

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee
adviesdienst vliissingen

notitie WWKZ-82.V201b

projectcode							
V	8	1	0	5	D	1	0

aan : Staf KZ
van : Ir. W.T. Bakker
datum : maart 1982
onderwerp :

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

Slibproblemen in en om de Westerschelde.

tweede concept van een toekomstige nota

Rel. No 857 / 1982

rijkswaterstaat

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: i

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG Middelburg

Deze notitie WWKZ-82.V201b, het tweede concept van een toekomstige nota, geeft de tekst van een lezing gegeven door ir. W.T. Bakker ten gehore van de uitgebreide Staf KZ d.d. 20 oktober 1981.

Het eerste concept werd uitgebreid met enige appendices.

De notitie is verzonden bij brief nr. d.d. maart 1982 aan de voorzitter en leden van Staf KZ.

Dezelfde lezing, iets uitgebreid, werd gegeven ten gehore van de Studiegroep Morfologie, Vakgroep Kustwaterbouwkunde van de Technische Hogeschool. Te zijner tijd zal deze uitbreiding tevens worden verwerkt in de definitieve nota, welke uit deze notitie zal resulteren.

Eerste concept (notitie WWKZ-82.V201a):

Verzonden bij brief nr. 512 d.d. 1 maart 1982 aan de heren ir. H.W. Brunsveld van Hulten en drs. P. Brolsma.

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 1

Slibproblemen in en om de Westerschelde.

Het slibonderzoek bij de Adviesdienst Vlissingen houdt rechtstreeks verband met de problematiek waar deze dienst over adviseert. Voor deze advisering heeft de ingenieur rivierhydraulica bij de Adviesdienst maar een klein deel van zijn tijd ter beschikking en U kunt U voorstellen, dat het onderzoek daarom helemaal beperkt moet zijn. Een belangrijk deel van wat ik U vandaag vertel is mede dankzij ondersteuning van TH zijde tot stand gekomen. Een groot deel "losse einden" is echter overgebleven en het lijkt mij zinnig om ook deze ten tcon te stellen. Immers, doel is niet te vertellen hoe goed de Adviesdienst Vlissingen is - dat weet U allen al - maar U een indruk te geven van de probleemcategoriën waar wij voor worden gesteld en met elkaar te bekijken, hoe wij die in de toekomst beter kunnen oplossen dan in het verleden

Naast het permanente gebrek aan personeelskapaciteit bij de Adviesdienst is tevens de politiek een belangrijk generator van losse einden. Een projekt dat vandaag morgen af moet en morgen inderdaad zodanig af is, dat de operationele gegevens boven tafel zijn is die dag plotseling in de politieke mist verdwenen en iedereen gaat schamper lachen en over Studiediensten die alsmaar studeren praten als je de resultaten netjes opschrijft in plaats van te werken aan het nieuwe politieke paradepaard, dat dan weer plotseling heel urgent is.

Zo zijn tussen 1973 en 1978 de Bochtafsnijding bij Bath en het Baalhoekkanaal sterk vervaagd in de politieke mist. Interessant ook om te volgen is het wel en wee van de Westerschelde Oeververbinding, waar wij alles hebben meegemaakt tussen groene lichten, oranje lichten en groene knipperlichten.

Randvoorwaarde bij Adviesdiensten als de onze is dat de belangrijkste opdrachten stootsgewijs op je tafel worden geduwd en dat een aantal ook plotseling weer van de tafel af worden geveegd, maar dat je op dat laatste met behoud van je verantwoordelijkheid niet veilig kunt gokken. De vruchten van de noeste arbeid zijn naast de werken in zand, klei en beton die wel uitgevoerd worden een hoeveelheid kennis over het gebied of over een bepaald mechanisme, die als Doornroosje een tijdlang in het stof mag inslapen, maar vroeg of laat meestal weer door de prins van een nieuw probleem wordt gewekt. Belangrijk is dat die kennis in de tussentijd dan niet verloren is geraakt en ik vertel U dit hele verhaal, omdat ik dat ook een punt van discussie vindt:

Ik vindt dat wij als District al dit soort "lieverdjes" (zoals "ik zou mijn kennis zo graag goed vastleggen maar ik kan het niet maken vanwege urgente problemen") boven tafel zouden moeten halen en kijken waar er door samenwerking een mouw aan is te passen en waar wij letterlijk moeten zeggen: "forget it".

- Maar -

Maar nu het verhaal over slib, U zult zich al wel hebben afgevraagd, waar het bleef. Ik wil praten over een tweetal slibproblemen:

- 1^o de Bochtafsnijding bij Bath en
- 2^o de aanslibbing van havens.

Tenslotte wil ik nog enkele recentelijk uitgewerkte gegevens tonen.

De Bochtafsnijding bij Bath.

sheet 1

Dit is de Bocht van Bath, dit is de bochtafsnijding en om die te handhaven werd hier¹ een geleidedam geprojecteerd; dit² is de bestaande, in 1968 - 1971, aangelegde dam over de Ballastplaten; hier³ is de dam aflopend en deze⁴ twee dammen zijn niet veel meer dan vastleggen van de plaatrand, teneinde dwarsgeulvorming met dwarsstromen te voorkomen. Dit gedeelte⁵ is een overlaat omdat de stromen door de bochtafsnijding te sterk zouden worden; immers, het water van het hele kombergingsgebied zou door de geul worden geperst.

Eén van de zaken die je dus wel wilt weten is: slibt dit Noordelijk bekken niet in de kortste keren dicht of zandt het snel aan, want dan houdt je het probleem.

Wij praten nu dus over de aanslibbing; over de aanzanding is een aparte studie gemaakt.

Allereerst wil je graag weten: wat is de slibbalans van het gehele gebied ?

In een aantal meetpunten hadden wij: oppervlakte monsters -5 à 10 per maand- en een aantal vertikaalmetingen. Deze werden zo goed en zo kwaad als het ging aan elkaar geknoopt, waaruit beelden ontstonden zoals deze bij Hansweert.

sheet 2

Wij zien, dat het slibgehalte nogal varieert met het seizoen, mede onder invloed van de rivierafvoer.

Uit dit soort analyses werd gevonden⁶, dat het gemiddelde slibgehalte bij Bath ca. 95 mg/l en bij Hansweert 35 mg/l bedroeg.

Daar de gemiddelde rivierafvoer ca. 85 m³/s is, zou men na enig vermenigvuldigen tot een afvoer bij Bath van 0,25 miljoen ton en bij Hansweert tot 0,1 miljoen ton per jaar kunnen komen.

¹) zie "A" op sheet 1. ²) zie "B" ³) zie "C"

- Echter -

⁴) zie "D" en "E" ⁵) zie "F" ⁶) zie [1] en [2]

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 3

Echter, hoge afvoeren hangen samen met hoge slibconcentraties. Bij benadering kan worden gesteld, dat het slibgehalte recht evenredig is met de rivierafvoer bij afvoeren kleiner dan 90 m³/s; bij hogere afvoeren neemt het slibgehalte echter niet verder toe.

sheet 3

Hier de afvoer van de Schelde; hier het slibgehalte, dit bij Bath, dit bij Hansweert; dit is een betrouwbaarheidsinterval van 1 standaardafwijking.

Wat kansrekening leidt dan tot de conclusie dat ten gevolge van deze correlatie de eerder genoemde transporten van 1/4 en 1/10 miljoen ton/jaar met een factor 1,44 vermenigvuldigd zouden moeten worden.

Er is echter nog geen rekening mee gehouden, dat de ebstroom gemiddeld meer slib kan bevatten dan de vloedstroom. Zowel bij Bath als bij Hansweert pendelt per getij gemiddeld ca. 12.800 ton slib heen en weer. Dit getal is gevonden door het gemiddeld slibgehalte met het gemiddeld getijdebiet te vermenigvuldigen. Stel echter, dat het slibgehalte gedurende de eb 1% méér dan gemiddeld is en gedurende de vloed 1% minder dan gemiddeld, dan heeft dit al een resulterend slibtransport van 0,18 miljoen ton/jaar tot gevolg. Hoe verloopt het slibgehalte per getij ?

sheet 4

Dit zijn wat waarnemingen van Bath: het slibgehalte is hoog bij L.W. en laag bij H.W. Op de fysische oorzaken komen wij dadelijk nog terug.

sheet 5

Om nu de invloed van de variatie op het transport te vinden gaan wij uit van deze bekende formuleringen. Wij willen weten:

- het -

het gemiddelde van $\overline{c'v'}$, en wij vinden dit als $\overline{c.v}$ plus $\overline{c'v'}$. Wat is nu $\overline{c'v'}$, ofwel $\overline{c'Q'}$, indien de totale doorsnede wordt bekeken?

sheet 6

Dit toont hetzelfde prentje maar nu genormeerd op gemiddeld slibgehalte. Hier ziet U dus, dat het slibgehalte wisselt tussen ca. 50% van het getijgemiddelde tot ca. 150% van het getijgemiddelde. Dit toont de variatie van het debiet over het getij, waarbij het rivierdebiet eraf getrokken is.

Deze figuur geeft concentratie maal debiet als functie van het getij. Getijgemiddeld ontstaat een hele kleine afwijking van nul. Die resulteert echter in een bijdrage $\overline{c'Q'}$, groot 0,4 miljoen ton/jaar. Dit geeft natuurlijk direct aanleiding tot de vraag: hoe nauwkeurig is dat nu? Hieromtrent zijn uitgebreide nauwkeurigheidsbeschouwingen uitgevoerd, leidend tot een transport in Bath van:

$0,75 \pm 1,2$ miljoen ton/jaar.

Op soortgelijke wijze werd voor de raai Perkpolder - Waarde gevonden:

$0,6 \pm 2$ miljoen ton/jaar

Deze resultaten zijn dus "alles inclusief", $\overline{c.v} + \overline{c'v'}$. Welk deel van dit transport komt nu in het Noordelijk Bekken terecht? Om dit te weten te komen is -met behulp van de TH- een één dimensionaal mathematisch model gemaakt²⁾ met als afhankelijke variabelen de horizontale snelheid u en de slibconcentratie c en als afhankelijke variabelen de verticale coördinaat z en de tijd t . In horizontale zin wordt uitgegaan van uniformiteit. Het model geeft dus snelheids- en slibconcentratiever-tikalen als functie van de tijd. Wij komen nog op de resultaten terug, maar eerst laat ik even zien, hoe het model wordt gebruikt.

sheet 7, 8 en 9

Dit geeft een aantal voorbeelden van de eb- en vloedwegen, die het water in de verschillende getijfasen in het Noordelijk Bekken doorloopt.

- Het -

¹⁾ c = concentratie; v = stroomsnelheid; overstreping = getij-gemiddelde; $'$ = afwijking van getijgemiddelde; Q = debiet.

²⁾ zie Appendix A, ontleend aan [3] en [4].

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 5

- . Het ééndimensionaal model is nu in een Lagrange-systeem meegevoerd met de over de vertikaal gemiddelde watersnelheid. In het mathematisch model is de invloed van de horizontale dichtheidsgradiënt op de snelheidsvertikaal opgenomen.

sheet 10

Ten gevolge van het verschil in dichtheid ontstaat een verschil in de hydrostatische drukverdeling, die een soort momentwerking op het water geeft: aan de bodem een stroom in landwaartse en aan het oppervlak en stroom in zeewaartse richting.

sheet 11

- . Dit geeft schematisch de resulterende stroomsnelheden per getij na aftrek van het rivierdebiet¹.

sheet 12

Dit toont voorbeelden van berekende snelheidsvertikalen.

sheet 13

Hier zijn deze snelheden nog eens uitgezet op semi-logaritmisch papier. Hoewel de werkelijke ribbelhoogte steeds gelijk is en de snelheidsvertikaal niet logaritmisch in deze benadering, is het bovenste deel van de snelheidsvertikaal wel door een logaritmische kromme -dus een rechte lijn op semi-logaritmisch papier- te benaderen. Het punt waar deze lijn de nul-as snijdt geeft een maat voor de (schijnbare) ribbelhoogte. Deze varieert dus over het getij.

sheet 14

Dit toont dan de variatie van die schijnbare ribbelhoogte over het getij, klein bij de vloed, groot bij de eb. Het verschil in eb- en vloedgedrag wordt veroorzaakt door de horizontale zoutgradiënt.

¹) Zie Appendix B, ontleend aan [5]

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 6

Volgens dit model zou de rivier zich bij vloed "gladder" moeten gedragen dan bij eb. Dit wordt door natuurmetingen bevestigd. Uit een groot aantal snelheidsvertikalen gemeten in de Westerschelde werd de Chezy-coëfficiënt bepaald [6].

sheet 15

Hierbij zijn deze uitgezet tegen de over de vertikaal gemiddelde snelheid. De tendens, dat de Chezy-coëfficiënt bij vloed groter is dan bij eb wordt door deze metingen bevestigd.

sheet 16, 17

Dit toont een voorbeeld van het concentratieverloop in de tijd indien men zich vanaf de overlaat met de ebweg mee beweegt door het Noordelijk Bekken¹). Dit is de tijd in uren, dit geeft de concentratie aan, die in de vertikaal wordt aangetroffen, 1 uur nadat het water over de overlaat is gestroomd. In het begin is de concentratie boven hoog en onder laag, later verdeelt het slib zich door diffusie en door vrij val over de vertikaal.

sheet 18

Dit is dezelfde figuur, maar op een grotere tijdschaal. Na de kentering nemen de snelheden en de diffusie weer toe, waardoor het materiaal zich gelijkmatiger over de vertikaal verdeelt.

- Daar -

¹) Hierbij is gemajoreerd: er is van uit gegaan dat het zoetere water vanuit de Schelde na de overlaat blijft "drijven" op het zoutere in het Noordelijk Bekken. Er is dus geen "duiken-de straal" aangenomen achter de overlaat. Dit geeft de langste verblijftijden van het slib in het bekken. Verder is de extra turbulentie in de scheidingslaag tussen het over de overlaat vloeiende water en het onderliggende water alleen in die zin in de beschouwingen betrokken, dat is aangenomen, dat de concentratie t.p.v. de overlaat geleidelijk afneemt vanaf de bovenlaag (ter hoogte van $\frac{1}{2}$ waterdiepte h) naar nul op de halve waterdiepte. De wijziging van de vorm van de snelheidsvertikaal onmiddellijk stroomafwaarts van de overlaat is niet in de beschouwingen betrokken. Met de huidige programmatuur [7], [8] zou een betere schematisatie mogelijk zijn.

Daar de snelheden in het bekken betrekkelijk gering zijn, wordt aangenomen, dat een slibdeeltje, dat eenmaal bij de bodem is aangekomen, daar als het ware aan vast blijft kleven en niet meer voor opwerveling in aanmerking komt.

sheet 19

Dit toont een voorbeeld van de bezonken hoeveelheid slib in de loop van de tijd, uitgedrukt in percentages van het aanwezig materiaal.

Toen wij een aantal van deze krommen berekend hadden, kwamen wij tot de conclusie, dat zij heel gemakkelijk door een negatief-exponentieel verloop konden worden benaderd met als nepereringstijd de tijd die een slibdeeltje nodig had van het oppervlak tot de bodem te vallen. Een heel simpel benaderend theoretisch model¹⁾ gaf hier ook de fysische achtergrond voor. En dit gaf een kortsluitende oplossing voor ons probleem.

Uit de theoretische studie kwam naar voren, dat de valsnelheid van het slib erg belangrijk was.

Wij hebben deze proberen te meten, door een watermonster bij Bath te nemen, dit met een Rijksflessenschudder 1e klas zo snel mogelijk naar ons laboratorium te laten vervoeren en het daar in een sedimentatiekolom te gooien.

sheet 20

Dit²⁾ was de eerste proefopstelling, dit³⁾ de tweede. Het monster werd in een cylinder geplaatst; in deze cylinder werd de weegschaal van een bovenweger gehangen. In de cylinder werd een binnencylinder met de afmetingen van de weegschaal geplaatst.

Omdat de temperatuur in het laboratorium anders was dan de buitentemperatuur kwamen er gassen uit het water vrij, zodat de schaal omhoog ging in plaats van omlaag.

Een tweede opstelling met een thermostaat⁴⁾ er om heen had betere resultaten tot gevolg.

sheet 21

- Hieruit -

¹⁾ Zie appendix C, ontleend aan [3] en [4].

²⁾, ³⁾ linker, respectievelijk rechterzijde van sheet 20.

⁴⁾ temperatuur: 21° C.

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 8

Hieruit was met wat fantasie een verdeling in fracties als volgt te gokken.

sheet 22

Door uit te gaan van een exponentiële afname van de hoeveelheid slib zoals beschreven volgt hieruit een gesedimenteerd deel van het slib als functie van de verblijfsduur.

sheet 23

Een diepte van 5 m in het Noordelijk Bekken kwam als het meest reëel naar voren; hiermee werd gerekend.

Voor het water dat het bekken binnenstroomde vanuit de zeezijde vindt met dat vanaf de L.W.-kentering per getij 845 t slib bezinkt. Totaal werd gevonden dat aldus 1,27 mln ton slib/jaar zou bezinken.

Hoe verhouden de hier gevonden valsnelheden zich nu ten opzichte van valsnelheden, gevonden door andere onderzoekers ?

Migniot [9] zette de valsnelheden van slibvlokken, respectievelijk in zeewater en in zoet water uit ten opzichte van de slibconcentratie.

sheet 24

In deze figuur is met een kruis de w_{50} , gevonden bij Bath weergegeven. Het punt ligt in de buurt van de "zee-water kromme".

Het Waterloopkundig Laboratorium [10] mat valsnelheden in het Chao Phya estuarium.

sheet 25

Ook in deze figuur is het punt "Bath" geplot en ook hier ligt het praktisch op de zoutwaterkromme. De dichtheid van het water te Bath is ongeveer: $\rho = 1,012$.

De valsnelheid wijkt nogal af van de waarden, gemeten door Owen [11] in het Thames estuarium, en die eveneens in deze figuur zijn aangegeven.

De aanslibbing van havens.

Ik wil nu overgaan naar het tweede probleem: slib in havens. Wij zijn wat dit betreft niet veel verder dan wat eerste gedachten en ik zal dus graag door U op het goede spoor worden gebracht.

Bij het voorspellen van het aanslibbingsgedrag van een nieuw aan te leggen of uit te breiden haven zal men geneigd zijn de aanslibbing af te leiden uit het gedrag van omliggende havens of uit het gedrag van dezelfde haven in het verleden.

De vraag hierbij rijst, onder welke omstandigheden havens in dit opzicht met elkaar vergeleken mogen worden, in zoverre, dat de uitwisselingsmechanismen gelijkwaardig zijn. Omtrent dit probleem zou ik met U willen praten.

Bij de uitwisseling tussen opgeloste of gesuspendeerde stoffen tussen een haven, grenzend aan een getijrivier en de betreffende getijrivier kunnen 3 componenten worden onderscheiden:

sheet 26

- a uitwisseling ten gevolge van komvulling en lediging;
- b uitwisseling ten gevolge van dichtheidsstromen;
- c uitwisseling ten gevolge van horizontale neervorming in de havenmond.

De aanslibbing in de haven wordt verder in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid scheepvaart. Zo slibt bijvoorbeeld de Buitenhaven in Hansweert met 24 cm/jaar aan, terwijl de veel minder bevaren Vluchthaven 50 cm/jaar aanslibbing vertoont. Hieruit blijkt, dat studie omtrent deze invloed eigenlijk noodzakelijk is, teneinde aanslibbing enigszins betrouwbaar te kunnen schatten. Dit is echter een zaak van wat langere termijn.

Evenmin wordt ingegaan op de uitwisseling ten gevolge van horizontale neervorming. Deze kan worden geminimaliseerd met behulp van modelonderzoek; verder bestaat de indruk, dat de horizontale neer in veel gevallen de minst belangrijke van de 3 uitwisselingscomponenten zal zijn.

De vraag is nu:

- 1 Bij welke dimensies van de haven overheerst de komvulling/ lediging en wanneer de dichtheidsstroming?
- 2 Welke grootheden spelen in het aanslibbingsproces een rol en hoe kunnen zij worden gegroepeerd?

- Hiertoe -

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 10

Hiertoe zijn de volgende aannamen gemaakt:

- a de waterstand in de haven volgt zonder vertraging de waterstand in de rivier;
- b in de haven zelf wordt een perfecte menging aangenomen tussen het instromende water en het reeds in de haven aanwezig zijnde water. Intern in de haven bestaan volgens deze aanname dus noch in horizontale, noch in vertikale zin concentratieverschillen.
Deze aanname is een vrij grove schematisatie van de werkelijkheid en vraagt een nadere toekomstige verfijning.
- c de bodem van de haven wordt horizontaal aangenomen, op dezelfde diepte gelegen als de drempel van de haveningang;
- d de waterdiepte in de haven wordt groot verondersteld ten opzichte van het getijverschil;
- e de dichtheidsstroom in de havenmond wordt geschematiseerd op de volgende wijze.

sheet 27

Het water aan het oppervlak tot de halve waterdiepte beweegt zich met een snelheid v in de richting van de zwaarste vloeistof (dus: hetzij rivier- hetzij havenwaarts) en het water aan de bodem met dezelfde snelheid in de richting van de lichtste vloeistof, waarbij de grootte van v is:

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{g\bar{h} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho}} \quad (1)$$

waarin

g = de versnelling van de zwaartekracht

$\bar{h}$ = de getijgemiddelde waterdiepte

$\Delta\rho$ = dichtheidsverschil tussen rivier- en havenwater

ρ = gemiddelde dichtheid van rivier- en havenwater

- f per eenheid van de tijd en oppervlak wordt door sedimentatie een hoeveelheid slib aan de haven onttrokken, gelijk aan de concentratie van het slib in de haven maal de valsnelheid van het slib. Deze aanname betekent waarschijnlijk een onderschatting ten opzichte van de werkelijkheid ten gevolge van aanname b: in feite zou "de" slibconcentratie in de haven door de bodemconcentratie van het slib moeten worden vervangen. Anderzijds wordt ook het circulatie-element in de dichtheidsstroming verwaarloosd: er zullen vertikale, vaak opwaarts gerichte snelheden in de haven noodzakelijk zijn teneinde de dichtheids-

- stroming -

stroming in de havenmond te voeden en deze kunnen van dezelfde orde van grootte als de valsnelheid van het slib zijn.

Gegeven deze aannamen, kun je leuk gaan rekenen. Een rekenmethode wordt dit uiteraard pas tegen de tijd, dat één en ander goed met behulp van metingen is gecontroleerd, en zover zijn wij nog niet.

De differentiaalvergelijking die het gehalte c_1 van opgelost diffusaat (bijvoorbeeld zout) in de haven (b)lijkt te regeren¹⁾ is:

$$\frac{dc_1}{dt} = a^* \Delta c^* \sin t^* + p^* \Delta c^* \sqrt{|\Delta c^*|} \quad (2)$$

De sterretjes geven aan dat de variabelen dimensieloos zijn: de tijd t is met de hoekfrequentie $2\pi/T$ van het getij vermenigvuldigd en de concentraties c zijn gedeeld door de getijgemiddelde concentratie $\bar{c}$ in de rivier. De grootte a^* is de amplitude a van het vertikaal getij, gedeeld door de waterdiepte h ; Δc is het (momentane) concentratieverschil van het diffusaat binnen en buiten de haven.

De eerste term aan de rechterzijde van (2) geeft de invloed van de komberging op de toename van de concentratie c_1 in de haven aan, de tweede de invloed van de dichtheidsstroom.

Daar $\Delta c^* \sin t^*$ en $\Delta c^* \sqrt{|\Delta c^*|}$ van dezelfde orde van grootte zijn, wordt het feit, of de concentratie in de haven voornamelijk van de komberging dan wel van de dichtheidsstroom afhankelijk is, bepaald door de verhouding tussen a^* ($= a/h$) enerzijds en p^* anderzijds; hierin is de dimensieloze grootte p^* in belangrijke mate bepaald door de verhouding tussen de doorsnede A van de havenmond en het oppervlak van de haven O^2):

$$p^* = \frac{\sqrt{\alpha}}{4} \cdot \frac{A}{O} \sqrt{\frac{gT^2}{4\pi h}} \quad (3)$$

Hierin is

g = de versnelling van de gravitatie

α = een evenredigheid coëfficiënt tussen het relatieve dichtheidsverschil en het relatieve concentratieverschil

- De -

¹⁾ De afleiding van vgl (2) wordt gegeven in [12].

²⁾ Men kan p^* dus als een soort "havenfactor" zien, waarin de relevante afmetingen van de haven dimensieloos zijn vastgelegd.

De grootheid van α is dus weer te geven met de formule:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \alpha \frac{\Delta c}{\bar{c}} \quad (4)$$

waarin $\Delta \rho / \rho$ het relatieve dichtheidsverschil tussen het water binnen en buiten de haven is¹⁾.

Voor wat betreft het slibgehalte in de haven kan een analoge vergelijking als (2) worden opgesteld; deze luidt:

$$\frac{dc_i^*}{dt^*} = a^* \Delta c^* \sin t^* + p^* c^* \sqrt{|\Delta c_z^*|} - \frac{c_i^*}{T_b^*} \quad (5)$$

In (5) stelt c dus de slibconcentratie voor in plaats van de zoutconcentratie; daarentegen is Δc_z^* in (5) het (momentane) relatieve verschil in zoutgehalte binnen en buiten de haven; dit moet dus eerst berekend worden uit vergelijking (2) alvorens vergelijking (5) kan worden toegepast.

Vergelijking (5) wijkt verder af van (2) door de laatste term, die is toegevoegd; hierin is T_b^* het aantal getijperioden, dat een slibgedeelte in stil water nodig heeft van 2π maal de watterdiepte te vallen:

$$T_b^* = 2\pi \bar{h} / wT \quad (6)$$

Hierin is w de stil-water valsnelheid van het slib.

In geval de komvulling/lediging gering is -dat wil zeggen $a^* \ll p^*$, zoals bijvoorbeeld voor havens zoals Kruiningen en Perkpolder het geval is- kan men (5) middelen over de getijperiode. Men vindt dan de formule:

$$\frac{O\bar{h}\bar{c}}{\bar{S}} = \frac{\bar{h}}{w} + \frac{T}{2\pi \sqrt{\beta^2 p_*^2 \bar{c}_{iz}^*}} \quad (7)$$

Hierin is $\bar{S}$ de getijgemiddelde aanslibbing over het gehele havenbassin in gewichtshoeveelheden per eenheid van tijd. Deze vergelijking is wat doorzichtiger te maken, door eerst even aan te nemen, dat p_* oneindig groot is, m.a.w. dat de uitwisseling oneindig groot is (zie (3)). Dan wordt (7) eenvoudig:

- $\bar{S}$ -

¹⁾ Voor zout als diffusaat is α gelijk aan $1,4 \cdot 10^{-6} \bar{c}$, waarbij $\bar{c}$ het gehalte Cl/l in mg/l in de rivier is [9].

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 13

$$\bar{S} = 0 \text{ w } \bar{c} \quad (8)$$

d.w.z. de getijgemiddelde aanslibbing is de valsnelheid maal de gemiddelde concentratie (die in dit geval "binnen" en "buiten" gelijk is) maal het oppervlak van het havenbassin.

De tweede term van (6) vermindert de aanslibbing, welke volgt uit (8); hoe kleiner p^* , d.w.z. de doorsnede van de haveningang, hoe kleiner $\bar{S}$. In deze tweede term komen nog de grootheden β en $\hat{c}_i^*$ voor. Hierin is:

$$\beta^2 = \text{een constante (= 0,58196)} \quad (9)$$

Verder is $\hat{c}_{iz}^*$ de amplitude van de getijvariatie van het relatieve¹⁾ zoutgehalte in de haven.

Hierbij is $\hat{c}_{iz}^*$ te vinden uit de verhouding tussen $\hat{c}_{iz}^*/\hat{c}_{ez}^*$, d.w.z. de amplitudeverhouding van de zoutgehaltevariatie over het getij binnen, respectievelijk buiten de haven. Deze laatste verhouding is een functie van $p^* \hat{c}_{ez}^*$ (waarin $\hat{c}_{ez}^*$ de relatieve¹⁾ amplitude van de zoutgehaltevariatie in de rivier is).

sheet 28

Hier ziet U de betreffende relatie weergegeven.

sheet 29

Hier ziet U een voorbeeld van berekende concentratievariatiën over het getij. Aangenomen is dat het tijdstip $t = 0$ het tijdstip van L.W. is.

Verder is een relatieve concentratie in de rivier c_i^* volgens deze lijn aangenomen. De volgende lijnen zijn berekend met behulp van simpele numerieke programma's (berekend op een calculator HP 29c).

Deze lijn²⁾ toont de concentratie c_i^* in de haven, als er geen dichtheidsstroom zou zijn. Ook is geen rekening met valsnelheden gehouden: men moet voor "c" dus aan de concentratie van een diffusaat

- denken -

¹⁾ "relatief": gedeeld door de getijgemiddelde concentratie $\bar{c}$ in de rivier

²⁾ " c_i^* , geen dichtheidsstroom"

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr: 14

denken. De vergelijking, die het geheel regeert is vgl (2) met $p_* = 0$, d.w.z., zolang de kom zich vult (vloed). Bij eb blijft de concentratie constant: het havenbassin leegt zich en uitwisseling is, zoals gezegd, niet aangenomen. In dit geval kan de gemiddelde concentratie in de haven aanmerkelijk hoger zijn dan daarbuiten.

Deze lijn¹⁾ toont de oplossing van vgl (2) voor het geval wel dichtheidsstroom aanwezig is; ook hierbij is "c" als concentratie van diffusaat (zout) gedacht.

Ziet men " c_i^* " als het verloop in de tijd van de slibconcentratie in de rivier dan geeft deze lijn²⁾ het verloop van de slibconcentratie in de haven³⁾, met in aanmerking van dichtheidsstroming en bezinking. Dit verloop van c_i^* vormt dus een oplossing van vgl (5).

Verkennde berekeningen [13] aangaande Zeeuwse havens lijken erop te wijzen, dat ook vgl (8) nog tot een aanzienlijke onderschatting van de aanslibbing aanleiding geeft. Waarschijnlijk is de oorzaak hiervan, dat de slibconcentratie in de onderlaag veel groter is dan $\bar{c}$; dit kan tevens gevolgen hebben voor de valsnelheid w van het slib, die toeneemt bij toenemende concentratie (sheet 24 en 25)⁴⁾.

¹⁾ " c_i inclusief dichtheidsstroom"

²⁾ " c_i inclusief dichtheidsstroom en bezinking"

³⁾ hierbij is aangenomen, dat het zoutgehalte in de rivier op dezelfde wijze in de tijd verliep als het slibgehalte (echter andere gevallen lenen zich ook voor berekening)

⁴⁾ Appendix D geeft beschouwingen over de invloed hiervan op de slib-concentratieverticaal.

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

APPENDIX A

Het één-dimensionale model van Schaart voor de berekening van zand- en slibconcentraties in getijstroom.

Door Schaart [3] werd onder begeleiding van Bakker een mathematisch model ontwikkeld voor de berekening van zand- en slibconcentraties en -transporten in getijstroom. Het onderstaande geeft een introductie tot dit model; voor verdere detaillering wordt verwezen naar [3] en [4].

Het één-dimensionale model heeft als afhankelijke variabelen de horizontale snelheid u en de (zand- of slib)concentratie c en als afhankelijke variabelen de verticale coördinaat z en de tijd t . Beschouwd wordt een coördinatenstelsel volgens een Lagrange systeem, d.w.z. dat dit zich mee beweegt met de over de verticaal gemiddelde watersnelheid.

Verder wordt aangenomen dat het water in horizontale zin (x -richting) een zoutgradiënt vertoont; de hieruit voortvloeiende dichtheidsgradiënt $\frac{d\rho}{dx}$ wordt invariabel in de tijd aangenomen.

Eerst worden de snelheidsverticalen berekend uitgaande van de bewegingsvergelijking:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \{ \rho g (h-z) \} + \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (A1)$$

waarin

- ρ = soortelijke massa
- g = versnelling van de zwaartekracht
- h = waterdiepte (constant in de tijd genomen; er bestaat echter wel een in de tijd variabel verhang $\frac{\partial h}{\partial x}$)
- z = verticale coördinaat, positief in opwaartse richting, de waarde ervan is nul ter hoogte van het hypothetische bodemniveau

Voor de turbulente schuifspanning τ in (A1) wordt, overeenkomstig Prandtl de volgende relatie aangenomen:

$$\tau = \rho l^2 \frac{\partial u}{\partial z} \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \quad (A2)$$

Hierin wordt voor de mengweg l aangenomen:

$$l = xz \sqrt{1 - \frac{z}{h}} \quad (A3)$$

Hierbij is x de constante van Von Karman.

- De -

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

De schuifspanning aan het oppervlak wordt steeds nul gesteld. Als randvoorwaarde aan de bodem wordt de schuifspanningssnelheid $\sqrt{\tau_b/\rho}$ opgelegd, bestaande uit een getijgemiddelde schuifspanningssnelheid en een eerste harmonische.

Het verloop van deze schuifspanningssnelheid in de tijd kan worden afgeleid uit het (gewenste) verloop van het getijverhang en de dichtheidsgradiënt; voor de wijze waarop dit gebeurt wordt verwezen naar [3] en [4].

Uit de hierboven genoemde randvoorwaarden en de vergelijkingen (A1), (A2) en (A3) vindt men het verloop van de watersnelheid u als functie van z en t (zie bijvoorbeeld sheet 12 en 13).

Vervolgens wordt slibconcentratie c als functie van z en t berekend met behulp van de vergelijking:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \frac{\partial c}{\partial z} + wc \right) \quad (A4)$$

hierin is

w = de valsnelheid van het sediment, positief in negatieve z -richting (als constante aangenomen)

Vergelijking (A4) is de continuïteitsvergelijking voor het sediment. Het gedeelte aan de rechterzijde tussen haakjes stelt het sedimenttransport in neerwaartse richting voor. De eerste term tussen haakjes geeft de turbulente uitwisseling aan, de tweede de vallende beweging van het materiaal. De turbulente uitwisselingscoëfficiënt ϵ is gelijk gekozen aan:

$$\epsilon = \lambda \cdot \sqrt{|\tau/\rho|} \quad (A5)$$

waarbij de lengte λ gegeven is in vgl (A3). Deze coëfficiënt ϵ is dus een functie van z en t .

Als randvoorwaarden worden gekozen:

1° geen transport van sediment door het oppervlak:

$$\epsilon \frac{\partial c}{\partial z} + wc = 0 \text{ voor } z = h \quad (A6)$$

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

2^o geen turbulente opwerveling aan de bodem:

$$\epsilon \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ voor } z = 0 \quad (A7)$$

Als beginvoorwaarde wordt de aanvangsconcentratie aangenomen, gegeven op sheet 16.

APPENDIX B

Het mathematisch model van Landman.

Door Landman [5] werd onder begeleiding van Bakker het mathematisch model van Schaart ([3], [4]) uitgebreid.

Aandacht werd besteed aan de verticale component van de circulatiestroming; tevens werd de bodemrandvoorwaarde subtieler gekozen, zodanig dat afhankelijk van de omstandigheden, zowel opwerveling als sedimentatie mogelijk is (zie [5], blz 55 t/m 58).

In dit appendix wordt met name ingegaan op de relaties die leiden tot sheet 11.

Uitgegaan wordt van een getijgemiddeld zoutgehalte dat in het estuarium volgens een error-functie verloopt (sheet 11). Dit leidt tot een horizontale zoutgradiënt $\frac{dp}{dx}$, gelijk aan:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\Delta\rho}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2} \quad (B1)$$

en een getijgemiddeld waterspiegelverhang $\frac{dh}{dx}$ volgens:

$$\frac{dh}{dx} = -\beta \frac{dp}{dx} \quad (B2)$$

hierin is

- ρ = soortelijke massa water
- x = horizontale coördinaat (positief in zeewaartse richting)
- $\Delta\rho$ = het dichtheidsverschil tussen het zeewater en het rivierwater (d.w.z. het dichtheidsverschil tussen de beide uiteinden van de brakwater-zône)
- σ = een constante (met de dimensie van een lengte) welke de lengte van de brakwaterzône bepaalt
- h = waterdiepte
- β = een constante¹⁾, waar nog nader op wordt teruggekomen. De dimensie van deze constante is [m⁴/kg].

- Vergelijking -

¹⁾ Uiteraard vertoont de " β " zoals gedefinieerd door Landman geen enkele relatie tot β , gedefinieerd in (9) (blz 13).

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

Vergelijking (A1) van Appendix A is nu gemiddeld over het getij, waarbij de eerste term verdwijnt. In de rest van dit appendix uitgaande van getijgemiddelden wordt dan uit (A1) gevonden, na integratie over z (N.B.: de oppervlakte-schuifspanning is nul,):

$$\tau = -\frac{1}{2} g (h-z)^2 \frac{d\rho}{dx} - \rho g (h-z) \frac{dh}{dx} \quad (B3)$$

Substitutie van (B1) en (B2) leidt tot:

$$\tau = -g (h-z) \frac{\Delta\rho}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{1}{2}(h-z) - \rho\beta \right\} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2} \quad (B4)$$

Nu is τ te splitsen in een functie van x en van z :

$$|\tau| = \rho \cdot f_1^2(z) \cdot f_2^2(x) \quad (B5)$$

waarin

$$f_1^2(z) = \left| -g (h-z) \left\{ \frac{1}{2}(h-z) - \rho\beta \right\} \right| \quad (B6)$$

en

$$f_2^2(x) = \frac{\Delta\rho/\rho}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2} \quad (B7)$$

Uit (A2) volgt:

$$u = \int_{z=0}^{z=z} \frac{1}{\ell} \cdot \sqrt{\tau/\rho} \, dz \quad (B8)$$

Hierbij volgt ℓ uit (A3).

Substitutie van (B5) in (B8) levert:

$$u = \left\{ \int_{z=0}^{z=z} \frac{1}{\ell} f_1^2(z) \, dz \right\} \cdot f_2^2(x) \quad (B9)$$

- Hierbij -

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

Hierbij volgen $f_1(z)$ en $f_2(z)$ uit (B6) en (B7). Men vindt dus overal langs de rivier dezelfde vorm van getijgemiddelde snelheidsverticaal, alleen de "schaal" ervan varieert in x-richting. Dit, ervan uitgaande, dat een oplossing van de soort, bepaald door (B1) en (B2) mogelijk is. Middelt men (B9) over de verticaal, dan ziet men, dat dit uit continuïteitsoverwegingen alleen het geval is, als de resulterende stroom te verwaarlozen is ten opzichte van de circulatiestroom. Immers: de over de verticaal en over het getijgemiddelde stroom moet constant zijn en niet een constante maal $f_2(x)$ zoals in (B9).

De factor β in (B6) is nu zodanig bepaald, dat de over de verticaal gemiddelde waarde van u nul was. Het resultaat van een dergelijke (numerieke) berekening staat aangegeven in sheet 11. De grootte van β hangt o.a. af van de Nikuradse ruwheid.

APPENDIX C

Een globale analytische berekeningsmethode van het aanslibbingsmechanisme.

Globaal kan het valmechanisme op de volgende wijze worden geschematiseerd.

Het met slib beladen water, dat over de overlaat stroomt verdeelt zich in een eerste periode vrij regelmatig over de verticaal.

Stel, dat op een zeker moment (stel $t = 0$) het sediment zich gelijkmatig over de verticaal heeft verdeeld, zonder dat verlies aan de bodem is opgetreden, dan wordt daarna aan de bodem het over de verticaal gemiddelde sedimentgehalte $\bar{c}$ aangetroffen, waarbij de totale hoeveelheid materiaal per eenheid van bodemoppervlak gelijk is aan ch . Per tijdseenheid wordt aan de rivier onttrokken een hoeveelheid $w\bar{c}$. De continuïteitsvergelijking levert dus:

$$h \frac{d\bar{c}}{dt} + w \bar{c} = 0 \quad (C1)$$

met als randvoorwaarde:

$$\bar{c} = \bar{c}_0 \text{ voor } t = 0 \quad (C2)$$

Dit levert als oplossing:

$$\bar{c} = \bar{c}_0 e^{-t/(h/w)} \quad (C3)$$

Hierin is de tijd h/w (d.w.z. de tijd die een korrel nodig heeft om in stil water een afstand, gelijk aan de waterdiepte te vallen) een "nepereringstijd" d.w.z. de tijd, nodig om de gemiddelde concentratie $\bar{c}$ een factor e te doen dalen.

De hier gegeven berekeningsmethode kan worden verijnd. Zo kan men aannemen, dat de bodemconcentratie steeds een factor α groter is dan de gemiddelde concentratie. Duidelijk is (uit (C1))¹⁾, dat dan de nepereringstijd door α moet worden gedeeld.

- Verder -

¹⁾ Lees in dit geval " αw " i.p.v. " w " in (C1) en (C3).

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

- Verder kan worden nagegaan, aan welke eisen een concentratieverticaal moet voldoen om "vormvast" te zijn, m.a.w. zodanig, dat de concentraties in de tijd over de gehele hoogte met dezelfde (tijdsafhankelijke) factor afnemen. Een studie hiernaar werd verricht in [14]. In de in de lezing aangehaalde studie is dit soort verfijningen (nog) niet aangebracht.

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

APPENDIX D

De stabiele slibconcentratieverticaal.

Volgens figuur 9 van [10] zou uit metingen van het Waterloopkundig Laboratorium, verricht in het Chao Phya estuarium een evenredigheid tussen de valsnelheid w van slib en de concentraties kunnen worden afgeleid als volgt:

$$w = A \cdot c \quad (c < 10^{-2}) \quad (D1)$$

Kiest men als eenheid voor c de slibfractie in het water (d.w.z. 10^6 p.p.m.) en drukt men de valsnelheid uit in m/s, dan is -bij een soortelijke dichtheid van (brak) water van 1010 à 1020 kg/m^3 en bij de in het betreffende estuarium heersende temperatuur- de grootte A van de orde van grootte:

$$A \approx 0,13 \text{ à } 0,18 \text{ m/s} \quad (D2)$$

Bij een stabiele concentratieverticaal en een in horizontale zin uniforme, eenparige horizontaal gerichte stroming met een logaritmische snelheidsverticaal bestaat evenwicht tussen de verticale diffusie en de valsnelheid w :

$$w c + \epsilon \frac{dc}{dz} = 0 \quad (D3)$$

Uitgaande van de analogie van de uitwisseling van impuls en van slib vindt men voor ϵ (zie (A3) en (A5)):

$$\epsilon = xz \sqrt{1 - \frac{z}{h}} : \sqrt{\tau/\rho l} \quad (D4)$$

Hierbij is de mengweglengte l volgens de Prandtl-hypothese gelijk gekozen aan:

$$l = xz \sqrt{1 - \frac{z}{h}} \quad (D5)$$

waarbij x de constant van Von Karman en h de waterdiepte is.

Hierbij is τ te schrijven als:

$$\tau = (1 - \frac{z}{h}) \tau_b$$

- ofwel -

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

ofwel

$$\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \frac{u_b^*}{\sqrt{1-(z/h)}} \quad (D6)$$

Hierin is u_b^* de schuifspanningssnelheid aan de bodem.

Substitutie van (D1), (D4) en (D6) in (D3) levert:

$$Ac^2 + x z u_b^* \frac{dc}{dz} = 0$$

$$-\frac{dc}{c^2} = \frac{A}{x u_b^*} \frac{dz}{z}$$

$$\frac{1}{c} = \frac{A}{x u_b^*} \ln z + \text{constante} \quad (D7)$$

ofwel (na invullen van de adequate integratie constante):

$$\frac{c}{c_b} = \frac{1}{1 + \frac{Ac_b}{x u_b^*} \ln \frac{z}{z_b}} \quad (D8)$$

(voor $c_b < 10^{-2}$; $c < c_b$)

Hierin is c_b de (bodem-)concentratie op de hoogte z_b en Ac_b de valsnelheid w_b ter plaatse, volgens (D1).

In figuur D1 is $(z/z_b)^{w_b/xu^*}$ op logaritmische schaal uitgezet tegen c/c_b . Bij de aangegeven waarden ($c_b < 10^{-2}$) is w_b volgens (D1) en (D2) maximaal 1,8 mm/s en w/xu^* dientengevolge van de orde van grootte 0,1. Aan de rechterzijde van de verticale as is de verhouding z/z_b weergegeven voor het geval $w/xu^* = 0,1$ is.

Uit figuur D1 blijkt dus, dat ook als men de valsnelheid afhankelijk van de concentratie kiest een vrij "vlakke" concentratieverticaal ontstaat, zolang men zich op de "opgaande tak" van de kromme van sheet 24 bevindt.

- De -

behoort bij:

nr.

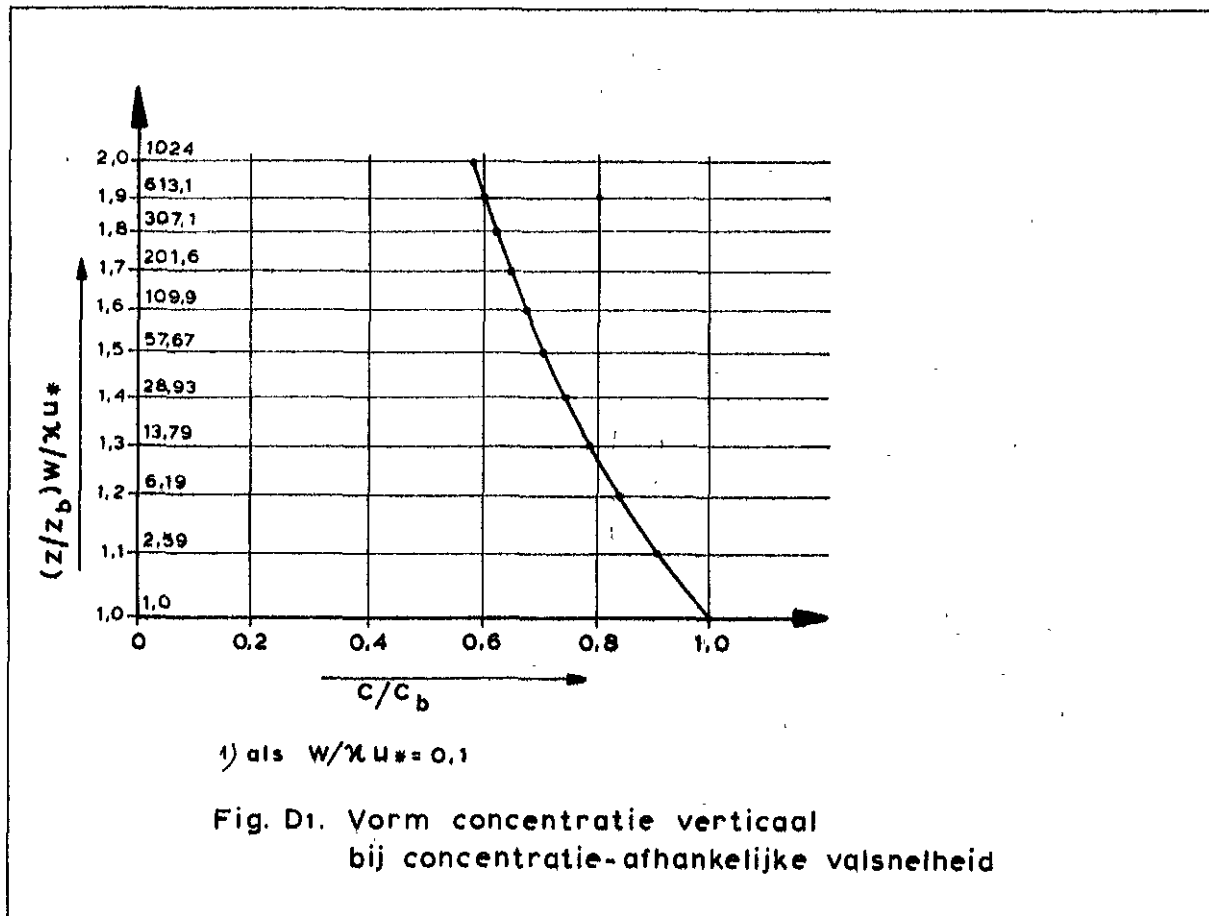
datum:

bladnr:

De hierboven genoemde redenering zou kunnen worden uitgebreid, door in plaats van (D1) uit te gaan van de vergelijking:

$$w = A' \cdot c e^{-Bc} \quad (D1')$$

Dit geeft een benadering voor de gehele kromme, gegeven op sheet 24. De tijd heeft echter tot nu toe ontbroken, de snelheidsverticaal te berekenen, die daarmee ontstaat.



Literatuuropgave

- [1] Ir. W.T. Bakker.
Het huidige slibgehalte en slibtransport in het oostelijk deel van de Westerschelde. Tweede bericht.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Studiedienst Vlissingen, Memo 75.10.
- [2] Ir. E.P. Kooiker.
Het slibgehalte in het oostelijk deel der Westerschelde. Eerste bericht.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Studiedienst Vlissingen, Memo 75.8.
- [3] J. Schaart.
Instationaire zand- en slibtransportberekening in het Noordelijk Bekken van de Westerschelde.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeeronderzoek (juni 1976).
- [4] Ir. W.T. Bakker en J. Schaart.
Berekening van zand- en slibconcentraties in getijstroom.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Studiedienst Vlissingen. Memo Vl. 76.2 (februari 1976).
- [5] A. Landman.
Omleiding rivier de Eems in het Eems/Dollard estuarium en veranderingen in het instationaire slibtransport.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeeronderzoek (oktober 1979).
- [6] P.R. Beijl.
Bepaling van de nauwkeurigheid van zandtransportberekeningen met de methode Bijker-Einstein in de Westerschelde.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeeronderzoek.

- [7] S. Boer.
Numeriek model voor de berekening van snelheidsverticalen in gebaggerde sleuven.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeeronderzoek (augustus 1979).
- [8] J.T.M. v.d. Sande.
Een berekeningsmethode voor de bepaling van het suspensie-transport en de sedimentatie in een gebaggerde sleuf.
Technische Hogeschool, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, Afstudeeronderzoek (nog niet gepubliceerd; een vooronderzoek van de betreffende studie werd vastgelegd in notitie TH-KW-81.1).
- [9] C. Migniot.
Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques.
La Houille Blanche, 23, no. 7 (1968).
- [10] Ir. P.G.J. Davis, dr. W. Salomons, ir. W.D. Eijsink en ir. J.H. de Reus.
Vooronderzoek betreffende flocculatie, sedimentatie, consolidatie en erosie.
Verslag literatuuronderzoek.
Waterloopkundig Laboratorium, R 988 (november 1976).
- [11] M.W. Owen.
The effect of turbulence on the settling velocities of silt flocs.
Proc. 14 th Congress of I.A.H.R., Paris, 1971.
- [12] Ir. W.T. Bakker.
Uitwisseling van opgeloste of gesuspendeerde stof tussen een haven en een getijrivier.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Adviesdienst Vlissingen (in voorbereiding).

behoort bij.

nr.

datum:

bladnr:

- [13] Ing. D.C. van Maldegem.
Aanslibbing bouwdok Westerschelde Oever Verbinding.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Adviesdienst Vlissingen, Nota WWKZ-82.V004.
- [14] Ir. W.T. Bakker.
Analytische berekeningen omtrent de aanzanding van tunnelsleuven.
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Adviesdienst Vlissingen (in voorbereiding).
- [15] Werkgroep Technische Schelde Commissie.
Aanzanding en aanslibbing Noordelijk Bekken na realisatie Bochtafsnijding bij Bath.
Tweede overzicht der werkzaamheden.
Gedocumenteerd als: .
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Studiedienst Vlissingen, nota 76.2.

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

Lijst van sheets

sheet nr.	omschrijving	over- genomen uit ¹⁾	Adviesdienst Vlissingen tek. nr.
1	Situatieplan eindsituatie Bochtafsnijding en Noordelijk Bekken.	[15]	-
2	Uit oppervlaktebemonsteringen geschatte slibgehalten (gemiddeld over de maand en over de verticaal) nabij boei 49 (Hansweert).	[1]	A1-75.548
3	Westerschelde. Correlatie tussen de Scheldeafvoer te Schelle en het slibgehalte bij boei 76 en boei 49.	[1]	A1-75.550b
4	Vaarwater boven Bath mp 3 boei 76. Gemiddeld slibgehalte in de verticaal.	[1]	A2-75.551
5	$S = \overline{Qc}$ e.a. formules	-	-
6	Vaarwater boven Bath boei 76. Genormeerde slibgehalten $c'/\bar{c}$, getijdebiet Q' en $Q' \times c'/\bar{c}$	[1]	A1-75.554
7,8,9	Eb- en vloedwegen in het Noordelijk Bekken.	[4]	A2-76.70 A2-76.71 A2-76.68
10	Drukverloop op een waterkolom bij aanwezigheid van een dichtheidsgradiënt in langsrichting van de rivier.	-	-
11	Getijgemiddelde verticale circulatie in een getijrivier met dichtheidsverschillen.	[5]	-
12	Snelheidsverticalen in een getijrivier met een dichtheidsgradiënt.	[4]	A1-76.77

- vervolg -

¹⁾

sommige sheets zijn nog enigszins bewerkt, uitgaand van basisprenten uit de aangegeven literatuur

behoort bij:

nr.

datum:

bladnr:

vervolg_lijst_van_sheets:

sheet nr.	omschrijving	over- genomen uit	Adviesdienst Vlissingen tek. nr.
13	Idem, logaritmisch uitgezet.	[4]	A1-76.78
14	Schijnbare ribbelhoogte als functie van de tijd.	[4]	A2-76.79
15	Chezy-coëfficiënt in de Westerschelde bij eb en vloed.	[6]	
16	Aangenomen stroming en aanvangsconcentratie bij de overlaat te Bath.	[4]	
17,18	Verloop van de slibconcentratie in de tijd.	[4]	A1-76.81 A1-76.116
19	Percentage gesedimenteerd materiaal als functie van de tijd.	[4]	A1-76.117
20	Proefopstellingen van een bezinkcilinder, ten behoeve van het meten van de valsnelheden van slib.	-	-
21	Percentage gesedimenteerd materiaal in een bezinkcilinder (watermonster getrokken bij Bath).	-	-
22	Valsnelheden in $\mu\text{m/s}$ (watermonster getrokken bij Bath).	-	-
23	Gesedimenteerde fractie materiaal als functie van de verblijfsduur van het water in het Noordelijk Bekken.	[1]	-
24	Het verband tussen de concentratie en de valsnelheid van vlokken.	[9] ¹⁾	-

- vervolg -

¹⁾

overgenomen in [5] en daaraan ontleend

behoort bij:

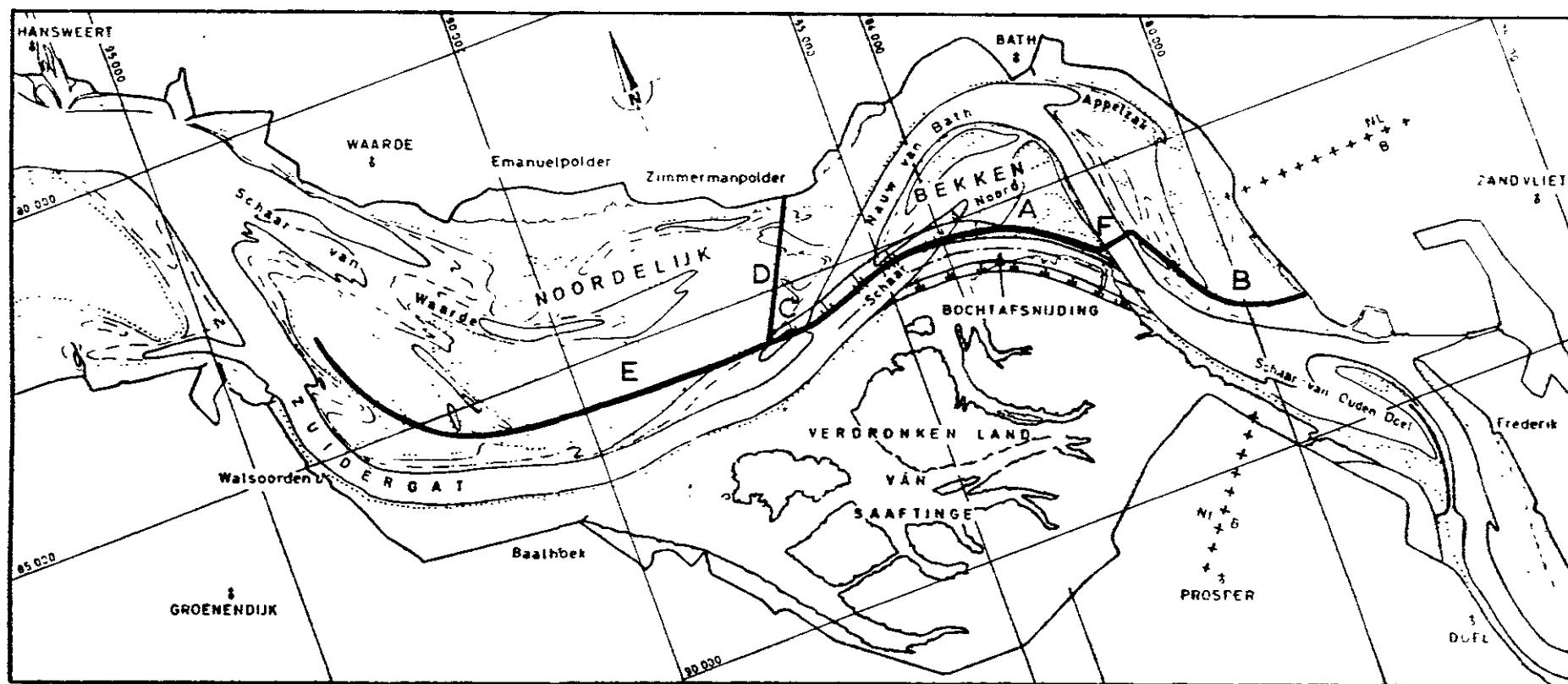
nr.

datum:

blader:

vervolg lijst van sheets:

sheet nr.	omschrijving	over- genomen uit	Adviesdienst Vlissingen tek. nr.
25	In de natuur gemeten valsnelheden.	[10]	-
26	Componenten die de uitwisseling in havens bepalen.	-	-
27	Schematisatie uitwisselingsproces (dichtheidsstroom).	-	-
28	De verhouding $\hat{c}_z / \hat{c}_{ez}$ (amplitude zoutgehalte variatie binnenconcentratie/buitenconcentratie) als functie van $p^2 \hat{c}_{ez}^*$ (havenfactor ² maal amplitude buitenconcentratie/getijgemiddelde buitenconcentratie).	-	-
29	Concentratieverloop in haven en rivier als gevolg van verschillende in rekening gebrachte mechanismen.	-	-



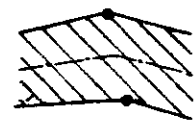
DIEPTELIJNEN

.....	0
————	2
-----	5
————	8m onder G.L.L.W.S

RECHTHOEKIGE COORDINATEN TOV AMERSFOORT
PEILINGEN 1970 - 1971

0 1 2 km

TOELICHTING :



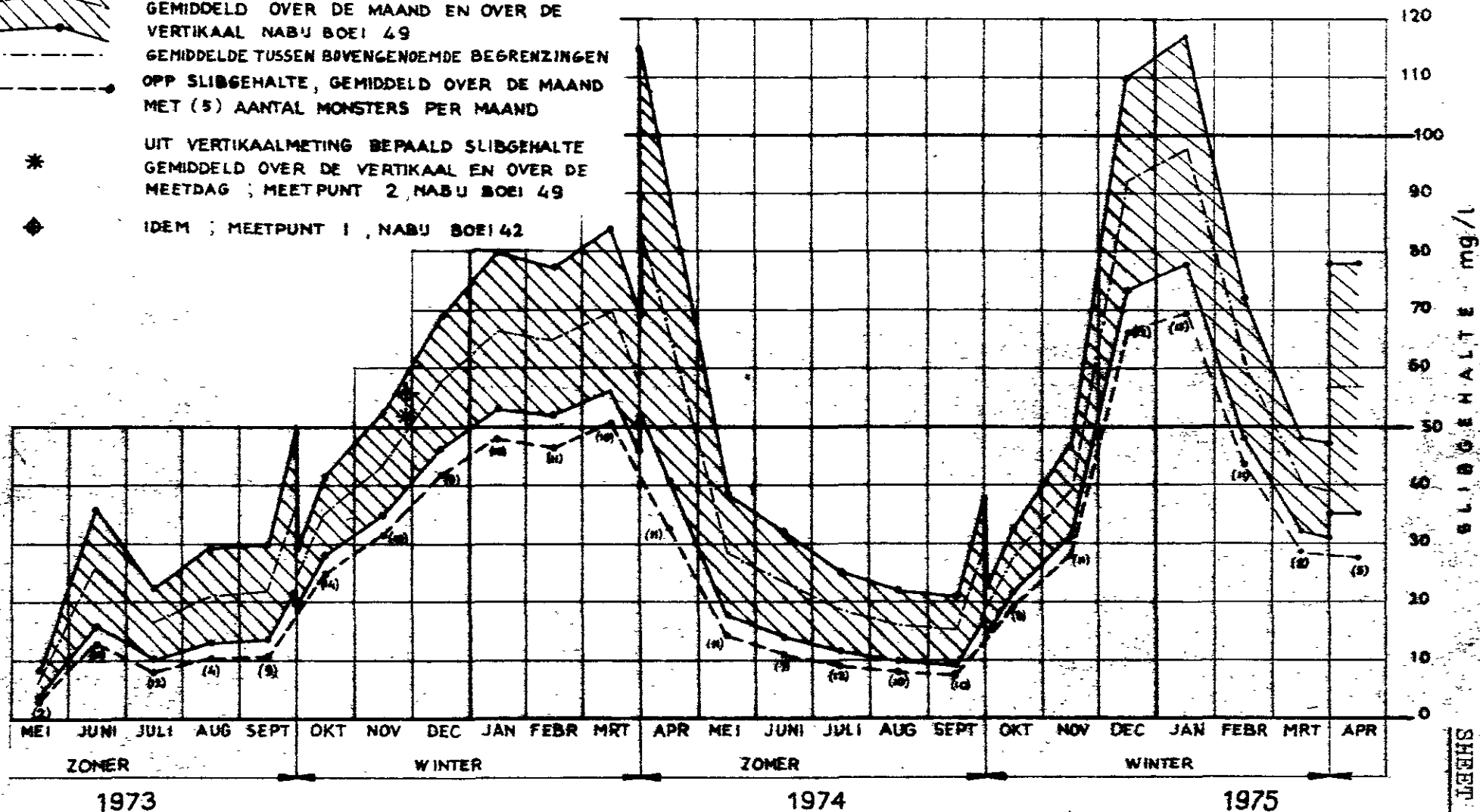
GESCHATTE BEGRENZINGEN VAN DE SLIBGEHALTEN,
GEMIDDELD OVER DE MAAND EN OVER DE
VERTIKAAL NABU BOEI 49

GEMIDDELTE TUSSEN BOVENGENOEMDE BEGRENZINGEN

OPP SLIBGEHALTE, GEMIDDELD OVER DE MAAND
MET (5) AANTAL MONSTERS PER MAAND

UIT VERTIKAALMETING BEPAALD SLIBGEHALTE
GEMIDDELD OVER DE VERTIKAAL EN OVER DE
MEETDAG ; MEETPUNT 2, NABU BOEI 49

IDEM ; MEETPUNT 1, NABU BOEI 42



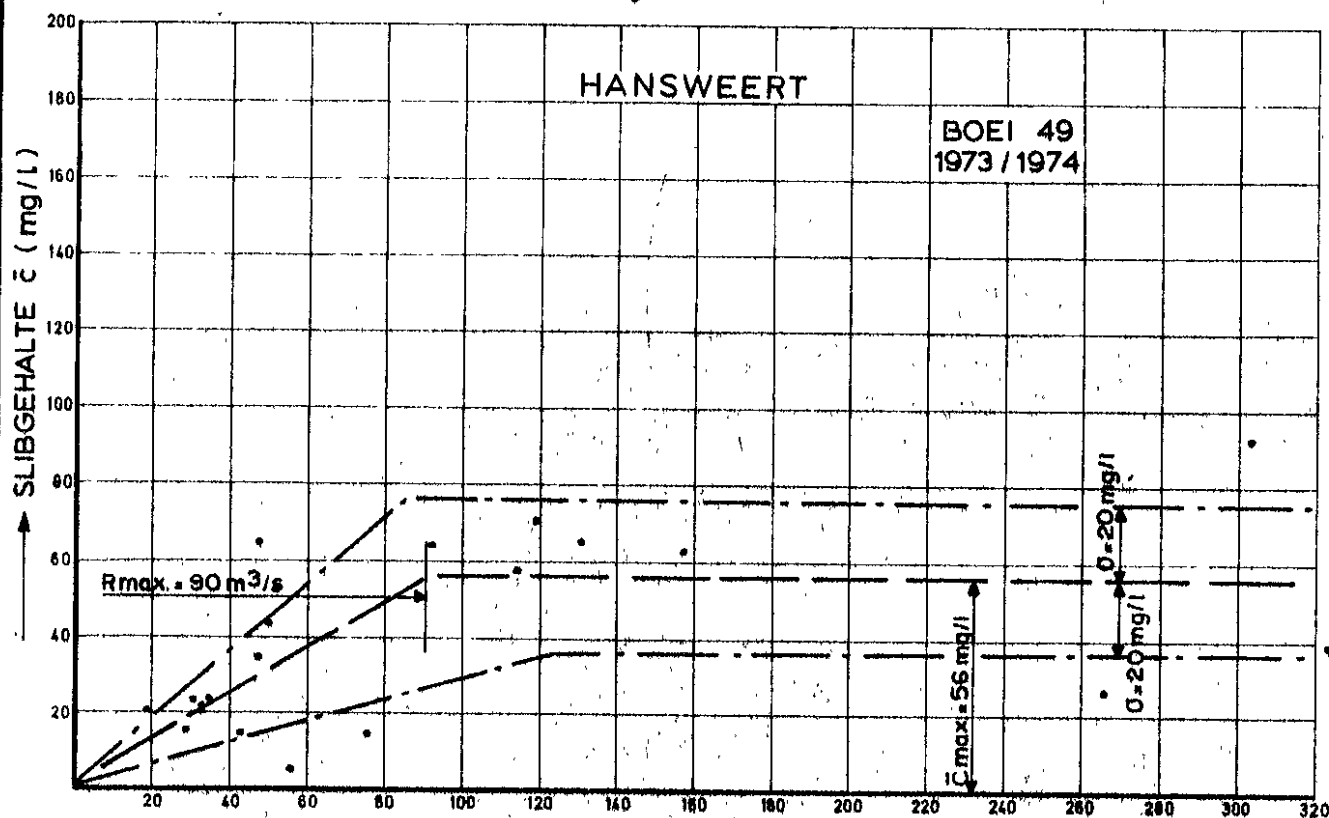
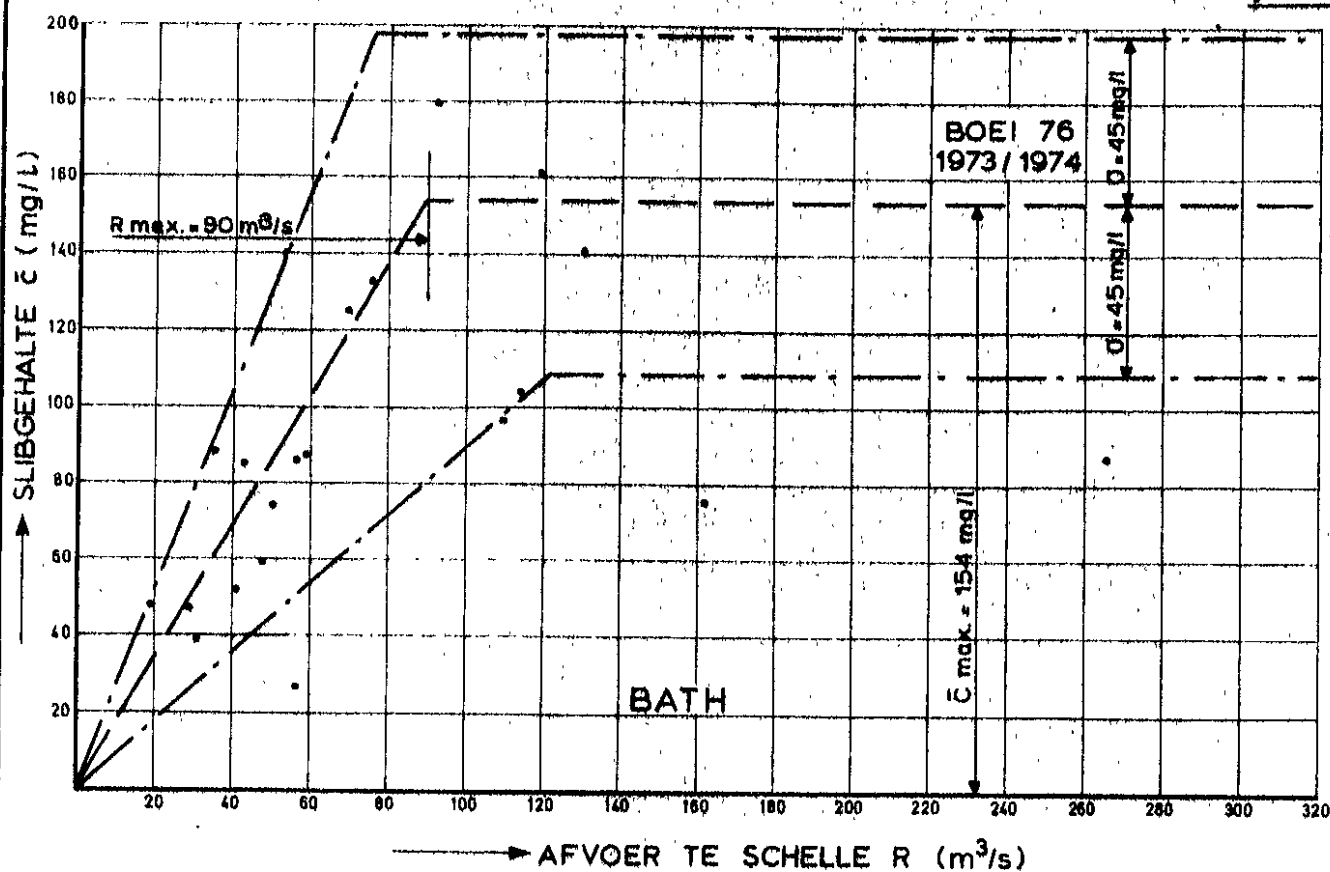
1/gm 3.174 H 3.081 3

SHEET 2

GET.	GEZ.	GEC.	AKK.
MEI 1975 K	PR	PR	WHS

UIT OPP BEMONSTERINGEN GESCHATTE
SLIBGEHALTEN (GEMIDDELD OVER DE
MAAND EN OVER DE VERTIKAAL),
NABU BOEI 49 (HANSWEERT)

A1 75.548



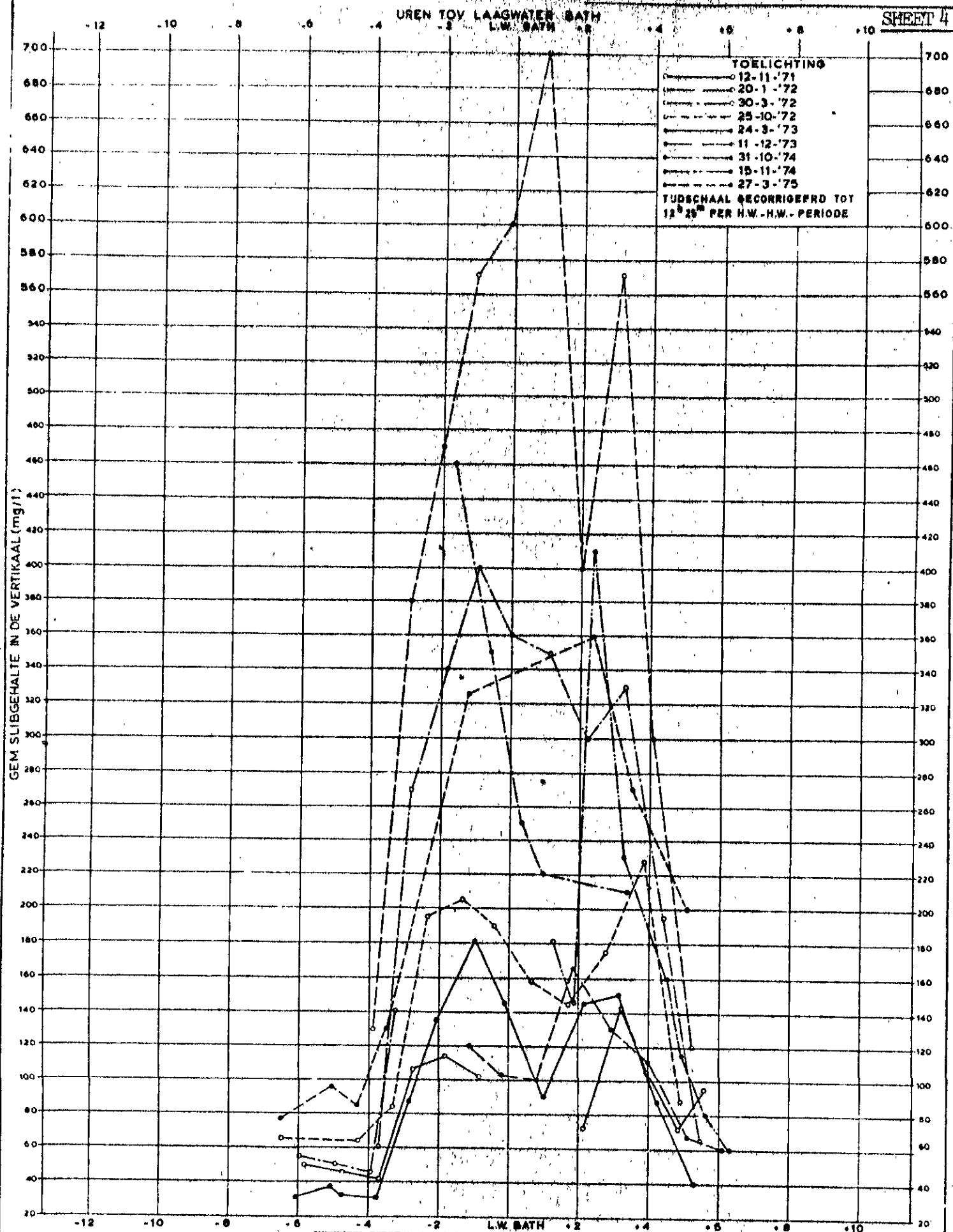
TOELICHTING

— AFVOER TE SCHELLE R (m^3/s)

— AANGENOMEN VERBAND

- - - BOVENGRENS EN ONDERGRENS (MARGE = 1 STANDAARDAFWUKING)

GET.	GEZ.	GEC.	AKK.	WESTERSCHELDE	
				CORRELATIE TUSSEN DE SCHELDEAFVOER TE	
				SCHELLE EN HET SLIBGEHALTE BIJ BOEI 76	
				EN BOEI 49	
MEI 1975	E.	P.R.	M.B.	A1	75.550 ^b



GET	GEZ	GEC	AKK
JAN 1975 A.S.B.	E	E	MD

VAARWATER BOVEN BATH MP3 BOEI 76
GEM. SLIBGEHALTEN IN DE VERTIKAAL
WINTERSEIZOEN

A 2 75.551

$$\begin{aligned}
 S &= \overline{Q c} \\
 &= \overline{Q} \cdot \bar{c} + \overline{Q' c'} \\
 &= \bar{c} \left(\overline{Q} + \frac{\overline{Q' c'}}{\bar{c}} \right)
 \end{aligned}$$

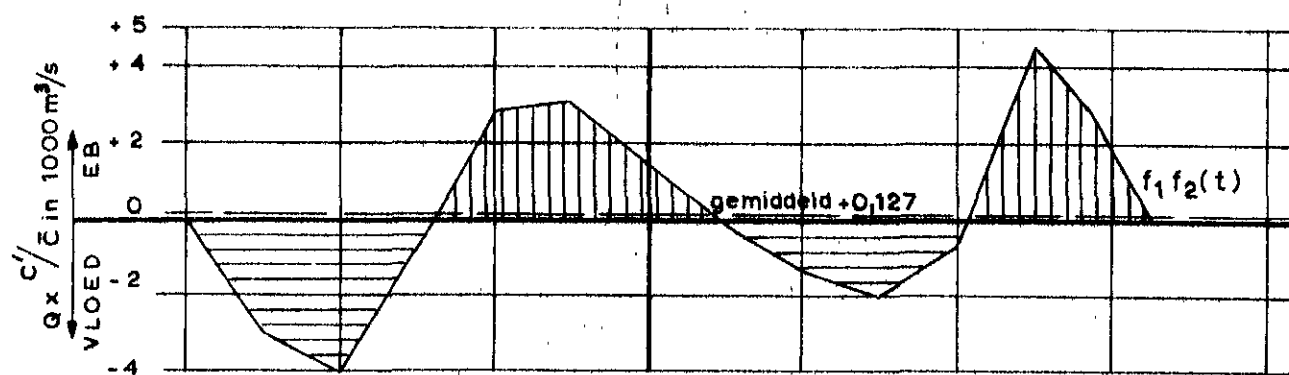
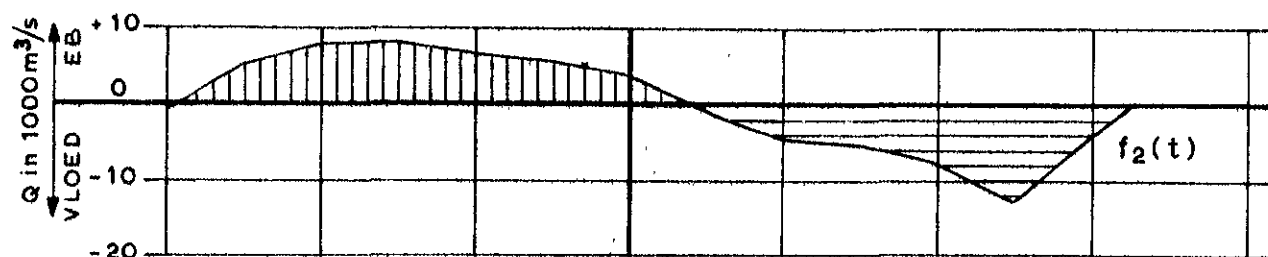
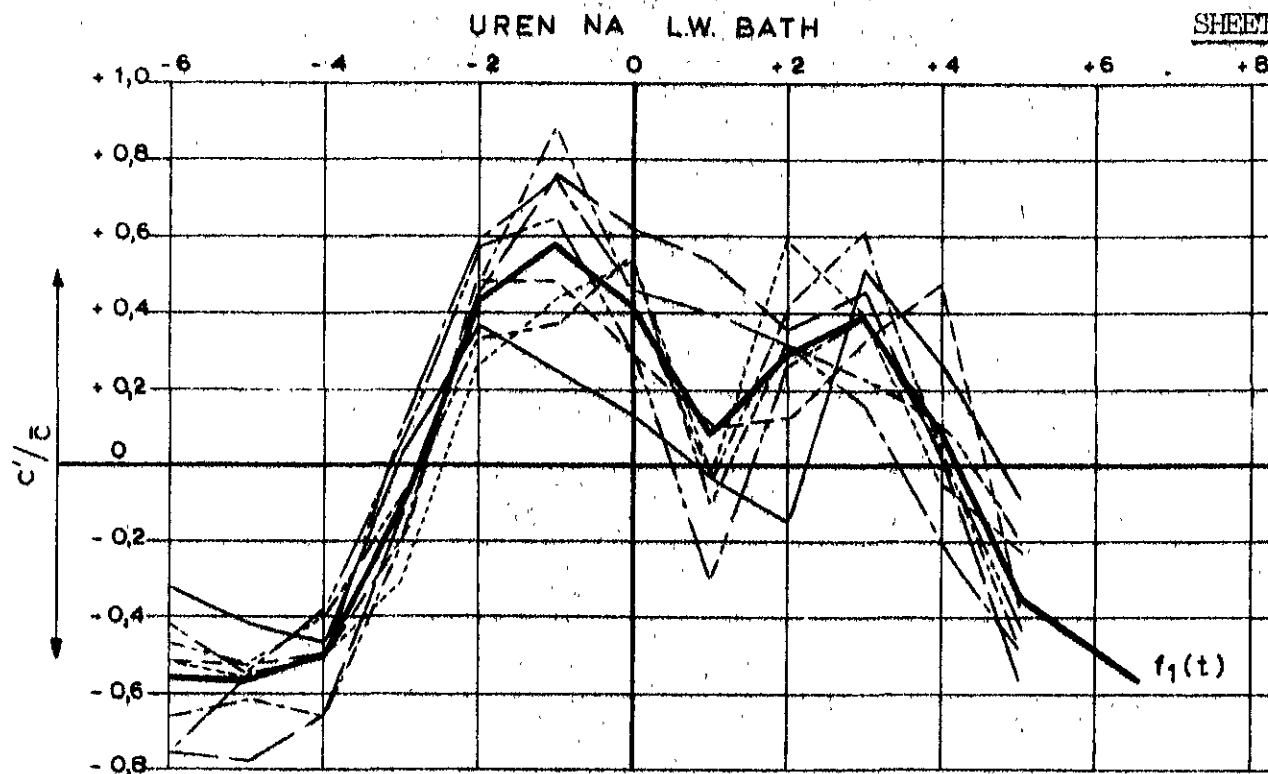
C = concentratie

S = slibtransport

Q = debiet

Overstreping: getijgemiddelde

Accent : momentane waarde
minus getijgemiddelde



TOELICHTING

_____	12-11-1971
_____	30-3-1972
_____	29-6-1972
_____	25-10-1972
_____	21-3-1973
_____	18-7-1973
_____	26-9-1973
_____	23-7-1974
_____	GEMIDDELD

GET.	GEZ.	GEC.	AKK.
12-8-'75 HN	<u>E.</u>	<u>P.R.</u>	<u>WOB</u>

WESTERSCHDELDE
VAARWATER BOVEN BATH BOEI 76
GENORMEERDE SLIBGEHALTEN
C'/C̄, GETUDEBIET Q'EN Q'xC'/C̄

A 1	75,554
-----	--------

HANSWEERT

GET	GEZ	GEC	AKK	EB - EN VLOED WEGEN	
20.1.76				BEGIN: 3 km voor L.W. BATHIGEM (CONCENTRATIE)	
J.d.B.				A2	76 70

● BEGINPUNT



BATH

BAALHOEK

HANSWEERT

GET	GEZ	GEC	AKK
70 1.76			
Jd B			

EB-EN VLOED WEGEN
BEGIN HW KENTERING

• BEGINPUNT



BATH

BAALHOEK

SHEET 8

HANSWEERT

GET	GEZ	GEC	AKK
20.1.76			
JdB			

EB-EN VLOEDWEGEN
BEGIN LW KENTERING

142 16.68

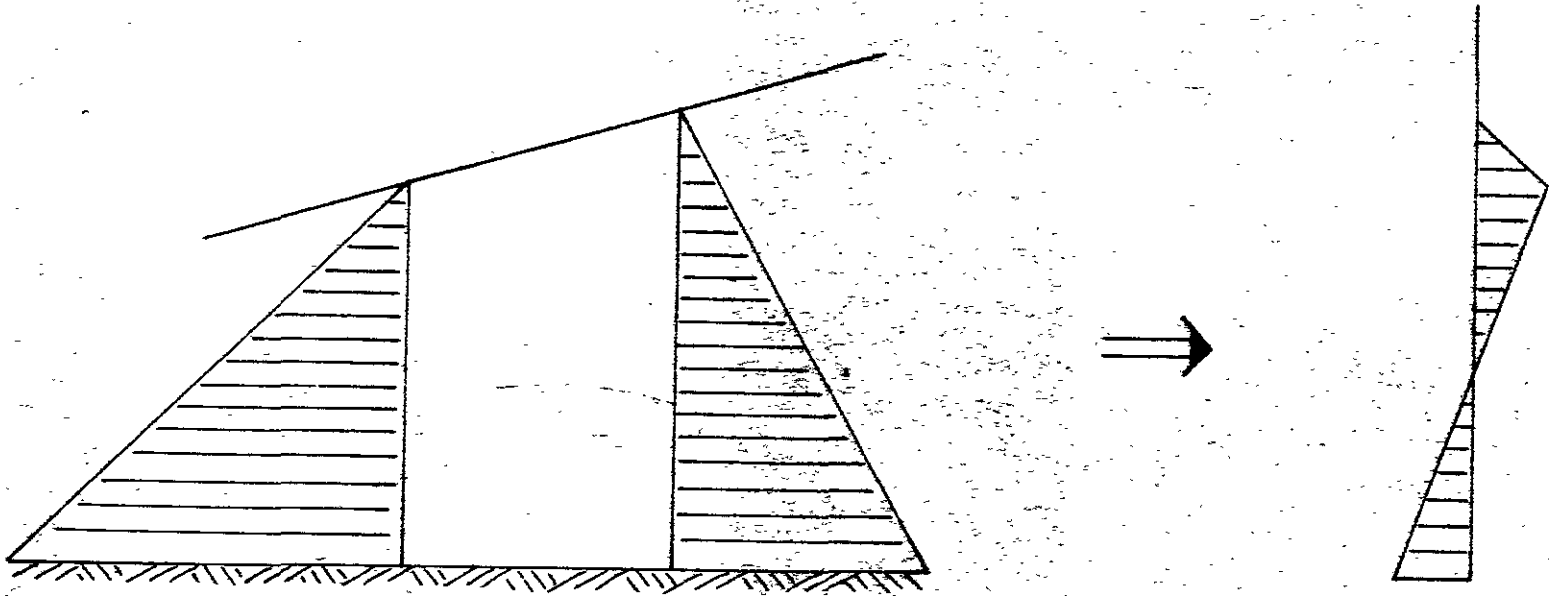
● BEGINPUNT

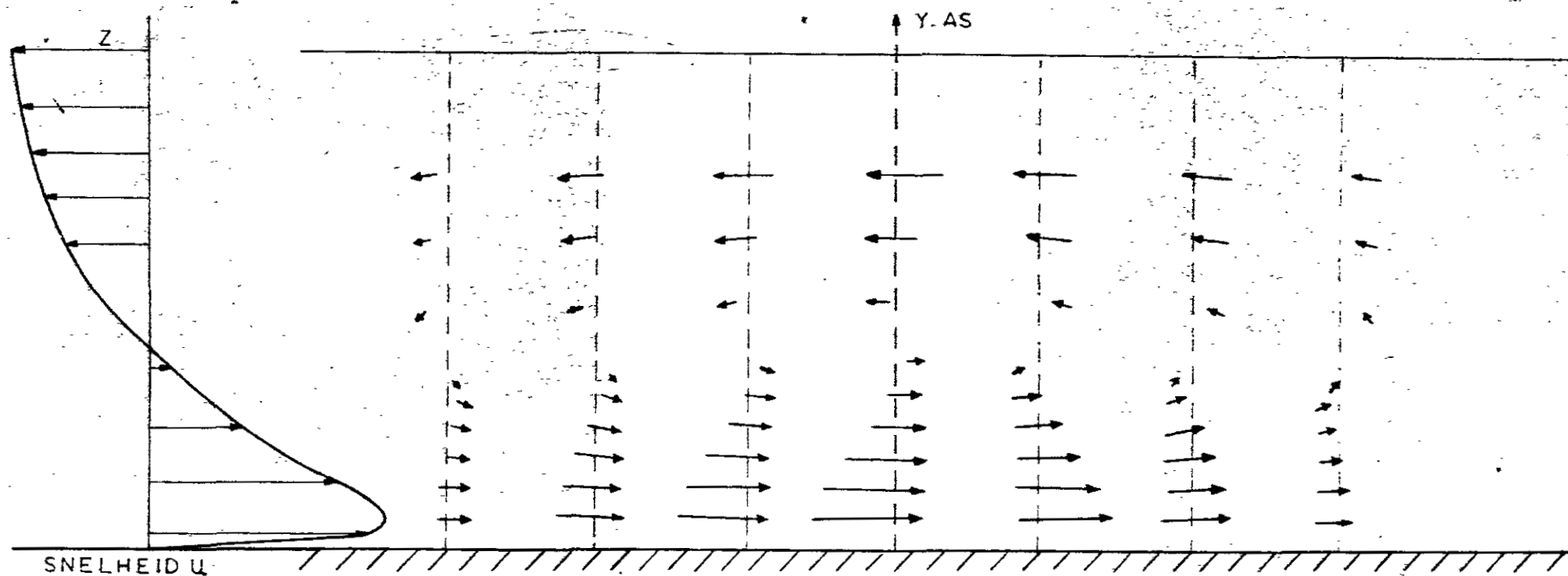
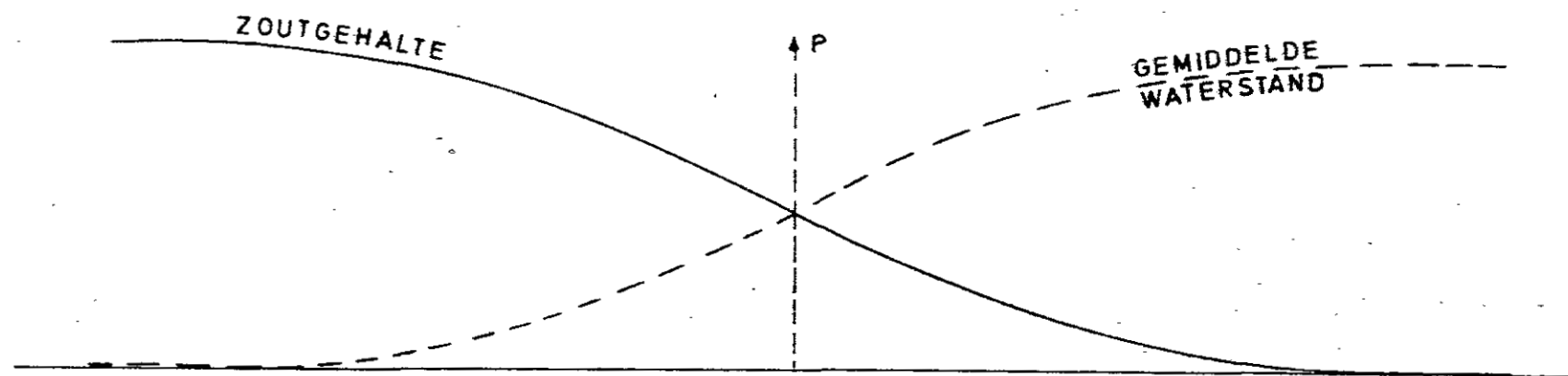


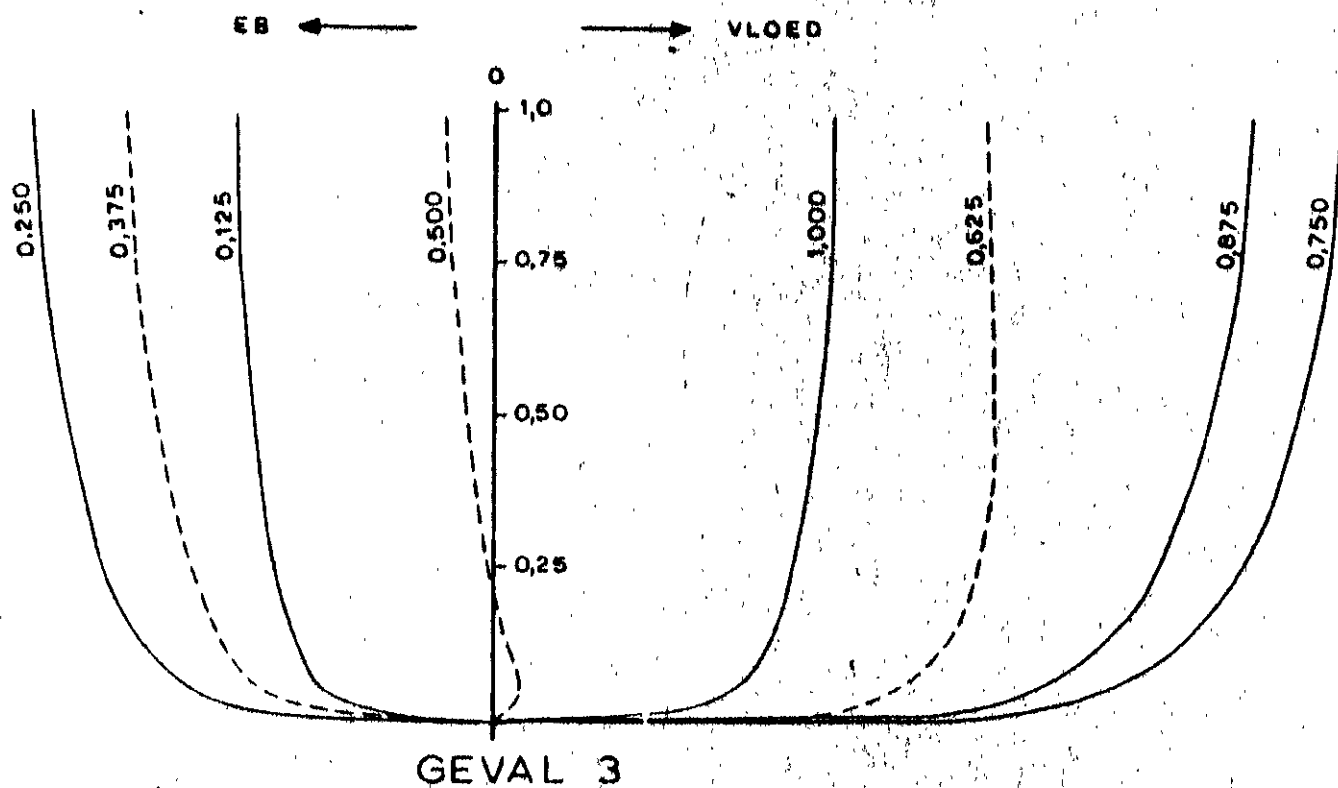
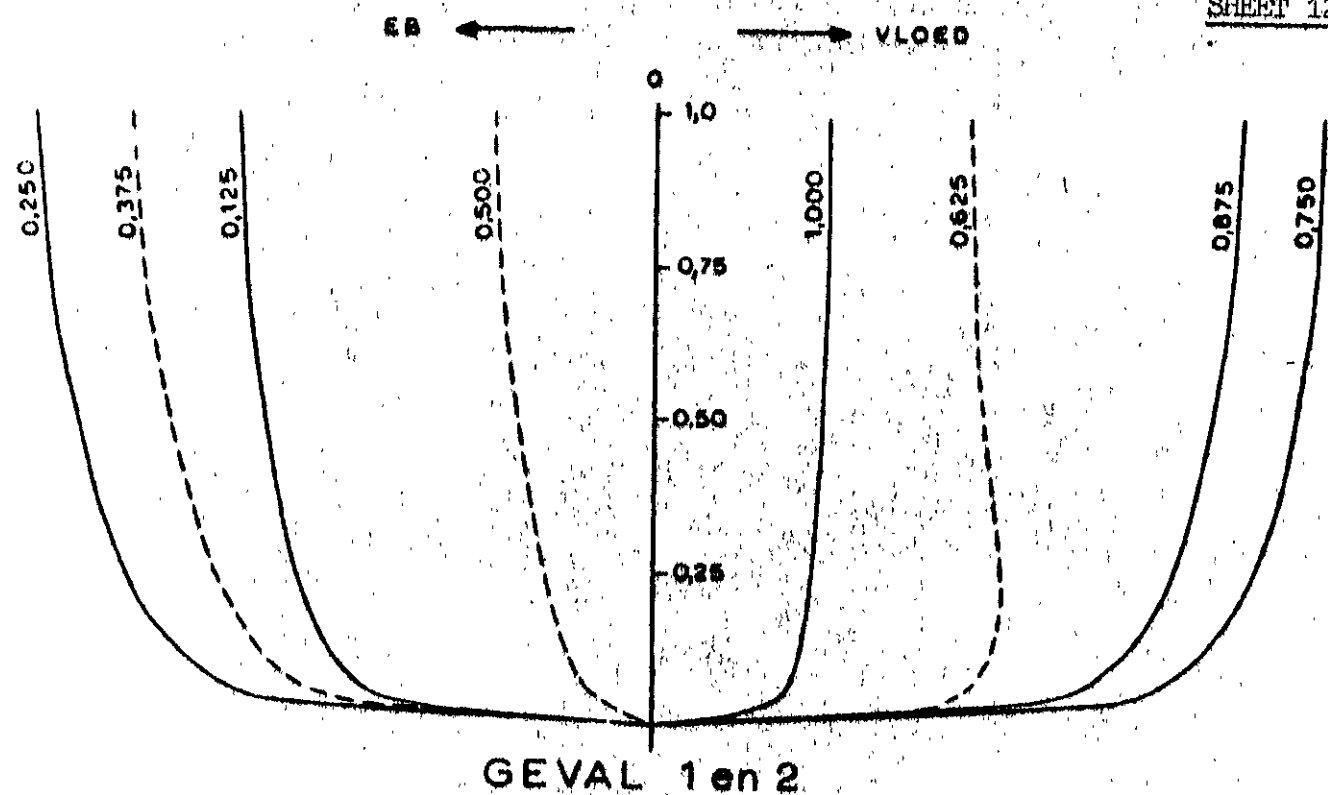
BATH

BAALHOEK

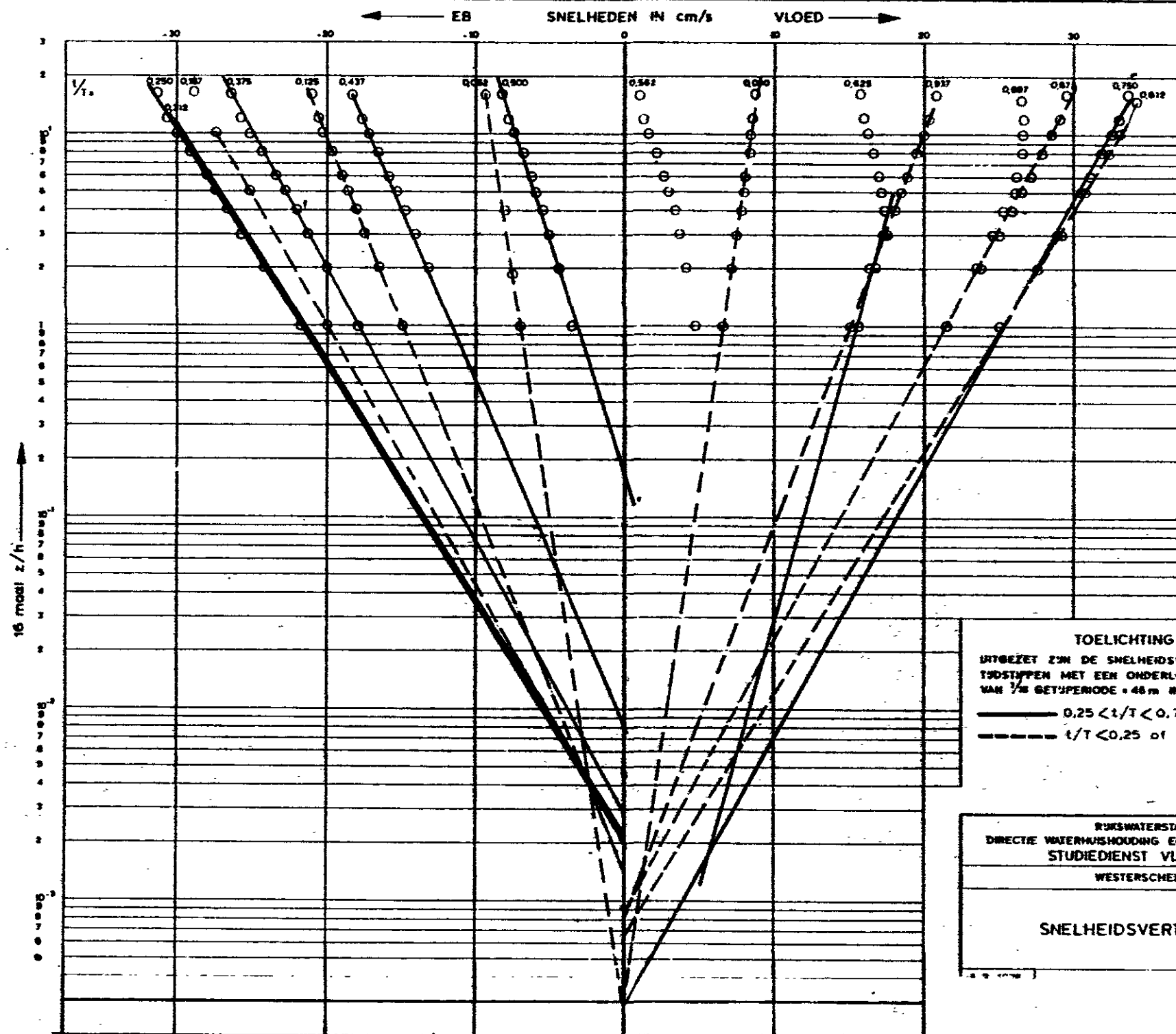
SHEET 9
6

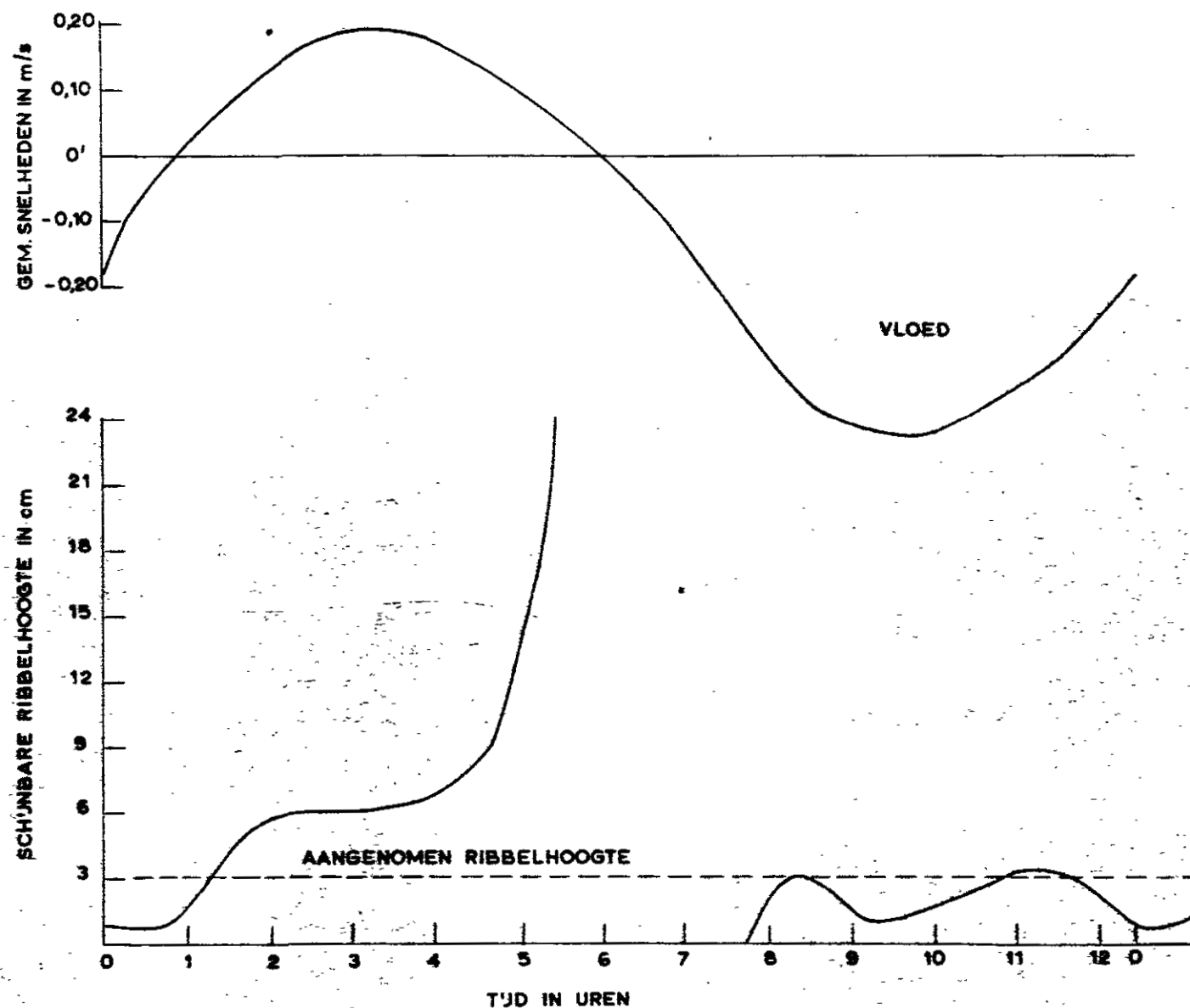






GET	GEZ	GEC	AKK	SNELHEIDSVERTIKALEN			
FEB '76						A1	76.77

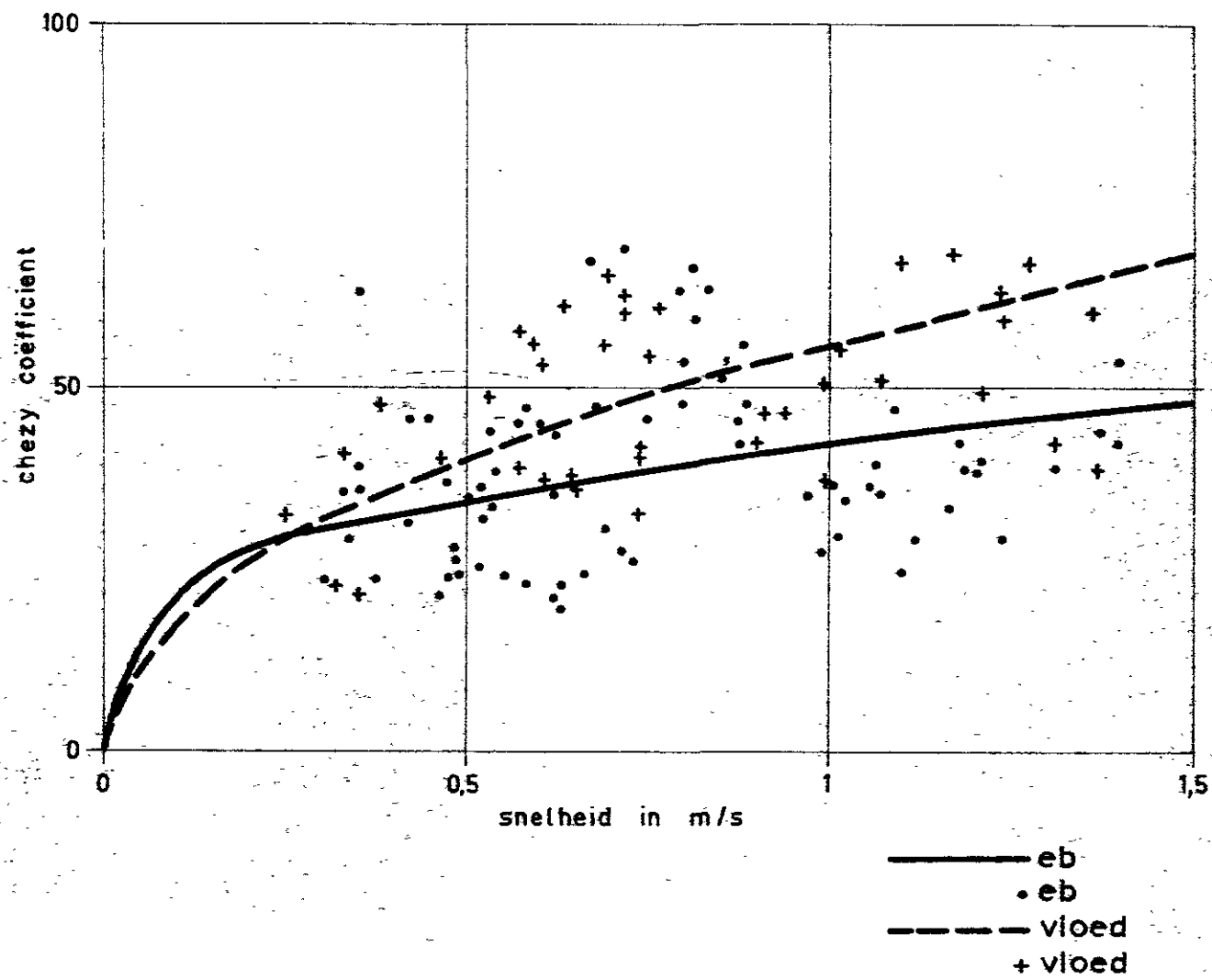




GET.	GEZ.	GEC.	AKK.
K.B.			

**SCHIJNBARE RIBBELHOOGTE
ALS FUNCTIE VAN DE TJD**

A1 76.79



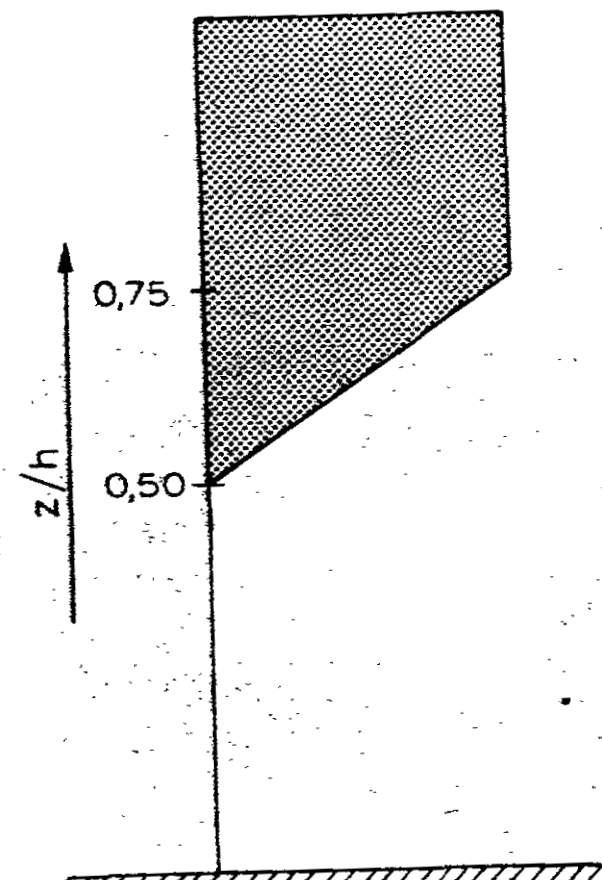
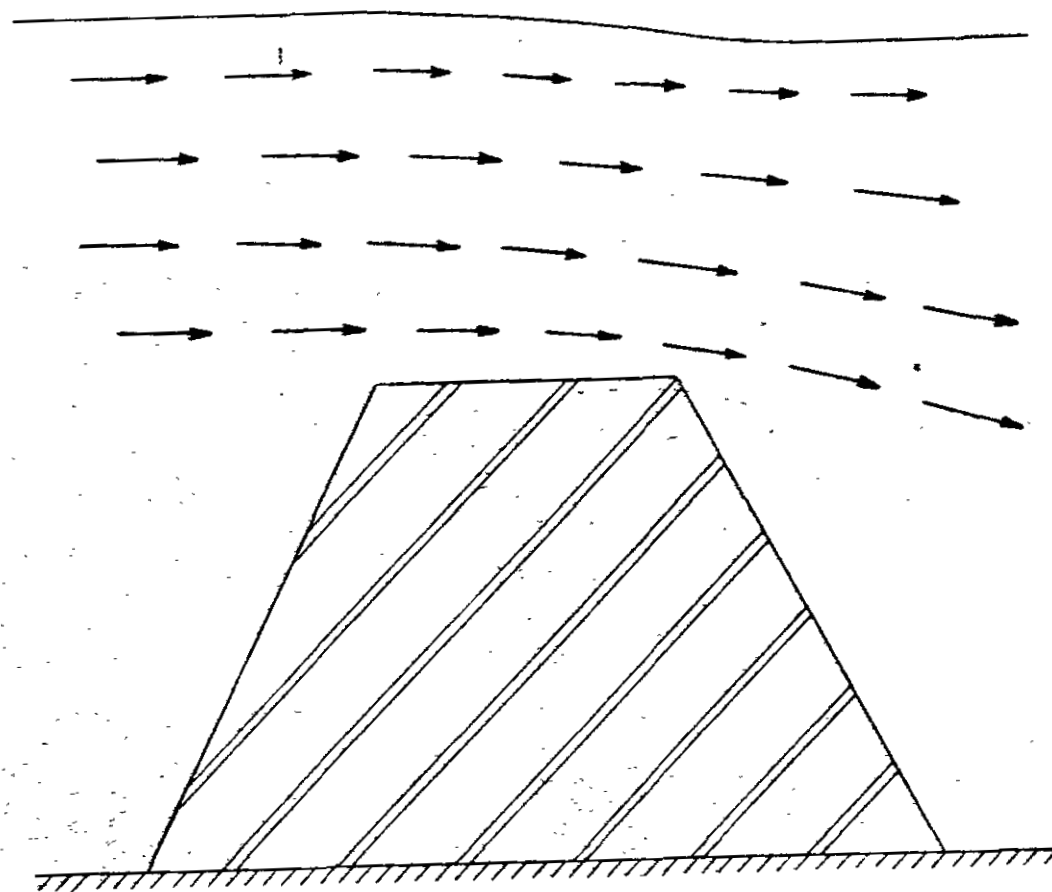
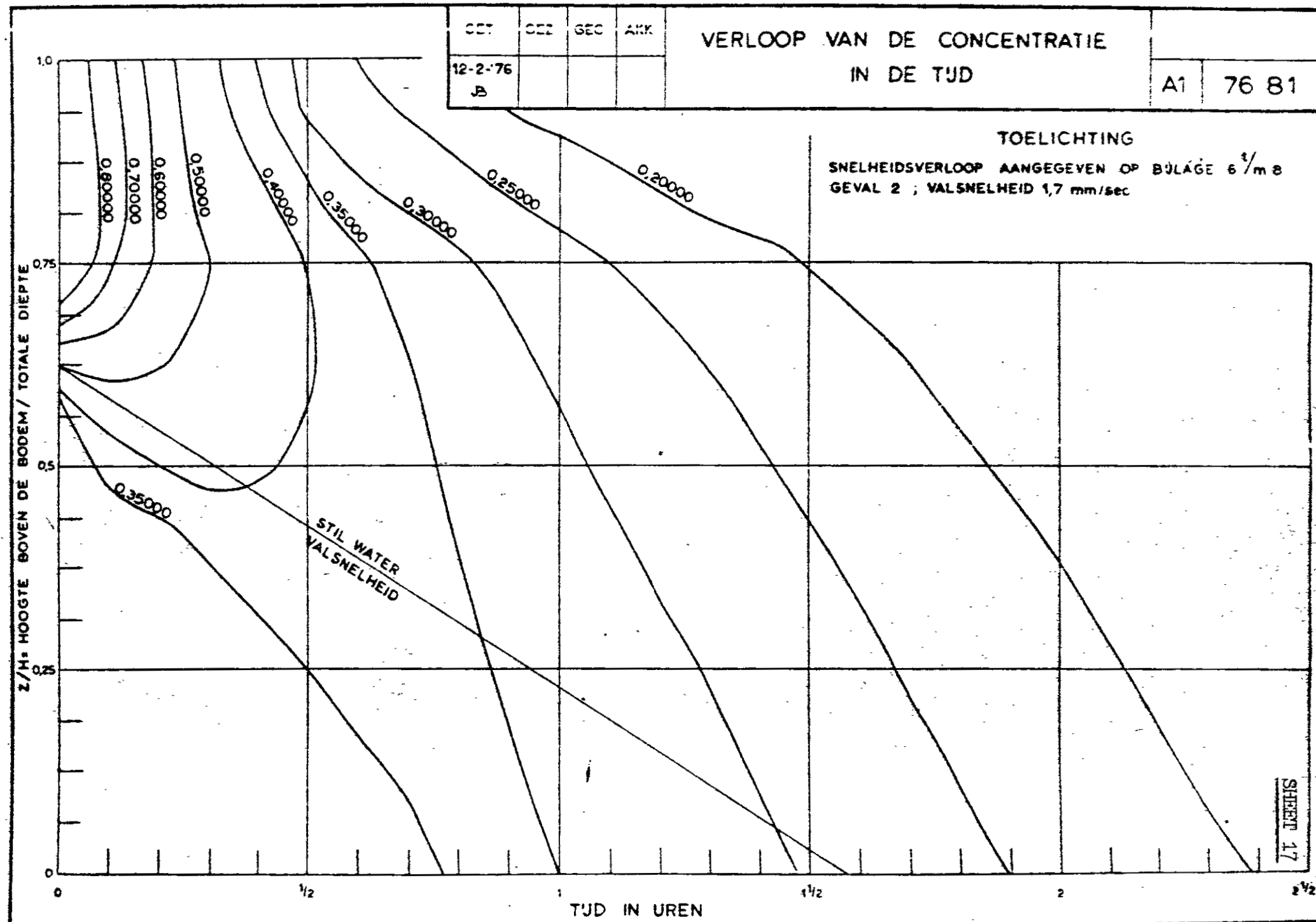
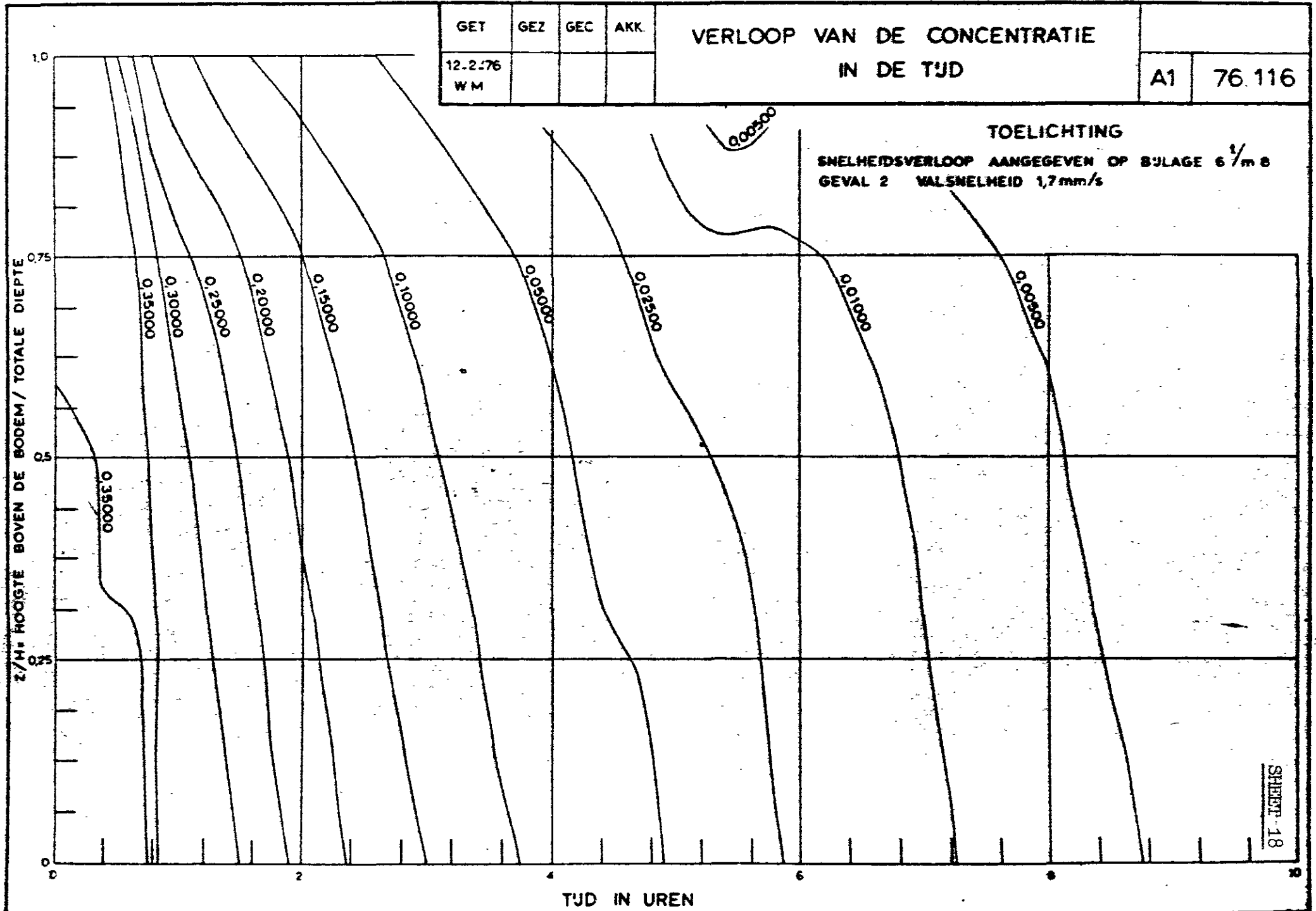
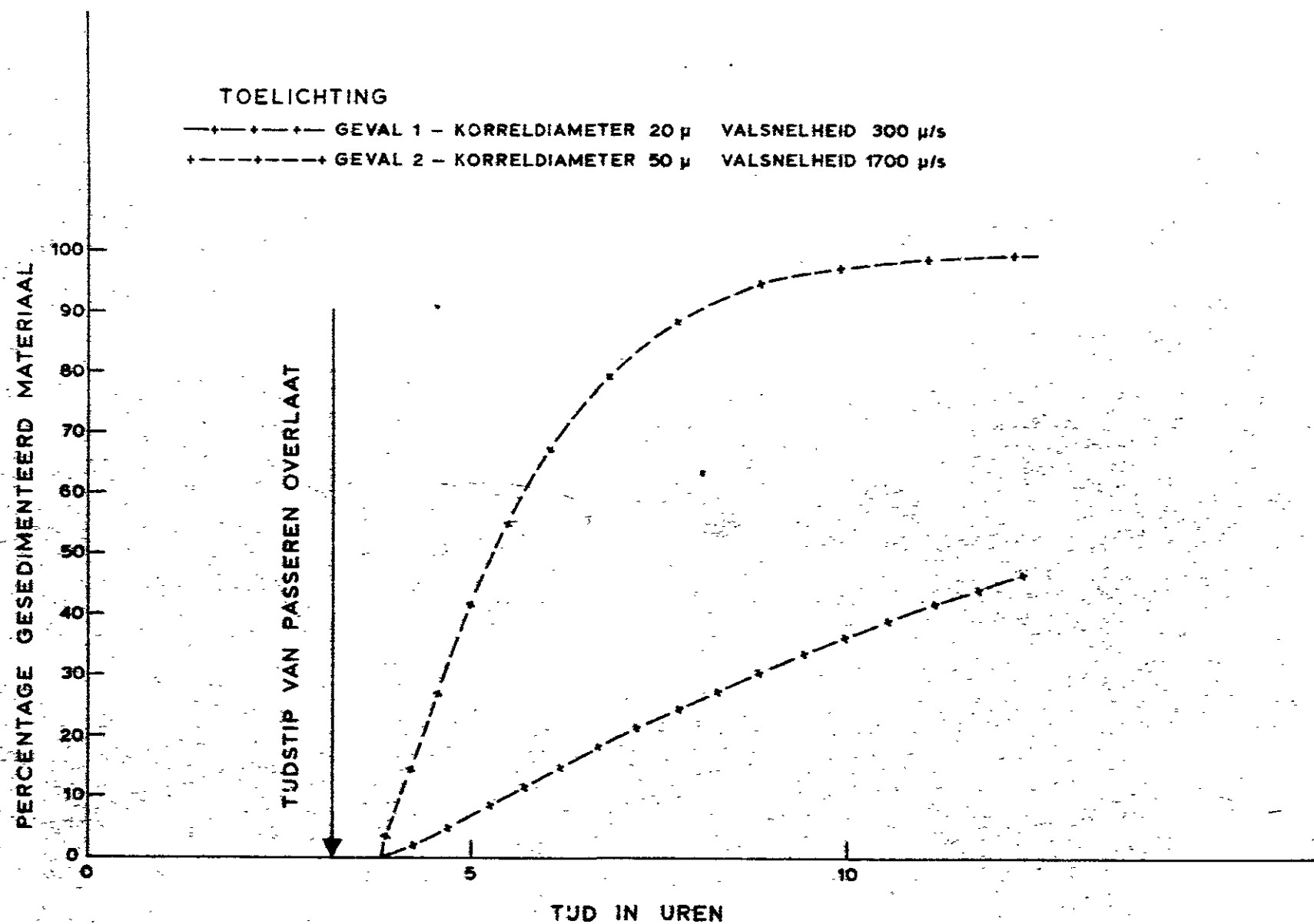


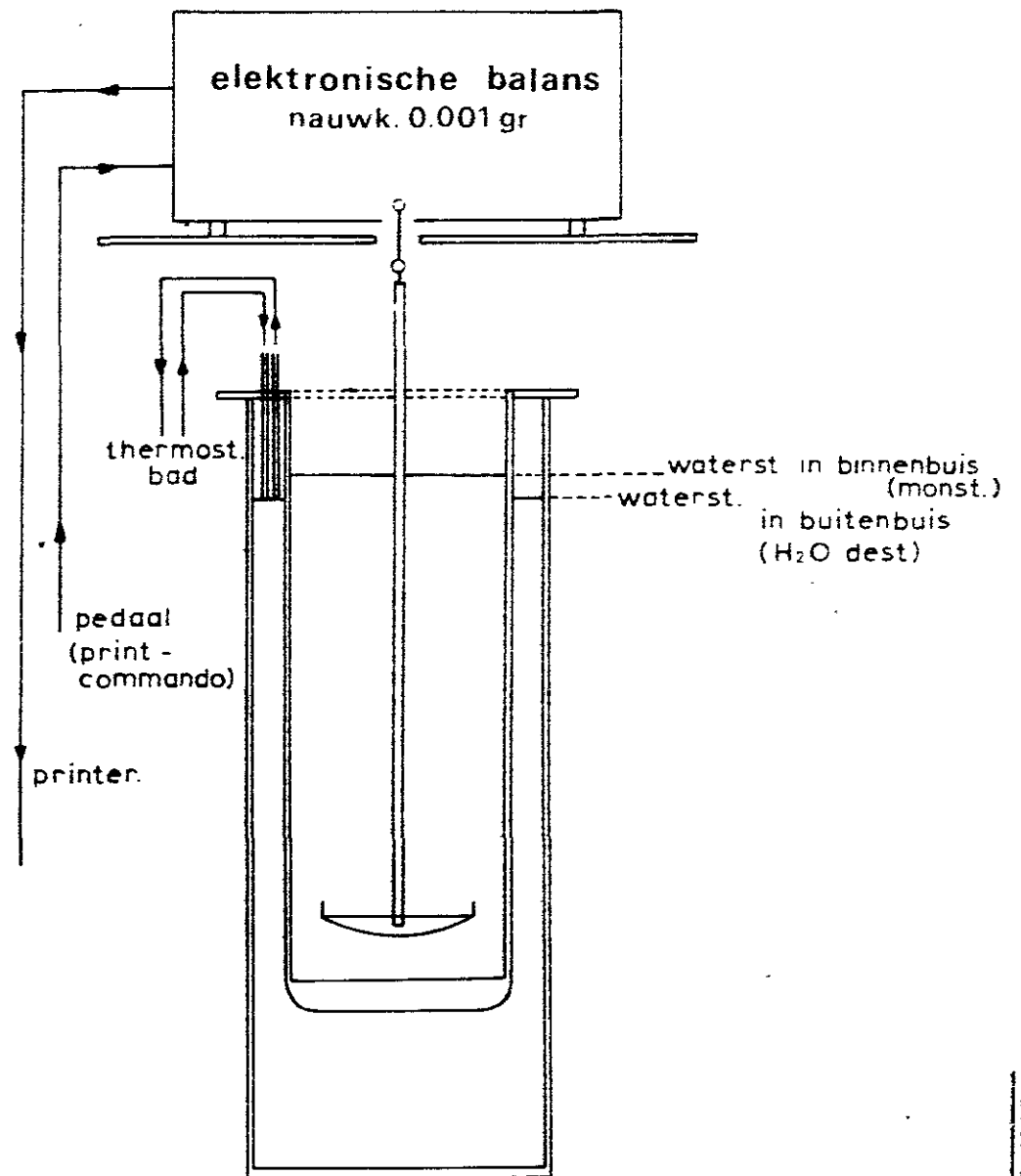
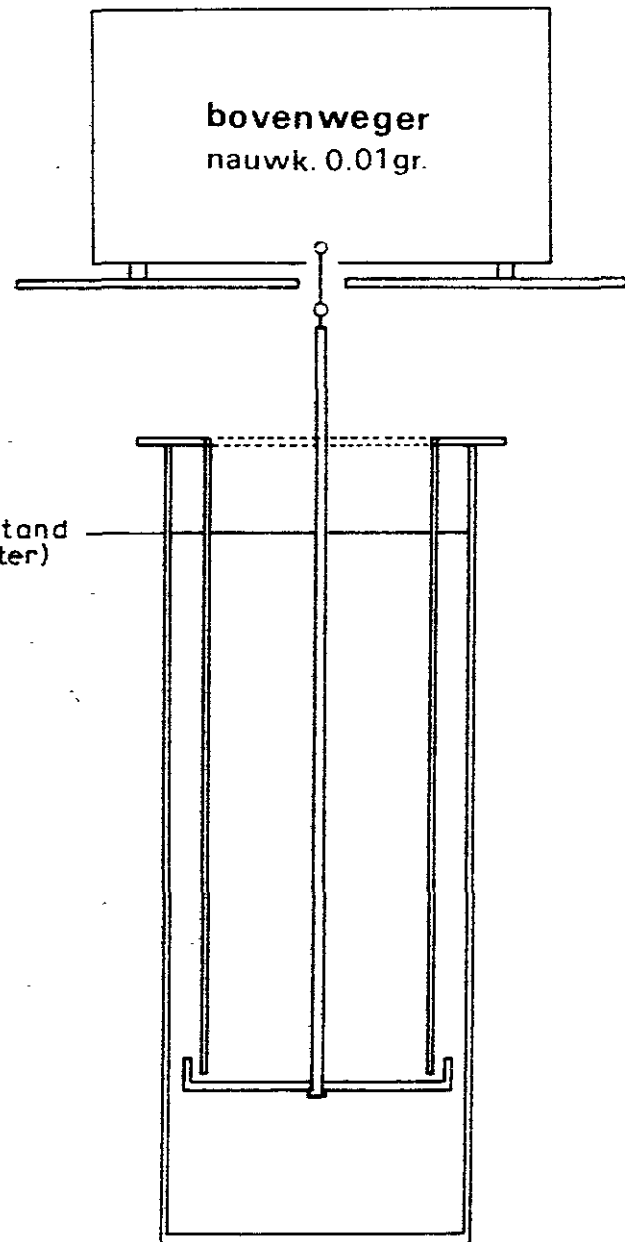
fig. 2 aanvangsconcentratie

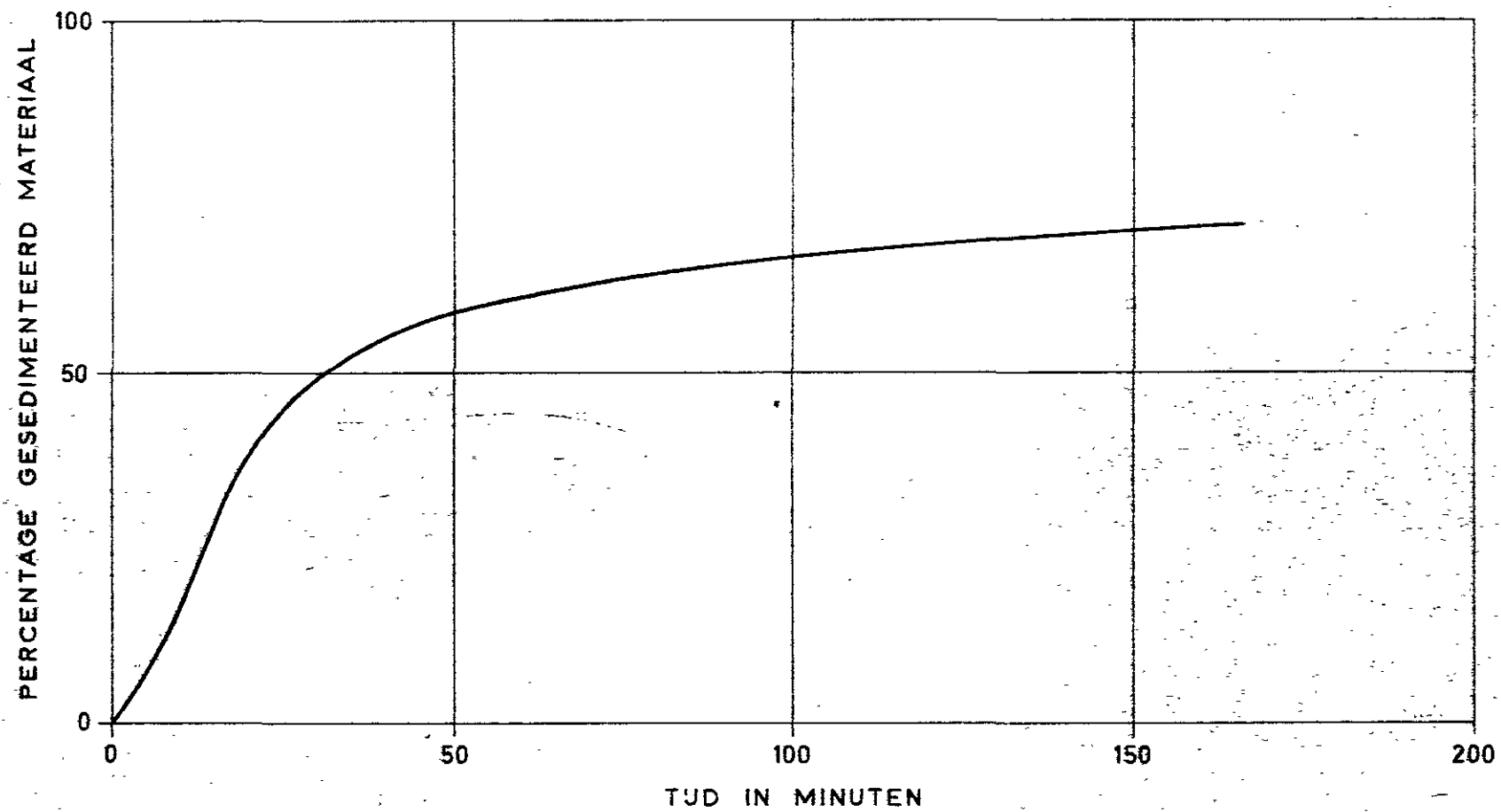






PERCENTAGE GESEDIMENTEERD MATERIAAL ALS FUNCTIE VAN DE TJD



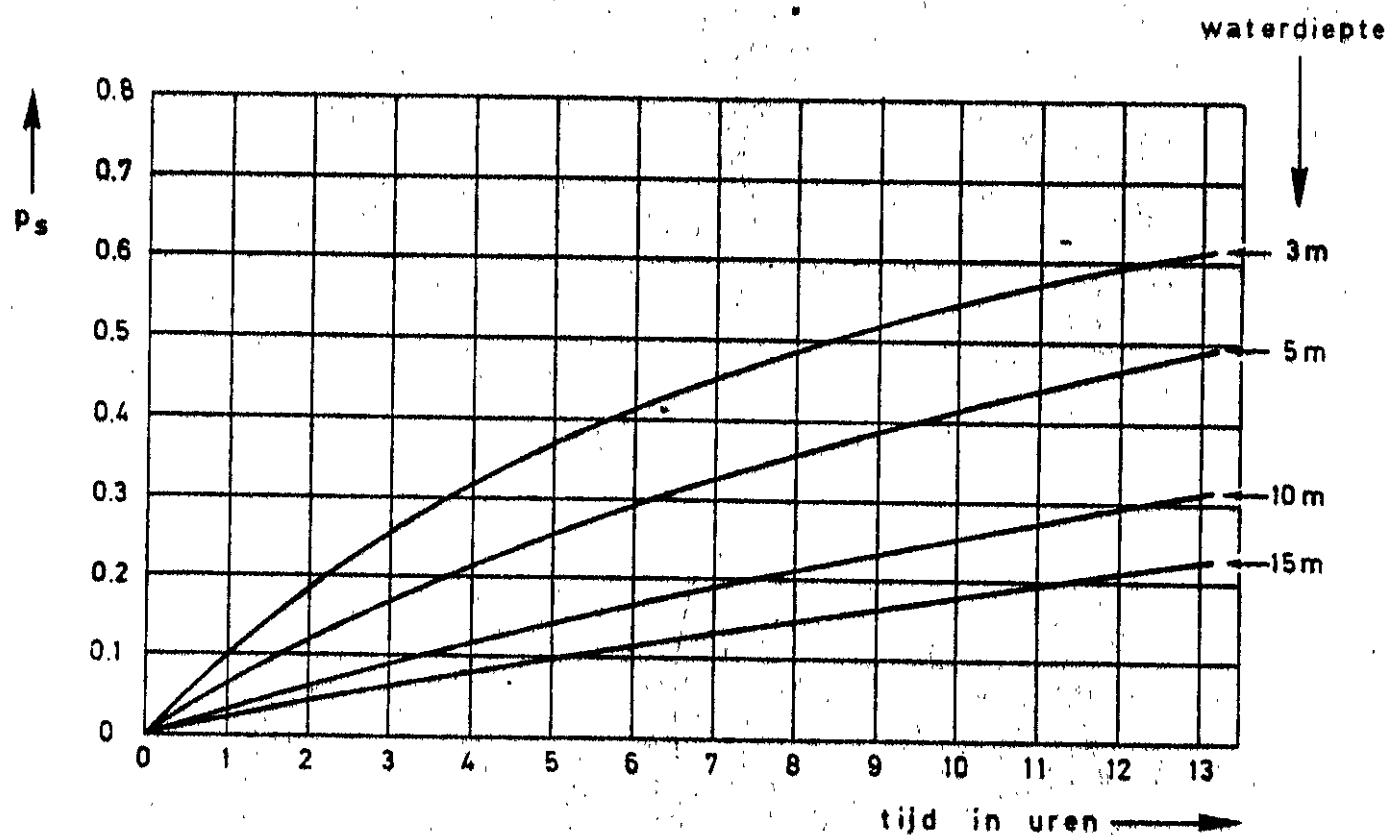


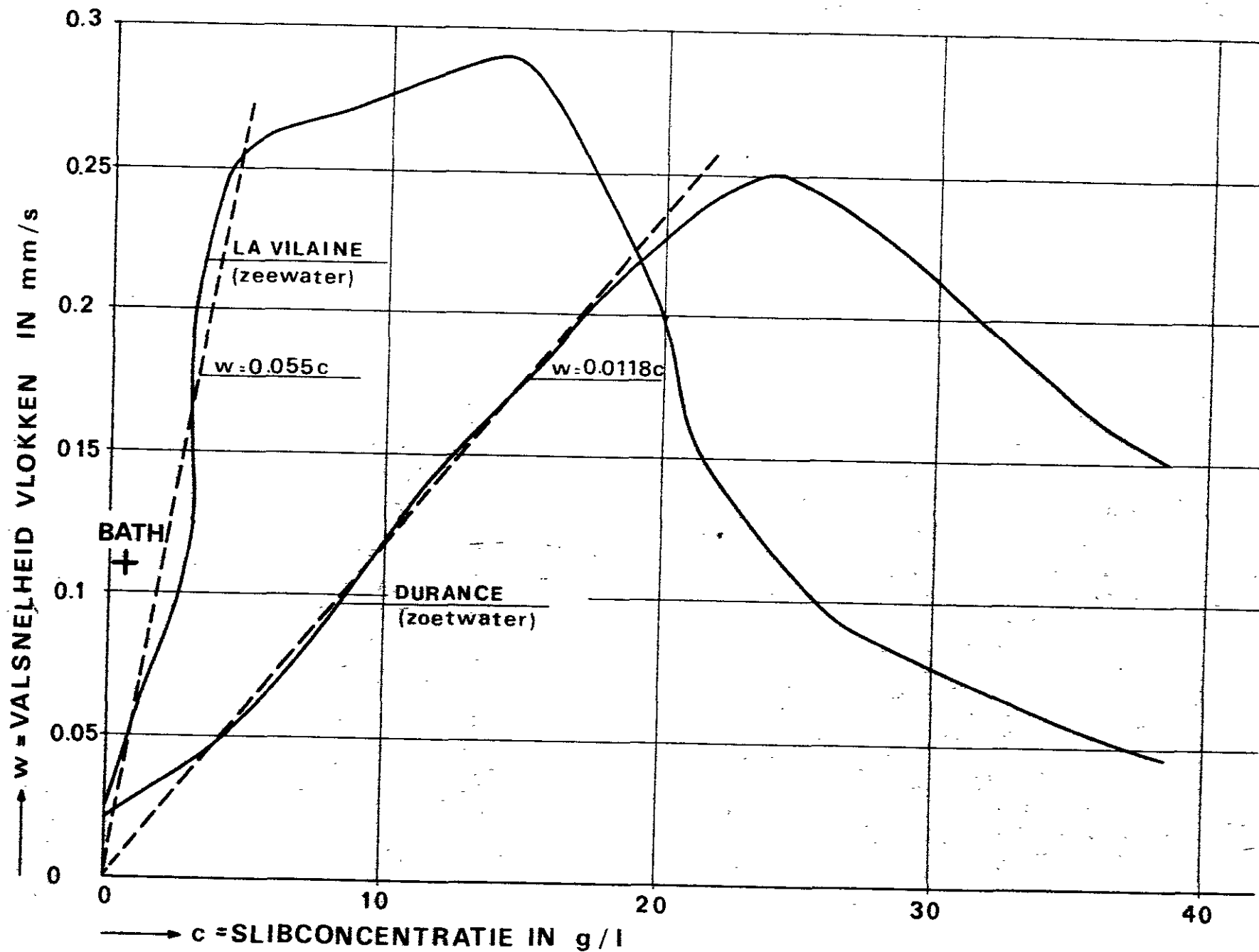
VALSNELHEID IN μ/s :

	160	80	40	20	10
FRACTIE :	42 %	14 %	14 %	14 %	16 %

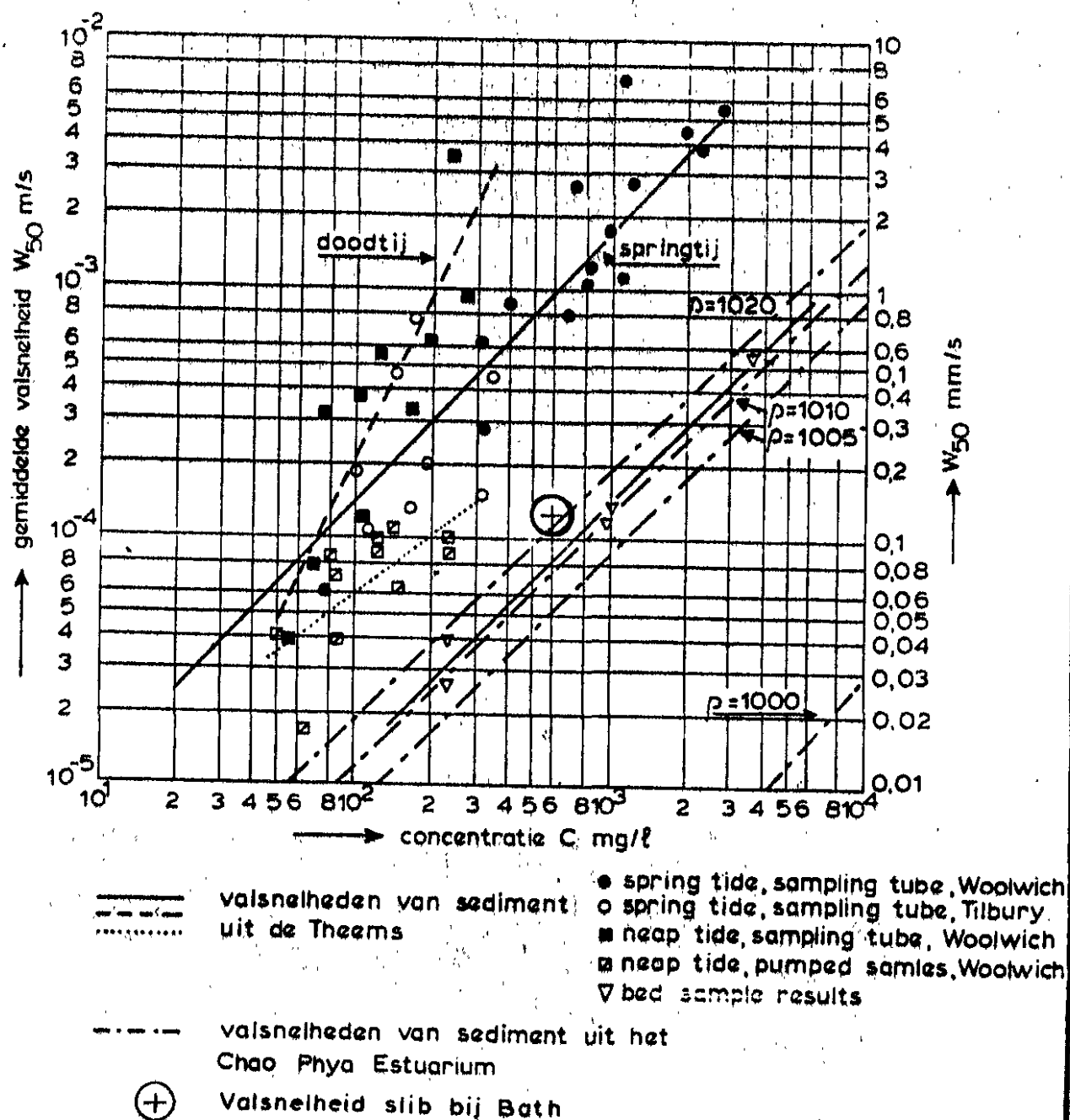
GESEDIMENTEERD DEEL VAN HET SLIB P_s
ALS FUNCTIE VAN DE VERBLIJFSDUUR

SHEET 23





HET VERBAND TUSSEN DE CONCENTRATIE
EN VALSNELHEID VAN VLOKKEN

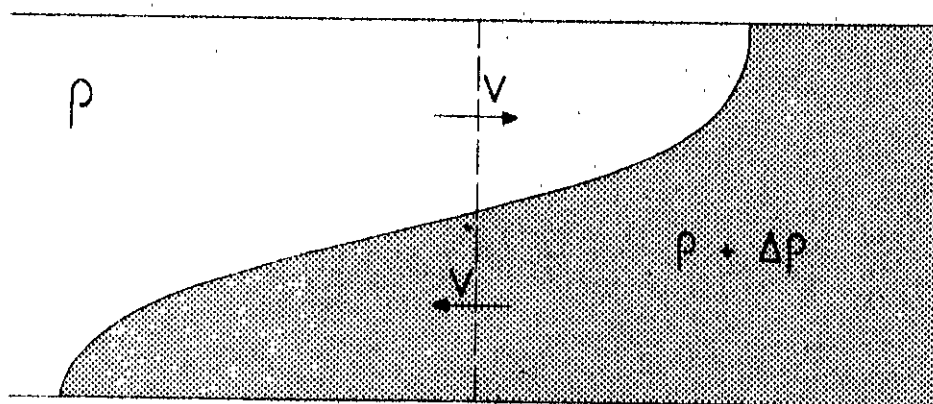


IN DE NATUUR GEMETEN VALSNELHEDEN

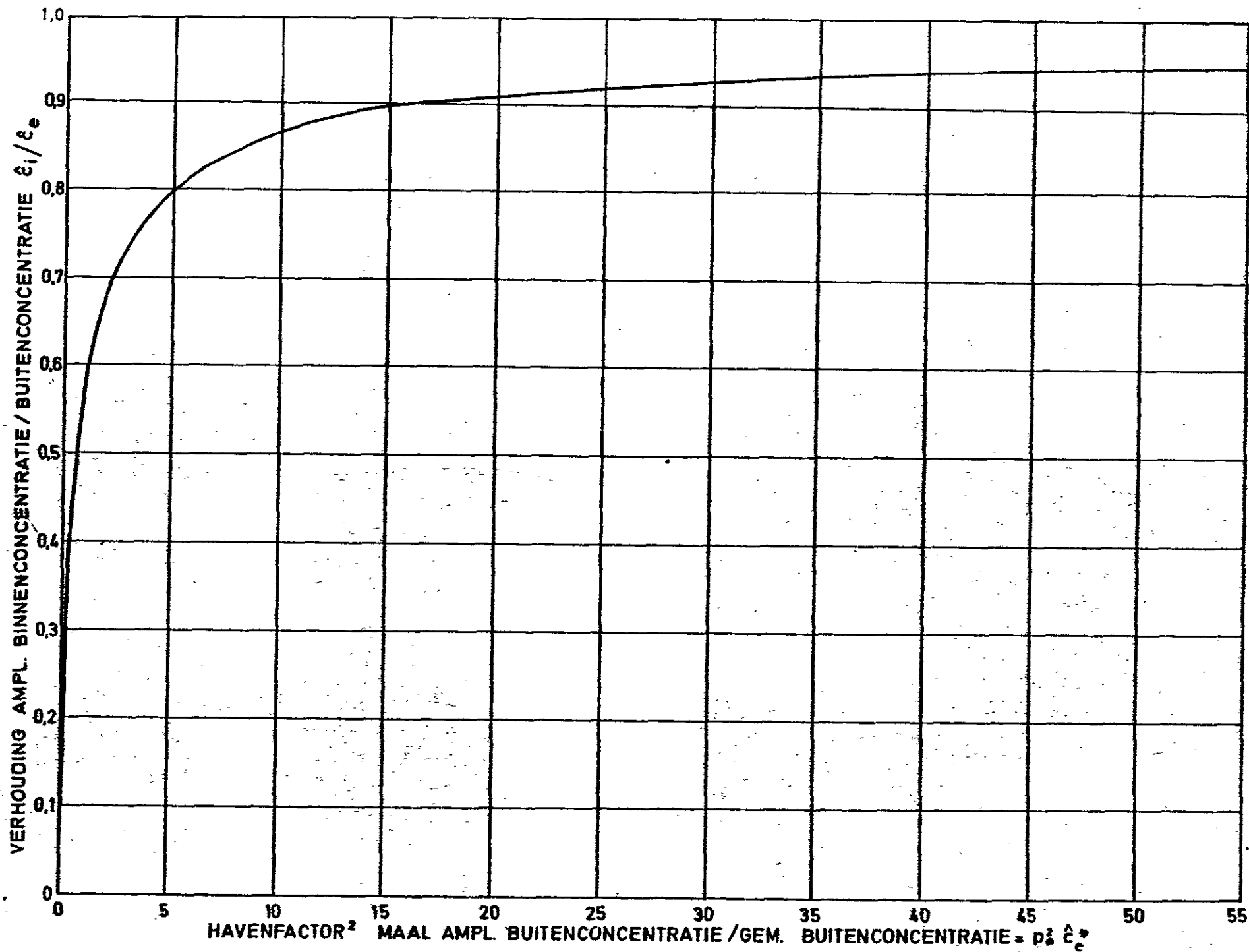
basisfiguur ontleend aan [10]

UITWISSELING:

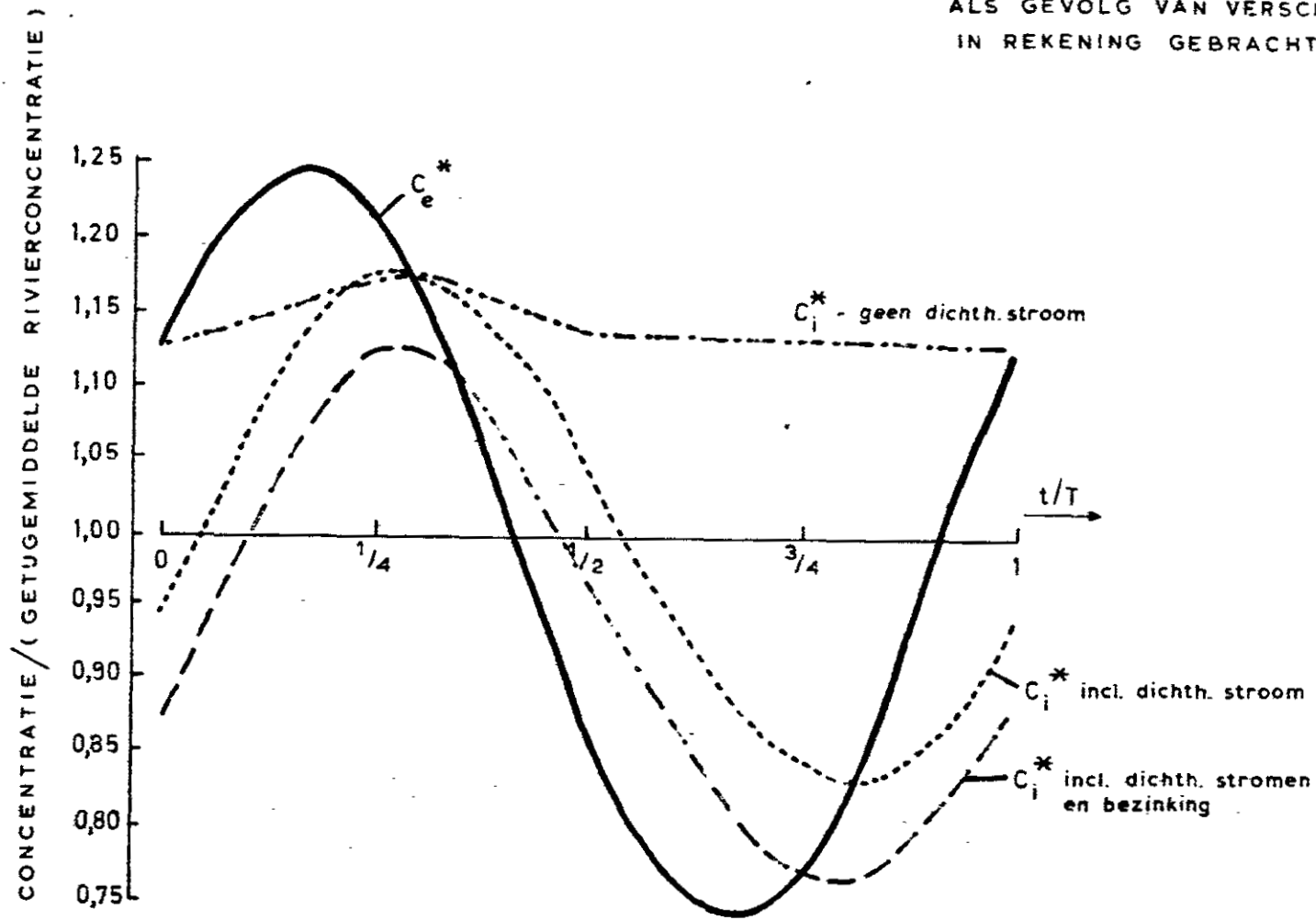
- 1 KOMVULLING/LEDIGING.
- 2 DICHTHEIDSSTROMING.
- 3 HORIZONTALE NEER.
- 4 SCHEEPSBEWEGING.



$$v = \frac{1}{2} \sqrt{gh \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho}}$$



CONCENTRATIEVERLOOP
IN HAVEN EN RIVIER
ALS GEVOLG VAN VERSCHILLENDE
IN REKENING GEBRACHT MECHANISMEN



$t = 0$:
LAAGWATER