

RIJKSWATERSTAAT
DIRECTIE WATERHUISHOUDING
EN WATERBEWEGING
STUDIEDIENST VLISSINGEN

Memo Vl. 75.5

WWSK2-75.0005

STATIONAIRE, EEN-DIMENSIONALE DIFFUSIE IN
GETIJ-ESTUARIA IN HET ALGEMEEN EN IN HET
WESTERSCHELDE-ESTUARIUM IN HET BIJZONDER

door

ir. W.T. Bakker

Vlissingen, februari 1975

Stationaire, één-dimensionale diffusie in getij-estuarium in het algemeen en in het Westerschelde-estuarium in het bijzonder.

1. INLEIDING.

In het volgende zullen eerst twee globale formules worden afgeleid voor één-dimensionale stationaire diffusie van een niet-afbreekbaar diffusaat in een getij-estuarium, uitgaande van een formulering van het probleem, gegeven door Eggink [1].¹⁾ De formules hebben respectievelijk betrekking op het gebied rivierwaarts en zeewaarts van het lozingspunt.

De formules worden toegepast op het Westerscheldebekken en de resultaten worden vergeleken met uitkomsten, verkregen met het veel meer verfijnde mathematisch model van de Fysische Afdeling van de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

Doel van dit Memo is na te gaan tot welke graad van nauwkeurigheid het mogelijk is eenvoudige vuistregels toe te passen bij het geven van snelle, globale advisering en in hoeverre de resultaten gevoelig zijn voor veranderingen van de schematisering.

In het volgende wordt eerst een definitie gegeven van het begrip "getij-estuarium" (hoofdstuk 2) en daarna worden de gebruikte globale formules afgeleid (hoofdstuk 3). Hoofdstuk 4 geeft de toepassing op de Westerschelde en hoofdstuk 5 de samenvatting en conclusies.

2. SCHEMATISERING VAN HET PROBLEEM. DEFINIERING VAN HET BEGRIIP "GETIJ-ESTUARIUM."

Zoals Bruun en Gerritsen [2] aantoonden kan bij "tidal inlets" (getij-estuarium?) met beweeglijke bodem een vaste relatie worden verwacht tussen natte doorsnede en bergend vermogen van het achterliggende gebied.

- Deze relatie -

¹⁾ Voor de afleiding verwijst Eggink naar een interne nota in bewerking van Schönfeld en van Dam (Fysische Afdeling Directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat).

Deze relatie berust op de veronderstellingen dat de critische schuifspanning τ_{crit} op de bodem overal gelijk is en dat de doorsnede zich zodanig zal aanpassen, dat overal dezelfde relatie tussen τ_{crit} en $\hat{t}$ (de maximale gedurende het getij bereikte schuifspanning) zal ontstaan. Uit de wet van Chezy wordt dan gevonden

$$\hat{V}^2 = C_h^2 \hat{h} \quad 1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\hat{Q}^2}{A^2} = C_h^2 \frac{\hat{t}}{\rho g} \quad 2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Daar de Chezy-coëfficiënt slechts weinig met de diepte verandert, staat aan de rechterzijde van de bovenstaande vergelijking (ongeveer) een constante, dus ook aan de linkerzijde, ofwel $\hat{Q}$ is evenredig met A .

De getij-estuaria, die in dit onderhavige rapport worden beschouwd zijn gekenmerkt door een relatief zeer geringe erop uitmondende stroom, een relatief grote lengte ten opzichte van de mondingsbreedte, brede platen en smalle geulen en een breedte die over de gehele lengte van het estuarium (vrijwel) constant is (fig. 1).

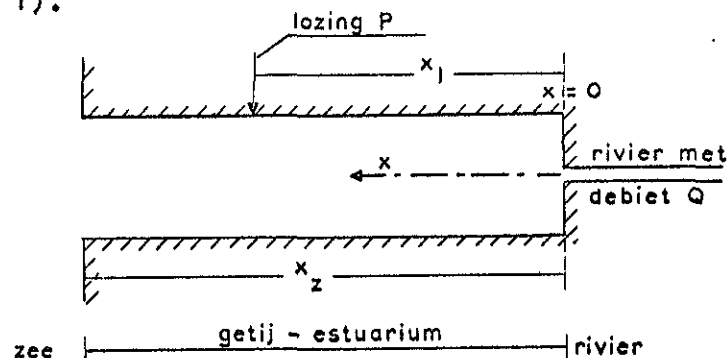


fig. 1 Defenitie - schets

- De lengte -

- 1) V = maximale snelheid (gemiddeld over de diepte), bereikt gedurende een getijperiode, h = diepte, l = verhang, C_h = coëfficiënt van Chezy, het teken " $\wedge$ " geeft topwaarden aan.
- 2) Q = debiet, A = doorsnede, τ = schuifspanning, ρ = soortelijke massa water, g = versnelling van de zwaarte kracht.

De lengte is niet groot ten opzichte van de golflengte van het getij $T \sqrt{gh}$ ¹⁾.

In een dergelijk estuarium zal de komberging landwaarts van een zekere doorsnede vrijwel lineair afnemen met de afstand x tot het "achtereinde" van het estuarium, zodat de natte doorsnede, overeenkomstig Bruun en Gerritsen [2] eveneens lineair met de afstand afneemt.

In het volgende zal onder een "getij-estuarium" worden verstaan een estuarium waarvoor de relatie geldt:

$$A = ax \dots\dots\dots (3)$$

waarbij A de natte doorsnede is (in m^2 ten opzichte van N.A.P.) ²⁾ x de afstand zeewaarts van de "achterzijde" van het estuarium en a de "verbredingscoëfficiënt" (m^2/m^1): deze geeft aan met hoeveel m^2 de doorsnede (beneden N.A.P.) van het estuarium gemiddeld toeneemt indien men zich 1 m in zeewaartse richting begeeft.

Er wordt aangenomen, dat het estuarium uitmondt in een zeer brede en diepe zee, waarvan de toename in de concentratie c van het diffusaat ten gevolge van de lozing in het estuarium te verwaarlozen is.

Er geldt als randvoorwaarde:

$$c = 0 \text{ voor } x = x_z \dots\dots\dots (4)$$

waarbij x_z , de x -coördinaat van het zeewaarts einde van het estuarium, gelijk is aan de lengte van het estuarium.

De hier gegeven definitie van "estuarium" is dus wat nauwer gesteld dan algemeen gebruikelijk is.

Gezocht wordt naar de uiteindelijke (stationaire) concentratie $c(x)$ in het estuarium ten gevolge van een lozing P (eenheden diffusaat/sec) van een zeker diffusaat in een lozingspunt met x -coördinaat $x = x_1$. In het estuarium mondt een rivier uit (met te verwaarlozen berging) met een debiet Q (m^3/sec).

Figuur 1 illustreert deze begrippen met behulp van een definitie schets.

- 3. -

1) T = getijperiode

2) de beperking "ten opzichte van N.A.P." is uiteraard niet erg essentieel.

3. AFLEIDING VAN DE FORMULES. ¹⁾

In de stationaire toestand zal stroomopwaarts van het lozingspunt nergens een resulterend transport van diffusaat plaatsvinden, terwijl zeewaarts van het lozingspunt overal een transport S van diffusaat gevonden wordt, gelijk aan de grootte van de lozing P :

$$\left. \begin{aligned} S &= 0 \quad \text{voor } x < x_1 \\ S &= P \quad \text{voor } x \geq x_1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Het transport van diffusaat is gelijk aan de som van het convectietransport S_c en het diffusie transport S_d :

$$S = S_c + S_d \quad (6)$$

Het convectie- ("meeneem") transport is gelijk aan:

$$S_c = Qc \quad (7)$$

waarbij Q = over de tijd gemiddelde²⁾ waterdebiet (dimensie m^3/sec).

C = concentratie van het diffusaat (eenheden diffusaat/ m^3).

Het diffusie-transport S_d wordt recht evenredig met de concentratie gradiënt in x -richting gesteld:

$$S_d = -AK \frac{dc}{dx} \quad (8)$$

waarin: K = diffusie-coëfficiënt (m^2/sec).

- Combinatie -

¹⁾ De afleiding van de formules (9) en (10) is ontleend aan Eggink [1], welke verwijst naar een intern rapport van Schönfeld en van Dam in bewerking. Eggink geeft tevens een algemene oplossing, die in dit onderhavige rapport is toegespitst op estuaria, zoals gedefinieerd in hoofdstuk 2.

²⁾ In verband met de duur van het diffusie-proces zal deze middeling over de tijd zich tenminste over enige maanden moeten uitstrekken.

Combinatie van (5) t/m (8) levert:

$$Qc - AK \frac{dc}{dx} = 0 \quad \text{voor } x < x_1 \quad (9)$$

$$Qc - AK \frac{dc}{dx} = P \quad \text{voor } x \geq x_1 \quad (10)$$

Na substitutie van (3) ontstaat uit (9):

$$\frac{dc}{c} = \frac{Q}{aK} \frac{dx}{x} \quad (11)$$

$$\text{ofwel: } c = c_1 \left(\frac{x}{x_1} \right)^{Q/aK} \quad \text{voor } x < x_1 \quad (12)$$

De vergelijking (10) is identiek aan (9) met dien verstande dat de bijzondere integraal moet worden toegevoegd:

$$c_1 = \frac{P}{Q} \quad (13)$$

Hierdoor ontstaat voor $x \geq x_1$ de oplossing:

$$c = \frac{P}{Q} + \alpha \left(\frac{x}{x_1} \right)^{Q/aK} \quad (14)$$

waarin α een integratie constante is. De vergelijking (14), uitkomst van een lineaire differentiaal vergelijking is volledig bepaald door zijn ene randvoorwaarde, dat de concentratie bij zee nul is (vgl (4)). Dit levert voor de integratie constante :

$$\alpha = - \frac{P}{Q} \left(\frac{x_1}{x_z} \right)^{Q/aK} \quad (15)$$

Dit verandert (14) in:

$$c = \frac{P}{Q} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{x_z} \right)^{Q/aK} \right\} \quad \text{voor } x \geq x_1 \quad (16)$$

Dit levert de belangrijke stelling:

DE CONCENTRATIE ZEEWAARTS VAN EEN LOZINGSPUNT IS ONAFHANKELIJK VAN DE AFSTAND, DIE DAT LOZINGSPUNT ZICH LANDWAARTS VAN HET BESCHOUWDE PUNT BEVINDT.

- Deze stelling -

Sloehavenlozing INPUT 65 e.v.

Z.t al in aanname (9) en (10)

Deze stelling wordt volledig gestaafd door de uitkomsten van het numerieke model van de Fysische Afdeling, ^{nader beschreven} in hoofdstuk 4.

Bij in het computermodel gesimuleerde lozingen ter plaatse van km 70 en km 75 was de concentratie verdeling zeewaarts van km 70 (75) volledig identiek aan de verdeling bij een lozing van dezelfde grootte ter plaatse van km 65 (zie bijlage 4, onderste figuur).

Uit (16) volgt voor de concentratie c_1 in het lozingspunt:

$$c_1 = \frac{P}{Q} \left\{ 1 - \left(\frac{x_1}{x_z} \right) Q/aK \right\} \quad (17)$$

4. TOEPASSING VAN DE GEVONDEN FORMULES OP HET WESTERSCHELDE-ESTUARIUM.

4.1 Inleiding tot hoofdstuk 4.

In het volgende zullen de gevonden formules (12) en (16) worden toegepast op het Westerschelde-estuarium. Eerst (par. 4.2) zullen de resultaten van enige diffusie berekeningen van de Fysische Afdeling-gevonden door een numeriek programma, dat in-stationaire gevallen kan berekenen zo lang te draaien tot een stationair resultaat was verkregen- worden vergeleken met de hiervóór beschreven globale methode. De diffusie-coëfficiënt K, die in het numerieke model in de richting van het estuarium varieert, zal in dit analytische model door een constante worden vervangen, welke overeenkomt met een gemiddelde waarde uit het numerieke model.

Ook betreffende de constante a zullen aannamen worden gedaan, zodanig dat zo goed mogelijk aansluiting bij de computer-berekeningen wordt gevonden.

Uit de vergelijking van de uitkomsten zal blijken, dat het analytische model voor de berekening van stationaire gevallen gelijkwaardig aan de computerberekeningen is.

Daarna (par. 4.3) zullen de resultaten worden vergeleken met zoutgehaltemetingen in de Westerschelde welke Meulenberg [3] heeft gepubliceerd. Daaruit volgen enige aanpassingen in de

constanten van het analytische model. In par. 4.4 wordt nagegaan in hoeverre deze aanpassingen invloed hebben op de resultaten, die door de Fysische Afdeling werden verkregen.

4.2 Ijking van de analytische methode aan de instationaire. numerieke methode van de Fysische Afdeling.

Bijlage 1 toont een kaart van de Westerschelde. Vanaf de toren van het Loodswezen te Antwerpen is in zeewaartse richting een kilometrering aangebracht. Door de Studiedienst Vlissingen zijn op onderlinge afstanden van 5 km de doorsneden van de profielen beneden N.A.P. berekend. Deze oppervlakten staan aangegeven op bijlage 2. De Westerscheldemonnd is gesplitst in een zuidelijk deel "Wielingen" en noordelijk deel "Oostgat". Van ieder van deze geulen zijn afzonderlijk de doorsneden bepaald. Door de Fysische Afdeling is deze schematisering verder landwaarts doorgezet totaan de bovenloop van de Rupel, terwijl de zeewaartse vakken in de Westerscheldemonnd zijn samengevoegd.

Bijlage 3 toont de doorsneden van de profielen van het estuarium gedeelte landwaarts van Vlissingen, uitgezet tegen de bovengenoemde kilometrering.

Zeer duidelijk blijkt het getij-estuarium-karakter van het gedeelte zeewaarts van km 25 (lineaire toename van het dwarsprofiel met de zeewaartse afstand) en van het rivier-karakter van het gedeelte stroomopwaarts van km 25 (vrijwel constante doorsnede).

Het nulpunt van de stijgende lijn zeewaarts van km 25 ligt ter plaatse van km 17. Deze waarde zal daarom als nulpunt van de x-as worden beschouwd.

Gevonden wordt:

$$A = 1,43 \times \quad (18)$$

De verbredingscoëfficiënt a is dus:

$$a = 1,43 \text{ m}^2/\text{m}^1 \quad (\text{landwaarts van km 65}) \quad (19)$$

De grootte van de diffusie coëfficiënt K wordt gelijk genomen aan een gemiddelde waarde uit het numerieke model:

$$K = 100 \text{ m}^2/\text{sec} \quad (20)$$

De grootte van de exponent in (12) en (16), Q/aK , wordt dus gelijk aan 1 bij een grootte van Q van $143 \text{ m}^3/\text{sec}$ (lineaire toename van de concentratie met x) en kleiner dan 1 bij $Q < 143 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Door de Fysische Afdeling zijn berekeningen uitgevoerd, uitgaande van een lozing van één eenheid diffusaat/sec ter hoogte van km 65 (bijlage 1).

De resultaten van deze berekeningen, aangevend de concentraties c als functie van x staan aangegeven in bijlage 4. Uitgaande van de aanname, dat de concentratie c_1 in het lozingspunt is gegeven, zijn in bijlage 4 tevens de resultaten van de analytische berekening overeenkomstig (12) gegeven. De overeenstemming is vrijwel volledig.

Bijlage 5 is identiek aan bijlage 3, doch deze geeft de oppervlakten van de dwarsprofielen van de Westerscheldemond, zoals ingevoerd in het computerprogramma van de Fysische Afdeling.

Het blijkt, dat deze doorsneden zeer snel in oppervlakte toenemen in zeewaartse richting.

Voor berekeningen betreffende de Westerscheldemond moet a dan ook groter worden gekozen dan $1,43 \text{ m}^2/\text{m}^1$. Een meer logische aanname lijkt de gestreepte lijn in bijlage 5:

$$A = 4,25 x' \quad (\text{zeewaarts van Km 65}) \quad (21)$$

$$\text{dus } a = 4,25 \text{ m}^2/\text{m}^1 (\text{zeewaarts van Km 65}) \quad (22)$$

waarbij x' in de kilometrering van bijlage 1 tot oorsprong heeft: km 53. Daar de totale lengte van het model van de Fysische Afdeling zich tot km 100 uitstrekt houdt dit in:

$$x'_z = 47 \text{ km} \quad (23)$$

Bijlage 4 toont nu eveneens het resultaat van de berekening van de concentratie in het gedeelte zeewaarts van Km 65. Ook dit komt vrijwel geheel met de computerberekening overeen.

4.3 Vergelijking van het analytische model met de zoutmetingen van Meulenberg [3].

Als het zoete water uit de rivier als een diffusaat in het zoute estuarium wordt beschouwd, is de hoeveelheid diffusaat P uiteraard gelijk aan het debiet Q van de rivier.

De formule (16) geldt dan voor het gehele estuarium:

$$c = 1 - \left(\frac{x}{x_z}\right) Q/aK \quad (24)$$

waarin c het gehalte aan zoet water is. Met andere woorden: het gehalte aan zout water bedraagt:

$$c' = \left(\frac{x}{x_z}\right) Q/aK \quad (25)$$

Overeenkomstig Meulenberg [3] zal het Westerscheldewater in het volgende worden beschouwd als een mengsel van zeewater (19.250 mg Cl/l) en van rivierwater met 0 mg Cl/l. Hierdoor is het percentage rivierwater (c.q. zeewater) uit het zoutgehalte te berekenen.

Bijlage 6 ¹⁾ toont het verloop van de zoutgehalten in de Westerschelde vanaf september 1953 t/m oktober 1955. De meetpunten staan aangegeven op bijlage 7. ¹⁾

Bijlage 8 toont een kaart van gemiddelde zoutgehalten in het mondingsgebied van de Westerschelde, vervaardigd door Meulenberg aan de hand van de beschikbare gegevens. De kaart is gebaseerd op een Scheldeafvoer van 100 m³/sec. Uit deze kaart komt evenals uit nota 74.2 [3] duidelijk naar voren, dat Wielingen en Oostgat een geheel verschillend regiem hebben en dat het waarschijnlijk niet overeenkomstig de werkelijkheid is een gelijke concentratie aan te nemen in doorsneden langs cirkelvormige raaien met Vlissingen tot middelpunt.

Het lijkt logischer het Raan als een effectieve scheiding tussen beide geulenstelsels te beschouwen en de diffusie door het Oostgat in de Wielingen voor-alsnog te verwaarlozen.

- Evenmin -

¹⁾ Bijlage 6 en 7 werden eerder gepubliceerd door Meulenberg ([3], bijlage 5 en 1).

Evenmin lijkt het juist de zoetwater concentratie 25 km van Vlissingen (dus bij Knokke) nul te stellen. Het blijkt, dat het mondingskarakter zich tenminste nog 25 km uitstrekt.

In bijlage 5 is het oppervlak van de profielen van de Wielingen -exclusief Oostgat- met een streep-stiplijn aangegeven.

Wordt de diffusie vanuit het Oostgat wat betreft de Wielingen verwaarloosd, dan lijkt doortrekken van de Westerschelde-lijn " $A = 1,43 x$ " (vgl (18)) geen slechte benadering.

In het volgende zal worden aangenomen, dat de zeewaartse rand van het estuarium zich 127 km van de toren van het Loodswezen in Antwerpen bevindt, met andere woorden:

$$x_z = 110 \text{ km} \quad (26)$$

Bijlage 9 toont op de horizontale schaal de kilometrering overeenkomstig bijlage 1; op de verticale schaal zijn met sterretjes de gemiddelden van de in bijlage 6 aangegeven zoutgehalten weergegeven. Het gemiddelde van de Scheldeafvoer over de beschouwde periode bedroeg ca $80 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Verder staat op bijlage 9 het zoutgehalteverloop langs de Westerschelde aangegeven bij de maximale en minimale Scheldeafvoer in de beschouwde periode¹⁾. Tenslotte staan nog lijnen volgens (25) weergegeven, respectievelijk voor $Q = 30, 60, 80, 120, 180$ en $240 \text{ m}^3/\text{sec}$. Hierbij werd uitgegaan van een waarde aK gelijk aan:

$$aK = 240 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (\text{analytisch model}) \quad (27)$$

Met de waarde $a = 1,43 \text{ m}^2/\text{m1}$, gegeven in (19) volgt hieruit een waarde van K van:

$$K = 168 \text{ m}^2/\text{sec} (\approx 170 \text{ m}^3/\text{sec}) \quad (28)$$

(analytisch model)

- Het blijkt -

¹⁾ Deze lijnen komen vrijwel overeen met de lijnen gegeven in bijlage 4 van [3]. In [3] zijn de kilometers echter gemeten langs de as van de het hoofdvaarwater. De longte-as in bijlage 4 van [3] is dus wat langer.

Het blijkt, dat de zo verkregen kromme voor $Q = 80 \text{ m}^3/\text{sec}$ redelijk aansluit bij de gemiddelde zoutgehalten ("sterretje"), terwijl de krommen van juli/augustus 1954 (Schelde-afvoer $36 - 56 \text{ m}^3/\text{sec}$) zich redelijk bevinden tussen de berekende "stationaire" krommen van 30 en $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ (resp. een achtste- en vierde-graads parabool). Evenzo liggen de krommen van februari/maart 1955 (Schelde-afvoer $184 - 120 \text{ m}^3/\text{sec}$) in de range tussen de krommen van 120 en $180 \text{ m}^3/\text{sec}$ (een 2^e en een anderhalve graads parabool). Men krijgt de indruk, dat in maart 1955 de zoetwatergolf van $180 \text{ m}^3/\text{sec}$ zich tot westwaarts van Terneuzen heeft verplaatst.

De waarde $K = 100 \text{ m}^2/\text{sec}$, die in de berekeningen van de voorgaande paragrafen werd gebruikt, en die vrij goed overeenkwam met de tot op heden door de Fysische Afdeling gebruikte diffusie coëfficiënten lijkt aan de lage kant. Dit wordt geïllustreerd door bijlage 10, die de analytische berekende diffusie aangeeft met gebruikmaking van de in de voorgaande hoofdstukken gebruikte constanten. De grootte van deze constanten is nogmaals weergegeven in de tabel op bijlage 10. Als scheiding tussen het mondingsgebied en het binnengebied van het estuarium is, evenals in het voorgaande, km 65 aangehouden. De hierbij berekende lijn voor $Q = 143 \text{ m}^3/\text{sec}$ (een rechte lijn tussen km 17 en km 65) sluit minder bij de waarnemingen februari/maart 1955 ($Q = 184 - 120 \text{ m}^3/\text{sec}$) aan dan de in bijlage 9 gegeven lijnen.

4.4 Invloed van de aanpassingen op de resultaten.

Bijlage 11 toont opnieuw de resultaten van de diffusieberekeningen van de Fysische Afdeling, gegeven in bijlage 4, en daarnaast de resultaten wanneer de in hoofdstuk 4.3 besproken aanpassingen worden toegepast.

Het blijkt, dat de invloed van de grotere lengte van het estuarium genivelleerd wordt door de grotere diffusie coëfficiënt, zodat de verschillen uiteindelijk gering zijn.

Ter illustratie is in bijlage 11 ook nog met een dunne lijn de invloed weergegeven van het verlengen van het estuarium zonder het verhogen van de diffusie coëfficiënt; dan blijken de veranderingen wel veel groter te zijn, maar de concentraties blijken toch minder dan een factor 2 van de oorspronkelijke af te wijken.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES.

1. In dit memo is alleen de uiteindelijke concentratieverdeling van een niet-afbreekbaar diffusaat beschouwd, stationair geloozd in een één dimensionaal estuarium, waarop aan de landzijde een kleine rivier uitmondt, terwijl het estuarium zelf weer uitmondt op een zee, zodanig diep en uitgestrekt, dat de invloed van de lozing op de concentratie aan diffusaat in zee verwaarloosbaar is (fig. 1 op blz. 2).
2. In hoofdstuk 2 wordt aannemelijk gemaakt, dat de natte doorsnede van de geulen in dit estuarium in zeewaartse richting lineair toeneemt: van deze veronderstelling wordt in de daarop volgende hoofdstukken uitgegaan. De verbredingscoëfficiënt "a" wordt gedefinieerd zijnde de gemiddelde toename in m^2 van de doorsnede beneden N.A.P. van het estuarium, indien men deze doorsnede 1 m verder zeewaarts aanbrengt (zie vgl (3), blz. 3).
3. In hoofdstuk 3 worden 2 eenvoudige analytische formules afgeleid, (12) en (16), blz. 5, geldend respectievelijk voor de de concentratie aan diffusaat landwaarts en zeewaarts van het lozingspunt¹⁾.
4. Uit de formules blijkt, dat de concentratie van het diffusaat zeewaarts van het lozingspunt onafhankelijk is van de afstand, die dat lozingspunt zich landwaarts van het beschouwde punt bevindt; uiteraard is deze concentratie wel afhankelijk van de afstand van het beschouwde punt tot de zee.
5. Als een bijzonder geval, waarop de gevonden formules van toepassing zijn, kan de menging van zoet rivierwater met zout zeewater worden beschouwd. Vgl. (25) op blz. 9 geeft het gehalte aan zout water als functie van de plaats x, de lengte van het estuarium x_z , het rivierdebiet Q, de verbredingscoëfficiënt a en de diffusiecoëfficiënt K.

- Ook hierbij -

1) Betreffende de gebruikte symbolen wordt verwezen naar de symbolenlijst (blz. 15 e.v.) en naar fig. 1.

Ook hierbij geldt het in conclusie 4 gestelde dat de plaats en het aantal van de lozingspunten van zoet water dit gehalte niet beïnvloeden, zolang men zich zeewaarts van deze lozingspunten bevindt. Alleen het totale debiet Q aan zoet water telt.

6. In hoofdstuk 4 worden de gevonden formules toegepast voor het berekenen van diffusie in het Westerschelde-estuarium. Alleen het gebied zeewaarts van het Vaarwater boven Bath (km 25 in bijlage 1) wordt beschouwd.
7. Eerst worden de resultaten vergeleken met de uitkomsten van berekeningen met behulp van het computerprogramma van de Fysische Afdeling; dit laatste programma, dat het mogelijk maakt in stationaire gevallen te berekenen werd zolang gedraaid tot een stationair resultaat was verkregen (lozing beginnend op $t = 0$).

De resultaten blijken zeer goed overeen te komen met de uitkomsten van de eenvoudige analytische formules (zie bijlage 4).

8. Vervolgens werd gesuggereerd enige constanten in de formules wat aan te passen; aan de hand van metingen, die door Meulenberg [3] zijn besproken werd aangetoond, dat deze aanpassing betere overeenstemming met de metingen geeft (vergelijk bijlage 9 (onaangepaste waarden) met bijlage 8 (aangepaste waarden).
9. Een van de voorgestelde aanpassingen is het buiten beschouwing laten van de invloed van het Oostgat op de diffusie in de Westerscheldemond. Zowel uit litt. [3] als uit bijlage 8 volgt, dat de Wielingen zeer goed als een verlenging van het Westerschelde-estuarium kan worden beschouwd en dat het Oostgat weinig invloed uitoefent. Het aannemen van dezelfde concentratie in punten op een cirkel met Vlissingen als middelpunt gelegen lijkt principieel niet juist.
10. Een tweede aanpassing is het zeewaarts verleggen van de randvoorwaarde " $c = 0$ ".
11. Verder geven de metingen in litt. [3] de indruk dat de diffusiecoëfficiënt op de Westerschelde wat groter zou moeten worden gekozen dan tot op heden door de Fysische Afdeling gebeurt.

12. Bijlage 8 geeft het aldus berekende percentage aan zout water dat men langs de Westerschelde kan verwachten bij gegeven Schelde-afvoer¹⁾. De gegeven waarden gelden zeewaarts van het Vaarwater boven Bath (Km 25 in bijlage 1). Tot nadere informatie geeft bijlage 12 nog de overschrijdingsfrequenties van de Schelde-afvoer (afvoergegevens afkomstig van de Antwerpse Zee-diensten).
13. Bijlage 11 geeft de veranderingen in concentraties bij door de Fysische Afdeling berekende gevallen, die het gevolg zijn van de in conclusie 9 t/m 11 besproken aanpassingen.
14. De invloed hiervan blijkt alleen in de buitendelta beduidend te zijn: de invloed van de grotere lengte van het estuarium wordt genivelleerd door de grotere diffusie coëfficiënt.

1) N.B. conclusie 5 laatste alinea.

Vlissingen, 25 februari 1975

Het Hoofd van de Studiedienst Vlissingen,



(ir. W.Th.J.N.P. Bakker)

LIJST VAN SYMBOLEN.

		eenheid	geïntroduceerd op pag.
a	verbredingscoëfficiënt	m^2/m^1	3
A	natte doorsnede van het profiel (t.o.v. N.A.P.)	m^2	2
c	concentratie van het diffusaat	eenheden dif- fusaat/ m^3	3
C_h	Chezy-coëfficiënt	$m/sec.$	2
g	versnelling van de zwaartekracht	$m^2/sec.$	2
h	waterdiepte	m	2
I	verhang	dimensieloos	2
K	diffusie-coëfficiënt	m^2/sec	4
P	hoeveelheid lozing diffusaat	eenheden dif- fusaat/sec.	2/3
Q	debiet van de rivier	$m^3/sec.$	3
S	transport van diffusaat	eenheden dif- fusaat/sec.	4
S_c	convectietransport	"	4
S_d	diffusietransport	"	4
T	getijperiode	sec.	3
V	over de diepte gemiddelde water- snelheid	m/sec.	2
x	coördinaat in lengterichting van het estuarium (zeewaarts positief) nulpunt wordt bepaald door het ver- loop van A als functie van x	m	3
x_1	x-coördinaat van het lozingspunt	m	3
x_z	x-coördinaat van het punt waar c 0 is.		3

LIJST VAN SYMBOLEN. (VERVOLG)

	eenheid	geïntroduceerd op pag.
integratiecoëfficiënt	eenheden dif- fusaat/m ³	5
soortelijke dichtheid	kg/m ³	2
schuifspanning	kg/m sec ²	2
critische schuifspanning	kg/m sec ²	2
top-waarde		2

LITERATUUR.

1. Eggink, H.J.
Het estuarium als ontvangend water van grote hoeveelheden afvalstoffen.
Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen (1965).
2. Bruceen, Per en Gerritsen
Stability of coastal inlets
North-Holland Publishing Company, Amsterdam (1960).
3. Meulenberg, M.
De zoutgehalten in de Westerschelde en het mondingsgebied en de veranderingen ervan t.g.v. de Deltawerken (eerste bericht).
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Studiedienst Vlissingen, nota 74.2 (1974).

LIJST VAN BIJLAGEN.

Bijlage nr.	Omschrijving	For- maat	Stamboek nr.
1.	Kilometrering en situering der profielen.	A4	75.191
2.	Oppervlak dwarsprofielen Westerschelde Wielingen en Oostgat in m^2 t.o.v. N.A.P. (tabel).	A1	75.192
3	Oppervlak dwarsprofielen Westerschelde als functie van de plaatsen.	A1	75.193
4	Resultaten van een berekening van de Fysische Afdeling betreffende de lozing van een hoeveelheid diffusaat bij km 65 en vergelijking met de uitkomsten volgens vgl (12) en m^3 (16). Debeite Schelde resp. 20, 50 en 150 m^3 /sec.	A1	75.194
5	Oppervlak dwarsprofielen Wielingen en ge- hele Westerscheldemond als functie van de plaats.	A1	75.195
6	Zoutgehalten Westerschelde en Scheldeaf- voer (1953-1955).	A2	75.196
7	Bemonsteringsplaatsen Zoutgehalte meting- en 1953-1956.	A4	75.197
8	Gemiddeld zoutgehalte in gr Cl/ltr in het mondingsgebied van de Westerschelde.	A2	75.198
9	Gemeten en berekend zoutgehalte verloop in lengterichting van de Westerschelde (aangetaste diffusie- en verbredings- coëfficiënten)	A3	75.199
10	Gemeten en berekend zoutgehalte verloop in lengterichting van de Westerschelde (niet-aangepaste diffusie- en verbre- dingscoëfficiënten)	A1	75.200

LIJST VAN BIJLAGEN. (VERVOLG)

Bijlage nr.	Omschrijving	For- maat	Stamboek nr.
11	Bepaling van de invloed van de aangepaste coëfficiënten op de concentratieverdeling over de Westerschelde.	A1	75.201
12	Overschrijdingskans tiendaags- en maandgemiddelde van de Scheldeafvoer (1949 t/m 1958).	A1	75.202

RUKSWATERSTAAT DIRECTIE ZEELAND
STUDIEDIENST VLISSINGEN

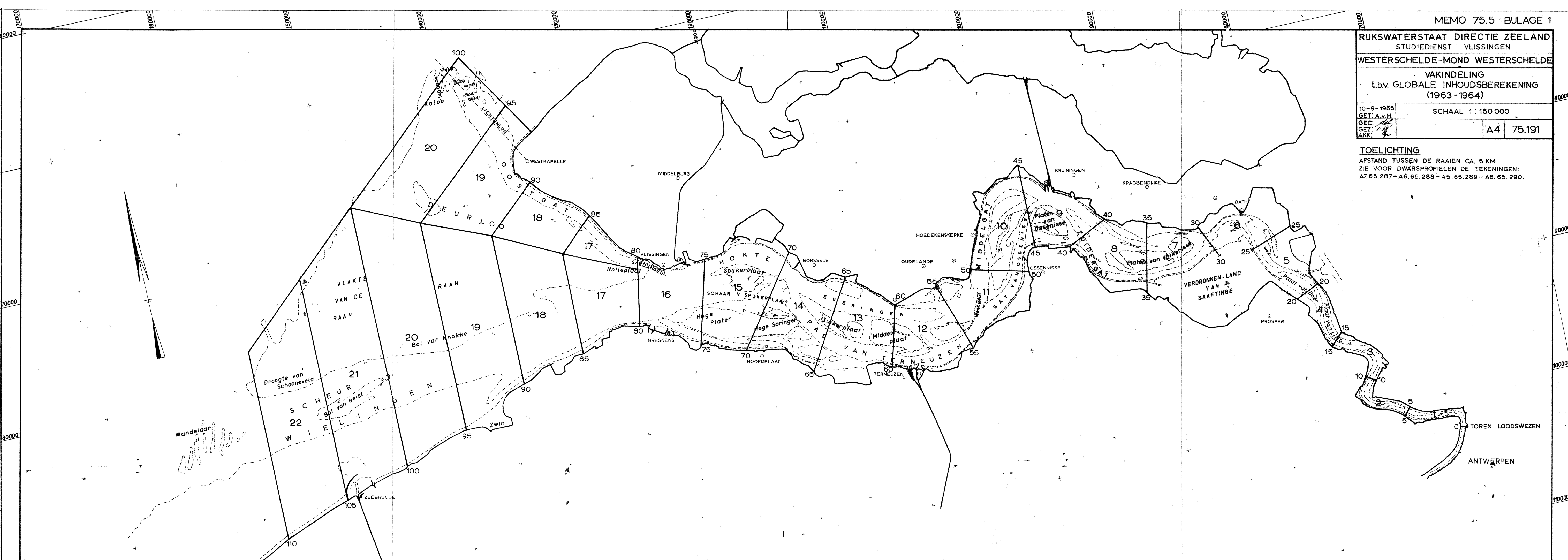
WESTERSCHDELDE-MOND WESTERSCHDELDE

VAKINDELING
t.b.v. GLOBALE INHOUDSBEREKENING
(1963-1964)

10-9-1965 GET. A.V.H.	SCHAAL 1:150 000		
GEC. <i>[initials]</i>		A4	75.191
GEZ. <i>[initials]</i>			
AKK. <i>[initials]</i>			

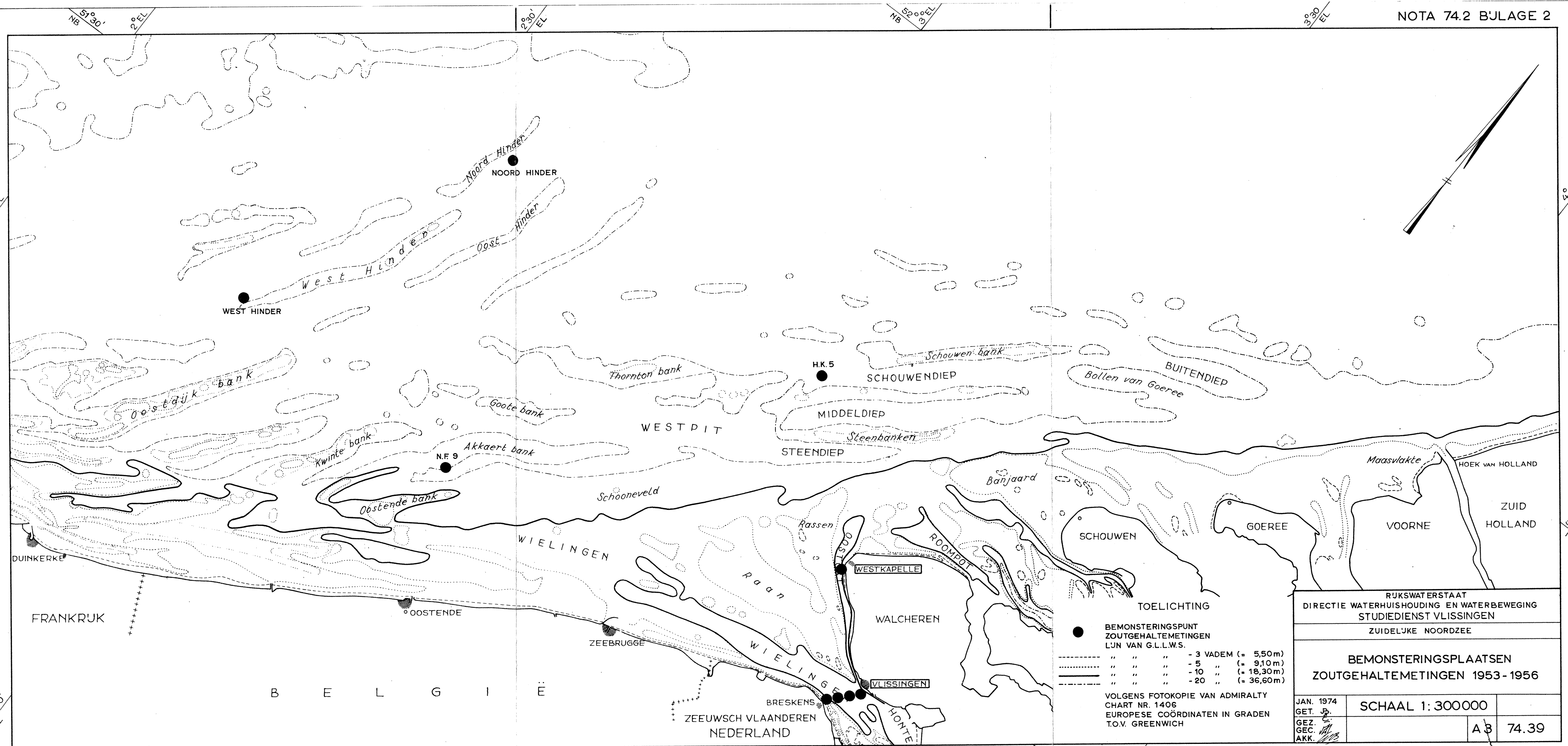
TOELICHTING

AFSTAND TUSSEN DE RAAIEN CA. 5 KM.
ZIE VOOR DWARSPROFIELEN DE TEKENINGEN:
A7.65.287-A6.65.288-A5.65.289-A6.65.290.



OPPERVLAK DWARSPROFIEL WESTERSCHELDE, WIELINGEN EN OOSTGAT.
(T.O.V. N.A.P., IN M²)

km	Westerschelde	Vak nr.	km	Wielingen	Vak nr.
0	3825		80	73725	
5	5550	1	85	95475	17
10	6425	2	90	102925	18
15	7125	3	95	130250	19
20	11175	4	100	171850	20
25	11400	5	105	156050	21
30	15425	6	110	132000	22
35	20900	7			
40	30800	8		Oostgat	
45	47200	9			
50	39200	10	80	9600	
55	44985	11	85	28900	17
60	45900	12	90	47900	18
65	68150	13	95	90775	19
70	77675	14	100	147550	20
75	83775	15			
80	83325	16			



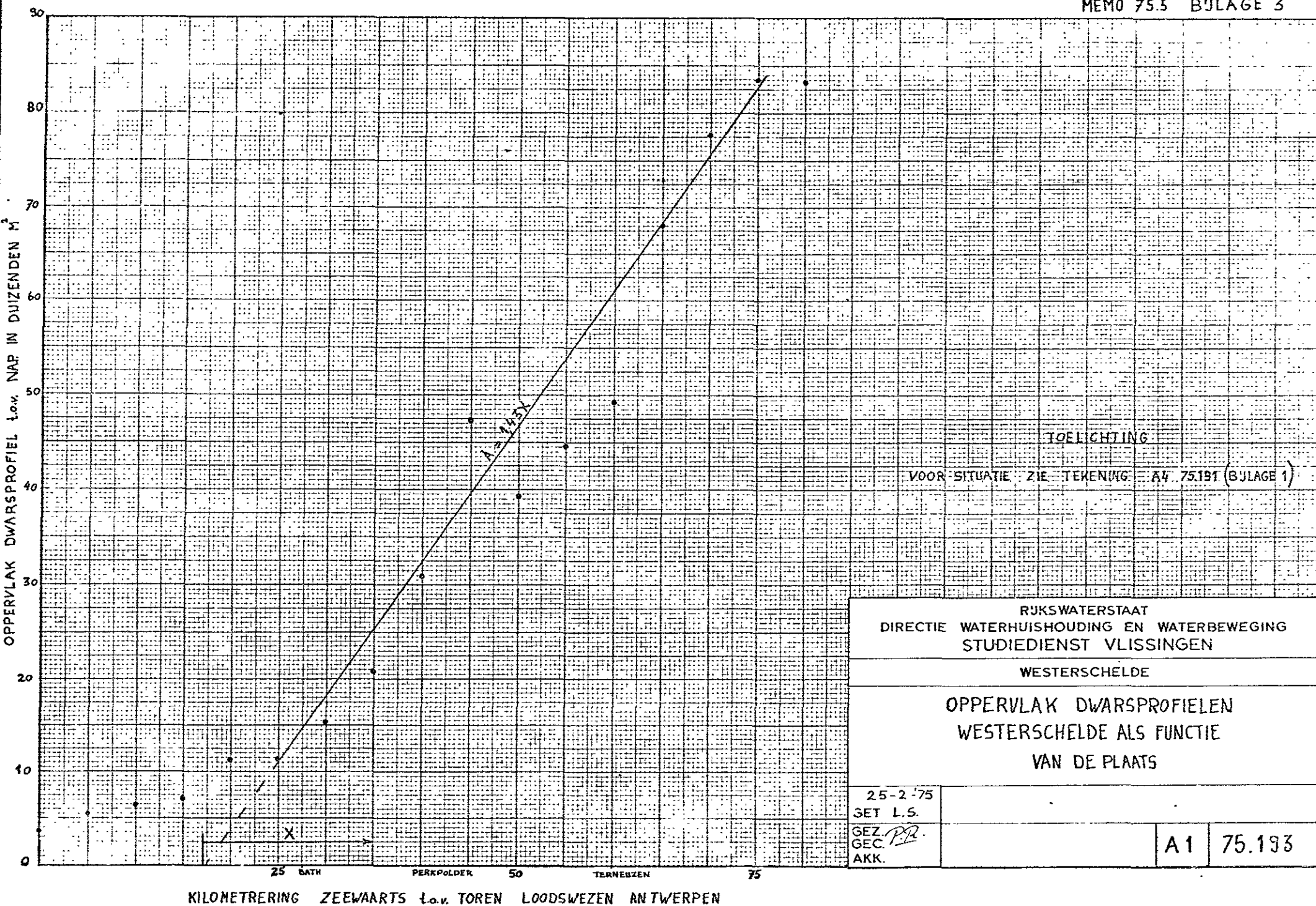
TOELICHTING

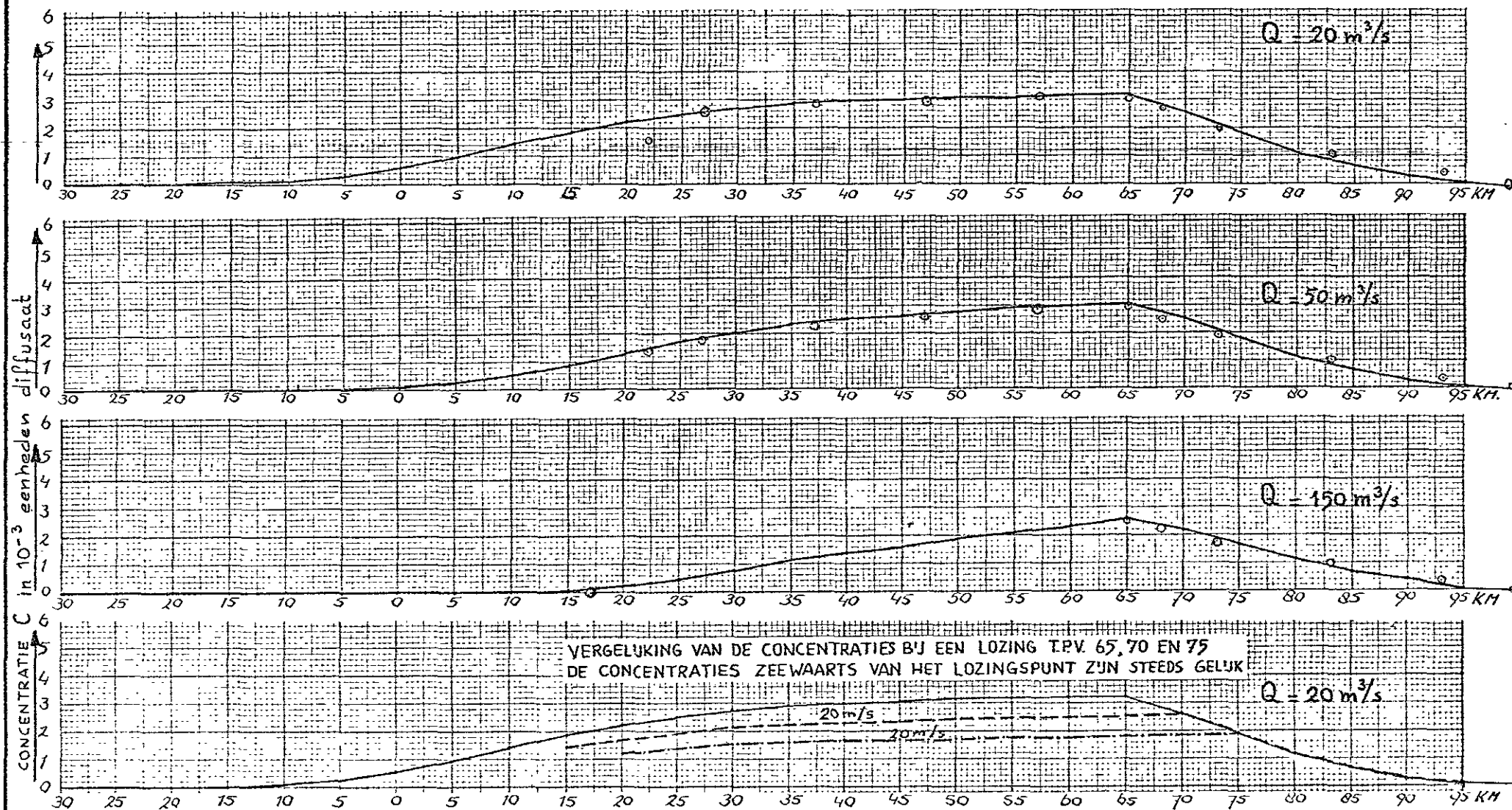
● BEMONSTERINGS-PUNT
ZOUTGEHALTEMETINGEN
LJN VAN G.L.L.W.S.

--- - 3 VADEM (= 5,50m)
--- - 5 " (= 9,10m)
--- - 10 " (= 18,30m)
--- - 20 " (= 36,60m)

VOLGENS FOTOKOPIE VAN ADMIRALTY
CHART NR. 1406
EUROPESE COÖRDINATEN IN GRADEN
T.O.V. GREENWICH

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING STUDIEDIENST VLISSINGEN		
ZUIDELIJKE NOORDZEE		
BEMONSTERINGSPLAATSEN ZOUTGEHALTEMETINGEN 1953-1956		
JAN. 1974 GET. J.	SCHAAL 1: 300000	
GEZ. GEC. J.		A 3 74.39
AKK. J.		

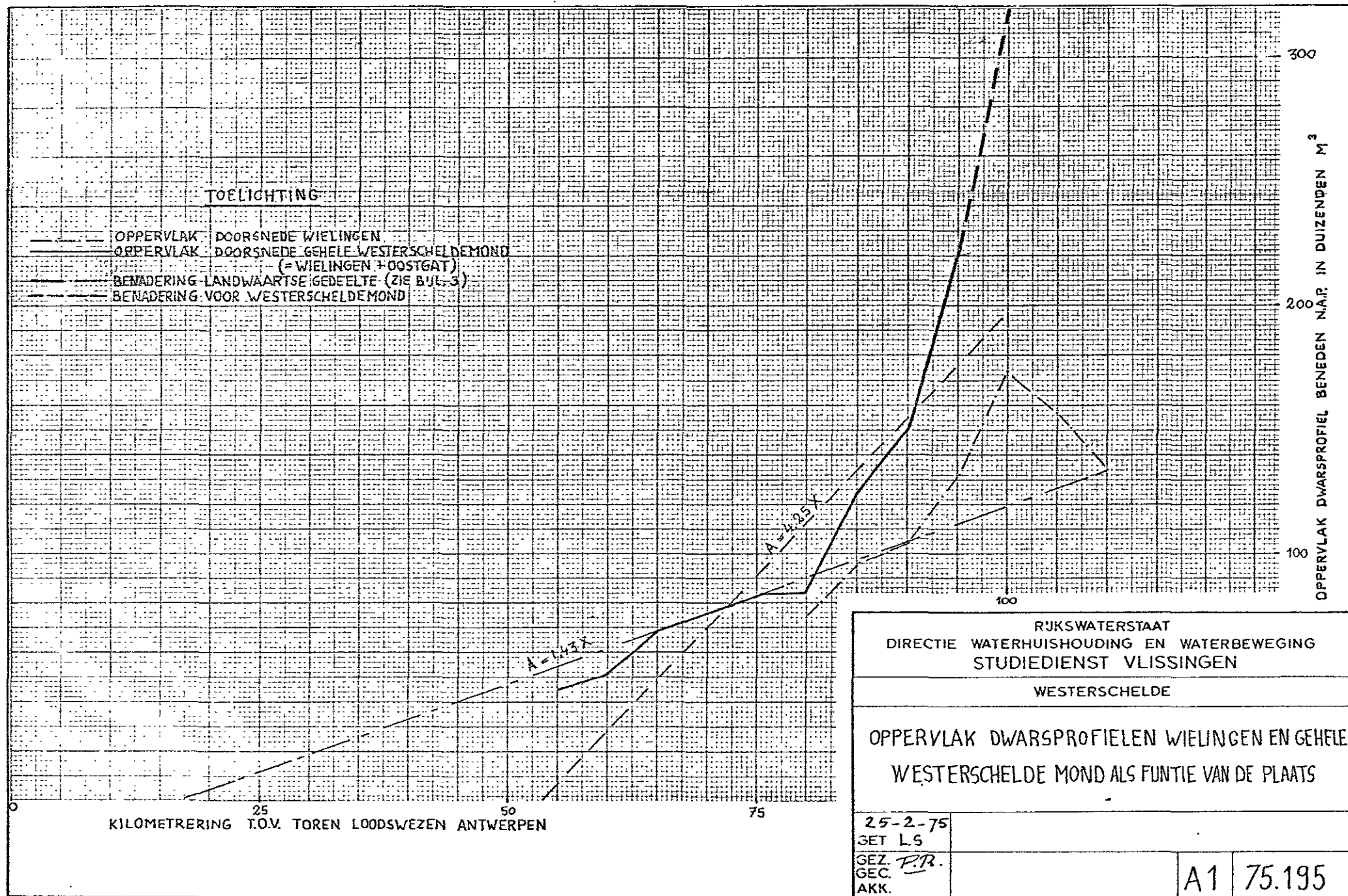


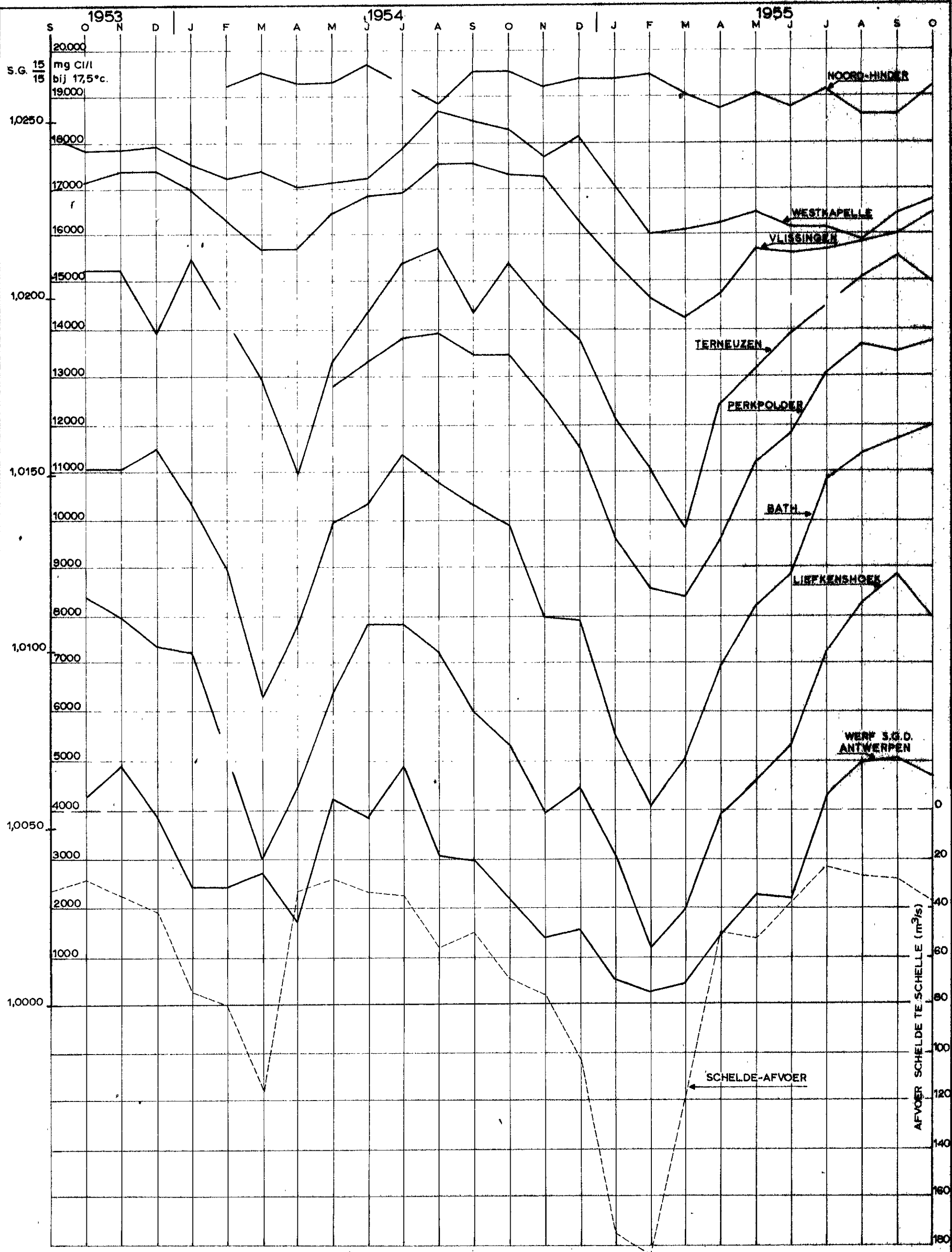


TOELICHTING

— LOZING BIJ Km 65 } BEREKENING
 - - - " " Km 70 } FYSISCH AFDELING
 - - - " " Km 75 }
 ○ RESULTATEN BEREKENING
 VOLGENS (12) EN (16)

GET.	GEZ.	GEK.	AKK.	RESULTATEN BEREKENING FYSISCH AFDELING BETREFFENDE LOZING VAN EEN EENHEID DIFFUSAAT 15 BIJ KM 65 EN VERGELIJKING MET DE UITKOMSTEN VOLGENS VGL (12) EN (16) DEBIET SCHELDE RESP. 20, 50 EN 150 m^3/s	
AK.	P.R.				A1 75.194

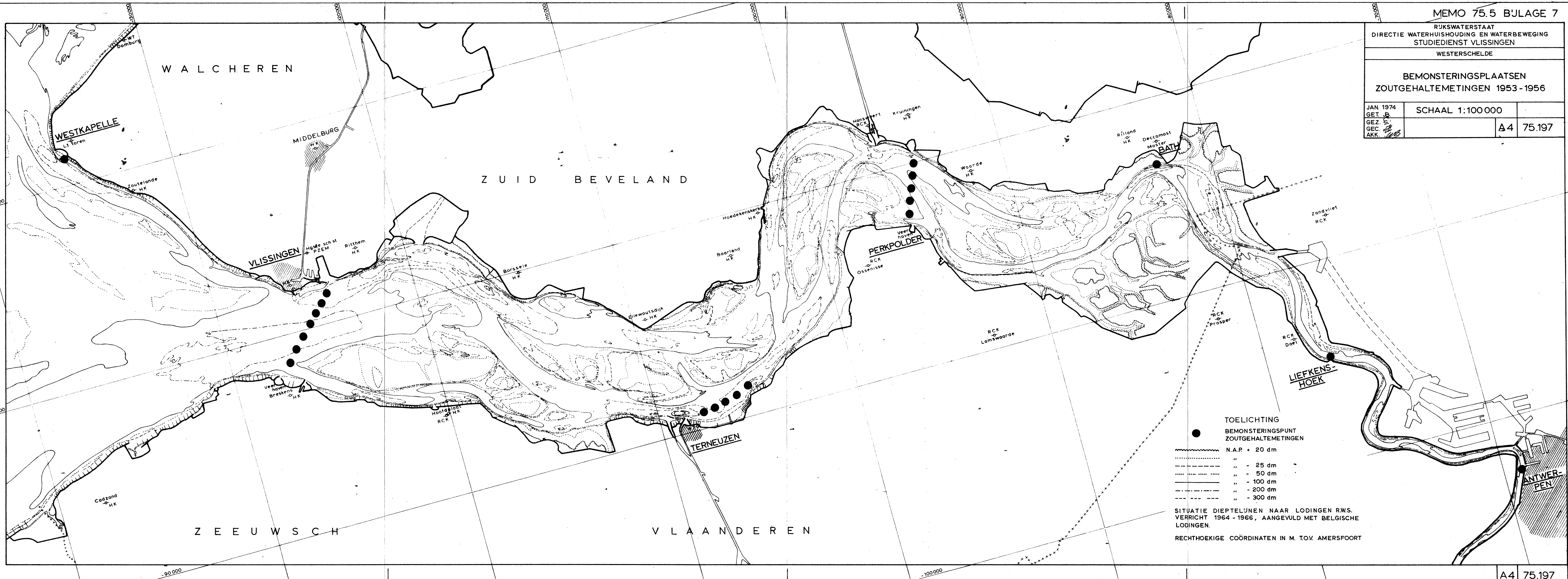




TOELICHTING

DE UITGEZETTE ZOUTGEHALTEN
ZUN GEMIDDELDEN VAN HET IN
EEN KALENDERMAAND WAARGE-
NOMEN MINIMUM EN MAXIMUM
ZOUTGEHALTE

GET.	GEZ.	GEC.	AKK.	RIJSWATERSTAAT DIRECTIE WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING STUDIEDIENST VLISSINGEN	
JAN. '74	E.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	ZOUTGEHALTEN WESTERSCHDELDE EN SCHELDEAFVOER (1953-1955)	A 2 75.196
J.B.					



MEMO 75.5 BIJLAGE 7

RUKSWATERSTAAT
DIRECTIE WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING
STUDIEDIENST VLISSINGEN
WESTERSCHDELDE

BEMONSTERINGSPLAATSEN
ZOUTGEHALTEMETINGEN 1953 - 1956

JAN. 1974
GET. *[initials]*
GEZ. *[initials]*
GEC. *[initials]*
AKK. *[initials]*

SCHAAL 1:100 000

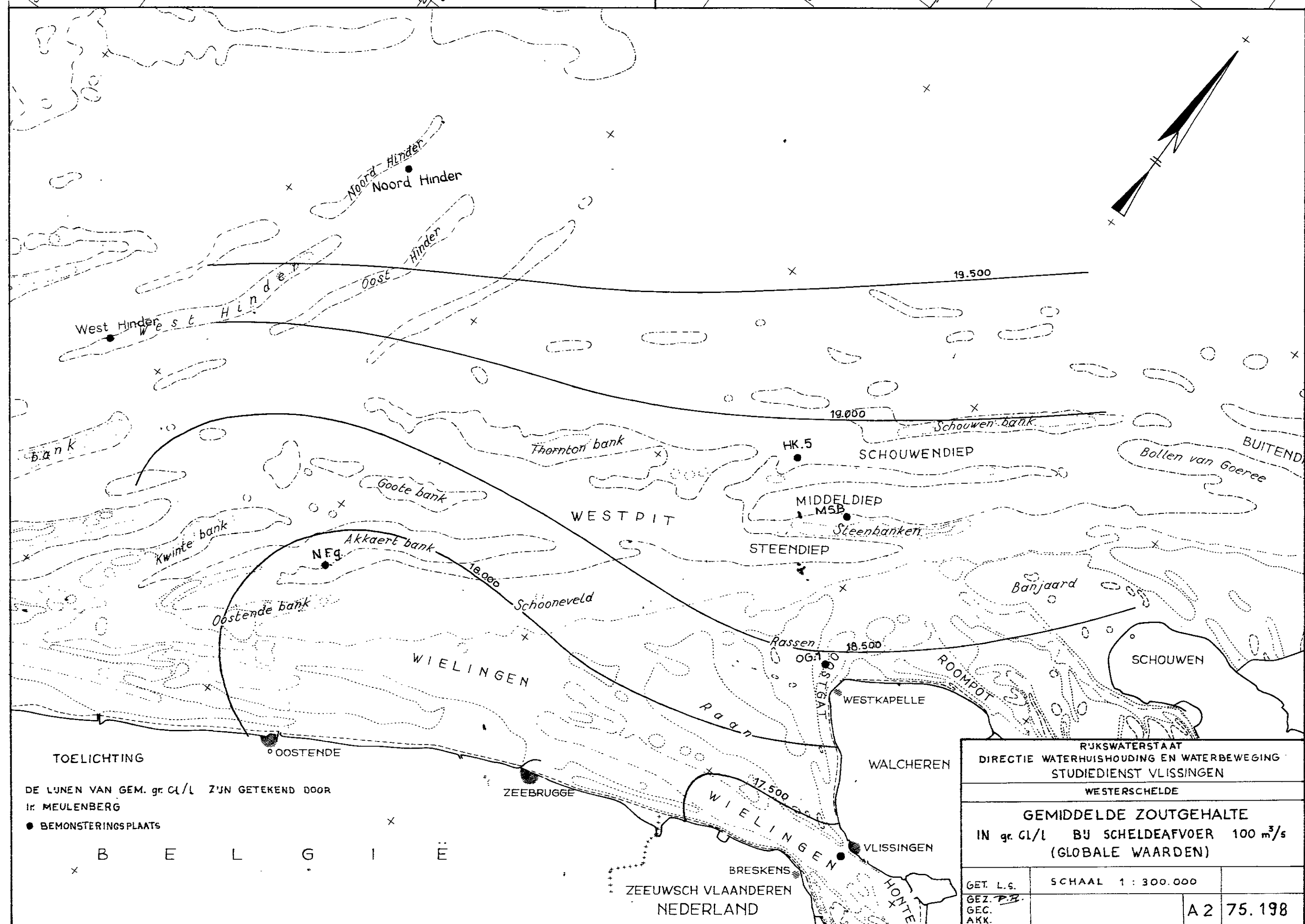
A4 75.197

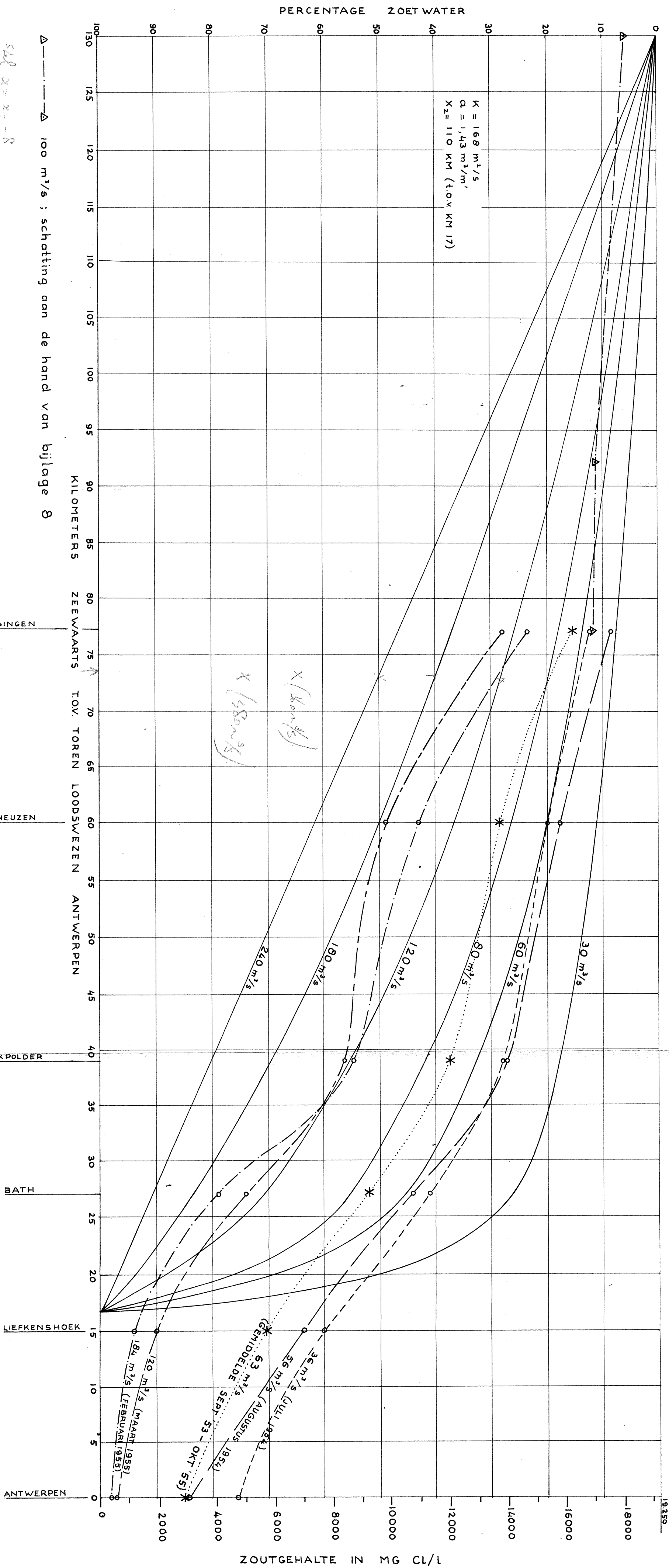
TOELICHTING
BEMONSTERINGSPUNT
ZOUTGEHALTEMETINGEN

● N.A.P. + 20 dm
--- " - 25 dm
--- " - 50 dm
--- " - 100 dm
--- " - 200 dm
--- " - 300 dm

SITUATIE DIEPTELIJNEN NAAR LODINGEN R.W.S.
VERRICHT 1964 - 1966, AANGEVULD MET BELGISCHE
LODINGEN.

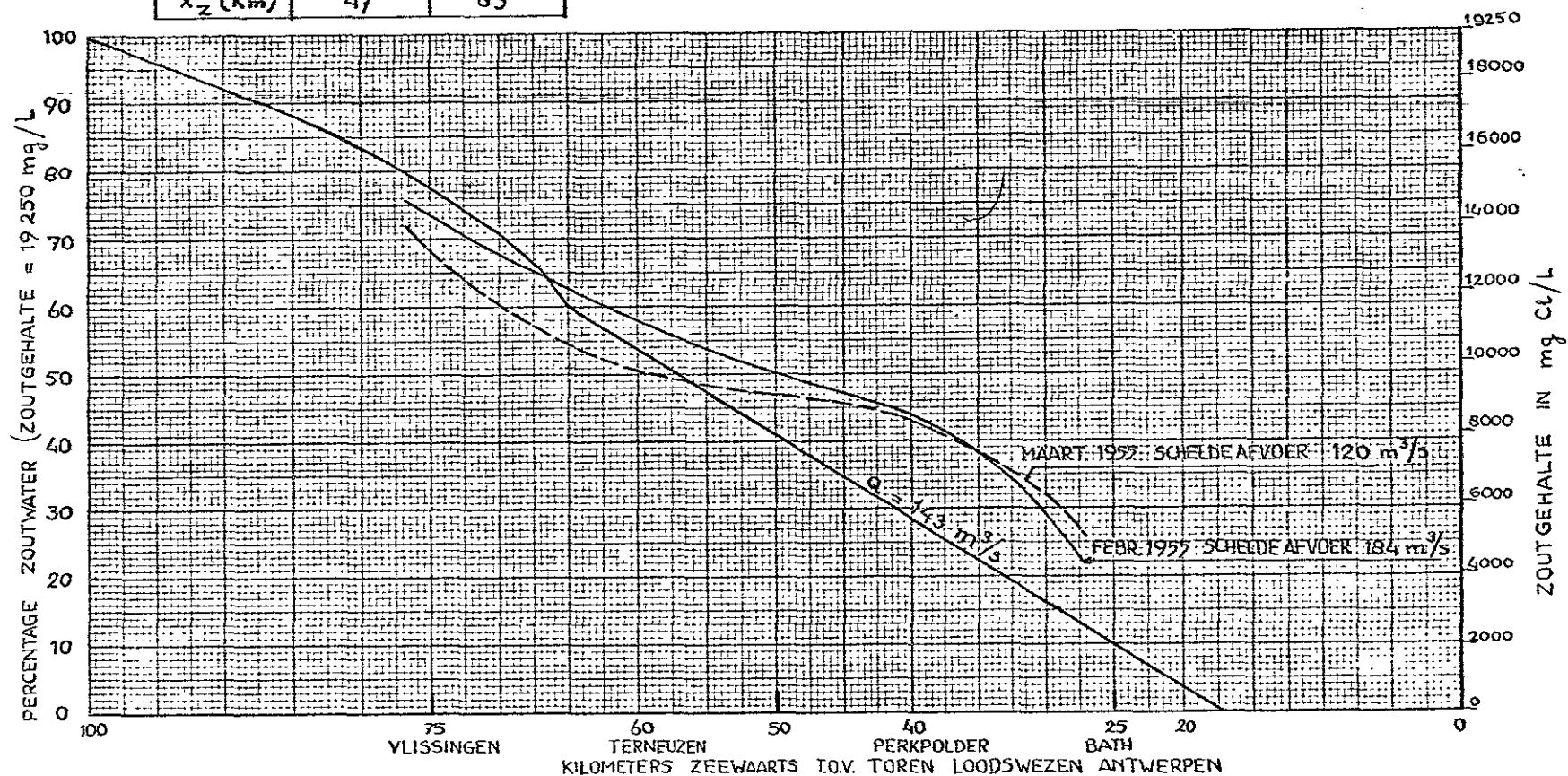
RECHTHOEKIGE COÖRDINATEN IN M. TOV. AMERSFOORT





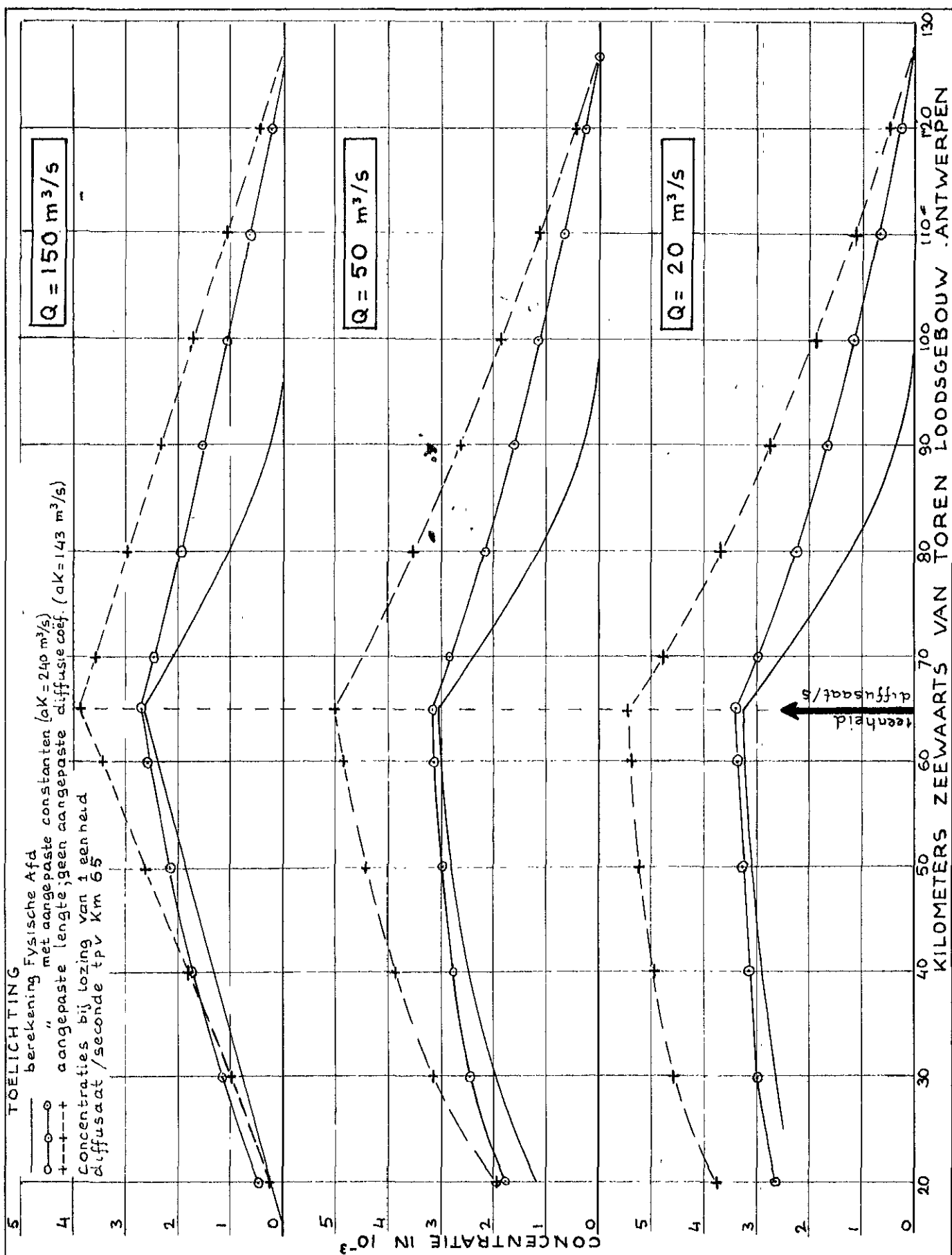
GET.	GEZ.	GEC.	AKK.	BEREKENDE EN GEMETEN ZOUTGEHALTEVERLOOP IN LENGTERICHTING VAN DE WESTERSCHELDE (MOND)	A3	75.199
25-275	PR	PR				

	t.o.v. Km 65	
	ZEEWAARTS	LANDWAARTS
$a \text{ (m}^2/\text{m}^3\text{)}$	4,25	1,43
$K \text{ (m}^2/\text{s})$	100	100
$x_z \text{ (Km)}$	47	83

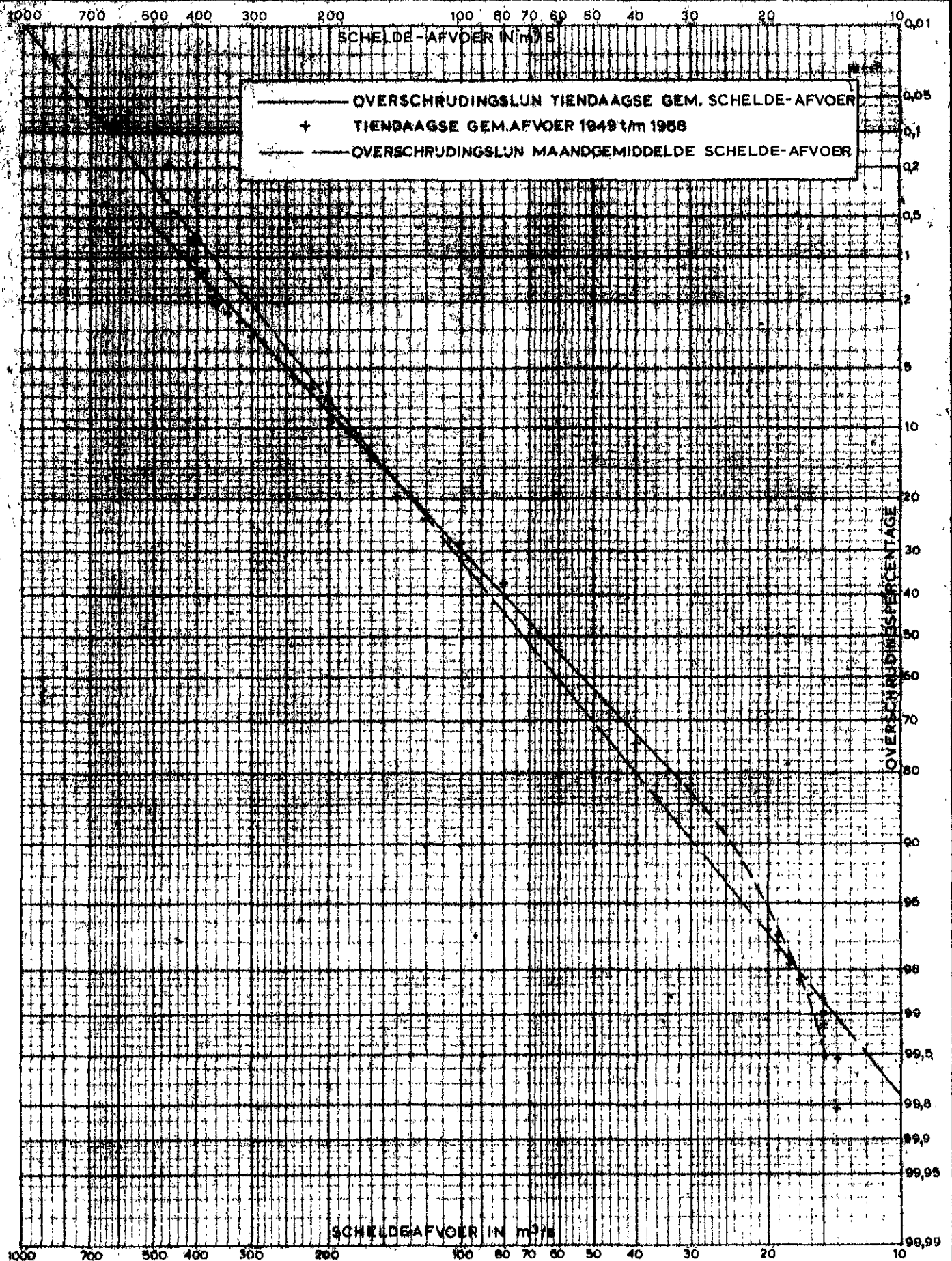


TOELICHTING :
DIFFUSIE CONSTANTEN EN PROFILEN OVEREENKOMSTIG FYSISCH AFD. 1

GET.	GEZ.	GEZ.	AKK.	VERGELIJKING LUNEN VAN GELIJKTJDIG ZOUTGEHALTE		
AK	PR			VOLGENS METINGEN EN VOLGENS ANALYTISCHE THEORIE	A1	75.200



GET.	GEZ.	GEC.	AKK.	INVLOED AANGEPASTE COEFFICIENTEN OP CONCENTRATIE VERDELING OVER DE WESTERSCHDELDE	
25-2-75 PR.	PR.			A1	75.201



DE AFVOEREN HEBBEN BETREKKING OP DE SCHELDE TE SCHELLE

DEBIETEN GROTER DAN $360 \text{ m}^3/\text{s}$ RESP. KLEINER DAN $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ZIJN INDIVIDUEEL BEHANDELD

DE AFVOERGEGEVENS ZIJN AFKOMSTIG VAN DE ANTW. ZEEDIENSTEN (3 GEGEVENS PER KALENDERMAAND)

GET.	GEZ.	GEC.	AKK.	SCHELDE EN ZURIVIEREN		
JULI '71 HN				OVERSCHRUDING TIENDAAGS EN MAANDGEMIDDELTE SCHELDE-AFVOER (1949 t/m 1958)		A1 75.202