bijlagen 16 en 17 uitgezet voor respectievelijk eb en vloed. De waarde van τ_s is hierbij bepaald op zodanig wijze dat voldaan wordt aan de betrekking

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}} = A_c'$$

De opvallende hoge correlatiecoëfficiënten (eb: 0,995, vloed: 0,994) tonen aan dat deze parameters zeer goed correleren voor de gevonden waarden τ_s . Deze blijken voor de Westerschelde weinig te variëren. Bij de correlatieberekeningen zijn de raaien 12 en 13, die in de Mond van de Westerschelde liggen, buiten beschouwing gelaten. In deze raaien komt het effect van de golven op de maatgevende schuifspanning tot uiting. In par. 5.4 wordt hierop nog nader ingegaan.

Gegevens betreffende de eb- en vloedgeulen afzonderlijk worden gegeven in tabel 5.2.3.

De relatie

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$$

versus A_c voor resp. de eb- en vloedgeulen is uitgezet op bijlage 18. De waarden van τ_s welke gevonden werden voor de eb- en vloedgeulen (zie tabel 5.2.3.) blijken niet gelijk te zijn aan de waarden die voor de gehele Westerschelde gevonden werden.

Uit de gevonden relaties (bijlage 16, 17 en 18) blijkt dat de verhouding

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$$

zeer goed bruikbaar is als stabiliteitsparameter voor de Westerschelde.

Tabel 5.2.3: Getijparameters van de eb- en vloedgeulen Westerschelde (blad 1).

reei-nummer	naam geul	jaar	Ebgeulen							
			EV	A _c	(v _{vert}) _{max}	Q _{max}	C	τ _s	ρg	Q _{max} $\frac{Q_{max}}{C \sqrt{\tau_s / \rho g}}$
			(10 ⁶ m ³)	(m ²)	(m/s)	(m ³ /sec)	(m ³ /sec ⁻¹)	(N/m ²)	(kg/m ² sec ²)	(m ²)
1	Vaarwater boven Bath	1971	139,4	11750	0,77	9,0	39,8	4,9	9938	10184
		1975	156,9	12125	0,82	9,9	40,5			11009
		1982	169,5	12650	0,82	10,4	40,6			11536
2	Nauw van Bath	1972	126,6	9110	0,82	7,5	40,6		9967	8331
3	Zuidergat	1933/34	182,0	11788	0,97	11,4	42,5		9977	12104
		1963	181,6	10750	1,01	10,9	43,1			11412
		1980	214,0	12230	1,10	13,5	44,1			13813
5	Zuidergat	1937	158,3	13313	0,69	9,2	38,7		9996	10737
		1957	182,4	10934	0,90	9,8	41,6			10640
		1964	188,4	12585	0,82	10,3	40,6			11458
		1970	219,1	14190	0,87	12,4	41,3			13560
		1975	219,3	16950	0,79	13,4	40,2			15055
6	Middelgat	1981	247,4	19875	0,75	14,9	39,6		10006	16994
		1932	381,0	22390	1,06	23,8	43,6			24667
		1957	325,2	23365	0,77	18,0	39,9			20386
		1968	330,2	22250	1,10	24,4	44,0			25059
		1972	280,2	22100	0,80	17,6	40,3			19735
		1978	295,6	20200	0,87	17,6	41,3		10016	19257
7	Pas van Terneuzen	1961	373,4	22700	1,06	24,0	43,6			24887
		1974	324,5	21590	1,02	22,1	43,2			23129
		1982	379,4	22130	1,09	24,2	44,0			24866
9	Honte	1960	576,9	46040	0,92	42,3	41,9		10026	45666
10	Vaarwater langs Hoofd- plaat	1958	151,6	10700	1,03	11,0	43,2		10026	11517
		1971	128,4	9500	1,03	9,8	43,3			10238
		1932	260,3	21000	0,81	17,1	40,5		10026	19099
11	Wielingen	1964	187,2	16375	0,73	11,9	39,2			13731

Voor symbolenlijst zie blz 36.

Tabel 5.2.3: Getijparameters van de eb- en vloedgeulen Westerschelde (blad 2).

raai- nummer	naam geul	jaar	Vloedgeulen							
			FV	A _c	(v _{vert}) _{max}	Q _{max}	C	τ _s	ρg	
			(10 ⁶ m ³)	(m ²)	(m/s)	(m ³ /sec)	(m ^{1/2} /sec ⁻¹)	(N/m ²)	(kg/m ² sec ²)	
2	Schaar v.d. Noord	1972	140,9	7785	1,73	13,5	74,0	3,9	9967	9223
3	Zimmermangeul	1933/34	61,0	4875	1,21	5,9	62,4		9977	4782
		1963	62,0	3020	2,32	7,0	85,2			4156
		1980	62,0	4550	1,67	7,6	72,8			5280
5	Schaar van Waarde	1937	234,0	19625	1,05	20,6	58,2		9996	17919
		1957	259,1	18868	1,42	26,9	67,5			20176
		1964	225,5	16025	1,40	22,5	67,0			17002
		1970	258,8	16375	1,66	27,1	72,5			18924
		1975	201,1	13025	1,59	20,7	71,1			14740
		1981	208,1	14075	1,74	24,5	74,2			16716
6	Gat van Ossenisse	1932	239,0	17750	0,99	17,5	56,5		10006	15689
		1957	222,0	16445	1,19	19,5	61,7			16008
		1968	254,0	18800	1,27	23,9	63,8			18975
		1972	274,0	18950	1,26	23,8	63,5			18985
		1978	307,2	19000	1,66	31,5	72,5			22007
7	Everingen	1961	365,8	23800	1,33	31,6	65,2		10016	24561
		1974	429,9	26350	1,52	40,0	69,5			29167
		1982	445,7	27400	1,31	36,0	64,9			28111
9	Schaar v.d. Spijkerplaat	1960	235,9	18030	1,23	22,2	62,9		10026	17895
10	Honte	1958	874,6	66875	1,12	75,0	60,1		10026	63273
		1971	874,6	68275	1,23	83,9	62,8			67738
11	Sardijngeul	1932	126,0	8500	1,04	8,8	57,9		10026	7706
		1964	104,5	8000	1,00	8,0	56,9			7129
	Wielingen	1932	778,0	56750	1,23	70,0	62,9		10026	56426
		1966	871,4	57562	1,42	81,5	67,2			61492

Voor symbolenlijst zie blz 36.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
datum: november 1983
bladnr: 21

5.3. Vergelijking met de resultaten van Bruun en Gerritsen.

In [2] publiceerden Bruun en Gerritsen reeds resultaten betreffende de bruikbaarheid van de maatgevende schuifspanning τ_s als stabiliteitsparameter. Deze resultaten te vergelijken met hetgeen thans gevonden is voor de Westerschelde lijkt zinvol. Een tweetal tabellen uit [2] zijn voor deze vergelijking van belang.

Tabel 5.3.1 (tabel 7 uit [2]): Stabiliteitsschuifspanning voor zee-
gaten gebaseerd op springtij-omstan-
digheden.

conditie	τ_s (N/m ²)
heavier littoral drift and sediment load	5,0
medium conditions of littoral drift and sediment load	4,5
lighter littoral drift and sediment load	3,5

Wanneer we aannemen dat voor de Westerschelde gemiddelde condities gelden met betrekking tot littoral drift en sedimenttransport dan blijkt dat de τ_s welke geldt voor de vloed (zie tabel 5.2.1) - deze is namelijk het meest representatief - goed correspondeert met hetgeen door Bruun en Gerritsen werd gevonden (tabel 5.3.1).

In [2] zijn eveneens waarden van τ_s gegeven als functie van verschillende Ω/M -waarden. Hierin is Ω het vloedvolume (FV) of het ebvolume (EV) en M het totale zandtransport langs de kust per jaar. Voor de Mond van de Westerschelde is het totale zandtransport langs de kust (de som van het noordwaarts en zuidwaarts gerichte zandtransport) geschat op 1 miljoen m³ per jaar.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 22

Tabel 5.3.2. (tabel 10 uit [2]): Gemiddelde τ_s waarden als functie van verschillende Ω/M waarden.

Ω/M	≥ 600	$150 > \frac{\Omega}{M} < 600$	≤ 150
$\tau_s \text{ N/m}^2$	4,6	5,0	5,1

Gezien het feit dat de verhouding Ω/M van de Westerschelde groter is dan 600 en τ_s voor de vloed 4,3 N/m² bedraagt, kan worden geconstateerd dat dit goed overeenkomt met de resultaten uit [2].

5.4. Het effect van golven op de maatgevende schuifspanning.

Bij de aanwezigheid van golven worden de schuifspanningen aan de bodem bepaald door de gecombineerde invloed van stroom en golven. Het is te verwachten dat waar deze situatie optreedt de maatgevende schuifspanning wordt beïnvloed.

Om de invloed van golven op de maatgevende schuifspanning na te gaan maken we gebruik van de formule van Bijker (1967) [10]. Het kan worden opgemerkt dat het zandtransport in de Westerschelde overwegend uit zwevend transport bestaat; echter blijft er ten allen tijde een relatie met het bodemtransport.

Het effect van golven op de maatgevende schuifspanning komt sterk uit bij de raaien 12 en 13 in de Mond van de Westerschelde (zie bijlage 16 en 17). De maatgevende schuifspanning welke geldt voor de Westerschelde zou derhalve voor de Mond van de Westerschelde wellicht een correctie moeten ondergaan.

De bodemtransportformule van Bijker (1967) luidt:

$$S_x = B \cdot D \cdot \frac{v}{C} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta D C^2}{\mu \cdot v^2 \{1 + \frac{1}{2} (\xi \frac{u_o}{v})^2\}}} \quad (5.4.1)$$

ofwel:

$$S_x = B \cdot D \cdot \frac{\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}}{C} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta \cdot D \cdot \rho g}{\mu \cdot \tau_c \{1 + \frac{1}{2} (\xi \frac{u_o}{v})^2\}}} \quad (5.4.2)$$

waarin:

- B = een dimensieloze coëfficiënt
- C = de Chezy-coëfficiënt
- D = de gemiddelde korreldiameter
- g = de versnelling van de zwaartekracht
- S_x = het bodemtransport
- v = gemiddelde stroomsnelheid over het dwarsprofiel
- u_o = de maximale orbitale snelheid bij de bodem ten gevolge van de golfbeweging
- Δ = de relatieve sedimentdichtheid gedefinieerd als $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$
- μ = de ribbelcoëfficiënt gedefinieerd als $\mu = \left(\frac{C}{18 \log 12 \frac{R}{K}} \right)^2$

waarin:

- C = Chezy-coëfficiënt
- R = de hydr. straal
- K = D_{90}
- ξ = de factor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen, gedefinieerd als: $\frac{P_b \cdot \kappa \cdot C}{g^{\frac{1}{2}}}$

waarin:

$$P_b = 0,45$$

$$\kappa = 0,4$$

C = Chezy-coëfficiënt

ρ = de dichtheid van het water

ρ_s = de dichtheid van het sediment

τ_c = de bodemschuifspanning door stroom alleen

Stellen we het transport met golven (schuifspanning τ_s') gelijk aan het transport zonder golven (schuifspanning τ_s) dan geldt:

$$\sqrt{\tau_s} e^{\frac{-0,27\Delta D\rho g}{\mu\tau_s}} = \sqrt{\tau_s'} e^{\frac{-0,27\Delta D\rho g}{\mu\tau_s' \{1 + \frac{1}{2}\xi^2 (\frac{U_0}{v})^2\}}} \quad (5.4.3)$$

De waarden van τ_s' kunnen nu uit τ_s worden berekend. Deze worden gegeven in tabel 5.4.1. voor zowel eb als vloed.

Tabel 5.4.1: Schuifspanning in de Mond van de Westerschelde zonder invloed van golven (τ_s) en met invloed golven (τ_s').

Raai-nummer	τ_s eb (N/m ²)	τ_s' eb (N/m ²)	τ_s vloed (N/m ²)	τ_s' vloed (N/m ²)
12	4,9	4,25	3,3	2,81
13	4,9	3,77	3,3	2,45

De aan de hand van τ_s' gecorrigeerde waarden van de verhouding:

$$\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s'}/\rho g}$$

van de raaien 12 en 13 zijn eveneens gegeven in tabel 5.2.2. en uitgezet op de bijlagen 16 en 17. Geconcludeerd mag worden dat

behoort bij: nota

WWKZ nr. 83.V008

datum: november 1983

bladnr: 25

deze gecorrigeerde waarden goed aansluiten bij de relatie die gevonden werd voor de Westerschelde. De eb vormt hierop een uitzondering, hetgeen ook reeds het geval was bij de eerder beschouwde relaties.

6. RELATIE TUSSEN GETIJVOLUME EN DOORSTROOMPROFIEL.

6.1. Westerschelde.

Door Haring is in het verleden een vrij uitvoerige studie [3] verricht naar de relatie tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel van verschillende zeegaten. De Westerschelde bleef hierbij vrijwel geheel buiten beschouwing. Slechts een enkel gegeven uit 1958 werd er in opgenomen.

Aan de hand van de gegevens uit tabel 2.1 kon thans de relatie tussen getijvolume en doorstroomprofiel specifiek voor de Westerschelde worden gelegd (bijlage 19 en 20 respectievelijk ebvolume en vloedvolume). De correlatiecoëfficiënten (ebvolume 0,991 en vloedvolume 0,988) tonen aan dat het verband tussen deze parameters zeer goed genoemd mag worden. De vergelijkingen van de lijnen geven weer dat het verband tussen ebvolume en doorstroomprofiel nagenoeg identiek is aan het verband tussen het vloedvolume en het doorstroomprofiel. Dit is te verwachten daar het vloedvolume en ebvolume weinig van elkaar verschillen, doordat de rivierafvoer gering is. Volledigheidshalve geeft bijlage 21 de relatie tussen het totale getijvolume (eb + vloed) en het doorstroomprofiel.

6.2. Mond Westerschelde.

De raaien 12 en 13 vertonen wat betreft de relatie getijvolume versus doorstroomprofiel duidelijk een ander beeld dan de Westerschelde (raai 1 t/m 11). Uit de bijlagen 19, 20 en 21 wordt dit duidelijk. Een en ander komt ook tot uiting in de gemiddelde stroomsnelheid die in raai 12 en 13 respectievelijk 0,48 en 0,44 m/s bedraagt.

6.3. Eb- en vloedgeulen Westerschelde.

De relatie tussen getijvolume en doorstroomprofiel is op bijlage 22 apart uitgezet voor respectievelijk de eb- en vloedgeulen van de Wes-

- terschelde -

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 27

terschelde. Deze relaties corresponderen in sterke mate met de relaties die voor de gehele Westerschelde gelden.

6.4. Vergelijking met de resultaten van Haring.

Een der belangrijkste resultaten van de studie van Haring vormt de relatie die hij vond tussen het getijvolume en het doorstroomprofiel voor zeegaten en voor geulen in zeegaten. Bijlage 23, ontleend aan [3], geeft deze relaties.

6.4.1. De relatie doorstroomprofiel (Ac) versus getijvolume (TV) voor zeegaten.

Aan de hand van de thans ter beschikking staande gegevens (tabel 2.1) kan worden nagegaan in hoeverre deze relaties ook gelden voor de Westerschelde. Met het oog hierop zijn in het door Haring gevonden verband (bijlage 23) gegevens geplot van raai 10 en 11. Het gegeven van de Westerschelde dat reeds door Haring in het verband was opgenomen (D) heeft eveneens betrekking op het in 1958 in raai 10 gemeten debiet. Het verschil wordt veroorzaakt door het feit dat destijds de debieten nog werden herleid naar het standaardgetij 1927.

Uit een onderlinge vergelijking blijkt dat de relatie welke geldt in raai 10 van de Westerschelde goed overeenkomt met het door Haring gevonden verband. De relatie die geldt in raai 11 wijkt daarentegen enigszins af. Verwonderlijk is dit niet, gelet op het beeld dat de bijlagen 5 en 6 tonen. De oorzaak moet worden gezocht in de riviertopografie. Het doorstroomprofiel van raai 11 is relatief klein, hetgeen tot gevolg heeft dat de gemiddelde stroomsnelheid relatief hoog is.

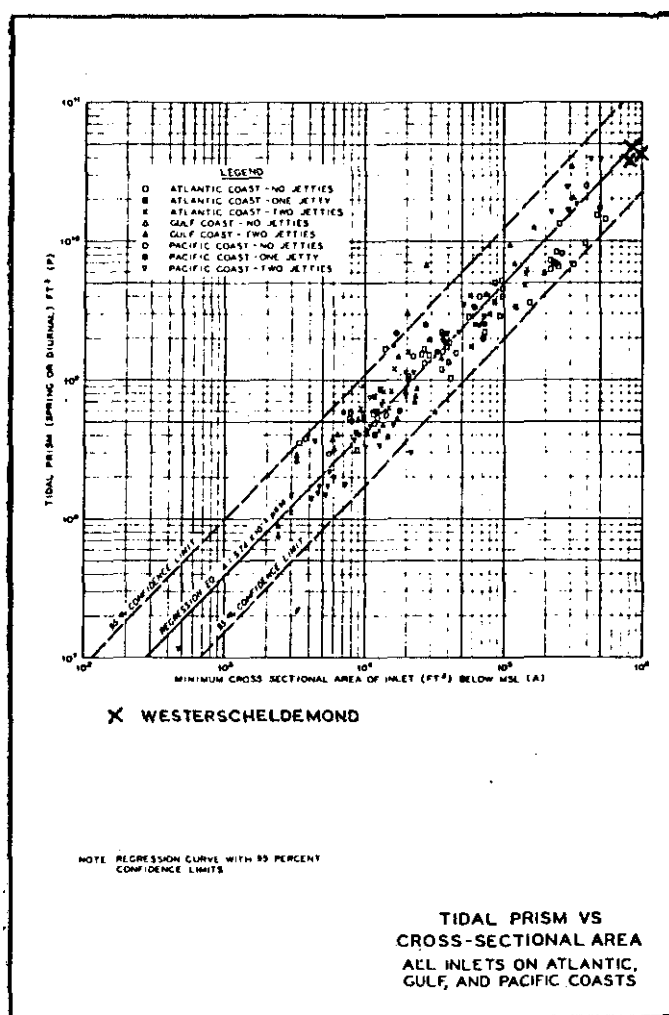
behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 28

6.4.2. De relatie doorstroomprofiel (Ac) versus getijvolume (TV) voor geulen in zeegaten.

Een aparte relatie (zie bijlage 23) tussen het doorstroomprofiel en getijdebiet werd door Haring opgesteld voor geulen in zeegaten. Hierin zijn eveneens de relaties geplot die gelden voor de geulen in raai 11, te weten: de Wielingen en de Sardijngeul. De relatie van de Honte, welke reeds was opgenomen, blijkt nogal af te wijken. Vastgesteld kan worden dat de relaties van de Sardijngeul en de Wielingen beide redelijk goed corresponderen met het door Haring gevonden verband voor geulen in zeegaten. De gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) blijkt in deze geulen eveneens $\pm 0,60$ m/s te bedragen.

6.5. Vergelijking met resultaten van Bruun.

Door Bruun wordt in [11] een verband tussen doorstroomprofiel en getijdebiet gepresenteerd dat geldt voor alle zeegaten aan de Atlantische-, Gulf- en Pacifickust. Figuur 2 (figuur 5.4.1.3 uit [11]) toont dit verband. De relatie die geldt voor de Westerschelde (raai 11) is ter vergelijking hier in geplot. Geconcludeerd mag worden dat de relatie welke gevonden werd voor de Westerschelde goed correspondeert met de door Bruun gevonden relatie.



Figuur 2 (figuur 5.4.1.3 uit [11])

Verband tussen $TV/2$ en A_c voor estuariummondingen langs de Atlantische en Stille Oceaan.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 30

7. CONCLUSIES.

- 1) De volgorde die de relatie aangeeft waarmee de stabiliteit van de doorstroomprofielen in de Westerschelde het meest nauwkeurig kan worden beschreven luidt:
 1. A_c ' versus $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ ($\gamma_{eb} = 0,995$; $\gamma_{vloed} = 0,994$)
 2. A_c versus EV of FV ($\gamma_{EV} = 0,991$; $\gamma_{FV} = 0,988$)
 3. A_c versus $Q_{\max}$ ($\gamma_{eb} = 0,985$; $\gamma_{vloed} = 0,978$)
- 2) Voor de vloedgeulen afzonderlijk geldt eveneens de volgorde uit conclusie 1. Voor de ebgeulen de volgorde: 1-3-2.
- 3) De relaties die gelden voor de geulen in de Westerschelde komen in sterke mate overeen met de relaties die gelden voor de Westerschelde in haar geheel.
- 4) De relatie tussen doorstroomprofiel en getijvolume die geldt voor raai 10 van de Westerschelde correspondeert met de relatie welke door Haring werd gevonden voor zeegaten in het Deltagebied. Voor raai 11 gaat de betrekking niet op. Wel past raai 11 in de relatie gevonden door Bruun voor alle zeegaten aan de Atlantische-, Golf- en Pacifickust.
- 5) Alleen voor $Q_{\max}$ (vloed) geldt, dat de relaties voor de raaien 12 en 13 in de Mond van de Westerschelde corresponderen met de relatie voor de overige delen van het estuarium. Voor de andere parameters vallen deze raaien (12 en 13) buiten de relaties voor de Westerschelde.
 De raaien 12 en 13 vertonen eveneens enige afwijking met de relaties gevonden door Haring.

- 6) De afwijkingen voor de raaien 12 en 13 kunnen verklaard worden uit de invloed van de golven op het zandtransport. Indien de τ_s benadering wordt gebruikt en hierin voor de invloed van golven wordt gecorrigeerd, passen de relaties voor de raaien 12 en 13 wel weer in de voor het gehele estuarium gevonden betrekkingen.
- 7) De gevonden waarden voor τ_s voor de Westerschelde komen voor vloed goed overeen met de waarden gegeven door Bruun en Gerritsen [2]. Voor eb is de τ_s waarde groter. In de beoordeling van de gevonden waarden van τ_s moet worden bedacht dat deze in belangrijke mate beïnvloed worden door de waarde van de Chezy-coëfficiënt. De werkelijke waarden van C kunnen afwijken van de gebruikte waarden.
- 8) De gevonden relaties hebben alle een correlatiecoëfficiënt tussen 0,95 en 0,99. Dit betekent dat de gevonden empirische relaties een betrouwbaar uitgangspunt vormen voor het bepalen van het effect van veranderingen (bijvoorbeeld drempelverruiming) op de profielen. Op basis van iteratieve berekeningen van de waterbeweging (met ééndimensionale of tweedimensionale modellen) kunnen de veranderingen van evenwichtsgeulprofielen daaruit worden afgeleid.

Literatuuropgave

- [1] O'Brien, M.P.
Estuary Tidal Prisms Related to Entrance Areas,
Civil Engineering, May 1931.
- [2] Bruun, P. & Gerritsen, F.
Stability of Coastal Inlets.
North-Holland Publishing Company,
Amsterdam 1960.
- [3] Haring, J.
De verhouding van getijvolume en doorstromingsprofiel in de zee-
gaten Haringvliet, Brouwershavensche Gat, Oosterschelde en in de
Mond van de Rotterdamsche Waterweg uit alle beschikbare waarnemingen
tot heden.
Rijkswaterstaat, Deltadienst Waterloopkundige Afdeling, Nota K-271.
(Opgenomen in Driemaandelijks Bericht Deltawerken, mei 1967, no. 40.)
- [4] Kreeke, J. v.d. & Haring, Jac.
Equilibrium flow areas in the Rhine - Meuse delta.
Coastal Engineering, 3 (1979) 97-111.
Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [5] Daamen, J.W.
Getijregime Westerschelde.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Adviesdienst Vlissingen.
Notitie WWKZ-83.V297.
- [6] Ronde, J. de
Changes of relative mean sea-level and of mean tidal amplitude along
the Dutch coast.
Opgenomen in: Seismicity and Seismic Risk in the Offshore North Sea
Area. Editors: A.R. Ritsema en A. Gürpınar.

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
datum: november 1983
bladnr: 33

- [7] Dronkers, J.J.
Research for the coastal area of the Delta region of the Netherlands, 1970.
Proc. 12th Coastal Eng. Conf., Washington, pp. 1783 - 1801.
- [8] Daamen, J.W. & Lefèvre, F.O.B.
Berekeningen naar het effect van verdiepingswerken en lozingen van het Zoommeer op de chloridegehalten op de Westerschelde.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Vlissingen.
Nota WWKZ-82.V009.
- [9] Beijl, P.R.
Bepaling van de nauwkeurigheid van zandtransportberekeningen met de methode Bijker-Einstein in de Westerschelde.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeerverslag (1977).
- [10] Bijker, E.W.
Some considerations about Scales for Coastal Models with Movable bed Doctorate Diss., Delft University of Technology (1967).
- [11] Bruun, P.
Stability of tidal inlets, theory and engineering.
Elsevier Scientific Publishing Company.
Amsterdam - Oxford - New York 1978.

Bijlagenlijst

bijlage nr.	omschrijving	tekening nr.
1	Verrichte debietmetingen 1932 - 1982.	A1-83.1475
2	Ontwikkeling van de doorstroomprofielen in de doorstroomprofielen in de debietraaien 1 t/m 11.	A3-83.1476
3	Verschillen tienjaarlijkse getijgemiddelden Terneuzen, Hansweert en Bath t.o.v. Vlissingen 1891/1900 - 1971/1980.	A2-83.1477
4	Verschillen jaarlijkse getijgemiddelden Terneuzen, Hansweert en Bath t.o.v. Vlissingen 1960 - 1980.	A2-83.1478
5	Variaties in doorstroomprofiel (A_c) en gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) langs de lengte-as van de Westerschelde (opn. 1970 - 1980).	A4-83.1479
6	Idem (opn. 1932 - 1980).	A4-83.1480
7	De maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) als functie van het doorstroomprofiel (A_c).	A4-83.1481
8	Variaties in doorstroomprofiel en max. stroomsnelheid ($v_{\max}$) langs de lengte-as van de Westerschelde.	A4-83.1482
9	Vloedvolumes en oppervlakten van de doorstroomprofielen van de diverse raaien uitgezet in procenten t.o.v. raai 11.	A4-83.1483

bijlage nr.	omschrijving	tekening nr.
10	Maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_c) eb.	A4-83.1484
11	Maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_c) vloed.	A4-83.1485
12	Maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_c') eb.	A4-83.1486
13	Maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_c') vloed.	A4-83.1487
14	Sinusoidaal maximum debiet ($\hat{Q}$) versus doorstroomprofiel (A_c).	A4-83.1488
15	Maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_c) eb- en vloedgeulen.	A4-83.1489
16	Relatie $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ versus A_c' (eb).	A4-83.1490
17	Relatie $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ versus A_c' (vloed).	A4-83.1491
18	Relatie $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ versus A_c voor eb- en vloedgeulen.	A4-83.1492
19	Ebvolume (EV) versus doorstroomprofiel (A_c).	A4-83.1493
20	Vloedvolume (FV) versus doorstroomprofiel (A_c).	A4-83.1494
21	Getijvolume (TV) versus doorstroomprofiel (A_c).	A4-83.1495

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

WWKZ nr. 83.V008

datum: november 1983

bladnr: 36

bijlage nr.	omschrijving	tekening nr.
22	Eb- en vloedvolume versus doorstroomprofiel van respectievelijk eb- en vloedgeulen.	A4-83.1496
23	Aan [3] ontleend verband tussen getijvolume en profieloppervlak, aangevuld met recentere gegevens van de Westerschelde.	A4-83.1497

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 37

Symbolenlijst

A_c	doorstroomoppervlakte	m^2
A_c'	doorstroomoppervlakte tijdens max. debiet	m^2
B	een dimensieloze coëfficiënt	
C	Chezy-coëfficiënt	$m^{1/2} s^{-1}$
D	korrelgrootte	m
EV	ebvolume	m^3
FV	vloedvolume	m^3
g	versnelling van de zwaartekracht	m^3/s^2
K	bodemruwheid	m
M	totale zandtransport langs de kust (littoral drift)	$m^3/jaar$
P_b	constante	
Q	debiet	m^3/s
$\hat{Q}$	sinusoidaal maximum debiet	m^3/s
Q_{max}	maximum debiet	m^3/s
R	hydraulische straal	m
S_x	sedimenttransport	m^3/m'
T	getijperiode	s
TV	getijvolume (eb- en vloedvolume)	m^3
t	tijd	s
$\hat{u}$	maximum getijsnelheid ($\hat{Q}/A_c$)	m/s
u_o	max. orbitale snelheid aan de bodem	m/s
v_{gem}	stroomsnelheid over het dwarsprofiel	m/s
$\bar{v}$	gemiddelde stroomsnelheid over het getij	m/s
v_{max}	maximum stroomsnelheid, gemiddeld over dwarsprofiel	m/s
v_{vert}	gemiddelde stroomsnelheid in verticaal	m/s
x	de coördinaat in de richting van de stroom	
Δ	relatieve dichtheid van het sediment $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$	
γ	correlatiecoëfficiënt	
κ	Von Kármán coëfficiënt	
μ	ribbelfactor	
ξ	factor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen	

behoort bij: nota WWKZ nr. 83.V008
 datum: november 1983
 bladnr: 38

Vervolg symbolenlijst:

π	constante = 3,1415926536	
ρ	dichtheid van het water	kg/m ³
ρ_s	dichtheid van het sediment	kg/m ³
τ	bodemschuifspanning	N/m ²
τ_c	bodemschuifspanning door de stroom alleen	N/m ²
τ_s	stabiliteitsschuifspanning	N/m ²
Ω	tidal prism (TV/2)	m ³

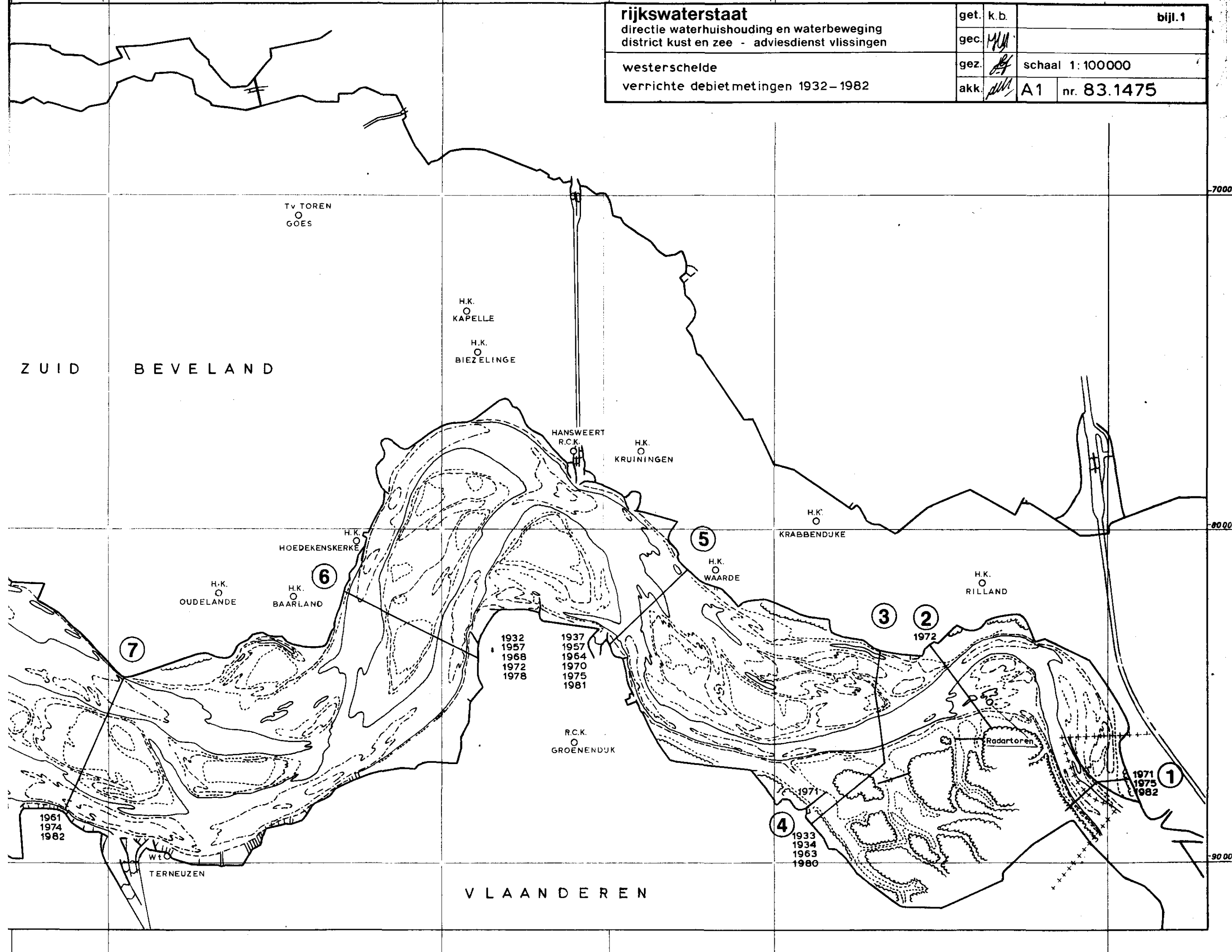
rijkswaterstaat

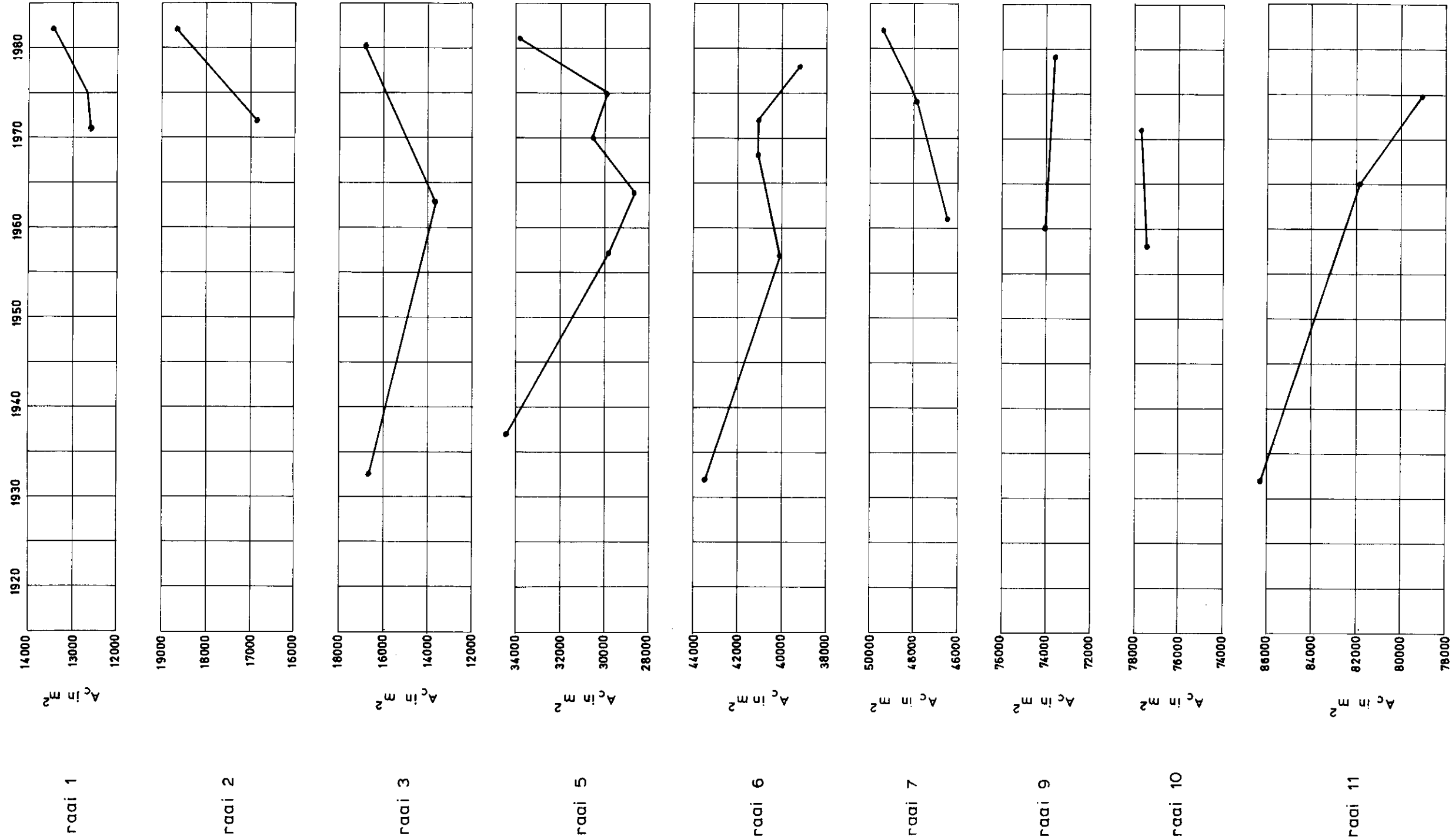
directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

get.	k.b.	bijl. 1	
gec.	<i>MJA</i>		
gez.	<i>AF</i>	schaal 1:100000	
akk.	<i>dui</i>	A1	nr. 83.1475

westerschelde

verrichte debietmetingen 1932-1982





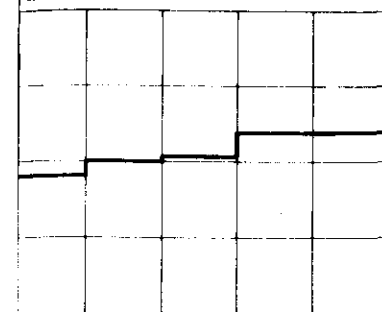
rijkswaterstaat		get.	k. b.	bijl. 2	
directie waterhuishouding en waterbeweging		gec.			
district kust en zee - adviesdienst vliissingen		gez.		schaal	
westerschelde		akk.		A 3	
ontwikkeling van de doorstroombrofielen in de				nr. 83.1476	
debietraaien 1 t/m 11					

lijkse getijgemiddelden in m

t.o.v. vliissingen

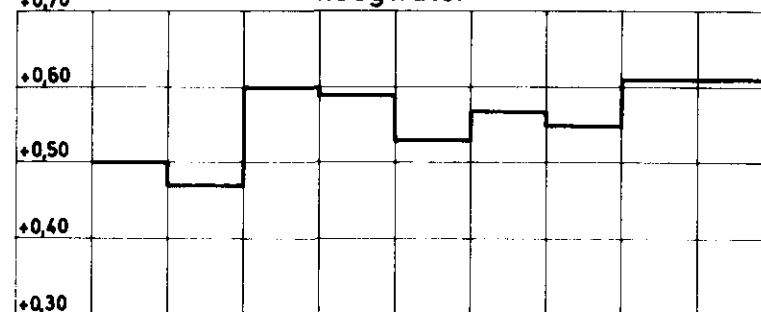
bath t.o.v. vliissingen

ater

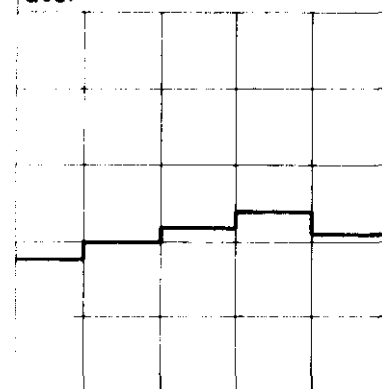


+0,70

hoogwater

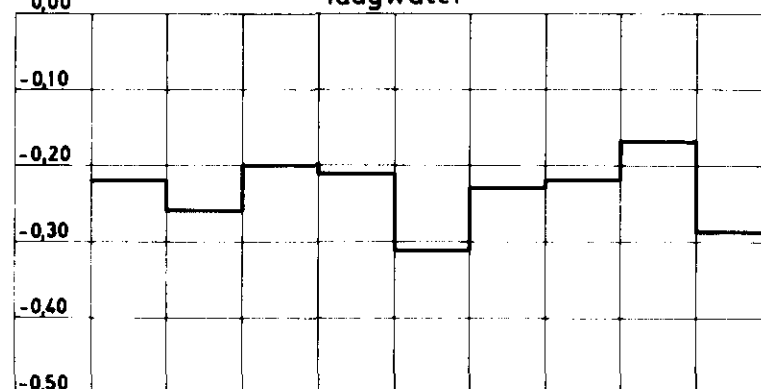


ater

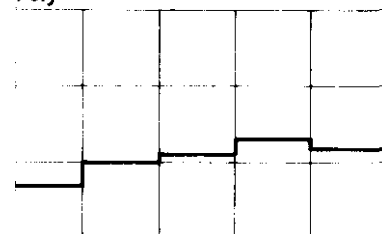


0,00

laagwater

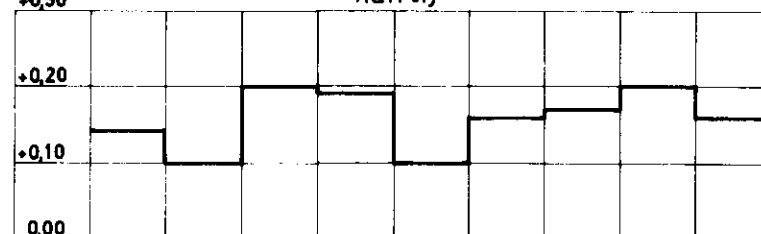


ftij

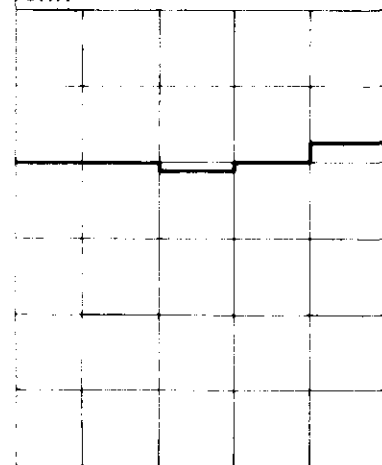


+0,30

halftij

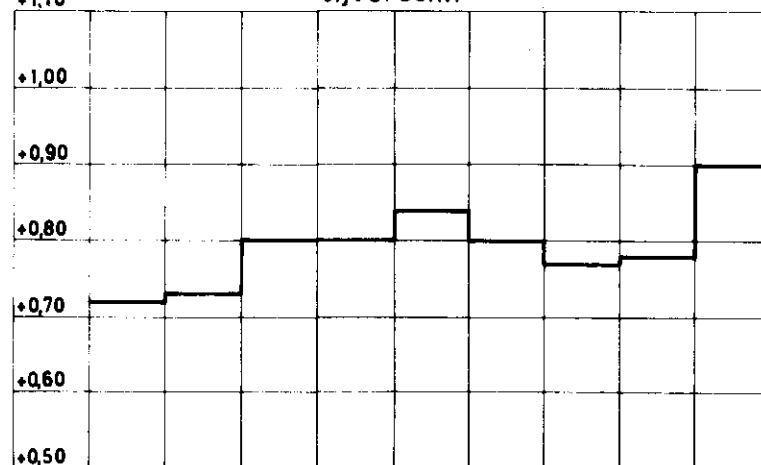


schil



+1,10

tijverschil



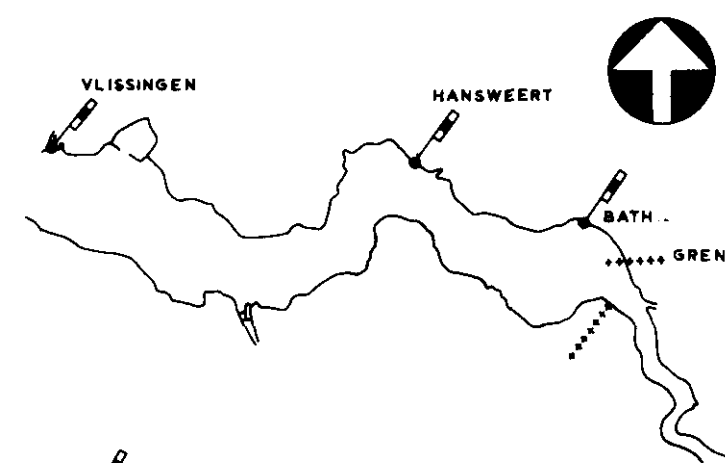
0 1940 1950 1960 1970 1980

1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980

toelichting:

de grafieken zijn samengesteld naar gegevens van:

— het "tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren" van de directie waterhuishouding en waterbeweging.



REG. PEILSCHAAL

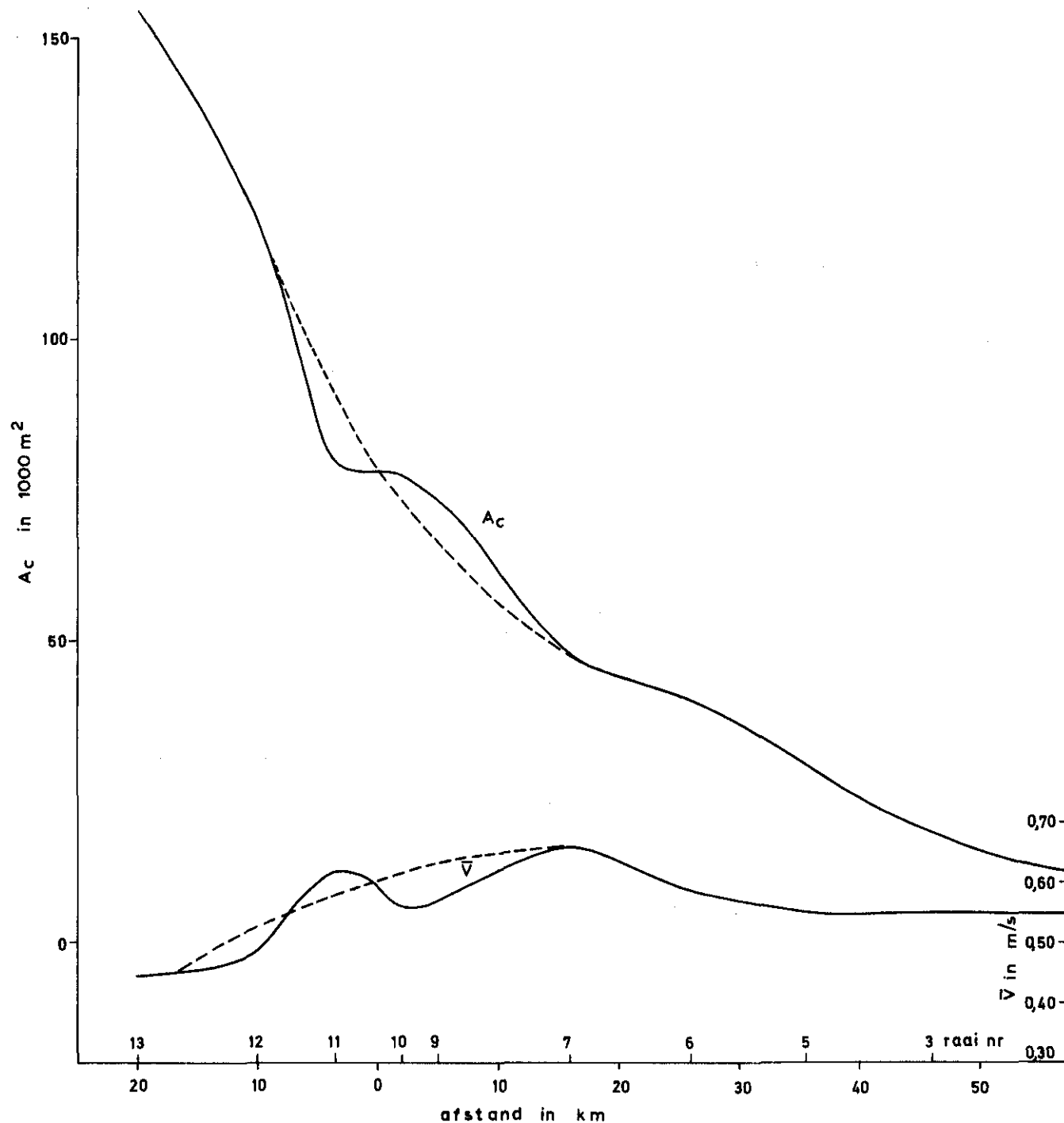
schaal 1 : 600 000

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
verschillen tienjaarlijkse getijgemiddelden
terneuzen, hansweert en bath
t.o.v. vliissingen 1891/1900 - 1971/1980

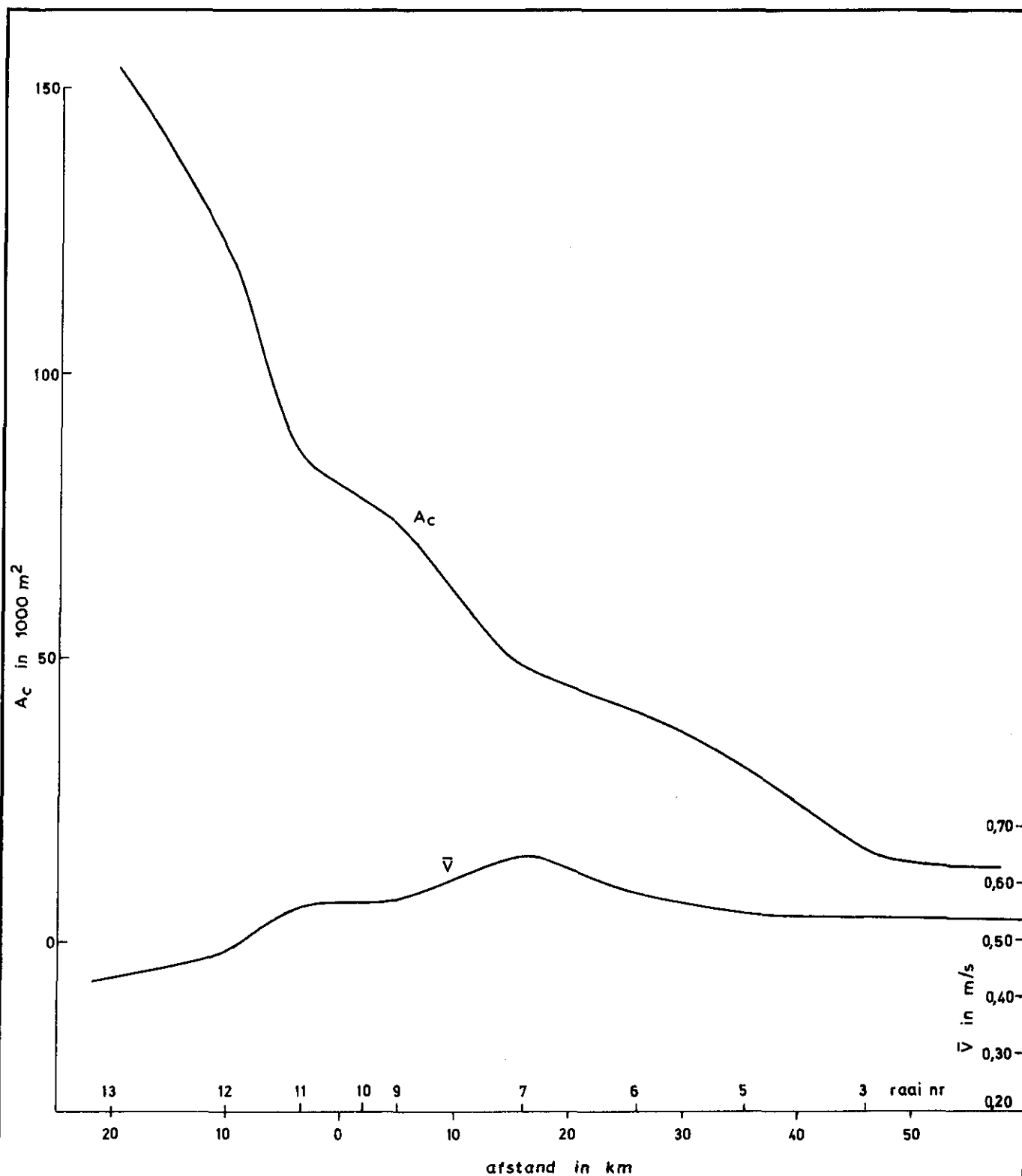
get.	k.b.	bijl. 3	
gec.	<i>[signature]</i>		
gez.	<i>[signature]</i>	schaal	
akk.	<i>[signature]</i>	A2	nr. 83.1477



toelichting

$\bar{V}$ is herleid naar gem. jaargetij
(opneming tussen 1970 - 1980)
het verloop van A_c en $\bar{V}$ is
gebaseerd op opnemingen
uit de jaren 1970 - 1980

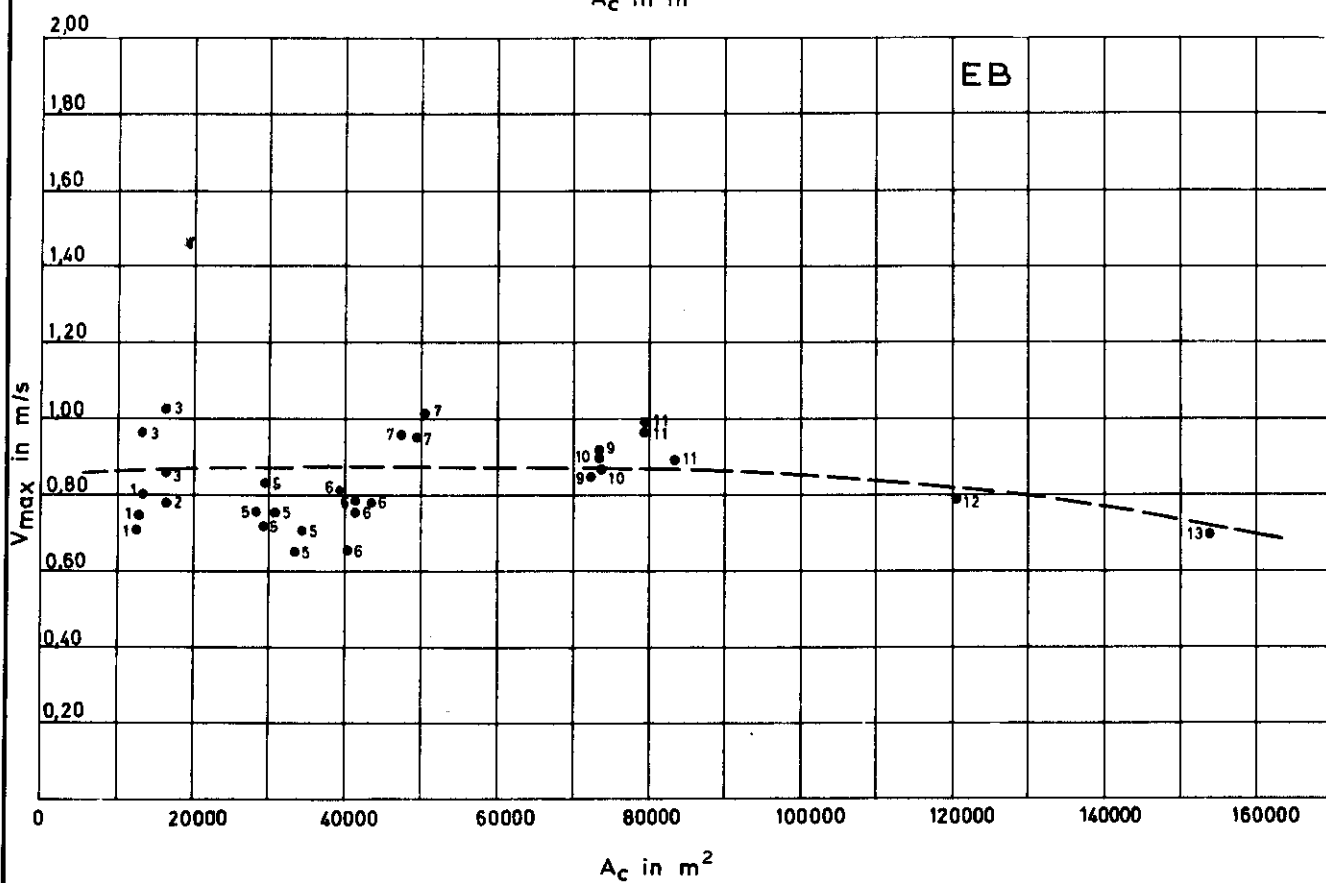
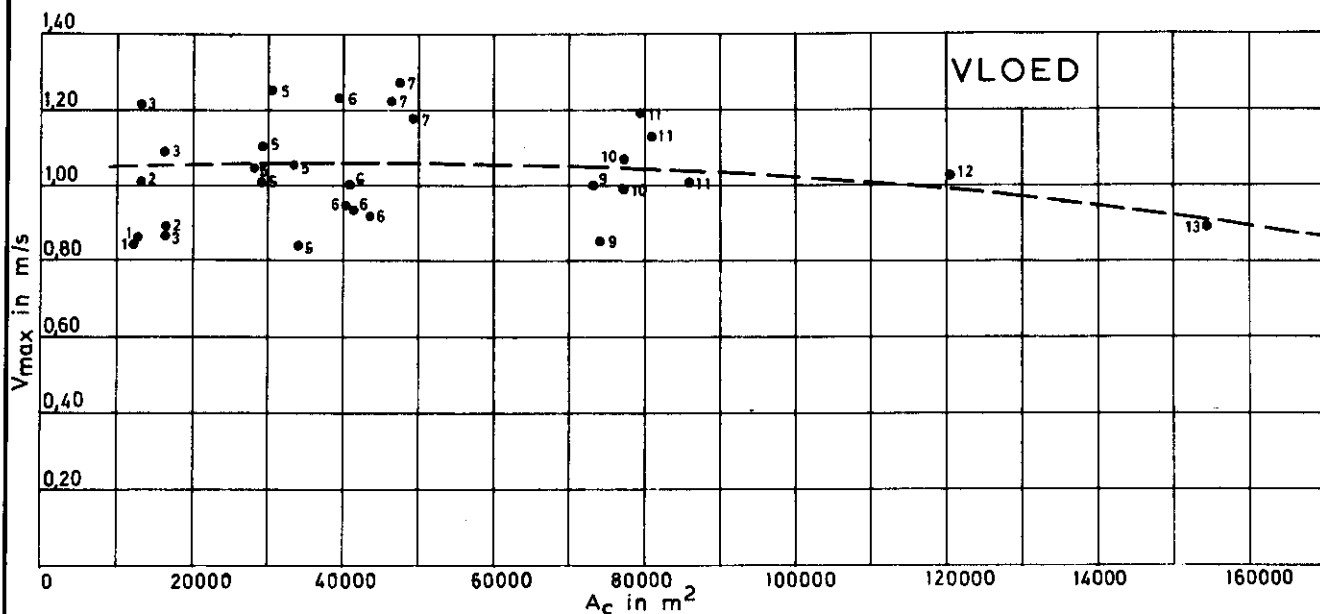
rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen	get.	k.b.	bijl. 5	
	gez.	<i>[handwritten]</i>		
westerschelde variaties in doorstroomprofiel (A_c) en gem. stroom- snelheid ($\bar{V}$) langs de lengteas v/d westerschelde	gez.	<i>[handwritten]</i>	schaal	
	akk.	<i>[handwritten]</i>	A 4	nr. 83.1479



toelichting

$\bar{V}$ is herleid naar gem. jaargetij
 het verloop van A_c en $\bar{V}$ is
 gebaseerd op opnemingen
 uit de jaren 1932-1980

rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen	get.	k.b.	bijl. 6	
	gec.	<i>[handwritten signature]</i>		
westerschelde variaties in doorstroomprofiel (A_c) en gem. stroom- snelheid ($\bar{V}$) langs de lengteas $\bar{V}$ d westerschelde	gez.	<i>[handwritten signature]</i>	schaal	
	akk.	<i>[handwritten signature]</i>	A 4	nr. 83.1480



N.B. de nummers hebben betrekking op de raaien

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde

de maximum stroomsnelheid (V_{max}) als
functie van het doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *gob*

gez. *db*

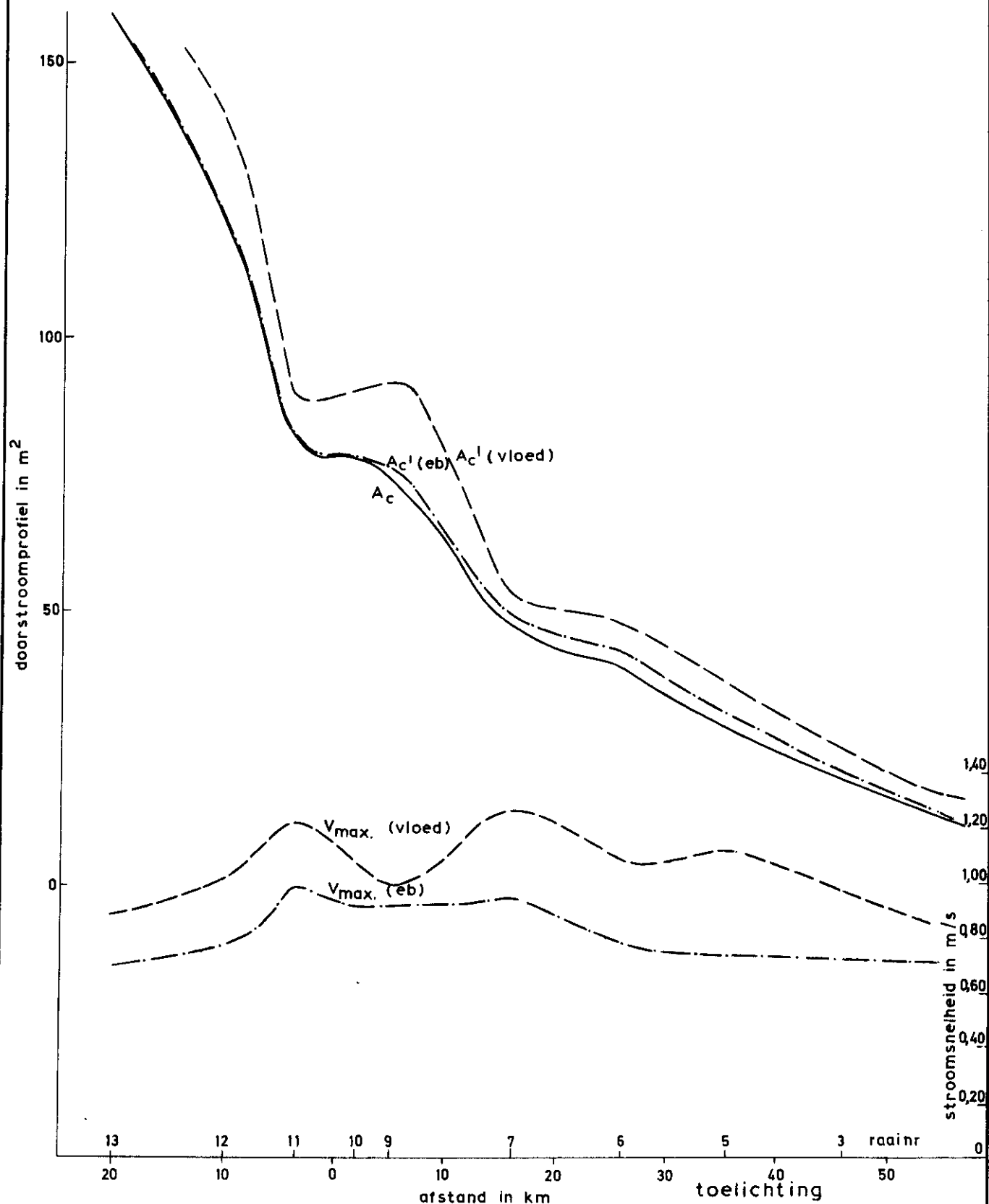
akk. *dm*

bijl. 7

schaal

A 4

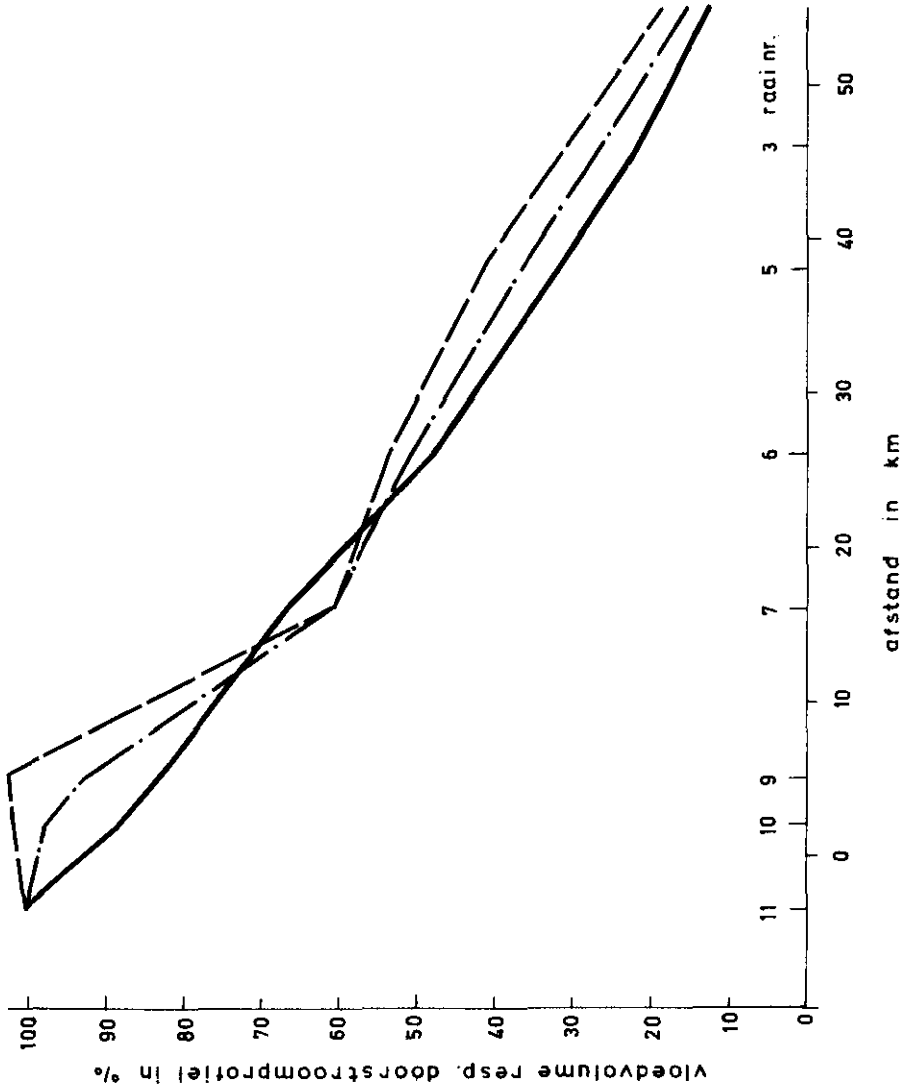
nr. 83.1481



$V_{max.}$ is herleid naar gem. jaargetij
het verloop van A_c , A_c' en $V_{max.}$ is
gebaseerd op opnemingen uit
de jaren 1970 - 1980

$$V_{max.} = \frac{Q_{max.}}{A_c}$$

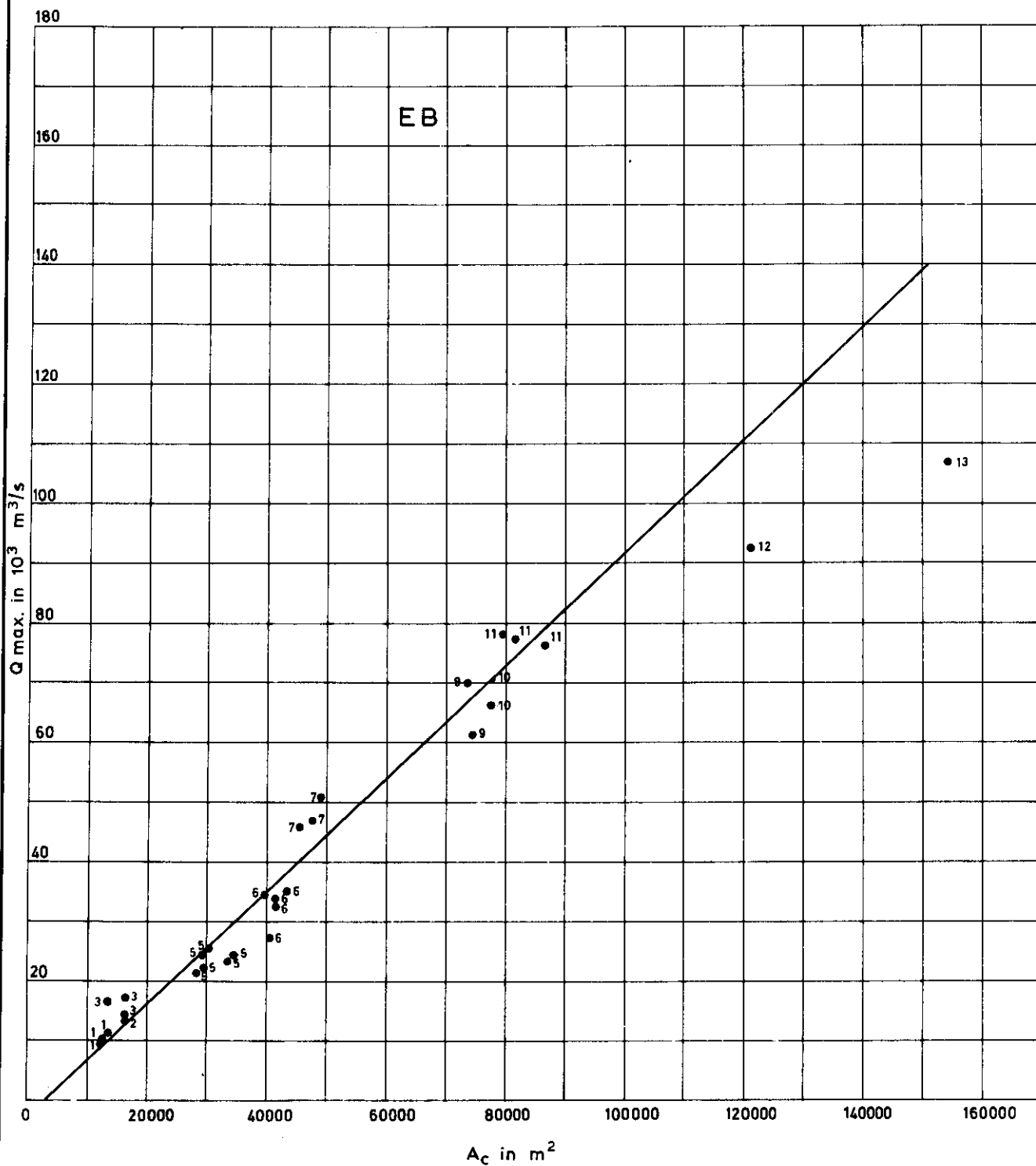
rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen	get.	k.b.	bijl. 8	
	gec.	<i>[signature]</i>		
westerschelde variaties in doorstroomprofiel en max. stroomsnelheid ($V_{max.}$) langs de lengteas V_d westerschelde	gez.	<i>[signature]</i>	schaal	
	akk.	<i>[signature]</i>	A 4	nr. 83.1482



toelichting

- vloedvolume in %, t.o.v. raai 11 volgens opnemingen 1971 - 1982
- . - de grootte van het doorstroomprofiel A_c in %, t.o.v. A_c van raai 11
- - - de grootte van het doorstroomprofiel A_c' in %, t.o.v. A_c' van raai 11

rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen westerschelde vloedvolumes en oppervlakten van de doorstroom - profielen van de diverse raaien uitgezet in procenten t.o.v. raai 11	get.	k.b.	bijl. 9	
	gec.	<i>[signature]</i>		
	gez.	<i>[signature]</i>	schaal	
	akk.	<i>[signature]</i>	A4	nr. 83.1483



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,985
 (uitgezonderd raji 12 en 13)
 $\sigma_{\text{res}} = 4060 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{max}} = 0,9412 A_c - 2735$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
 maximum debiet (Q_{max})
 versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

bijl. 10

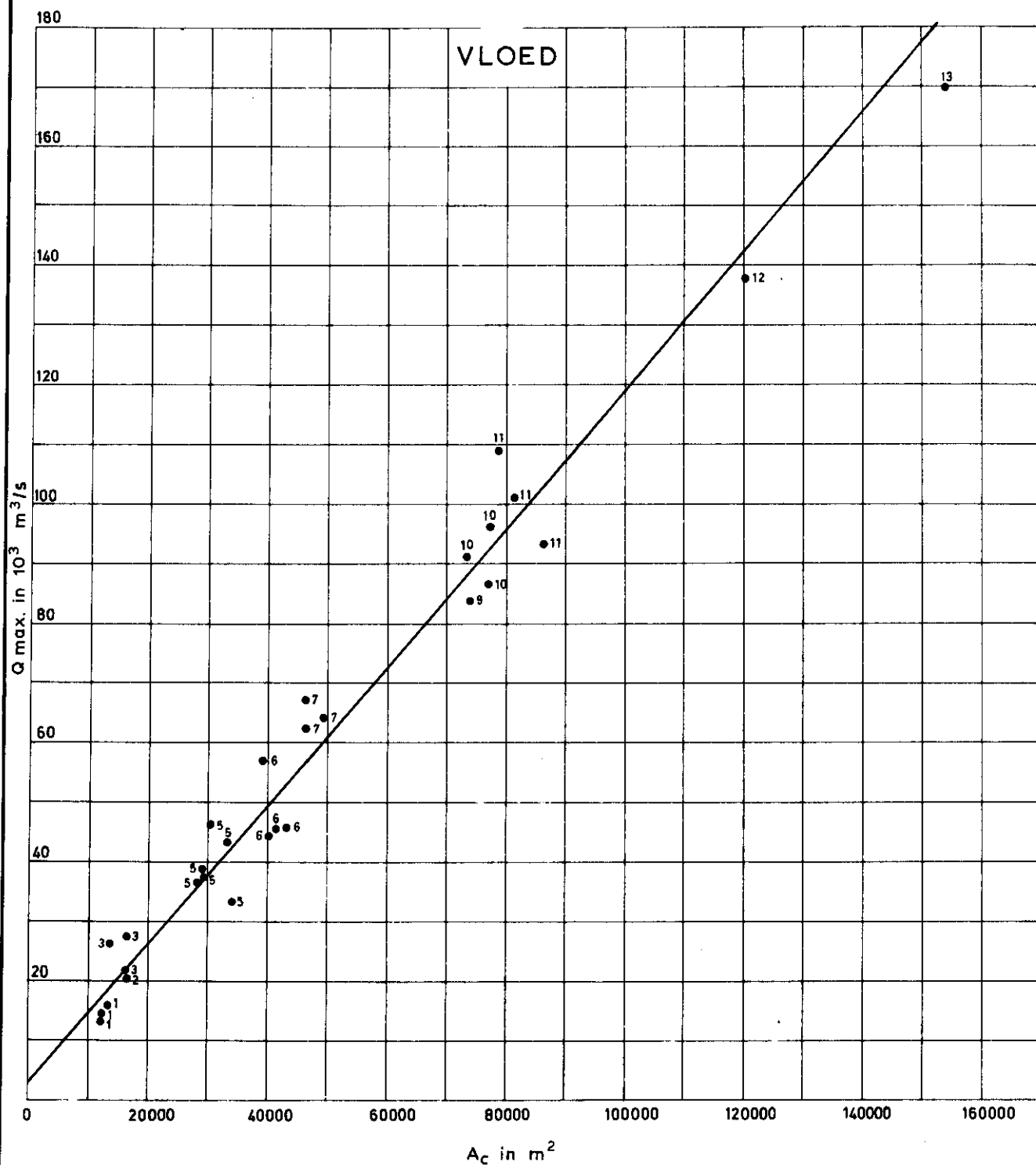
gec. *[handwritten signature]*gez. *[handwritten signature]*

schaal

akk. *[handwritten signature]*

A4

nr. 83.1484



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,978
 (uitgezonderd raai 12 en 13)
 $\sigma_{\text{res}} = 6175 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\max} = 1,174 A_c + 2782$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
 maximum debiet ($Q_{\max.}$)
 versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *[Handwritten signature]*

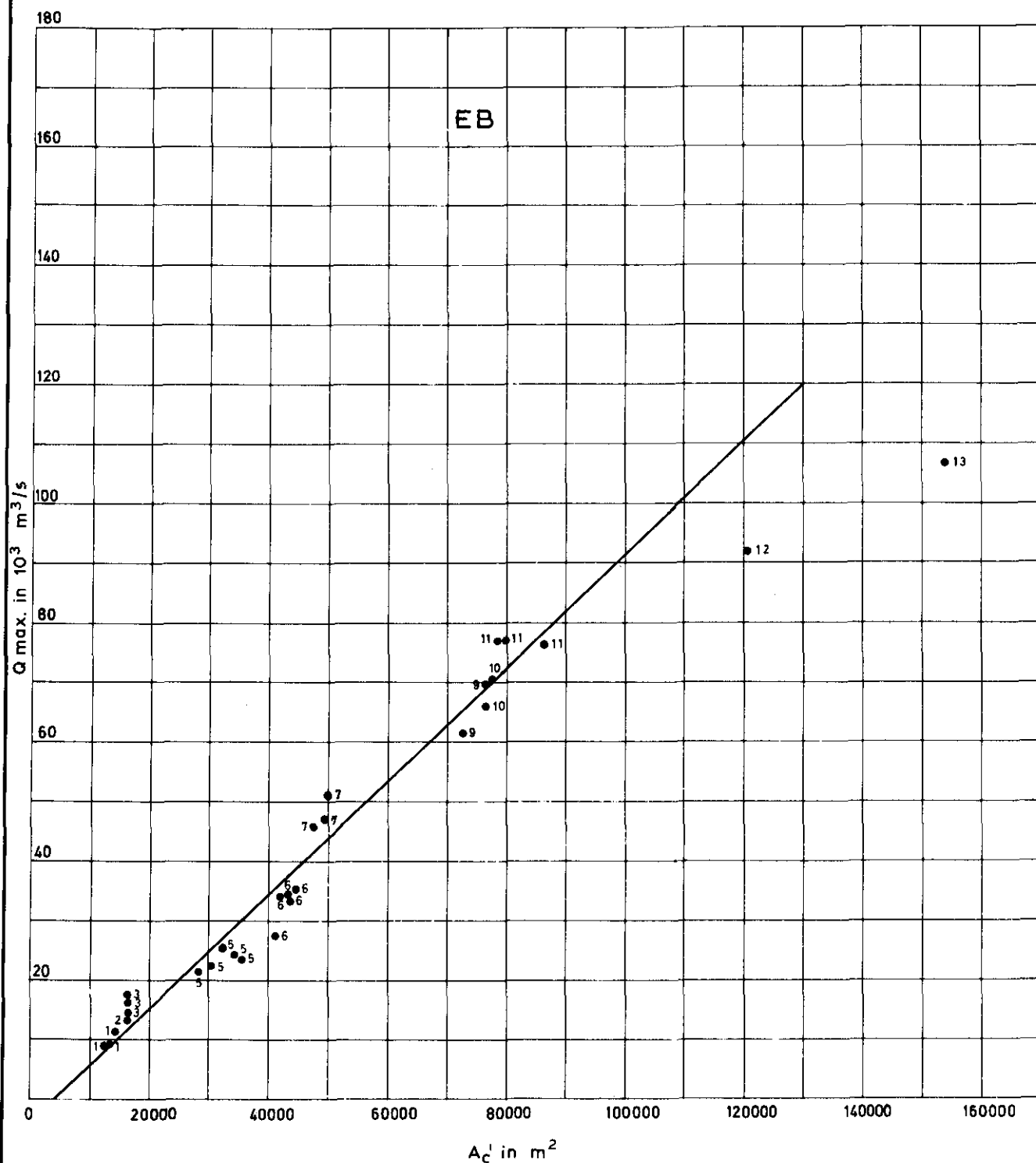
gez. *[Handwritten signature]*

akk. *[Handwritten signature]*

bijl 11

schaal

A4 nr. 83.1485



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,985
 (uitgezonderd raai 12 en 13)
 $\sigma_{\text{res.}} = 4102 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{max}} = 0,957 A_c^I - 4118$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
 maximum debiet ($Q_{\text{max.}}$)
 versus doorstroomprofiel (A_c^I)

get. k.b.

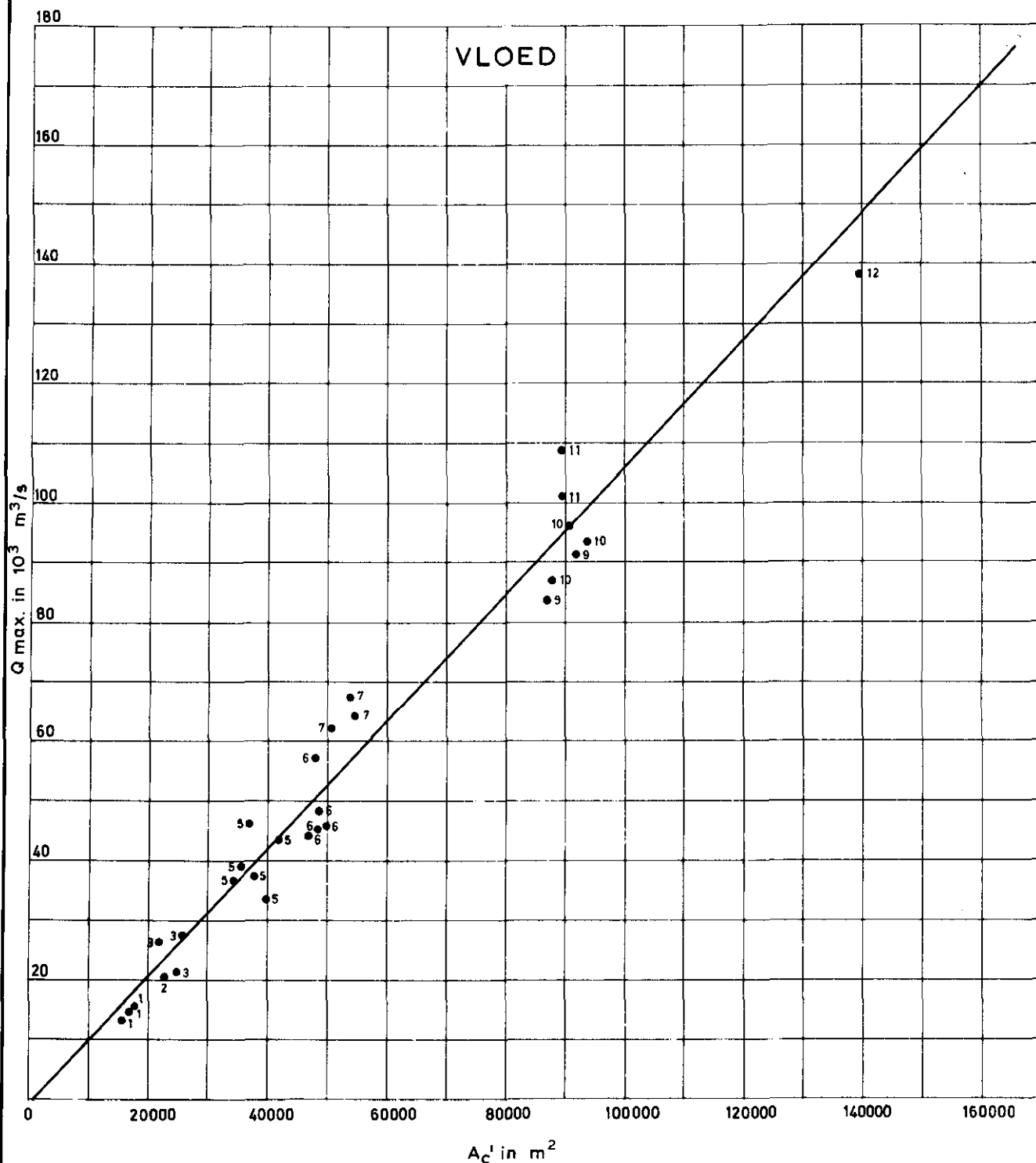
gec. *[handwritten signature]*gez. *[handwritten signature]*akk. *[handwritten signature]*

schaal

A4

nr. 83.1486

bijl. 12



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,977
 (uitgezonderd rgaai 12 en 13)
 $\sigma_{\text{res.}} = 6305 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\max} = 1,081 A_c^I - 1330$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
 maximum debiet ($Q_{\max.}$)
 versus doorstroomprofiel (A_c^I)

get. k.b.

gec. *[signature]*

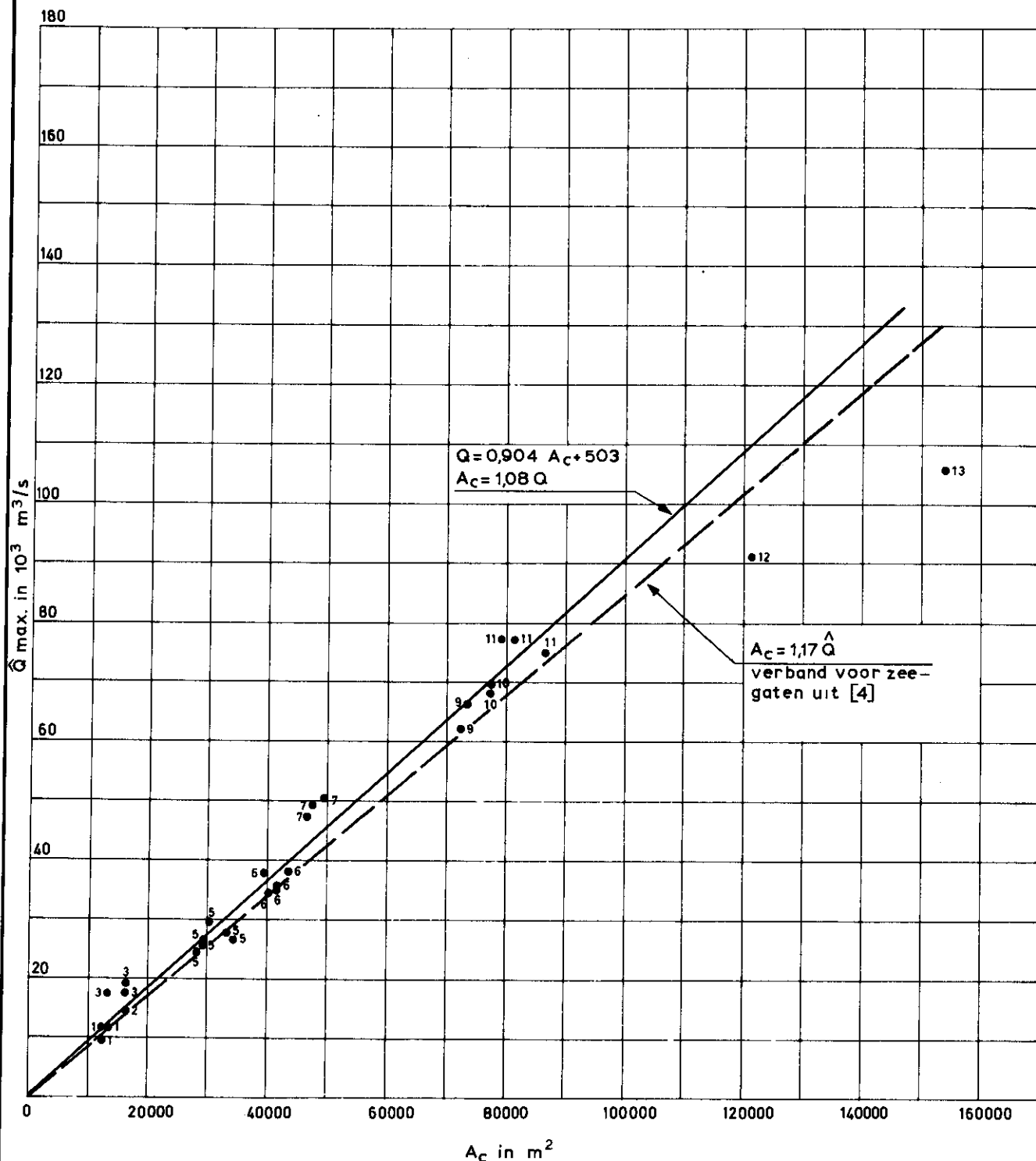
gez. *[signature]*

akk. *[signature]*

bijl 13

schaal

A4 nr. 83.1487



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,990
 (uitgezonderd raai 12 en 13)
 $\sigma_{res.} = 3187 \text{ m}^3/\text{s}$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
 sinusoidaal maximum debiet ($\hat{Q}$)
 versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *[signature]*

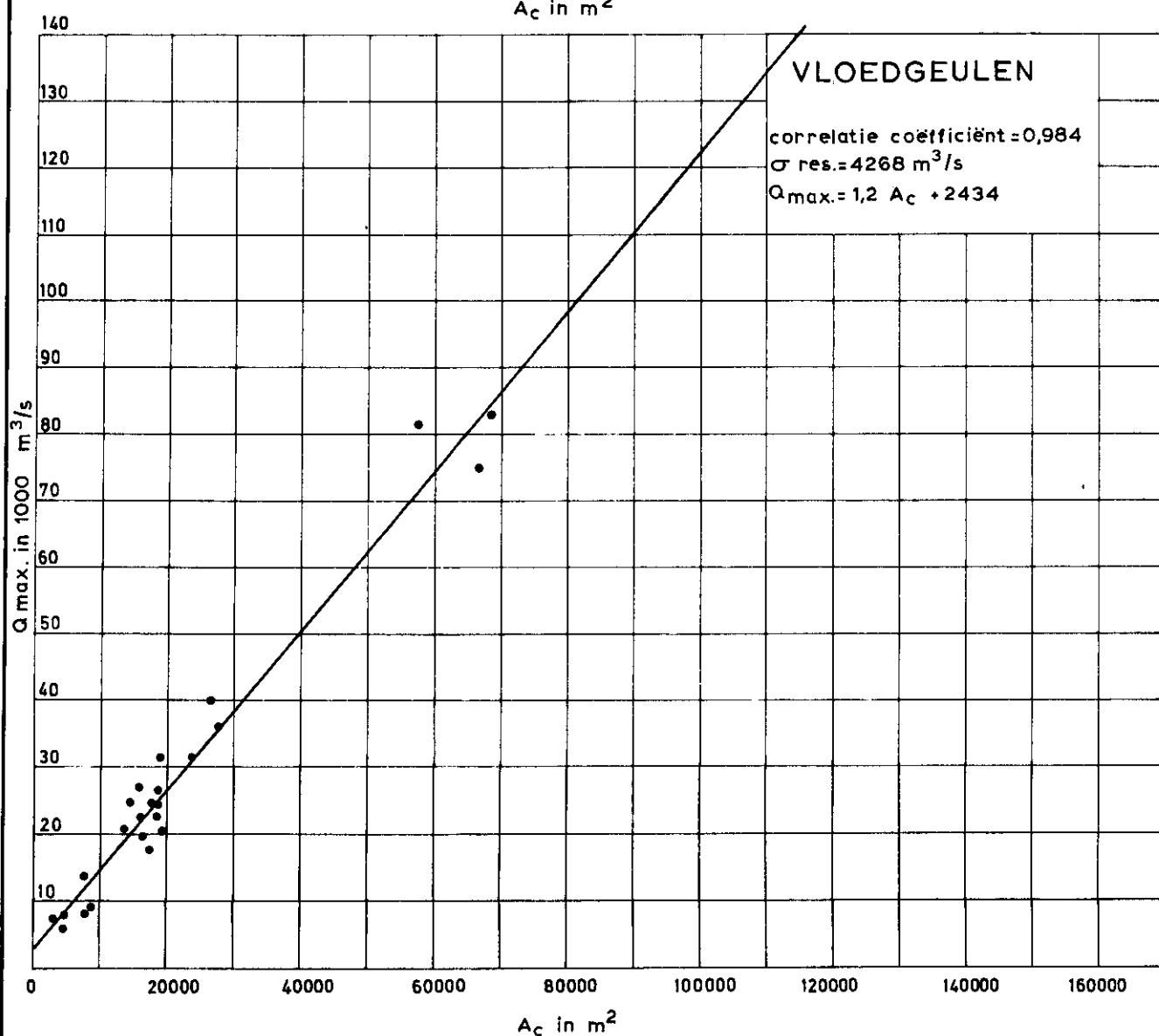
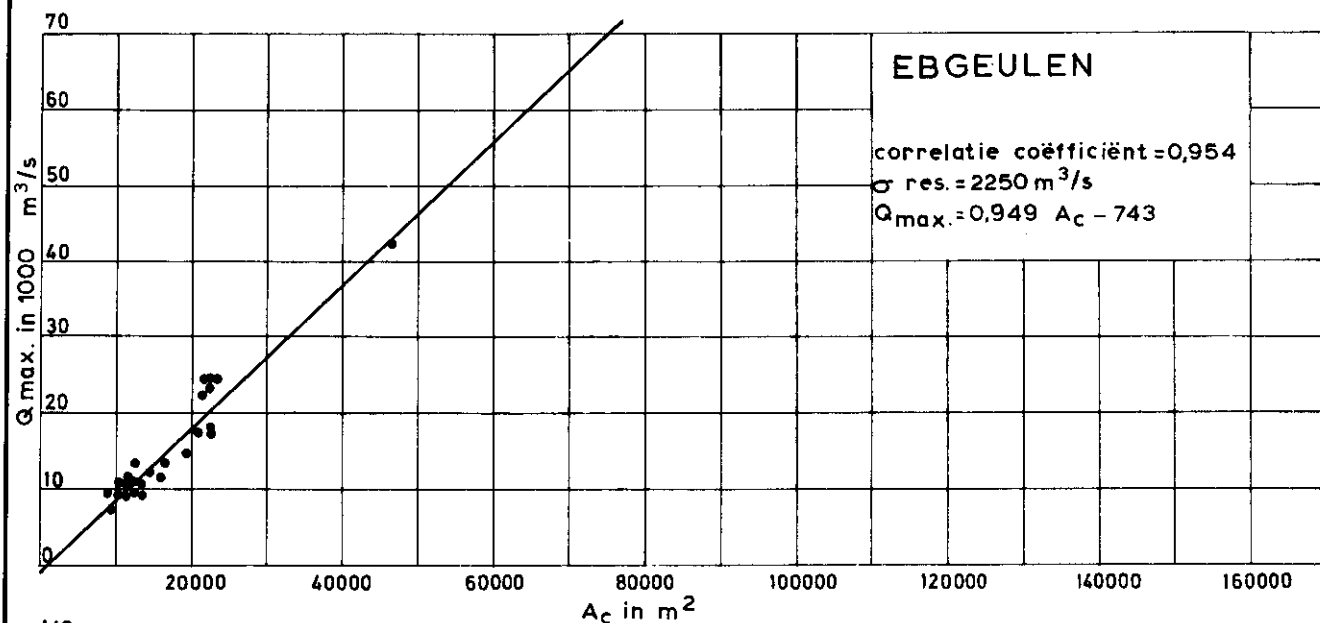
gez. *[signature]*

akk. *[signature]*

bijl. 14

schaal

A4 nr. 83.1488


rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde, eb- en vloedgeulen
 maximum debiet ($Q_{\text{max.}}$)
 versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *[Handwritten signature]*

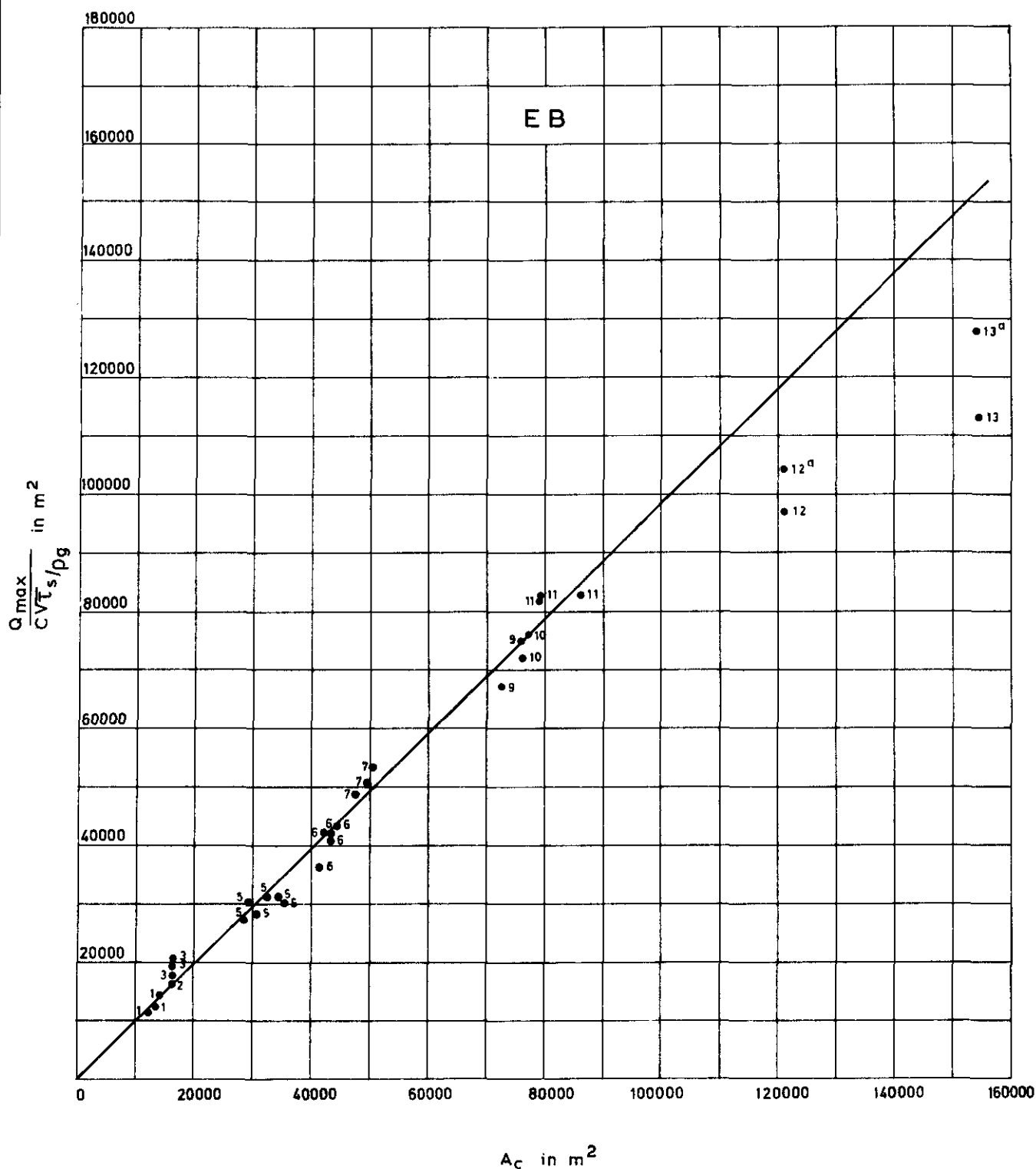
gez. *[Handwritten signature]*

akk. *[Handwritten signature]*

bijl. 15

schaal

A4 nr. 83.1489



raai 1 t/m 5 $\tau_s = 4,0 \text{ N/m}^2$
 raai 6 t/m 13 $\tau_s = 4,9 \text{ N/m}^2$
 raai 12^a $\tau_s' = 4,25 \text{ N/m}^2$
 raai 13^a $\tau_s' = 3,77 \text{ N/m}^2$

toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,995
 (uitgezonderd raai 12 en 13)

$\sigma_{\text{res.}} = 2501 \text{ m}^2$

$$\frac{Q_{\max.}}{C V \tau_s / \rho g} = A_c'$$

• 12^a is raai 12 gecorrigeerd m.b.t. de invloed van golven

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde

relatie $\frac{Q_{\max.}}{C V \tau_s / \rho g}$ versus A_c' (eb)

get. k.b.

gec. *[handwritten signature]*

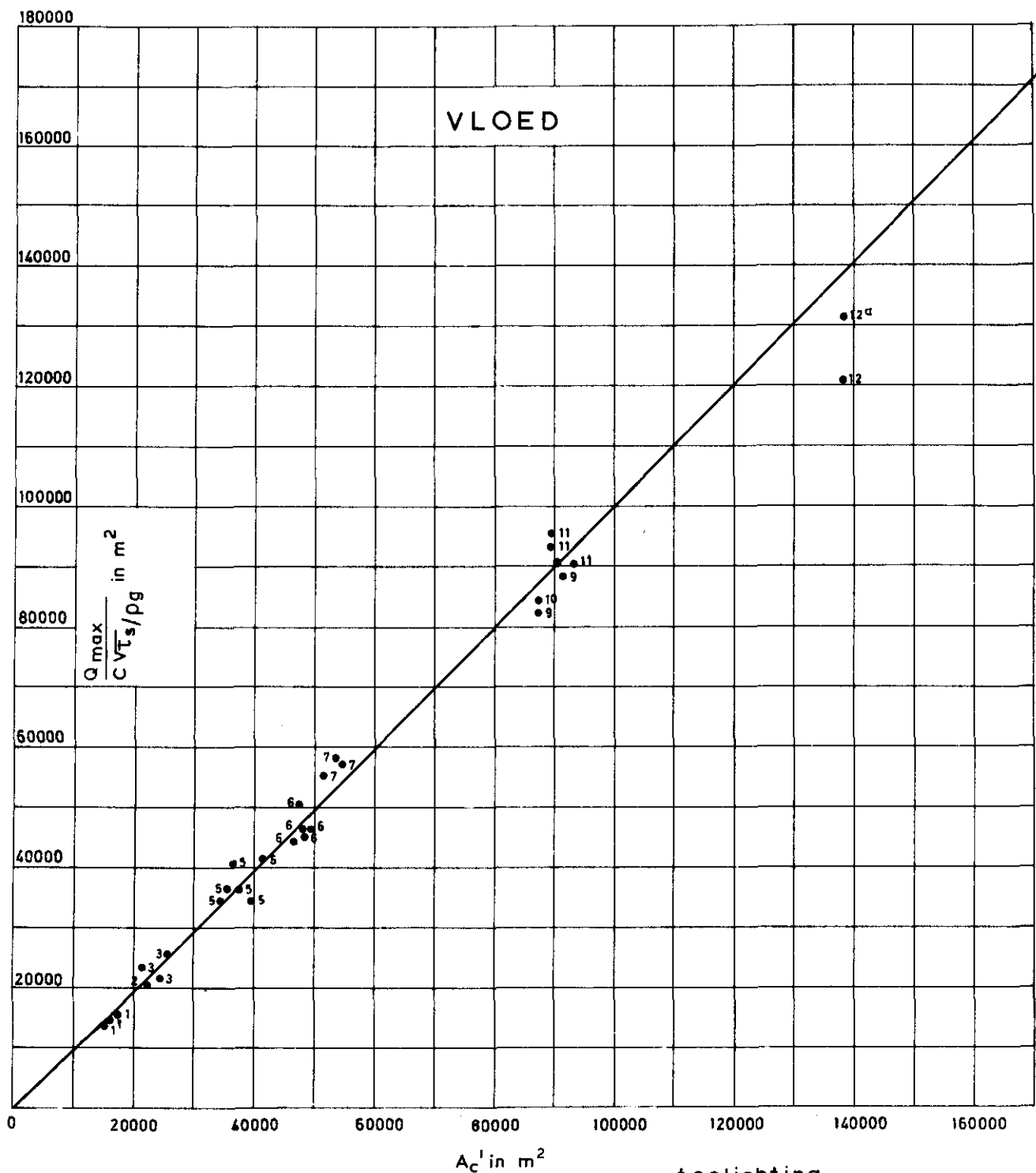
gez. *[handwritten signature]*

akk. *[handwritten signature]*

bijl. 16

schaal

A 4 nr. 83.1490



raai 1 t/m 13 $\tau_s = 3,3 \text{ N/m}^2$
raai 12^a $\tau_s' = 2,81 \text{ N/m}^2$
raai 13^a $\tau_s' = 2,45 \text{ N/m}^2$

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde
relatie $\frac{Q_{max.}}{CV \tau_s / \rho_g}$ versus A_c' (vloed)

get. k.b.

gec. *[handwritten signature]*

gez. *[handwritten signature]*

akk. *[handwritten signature]*

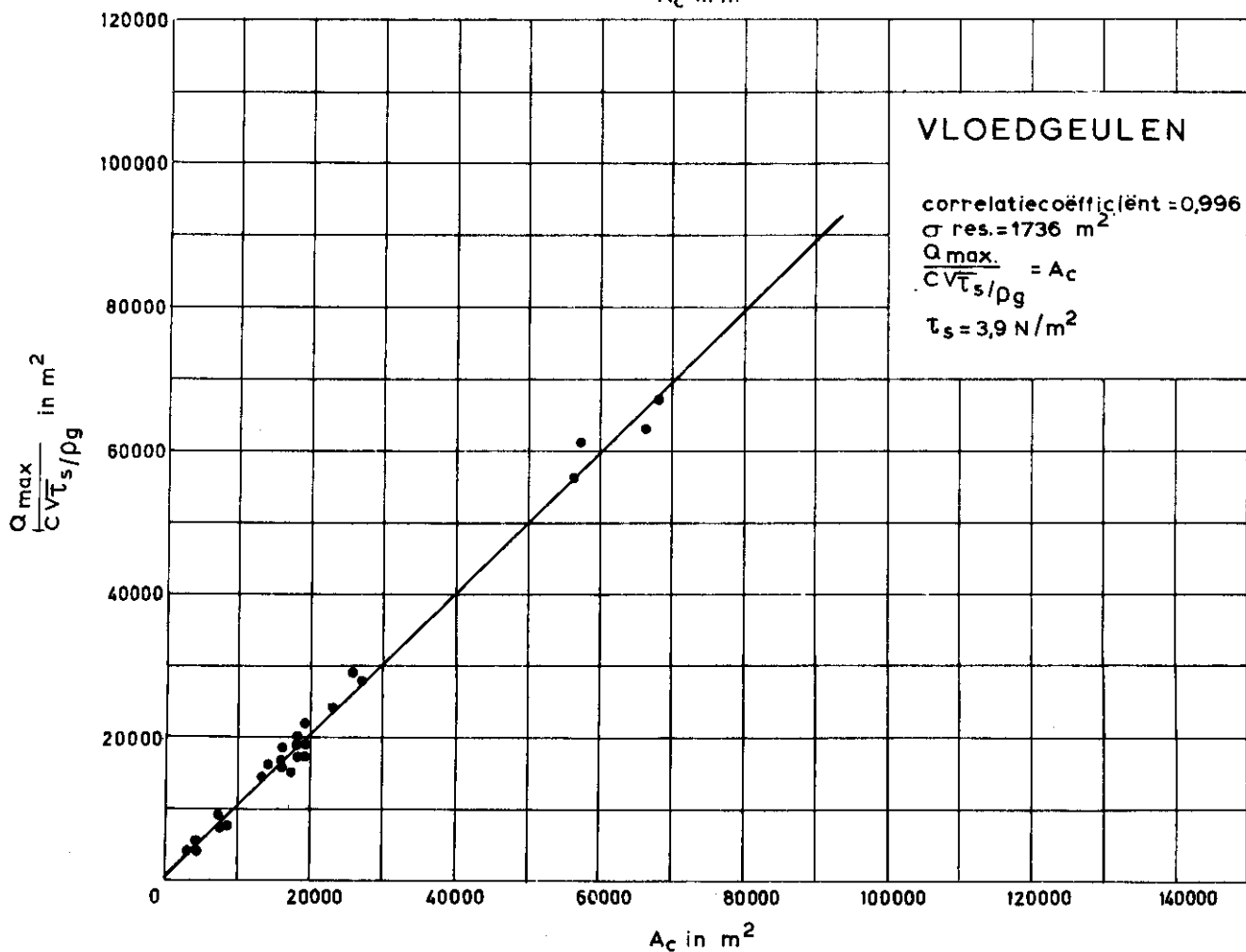
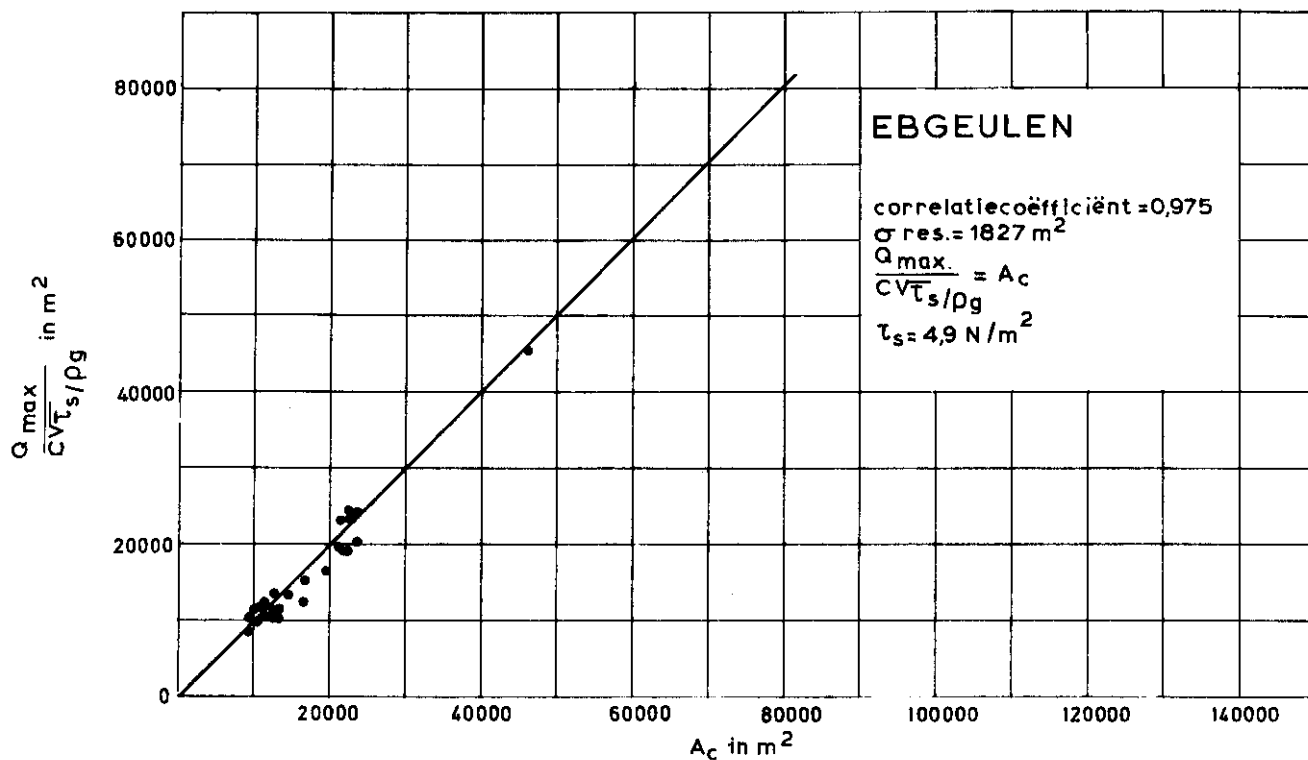
k.b.

schaal

A4

nr. 83.1491

bijl. 17

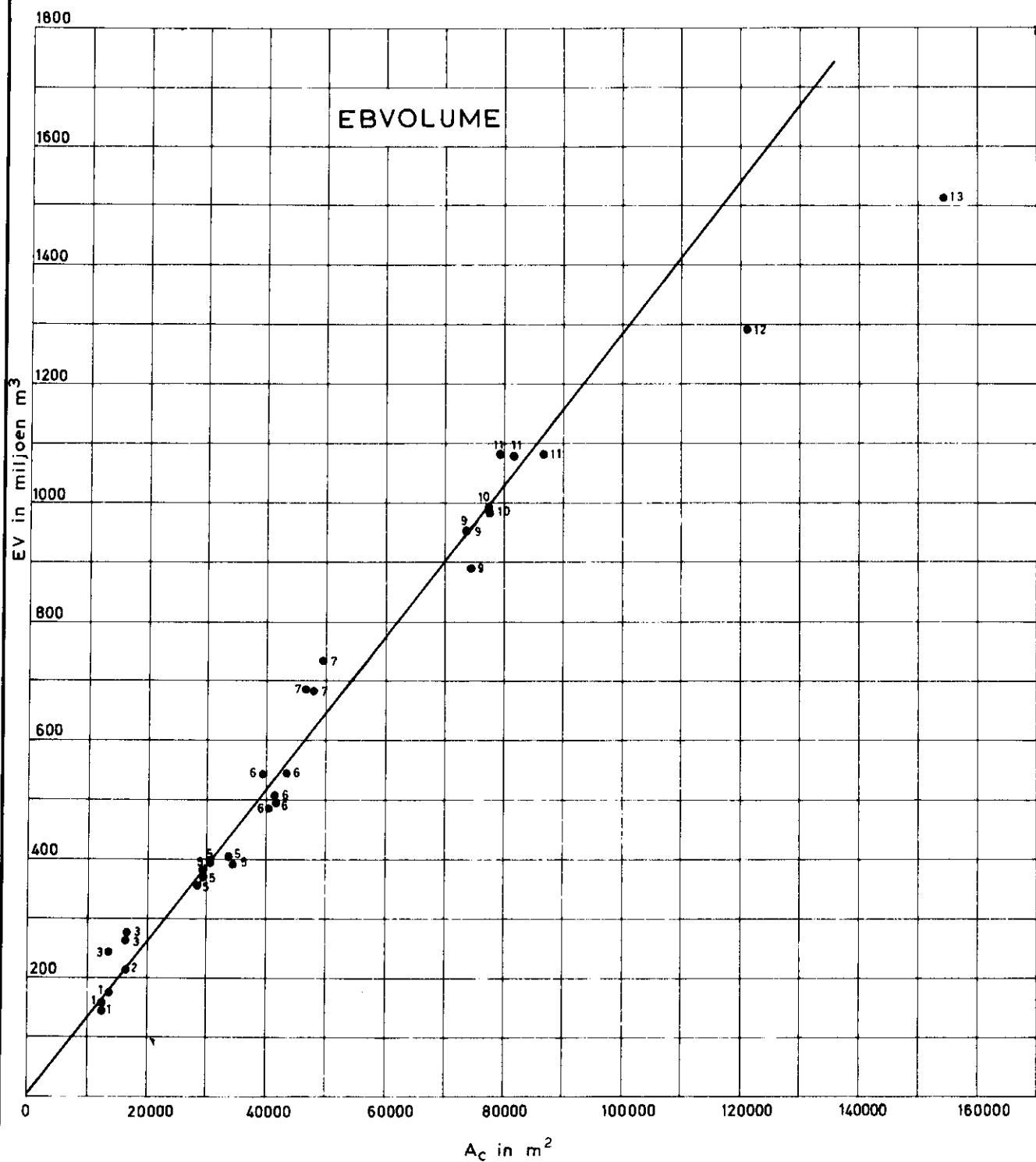

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vlossingen

westerschelde

relatie $\frac{Q_{max.}}{CV\tau_s/\rho_g}$ versus A_c voor eb-en vloedgeulen

get.	k.b.	bijl. 18	
gec.	<i>[handwritten signature]</i>		
gez.	<i>[handwritten signature]</i>	schaal	
akk.	<i>[handwritten signature]</i>	A4	nr. 83.1492



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,991
 (uitgezonderd raai 12 en 13)
 $EV = 12770,6 A_c + 12621823$
 $\sigma_{res.} = 43,0 \text{ miljoen m}^3$
 ebvolume herleid naar gem. jaargetij

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde

ebvolume (EV) versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *[Handwritten signature]*

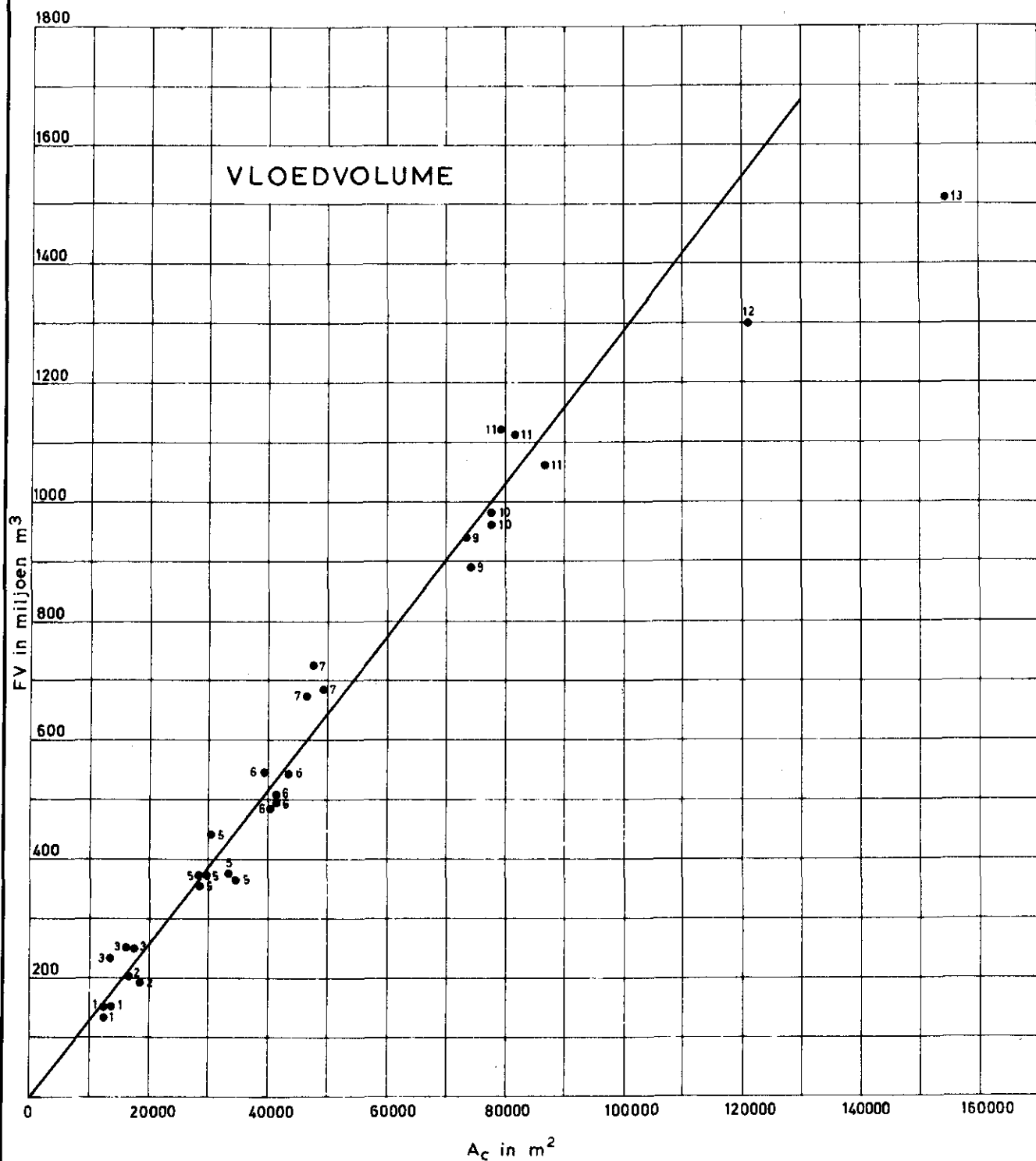
gez. *[Handwritten signature]*

akk. *[Handwritten signature]*

bijl 19

schaal

A4 nr 83.1493



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,988
 (uitgezonderd 12 en 13)
 $FV = 12943,3 A_c + 1602151$
 $\sigma_{res} = 49,9$ miljoen m³
 vloedvolume herleid naar gem. jaargetij

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

westerschelde

vloedvolume (FV) versus doorstroomprofiel (A_c)

get. k.b.

gec. *[Handwritten signature]*

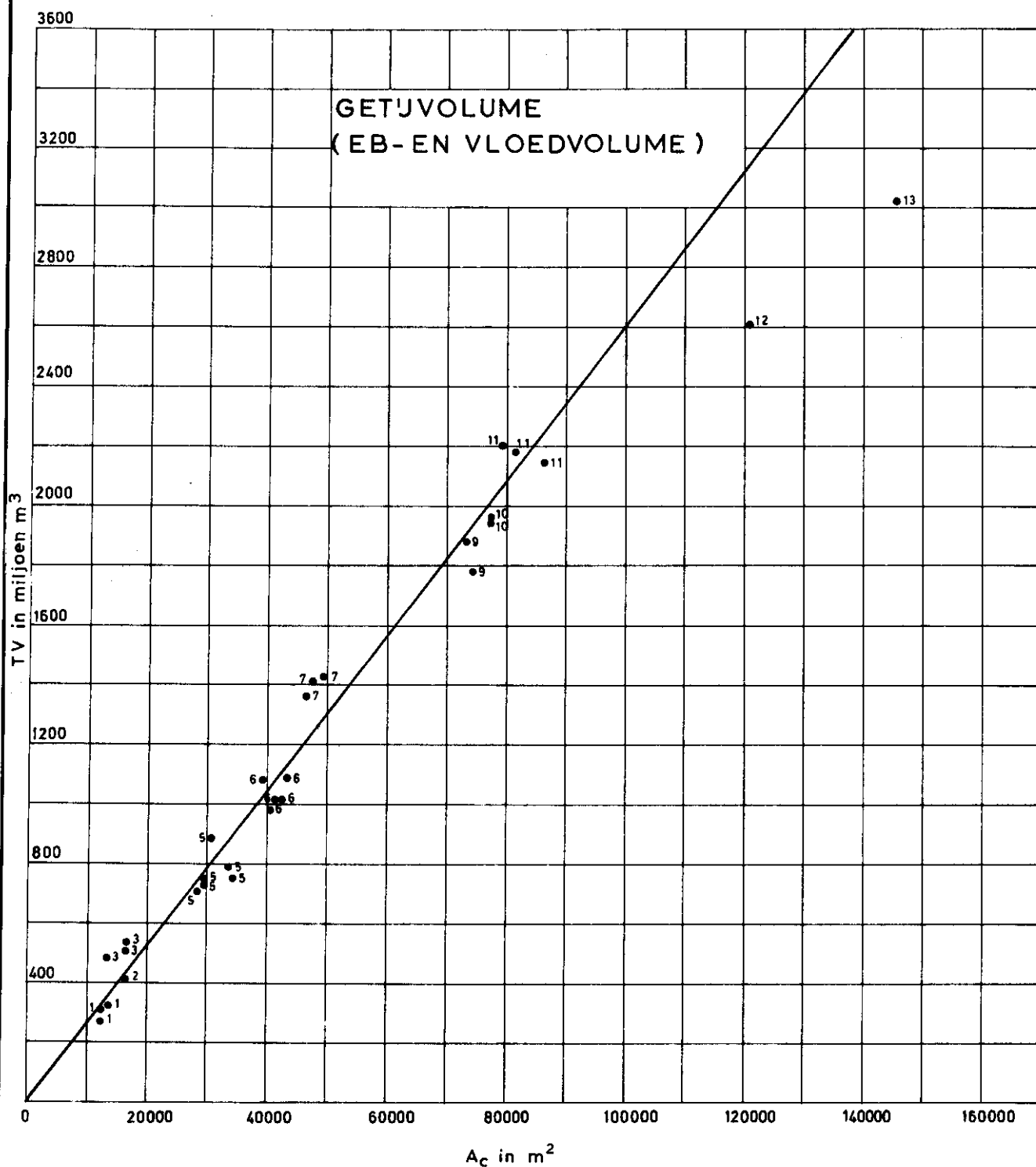
gez. *[Handwritten signature]*

akk. *[Handwritten signature]*

bijl. 20

schaal

A4 nr. 83.1494



toelichting

correlatiecoëfficiënt = 0,990

(uitgezonderd raai 12 en 13)

TV = 25712,8 A_c + 14310117σ_{res} = 90,7 miljoen m³

getijvolume is herleid naar gem. jaargetij

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

get. k.b.

bijl. 21

gec. *[handwritten signature]*

westerschelde

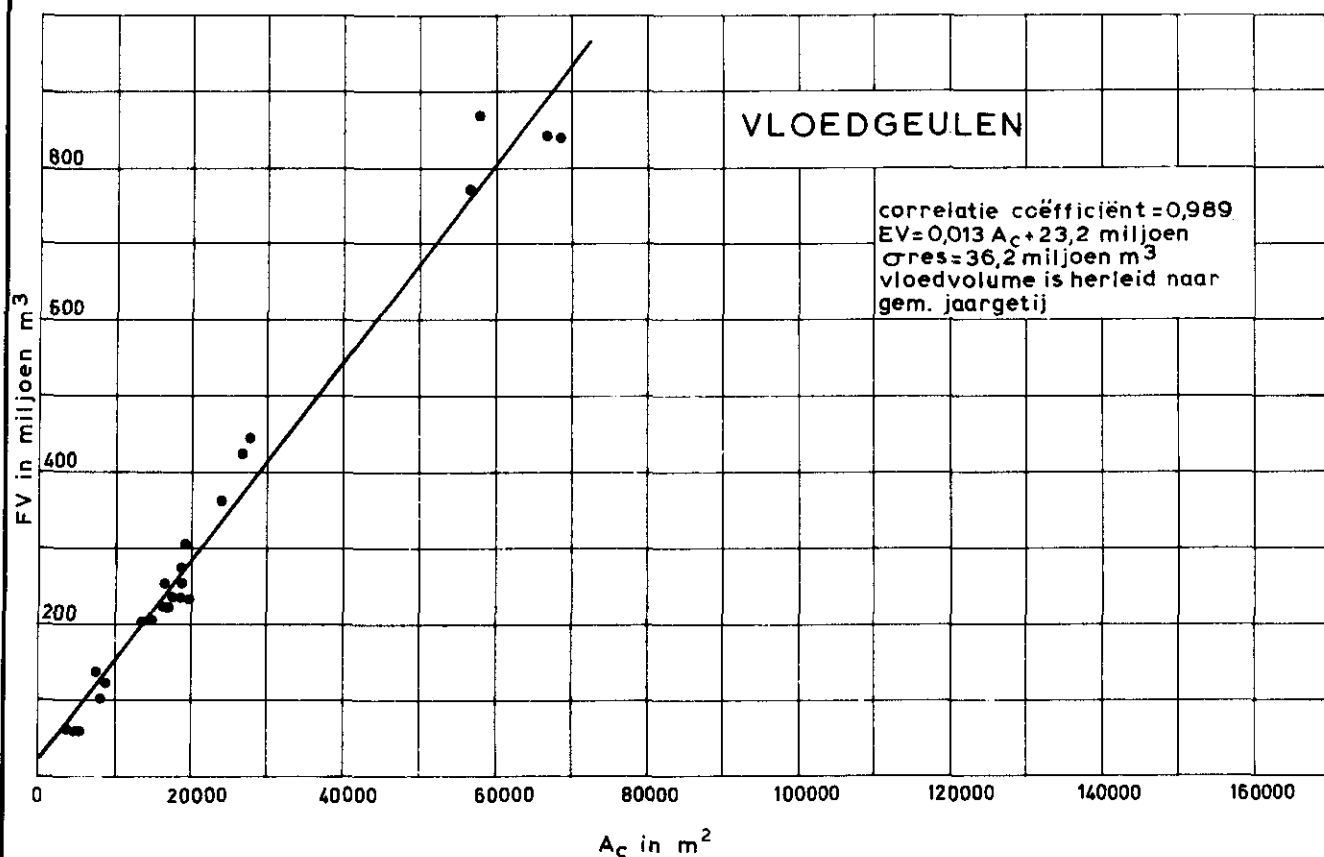
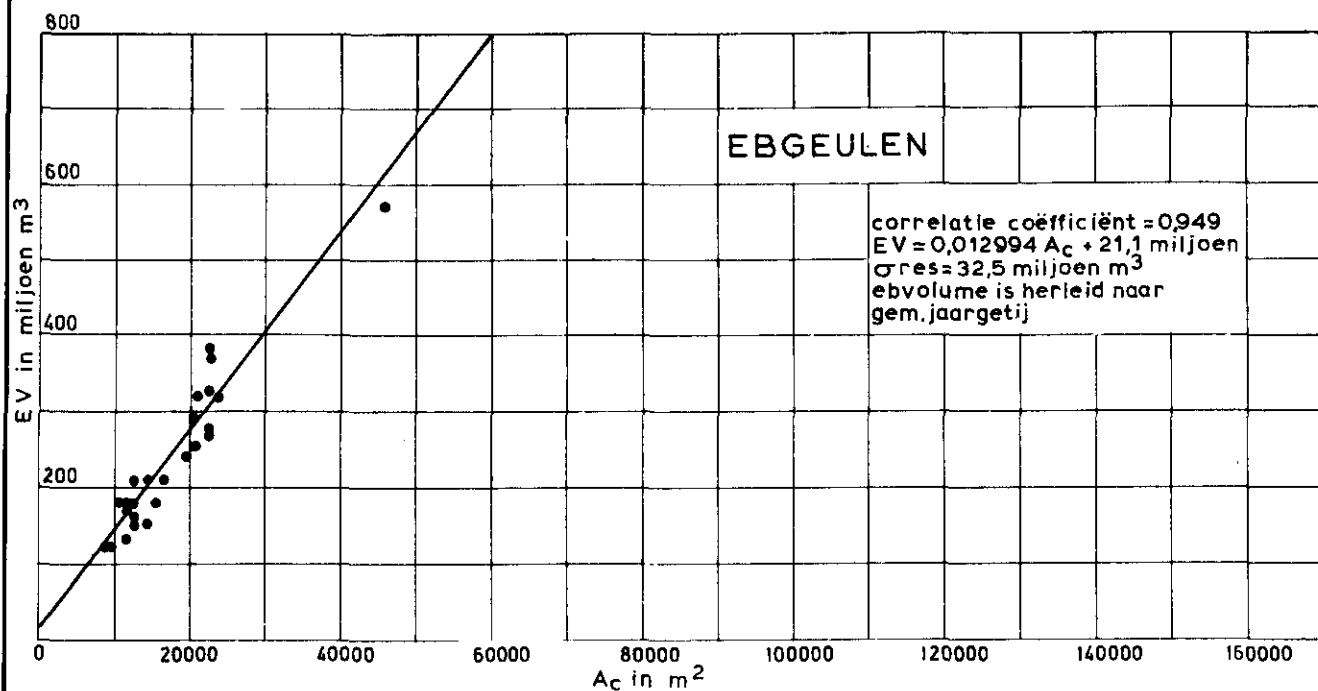
gez. *[handwritten signature]*

schaal

getijvolume (TV) versus doorstroomprofiel (A_c)akk. *[handwritten signature]*

A4

nr. 83.1495


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

 westerschelde
 eb- en vloedvolume versus doorstroomprofiel
 van resp. de eb- en vloedgeulen

get. k.b.

 gec. *[handwritten signature]*

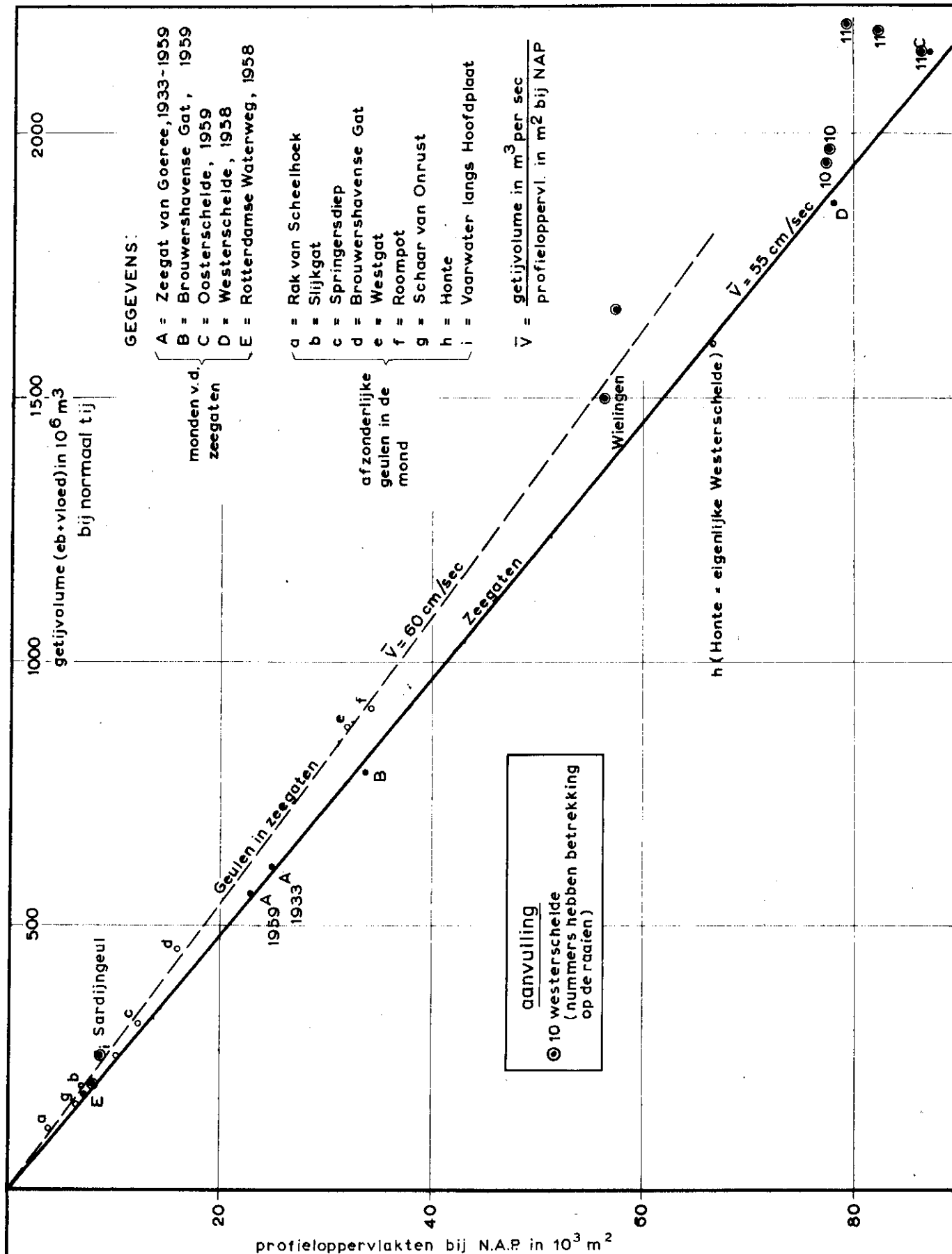
 gez. *[handwritten signature]*

 akk. *[handwritten signature]*

bijl. 22

schaal

A4 nr. 83.1496



rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

aan [33] ontleend verband tussen getijvolume en
 profieloppervlak, aangevuld met meer recente
 gegevens van de westerschelde

get.	k.b.	bijl. 23	
gec.	<i>[handwritten]</i>		
gez.	<i>[handwritten]</i>	schaal	
akk.	<i>[handwritten]</i>	A4	nr. 83.1497