

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee
adviesdienst vliissingen

nota WWKZ-84.V016

Stabiliteit van doorstroom-
profielen in het Waddengebied.

projectcode

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

datum : december 1985

bijlagen : -

samenvatting : Deze studie is een vervolg op de in 1983 uitgegeven nota 'Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde'*. In laatstgenoemde nota zijn enige empirische relaties gepresenteerd waarmee de stabiliteit van doorstroomprofielen kan worden beschreven. Om enig inzicht te verkrijgen in hoeverre deze relaties ook gelden voor andere zeegaten en estuaria, is op overeenkomstige wijze een studie gemaakt van de zeegaten van de Waddenzee en de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. De resultaten, die vergeleken zijn met hetgeen gevonden werd bij de Westerschelde en met dat wat andere onderzoekers op dit gebied hebben gepubliceerd, zijn neergelegd in deze nota.

*

Zie ook: De Jong, H. en Gerritsen, F.
Stability parameters of Western Scheldt estuary.
Proceedings 19th Coastal Eng. Conf., Houston, 1984.
A.S.C.E., p 3078-3093.

INHOUDSOPGAVE

	<u>Pag.</u>
1. <u>INLEIDING</u>	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Mathematische formulering van het stabiliteitspro- bleem van dwarsdoorsneden	2
1.3. Oplossingen voor het vinden van de stabiliteits- konditie	4
1.4. Invloed van golven op het zandtransport en op de stabiliteit van een geul	5
1.5. Geulen	5
1.5.1. Vloed- en ebgeulen	5
1.5.2. Migratie van getijgeulen	6
2. <u>GEGEVENS</u>	7
2.1. Algemeen	7
2.2. Herleiding gegevens	7
2.3. Het doorstromingsprofiel (A_C)	8
2.4. Gegevens zeegaten	10
2.5. De ontwikkeling van het vertikaal getij tijdens de periode waaruit de gegevens dateren	10
2.6. Veranderingen in het kombergingsgebied door erosie en sedimentatie	12
3. <u>DE RELATIE TUSSEN DE STROOMSNELHEID EN HET DOORSTROOM- PROFIEL</u>	14
3.1. De relatie tussen de gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) en het doorstroomprofiel	14
3.2. De relatie tussen de maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) en het doorstroomprofiel	18
3.3. Vergelijking met resultaten uit andere onderzoeken	19
4. <u>DE RELATIE TUSSEN HET GETIJDEGEBIED EN HET DOORSTROOM- PROFIEL</u>	21
4.1. Het maximum debiet ($Q_{\max}$) als stabiliteitsparame- ter	21
4.2. Het sinusoidale maximum debiet ($\hat{Q}$) als parameter	21

Vervolg inhoudsopgave:

	<u>Pag.</u>
5. <u>HET GEBRUIK VAN DE MAATGEVENDE SCHUIFSPANNING (τ_s) ALS STABILITEITSPARAMETER</u>	24
5.1. Definitie van τ_s voor springtij en gemiddeld getij	24
5.2. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ als stabiliteitsparameter	26
5.2.1. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C\sqrt{\tau_s/\rho g}}$ en de waarde τ_s	26
5.3. Het effect van golven op de maatgevende schuifspanning	30
5.4. Vergelijking tussen de resultaten van de Waddenzee en de resultaten van de Westerschelde	32
5.4.1. Zeegaten	33
5.4.2. Binnendelta's	34
5.5. Vergelijking met resultaten van Rietveld	35
6. <u>RELATIE TUSSEN GETIJVOLUME EN DOORSTROOMPROFIEL</u>	37
6.1. Zeegaten van de Waddenzee	37
6.2. Binnendelta Zeegat van het Vlie	37
6.3. Vergelijking met de resultaten van andere onderzoekers	38
6.3.1. Vergelijking met resultaten van Haring	38
6.3.2. Vergelijking met resultaten van Bruun	39
6.3.3. Vergelijking met resultaten uit lit. 1	39
7. <u>CONCLUSIES</u>	42
Literatuur	44
Bijlagenlijst	48
Symbolenlijst	51

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 1

WWKZ-84.V016

1. INLEIDING.

1.1. Algemeen.

De stabiliteit van zeegaten behoort tot het bredere studiegebied van de getijhydraulica gekoppeld met zandtransportberekeningen. Het probleem kan behandeld worden als een ééndimensionaal of tweedimensionaal geval.

Onder stabiliteit wordt hier verstaan de morfologische stabiliteit van een zeegat, het vermogen om vormverandering tegen te gaan bij gelijkblijvende uitwendige omstandigheden. Voor de zeegaten gaat het om het konstant zijn van het doorstromingsprofiel en van het geulensysteem. Stabiliteit kan dan ook gedefinieerd worden op twee verschillende manieren:

- Stabiliteit van het doorstromingsprofiel;
- Stabiliteit van de plaats van de geulen.

Bij de geulen in de zeegaten van het Waddengebied blijkt een zekere stabiliteit van de doorstromingsprofielen inderdaad aanwezig te zijn. Wat de stabiliteit van de plaats van de geulen betreft blijken de geulen tussen de koppen van de eilanden een vaste ligging te hebben. Dit wordt vaak bevorderd door kustverdedigingswerken die plaatsverandering tegen gaan.

Voor de geulen in de buitendelta geldt, dat de plaatsen van de ligging langzaam, maar continu, veranderen. Het geulensysteem evolueert in een cyclisch proces met een periode van enkele decennia (lit. 17).

In deze studie zal alleen de stabiliteit van de geuloppervlakken worden geanalyseerd. De studie is uitgevoerd in aansluiting op die van de Westerschelde (lit. 1 en 17).

Bij de Westerschelde werd gevonden dat niet alleen het eigenlijke zeegat (buiten Vlissingen) een stabiel karakter vertoont, maar dat in alle raaien van het estuarium dezelfde wetmatigheden gelden.

Het was van belang te onderzoeken of de zeegaten van het Wad-
dengebied en de geulen van de binnendelta's aan soortgelijke wetmatigheden voldoen.

Een vergelijking tussen de Westerschelde en de zeegaten van de Wadden toont ook aan dat op de Westerschelde de afvoer van zoetwater nog een zekere invloed heeft op verticale snelheidsverdelingen en zandtransport. De Westerschelde vertoont dus nog wel de karakteristieken van een estuarium, hoewel de invloed van de zoetwaterafvoer klein is en deze in de stabiliteitsrelaties niet naar voren komt. Voor de Waddenzee is de invloed van de zoetwaterafvoer relatief nog geringer en mag zeker worden verwaarloosd.

1.2. Mathematische formulering van het stabiliteitsprobleem van dwarsdoorsneden.

We beperken ons tot de eendimensionale definitie van het probleem. Indien het totale zandtransport bestaat uit bodemtransport en transport in suspensie heeft de stabiliteitsvergelijking de vorm:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial Q_s}{\partial x} + h \frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

waarin:

z = bodemhoogte

b = breedte van stroomgeul

Q_s = totale zandtransport (met poriën)

c = gemiddelde concentratie van zand in de vertikaal

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 3

WWKZ-84.V016

Geïntegreerd en gemiddeld over de tijd geeft dit:

$$\frac{1}{t} \left[\int_0^t \frac{\partial z}{\partial t} dt + \int_0^t \frac{1}{b} \frac{\partial Q_s}{\partial x} dt + \int_0^t h \frac{\partial c}{\partial t} dt \right] = 0 \quad (2)$$

De periode waarover geïntegreerd wordt (t) is een geheel aantal malen de periode van het getij ($t = nT$, $n = 1, 2, \dots$).

Met de aanname dat de lokale variatie in c gemiddeld over een aantal getijperioden klein is, wordt de vergelijking beperkt tot de eerste twee termen. De konditie van stabiliteit vereist dat:

$$\int_0^t \frac{\partial z}{\partial t} dt = 0$$

zodat ook geldt:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^t Q_s dt = 0 \quad (3)$$

Dit is een vereiste voor alle dwarsdoorsneden.

Oplossing van deze vergelijking vereist het oplossen van vier vergelijkingen; twee voor het transport van water en twee voor zand. Deze twee vergelijkingen voor ieder medium zijn de continuïteitsvergelijking en de bewegingsvergelijking. Voor het oplossen en voor het verkrijgen van de stabiliteitstoestand is een iteratief proces vereist.

De vergelijkingen kunnen worden uitgebreid tot twee dimensies en leveren dan zes vergelijkingen op in plaats van vier.

1.3. Oplossingen voor het vinden van de stabiliteitskonditie.

Voor het vinden van de stabiliteitskonditie zijn in het algemeen drie methoden toepasbaar:

- a. de empirische methode;
- b. de semi-empirische methode;
- c. de theoretische benadering.

Ad a:

In de empirische methode worden statistische verbanden gelegd tussen de dwarsdoorsnede (A_c) en verschillende stromingsparameters. De belangrijkste hiervan zijn:

- het vloed- of ebvolume (FV, EV);
- het getijvolume TV ($TV = FV + EV$);
- het maximum debiet (Q_{max});
- de maximum stroomsnelheid (V_{max});
- de gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$).

De relatie tussen deze parameters en de dwarsdoorsnede van verschillende zeegaten en wadgeulen is in dit rapport onderzocht.

Ad b:

In de semi-empirische methode is de stabiliteits-bodemschuifspanning ingevoerd als een maatstaf voor stabiliteit. In onze beschouwingen is hiervan gebruik gemaakt.

Ad c:

In de theoretische benadering moet een getijberekening worden uitgevoerd welke gekoppeld is aan een berekening van het zandtransport. Voor stabiliteit moet aan voorwaarde (3) worden voldaan. In deze nota wordt hier verder niet op ingegaan.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 5

WWKZ-84.V016

1.4. Invloed van golven op het zandtransport en op de stabiliteit van een geul.

In de buitendelta's van de grote zeegaten wordt het zandtransport sterk beïnvloed door het golfklimaat. Het is te verwachten dat ook de relaties tussen de dwarsdoorsneden van geulen en verschillende getijparameters door de aanwezigheid van golven worden beïnvloed. Deze verwachting wordt door de gevonden betrekkingen bevestigd.

Een manier om deze invloed kwantitatief uit te drukken ligt in het korrigeren van de maatgevende schuifspanning voor de invloed van golven. In deze nota is hiervoor van de formule van Bijker gebruik gemaakt (lit. 14), zoals ook voor de Westerschelde gedaan is (lit. 1).

1.5. Geulen.

1.5.1. Vloed- en ebgeulen.

In brede estuaria en zeegaten vindt het water en zandtransport vaak plaats in vloed- en ebgeulen.

In een vloedgeul overheerst het vloedtransport en wordt een ondiepte gevormd aan de landzijde van de geul. Bij een ebgeul overheerst de ebstroom en wordt de ondiepte gevormd aan de zeezijde (lit. 18).

Een studie van de Eems-geulen (lit. 10) laat zien dat de dominerende afvoer in een geul (eb- of vloedstroom) het stroomvoerend dwarsprofiel bepaalt.

• 1.5.2. Migratie van getijgeulen.

In de buitendelta van zeegaten treedt migratie van getijgeulen op waarbij het dwarsprofiel langzamerhand verandert. Het meerdere of mindere transport wordt dan door andere geulen overgenomen.

De migratie van de geulen is een karakteristiek gebeuren voor de buitendelta wat ook de zandbalans van de aansluitende kusten beïnvloedt. Het proces kan worden verklaard door de invloed van het overwegende kusttransport, de voortplantingsrichting van het getij langs de kust en de invloed van het sekondaire stroombeeld, veroorzaakt door de versnelling van Coriolis en de kromming van de stroombanen.

Veel aanvullend onderzoek zal nog nodig zijn om het complexe proces van geulontwikkeling in een buitendelta mathematisch te formuleren.

In deze nota wordt alleen het totale dwarsprofiel onderzocht en worden de bovenbeschreven veranderingen onbesproken gelaten.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 7

WWKZ-84.V016

2. GEGEVENS.

2.1. Algemeen.

De gegevens die bij dit onderzoek zijn gebruikt kunnen worden onderscheiden in:

1. gegevens die betrekking hebben op een aantal zeegaten van de Waddenzee (Zeegat van Texel, Eierlandsegat, Zeegat van het Vlie en Zeegat van Ameland);
2. gegevens die betrekking hebben op het geulengebied binnen het Zeegat van het Vlie.

Eerstgenoemde worden gepresenteerd in tabel 1. De plaats van de meetraaien is aangegeven op bijlage 1. De debietmetingen waaraan de gegevens zijn ontleend, zijn allemaal dubbel uitgevoerd, in vrijwel alle gevallen op twee achtereenvolgende dagen. De gepresenteerde waarden in tabel 1 zijn gemiddelden van de beide meetdagen (herleid tot gemiddeld getij van het meetjaar).

In tabel 2 worden op dezelfde wijze de gegevens van het geulengebied binnen het Zeegat van het Vlie gepresenteerd. De meeste waarden uit deze tabel zijn gebaseerd op één meetdag. De plaats van de doorstroomprofielen is aangegeven op bijlage 2.

2.2. Herleiding gegevens.

De in de tabellen 1 en 2 gegeven waarden voor ebvolume (EV), vloedvolume (FV), getijvolume (TV), maximum debiet ($Q_{\max}$), gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) en maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) zijn herleid naar het gemiddelde getij van het jaar waarin de betreffende meting werd uitgevoerd. De herleiding is verricht aan de hand van de amplitudeverhouding van respectievelijk de getijstations Den Helder, Vlielandhaven, West-Terschelling en Nes.

Tabel 1: Fysische karakteristieken van de zeegaten van de Waddenzee. (Herleid naar gemiddeld getij).

zeegat	raai- nummer	jaar	EV	FV	TV	R	A _c	A _c 'eb	A _c 'vloed	Q _{max} eb	Q _{max} vloed	$\bar{v}$	V _{max} eb	V _{max} vloed	Q	U
			(10 ⁶ m ³)			(m)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ³ /s) . 10 ³	(m ³ /s) . 10 ³	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)
Zeegat van Texel	1	1971	963,5	1029,0	1992,5	19,5	60280	58400	61240	69,8	78,5	0,74	1,20	1,28	70018	1,16
		1974	991,5	799,6	1791,1	18,8	58200	56200	58665	69,3	61,9	0,71	1,23	1,06	62941	1,08
		1975	1011,6	949,5	1961,1	19,7	59000	57400	59800	70,4	74,8	0,74	1,23	1,25	68915	1,17
Eierlandsegat	2	1971	149,6	175,6	325,2	2,5	16775	17280	18298	11,9	11,3	0,43	0,69	0,62	11428	0,68
		1979	186,8	189,3	376,1	3,3	15800	15800	17040	11,6	13,3	0,53	0,73	0,78	13217	0,84
		1980	165,1	168,0	333,1	3,0	17050	18180	19028	11,7	10,9	0,44	0,64	0,57	11705	0,69
Zeegat van het Vlie	3	1971	824,8	870,1	1694,9	9,3	63300	61900	64700	58,5	58,6	0,60	0,95	0,91	59560	0,94
Zeegat van Ameland	4	1951	393,6	416,1	809,7	11,4	25000	25000	25000	26,8	31,5	0,73	1,09	1,28	28454	1,14
		1969	410,8	421,0	831,8	14,6	29160	28080	29460	28,7	27,3	0,64	1,02	0,93	29230	1,00
		1970	471,4	448,1	919,5	14,8	28845	29030	29530	30,8	32,0	0,70	1,06	1,08	32312	1,12
		1971	440,9	473,6	914,5	14,8	28800	29000	29500	30,7	30,3	0,71	1,06	1,03	32136	1,12
Buitenraai Zeegat van Texel	5	bere- kend	1092,0	996,0	2088,0	14,3	81500	80500	82500	70,5	78,5	0,63	0,88	0,95	73374	0,90
Buitenraai Zeegat van het Vlie	6	bere- kend	924,0	984,0	1908,0	9,0	86400	84000	87750	60,7	60,5	0,49	0,73	0,69	67049	0,78

Voor symbolenlijst zie blz. 51 en 52

Tabel 2: Fysische karakteristieken van de geulen in het Vlie. (Herleid naar gemiddeld getij).

geul	raai-nummer	jaar	EV	FV	TV	R	A _c	A _c 'eb	A _c 'vloed	Q _{max} eb	Q _{max} vloed	$\bar{v}$	V _{max} eb	V _{max} vloed	Q	$\bar{u}$
			(10 ⁶ m ³)			(m)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ³ /s) · 10 ³	(m ³ /s) · 10 ³	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)
Schuitengat	II	1956	68,6	65,3	133,9	8,2	5770	5920	5620	5,1	3,8	0,52	0,86	0,68	4,7	0,82
		1974	63,8	54,3	118,1	8,5	5520	5650	5820	4,5	3,2	0,48	0,80	0,55	4,2	0,75
	IIa	1956	67,7	76,6	144,3	12,1	5180	5240	5115	4,7	4,3	0,66	0,90	0,84	5,0	0,98
Slenk	III	1956	29,2	27,6	56,8	5,9	2960	2860	2920	2,1	1,84	0,43	0,73	0,63	2,0	0
Westmeep	IV	1956	351,1	334,5	685,6	12,4	19220	18950	19600	21,1	20,7	0,80	1,12	1,06	24	1,25
		1958	306,5	293,4	599,9	11,7	18200	17560	18540	17,7	20,8	0,74	1,01	1,12	21,1	1,16
Noordmeep	V	1956	115,8	80,9	196,7	10,8	7560					0,58			9	0,91
Oude Zuidmeep	VII	1956	37,0	36,2	73,2	7,7	2930					0,56			2,6	0,88
Franekegat	VIII	1956	8,4	7,8	16,2	5,5	770					0,47			0,57	0,74
Vliestroom	XI	1958	352,5	406,7	759,2	14,4	25200	25020	25340	21,2	26,9	0,67	1,18	1,06	26,7	1,06
Blauwe Slenk	XIIa	1958	85,4	109,9	195,3	9,6	8065	7980	8232	5,0	7,0	0,54	0,63	0,85	6,9	0,85
	III	1969	104,0	123,4	227,4	6,5	11000	10760	10760	6,0	8,6	0,46	0,56	0,80	8,0	0,73
Oosterom	III	1974	44,6	35,5	80,1	6,6	4485	4595	4430	2,8	2,25	0,40	0,61	0,51	2,8	0,63
Zeegat	3	1971	824,8	870,1	1694,9	9,3	63300	61900	64700	58,5	58,6	0,60	0,95	0,91	59,56	0,94

Voor symbolenlijst zie blz. 51 en 52

behoort bij: nota
 datum: december 1985
 bladnr: 8

WWKZ-84.V016

Voor het herleiden van de diverse parameters uit de tabellen 1 en 2 naar waarden die gelden voor springtij, kan voor een grove benadering eveneens de amplitudeverhouding van de genoemde getijstations worden aangehouden. Omdat echter de debieten sterk beïnvloed worden door de windsterkte en windrichting dient met deze factoren terdege rekening te worden gehouden. De windinvloed kan in de herleiding worden verdisconteerd door gebruik te maken van het middenstandsvlak. Laatstgenoemde kan worden bepaald volgens een methode uit (lit. 2). Door middel van een verband tussen debiet, getijverschil en middenstandsvlak kan de herleiding worden uitgevoerd.

In tabel 3 worden de getijfactoren (amplitude springtij gedeeld door de amplitude gemiddeld getij) gegeven, waarmee de waarden uit de tabellen 1 en 2 globaal kunnen worden herleid naar springtij.

Tabel 3: Getijfaktor ($\frac{\text{ampl. springtij}}{\text{ampl. gem. getij}}$) van diverse getijstations.

getijstation	getijfaktor ($\frac{\text{ampl. springtij}}{\text{ampl. gem. getij}}$)
Den Helder	1,15
Den Oever	1,12
Harlingen	1,11
Oude Schild	1,14
Vlielandhaven	1,15
West Terschelling	1,14
Nes	1,14

2.3. Het doorstromingsprofiel (A_c).

De oppervlakte van het doorstromingsprofiel (A_c) is bepaald ten opzichte van N.A.P. De opneming van het profiel is in bijna alle gevallen uitgevoerd in hetzelfde jaar als waarin de debietmeting plaatsvond.

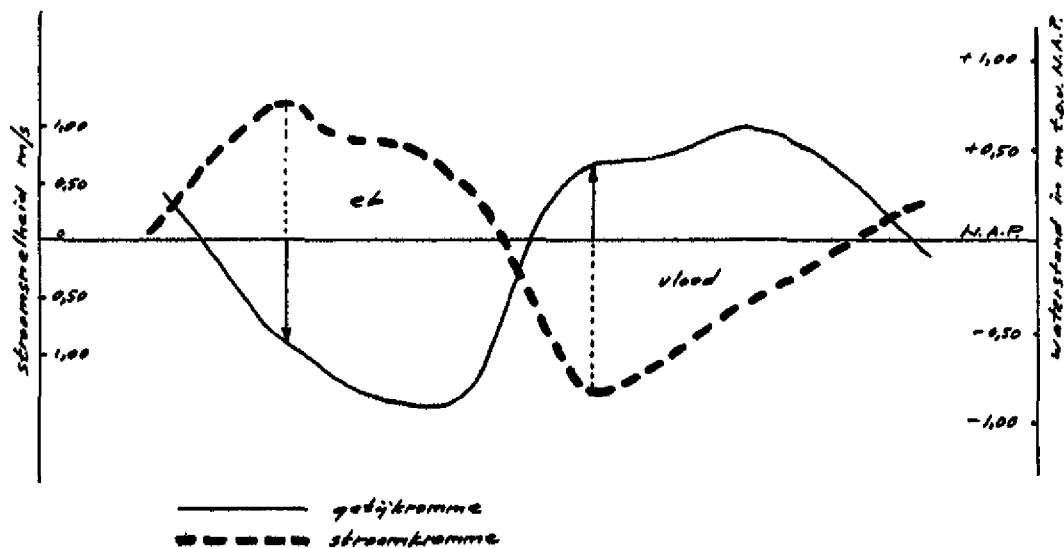
behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr:

WWK2-84.V016

Evenals in lit. 1 wordt naast A_C (doorstroomprofiel ten opzichte van N.A.P.) zowel voor eb als vloed A_C' gegeven. Dit is de oppervlakte van het doorstroomprofiel op het tijdstip waarop het maximum debiet (Q_{max}) wordt gemeten.

Uit stroommetingen blijkt namelijk dat de relatie tussen vertikaal getij en horizontaal getij het beeld vertoont zoals globaal is aangegeven in figuur 1.

Figuur 1



De maximum stroomsnelheid tijdens eb blijkt gepaard te gaan met een waterstand van enkele decimeters beneden N.A.P. De maximum stroomsnelheid tijdens vloed treedt op als de waterstand enige decimeters hoger ligt dan N.A.P. De oppervlakte A_C' is dus het doorstroomprofiel A_C vermeerderd met het profiel beneden danwel boven het peil van N.A.P. tijdens Q_{max} .

behoort bij: nota

nr. WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 10

2.4. Gegevens zeegaten.

Betreffende de gegevens van de zeegaten dient onderscheid te worden gemaakt tussen gemeten en berekende gegevens. De debieten van de meer naar buiten liggende raaien 5 en 6 gelegen voor respectievelijk het Zeegat van Texel en het Zeegat van het Vlie zijn namelijk niet ontleend aan metingen, doch berekend met behulp van de continuïteitsvergelijking en het debiet gemeten in raai 1 (Zeegat van Texel, 1975) en raai 3 (Zeegat van Vlie, 1971). Bij deze berekening is gebruik gemaakt van de gemiddelde getijkrommen van de getijstations Den Helder, Vlieland-haven en West Terschelling. Het doorstroomprofiel van raai 5 is gebaseerd op lodingen van 1975 en het doorstroomprofiel van raai 6 op lodingen van 1971-1972.

2.5. De ontwikkeling van het vertikaal getij tijdens de periode waaruit de gegevens dateren.

Om de gegevens op de juiste wijze te kunnen interpreteren is het noodzakelijk na te gaan welke veranderingen met betrekking tot het vertikaal getij zich mogelijk hebben voorgedaan. De belangrijkste schommelingen in het vertikaal getij zijn de 18,6-jarige cyclus (veroorzaakt door de verandering van de hoek 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 lit. 3.

- Tabel 2.5. -

Tabel 2.5: Gemiddelde stijging van het gemiddeld zeeniveau (MSL), gemiddeld hoogwater (HW), gemiddeld laagwater (LW) en gemiddeld getijverschil (TD) in cm per eeuw (uit lit. 3).

station	MSL	HW	LW	TD	periode met gegevens
Den Helder	16	15	7	8	1933-1980
Harlingen	16	27	10	17	1933-1980

De stijging van het gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddeld tijverschil is niet in alle getijstations langs de westelijke Waddenzee gelijk. Dit komt nog sterker tot uiting op bijlage 3. Op deze bijlage worden de veranderingen gepresenteerd welke zijn opgetreden in de slotgemiddelden van de diverse getijstations. Het gaat dus om wezenlijke verschillen.

Weergegeven zijn de veranderingen die zijn opgetreden in het verschil tussen het gemiddelde hoogwater, laagwater, halftij en tijverschil te Den Helder en de getijstations Den Oever, Harlingen, Oude Schild, Vlieland-haven en West Terschelling (de stijgingen te Den Helder zelf zijn hierbij geëlimineerd). De gemiddelde hoogwaterstanden (ten opzichte van Den Helder) van de diverse getijstations blijken inderdaad een geringe relatieve stijging te vertonen.

De gemiddelde laagwaterstanden vertonen niet in alle stations eenzelfde beeld. De gemiddelde laagwaterstanden van de stations Den Oever, Oude Schild en Harlingen stijgen sterker dan het gemiddeld laagwater te Den Helder. De gemiddelde laagwaterstanden van de stations West Terschelling en Vlieland-haven laten daarentegen een duidelijke verlaging zien, met als gevolg een vrij sterke toename van het tijverschil.

In lit. 4, waarin met betrekking tot het getijstation Vlieland-haven hetzelfde wordt geconcludeerd, wordt gesteld dat ook het debiet door de toename van het getijverschil kan zijn toegenomen. Deze toename wordt geschat op 4 à 5%.

Kort samengevat kan worden gesteld dat het gemiddelde getijverschil (volgens de slotgemiddelden) in de periode 1950-1980 te Den Helder, Den Oever, Oude Schild en Harlingen geen verandering van betekenis heeft ondergaan (enkele centimeters), terwijl de amplitude van de stations West Terschelling en Vlieland-haven ± 10 cm is toegenomen. Het laatstgenoemde is voornamelijk te wijten aan een verlaging van de gemiddelde laagwaterstanden, hetgeen een vergroting van de debieten kan hebben veroorzaakt.

2.6. Veranderingen in het kombergingsgebied door erosie en sedimentatie.

De westelijke Waddenzee is door de Adviesdienst Hoorn tussen 1963 en 1978 drie keer gelood.

In lit. 5 zijn op basis van de diepteveranderingen tussen de respektievelijk opnemingen jaarwaarden van erosie en sedimentatie over de beschouwde tijdvakken gegeven. De maximale sedimentatie blijkt plaats te vinden tussen het N.A.P.-vlak en de gemiddelde laagwaterlijn. Zo blijkt in de periode 1963/1968 - 1970/1973 de sedimentatie tussen het vlak van N.A.P. en N.A.P. -2 m te variëren tussen de 1 en 4% (lit. 5, bijlage 18), hetgeen betekent dat de komberging tussen deze vlakken met deze percentages (1 à 4%) in genoemde periode is afgenomen.

Erosie deed zich in de beschouwde periode voor tussen N.A.P. -5 m en N.A.P. -12 m.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 13

Enigermate dient derhalve rekening te worden gehouden met een gering kombergingsverschil en een mogelijk afnemen van de hydraulische weerstand door het eroderen van de diepe geulen en het sedimenteren van de ondiepe delen. De twee processen werken in tegengestelde richtingen en kunnen elkaar (althans gedeeltelijk) compenseren.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 14

WWK2-84.V016

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. Het getijvolume is de som van de absolute waarden van het eb- en vloedvolume.

In lit. 6 werd door Haring gekonkludeerd dat voor gemiddeld getij de gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) in al de zuidwestelijke zeegaten van Nederland ca. 55 cm/sek. bedraagt, maar dat de gemiddelde stroomsnelheid in het Zeegat van Texel en het Zeegat van het Vlie aanzienlijk hoger ligt ($\bar{v} = 0,70$ à $0,75$ m/s). De verklaring voor dit verschil ($= 0,2$ m/sek.) zou volgens Haring moeten worden gezocht in het verschil in korrelgrootte van het zand.

Uit tabel 1 blijkt evenwel, dat de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) lang niet in alle zeegaten van de Waddenzee gelijk is. Zo blijkt in het Zeegat van Texel en het Zeegat van Ameland de gemiddelde stroomsnelheid ca. $0,70$ m/sek. te bedragen, in het Zeegat van het Vlie $0,60$ m/sek. en in het Eierlandsegat slechts $0,45$ m/sek.

Tussen de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en de grootte van het doorstroomprofiel (A_G) wordt geen duidelijk verband gevonden (bijlage 4).

Bij nadere beschouwing blijken de gemiddelde stroomsnelheden echter een verloop te hebben dat met de verwachtingen overeenkomt. Men moet daarbij bedenken dat de profielen in de buitengebieden van de zeegaten (5 en 6) lagere snelheden zullen ver-

behoort bij: nota

nr. WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 15

tonen ten gevolge van de invloed van golven op het zandtransport (lit. 1). Ook het profiel van het Zeegat v.h. Vlie (raai 3) ligt enigszins naar buiten. Neemt men deze tendenties in overweging dan blijkt dat de snelheden toenemen naarmate het zeegat dieper wordt.

Beschouwen we de Waddenzee als één kombergingsgebied dat gevuld en geledigd moet worden dan komt een lagere snelheid gekombineerd met een ondieper profiel overeen met de verwachtingen vanwege de hogere hydraulische weerstand in het ondiepere Eyerlandse Gat (zie ook bijlage 5).

Een trend zoals op bijlage 4 door kromme (a) is aangegeven, welke geldt voor de naar binnen gelegen profielen van de zeegaten, is dan een reële mogelijkheid.

Een heel belangrijk aspekt voor de juiste interpretatie is echter, dat wordt bedacht dat door de afsluiting van de Zuiderzee (thans IJsselmeer) het getijregime grote veranderingen heeft ondergaan. Dit geldt voor het vertikaal getij, maar ook voor het horizontaal getij, niet in het minst in de zeegaten.

Zo blijkt uit lit. 7 dat het getijvolume van het Zeegat van Texel na afsluiting van de Zuiderzee (1932) met 26% is toegenomen.* Het doorstroomprofiel is daarentegen niet verruimd. Het is zelfs enigszins kleiner geworden. Verdieping van het profiel kan evenmin worden gekonstateerd. Integendeel, de diepte nam ook af. Ter verduidelijking zijn in tabel 4 de betreffende gegevens nog eens gepresenteerd.

*

Door Batjes wordt in lit. 7 opgemerkt dat de volumina van vóór de afsluiting der Zuiderzee niet door debietmetingen zijn bepaald, maar dat in het Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918-1926 (S.C.L.) wel waarden hiervoor zijn gegeven, welke derhalve door hem werden gebruikt.

behoort bij: nota
 datum: december 1985
 bladnr: 16

WWKZ-84.V016

Tabel 4: Gegevens Zeegat van Texel van vóór en na de afsluiting der Zuiderzee.

	A_G (m ²)	TV/2 (10 ⁶ m ³)	$\bar{v}$ (m/s)
vóór de afsluiting	63.000	712	0,51
na de afsluiting	54.000	907	0,75

Het waargenomen verloop van de profielsveranderingen komt niet overeen met de verwachtingen. Over de oorzaak hiervan kan slechts gespeculeerd worden. Mogelijkheden zijn onder meer: het aanwezig zijn van zeer resistente lagen die verdieping tegen gaan; de door kustverdediging vastgelegde oevers die horizontale uitbreiding beletten en een profielvorm creëren die een lagere hydraulische weerstand oplevert of veranderingen in de buitendelta die het zandtransport door het zeegat beïnvloeden.

De in tabel 4 gegeven waarden voor A_G en TV/2 zijn ontleend aan lit. 7 (blz 29 en 44), de waarde $\bar{v}$ is berekend op de wijze zoals aangegeven in par. 3.1. Uit de gegevens van tabel 4 blijkt, dat de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) in het Zeegat van Texel vóór de afsluiting van de Zuiderzee wel in sterke mate correspondeerde met de resultaten van Haring.

Het feit dat na versterking van de stromen door het Zeegat van Texel (ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee) het dwarsprofiel zelfs afnam, is door Battjes (lit. 7) aangeduid als een 'zeer merkwaardig' verschijnsel. Op blz. 46 van lit. 7 zegt hij: 'Resumerend kan gezegd worden dat de afname van de oppervlaktes der dwarsprofielen na '32 niet is te verklaren met de huidige kennis'.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 17

nr. WWKZ-84.V016

In lit. 8 wordt eveneens geattendeerd op het Zeegat van Texel met daarbij de opmerking: 'It is not known why the cross sectional area remains practically constant'. Het Eierlandsegat, dat dezelfde wijzigingen in horizontaal getij onderging is daarentegen wel verruimd, hetgeen overeenkomt met de algemene verwachtingen.

Bezien we nu de huidige situatie dan blijkt (zie tabel 1) dat het doorstroomprofiel (A_C) van het Zeegat van Texel in 1975 is bepaald op 59.000 m² en de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) op 0,75 m/s. Hieruit kan worden gekonkludeerd dat in de situatie zoals deze ontstaan is na de afsluiting van de Zuiderzee, tot op heden weinig of niets is veranderd en dat zelfs na het sterk toegenomen zijn van de gemiddelde stroomsnelheid en het getijvolume er kennelijk toch weer sprake is van een min of meer stabiele situatie, met name wat betreft de diepte. Dit blijkt namelijk uit het feit dat een goed verband wordt gevonden tussen de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en de hydraulische straal (R) van de zeegaten (bijlage 5). In deze relatie blijkt ook het Zeegat van Texel goed te passen, zodat kan worden opgemaakt dat $\bar{v}$ en R in zekere mate in evenwicht zijn.

Betreffende de meer landinwaarts gelegen Waddengeulen stelt Haring (lit. 6) dat de gemiddelde stroomsnelheid gedurende het getij 0,50 à 0,55 m/sek bedraagt. Uit tabel 2 blijkt echter dat de gemiddelde stroomsnelheid in de geulen van de binnendelta van het Zeegat van het Vliet vrij sterk variëren (0,40 tot 0,80 m/sek).

Opmerkelijk is, dat wederom slechts een vrij geringe correlatie kan worden vastgesteld tussen de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en het doorstroomprofiel (A_C) (bijlage 6), terwijl tussen de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en de hydraulische straal (R) een duidelijker verband wordt gevonden (bijlage 7). De landinwaarts gelegen Waddengeulen vertonen dus min of meer hetzelfde beeld als de zeegaten.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 18

WWKZ-84.V016

Uit het feit dat de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en het doorstroomprofiel (A_C) niet in sterke mate correleren terwijl dit wel het geval is bij de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en de hydraulische straal (R), blijkt dat naast de grootte ook de diepte van het doorstroomprofiel van wezenlijk belang is met betrekking tot de stabiliteit.

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 ten tijde van het maximum debiet.

Voor de zeegaten van de Waddenzee is op bijlage 8 de maximum stroomsnelheid (v_{max}) uitgezet als functie van het doorstroomprofiel (A_C), voor zowel eb als vloed. Vastgesteld moet worden dat evenals de gemiddelde stroomsnelheid ook de maximum stroomsnelheid niet goed correleert met het doorstroomprofiel. Hier kan hetzelfde worden opgemerkt als voor de gemiddelde snelheden (zie par. 3.1). De kromme (a) geeft ook hier een betere betrekking. De maximum stroomsnelheid wordt in sterke mate bepaald door de diepte van het doorstroomprofiel. Een en ander blijkt uit bijlage 9, die een goede relatie laat zien tussen de maximum stroomsnelheid (v_{max}) en de hydraulische straal (R).

Bijlage 10 geeft voor de geulen van de binnendelta van het Zee-gat van het Vlie het verband v_{max} versus A_C voor eb en vloed. De correlatiecoëfficiënten bedragen respectievelijk 0,752 en 0,867. Vastgesteld moet worden dat de maximum stroomsnelheid en het doorstroomprofiel van de geulen een betere correlatie laten zien dan van de zeegaten, hetgeen blijkt uit de correlatiecoëfficiënten. Hierbij dient echter bedacht te worden dat de hy-

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 19

nr. WWKZ-84.V016

hydraulische straal - die blijkens het voorgaande in dit verband een niet onbelangrijke faktor is - van de geulen varieert tussen de 6 en 14 $1/2$ m, terwijl bij de zeegaten de kleinste hydraulische straal 2 $1/2$ m bedraagt (Eierlandsegat) en de grootste 19,5 m (Zeegat van Texel). Op bijlage 11 wordt het verband tussen de hydraulische straal (R) en de maximum stroomsnelheid voor de geulen in de binnendelta van het Vlie gegeven voor zowel eb als vloed.

Uitgaande van de relaties zoals gegeven op bijlage 8 en 10 moet worden gesteld dat niettegenstaande het feit dat er een verband bestaat tussen v_{max} en A_C , de parameter v_{max} minder geschikt blijkt te zijn als stabiliteitsparameter. Voor de binnengeulen is het gebruik van v_{max} als stabiliteitsparameters nog wel aanvaardbaar.

3.3. Vergelijking met resultaten uit andere onderzoeken.

In par. 3..2 is al opgemerkt dat door Haring in lit. 6 met betrekking tot de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) reeds een vergelijking is gemaakt tussen de zuidwestelijke zeegaten van Nederland en de zeegaten van de Waddenzee. In al de zuidwestelijke zeegaten vond Haring, ondanks de verschillen in grootte van de doorstroomprofielen, een gemiddelde stroomsnelheid van 0,55 m/sek.; in het Zeegat van Texel en het Zeegat van het Vlie konstateerde hij daarentegen een gemiddelde stroomsnelheid van 0,70 à 0,75 m/sek.

Op grond van de gegevens uit lit. 7 kan echter worden gekonkludeerd dat vóór de afsluiting van de Zuiderzee de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) in het Zeegat van Texel (en mogelijk ook in de andere) eveneens 0,50 à 0,55 m/s bedroeg. Het door Haring

geconstateerde verschil zal dus pas na 1932 (jaar van afsluiting) zijn ontstaan.

Het huidige beeld van de gemiddelde stroomsnelheid in de zeegaten van de Waddenzee verschilt aanzienlijk van het beeld der zuidwestelijke zeegaten. In tegenstelling tot laatstgenoemde blijkt de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) in de zeegaten van de Waddenzee onderling vrij sterk te verschillen (0,43 - 0,74 m/s).

De correlatieberekening tussen gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) en doorstroomprofiel (A_G) (bijlage 4) toont niet een duidelijk verband tussen deze parameters. Ook bij Haring was dat niet het geval, gezien het feit dat hij voor de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) een konstante vond (0,55 m/sek). De grootte van het doorstroomprofiel blijkt dus niet in de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) tot uitdrukking te komen.

Correleren we de gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) met de hydraulische straal (R) van zowel de zeegaten van de Waddenzee als die van de zuidwestelijke zeegaten (volgens gegevens uit lit. 9) dan blijkt tussen deze parameters een goed verband te bestaan (bijlage 12).

Mogelijk kan het betrekkelijk geringe verschil in hydraulische straal (R) der zuidwestelijke zeegaten mede het feit verklaren dat Haring in alle zuidwestelijke zeegaten een vrijwel gelijke gemiddelde stroomsnelheid vond.

4. DE RELATIE TUSSEN HET GETIJDEBIET EN HET DOORSTROOMPROFIEL.

4.1. Het maximum debiet ($Q_{\max}$) als stabiliteitsparameter.

Voor de zeegaten van de Waddenzee is het maximum debiet ($Q_{\max}$) uitgezet als functie van het doorstroomprofiel (A_C') op bijlage 13, voor zowel eb als vloed. Deze correlatiediagrammen laten zien dat er een goed verband bestaat tussen deze parameters ($\gamma_{\text{eb}} = 0,978$; $\gamma_{\text{vloed}} = 0,960$). Hierbij dient opgemerkt te worden dat de raaien in het buitengebied (5 en 6) niet bij de berekening zijn betrokken.

Op bijlage 14 is dezelfde relatie ($Q_{\max}$ versus A_C') uitgezet voor de doorstroomprofielen van de geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. Aan de hand van de correlatiecoëfficiënten ($\gamma_{\text{eb}} = 0,993$; $\gamma_{\text{vloed}} = 0,992$) kan worden gekonkludeerd dat hier sprake is van een zeer goed verband. Opgemerkt moet worden dat de regressielijnen op bijlage 13 niet door de oorsprong gaan, zodat voor lagere debieten ($Q_{\max} < 10,000 \text{ m}^3/\text{sek}$) het lineaire verband van de grotere Q 's niet meer opgaat. Voor de geulen van de binnendelta gaan de lijnen bijna door de oorsprong. Opvallend is daarbij, dat de relatie van het zeegat zelf, redelijk goed past in het verband dat geldt voor de doorstroomprofielen van de geulen in de binnendelta.

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

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

$$\hat{Q} = \frac{\pi (FV + EV)}{2T} \quad (4.0)$$

De relatie $\hat{Q}$ versus A_C is voor de zeegaten van de Waddenzee uitgezet op bijlage 15. Ook dit verband heeft een vrij hoge correlatiecoëfficiënt ($\gamma = 0,981$). De relatie die hieruit voortvloeit voor de zeegaten van de Waddenzee wordt benaderd door de vergelijking:

$$A_C = 0,83 \cdot \hat{Q} + 5046 \quad (4.1)$$

Het sinusoidale maximum debiet (Q) uit (4.1) heeft betrekking op gemiddelde getijomstandigheden. De hiermede korresponderende maximum getijsnelheid is:

$$\hat{u} = \frac{\hat{Q}}{A_C} = 1,20 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

Uit tabel 1 blijkt echter dat de waarde $\hat{u}$ vrij sterk varieert (tussen 0,68 en 1,17 m/s). In lit. 9 is op dezelfde wijze voor monden van zeegaten de volgende relatie vastgesteld:

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

De hiermee korresponderende maximum getijsnelheid ($\hat{u}$) bedraagt 0,85 m/s. Op bijlage 15 is ter vergelijking deze relatie eveneens aangegeven (stippellijn). Opgemerkt kan worden dat de relaties welke gevonden zijn voor het Eierlandsegat en de buitenraaien van de zeegaten van Texel en van het Vlie redelijk korresponderen met het door Van de Kreeke en Haring (lit. 9) gevonden verband voor de zuidwestelijke zeegaten. Daarentegen vertonen de binnenraai van het Zeegat van Texel (1) en het Zeegat van Ameland (4) een vrij grote afwijking.

Bijlage 16 geeft het verband $\hat{Q}$ versus A_C voor de doorstroomprofielen van de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. De relatie die hieruit volgt wordt benaderd door:

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 23

WWKZ-84.V016

$$A_C = 0,9989 \hat{Q}$$

De hiermede corresponderende maximum getijsnelheid ($\hat{U}$) bedraagt: 1,00 m/s.

In lit. 1 is een dergelijk verband gepresenteerd voor de totale Westerschelde (doorstroomprofielen vanaf Bath t/m Vlissingen), dat eveneens op bijlage 16 is weergegeven. De relatie $\hat{Q}$ versus A_C voor de Westerschelde wordt benaderd door:

$$A_C = 1,08 \hat{Q} \quad (4.4)$$

terwijl

$$\hat{U} = 0,93 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

Onderlinge vergelijking laat zien dat de relatie welke gevonden is voor de doorstroomprofielen van de binnendelta van het Zeegat van het Vlie en de relatie voor de Westerschelde dicht bij elkaar liggen. Dit, ondanks het verschil in gradatie der zandkorrels. In de geulen van de binnendelta van het Zeegat van het Vlie varieert de gradatie van de zandkorrels namelijk tussen de 80 en 180 μ (voornamelijk vastgesteld op de platen).*) De Westerschelde laat daarentegen een gradatie zien die varieert tussen de 50 en 400 μ . Een niet onbelangrijk verschil derhalve.

Het voorgaande kort samengevat geeft het volgende:

- De relatie $\hat{Q}$ versus A_C welke gevonden werd voor de zeegaten van de Waddenzee verschilt aanzienlijk van de relatie welke gevonden werd door Van de Kreeke en Haring voor de zuidwestelijke zeegaten (gepresenteerd in lit. 9) en de relatie die gevonden werd voor de Westerschelde (lit. 1);
- de relatie $\hat{Q}$ versus A_C gevonden voor de binnendelta van het Zeegat van het Vlie vertoont slechts een gering verschil met de relatie welke in lit. 1 is gepresenteerd voor de Westerschelde.

*) In de geulen zijn de zandkorrels wel groter.

5. HET GEBRUIK VAN DE MAATGEVENDE SCHUIFSPANNING (τ_s) ALS STABILITEITSPARAMETER.

5.1. Definitie van τ_s voor springtij en gemiddeld getij.

Het begrip maatgevende schuifspanning of stabiliteitschuifspanning is geïntroduceerd door Bruun en Gerritsen (lit. 10). Zij verstaan hieronder de bodemschuifspanning welke bepalend is voor de stabiliteit van een geul. Als volgt zijn zij op dit begrip gekomen. Door hen werd gesteld dat de bedvormende condities voor stroomgeulen zich voordoen in de periode rond de maximale stroomsnelheid, omdat in deze periode het maximale zandtransport optreedt. Het zandtransport in de stroomgeulen is echter weer in sterke mate afhankelijk van de door de stroom veroorzaakte schuifspanning aan de bodem. Deze laatste kan dus worden beschouwd als de eigenlijke faktor die de stabiliteit van een geul bepaalt. Door Bruun en Gerritsen daarom stabiliteitsschuifspanning genoemd.

Het zal duidelijk zijn dat deze stabiliteitsschuifspanning aanmerkelijk verschilt (groter is dan) de zogenaamde kritieke schuifspanning, die kenmerkend is voor het begin van beweging. De stabiliteitsschuifspanning τ_s kan als volgt worden gedefinieerd (lit. 10):

$$\tau_s = \rho g \frac{Q^2_{\max}}{A_c^2 C^2} \quad (5.1)$$

waarin:

- τ_s = stabiliteitsschuifspanning
- ρ = dichtheid van het water
- g = versnelling van de zwaartekracht

$Q_{\max}$ = maximum debiet

A_C = doorstroomoppervlakte op gemiddeld zeeniveau

C = Chezy-coëfficiënt

De afleiding van (5.1) is gegeven in lit. 1. Omdat τ_g afhangt van $Q_{\max}$, moet worden aangegeven voor welke getijomstandigheden zijn waarde gedefinieerd is.

Door Bruun en Gerritsen is in lit. 10 het gemiddeld springtij aangehouden als bedvormende situatie. Vanwege de vaste relatie tussen gemiddeld springtij en gemiddeld tij kan ook laatstgenoemde worden aangehouden, hetgeen in lit. 1 en in deze nota is gebeurd. Voor een vergelijking met de vroeger gevonden waarden in lit. 10 moet een korrektie naar springtij worden aangebracht.

Bovenstaande relatie (5.1) reduceert het aantal stabiliteitskriteria voor estuaria en zeegaten tot één, namelijk de waarde van τ_g . Men kan zich denken dat τ_g afhankelijk zal zijn van korreldiameter, (gemiddelde) zandconcentratie in het profiel, bodemruwheid en ribbelvorm, zout- en zoetrelatie, dominerende golfhoogte en toevoer van materiaal naar de meetraai etc. In de literatuur is nog geen eenstemmige relatie voor de bepaling van τ_g beschreven. We kunnen in het onderhavige geval echter τ_g bepalen uit de meetwaarden van $Q_{\max}$ en A_C' (par. 5.2). Laatstgenoemde (A_C') lijkt beter te voldoen dan A_C .

Indien voor τ_g een waarde kan worden gevonden die bijvoorbeeld afhankelijk is van korreldiameter, contratie, bodemruwheid etc. dan kan de bovenstaande relatie (5.1) wellicht algemeen toepasbaar voor diverse estuaria op een voorspellende wijze gebruikt worden. In lit. 1 werd zo gevonden dat alle doorstroomprofielen in het Westerschelde-estuarium voor de vloodsituatie met een τ_g -waarde van $3,3 \text{ N/m}^2$ beschreven konden worden.

In het volgende wordt nagegaan of ook voor de Waddenzeegeulen en zeegaten een dergelijke τ_g -waarde die algemeen geldig is gevonden kan worden.

5.2. De verhouding $\frac{Q_{\max}}{C \sqrt{\tau_s / \rho g}}$ als stabiliteitsparameter.

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

Voor het bepalen van τ_s uit de meetwaarden van $Q_{\max}$ en A_C' kan gebruik worden gemaakt van de relatie (5.1). Uit deze vergelijking volgt voor de relatie tussen A_C' en $Q_{\max}$:

$$A_C' = \frac{Q_{\max}}{C \sqrt{\tau_s / \rho g}} \quad (5.2)$$

De waarde van τ_s moet dan zodanig worden bepaald dat het linker- en rechterlid van (5.2) aan elkaar gelijk zijn. Voor de berekening moet de waarde van de Chezy-coëfficiënt bekend zijn. Voor het bepalen van C is de relatie uit de studie van Boender (lit. 11) aangehouden, welke luidt:

$$C = 47,656 \sqrt[0,37]{} \quad (5.3)$$

Daarna is de waarde van τ_s voor elk doorstroomprofiel bepaald zodanig dat de grafiek van de relatie:

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

versus A_C' onder 45° verloopt (bijlage 17 en 18). Bij de berekeningen zijn de raaien 5 en 6 buiten beschouwing gelaten. In deze raaien komt het effect van de golven op de maatgevende schuifspanning tot uiting. In par. 5.3 wordt hierop nog nader ingegaan.

In tabel 5 worden voor de zeegaten van de Waddenzee de gevonden waarden van τ_s gegeven voor eb en vloed afzonderlijk voor zowel gemiddeld getij als springtij. Tabel 6 geeft de waarden voor de

diverse geulen welke liggen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. De basisgegevens voor de berekeningen staan vermeld in tabel 7 en 8.

Tabel 5: Stabiliteitsschuifspanning voor zeegaten van de Waddenzee bij gemiddeld tij en springtijomstandigheden.

raai- nr.	zeegat	gemiddeld getij			springtij		
		τ_{geb} (N/m ²)	τ_{svloed} (N/m ²)	τ_{sgem} (N/m ²)	τ_{geb} (N/m ²)	τ_{svloed} (N/m ²)	τ_{sgem} (N/m ²)
1	Zeegat van Texel	5,65	5,55	5,60	7,45	7,35	7,40
2	Eierlandsegat	2,75	2,65	2,70	3,65	3,55	3,60
3	Zeegat van het Vlie	4,10	3,90	4,00	5,40	5,10	5,25
4	Zeegat van Ameland	4,75	4,85	4,80	6,20	6,30	6,25
5	buitenraai Zeegat van Texel	5,65	5,55	5,60	7,45	7,35	7,40
6	buitenraai Zeegat van het Vlie	4,10	3,90	4,00	3,65	3,55	3,60

Tabel 6: Stabiliteitsschuifspanning voor geulen gelegen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie bij gemiddeld getij en springtijomstandigheden.

raai- nr.	geul	gemiddeld getij			springtij		
		τ_{geb} (N/m ²)	τ_{svloed} (N/m ²)	τ_{sgem} (N/m ²)	τ_{geb} (N/m ²)	τ_{svloed} (N/m ²)	τ_{sgem} (N/m ²)
II en IIa	Schuitengat	3,60	2,80	3,20	4,70	3,60	4,15
III	Slenk	2,95	2,45	2,70	3,80	3,20	3,50
IV	Westmeep	4,80	4,90	4,85	6,25	6,35	6,30
XI	Vliestroom	3,60	4,70	4,15	4,70	6,10	5,40
XIIa en III	Blauwe Slenk	2,30	3,50	2,90	3,00	4,50	3,75
III	Oosterom	2,40	1,90	2,15	3,10	2,50	2,80

Tabel 7: Basisgegevens van de parameter $\frac{Q_{\max}}{CV\tau_s/\rho g}$

EB												
zeegat	raai- nummer	jaar	ρ	g	ρg	τ_s	$Q_{\max}$	A_c'	$(V_{\text{vert}})_{\max}$	c	$\frac{Q_{\max}}{CV\tau_s/\rho g}$	
			(kg/m ³)	(m sek ⁻²)	(kg/m ² sek ²)	(N/m ²)	(m ³ /sek) $\times 10^3$	(m ²)	(m/sek)	(m ^{1/2} /sek ⁻¹)	(m ²)	
Zeegat van Texel	1	1971	1021	9,81	10016	5,65	69,8	58400	1,20	51,0	57625	
		1974					69,3	56200	1,23	51,5	56656	
		1975					70,4	57400	1,23	51,5	57556	
Eierlandse gat	2	1971				2,75	11,9	17280	0,69	41,5	17305	
		1979					11,6	15800	0,73	42,4	16511	
		1980					11,7	18180	0,64	40,4	17478	
Zeegat van het Vlie	3	1971				4,10	58,5	61900	0,95	46,8	61782	
Zeegat van Ameland	4	1951					4,75	26,8	25000	1,09	49,2	25013
		1969					28,7	28080	1,02	48,0	27456	
		1970					30,8	29030	1,06	48,7	29042	
		1971					30,7	29000	1,06	48,7	28947	
Buitenraai Zeegat van Texel	5	bere- kend				5,65(5,05)	70,5	80500	0,88	45,5	65238(69005)	
Buitenraai Zeegat van het Vlie	6	bere- kend				4,10(3,40)	60,7	84000	0,73	42,2	71094(78070)	
VLOED												
Zeegat van Texel	1	1971	1021	9,81	10016	5,55	78,5	61240	1,28	52,2	63885	
		1974					61,9	58665	1,06	48,7	53996	
		1975					74,8	59800	1,25	51,8	61344	
Eierlandsegat	2	1971				2,65	11,3	18298	0,62	39,9	17411	
		1979					13,3	17040	0,78	43,5	18797	
		1980					10,9	19028	0,57	38,7	17316	
Zeegat van het Vlie	3	1971				3,90	58,6	64700	0,91	46,0	64559	
Zeegat van Ameland	4	1951					4,85	31,5	25000	1,28	52,2	27423
		1969					27,3	29460	0,93	46,4	26738	
		1970					32,0	29530	1,08	49,0	29678	
		1971					30,3	29500	1,03	48,2	28568	
Buitenraai Zeegat van Texel	5	bere- kend				5,55(5,00)	78,5	82500	0,95	46,8	71257(75073)	
Buitenraai Zeegat van het Vlie	6	bere- kend				3,90(3,13)	60,5	87750	0,69	41,5	73879(82467)	

Tussen haakjes de gekorrigeerde waarden met betrekking tot de invloed golven.
Voor symbolenlijst zie blz. 51 en 52.

Tabel 8: Basisgegevens van de parameter $\frac{Q_{max}}{CVTS/pg}$

EB											
geul	real- nummer	jaar	p	g	p g	Ls	Q _{max}	A _c	(V _{vert}) _{max}	c	Q _{max} CVTS/PS
			(kg/m ³)	(m sek ⁻²)	(kg/m ² sek ²)	(N/m ²)	(m ³ /sek)	(m ²)	(m/sek)	(m ³ /sek ⁻¹)	(m ²)
W.OED											
Schuitengat	II	1956	1021	9,81	10016	3,60	5,1	5920	0,86	45,1	5965
Slenk	Ia	1974				3,60	4,5	5650	0,80	43,9	5407
	III	1956				3,60	4,7	5240	0,90	45,8	5413
	IV	1956				2,95	2,1	2860	0,73	42,4	2886
		1958				4,80	21,2	18950	1,12	49,7	19485
	XI	1958				3,60	21,2	25020	0,85	44,8	24961
Vliestroom		1958				2,30	5,0	7980	0,63	40,2	8208
	III	1969				2,30	6,0	10760	0,56	38,5	10284
	III	1974				2,40	2,8	4595	0,61	39,7	4556
Oostercan		1971				4,10	58,5	61900	0,95	46,8	61782
Zeeget	3										
W.OED											
Schuitengat	II	1956	1021	9,81	10016	2,80	3,8	5620	0,68	41,3	5503
Slenk	Ia	1974				2,80	3,2	5820	0,55	38,2	5010
	III	1956				2,80	4,3	5115	0,84	44,7	5754
	IV	1956				2,45	1,84	2920	0,63	40,2	2927
		1958				4,90	20,7	19600	1,06	48,7	19217
	XI	1958				4,90	20,8	18540	1,12	49,7	18922
Westmeep		1958				4,70	26,9	25340	1,06	48,7	25499
		1958				3,50	7,0	8232	0,85	44,9	8340
	III	1969				3,50	8,6	10760	0,80	43,9	10480
Blauwe Slenk	III	1974				1,90	2,25	4430	0,51	37,2	4392
	3	1971				3,90	58,6	64700	0,91	46,0	64559
Oostercan		1971				3,90	58,6	64700	0,91	46,0	64559
Zeeget	3										

Voor symbolenlijst zie bijz. 51 en 52.

De gevonden waarden voor eb liggen over het algemeen hoger dan die voor vloed. Dit is niet verwonderlijk daar ook het maximum debiet bij eb in de meeste gevallen iets hoger ligt dan bij vloed.

Uit de tabellen 5 en 6 blijkt dat er een aanzienlijke variatie is in de waarde van τ_s . Bezien is welk resultaat het geeft wanneer voor τ_s de waarde wordt ingevoerd die voor de Westerschelde is gevonden. Omdat de eb- en vloedwaarde van τ_s voor de Westerschelde vrij sterk verschillen is het gemiddelde van deze beide waarden genomen, hetgeen neer komt op $\tau_s = 4 \text{ N/m}^2$. Het relatief grote verschil tussen de eb- en vloedwaarde van τ_s voor de Westerschelde wordt veroorzaakt door het feit dat in lit. 1 de Chezy-coëfficiënt is berekend met behulp van de studie van Beijl (lit. 11). Beijl geeft voor eb en vloed aparte relaties, omdat de ruwheden voor eb en vloed verschillend zouden zijn.

De Chezy-coëfficiënt in het Waddengebied is berekend met de relatie van Boender (lit. 12) welke zowel voor eb als vloed geldt. Volgens lit. 12 en lit. 13 is het gemiddelde van de relaties van Beijl bijna identiek aan de relatie van Boender.

Om juist te zijn dient voor het Waddengebied derhalve het gemiddelde van de eb- en vloedwaarde van τ_s , gevonden voor de Westerschelde, te worden ingevoerd. Op bijlage 19 is de relatie

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

versus A_C' uitgezet voor de zeegaten van de Waddenzee ($\tau_s = 4 \text{ N/m}^2$).

Vergelijking met de lijn onder 45° laat zien dat het Zeegat van Texel in vrij sterke mate afwijkt. Dit geldt ook voor het Eierlandsegat, zij het in veel mindere mate en in tegengestelde richting. De gevonden afwijkingen kunnen wellicht verklaard worden uit het gedrag van de Chezy-coëfficiënt. Voor het Eier-

landsegat is de diepte relatief klein en het zandtransport relatief groot, waardoor de relatieve ribbelhoogte vermoedelijk groot is. De voor dit zeegat gebruikte C-waarde, verkregen met de relatie van Boender is vermoedelijk te hoog; een vermindering van C brengt de punten (2) dichterbij de gemiddelde lijn van bijlage 19.

Voor het Zeegat van Texel geldt de omgekeerde redenering. De C-waarde is vermoedelijk hoger dan die welke in de berekening gebruikt is. Dit brengt de punten (1) ook dichterbij de gemiddelde relatie.

Op bijlage 20 is dezelfde relatie uitgezet voor de binnendelta van het Zeegat van het Vlie ($\tau_s = 4 \text{ N/m}^2$).

De spreiding rond A_c' blijkt zowel bij de relatie voor de zeegaten van de Waddenzee (bijlage 19) als bij de relatie voor de binnendelta van het Zeegat van het Vlie (bijlage 20) kleiner te zijn dan bij de verbanden $Q_{\max}$ versus A_c' (respektievelijk bijlage 13 en 14) hetgeen een aanwijzing is dat τ_s een geschikt criterium is voor voorspelling in het algemeen.

Voorzichtige konklusies uit dit alles zijn:

1. De stabiliteit van zeegaten en estuaria is te beschrijven met τ_s (konform lit. 10).
2. Niet bekend is op welke wijze de waarde τ_s samenhangt met de daarvoor verantwoordelijke fysische factoren (korreldiameter, concentratie, bodemruwheid etc.).
3. Wanneer de waarde van τ_s van Nederlandse zeegaten en estuaria uit metingen wordt bepaald blijkt er een zekere konstantheid in de waarde van de stabiliteitsschuifspanning ($\tau_s = 4 \text{ N/m}^2$ bij gemiddeld getij) voor alle zeegaten en estuaria, met als duidelijke uitzondering het Zeegat van Texel).
4. Een vervolg op deze bevindingen zou kunnen zijn het verzamelen van gegevens van de betrokken zeegaten en estuaria van de op de τ_s van invloed geachte factoren (korreldiameter,

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 30

WWK2-84.V016

koncentratie, bodemruwheid etc.). Hieruit zou kunnen blijken welke factoren van minder belang zijn gezien de gelijke waarde van τ_s voor de verschillende zeegaten en estuaria en welke factoren van groot belang zijn gezien de duidelijke afwijking van het Zeegat van Texel.

5.3. Het effect van golven op de maatgevende schuifspanning.

De schuifspanningen aan de bodem worden in gebieden waar sprake is van golven bepaald door de gekombineerde invloed van golven en stroom. Waar deze situatie optreedt wordt naar men mag aannemen ook de maatgevende of stabiliteitsschuifspanning (τ_s) beïnvloed.

Om de invloed van golven op de stabiliteitsschuifspanning te kunnen nagaan kan gebruik worden gemaakt van de formule van Bijker (1967) (lit. 14). Het effect van golven op de stabiliteitsschuifspanning komt sterk uit bij de raaien 5 en 6. In deze raaien moet de stabiliteitsschuifspanning wellicht worden gecorrigeerd. Naar analogie van de wijze waarop in lit. 1 een correctie is toegepast voor een tweetal raaien (12 en 13) in de Mond van de Westerschelde kan de stabiliteitsschuifspanning in de raaien 5 en 6 worden gecorrigeerd.

De bodemtransportformule van Bijker (1967) luidt:

$$S_x = B \cdot D \cdot \frac{v}{C} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta D C^2}{\mu \cdot v^2 \{1 + \frac{1}{2} (\xi \frac{u_0}{v})^2\}}} \quad (5.3.1)$$

ofwel:

$$S_x = B \cdot D \cdot \frac{v}{C} \cdot \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \cdot e^{-0,27 \frac{\Delta \cdot D \cdot \rho g}{\mu \cdot \tau_c \{1 + \frac{1}{2} (\xi \frac{u_0}{v})^2\}}} \quad (5.3.2)$$

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 golbeweging

Δ = de relatieve sedimentdichtheid gedefinieerd als

μ = de ribbelcoëfficiënt gedefinieerd als:

$$\mu = \frac{C}{18 \log 12 \frac{R}{K}}$$

waarin:

C = Chezy-coëfficiënt

R = de hydr. straal

K = D₉₀

ξ = de faktor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen, gedefinieerd als:

$$\frac{P_b \cdot \kappa \cdot C}{g^{1/2}}$$

waarin:

P_b = 0,45

κ = 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:

$$\sqrt{\tau_s} e^{\frac{-0,27 \Delta D \rho g}{\mu \tau_s}} = \sqrt{\tau_s'} e^{\frac{-0,27 \Delta D \rho g}{\mu \tau_s' \{1 + \frac{1}{2} \xi^2 (\frac{u_o}{v})^2\}}} \quad (5.3.3.)$$

De waarden van τ_s' kunnen nu uit τ_s worden berekend. Deze worden gegeven in tabel 9 voor zowel eb als vloed.

Tabel 9: Schuifspanning in raai 5 en 6 zonder invloed van golven (τ_s) en met invloed golven (τ_s').

raai-nr.	τ_s eb (N/m ²)	τ_s' eb (N/m ²)	τ_s vloed (N/m ²)	τ_s' vloed (N/m ²)
5	5,65	5,05	5,55	5,00
6	4,10	3,40	3,90	3,13

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

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

van de raaien 5 en 6 zijn eveneens gegeven in tabel 7 en uitgezet op de bijlage 17.

Vastgesteld kan worden dat de gekorrigeerde waarden redelijk goed passen in het voor de zeegaten van de Waddenzee gevonden verband. Bij de eb vertoont de (gecorrigeerde) relatie van raai 5 en 6 een iets grotere afwijking dan bij vloed. Dit was echter ook reeds het geval bij de eerder beschouwde relaties (bijlage 13).

5.4. Vergelijking tussen de resultaten van de Waddenzee en de resultaten van de Westerschelde.

De relaties uit par. 5.1, 5.2 en 5.3 kunnen worden vergeleken met relaties uit lit. 1 teneinde na te gaan in hoeverre deze met elkaar overeenkomen.

5.4.1. Zeegaten.

Tabel 10 geeft ter vergelijking de waarden van τ_s voor zowel de zeegaten van de Waddenzee als voor de mond van de Westerschelde. Ook de waarden welke met betrekking tot de invloed van golven gekorrigeerd zijn (τ_s') zijn in deze tabel opgenomen.

Tabel 10: Stabiliteitsschuifspanning in zeegaten bij gemiddeld tij omstandigheden, zonder invloed van golven (τ_s) en met invloed van golven (τ_s').

zeegat	τ_{seb} (N/m ²)	$\tau_{s'eb}$ (N/m ²)	τ_{svloed} (N/m ²)	$\tau_{s'vloed}$ (N/m ²)	τ_{sgem} (N/m ²)	$\tau_{s'gem}$ (N/m ²)
Zeegat van Texel	5,65	5,05	5,55	5,00	5,60	5,03
Zeegat van het Vlie	4,10	3,40	3,90	3,13	4,00	3,27
Mond Westerschelde	4,90	4,25	3,30	2,81	4,10	3,53

Aan de hand van het gegevene in deze tabel kan worden gekonkludeerd dat de gevonden waarde van τ_s voor het Zeegat van het Vlie vrijwel overeenkomt met de waarde van de Westerschelde, terwijl de τ_s -waarde voor het Zeegat van Texel duidelijk hoger is. Het relatief grote verschil tussen de eb en vloedwaarde van τ_s voor de Westerschelde wordt veroorzaakt door het feit dat in lit. 1 de Chezy-coëfficiënt is berekend met behulp van de studie van Beijl (lit. 13). Het gemiddelde van de relaties van Beijl is bijna identiek aan de relatie van Boender. Van tabel 10 dienen derhalve de gemiddelde waarden van de stabiliteits-schuifspanning (τ_s gem. respectievelijk τ_s' gem.) te worden vergeleken.

Uit een nadere beschouwing blijkt, dat de τ_s -waarden van het Zeegat van Texel er duidelijk uitspringen. Dit is niet verwon-

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 34

WWKZ-84.V016

derlijk, gezien de hoge waarde van de gemiddelde stroomsnelheid in dit zeegat ($\bar{v} = 0,74$ m/s). Ook hetgeen Battjes in lit. 7 heeft gekonkludeerd, betreffende het Zeegat van Texel, verklaart een en ander.

Betreffende het resultaat van de correctie welke is toegepast op de raaien 5 en 6 voor de invloed van golven, kan worden gesteld dat deze eenzelfde beeld vertonen als de resultaten uit lit. 1. Ook in deze studie bleken de gekorrigeerde waarden van de vloed (van de raaien 12 en 13) beter in het totale verband te passen dan de waarden van de eb.

Omdat bij de overige relaties eveneens de doorstroomprofielen van de buitendelta's bij vloed beter met het totale verband korresponderen dan bij eb, zou hieruit kunnen worden opgemaakt dat de bedvormende kondities vooral zich voordoen tijdens de vloed.

5.4.2. Binnendelta's.

In tabel 11 zijn de gevonden waarden van τ_s welke gelden voor de geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie samen met de τ_s -waarden van de Westerschelde (estuarium) opgenomen. Hierbij dient wel te worden bedacht dat deze relaties niet geheel vergelijkbaar zijn. De doorstroomprofielen van de Westerschelde liggen namelijk in elkaars verlengde terwijl dit bij de doorstroomprofielen van de binnendelta van het Zeegat van het Vlie in het geheel niet het geval is.

Tabel 11: Stabiliteitsschuifspanning in estuariumgeulen bij gemiddeld tij omstandigheden.

	$\tau_{s\text{ eb}}$ (N/m ²)	$\tau_{s\text{ vloed}}$ (N/m ²)	$\tau_{s\text{ gem}}$ (N/m ²)
Het Vlie			
Schuitengat raai II en IIA	3,60	2,80	3,20
Slenk raai III	2,95	2,45	2,70
Westmeep raai IV	4,80	4,90	4,85
Vliestroom raai XI	3,60	4,70	4,15
Blauwe Slenk raai XIIa en III	2,30	3,50	2,90
Oosterom raai III	2,40	1,90	2,15
Zeegat van het Vlie	4,10	3,90	4,00
Westerschelde			
raai 1 t/m 6	4,00	3,30	3,65
raai 7 t/m 10	4,90	3,30	4,10
Mond Westerschelde			
raai 11	4,90	3,30	4,10

Niettegenstaande het bovengenoemde verschil blijkt uit tabel 11 dat de stabiliteitsschuifspanningen van beide estuaria vrij goed met elkaar overeenkomen.

5.5. Vergelijking met resultaten van Rietveld (lit. 8).

In lit. 8 geeft Rietveld onder andere enige fysische karakteristieken van de binnendelta van het Zeegat van Texel en van het Zeegat van het Vlie. Hij geeft daarbij tevens door hem berekende waarden voor de stabiliteitsschuifspanning (door hem aangeduid als τ_{max} ; doch berekend volgens vergelijking (5.1) uit par. 5)). Tabel 12 geeft de door hem gepresenteerde waarden.

De in deze tabel gepresenteerde data zijn deels op dezelfde metingen gebaseerd als de gegevens van tabel 1 uit par. 2. Dit geldt met name voor de gegevens van de Blauwe Slenk, Vliestroom en West Meep.

Rietveld presenteerde echter de gemeten waarden, welke hij ook voor zijn berekening gebruikte. Door ons zijn in tabel 1 gegevens gepresenteerd die zijn herleid naar het gemiddeld getij van het jaar waarin de meting plaatsvond. Dit geeft niet onbelangrijke verschillen.

De door Rietveld berekende waarden voor de stabiliteitschuiptenspanning (aangeduid als τ_{max}) liggen vrijwel steeds hoger, hetgeen blijkt uit een vergelijking tussen de waarden van tabel 12 en tabel 11. Het verschil wordt uitsluitend veroorzaakt door het feit dat Rietveld is uitgegaan van basisgegevens die niet zijn herleid naar gemiddeld getij en een iets andere waarde heeft aangehouden voor C. Voor het Zeeget van Texel (Marsdiep) vond hij om dezelfde reden een iets hogere waarde voor de stabiliteitschuiptenspanning dan volgde uit de huidige berekeningen (tabel 10).

Station	Name	Mean tidal conditions				Area of cross-section	T max N/sec	T max N/sec	C	Bed material	1)	2)
		max. velocity m/sec	max. discharge m ³ /sec	mean depth m	area of cross-section m ²							
1. Marsdiep	1. Marsdiep	1.6	22.0	64.0	930	1020	54,000	53	6.4	0.08	I, II	1.04
2. Vliestroom W	2. Vliestroom W	1.4	45.0	45.0	615	710	44,500	53	5.8	0.06	II, III	0.88
3. Vliestroom O	3. Vliestroom O	0.8	-	-	-	-	3,800	50	3.9	0.05	I, II, III	0.48
4. Blauwe Slenk	4. Blauwe Slenk	1.2	16.0	10.8	170	170	15,200	50	4.4	0.05	I	1.26
5. Vliestroom	5. Vliestroom	0.8	8.4	7.0	130	125	10,700	50	2.5	0.05	II	0.67
6. Vliestroom	6. Vliestroom	0.9	8.2	7.0	130	100	9,000	50	3.3	0.06	I, II	1.16
7. Vliestroom	7. Vliestroom	1.2	31.5	25.5	475	425	25,000	52	5.9	0.07	II	1.28
8. Vliestroom	8. Vliestroom	1.3	22.0	22.0	350	375	18,500	52	5.2	0.07	I, II	1.28
9. Vliestroom	9. Vliestroom	1.6	22.0	22.0	350	375	18,500	52	5.2	0.07	I, II	1.28
10. Vliestroom	10. Vliestroom	1.6	22.0	22.0	350	375	18,500	52	5.2	0.07	I, II	1.28

1) Classification - I - coarse sand, often with gravel and shell remains
II - sand with very little or no silt
III - half sand - half silt to sand with little silt
2) Development of cross-section - area before enclosure
area in 1950-1960

Tabel 12: Hydrographical data of Wadden Sea (tabel 2 uit lit. 8).

afkomstig bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 36

6. RELATIE TUSSEN GETIJVOLUME EN DOORSTROOMPROFIEL.

6.1. Zeegaten van de Waddenzee.

Op bijlage 21 is het ebvolume (EV) respectievelijk vloedvolume (FV) uitgezet als functie van het doorstroomprofiel (A_c). De korrelatiecoëfficiënten ($\gamma_{eb} = 0,975$; $\gamma_{vloed} = 0,977$) tonen aan dat tussen deze parameters een goed verband bestaat. De raaien 5 en 6 zijn hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat de relatie van deze beide raaien duidelijk verschilt van de relatie der overige raaien (1 t/m 4). Uit de vergelijkingen van de lijnen blijkt dat de relatie EV versus A_c vrijwel gelijk is aan de relatie FV versus A_c . Bijlage 22 geeft de relatie tussen het totale getijvolume (eb + vloedvolume) (TV) en het doorstroomprofiel (A_c).

6.2. Binnendelta Zeegat van het Vlie.

De relatie tussen het ebvolume respectievelijk vloedvolume en het doorstroomprofiel, voor de geulen in het Waddengebied binnen het Zeegat van het Vlie, is uitgezet op bijlage 23. De vrij hoge korrelatiecoëfficiënten ($\gamma_{eb} = 0,984$; $\gamma_{vloed} = 0,991$) laten zien dat ook deze relaties als zeer goed betiteld mogen worden. Dit geldt eveneens voor de relatie getijvolume (TV) versus doorstroomprofiel uitgezet op bijlage 24.

6.3. Vergelijking met de resultaten van andere onderzoekers.

6.3.1. Vergelijking met resultaten van Haring.

In lit. 6 heeft Haring een relatie gepresenteerd tussen getijvolume (TV) en doorstroomprofiel (A_G) voor de zuidwestelijke zeegaten van Nederland. Het feit dat hij in alle zeegaten een gemiddelde stroomsnelheid over het getij ($\bar{v}$) van ca. 0,55 m/s vond, bewees dat de verhouding tussen getijvolume en doorstroomprofiel in alle zeegaten gelijk was. Hij konstateerde echter dat de gemiddelde stroomsnelheid in het Zeegat van Texel en het Zeegat van het Vlie aanzienlijk hoger lag. Deze bleek ca. 0,70 à 0,75 m/sek. te bedragen.

Bovenstaande betekent dat het verband tussen getijvolume en doorstroomprofiel van de zeegaten van de Waddenzee niet zal overeenkomen met het door Haring gevonden verband voor de zuidwestelijke zeegaten.

Laatstgenoemde is ter vergelijking op bijlage 22 naast de relatie van de Waddenzee aangegeven (stippellijn). Hieruit blijkt dat tussen beide relaties een aanzienlijk verschil bestaat. Opmerkelijk is evenwel dat de relatie van het Zeegat van Texel van vóór de afsluiting der Zuiderzee wel in sterke mate overeenkomt met het door Haring gevonden verband voor de zuidwestelijke zeegaten.

Betreffende het verschil in gemiddelde stroomsnelheid bij de zuidwestelijke zeegaten en de zeegaten van de Waddenzee kan worden opgemerkt dat Haring (lit. 6) als oorzaak het verschil in korrelgrootte van het zand noemt.

Inderdaad is het verschil in korrelgrootte niet gering: zeegaten Waddenzee: 100 tot 180 μ , Mond Westerschelde: 250 tot ruim 400 μ . Opvallend is echter dat de gemiddelde stroomsnelheden ($\bar{v}$)

van de zeegaten van de Waddenzee onderling sterk verschillen (Zeegat van Texel: $\bar{v} = 0,73$ m/s. Eierlandsegat: $\bar{v} = 0,47$ m/s) terwijl het verschil in korrelgrootte van deze zeegaten niet bijzonder groot genoemd kan worden.

Dit verschil in gemiddelde snelheid is duidelijk gekoppeld aan het verschil in gemiddelde diepte. Vermoedelijk speelt ook de verhouding breedte/diepte een rol. Bij eenzelfde oppervlakte van doorstroming zal een kleinere verhouding tussen breedte en diepte grotere stroomsnelheden opleveren. De korrelgrootte van het materiaal zal toch wel een rol spelen, omdat die de ribbelvorming beïnvloedt en daarmee de Chezy-coëfficiënt.

6.3.2. Vergelijking met resultaten van Bruun (lit. 15).

Figuur 2 (zie volgende pagina) toont een door Bruun in lit. 15 gepresenteerd verband tussen doorstroomprofiel en getijdebiel voor alle zeegaten aan de Atlantische-, Gulf- en Pacifickust. De relaties van de zeegaten van de Waddenzee (raai 1, 2, 3 en 4) zijn ter vergelijking hierin geplot. Uit de figuur blijkt dat deze relaties zeer goed overeenkomen met het door Bruun gevonden verband.

6.3.3. Vergelijking met resultaten uit lit. 1.

Vergelijken we tenslotte de relaties van bijlage 21, 22, 23 en 24 met de resultaten uit lit. 1 dan konstateren we het volgende:

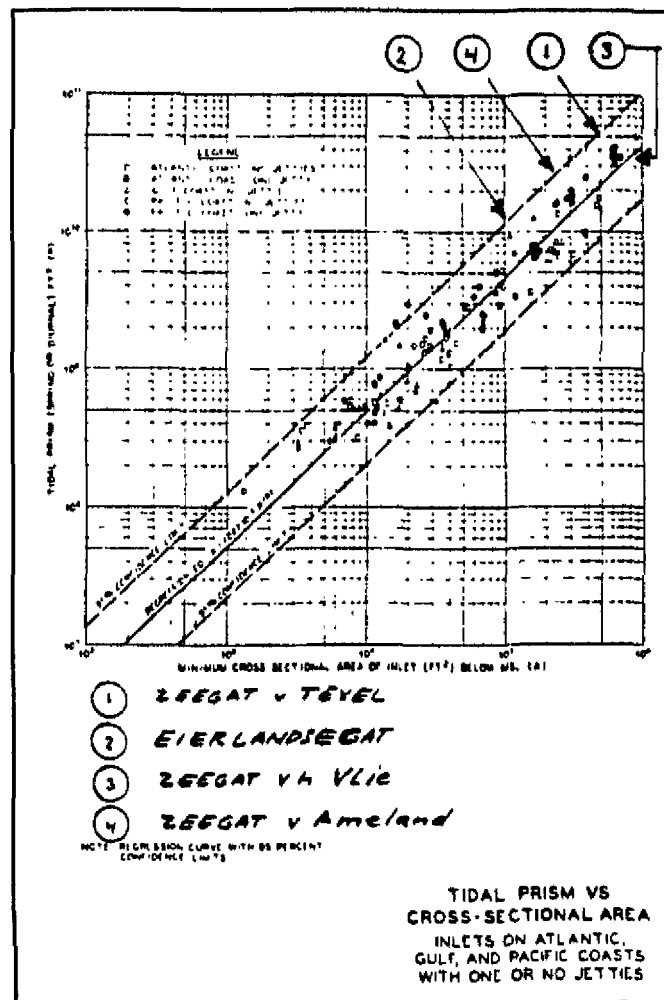
- Met de relaties (EV versus A_C respectievelijk FV versus A_C) welke gelden voor de zeegaten van de Waddenzee (bijlage 21) komt de relatie die geldt voor de mond van de Westerschelde slechts ten dele overeen. Vergelijking wijst uit dat de relaties van het Zeegat van Texel duidelijk afwijken.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 40

WWKZ-84.V016

Figuur 2 Verband tussen $TV/2$ en A_c voor estuariummondingen langs de Atlantische en Stille Oceaan aangevuld met relaties welke gelden voor de zeegaten van de Wadden-zee.

(Figuur 5.4.1.3. uit lit. 15).



rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. WWK2-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 41

Opmerkelijk is echter, dat de relaties van de raaien in het buitengebied (raai 5 en 6) geen grote afwijking laten zien met het voor de Westerschelde gevonden verband.

- Uit een vergelijking van de relaties van de geulen binnen het Zeegat van het Vlie (bijlage 24) met de relaties van het estuarium van de Westerschelde blijkt dat deze goed overeenkomen.

7. CONCLUSIES.

1. De gevonden empirische relaties waarmee de stabiliteit van de doorstroomprofielen kan worden beschreven voor zowel de zeegaten van de Waddenzee als voor de geulen binnen het Zeegat van het Vlie hebben alle een correlatiecoëfficiënt tussen 0,960 en 0,993.
2. De voor de zeegaten van de Waddenzee gevonden relaties zijn gedeeltelijk gelijk aan de relaties welke in lit. 1 zijn gepresenteerd voor de mond van de Westerschelde. Het Zeegat van Texel wijkt hiervan heel duidelijk af.
3. De relaties gevonden voor het geulengebied binnen het Zeegat van het Vlie vertonen een grote overeenkomst met de relaties welke gevonden zijn voor het estuarium van de Westerschelde.
4. De relatie tussen doorstroomprofiel en getijvolume welke geldt voor de zeegaten van de Waddenzee wijkt in aanzienlijke mate af van de relatie die door Haring werd gevonden voor de zuidwestelijke zeegaten. Een goede overeenkomst vertoont ze daarentegen met de relatie welke door Bruun werd gevonden voor alle zeegaten van de Atlantische Gulf kust en Pacific kust.
5. De voor het Zeegat van het Vlie en het Zeegat van Ameland gevonden waarden van τ_s komen dicht bij de waarde welke werd gevonden voor de mond van de Westerschelde. De waarde van τ_s van het Zeegat van Texel ligt echter duidelijk hoger en van het Eierlandsegat lager dan de waarde welke gevonden werd voor de mond der Westerschelde. De gevonden waarden voor τ_s voor de geulen binnen het Zeegat van het Vlie liggen in dezelfde orde van grootte als welke gevonden werden voor het estuarium van de Westerschelde.

6. De relaties van de raaien 5 en 6 blijken, bij gebruik van de τ_s -benadering waarin voor de invloed van golven op het zandtransport een correctie is aangebracht, redelijk goed te passen in het voor de zeegaten gevonden verband. Dit komt overeen met analoge berekeningen uit lit. 1.
7. Wanneer de waarde van τ_s van Nederlandse zeegaten en estuaria uit metingen wordt bepaald blijkt er een zekere konstantheid in de waarde van de stabiliteitsschuifspanning ($\tau_s = 4,0 \text{ N/m}^2$, bij gemiddeld getij) voor alle zeegaten en estuaria, met als duidelijke uitzondering het Zeegat van Texel.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 44

Literatuuropgave

- Lit. 1 Gerritsen, F. & Jong, H. de
 Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde.
 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Vlissingen.
 Nota WWKZ-83.V008.
- Lit. 2 Brolsma, P. & Boer, M. de
 Waterbeweging Waddenzee en aangrenzende deel van de Noordzee.
 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Hoorn.
 Notitie WWKZ-80.H275.
- Lit. 3 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 Off-shore North Sea Area. Editors: A.R. Ritsema en A. Cürpinar.
- Lit. 4 Rakhorst, H.D.
 Debieten Eierlandse Gat.
 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Hoorn.
 Nota WWKZ-81.H012.
- Lit. 5 Boer, M. de & Visser, G.C., e.a.
 Erosie en sedimentatie in de westelijke Waddenzee 1963-1978.
 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Hoorn.
 Nota WWKZ-80.H001.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 45

WWKZ-84.V016

- Lit. 6 Haring, J.
De verhouding van getijvolume en doorstromingsprofiel in de zeegaten 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.
- Lit. 7 Battjes, J.A.
Studie Zeegat van Texel.
Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn.
Nota 62.4.
- Lit. 8 Rietveld, C.F.W.
Natural development of the Wadden Sea after the enclosure of the Zuidersea.
Proc. 8th Coastal Eng., Mexico City, Nov. 1962, Publ. 1963, pp. 765-781.
- Lit. 9 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.
- Lit. 10 Bruun, P. & Gerritsen, F.
Stability of Coastal Inlets.
North-Holland Publishing Company.
Amsterdam 1960.
- Lit. 11 Beyl, P.
Zandtransportberekeningen in de Westerschelde.
Afstudeerrapport, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afde-

ling der Civiele Techniek, Technische Hogeschool
Delft, 1977.

Lit. 12 Boender, J.

Toetsing van gemeten snelheids- en zandconcentratie-
vertikalen aan de aannamen van Bijker en de bepaling
van de parameters b en μ uit de bodemtransportformule
van Bijker.

Afstudeerrapport, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afde-
ling der Civiele Techniek, Technische Hogeschool
Delft, 1977.

Lit. 13 Boender, J. en Reus, J. de

Beschouwingen over de bodemruwheid in stationaire en
niet-stationaire stroming.

Afstudeerrapport, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afde-
ling der Civiele Techniek, Technische Hogeschool,
1977.

Lit. 14 Bijker E.W.

Some considerations about scales for coastal models
with movable beds.

Delft Hydraulics Laboratory, publication no. 50,
1967.

Lit. 15 Bruun, P.

Stability of tidal inlets, theory and engineering.

Elsevier Scientific Publishing Compagny.

Amsterdam - Oxford - New York, 1978.

Lit. 16 Jong, H. de en Gerritsen, F.

Stability parameters of Western Scheldt estuary.

Proceedings 19th Coastal Eng. Conf., Houston, 1984,
A.S.C.E., p. 3078-3093.

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 47

WWKZ-84.V016

- Lit. 17 Burgt, J.H. van der
Veranderingen in de zeebodem van het Zeegat van het
Vlie en in de kustlijn der Waddeneilanden Vlieland en
Terschelling.
Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aard-
rijkskundig Genootschap.
Deel L III, 6 - november 1936.
- Lit. 18 Veen, Joh. van
"Ebb and Flood Channels in the Dutch Coastal Waters".
Tijdschrift Koninklijk Aardrijkskundig Genootschap,
tweede reeks, deel L XVII, no. 3, 1950.

behoort bij: nota

WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 48

Bijlagenlijst

bijlage- nummer	omschrijving	tekening- nummer
1	Zeegaten van de Waddenzee, positie van de meetraaien.	A4 - 86.17
2	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, positie doorstroomprofielen.	A4 - 86.18
3	Verschillen in slotgemiddelden van diverse getijstations ten opzichte van slotgemiddelde Den Helder.	A4 - 86.19
4	Zeegaten van de Waddenzee, gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus doorstroomprofiel (A_G).	A4 - 86.20
5	Zeegaten van de Waddenzee, gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus hydraulische straal (R).	A4 - 86.21
6	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus hydraulische straal (R).	A4 - 86.22
7	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus hydraulische straal (R).	A4 - 86.23
8	Zeegaten van de Waddenzee, maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_G).	A4 - 86.24
9	Zeegaten van de Waddenzee, maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) versus hydraulische straal (R).	A4 - 86.25
10	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_G).	A4 - 86.26

behoort bij: nota

WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr: 49

Vervolg bijlagenlijst:

bijlage- nummer	omschrijving	tekening- nummer
11	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, maximum stroomsnelheid ($v_{\max}$) versus hydraulische straal (R).	A4 - 86.27
12	Relatie gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus hydraulische straal (R) voor diverse zeegaten.	A4 - 86.28
13	Zeegaten van de Waddenzee, maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_C').	A4 - 86.29
14	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, maximum debiet ($Q_{\max}$) versus doorstroomprofiel (A_C).	A4 - 86.30
15	Zeegaten van de Waddenzee, sinusoidaal maximum debiet ($\hat{Q}$) versus doorstroomprofiel (A_C).	A4 - 86.31
16	Geulen in de binnendelta van het Vlie, sinusoidaal maximum debiet ($\hat{Q}$) versus doorstroomprofiel (A_C).	A4 - 86.32
17	Zeegaten van de Waddenzee. Relatie $Q_{\max}/C\sqrt{\tau_s/\rho g}$ versus A_C' .	A4 - 86.33
18	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. Relatie $Q_{\max}/C\sqrt{\tau_s/\rho g}$ versus A_C' .	A4 - 86.34
19	Zeegaten van de Waddenzee. Relatie $Q_{\max}/C\sqrt{\tau_s/\rho g}$ versus A_C' .	A4 - 86.35
20	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. Relatie $Q_{\max}/C\sqrt{\tau_s/\rho g}$ versus A_C' .	A4 - 86.36
21	Zeegaten van de Waddenzee. Eb- en vloedvolume versus doorstroomprofiel.	A4 - 86.37

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 50

WWKZ-84.V016

Vervolg bijlagenlijst:

bijlage- nummer	omschrijving	tekening- nummer
22	Zeegaten van de Waddenzee. Getijvolume versus doorstroomprofiel.	A4 - 86.38
23	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. Eb- en vloedvolume versus door- stroomprofiel.	A4 - 86.39
24	Geulen in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie. Getijvolume versus doorstroom- stroomprofiel.	A4 - 86.40

behoort bij: nota
 datum: december 1985
 bladnr: 51

WWKZ-84.V016

Symbolenlijst

A_C	doorstroomoppervlakte	m^2
A_C'	doorstroomoppervlakte tijdens max. debiet	m^2
B	een dimensieloze coëfficiënt	
b	breedte stroomgeul	m
C	Chezy-coëfficiënt	$m^{1/2} \text{ sec}^{-1}$
c	gem. concentratie van zand in het vertikaal	m^3/m^3
D	korrelgrootte	m
EV	ebvolume	m^3
FV	vloedvolume	m^3
g	versnelling van de zwaartekracht	$m \text{ sec}^{-2}$
K	bodemruwheid	m
M	totale zandtransport langs de kust (littoral drift)	m^3/jaar
P_D	constante	
Q	debiet	m^3/s
$\hat{Q}$	sinusoidaal maximum debiet	m^3/s
$Q_{\max}$	maximum debiet	m^3/s
Q_s	totale zandtransport (met poriën)	m^3/s
R	hydraulische straal	m
S_x	sedimenttransport	m^3/m'
T	getijperiode	s
TV	getijvolume (eb- en vloedvolume opgeteld)	m^3
t	tijd	s
$\hat{u}$	maximum getijsnelheid (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 vertikaal	m/s
x	de coördinaat in de richting van de stroom	m
z	bodemhoogte	m

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. WWKZ-84.V016

datum: december 1985

bladnr 52

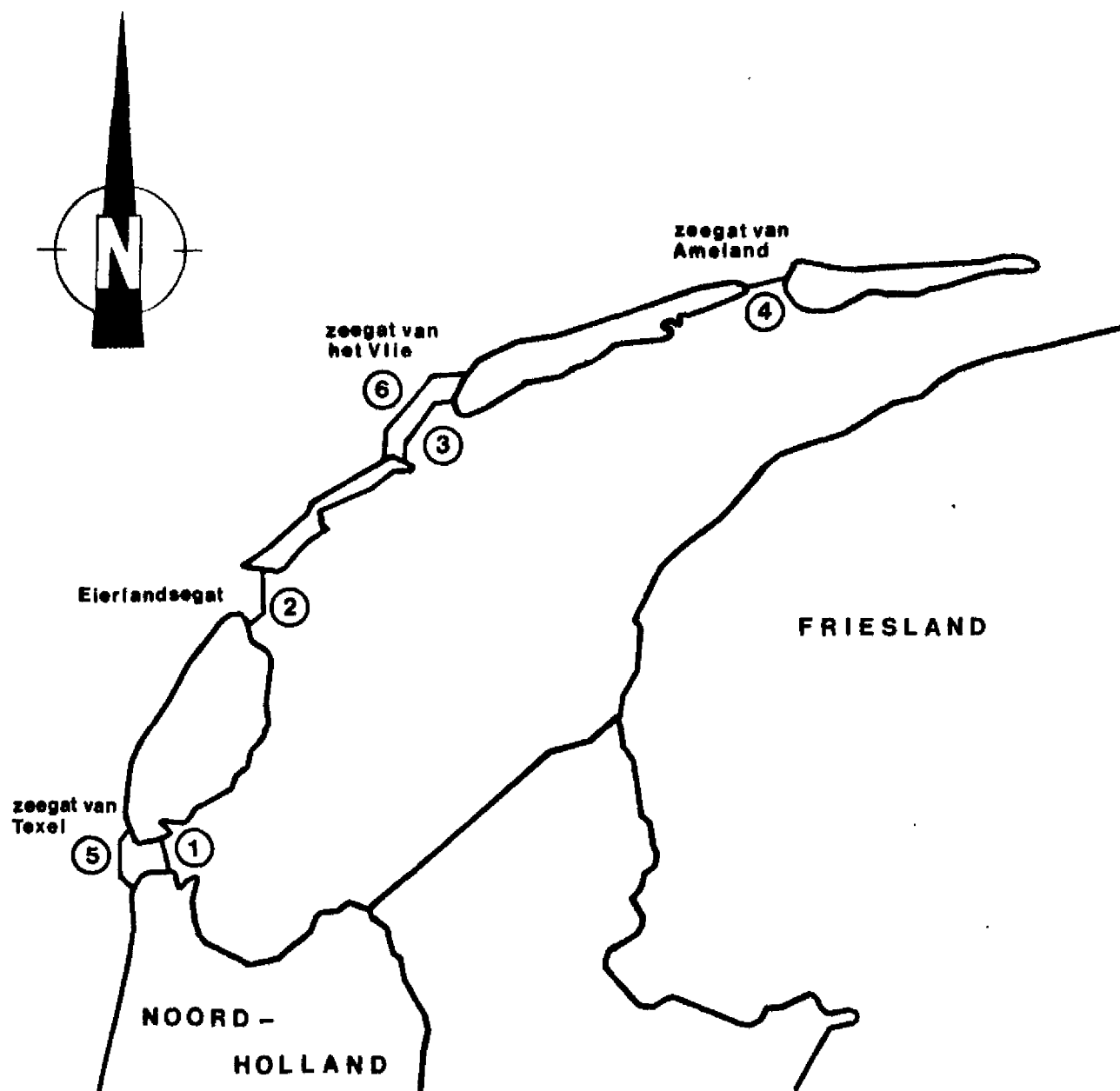
Δ	relatieve dichtheid van het sediment	_____
γ	correlatiecoëfficiënt	
κ	Von Kármáncoëfficiënt	
μ	ribbelfaktor	
ξ	faktor voor de verhoging van de schuifspanning bij een combinatie van golven en stromen	
π	konstante = 3,1415926536	
ρ	dichtheid van het water	kg/m ³
ρ_s	dichtheid van het sediment	kg/m ³
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

behoort bij: nota
datum: december 1985
bladnr: 53

WWKZ-84.V016

Erkentelijkheid

De auteurs zijn dank verschuldigd aan drs. P. Brolsma, hoofd van de voormalige Adviesdienst Hoorn, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, en het personeel van deze dienst, voor het ter beschikking stellen van de vele gegevens en het verlenen van medewerking bij de totstandkoming van deze nota.


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

get

d/s

bijl

gec

Zeegaten van de Waddenzee
positie van de meetraaien

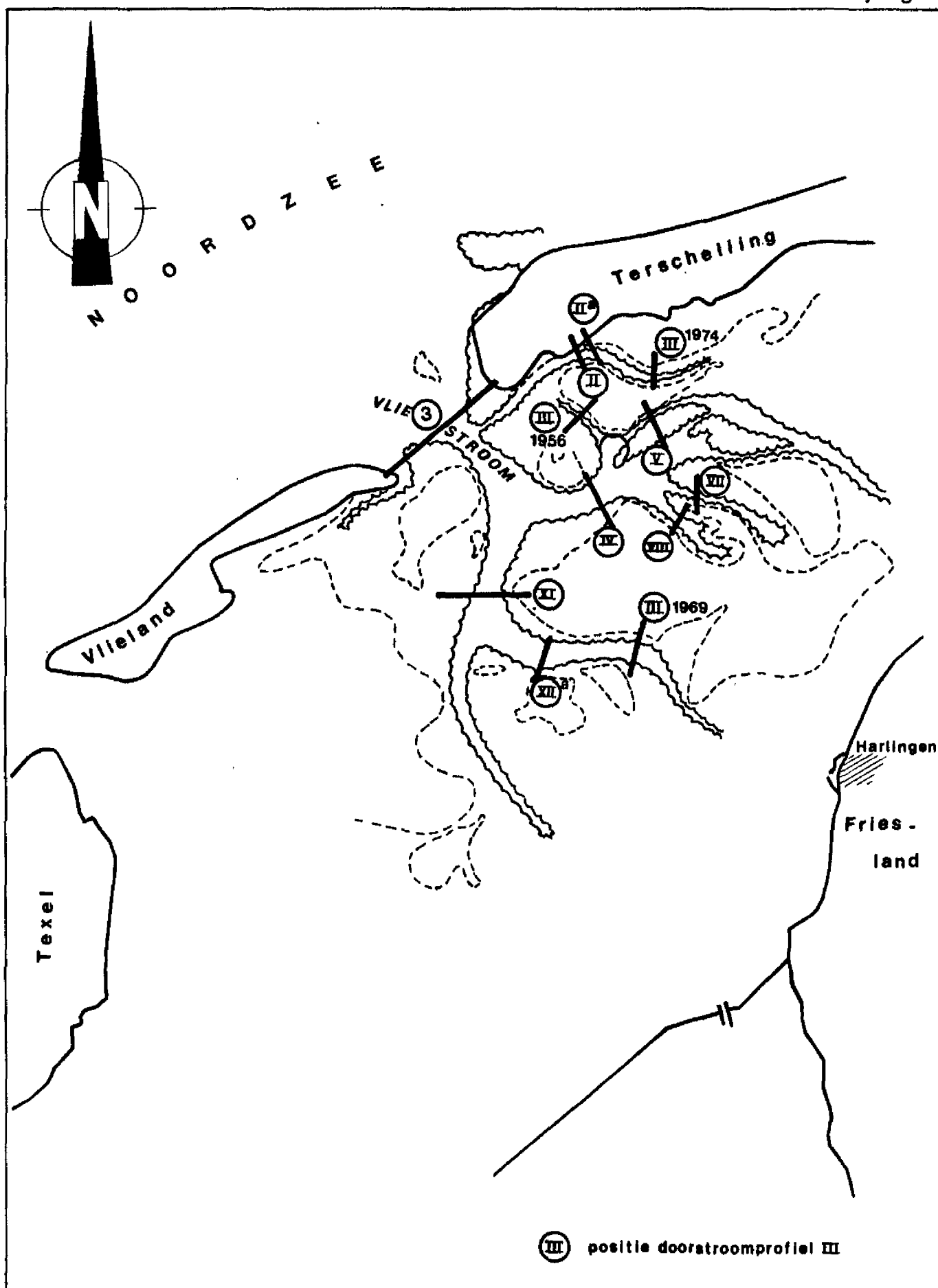
gez

schaal

akk

A4

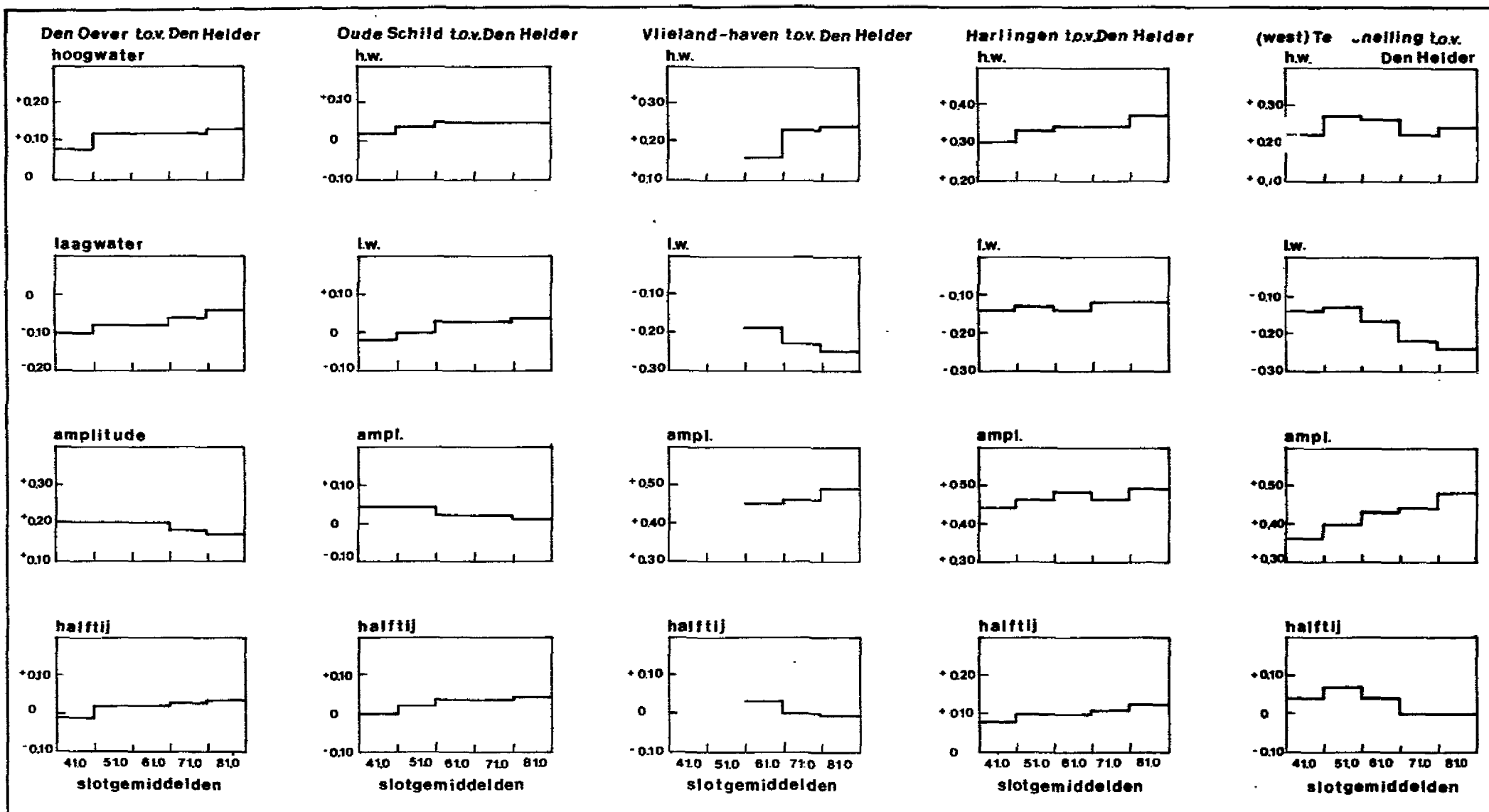
nr 86.17


rijkswaterstaat

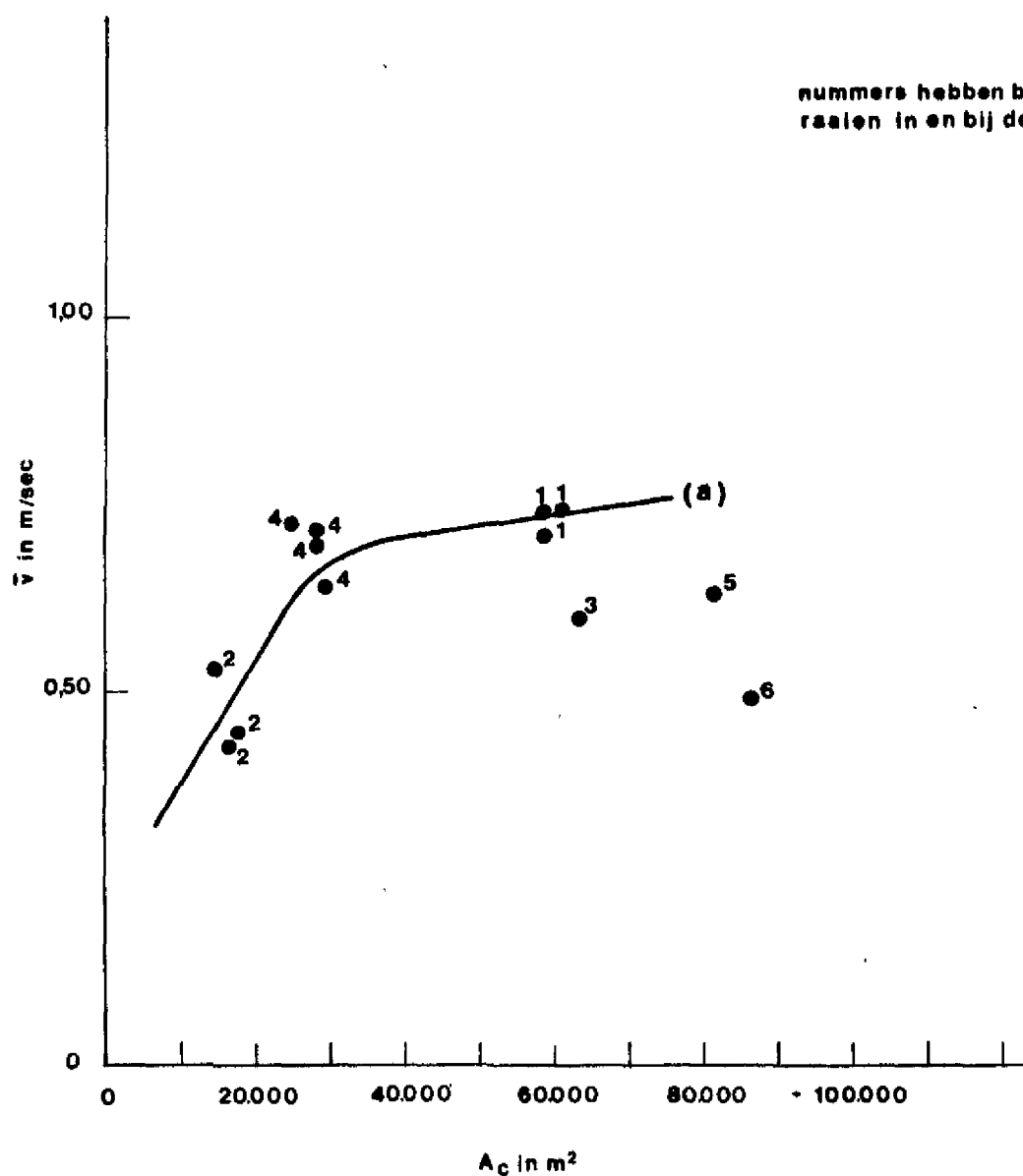
directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h.Vlie
positie doorstroomprofielen

get	$\frac{d}{b}$	bijl	
gec.			
gez.		schaal	
akk.	<i>[signature]</i>	A4	nr 86.18



rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen verschillen in slotgemiddelden van diverse getijstations tov. slotgemiddelden Den Helder	get.	d/3	bijl.	
	gec.			
	gez.		schaal	
	akk.	<i>[Signature]</i>	A 4	nr. 86.19

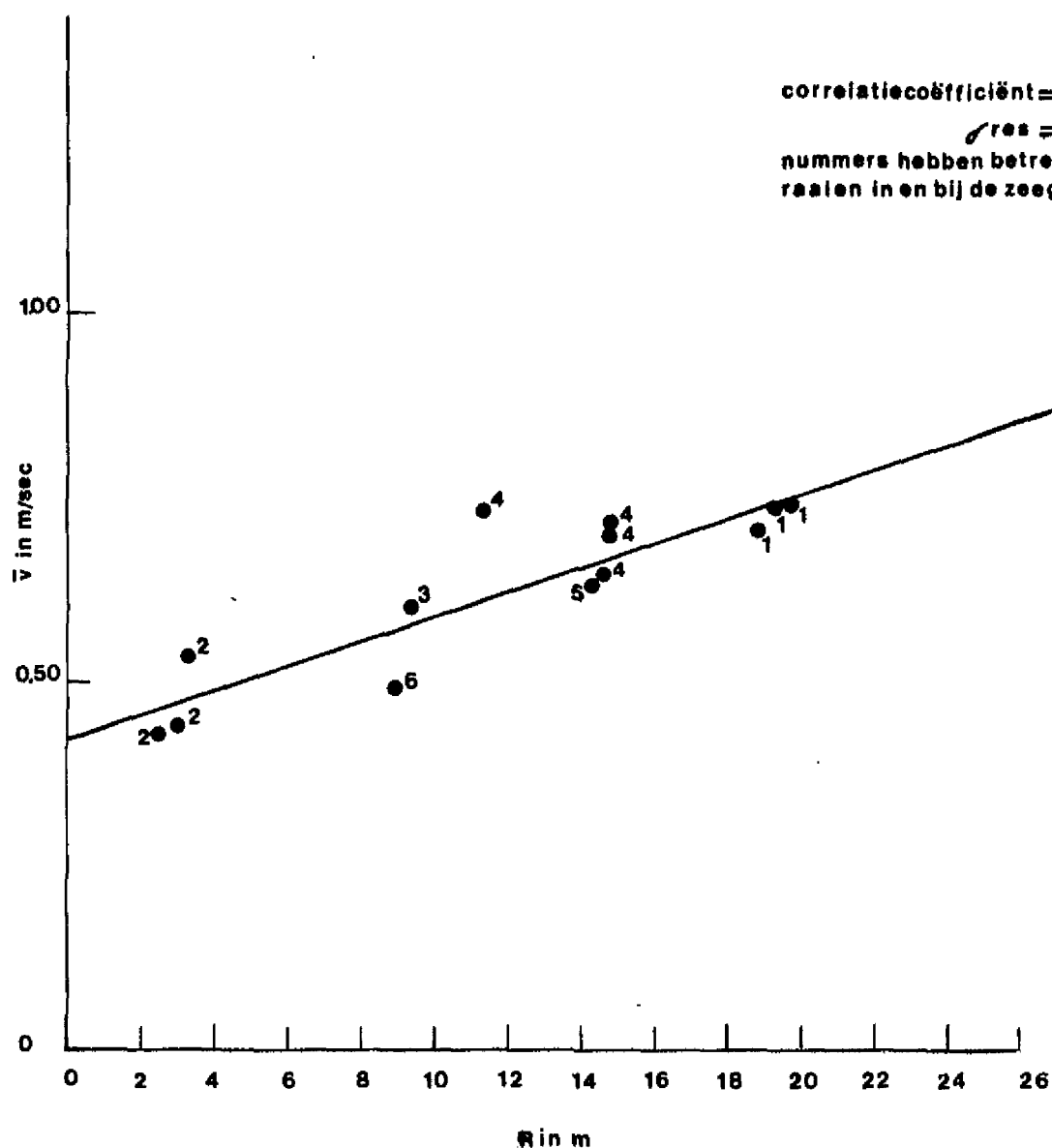
**rijkswaterstaat**

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

zeegaten van de Waddenzee

gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus
doorstroomprofiel (A_c)

get	<i>dB</i>	bijl
gec		
gez		schaal
akk.	<i>[signature]</i>	A4 nr 86.20


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

get

d/3

bijl

gec

Zeegaten van de Waddenzee

 gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus
 hydraulische straal (R)

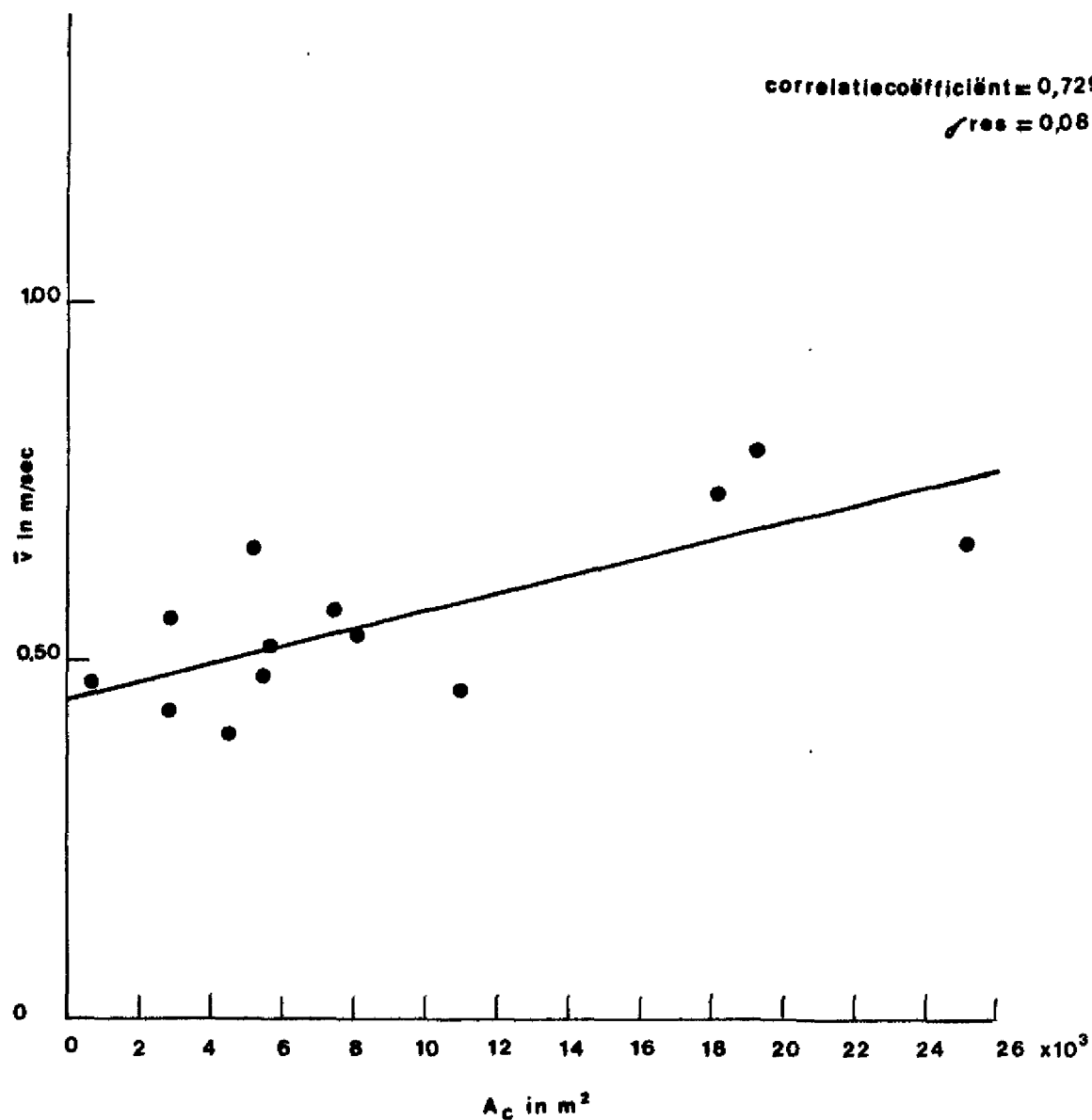
gez

schaal

akk

A4

nr 86.21

**rijkswaterstaat**

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee · adviesdienst vliissingen

get

d/3

bijl

gec

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie.
 gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus
 doorstroomprofiel (A_c)

gez

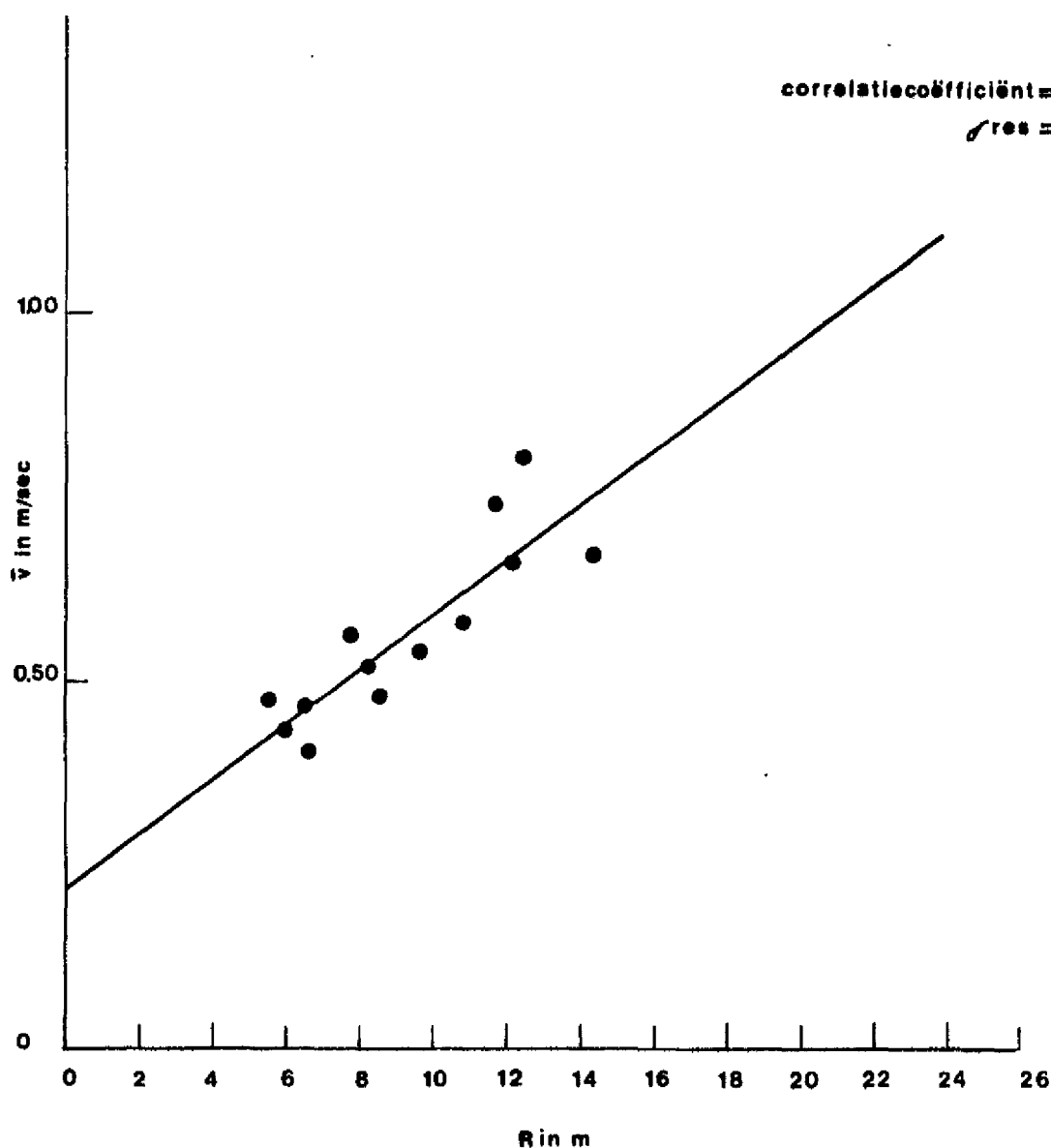
schaal

akk

A 4

nr

86.22

**rijkswaterstaat**directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee adviesdienst vliissingen

get

dB

bijt

gec

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus
hydraulische straal (R)

gez

schaal

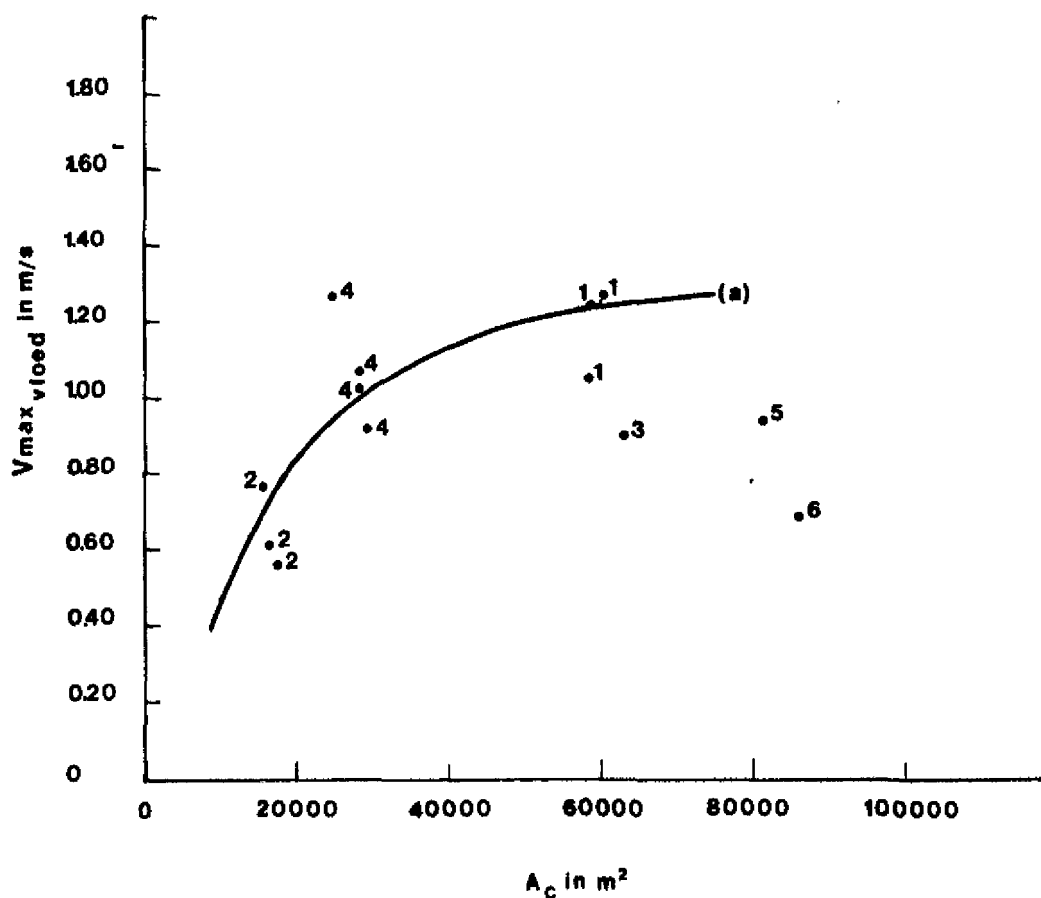
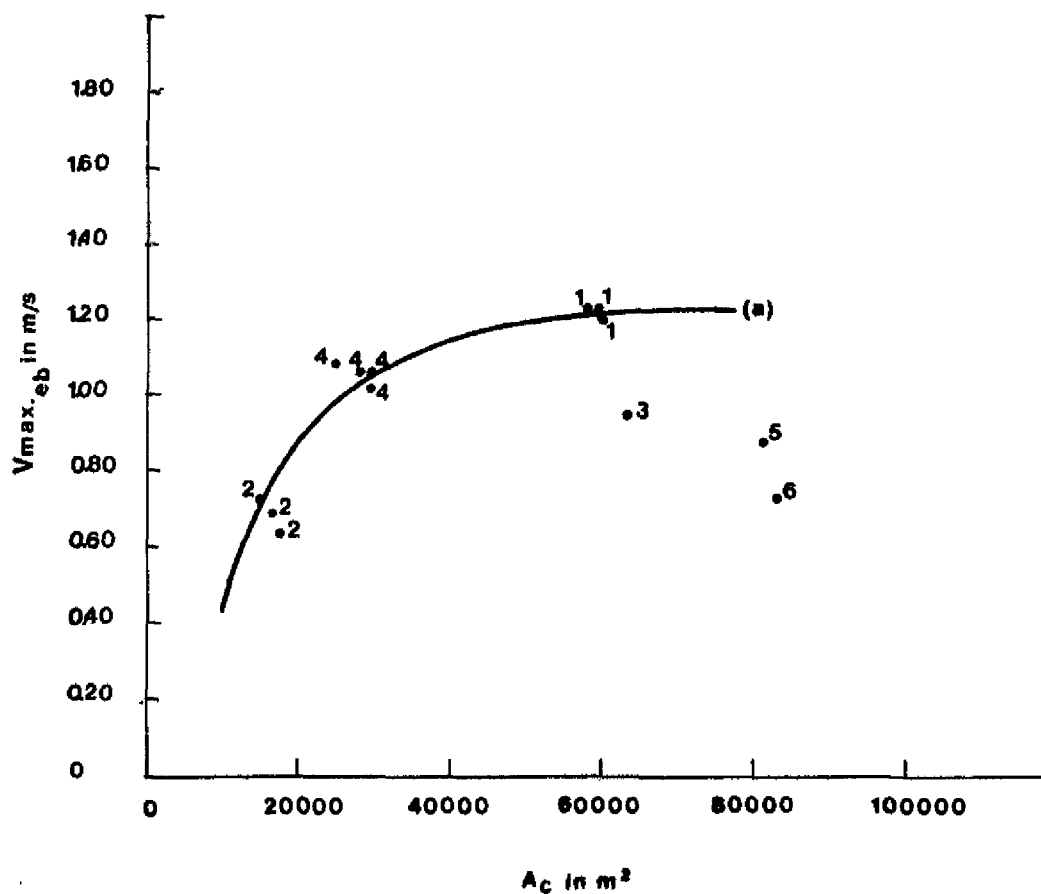
akk

dB

A 4

nr

86.23


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

zeegaten van de Waddenzee

 maximum stroomsnelheid ($V_{\max}$) versus
 doorstroomprofiel (A_c)

get.

dB

bijl

gec.

gez.

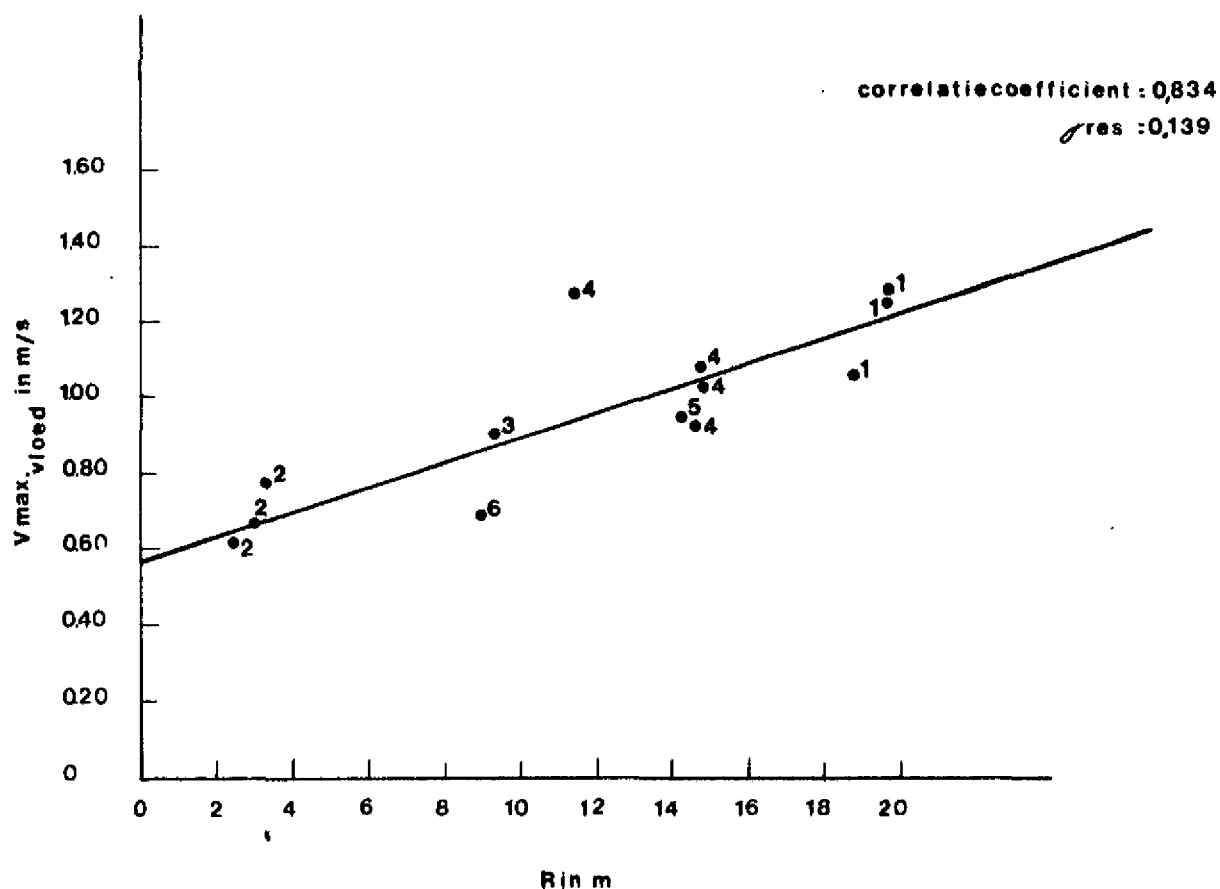
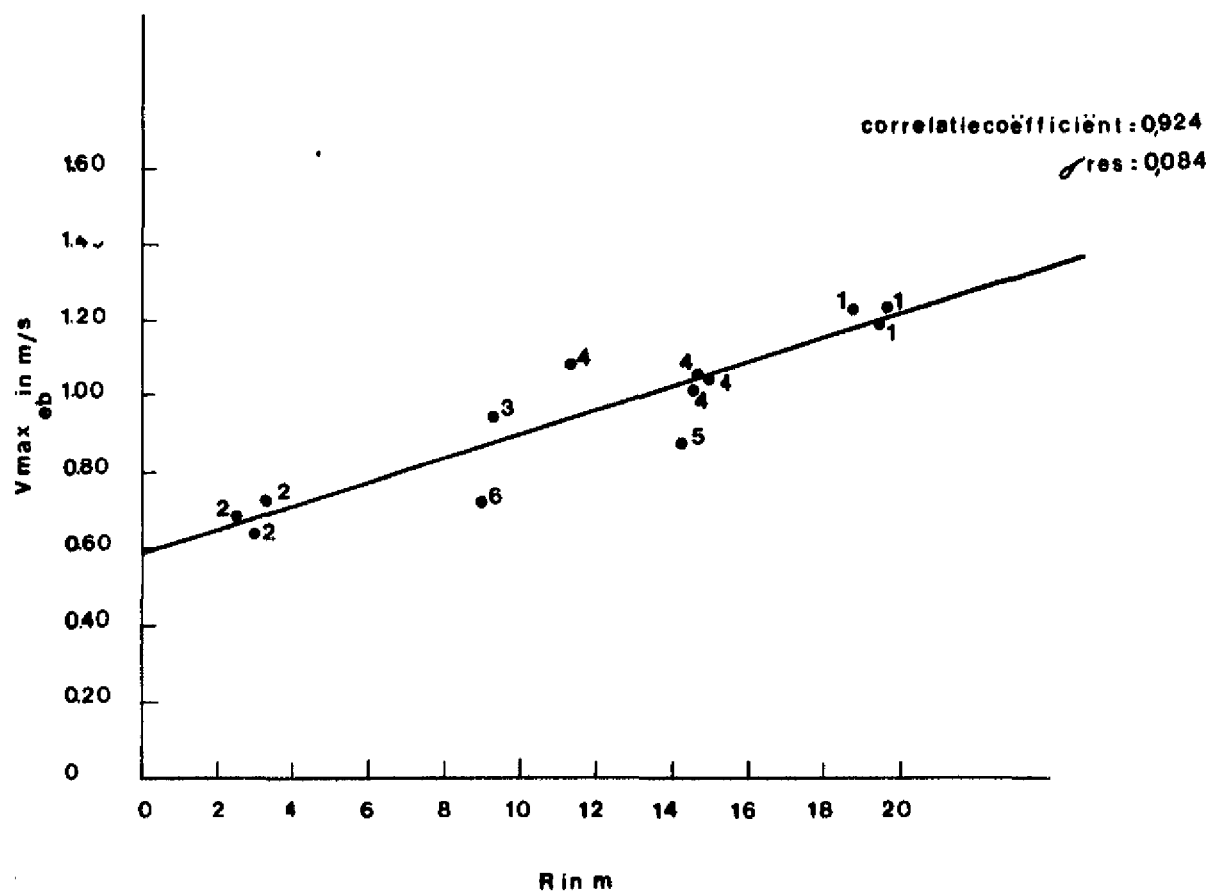
schaal

akk.

AK

A 4

nr. 86.24



rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

zeegaten van de Waddenzee

maximum stroomsnelheid (V_{max}) versus
hydraulische straal (R)

get

d/3

biji

gec

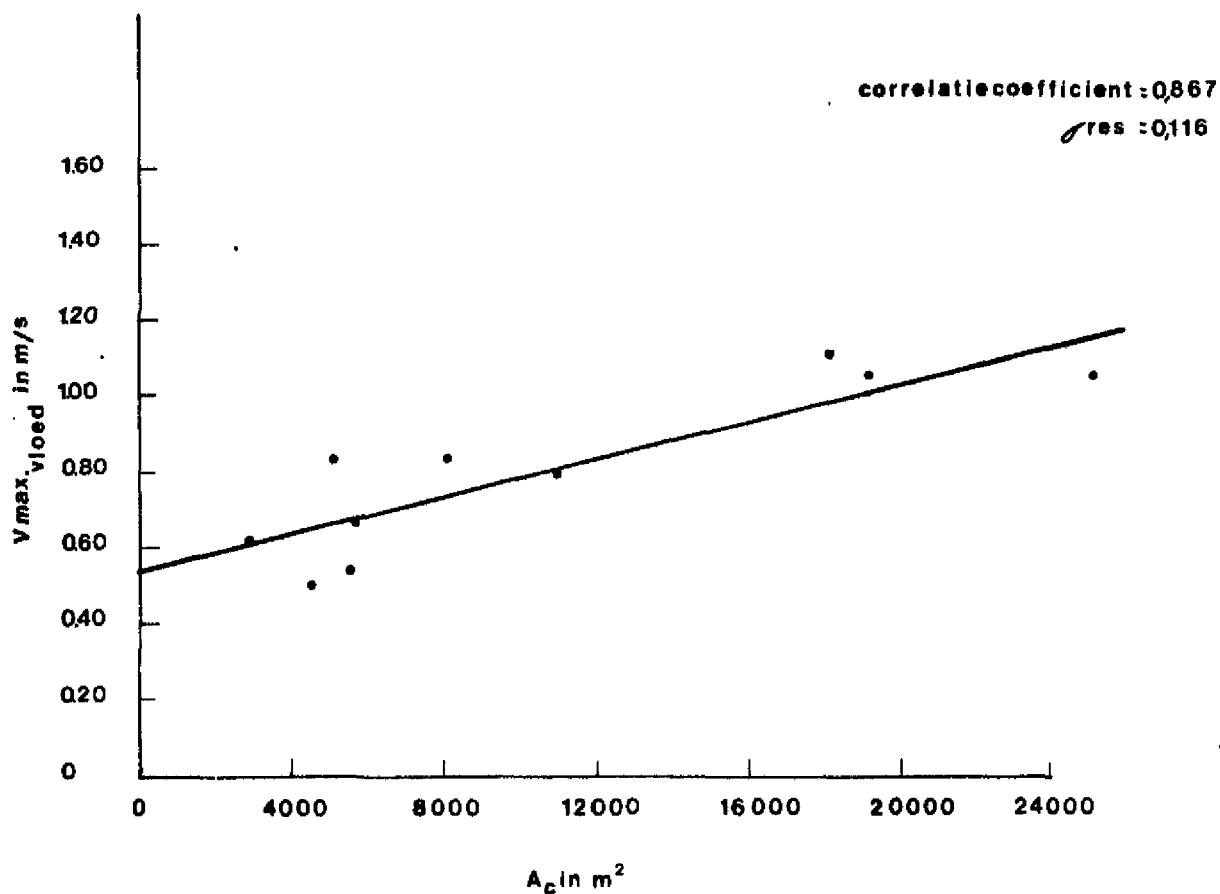
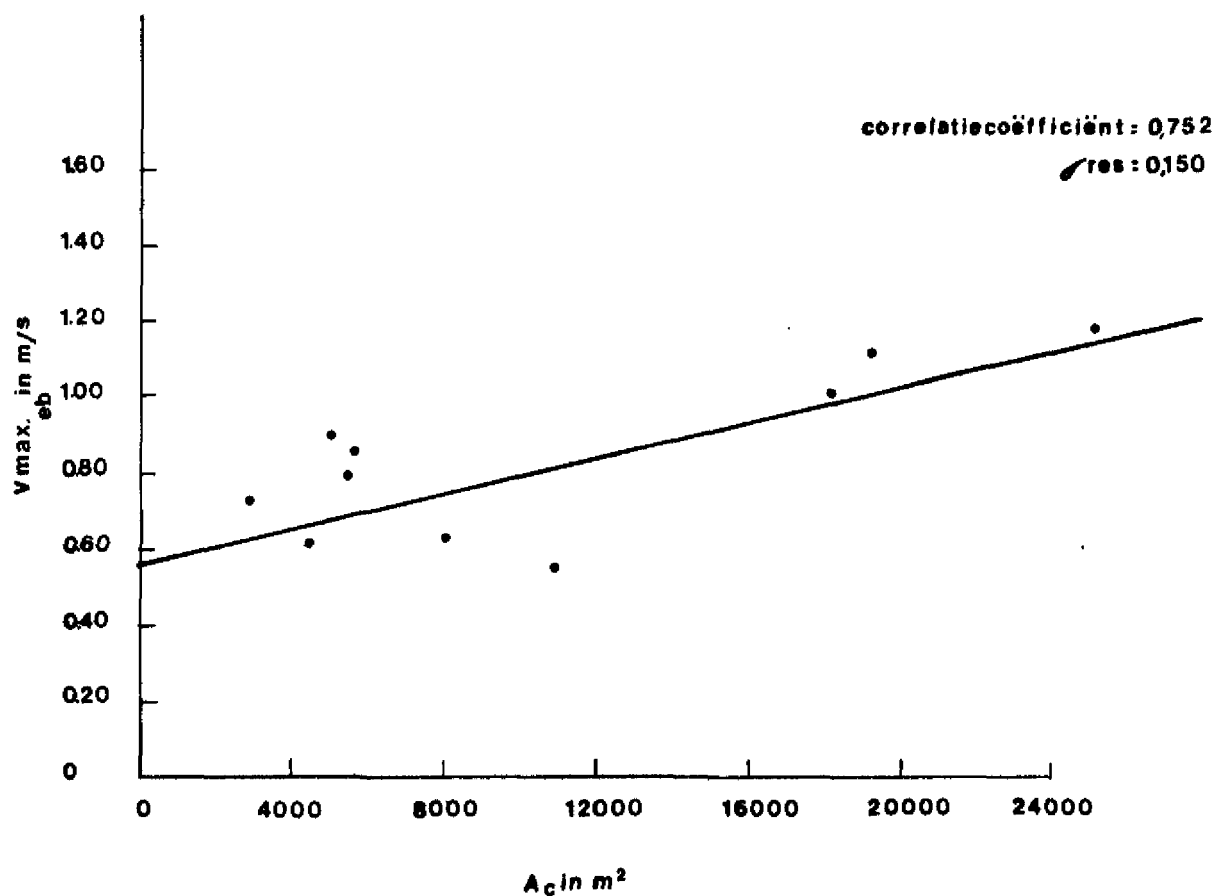
gez

schaal

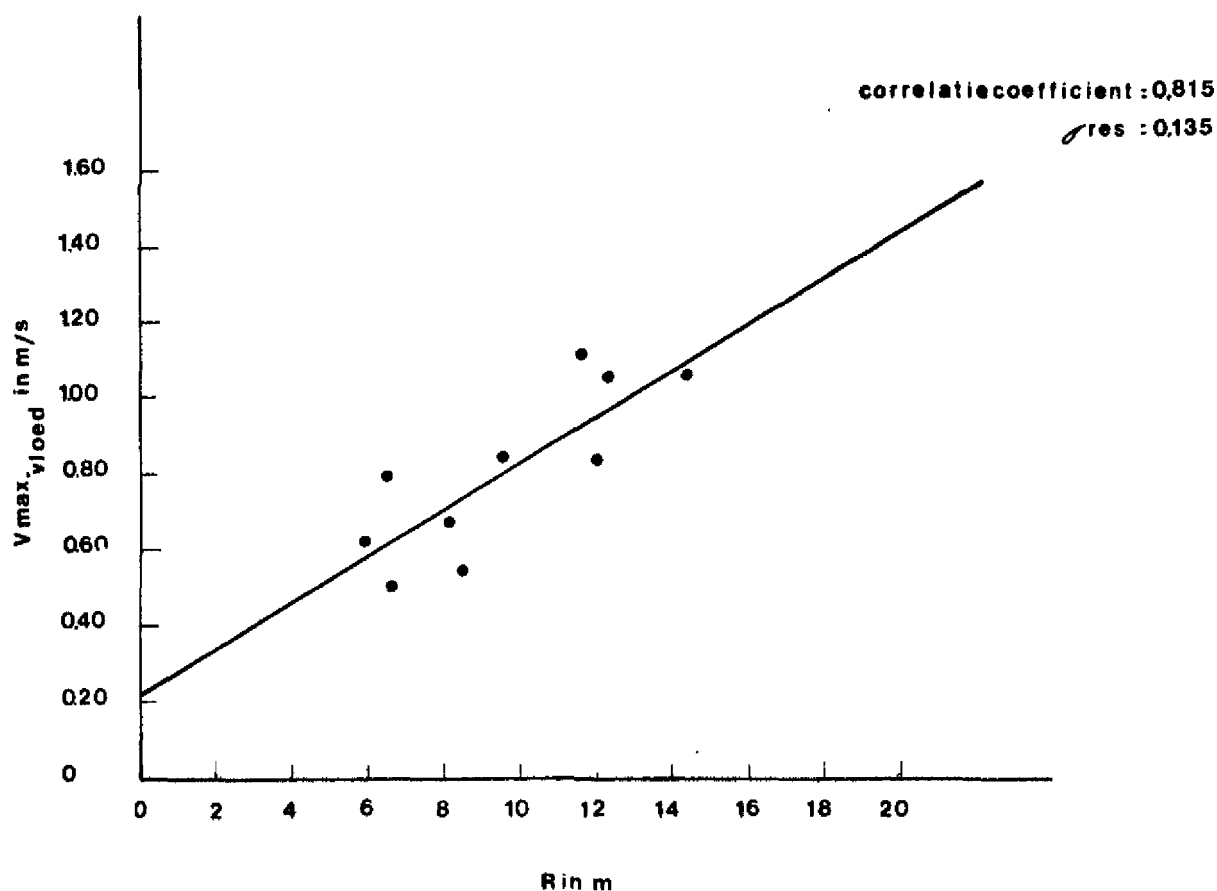
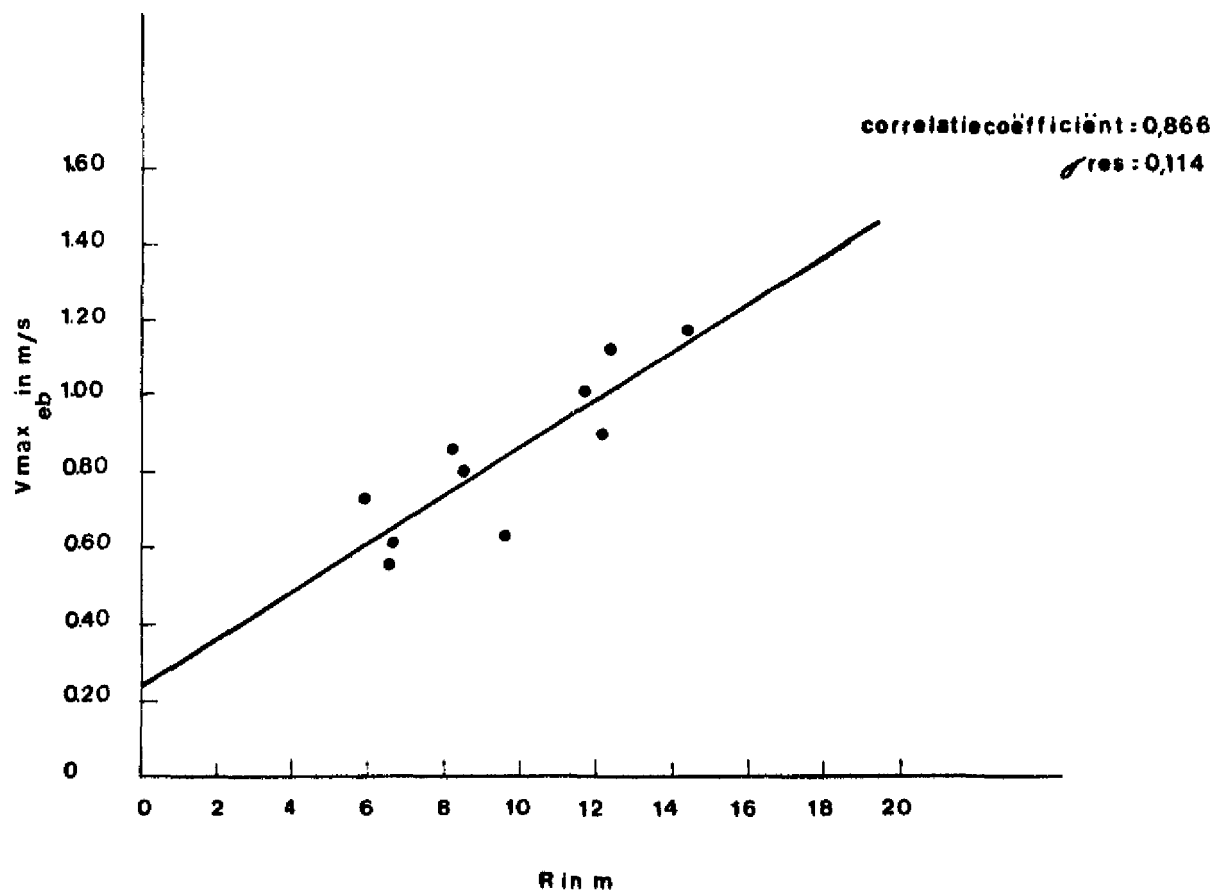
akk

A4

nr 86.25



rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vlissingen	get.	4/3	bijl	
	gec.			
geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie maximum stroomsnelheid (V_{max}) versus doorstroomprofiel (A_c)	gez.		schaal	
	akk.	<i>[signature]</i>	A 4	nr. 86.26

**rijkswaterstaat**

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

get

d/b

biji

gec

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
maximum stroomsnelheid (V_{max}) versus
hydraulische straal (R)

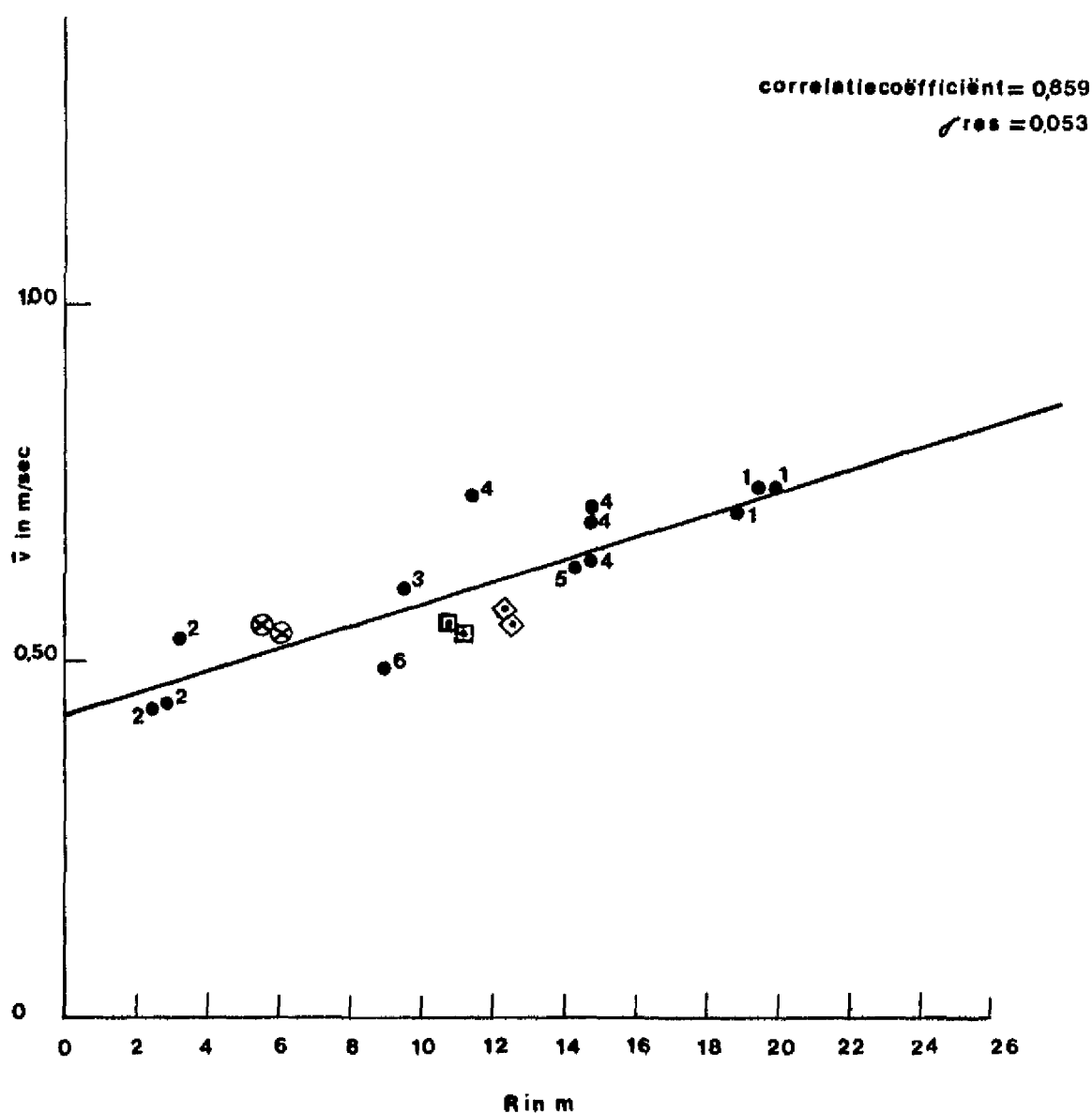
gez

schaal

akk

A 4

nr 8627



toelichting

- zeegaten Waddenzee
- ◇ mond Westerschelde (raai 10)
- Oosterschelde
- ⊗ Brouwershavensegat

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee adviesdienst vissingen

get

d3

biji

gec

relatie gemiddelde stroomsnelheid ($\bar{v}$) versus
 hydraulische straal (R) voor diverse zeegaten.

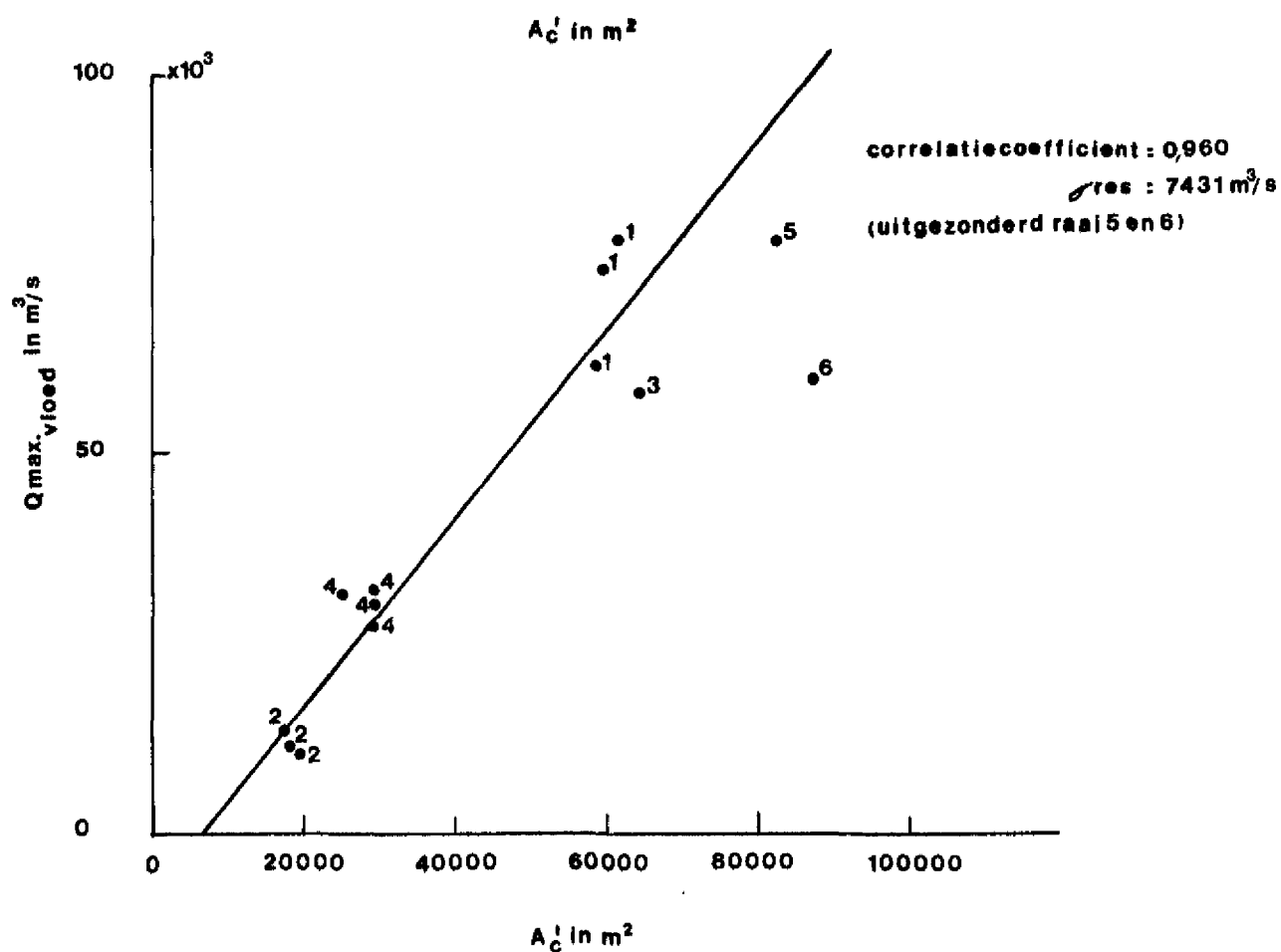
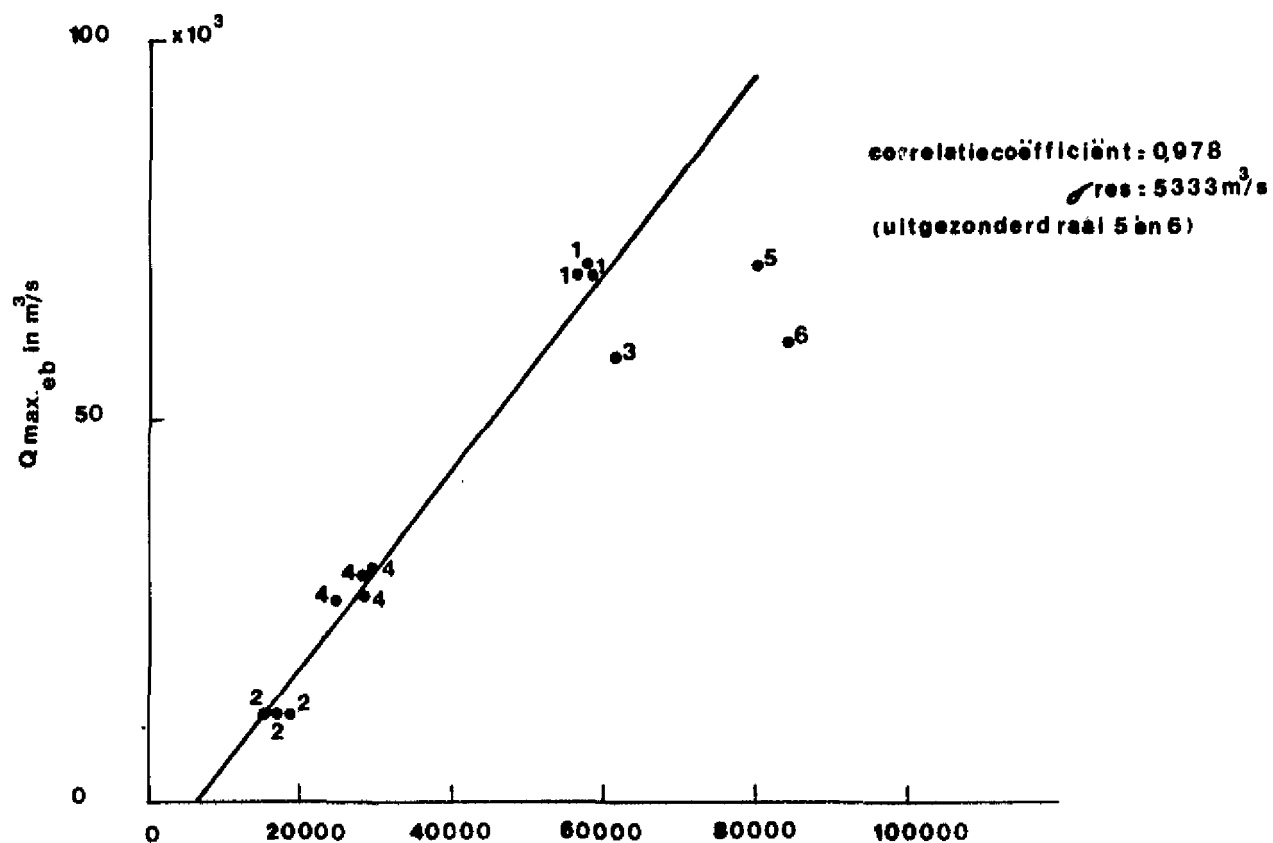
gez

schaal

akk

A4

nr 86.28


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

zeegaten van de Waddenzee

 maximum debiet (qmax) versus doorstroom-
 profiel (A_c')

get.

E/B

bijl.

gec.

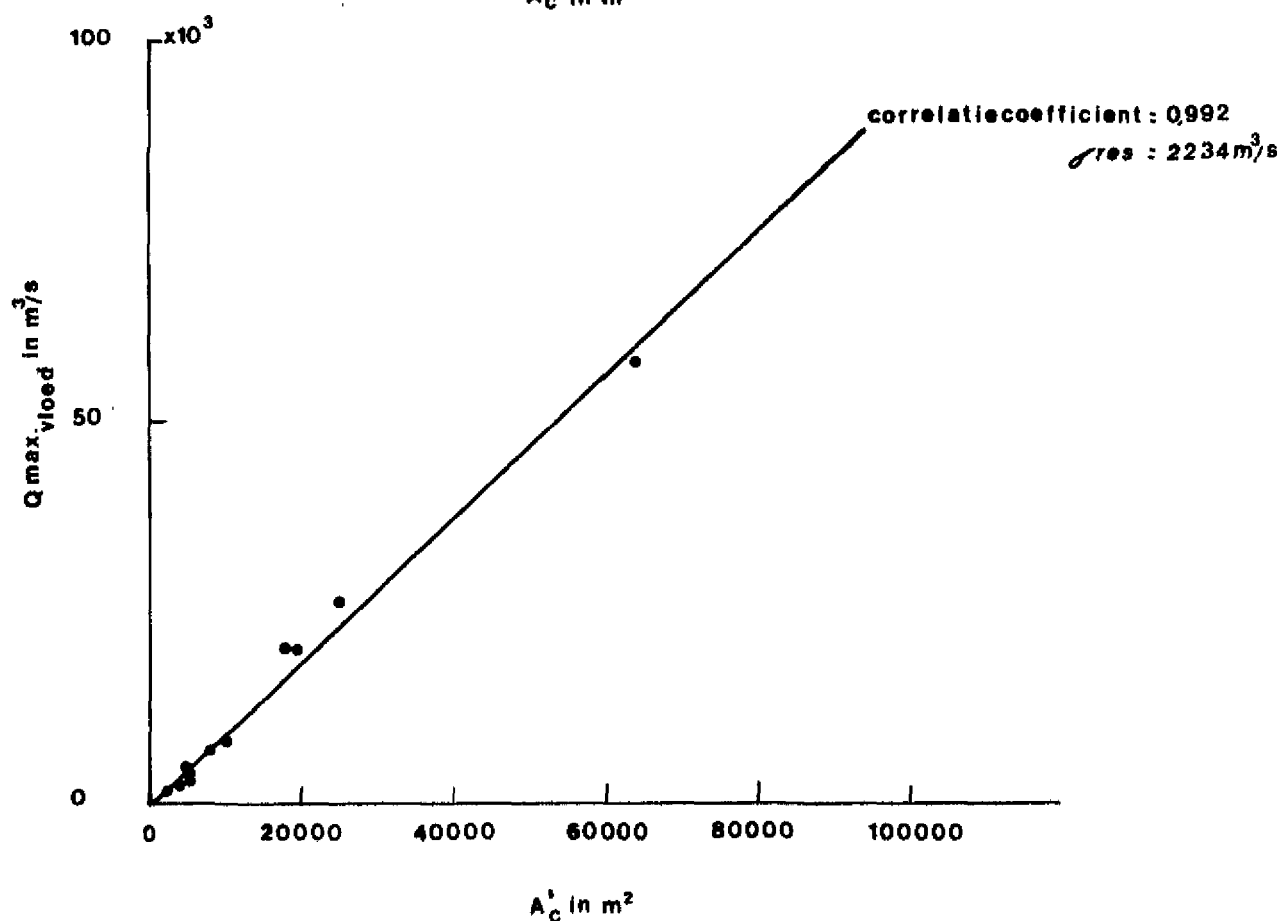
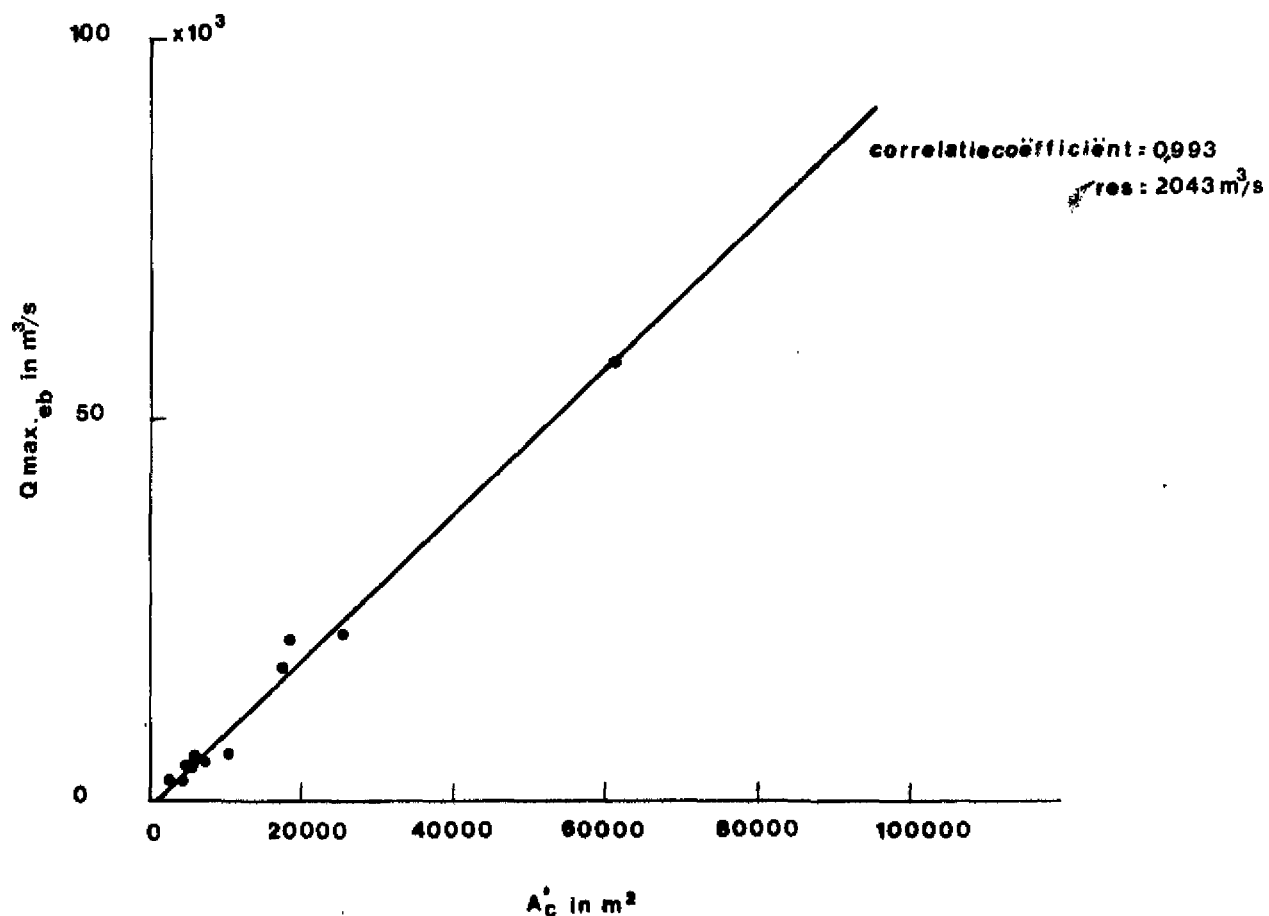
gez.

schaal

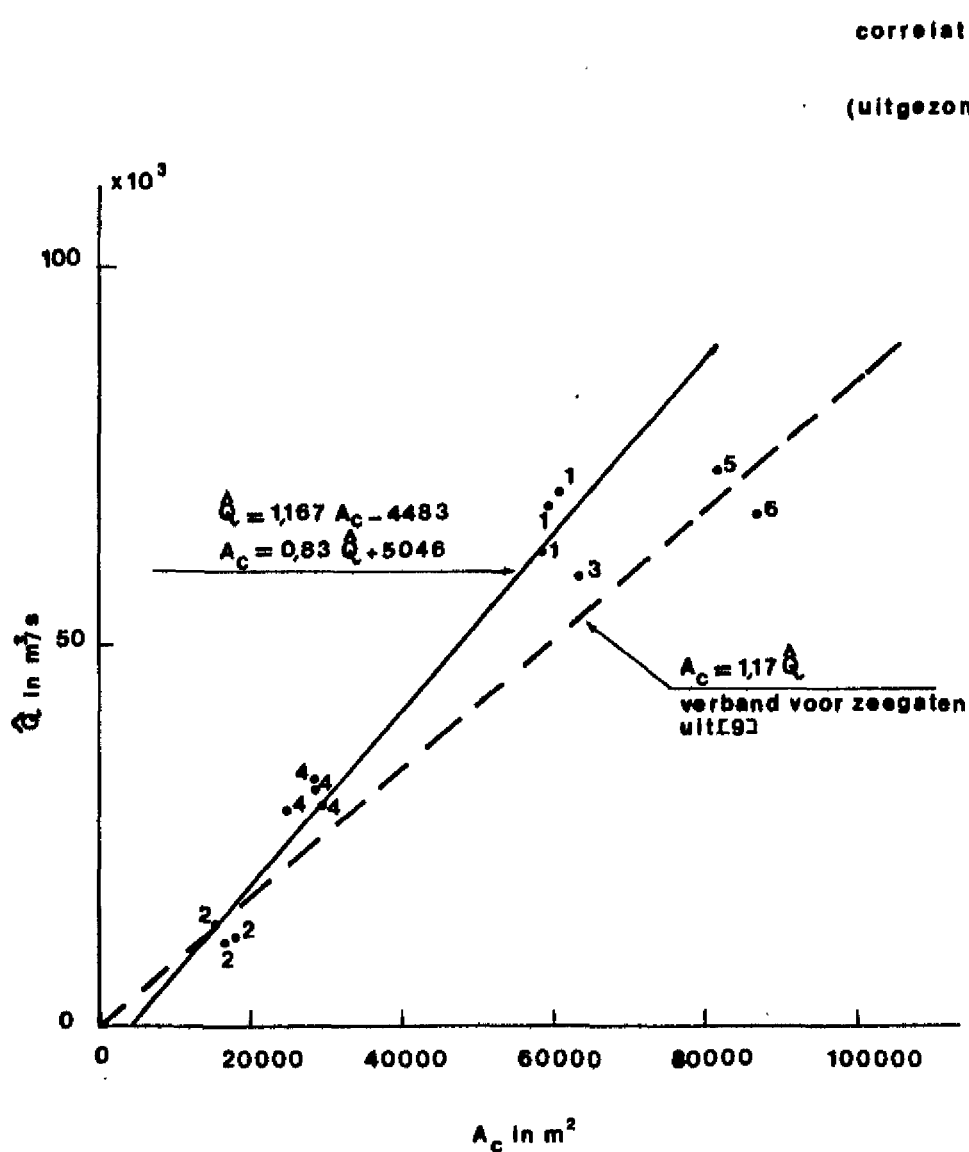
akk.

A 4

nr. 86.29

**rijkswaterstaat**directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingengeulen van de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
maximum debiet ($q_{\max}$) versus doorstroom-
profiel (A_c)

get.	<i>clb</i>	bijl.	
gec.			
gez.		schaal	
akk.	<i>[signature]</i>	A 4	nr. 86.30

**rijkswaterstaat**directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee adviesdienst vliissingen

get

d/3

bijl

gec

Zeegaten van de Waddenzeesinusoidaal maximum debiet (Q) versus
doorstroomprofiel (A_c)

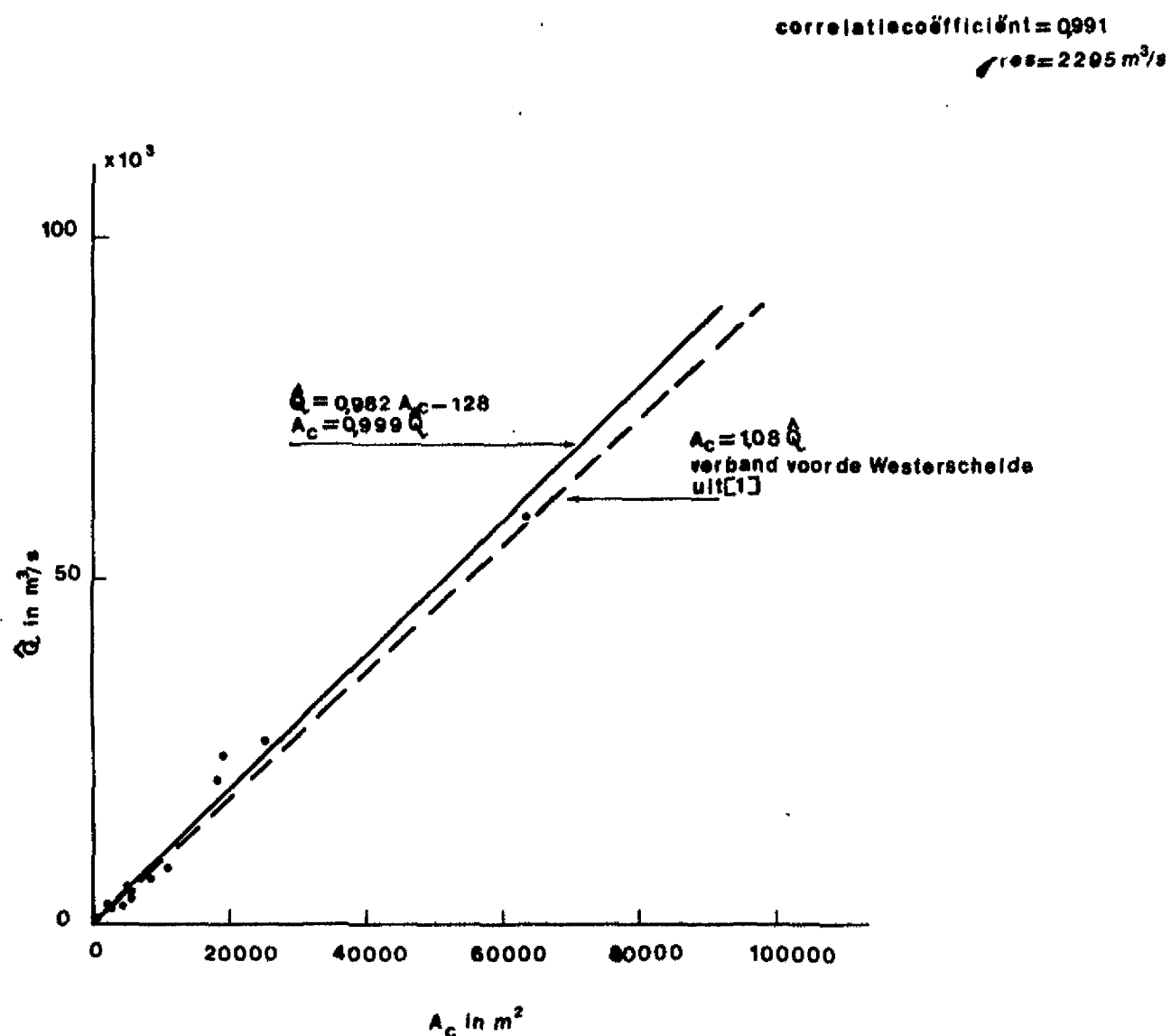
gez

schaal

akk

A4

nr 86.31

**rijkswaterstaat**directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee adviesdienst vliissingen

get

d/3

bijl

gec

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. vlie
sinusoidaal maximum debiet ($\hat{Q}$) versus
doorstroomprofiel (A_c)

gez

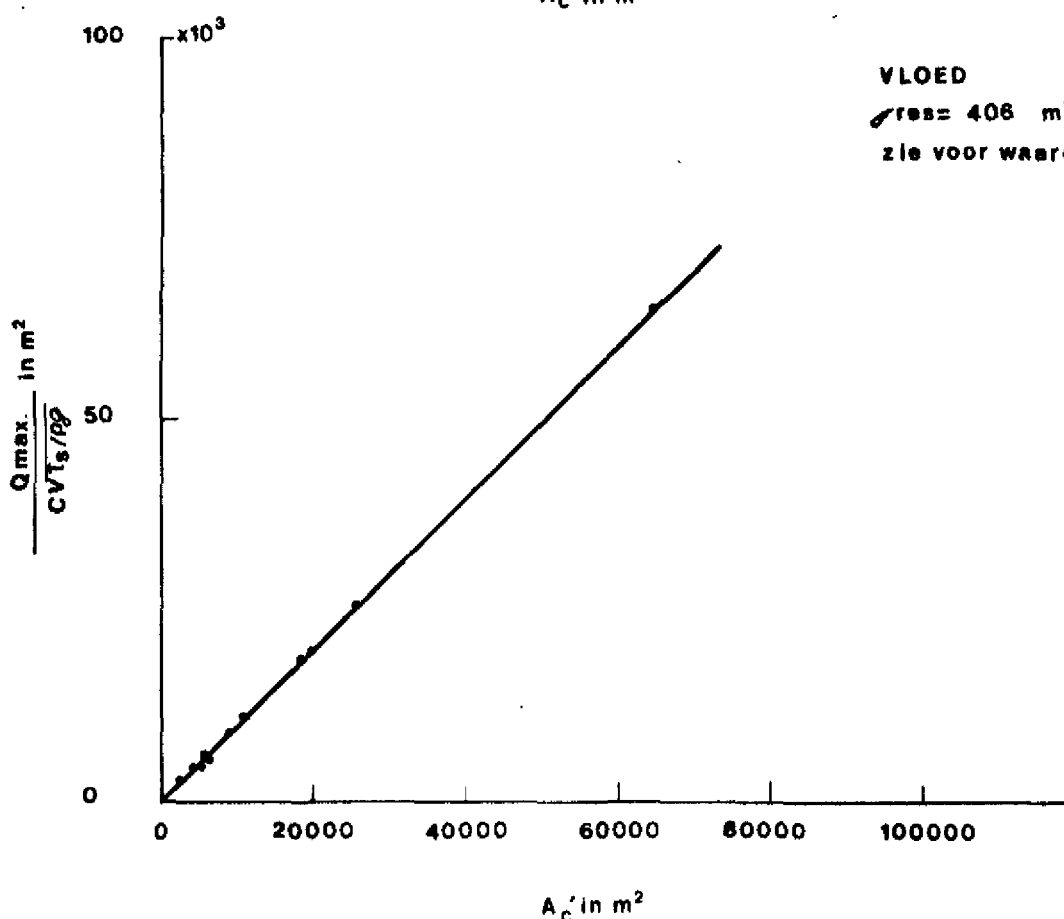
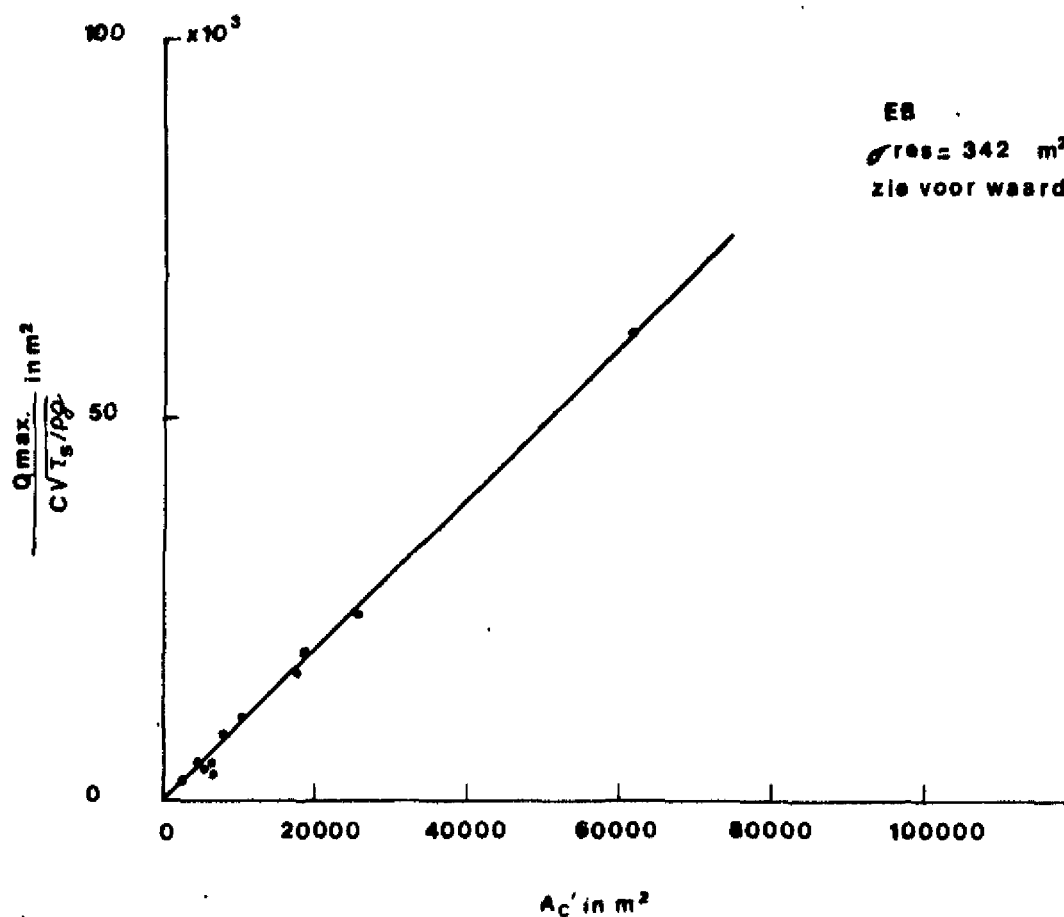
schaal

akk

[Handwritten signature]

A4

nr 86.32



rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingengeulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
relatie $\frac{Q_{max.}}{CV T_s / \rho g}$ versus A_c'

get.

d/3

biji

gec.

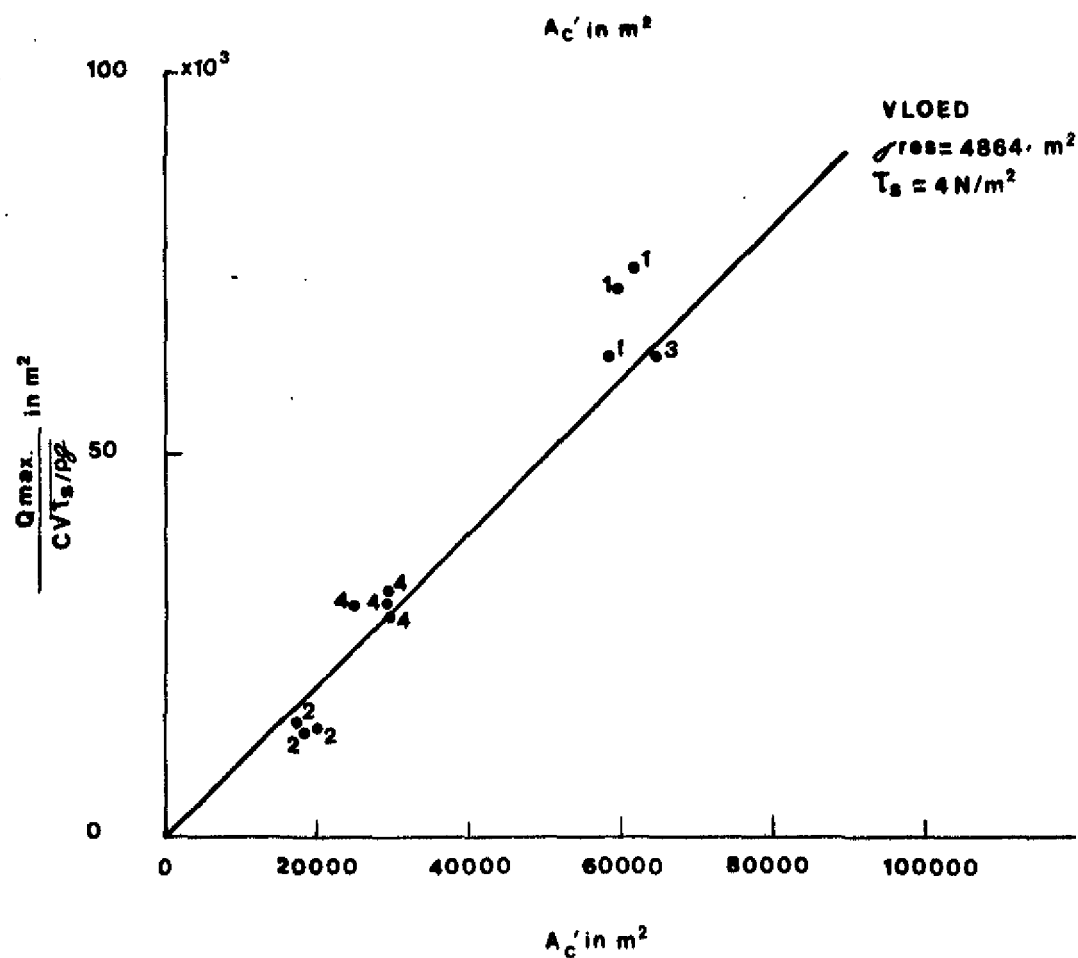
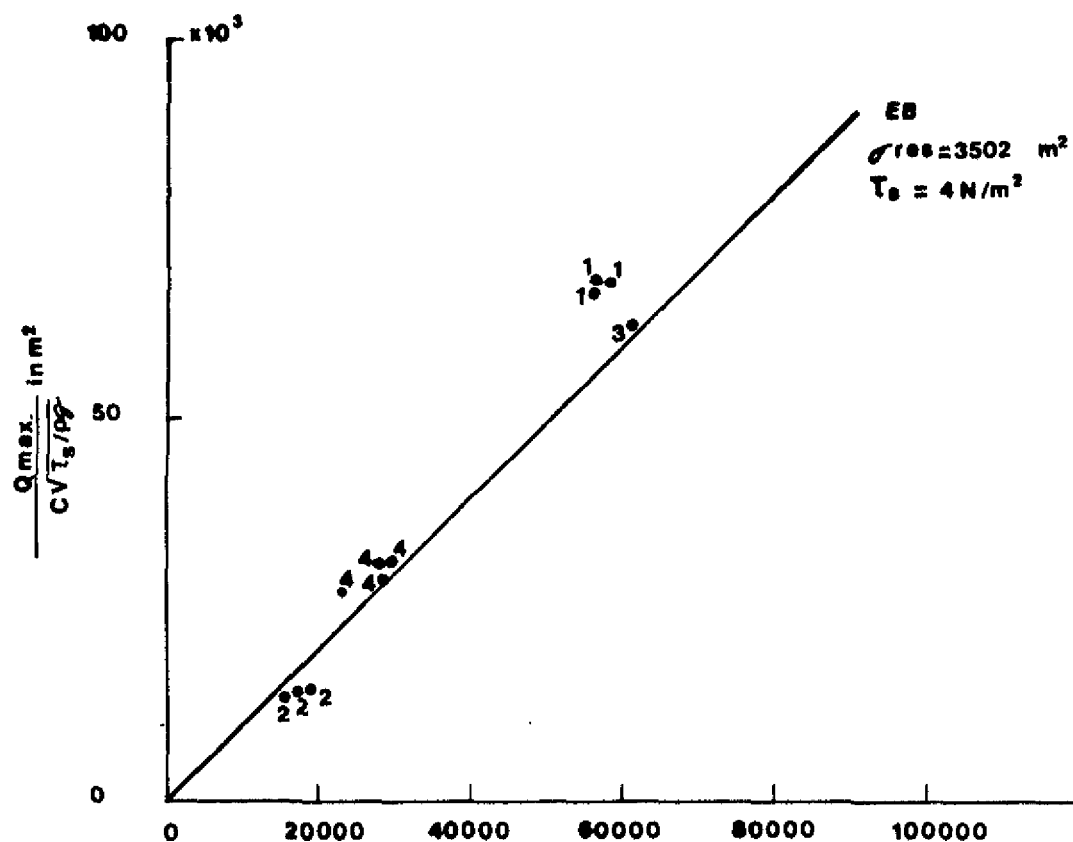
gez.

schaal

akk.

A4

nr. 86.34



rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

zeegaten van de Waddenzee

relatie $\frac{Q_{max}}{CV T_g / \rho_g}$ versus A_c'

get.

d/3

bijl.

gec.

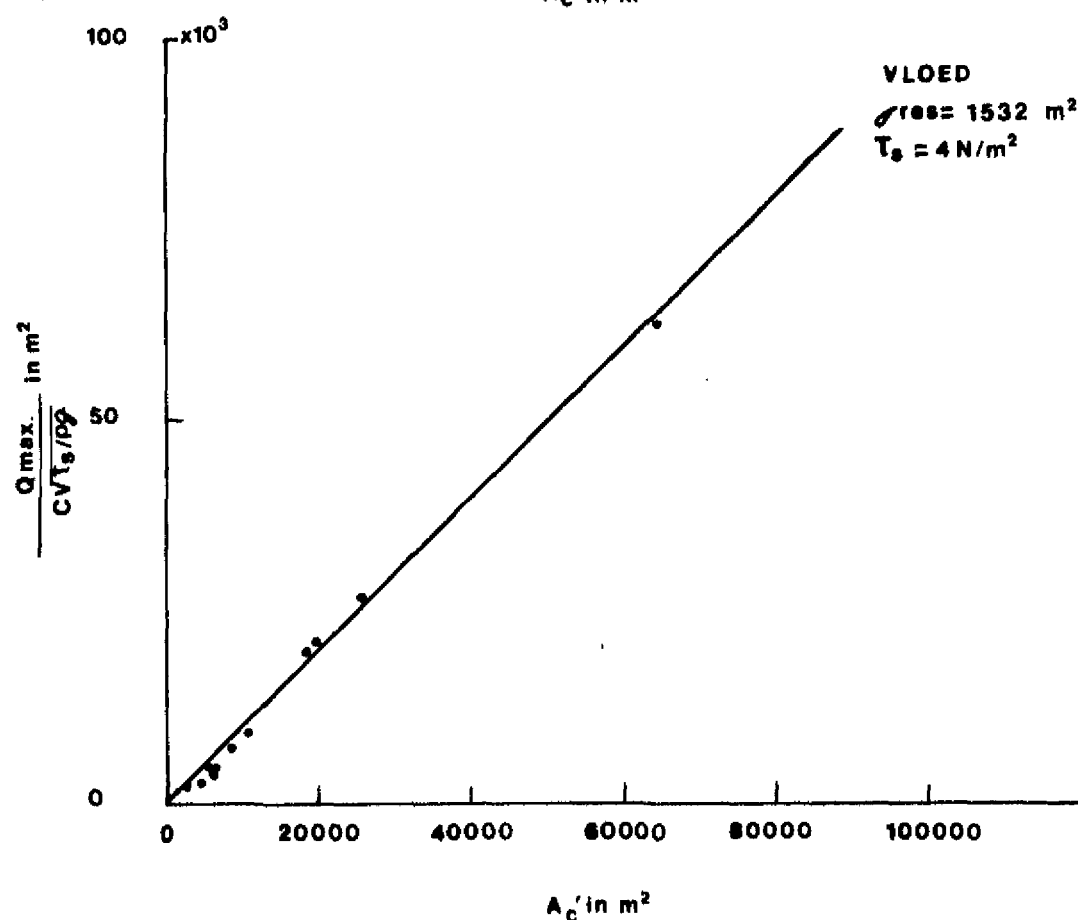
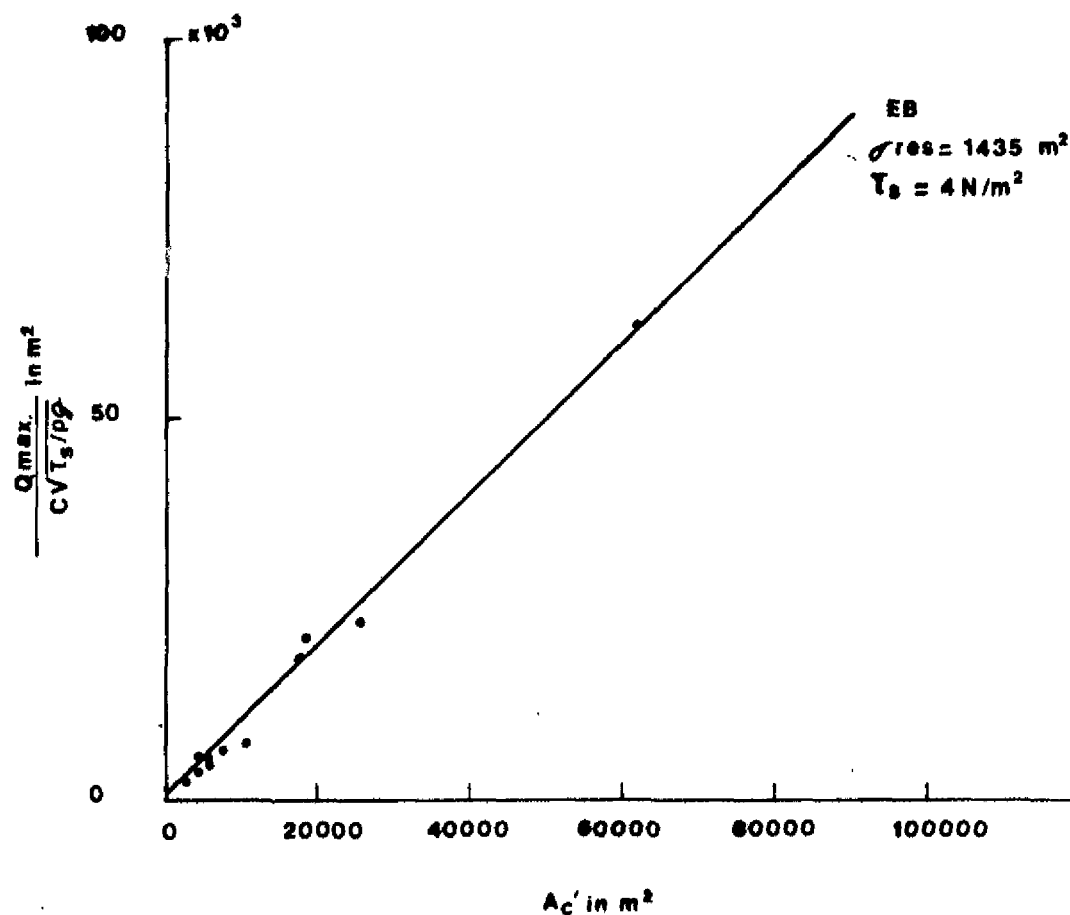
gez.

schaal

akk.

A4

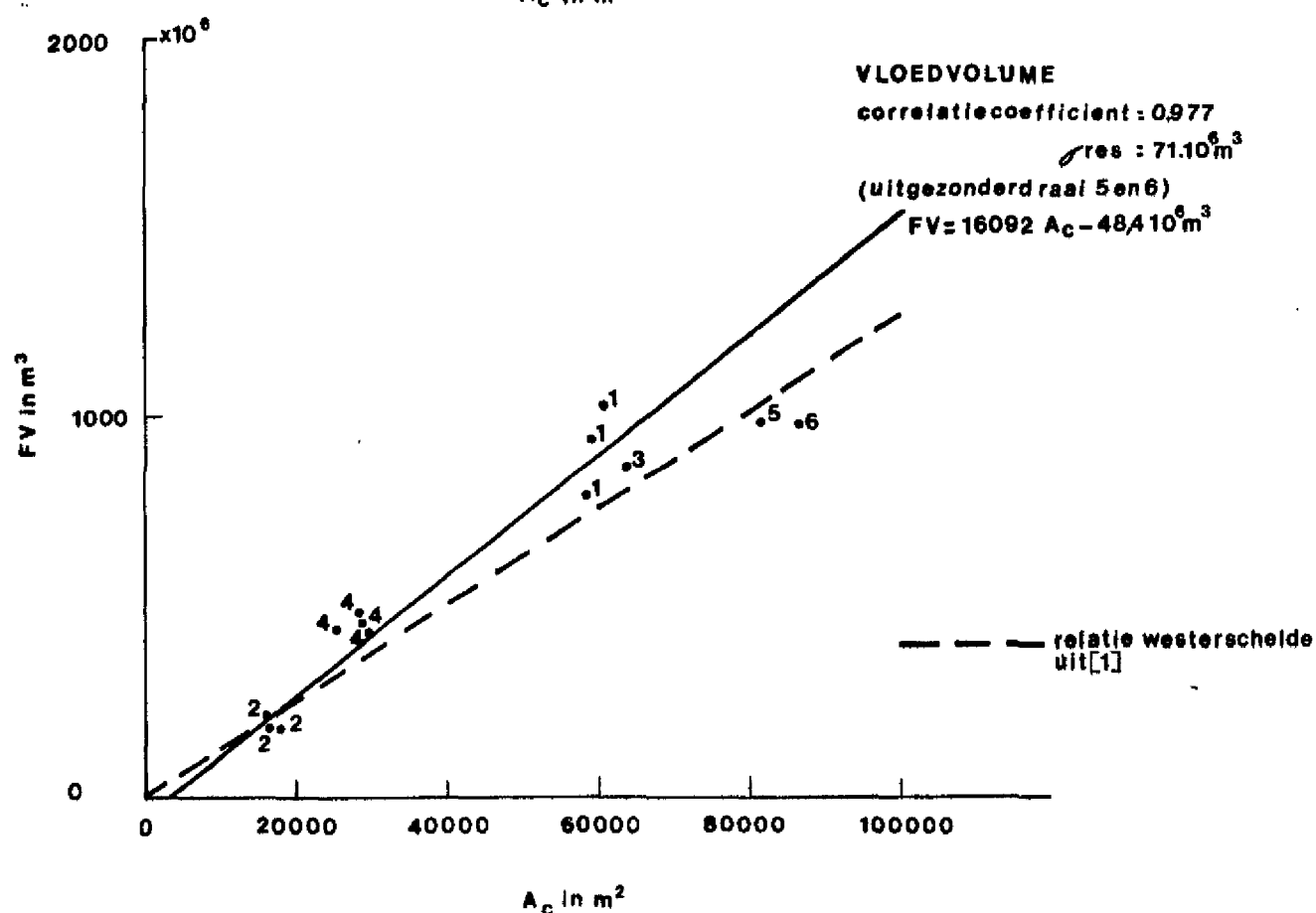
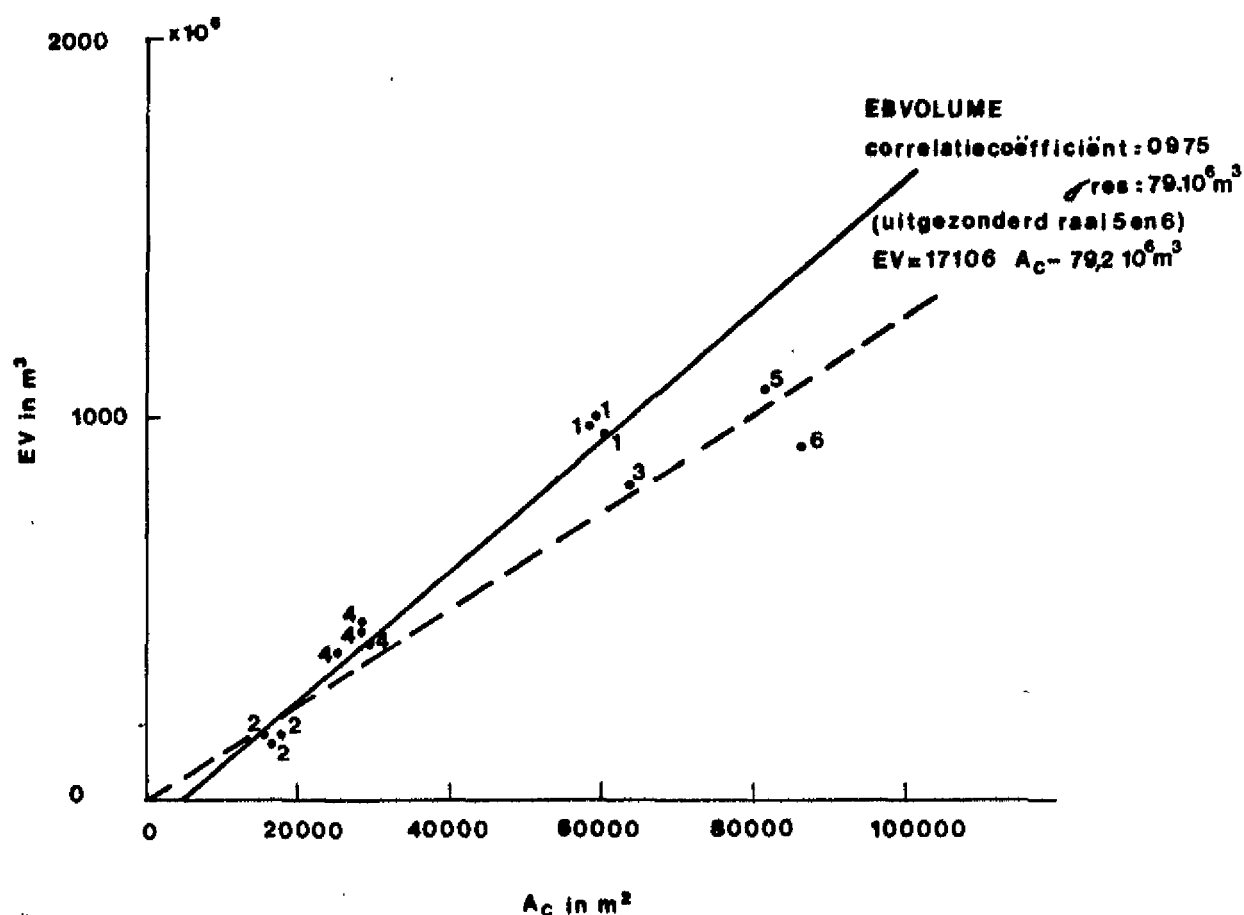
nr. 86.35


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vlissingen

 geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
 relatie $\frac{Q_{max.}}{CV T_s / \rho g}$ versus A_c'

get.	d/3	bijl.
gec.		
gez.		schaal
akk.	<i>[signature]</i>	A4 nr. 86.36

**rijkswaterstaat**directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

zeegaten van de Waddenzee

eb- en vloedvolume versus doorstroomprofiel.

get.

d/3

biji

gec.

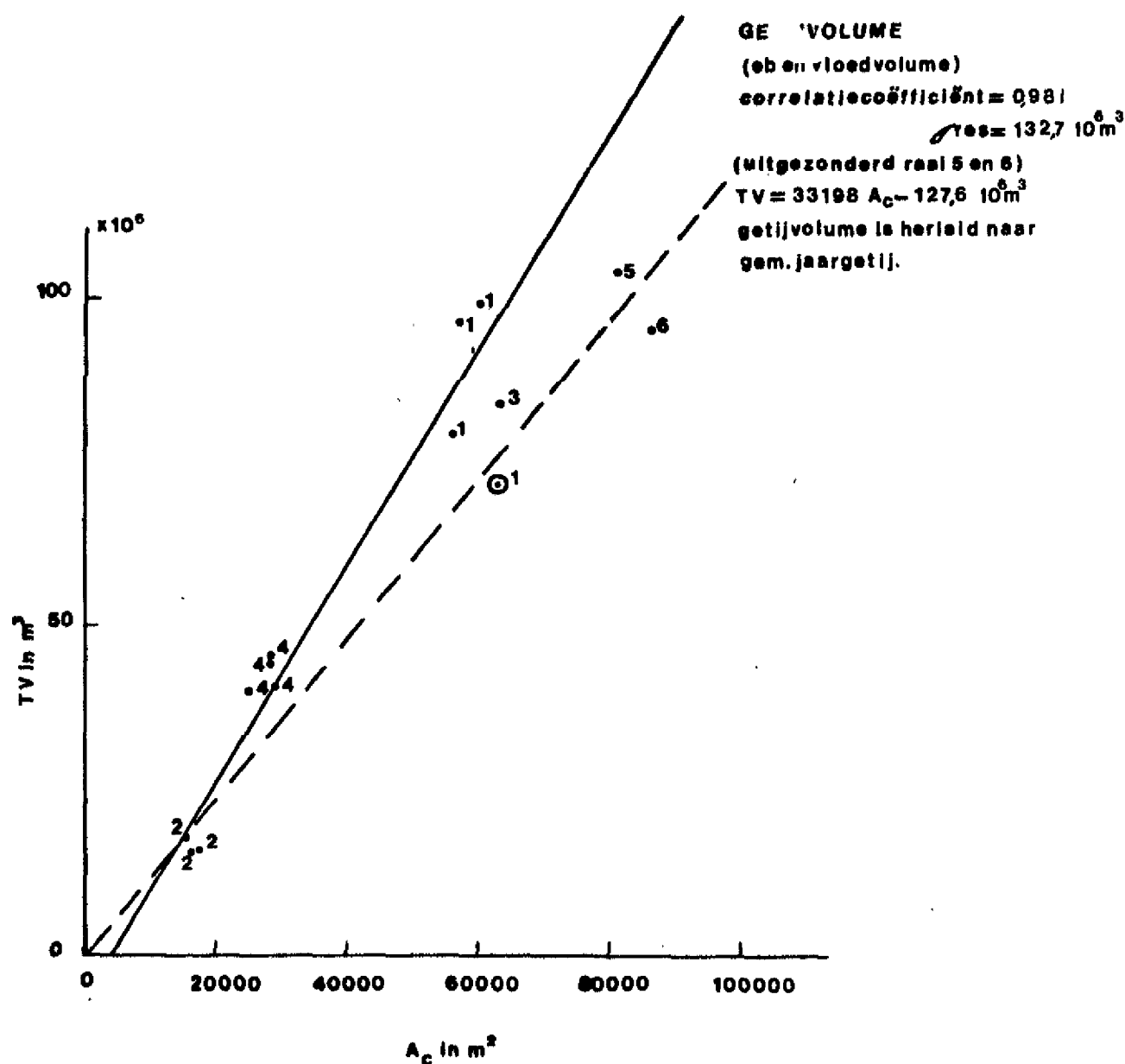
gez.

schaal

akk.

A4

nr. 86.37



— verband zeegeten v.d. Waddenzee.
- - - verband zuidwestelijke zeegeten,
van Haring[6].
⊙¹ relatie TV versus A_c van het Zeegetat
van Texel van voor de afsluiting der
Zuiderzee volgens gegevens uit[7].

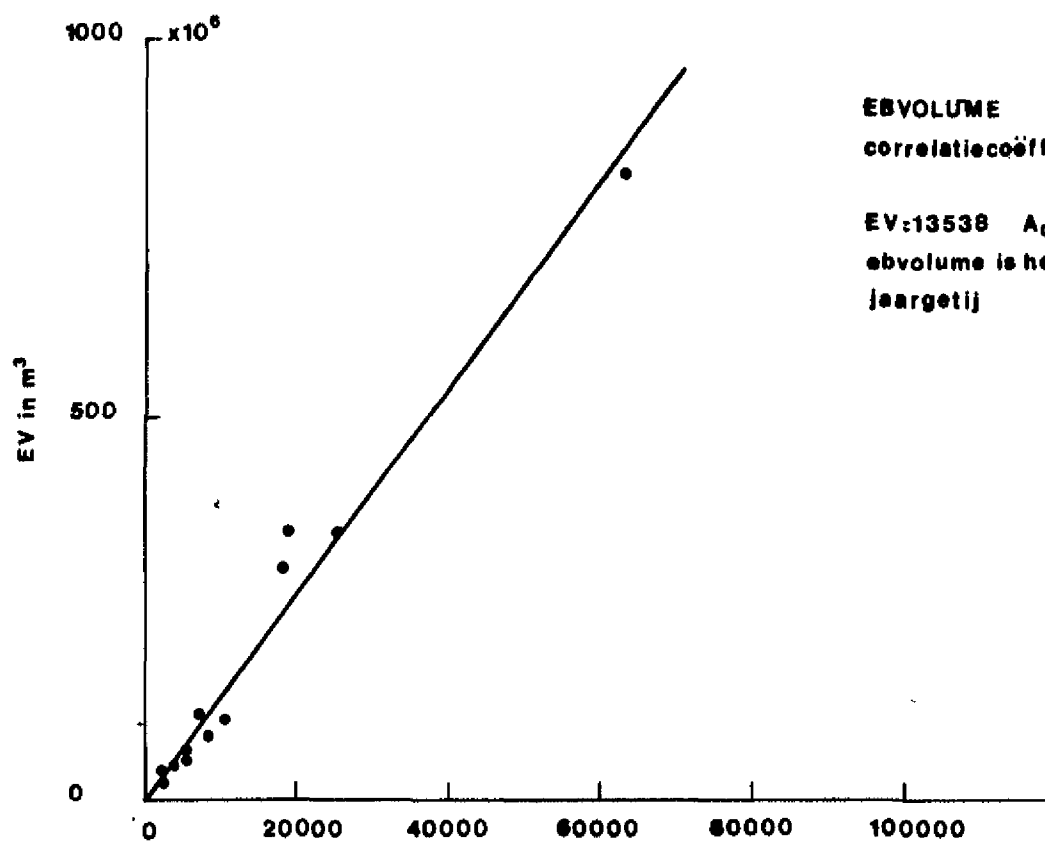
rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vlissingen

Zeegeten van de Waddenzee

getijvolume versus doorstroomprofiel

get	d/3	bijl
gec		
gez		schaal
ekk	<i>[handwritten signature]</i>	A4 nr 86.38



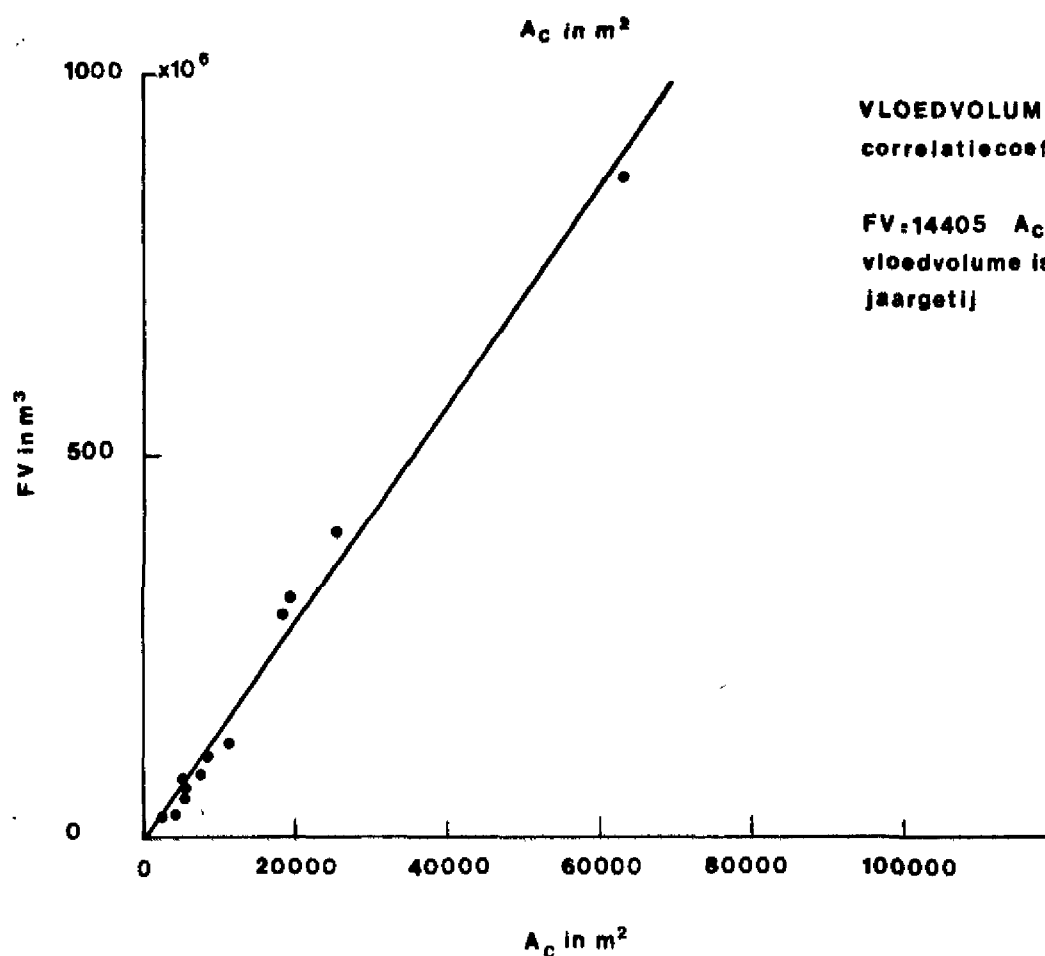
EBVOLUME

correlatiecoëfficiënt: 0,987

res: $36,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

EV: 13538 $A_c + 1,445 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

ebvolume is herleid naar gem. jaargetij



VLOEDVOLUME

correlatiecoëfficiënt: 0,992

res: $31,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

FV: 14405 $A_c + 5214 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

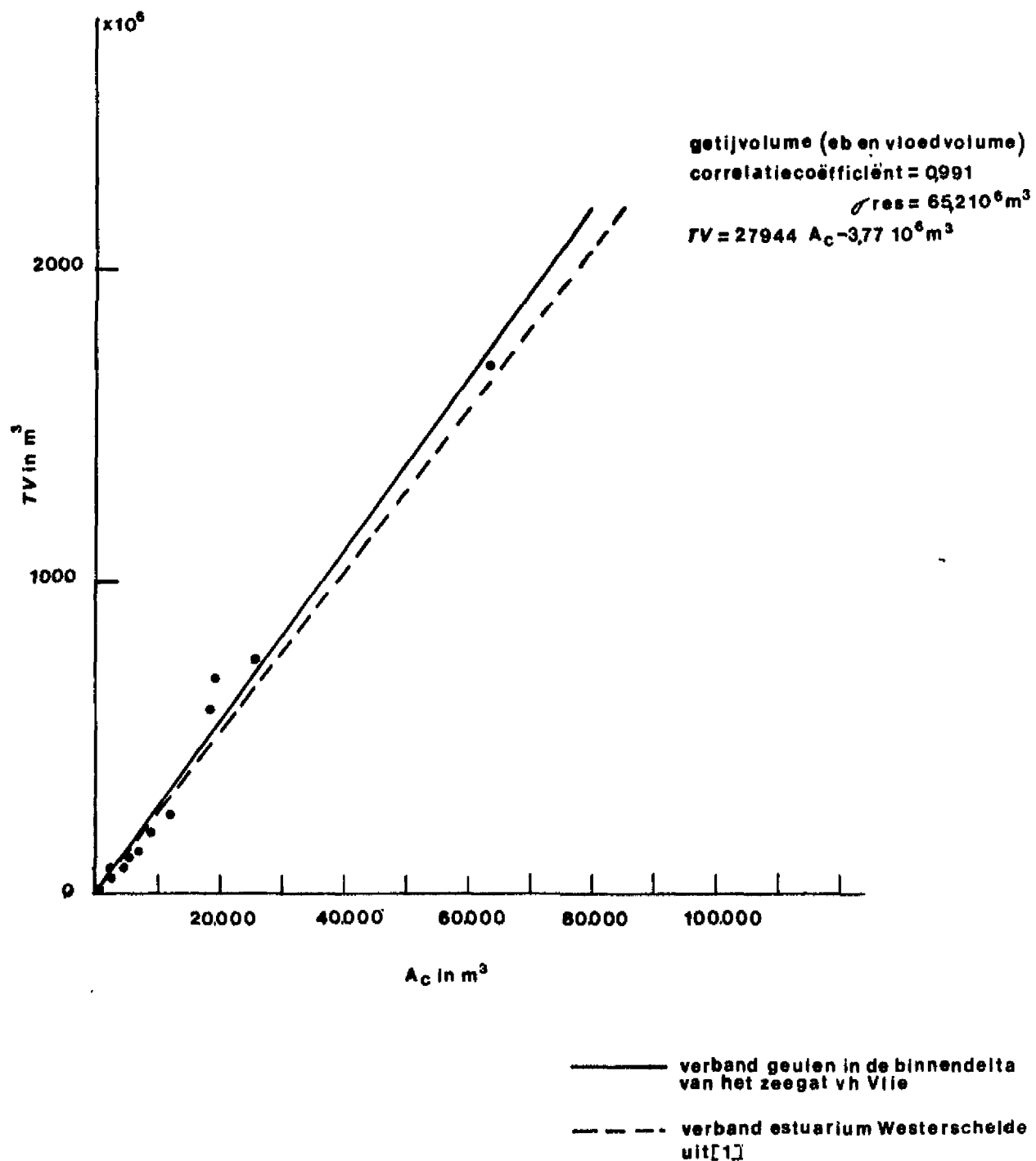
vloedvolume is herleid naar gem. jaargetij

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
eb- en vloedvolume versus doorstroomprofiel.

get.	d/3	bijl.
gec.		
gez.		schaal
akk.	<i>[Signature]</i>	A4 nr. 86.39

**rijkswaterstaat**

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vlissingen

geulen in de binnendelta van het Zeegat v.h. Vlie
 getijvolume versus doorstroomprofiel

get.	<i>dfg</i>	bijl	
gec.			
gez.		schaal	
akk.	<i>dfg</i>	A 4	nr 86.40