

R69

E

Transport door retourstroom

analyse enige resultaten prototype
proeven Hartelkanaal (OeBes-'81)

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Transport door retourstroom

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

analyse van enige meetgegevens van de prototype-proeven
"OeBes"-I98I, betreffende vaarten met een 4-baksduween-
heid (2x2 E II duwbakken), varend in de as van de vaar-
weg en langs de teen van het talud

VOORWOORD

In opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat wordt door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft systematisch onderzoek verricht naar de aantasting van dwarsprofielen van vaarwegen (onderzoek M III5). Hoofddoel hiervan is te komen tot ontwerpcriteria voor oeververdedigingsconstructies van scheepvaartkanalen.

Hiertoe is eerst onderzoek verricht naar de waterbeweging zoals die veroorzaakt wordt door in een kanaal varende schepen. Vervolgens zijn de erosie-aspecten in de vaargeul en de schade aan de oeverbekledingen onderzocht.

Gezien de beperkingen die modelonderzoek kent leek het wenselijk om de resultaten van het modelonderzoek in de werkelijkheid te verifiëren. Zodoende werden in september 1981 in het Hartelkanaal ter plaatse van de Beerdam (Maasvlakte) prototype-proeven uitgevoerd met enkele duwformaties, onder de naam: OeBes '81.

Ondergetekende werd door de Deltadienst in de gelegenheid gesteld om aanwezig te zijn bij de proeven en daar bij de transportmetingen te assisteren. In het kader van zijn afstuderen aan de TH-Delft in de richting Algemene Civiele Techniek werd door ondergetekende een deel van een documentatierapport over de opzet en voorbereiding van OeBes '81 verzorgd, alsmede een ruwe analyse van het transport door retourstroom verricht.

Voor U ligt thans de (ruwe) analyse van het transport door de retourstroom. Hoewel de proevenreeks ook vaarten met 6-bakduweenheden en een dienstvaartuig omvatte, zijn de registraties daarvan niet in deze analyse verwerkt. De analyse is dientengevolge beperkt gebleven tot de vaarten met 4-bakduweenheden, varende in de as van de vaarweg en langs de teen van het talud.

Ondergetekende is veel dank verschuldigd aan de Deltadienst van de Rijkswaterstaat voor de toestemming tot bijwonen van de proeven en aan het WL-de Voorst voor de verleende gastvrijheid en medewerking, in het bijzonder dhr. M van der Wal.

Delft, december 1982 A. Ferguson

INHOUDSOPGAVE

Inleiding

I	Theorie en theoretische aanpak analyse	I
I.1	Theorie	I
I.2	Aanpak analyse	5
I.2.1	toetsen c_f	5
I.2.2	toetsen Ψ_{kr}	5
2	Verzameling van meetgegevens	6
2.1	Transportmetingen	6
2.2	Metingen a/d waterbeweging	6a
3	Uitwerking	7
3.1	Toetsen c_f	7
3.2	Toetsen Ψ_{kr}	8
4	Nadere beschouwing resultaten uitwerking	9
4.1	Invloed taludhelling op stabiliteit	9
4.2	Invloed stromingsrichting op stabiliteit	10
4.3	Invloed stromingsrichting en taludhelling op transportrichting	11
4.4	Invloed geringe waterdiepte	11
4.5	Invloed grenslaagontwikkeling	14
4.6	Interpretatie overige resultaten	19
5	Recapitulatie, hertoetsing, conclusies en aanbevelingen	22
5.1	Recapitulatie	22
5.2	Hertoetsing	23
5.3	Conclusies en aanbevelingen	25
5.3.1	conclusies	25
5.3.2	aanbevelingen	25

Vervolg op volgende bladzijde

INHOUDSOPGAVE (vervolg)

Figuren I t/m 6

Literatuuropgave

Tabellen I t/m 5

Bijlagen

A - Bepaling reductiefactor K t.g.v. taludhelling

B - I Relatie $G_{\text{opg.}}$ tot Q_s en q_s
2 Relatie $\phi - \psi$

C - Loopwegbepaling

D - Zeefanalyse, met zeefkrommen

INLEIDING

Een van de vormen van waterbeweging die wordt veroorzaakt door een in een kanaal voortbewegend schip is de retourstroom. Doordat t.p.v. de boeg water wordt verdrongen en t.p.v. het hek water ter aanvulling benodigd is loopt er van boeg naar hek een stroom, hetgeen gepaars gaat met een daling van de waterspiegel.

Door het terugstromende water worden schuifspanningen op de vaarwegbegrenzingen uitgeoefend, welke bij een bepaalde sterkte transport van de elementen, waaruit die begrenzing bestaat, kunnen veroorzaken.

Nu bestaan er (empirische) methoden waarmee de schuifspanningssterkte, alsmede de bij die schuifspanning te verwachten hoeveelheid transport, geschat kan worden.

In hoeverre deze methoden, die gebaseerd zijn op eenparige stromingscondities, toereikbaar zijn om het door een retourstroom veroorzaakte transport adequaat te schatten, zal in deze analyse aan de hand van de resultaten van de proeven getracht worden te bepalen.

Die resultaten bestaan uit:

- geconstateerd transport van fijn en grof grind waarvan op het talud proefvelden waren aangelegd.
- registraties van stroomsnelheidsmeters die ter plaatse van het grove grind waren aangebracht.
- registraties van waterspiegelniveau meters.

De proefvaarten bestonden uit vaarten met een 4-baksduweenheid met een diepgang van 3 m, in de as van het kanaal (T 22) en langs de teen van het talud (T 44).

Een uitgebreide beschrijving van de meetopstelling is opgenomen in het in het voorwoord genoemde documentatierapport.

In hoofdstuk I komen de berekenings-/schattingsmethoden aan de orde. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 nader ingegaan op de verzameling van de proefresultaten. In hoofdstuk 3 worden deze gegevens vergeleken met hetgeen op grond van de in hoofdstuk I behandelde theorie verwacht zou mogen worden.

Aangezien daarbij verschillen aan het licht treden, wordt in hoofdstuk 4 getracht daar, door mogelijke invloeden de revue te laten passeren, een verklaring voor te vinden. Recapitulatie daarvan, conclusies en aanbevelingen zijn afsluitend opgenomen in hoofdstuk 5.

I THEORIE EN THEORETISCHE AANPAK ANALYSEI.I Theorie

(Voor een uitgebreide theoretische beschouwing wordt verwezen naar hoofdstuk 4, par. 2.I.A_I.)

De schuifspanning die door een eenparige stroom op bodemdeeltjes wordt uitgeoefend kan bepaald worden middels;

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad (1)$$

waarin,

τ = schuifspanning op de bodemdeeltjes (N/m^2)

ρ = soortelijke massa van het water (Kg/m^3)

g = versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)

I = verhang (m/m)

Indien de grenslaag op de bodem volledig ontwikkeld is (logaritmische snelheidsverdeling over de vertikaal) geldt volgens Chézy voor de gemiddelde (over de vertikaal) stroomsnelheid;

$$\bar{u} = C \cdot \sqrt{hI} \quad (2)$$

waarin,

\bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

C = coëfficiënt van Chézy (wordt verderop nader op ingegaan) ($m^{1/2}/s$)

Samenvoegen van (1) en (2) levert

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{\bar{u}^2}{C^2} \quad (3)$$

Of een bodemdeeltje in beweging komt hangt er van af hoe groot de kracht op het deeltje is in verhouding tot de weerstand die het deeltje kan bieden tegen verplaatsing. De kracht die het stromende water op het deeltje uitoefend is te schrijven als factor . . stromingsdruk . korreloppervlak (geproj.) of wel factor(I) $\cdot \rho \cdot u_x^2 \cdot D^2$ met u_x als de schuifspanningssnelheid (m/s), d.i. de snelheid dicht bij de korrels, en D als de diameter van de korrel (m).

De weerstand van het deeltje tegen verplaatsing is uit te drukken als een factor . gewicht van de korrel onder water of factor(2) . $(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D^3$. Een korrel komt in beweging als voor deze korrel geldt dat factor(I). $u_x^2 \cdot \rho \cdot D^2 > \text{factor}(2) \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D^3$, of als

$$\frac{u_x^2 \cdot \rho \cdot D^2}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D^3} > \frac{\text{factor}(2)}{\text{factor}(I)}$$

Met $\tau = \rho u_x^2$, de breuk factor(2)/factor(I) = factor(3) en $\rho_s / (\rho_s - \rho) = \Delta$ wordt dit

$$\frac{\tau}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot D} > \text{factor}(3)$$

Factor(3) wordt bepaald door korreleigenschappen als vorm, afmetingen, gradatie en pakking (inherent hieraan de hoek van inwendige wrijving tussen de korrels) en turbulentiegraad.

De breuk $\frac{\tau}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot D}$ staat bekend als de schuifspanningsparameter ψ . (4)

O.a. Shields heeft het verband tussen de waarde van waarbij korrels beginnen te bewegen en het stroombeeld, uitgedrukt in de waarde van het Reynoldsgetal betrokken op de schuifspanningssnelheid ($Re_x = (u_x \cdot D) / \nu$) experimenteel onderzocht, zie figuur A I.

De waarde van deze ψ_{cr} bedraagt enkele hondersten in het hydraulisch ruwe gebied. In voornoemd hoofdstuk 4, par. 4.2.I.A_I wordt hierop nader ingegaan.

Transportrelaties

Wordt de schuifspanning die stromend water op bodemdeeltjes uitoefend verhoogt, dan zal de waarde van de schuifspanningsparameter eveneens toenemen, evenals de omvang van het bodemtransport. Paintal vond in onderzoeken dat bij lage bodemtransporten een geringe toename van de schuifspanning een aanzienlijke toename van het bodemtransport tengevolge had. Bij grotere transporten was dit in mindere mate het geval. Ook hier wordt nader ingegaan in voornoemd hoofdstuk. Uitgaande van een transportomvang die als kritiek beschouwd wordt kan een waarde van de daarbij behorende kritieke waarde van de schuifspanningsparameter met de daar behandelde transportformules afgelezen worden.

Voor waarden van de transportparameter $\Phi = \frac{q_s}{\sqrt{g\Delta D^3}} > 0,01$ kan de relatie van Meyer-Peter en Müller hiervoor gehanteerd worden; ($q_s =$ korreltransport in m^3/ms)

$$\Phi = 13,3 \cdot (\Psi - 0,03)^{1,5} \quad (5)$$

en voor lagere waarden van Φ , nl. $10^{-2} < \Phi < 10^{-1}$ de gekorrigeerde Paintal-relatie; (w.L.)

$$\Phi = 1,64 \cdot 10^{10} \cdot \Psi^{10,86} \quad (6)$$

Stabiliteitsrelaties

Samenvoegen van vgl. (3) met (4) levert een uitdrukking voor \bar{u} ;

$$\frac{\bar{u}}{\sqrt{g\Delta D}} = c \cdot \sqrt{\frac{\Psi}{g}} \quad (7)$$

Met deze vgl. kan, bij een bekende waarde van c , na het bepalen op bovenstaande wijze van Ψ (kritiek) een daarbij behorende kritieke waarde van de over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid bepaald worden.

De waarde van c , de Chézy-coëfficiënt, kan bepaald worden met; (in het hydr. ruwe geval)

$$c = 18 \log\left(\frac{12h}{k}\right) \quad (\text{White -Colebrook}) \quad (8)$$

waarin,

$h =$ waterdiepte ter plaatse van de beschouwde korrel (m)

$k =$ ruweidsmaat (equivalente bodemruwheid) = D_{90} (m)

c kan eveneens bepaald worden met behulp van de formule volgens Hagen/Manning/Strickler, waarbij is uitgegaan van een exponentiële verticale snelheidsverdeling, (eveneens voll. ontwikkelde grenslaag);

$$c = 25 \left(\frac{h}{k}\right)^{1/6} \quad (9)$$

Voor $3,5 < h/k < 700$ benaderen (8) en (9) elkaar.

Invullen van resp. vgl. (8) en (9) in vgl. (7) levert;

$$\frac{\bar{u}}{\sqrt{g \Delta D}} = 5,75 \log\left(\frac{12h}{k}\right) \cdot \sqrt{\Psi} \quad (10)$$

en

$$\frac{\bar{u}}{\sqrt{g \Delta D}} = 7,98 \left(\frac{h}{k}\right)^{1/6} \cdot \sqrt{\Psi} \quad (11)$$

Weerstandsrelaties

De Chézy-waarde C in vgl. (3) kan evt. vervangen worden door een zgn. schuifspanningscoëfficiënt c_f , waarvoor i.g.v. eenparige stroom geldt ;

$$c_f = \frac{2 \cdot g}{C^2} \quad (12)$$

Vgl. (3) wordt hiermee;

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot \rho \cdot \bar{u}^2 \quad (3')$$

De waarde van c_f kan bepaald worden volgens White-Colebrook (vgl.8) met vgl.(12);

$$c_f = 0,06 \cdot \left[\log\left(\frac{12h}{k}\right) \right]^{-2} \quad (13)$$

of in het geval van een zich nog ontwikkelende grenslaag, zoals dat eigenlijk bij de retourstroom het geval is, volgens Schlichting (zie ook par. 4.2.I.A_I);

$$c_f = \left[2,87 + 1,58 \cdot \log\left(\frac{L}{k}\right) \right]^{-2,5} \quad (14)$$

met L = loopweg van een waterdeeltje. (zie bijlage C)

Uitgaande van vgl.(9), type Strickler, wordt c_f m.b.v. vgl.(12):

$$c_f \approx 0,03 \left(\frac{k}{h}\right)^{1/3} \quad (15)$$

I.2 Aanpak analyse

I.2.1 toetsen van c_f -waarde

De uit het opgevangen gewicht bepaalde waarde van c_f wordt vergeleken met die welke theoretisch zou volgen uit de geconstateerde waterbeweging.

De eerstgenoemde zal als volgt bepaald worden;

Uit het opgevangen gewicht (per vaart) kan het transport in m^3 per eenheid van breedte en tijd worden bepaald volgens:

$$q_s = \frac{G_{\text{opgevangen}}}{\rho_s \cdot \Delta t \cdot b} \quad (\text{zie voor meer informatie bijlage B})$$

waarin

b = breedte van de grindvangbak (m)

Δt = de tijd gedurende welke door de retourstroom materiaal in de grindvangbak (g.v.b.) gedeponerd wordt (s). Zie ook bijlage B.

De waarde van de transportparameter volgt uit : $\Phi = \frac{q_s}{\sqrt{g\Delta D^3}}$

$$\text{Samenvoegen levert } \Phi = \frac{G_{\text{opg.}}}{\rho_s \cdot \Delta t \cdot b \cdot \sqrt{g\Delta D^3}} \quad (16)$$

Met vgl.(16) en (5) of (6) wordt de waarde van de schuifspanningsparameter berekend, waarna m.b.v. vgl.(4) en (3'), met $\bar{u} = \hat{u}$, de waarde van c_f bekend wordt.

Deze waarde zal vervolgens vergeleken worden met de c_f -waarde volgend uit de vgl. (13), (14) of (15), van de waterbeweging.

I.2.2 toetsen stabiliteitsrelaties type vgl.(7) bij begin beweging

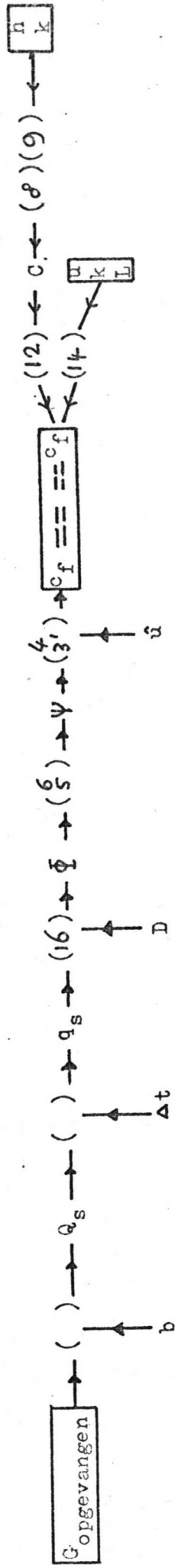
Uit de resultaten van de proeven wordt een waarde van de retourstroomsnelheid waarbij van een begin van beweging gesproken kan worden, de u_{kr} , gedestilleerd.

Met behulp van vgl.type(7) wordt de bijbehorende waarde van de schuifspanningsparameter Ψ bepaald.

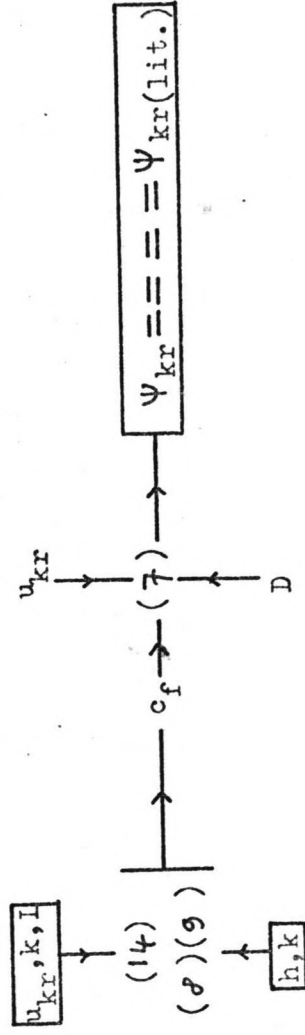
Deze Ψ_{kr} wordt vervolgens vergeleken met de uit literatuur en andere proefnemingen bekende waarden.

Schema opzet uitwerking/vergelijking

Toetsing c_f -waarde



Toetsing Ψ_{kr}



N.B.: alleen variabelen aangegeven.

2 VERZAMELING VAN MEETGEGEVENS

De voor de analyse van het transport door retourstroom benodigde meetgegevens kunnen worden onderscheiden in:

- I -transportmetingen
- II-metingen aan de waterbeweging

In het onderstaande wordt ingegaan op de wijze van vergaring van die gegevens.

2.1 Transportmetingen

Daar gedurende voornoemde proevenreeksen nauwelijks sprake was van erosie van de proefvakken met stortsteen, basalt en betonblokken wordt de analyse beperkt gehouden tot de proefvakken met grind, te weten

vak 7 : grof grind op zand (80-200 mm)

vak 8 : fijn grind op zand (30-80 mm)

In deze beide proefvakken waren twee grindvangbakken aangebracht (fig. 1 en 2), met daaromheen wit en rood gekleurd grind (fig. 3). Een uitgebreide beschrijving van de meetopstelling wordt gegeven in hoofdstuk II van het documentatie-rapport.

De in de grindvangbakken opgevangen hoeveelheden grind kunnen op de volgende wijze als maat voor transport door een bepaalde waterbewegingscomponent beschouwd worden;

grindvangbakken onder : Wit - dit is een maat voor transport door retourstroom

De retourstroom werkt grotendeels in een richting die tegengesteld is aan de vaarrichting. Hierdoor zullen stenen uit het wit gekleurde vak in de grindvangbak gedeponeerd kunnen worden.

Rood - dit is een maat voor het transport door de haalgolf/taludvolgstroom. Als gevolg hiervan kunnen stenen horizontaal in de vaarrichting verplaatst worden. Of de invloed van haalgolf/taludvolgstroom zich tot deze onderste grindvangbak uitstrekt hangt in grote mate af van de grootte van de spiegel daling.

grindvangbakken boven : Wit - dit is een maat voor het transport door de secundaire scheepsgolven.

De richting waarin transport plaatsvindt ligt niet eenduidig vast, doch gesteld kan worden dat het opgevangen wit gekleurde materiaal in de grindvangbakken gedeponneerd is door de "backwash" van de secundaire scheepsgolven op het talud.

Rood - dit is een maat voor het transport door de haal-
golf/taludvolg-
stroom en de secundaire scheeps-
golven (upwash).

In de tabellen 2 a t/m d zijn de aantallen opgevangen stenen (totaal, wit, rood en neutraal), het gezamenlijke gewicht en het gemiddelde gewicht (eveneens uitgesplitst naar kleur) per vaart (toestand T44) gegeven.

In de tabellen 2 e t/m h hetzelfde voor toestand T 22.

2.2 Metingen aan de waterbeweging

-Retourstroomsnelheid-

Voor het ^{bepalen} van de waarden van de retourstroomsnelheid kan gebruik worden gemaakt van de registraties van de 5 Ott-molens die op verticale wijze gerangschikt bij de onderste (grove) grindvangbak geplaatst waren. De exacte plaats van deze meters is weergegeven in figuur 2.

Op de uitvoerplots van de registraties van de SnelheidsMeters (Ott-molens) 33, 34, 41, 42 en 43 zijn de maximale en de gemiddelde waarden van de retourstroomsnelheid bepaald. Vervolgens zijn per vaart daaruit resulterende waarden bepaald volgens:

- in principe de gemiddelde waarde van de 5 registraties,
- indien de registratie van de onderste 2 molens een relatief hogere waarde vertoont, dan wordt het gemiddelde van deze twee aangehouden.

De op deze manier verkregen waarden van de retourstroomsnelheid zijn verzameld in de tabellen Ia (T 22) en Ib (T 44).

-Waterspiegelniveau-

Voor de waterspiegeldaling (z) tijdens T 44 kan de registratie van Golfhoogtemeter (GHM) 3 geraadpleegd worden. De maximale waarden van z zijn verzameld in tabel Ib. Bij de meeste vaarten was er sprake van een maximale spiegel­daling vlak na de boegpassage.

Helaas heeft de samensteller van dit rapport, in de beperkte tijd dat hij de beschikking had over de meetgegevens, verzuimd om voor alle T 22 vaarten \hat{z} uit de registraties te bepalen. De waarde van \hat{z} van de vaarten waarvoor dit wel gedaan is zijn afgelezen van de registratie van GHM 5 (GHM 3 was alleen in T 44 aanwezig), en in tabel Ia weergegeven.

Het ongestoorde waterspiegelniveau, welke gedurende T 44 op N.A.P. -0,20 m lag, verminderd met de waarden uit tabel Ib, levert de hoogte van de water­spiegel boven het talud, per vaart.

3 UITWERKING

3.1 Toetsen c_f -waarde

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 zullen de in de onderste grindvangbakken opgevangen hoeveelheden wit gekleurd materiaal als indicatie dienen voor het transport door de retourstroom (tabellen 2b, d, f en h). De stroomsnelheden worden van de registraties van de SHM's 33, 34, 41, 42 en 43 afgelezen (tabellen Ia en b).

De berekeningen zijn uitgevoerd zoals op blz. 5 is aangegeven, en de resultaten zijn verzameld in tabel 4, voor T 44 Fijn Onder Wit (zie opm. op blz. 8)^x. Daarbij is gesteld dat:

- D = D_{50} van het opgevangen witte grind = 0,057 m. Aangenomen is dat dit een redelijke benadering is van de D_{50} van de toplaag van het wit gekleurde gedeelte (zie bijlage D).
- Δt = 3 seconden. Zie hiervoor bijlage B.
- b = breedte van de grindvangbak = 1,5 m.

T.a.v. de $\Phi - \psi$ -relatie wordt in bijlage B een kanttekening geplaatst.

Laat men de mogelijk toevallige transporten van de vaarten 3, 4 en 5 vooreerst buiten beschouwing, dan blijkt de waarde van c_f volgens de hier gehanteerde berekeningswijze te liggen tussen:

$$\boxed{0,052 \leq c_f \leq 0,096}$$

waarbij c_f tendeert naar lagere waarden bij een toenemende maximale retourstroomsnelheid.

Bij de berekening van c_f volgens White-Colebrook vgl.(I3) en Strickler vgl.(I5) is voor h en k genomen;

h = ongestoorde waterspiegelniveau - spiegeldaling (max). Zie voor procedure blz. 6b.

k = D_{90} van het opgevangen witte fijne grind = 0,064 m.

De c_f -waarde is berekend met de waterdiepten ter plaatse van de boven- en onderrand van de grindvangbak, hetgeen een maximale en een minimale c_f -waarde levert. In tabel 5 zijn de berekeningsresultaten verzameld.

^x(zie ook hfdst.4, par.VI

Bij de berekening volgens Schlichting, vgl. (I4), wordt genomen voor:

L : in eerste instantie wordt hiervoor $x \cdot u / (u + V_s)$ gerekend. Hierin is;

u = gemiddelde stroomsnelheid (m/s).

x = afstand achter de boeg (m). Aangenomen wordt dat de maximale retourstroomsnelheid steeds op ongeveer 20 m achter de boeg optrad. Globaal gezien is dit voor de vaarten 44.08 e.v. een redelijk juiste aanname. Voor de vaarten 44.03, 44.04 en 44.05 is dit minder juist, daar dan het maximum zich voor het hek bevindt. Bij deze vaarten is echter eveneens van een maximum snelheidsgebied achter de boeg sprake, zij het dat daar niet de waarden worden bereikt die voor het hek bereikt worden. In absolute zin heeft dit slechts een geringe invloed op de op deze wijze berekende waarde van c_f .

::: In bijlage C wordt nader ingegaan op de c_f -bepaling m.b.v. Schlichting.

Voorts;

$k = D_{90}$ van het opgevangen witte fijne grind = 0,064 m.

De berekeningsresultaten zijn in tabel 5 verzameld. Samengevat:

	W.-C.	Strickler	Schlichting
t.p.v. bovenrand	0,013 á 0,037	0,014 á 0,028	
t.p.v. onderrand	0,011 á 0,014	0,012 á 0,015	0,012 á 0,014

Worden deze waarden van c_f vergeleken met die zoals die uit het waargenomen transport zijn berekend, dan kan voorlopig geconstateerd worden dat:

c_f berekend met transportrelaties	»	c_f berekend met weerstandrelaties
---	---	---

Op blz. 9 e.v. wordt hier nader op ingegaan.

3.2 Toetsen van relaties van het type van vgl.(7)

In figuur 5 is voor T 44 het per vaart in de onderste fijne grindvangbak opgevangen gewicht aan witte stenen uitgezet tegen de tijdens die vaarten geconstateerde maximale waarden van de retourstroomsnelheid (\hat{u}).

× Voor T 22 grof en fijn onder en T 44 grof onder lijkt het minder zinvol om een dergelijk verband uit te zetten, daar in deze bakken slechts enkele stenen werden opgevangen. Een relatie tussen het gewicht aan opgevangen witte stenen in deze bakken en \hat{u} is in eerste instantie ver te zoeken.^x

In figuur 6 is het per vaart in de onderste bakken opgevangen gewicht aan witte stenen voor T 44 én T 22 uitgezet tegen \hat{u} .

Op grond van de figuren 5 en 6 wordt u_{kr} geschat op 1,15 m/s.

De waarde van h in vgl.(IO) en (II), behorend bij een vaart waarbij $\hat{u} = u_{kr}$, is met behulp van tabel 5 geschat op 0,50 m (bovenrand bak) á 1,00 m (onder-rand bak).

Voorts geldt; $k = D_{90} = 0,064$ m; $D = D_{50} = 0,057$ m.

Invulling in vgl. (IO) en (II) levert:

$$\psi_{kr} = \begin{matrix} 0,009 & \text{á} & 0,011 \\ \text{(onder)} & & \text{(boven)} \end{matrix}$$

In literatuur wordt als waarde voor ψ_{kr} bij uniforme stroming gegeven:

$$\psi_{kr} = 0,03 \text{ (af en toe verplaatsen van korrels)}$$

$$\text{á } 0,055 \text{ (doorgaand transport)}$$

voor fijnkorrelig materiaal ($D=0,5 \text{ á } 1,0$ mm)

Voor grover materiaal zal ψ_{kr} bij begin

beweging ong. 0,06 bedragen .

Voorlopige conclusie : $\psi_{kr}(\text{proef}) < \psi_{kr}(\text{lit.})$

Een andere vergelijkingsmogelijkheid bieden de waarden van u_{kr} . Door de hierboven vastgestelde waarden van h, D, k in de vgl. (7) en (8/9) in te vullen

blijkt bij $\psi_{kr}=0,06$: $u_{kr} \approx 2,65 \text{ á } 3,00$ m/s (resp. bovenr., onderr.)

en bij $\psi_{kr}=0,04$: $u_{kr} \approx 2,17 \text{ á } 2,45$ m/s. > 1,15 m/s.

Op de volgende bladzijden wordt nader op het hierboven geconstateerde verschil ingegaan.

^x(zie hfdst.4, par.VI)

4. NADERE BESCHOUWING RESULTATEN UITWERKING

Om een mogelijke verklaring te vinden voor het in de voorgaande paragraaf geconstateerde verschil tussen de waarden van c_f , berekend uit het opgevangen gewicht aan grind m.b.v. de transportrelaties en die berekend uit de gemeten waterdiepte, korreldiameter en stroomsnelheid m.b.v. de weerstandsrelaties, alsook het verschil tussen de waarden van Ψ_{cr} volgens literatuur en zoals deze bij de proeven bleek te zijn, zal hier dieper worden ingegaan op factoren die de voornoemde verschillen kunnen hebben doen ontstaan.

Achtereenvolgens komen aan de orde:

- I -invloed van de taludhelling op de stabiliteit van de korrels (stenen).
- II -invloed stromingsrichting op de stabiliteit van de korrels.
- III -invloed stromingsrichting en taludhelling op de transportrichting.
- IV -invloed van geringe waterdiepte op stabiliteit en transport.
- V -invloed van de grenslaagontwikkeling en het niet-uniform zijn van de retourstroom.
- VI -interpretatie overige resultaten.

4. I -invloed taludhelling op stabiliteit korrels-

-begin van beweging-

Wanneer de korrels of stenen op een talud liggen dan zullen deze eerder getransporteerd kunnen worden dan wanneer ze op een vlakke bodem liggen.

In bijlage A wordt hierop verder ingegaan. Daar wordt een methode gegeven waarmee de mate van reductie van de schuifspanningsparameter (c_r) kan worden bepaald.

In figuur 1 en 2 is te zien dat de onderste grindvangbakken onder een grotere hoek zijn aangebracht dan oorspronkelijk beoogd was, nl. 1:2,8 (fijn onder) en 1:2,5 (grof onder) i.p.v. 1:4. In hoeverre de ligging van de gekleurde bedjes hiermee overeen stemt is vooralsnog onduidelijk; informatie daarover ontbreekt.

Hoogstens kan een idee omtrent de ligging van het wit gekleurde bedje ter plaatse van fijn onder verkregen worden aan de hand van de peilingresultaten op $X = 310$ m.

De reductiefactor K bepaald volgens vgl. (I') in bijlage A wordt nu:

met $\beta = 90^\circ$ (stroming // talud)

$$\alpha = \arctan(1/2,8)$$

$$\varphi = 37^\circ \text{ (fijn grind)}$$

$$K = 0,83$$

$$\Psi_{cr} = 0,050 \text{ i.p.v. } 0,08$$

Voor het grove grind is K voor de gegeven situatie ongeveer hetzelfde als voor het fijne grind.

Ondanks deze reductie van Ψ_{kr} blijft er nog een aanzienlijk verschil met de Ψ_{kr} -waarde van de proeven.

-transport-

Wanneer op het talud de stenen, bij eenzelfde stroomaanval, eerder verplaatst zullen worden dan op een vlak bed, zal dit verdisconteerd dienen te worden in de transportrelaties (5) en (6).

In de literatuur wordt (nog) geen uitsluitend gegeven over de wijze en mate waarin zulks kan geschieden. Mogelijk zullen de nog te verwachten resultaten van een WL-onderzoek aan transport door eenparige stroom, waarbij een proefbedje op een talud en op een vlakke bodem was aangebracht, meer duidelijkheid verschaffen. In eerste instantie lijkt het redelijk om aan te nemen dat de te hanteren waarde van c_f in de transportrelatie (6) met de factor I/K vermenigvuldigd kan worden om de reële waarden van c_f te verkrijgen. In relatie (5) kan de grenswaarde 0,03 vervangen worden door $0,03 \cdot K$.

De c_f -waarden uit het transport zullen in dit geval een factor K lager uitvallen.

4. II -invloed van de stromingsrichting op stabiliteit korrels op talud

Zoals in par. 4.I.I.I.A en b.v. in lit.5 beschreven staat kan indien een schip langs een talud vaart de richting van de retourstroom lokaal sterk afwijken van de vaarrichting, boven dat talud.

Bij een 2x2-duweenheid kunnen lage-drukgebieden in de omgeving van de boeg en het hek optreden. Bij een vaart langs het talud zal de invloed van deze lage-drukgebieden zich uitstrekken tot boven het talud en zal de retourstroom boven het talud tijdens de passage van die gebieden een component in de richting van het midden van de vaarweg bezitten.

Het effect hiervan op de stabiliteit van het grind op het talud kan wederom m.b.v. vgl.(I') in bijlage A geschat worden. Stelt men β op 60° en de andere grootheden gelijk aan die op de vorige blz. dan wordt:

$$K = 0,64 \rightarrow \psi_{kr} = 0,038$$

Wederom blijft er nog een aanzienlijk verschil bestaan met de ψ_{kr} volgens de proefresultaten.

De richting van de stroom ter plaatse van het grove grind is gedurende de proeven gemeten middels de richtingsindicator "RTM I", welke aangebracht was op de "kerstboom". De registratie van deze meter is door de samensteller van dit stuk niet bestudeerd, daar het in eerste instantie niet in de bedoeling lag om de stroomrichting in deze (korte) analyse te betrekken.

4. III -invloed stromingsrichting en taludhelling op de transportrichting

In bijlage A is getracht een verband op te stellen tussen de richting en sterkte van de stroomaanval, de taludhelling en de transportrichting (vgl. 4 aldaar). Met deze vgl. en $\beta = 90^\circ$ (dus $\lambda = 0^\circ$), en als op blz. I-9 vermeld, $\psi = \psi_{kr}(\text{vlak})$, komt de hoek δ tussen transport- en aanstroomrichting op 24° . (Bij $\beta = 60^\circ$: $\delta = 18^\circ$). Met vgl. 2 aldaar (Fredsoe) en $\beta = 90^\circ$, wordt $\delta = 25^\circ$. (Alles voor fijn grind)

In bijlage B staat beschreven op welke wijze en met behulp van welke aannamen Q_s bepaald kan worden uit het opgevangen gewicht aan witte stenen. Dit is op die plaats alleen gedaan voor het geval dat de transportrichting gelijk is aan de richting van de kanaalas. Indien dit laatste niet het geval is zal de verdeling, loodrecht op de transportrichting, van de strijklengte van de stroomaanval op het bed veranderen.

Zolang de maximale transportafstand steeds kleiner is dan de afstand tussen de bovenstroomse kant van het bed en de rand van de vangbak is er niets aan de hand en kan gesteld worden dat $Q_s = G_{\text{opg.}} / \rho_s$.

Wanneer dit echter niet het geval is, dan behoeft de berekening van Q_s een correctie, welke afhankelijk is van de transportrichting en de maximale transportafstand. Als extreem voorbeeld kan gesteld worden het geval van een transportrichting loodrecht op de kanaalas. Q_s is dan $2 \times G_{\text{opg.}} / \rho_s$. Bij kleine transporten, $10^{-2} < \Phi < 10^{-1}$, resulteert een fout van 100 % in Q_s in een 7 % afwijking van c_f .

Mochten een van de hierbovenaangehaalde (in sub.III) situaties zich voor hebben gedaan, dan zal de benodigde correctie op Q_s in een verhoging van de c_f -waarden resulteren, hetgeen nu juist niet gezocht wordt. Hetzelfde is het geval als veronderstelling Ib van bijlage B opgeld doet. Wat dit betreft zijn de op I-6 gegeven c_f -waarden dus te beschouwen als minimale waarden.

4. IV -invloed van geringe waterdiepte

Achtereenvolgens zal hier, in geval van geringe waterdiepten, worden ingegaan op:

- retourstroomsnelheidsverdeling, loodrecht op kanaalas beschouwd;
- c_f -bepaling op basis van waterdiepte (vgl. 8 en 9);
- invloed van die geringe waterdiepte op ψ_{kr} .

-retourstroomsnelheid bij geringe waterdiepte op talud-

In de uitvoering van de berekeningen is steeds de retourstroomsnelheid zoals die geregistreerd is door de SHM's van de kerstboom ingevuld. De aanvankelijke opzet was dat die kerstboom aangebracht zou worden op een punt dat in het verlengde lag van de verbindingslijn van de middelpunten van de onderste vangbakken.

Dit bleek echter niet te realiseren; zoals op de figuren I en 2 is waar te nemen stond de kerstboom een flink eind meer naar de vaarweg toe.

Het gevolg hiervan is dat, aangezien er ter plaatse van het grind geen andere sh_m 's meer naar de oever toe waren aangebracht, eigenlijk geen volwaardige informatie omtrent de retourstroomsnelheid ter plaatse van de vangbak voorradig is. Wanneer de spiegel daling niet al te groot is geweest zal er weinig verschil hebben bestaan tussen de retourstroomsnelheden ter plaatse van de kerstboom en ter plaatse van de onderste vangbak. Anders is dit bij de vaarten T 44.I4 e.v., waarbij de snijlijn van de (gedaalde) waterspiegel met het talud dicht bij de bovenrand van de vangbak lag. Beschouwd loodrecht op de kanaalas zal de retourstroomsnelheid langs de breedte van de bak gevarieerd hebben, en een andere waarde (gemiddeld) hebben gehad dan ter plaatse van de kerstboom.

Theoretisch bekeken zou dan de c_f -waarde volgend uit de berekeningen uitgaande van het opgevangen gewicht nog groter zijn. (tabel 5)

c_f -bepaling op basis van waterdiepte op talud-

De lokale waarde van c_f is o.m. bepaald m.b.v. de formules (8) en (9) met (12). De formules ter bepaling van de Chézy-waarde hebben betrekking op de weerstand van de gehele begrenzing van een open waterloop. Bij brede lopen kan de waterdiepte in de formules worden ingevoerd (de waterdiepte van de loop), doch wanneer $(R/h)^{\frac{1}{2}}$ noemenswaardig afwijkt van 1 dient de hydraulische straal R i.p.v. h ingevoerd te worden. Bij een trapeziumvormig kanaal is dan de invloed van de taluds als begrenzing van de stroom niet te verwaarlozen.

Op het talud zal van een snelheidsprofiel dat gelijkvormig is met dat van een eenparige stroming over een hor. bodem waarschijnlijk geen sprake zijn.

Dit is echter wel uitgangspunt van vgl. (8) en (9). Naarmate dichter bij de waterspiegel op het talud zal de afwijking van het snelheidsprofiel groter zijn.

Uit een zeepvliesanalogie (Prandtl) bleek dat i.g.v. een trapeziumvormig kanaal de waarde van de schuifspanning op het talud een maximum bereikt op ongeveer $h/3$ boven de bodem van dat kanaal, en daarboven afneemt tot nul ter plaatse van de waterspiegel. Volgens Lane is de schuifspanning op een talud evenredig met de diepte onder de waterlijn en met de cosinus van de lokale helling t.o.v. de horizontaal.

In welke mate dit ook het geval zal zijn bij retourstroom veroorzaakt door een

vaart langs de teen van een talud is nog onduidelijk. Wel zal de afname van groter zijn naarmate dichter bij de waterspiegel, waarmee dus rekening gehouden dient te worden bij vaarten waarbij een grote spiegeldaling optrad.

Afname van c_f betekent dat, bij gebruik van vgl.(3'), de waarde van c_f volgens vgl. (I3) en (I5) minder dient toe te nemen dan de waarde van u^2 afneemt.

Gezien het causale verband tussen u en de spiegeldaling (dus relatief grotere waterdiepte op hogere plaatsen waar de u vermindert) zal c_f volgens vgl.(I3) en (I5) niet zo sterk toenemen als de berekeningen toonden (tabel 4).

Omdat er ter hoogte van de grindvangbakken (onder) geen metingen zijn verricht naar verloop van u , h en transport (over de breedte) is hier omtrent deze kwestie niets concreter te vermelden.

Bij de behandeling, hier onder, van de invloed van geringe waterdiepte op Ψ_{kr} wordt ingegaan op de ruwheid bij geringe waterdiepte.

-invloed geringe waterdiepte op Ψ_{kr} -

Bij stroming waarbij de waterdiepte minder is dan enige malen de steendiameter zullen, a.g.v. intensieve energiedissipatie achter de stenen, de ruwheid en Ψ_{kr} bij afnemende waterdiepte relatief in waarde toenemen.

Dit werd o.a. in 1973 door Ashida en Bayazit geconstateerd.

Een relatieve toename van de ruwheidsfactor, dus een afname van C , heeft volgens relatie (7) een toenemende vermindering van u_{kr} bij afnemende waterdiepte tot gevolg. Een toename van Ψ_{kr} daarentegen juist een vermeerdering van u_{kr} . Het gecombineerde effect is zodanig dat u_{kr} voor afnemende h/D -waarden minder sterk afneemt dan volgens vgl.(7) het geval zou zijn. (Lit.2).

De onnauwkeurigheid in stabiliteitsberekeningen bij zeer geringe waterdiepten zal groot zijn, daar als gevolg van beluchting van de stroom en plaatselijke stroomconcentraties de verticale snelheidsprofielen onregelmatig van vorm zullen zijn, en zeker niet puur logaritmisch. Bovendien is de waterdiepte lastig te definieëren doordat het wateroppervlak zeer onregelmatig zal zijn.

Bedacht dient te worden dat het hier vermelde gebaseerd is op metingen aan stromingen op langshellingen.

Op grond van het bovenstaande kan gesteld worden dat:

-relaties/waarnemingen die op een stroom over een langshelling betrekking hebben behoeven niet zonder meer geldig te zijn voor het geval van een stroom langs een talud. Het is dus de vraag of, met afnemende waterdiepte op het talud, de waarden van c_f zo sterk toeneemt en de waarde van u_{kr} in die mate afneemt als volgens de theorie het geval zou zijn.

-in het algemeen op het hogere deel van het talud de schuifspanning afneemt met de waterdiepte;

-in geval van geringe waterdiepte, h/D kleiner dan 5, ψ_{kr} toeneemt;

-op grond hiervan verwacht kan worden dat van de in de vangbak terechtgekomen stenen tijdens de vaarten T 44.I4 e.v. een relatief groter deel van meer lager gelegen delen van het gekleurde bed afkomstig waren.

De waarde van Q_s is dan groter geweest dan i.g.v. een over de breedte evenredige transportverdeling. Zoals echter reeds op blz. II is vermeld, is de invloed van een foute aanname in de berekening van Q_s gering.

-bij vaarten met een grote spiegeldaling zal de werkelijke retourstroomsnelheid ter plaatse van de onderste vangbak kleiner dan die ter plaatse van de kerstboom geweest zijn. Dit houdt in dat de c_f -waarde berekend uit het transport nog groter is en daarmee het verschil met de c_f uit de weerstandrelaties.

4. V -invloed grenslaagontwikkeling en het niet-uniforme karakter van de retourstro-

-grenslaagontwikkeling in uniforme stroming-

De grootte van de schuifspanningen die door het stromende water op de stenen worden uitgeoefend wordt in belangrijke mate bepaald door de mate van ontwikkeling van de grenslaag.

In het geval van een retourstroom, zoals die wordt veroorzaakt door een varenschip, worden de waterdeeltjes eerst bij de boeg versneld vanuit stilstand. Een grenslaag dient zich dus nog volledig te ontwikkelen. Nu is tot op heden slechts weinig onderzoek verricht naar de grenslaagontwikkeling in de retourstroom. Echter, een idee omtrent dat gebeuren kan verkregen worden uit het proces van grenslaagontwikkeling bij een plaat die in langsrichting in een uniform stromingsveld geplaatst is. (zie Schlichting, lit.9).

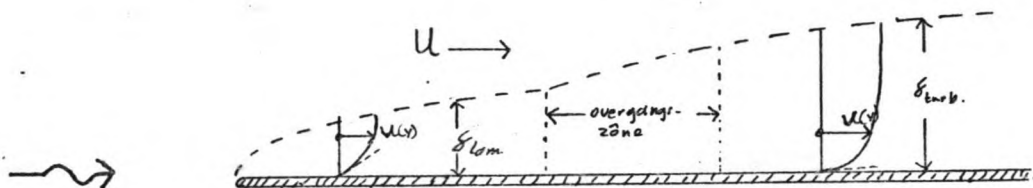
In de onderstaande figuur is de grenslaagontwikkeling voor zo'n geval weergegeven. Achtereenvolgens is te onderscheiden:

-aan de bovenstroomse rand van de plaat ontbreekt de grenslaag. Rechthoekig snelheidsprofiel.

-pal benedenstrooms daarvan vormt zich een laminaire grenslaag. Het snelheidsprofiel is hier parabolisch.

na een overgangszône, waarin de stroming in de grenslaag van laminair overgaat in turbulent, ontwikkelt zich verder een turbulente grenslaag. Hier neemt de snelheidsverdeling (vert.) gaandeweg een log. vorm aan. De grenslaagdikte (δ) neemt met de afstand van de bovenstroomse rand toe. (lit.9 ;

$$\delta(x) = 0,37 \cdot \left(\frac{U \cdot x}{\nu}\right)^{-0,5}$$



ontwikkeling van de grenslaag langs een plaat (vergroete veert. schaal)

Bij een gladde wand zal ook in het turbulente gebied in een dunne laag bij de wand laminaire stroming aanwezig zijn (laminaire sublaag).

In de praktijk, wanneer de wand vrij lang is, kunnen de afmetingen van de laminaire (sub-)lagen in de weerstandsberekeningen worden verwaarloosd.

-loopwegbepaling, c_f -berekening m.b.v. vgl. Schlichting-

Wanneer nu het verloop van de verticale snelheidsverdeling in langsrichting in de grenslaag bekend is, dan kan m.b.v. continuïteits- en impulsbeschouwingen de weerstand die de wand op het water uitoefent berekend worden.

Schlichting (lit.9) stelde, uitgaande van eerdere waarnemingen aan buisstromingen, een empirische relatie op voor de lokale waarde van c_f' voor een plaat in uniforme stroming;

$$c_f'^{0,5} = (2,87 + 1,58 \log(L/D))^{-2,5} \quad (I4) \text{ (zie ook blz. 4)}$$

Hierin is L de door de deeltjes afgelegde weg, i.g.v. de uniforme stroom dus de afstand van de beschouwde dsn. tot de bovenstroomse rand van de plaat/wand. De formule geldt voor een hydraulisch ruwe plaat,^x en voor $10^2 < L/D < 10^6$ (D is de (equivalente) korreldiameter).

In bijlage C wordt nader ingegaan op de bepaling van de loopweg.

Het is gebruikelijk om de loopweg in de retourstroom te bepalen m.b.v. de aldaar gegeven vgl.(I4a), hetgeen inhoudt dat de over de passageduur gemiddelde retourstroomsnelheid gehanteerd wordt. Zoals op blz. I-7 is gemeld zijn de c_f' berekeningen hier op deze wijze uitgevoerd voor een plaats op 20 m achter de boeg

^x(Dit is het geval als $Re_x = u_x \cdot D/\nu > 600$, hetgeen hier praktisch meteen na de boegpassage het geval is.

De aanname dat de retourstroom een uniform karakter draagt is, zeker bij de snellere vaarten langs het talud, echter niet juist. Zoals gezegd versnellen de waterdeeltjes ter hoogte van de boeg tot een bepaalde maximale snelheid, waarna ze weer enigszins vertragen.

Een loopwegberekening, waarbij gedurende het eerste deel van de passage een sinusvormig verloop van de retourstroomsnelheid is verondersteld, is in bijlage D weergegeven.

De daaruit volgende loopweg ter plaatse van het maximum van de retourstroomsnelheid is kleiner dan volgens vgl.(I4a) bepaald, doch het effect hiervan op de waarde van c_f is slechts gering.

Het is echter de vraag of de maximale schuifspanning gelijktijdig met de maximale retourstroomsnelheid optreedt.

Onderzoekingen in het W.L. (behandeld in lit.7) toonden dat bij een vaart met een duwstel langs een talud het transport veroorzaakt door de retourstroom gedurende de allereerste fase van de passage, nog voordat de maximale retourstroomsnelheid was bereikt, het grootst was. Zo dus ook de waarde van de schuifspanning.

Een betrekking waarmee de plaats van de maximale schuifspanning kan worden bepaald is (nog) niet voorhanden. Een aanname die wel eens gedaan wordt is dat die plaats

zich ongeveer op $0,05 \times$ de scheepslengte achter de boeg bevindt^x (hier dus $7,65$ m). Invoering van deze waarde i.p.v. 20 m in de aanvankelijk hier gebruikte vgl.(I4') van bijlage D resulteert in een toename van c_f' met enkele tientallen % (b.v. voor T 44.17 wordt $c_f' = 0,017$).

Wordt daarentegen uitgegaan van de loopwegbepaling aan de hand van de sinusvormige retourstroomsnelheidsverdeling, dan wordt de toename van c_f' al bijna 100 %, daar de loopweg dan sterker is afgenomen dan in vgl.(I4a). (T 44.17 - $c_f' = 0,022$)

Er blijft nochtans een aanzienlijk verschil bestaan tussen de c_f' -waarden uit het transport bepaald en die welke met vgl.(I4) berekend zijn.

Tijdens de hierboven reeds ter sprake gebrachte onderzoekingen in het W.L. was het mogelijk om het transport te koppelen aan de plaats t.o.v. de boeg. De waarden van c_f' uit q_s' bepaald, doch met de lokale waarde van de retourstroomsnelheid, bleken toen vrij aardig overeen te stemmen met de c_f' -waarden berekend met vgl.(I4') (hierin dus de gemiddelde snelheid van de retourstroom).

^x(zie ook doc.rapport blz.4.4.I3)

Tijdens de Oebes-proeven was het echter niet mogelijk om het momentane transport te bepalen. Was dit wel mogelijk geweest, en bleek dan inderdaad dat het transport vooral in de eerste fase plaats vond, dus bij lage stroomsnelheid, dan zouden de uit dat momentane transport bepaalde waarden van c_f' deels fors hoger uitvallen dan die van tabel 4.

Nu zouden de c_f' waarden bepaald met vgl(I4) bij een geringe loopweg (welke volgens de sinusvormige snelheidsverdeling kleiner is dan volgens (I4a)) eveneens hoog kunnen oplopen. Het probleem is echter, en daar had men in het lab. geen last van wegens de gekozen korreldiameters, dat al gauw het door Schlichting aangegeven geldigheidsgebied ($10^2 < (L/D) < 10^6$) wordt onderschreden.

Uit de ondergrens volgt dat hier de loopweg groter moet zijn dan 6,4 m, hetgeen resulteert in een maximale waarde van c_f' van 0,011, fors minder dan de c_f' waarden uit het transport. (N.B. :bij de berekening van de in tabel 5 gepresenteerde c_f' waarden is geen rekening gehouden met de loopwegbeperking.)

Geconcludeerd kan dus worden dat toepassing in deze analyse van vgl. (I4) eigenlijk niet goed mogelijk is omdat

- voldoende informatie omtrent het momentane transport ontbreekt;
- per definitie de loopweg te kort is.

(natuurlijk eveneens per definitie doordat de stroom niet uniform is; de lab. proeven toonden echter dat overeenstemming kan worden bereikt door de gemiddeld snelheid te hanteren, zoals hiervoor is uiteengezet.)

-grenslaagontwikkeling in versnellende stroom-

Een mogelijke oorzaak van de geconstateerde hoge c_f' waarden zou kunnen liggen in het ontwikkelingsproces van de grenslaag in de versnellende stroom, dus na de boegpassage. Hierover is slechts weinig bekend. Wel kan het volgende berekend worden:

In een uniforme stroming neemt de grenslaagdikte toe met de afstand tot de bovenstroomse rand van de plaat. Dit is reeds op blz. I-15 beschreven.

Onderzoekingen (lit.9) toonden bovendien aan dat de grenslaag dikte afhankelijk is van de (uniforme) stroomsnelheid; naarmate de stroomsnelheid kleiner is zal de dikte van de zich ontwikkelende grenslaag op een bepaalde afstand groter zijn.

Nu verandert in de eerste periode van de retourstroom de stroomsnelheid van klein naar groot, hetgeen betekent dat de grenslaagdikte minder snel toeneemt dan bij uniforme stroom het geval zou zijn.

Op grond hiervan kan verwacht worden dat, op eenzelfde afstand van de bovenstroomse rand, in een versnellende stroom de waarde van de schuifspanningssnelheid u_x t.o.v. de lokale stroomsnelheid u , groter is dan bij een uniforme stroom. Het geval zou zijn. Hiermee is dan eveneens de waarde van c_f' groter in een versnellende stroom.

In principe was de kerstboom (fig.2) geplaatst om een goede indruk te kunnen verkrijgen in de ontwikkeling van het verticale snelheidsprofiel. Zoals op de figuur te zien is, is de plaats waar de kerstboom uiteindelijk aangebracht kon worden niet op een lijn die door de middelpunten van de onderste grindvangbakken gaat, hetgeen de bedoeling was. De onderste SHM is daarbij veel te hoog terechtgekomen, waardoor geen gegevens over de bodemsnelheid verkregen zijn.

Ter afsluiting wordt er nog op gewezen dat variatie, na de boegpassage, van de stromingsrichting van invloed kan zijn op de grenslaagontwikkeling.

4.VI -interpretatie overige resultaten (T 44 G.O., T 22 F.O. en G.O.)

De uitwerking van de gegevens (hfdst.3) is beperkt gebleven tot de resultaten van T 44 F.O.. Zoals op blz.8 is gezegd, is een relatie tussen de enkele stenen die in G.O. (T 22 en T 44) en F.O. (T 22) zijn opgevangen en de geconstateerde retourstroomsnelheden ver te zoeken.

Er zijn echter wel enige conclusies te verbinden aan het in deze gevallen (niet) geconstateerde transport:

G.O. T 44 : u_{kr} is groter dan $\approx 1,45$ m/s (tabel Ib en 2d)

De transporten bij vaarten waarbij de \hat{u} lager was, worden als toevallig beschouwd.

(N.B.; dat bij vaart I9, ondanks de hogere \hat{u} , geen transport werd geconstateerd kan toegeschreven worden aan de kleinere spiegeldaling bij vaart I9 in vergelijking tot vaart I7. Hierover later meer.

F.O. T 22 : u_{kr} is groter dan 1,30 m/s (tabel Ia en 2f)

De verplaatsingen in vaart I3 en I4 worden als toevallig aangemerkt, daar vaart I6 geen transport gaf.

G.O. T 22 : u_{kr} is groter dan 1,30 m/s. (tabel Ia en 2h)

Overwegingen als boven.

Helaas zijn door de samensteller van dit rapport niet alle spiegeldalingen van T22 uit het meetbestand opgemeten (zie ook blz.6b).

Wel bleek dat de plaats van de maximale retourstroomsnelheid bij T 22 veel verder van de boeg af lag dan bij T 44. De retourstroomsnelheid verliep tijdens T 22-vaarten gelijdelijker, de versnellingen na boegpassage waren geringer dan bij T 44, en (op grond van het gestelde in par.V) de grenslaag zal t.p.v. het maximum verder ontwikkeld zijn dan bij T 44.

+relatie u_{kr} van fijn en grof grind T 44+

Met de overwegingen dat ; - de c_f waarden tijdens de proeven T 44 voor grof grind en fijn grind vrijwel gelijk waren (invloed k compenseert invloed h)

$$- \Psi_{kr(\text{fijn})} = \Psi_{kr(\text{grof})}$$

geldt op grond van vgl.(7):

$$u_{kr(\text{grof})} = \sqrt{\frac{D_{\text{grof}}}{D_{\text{fijn}}}} \cdot u_{kr(\text{fijn})}$$

Met $u_{kr(\text{grof})} > 1,45 \text{ m/s}$ levert dit : $u_{kr(\text{fijn})} > 1,20 \text{ m/s}$

nadere beschouwing u_{kr} T 44 F.O.+

Als er een zwaar gewicht wordt toegekend aan het non-transport van F.O. T 44 vaart no. I2 en I3, dan is te stellen (fig. 5a) dat $u_{kr(\text{fijn})} > 1,30 \text{ m/s}$ (i.p.v. 1,15 m/s)

Vergelijking van vaart I2 met vaart I6 toont eenzelfde \hat{u} en \bar{u} , doch een grotere \hat{z} bij I6 (tabel Ib), waaruit het verschil in transport te verklaren is.

Een vergelijking van I3 met I5 laat daarentegen een grotere \bar{u} en \hat{z} voor I3 zien. Van invloed zou dan kunnen zijn geweest de afstand S tussen vaarlijn en meetlijn ($Y = 0$, zie fig. I en 2), welke bij I5 zo'n 5 m kleiner is geweest dan bij I3.

Het transport van vaart II zou verklaard kunnen worden uit het feit dat deze vaart de eerste op de betreffende meetdag met een dergelijke waarde van \hat{u} was. De vaart ervoor, T 44.I0, had een lagere \hat{u} , welke zich bovendien ter hoogte van het hek bevond. Het transportverschil van vaart II en I2, I3 is waarschijnlijk te wijten aan een kleinere S, en aan een eventueel kritisch liggen van enkele stenen a.g.v. waterbeweging in de periode tussen vaart 9 en I0 (nacht).

uiteindelijke schatting u_{kr} †

Op grond van het bovenstaande zal het duidelijk zijn dat niet zonder meer een waarde van u_{kr} bepaald kan worden. Van grote invloed zijn:

- de plaats van de maximale retourstroomsnelheid, en daarmee de grenslaagontwikkeling;
- de afstand van de vaarlijn tot de meetlijn;
- de spiegel daling;
- richting van de retourstroom.

Gezien de onderlinge afhankelijkheid van deze aspecten kan de aparte invloed ervan niet worden vastgesteld, althans niet op grond van deze proeven.

Voor de toestanden afzonderlijk kan het volgende geconcludeerd worden;

T 22 - Fijn : $u_{kr} > 1,30 \text{ m/s}$

Grof : $u_{kr} > 1,30 \text{ m/s}$

T 44 - Fijn : $u_{kr} \approx 1,20 \text{ á } 1,30 \text{ m/s}$, afhankelijk van de hierboven genoemde aspecten

Grof : $u_{kr} \approx 1,45 \text{ m/s}$, zie N.B. op blz. I8a. Verder overwegingen als bij fijn.

herwaardering Ψ_{kr}

T 44 F.O. : de nu aangenomen waarde van u_{kr} resulteert in $\Psi_{kr} = 0,012$ (onder)
 á $0,017$ (boven)

G.O. : op grond van transport 44.I7 : $\Psi_{kr} = 0,011$ (onder)
 á $0,020$ (boven)

T 22 F.O. : daar onvoldoende informatie omtrent de \hat{z} voorhanden is, is geen
 G.O. schatting van Ψ_{kr} gemaakt. Op grond van de wel bekende waarden van
 \hat{z} zou verwacht kunnen worden dat de spiegeldaling (max) gerelateerd
 aan de max. retourstroomsnelheid in T 22 en T 44 ongeveer gelijk is.
 Dit resulteert in Ψ -waarden als bij T 44 voor F.O.. Het nadeel van
 de relaties van Strickler en W.-C. blijkt nu dat daarin niet de
 invloed van de plaats van het maximum naar voren komt.

5 RECAPITULATIE, HERTOETSING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN5.I Recapitulatie

Op grond van hetgeen hoofdstuk 4 naar voren is gebracht kan het volgende gesteld worden:

De waarde van c_f volgend uit het opgevangen gewicht aan witte stenen in de grindvangbak Fijn Onder zal;

- a- waarschijnlijk hoger zijn dan de aanvankelijk bepaalde waarde, wanneer er tijdens de betreffende vaart sprake was van een zodanig grote spiegeldaling dat de retourstroomsnelheid boven de bak lager was dan die t.p.v. de "kerstboom". (par.IV, zie ook punt d)
- b- hoger zijn dan de aanvankelijk bepaalde waarde, indien, a.g.v. de τ -verdeling of ψ_{kr} -verdeling (bij $\frac{h}{D} < 5$), het merendeel van het opgevangen transport van meer lager gelegen delen van het bed afkomstig is geweest. Dan zal Q_s immers groter zijn en daarmee, volgens de hier gehanteerde relaties en bij eenzelfde u , ook c_f . (par.IV)
- c- hoger zijn dan de aanvankelijk bepaalde waarde, indien de transportafstand groter is dan de strijklengte van de retourstroom over het (gekleurde) bed. (par.III, bijlage B)
- d- mogelijk varieëren over de breedte. Dit is afhankelijk van de verhouding van de retourstroomsnelheidsverdeling tot de transportverdeling, beide loodrecht op de stroomrichting.
- e- lager zijn dan de aanvankelijk bepaalde waarde, indien met de mogelijkheid, dat een bepaalde mate van transport van stenen op een talud bij lagere -waarden plaats vindt dan wanneer die stenen op een vlakke bodem lagen, rekening gehouden wordt. (par. I en II)

Inzake de c_f bepaling naar de waterdiepte, m.b.v. vgl.(I3) en (I5), kan opgemerkt worden dat;

- f- de gehanteerde relaties , die feitelijk betrekking hebben op eenparige stroming op een langshelling, niet zonder meer geldig behoeven te zijn voor de stroom langs een talud. (par.IV)
- g- i.g.v. grote spiegeldalingen de c_f waarde t.p.v. de bovenrand, a.g.v. van een rel. kleinere spiegeldaling aldaar dan bij de onderrand, minder hoog zal zijn dan aanvankelijk bepaald. Dit^{is} echter ook afhankelijk van de mate waarin de ruwheid bij kleine waterdiepten verandert. (par.IV)

h- in deze relaties niet de invloed van de plaats van de maximale retourstroomsnelheid tot uiting komt. De resultaten van de overige (T 22) proeven toonden dat dit echter wel van belang kan zijn. (par.VI, ook aansluitend op hetgeen in par. V te berde is gebracht, zie ook punt k hieronder)

Inzake de c_f bepaling naar de loopweg van de waterdeeltjes, m.b.v. vgl.(I4), kan opgemerkt worden dat;

i- hantering op de gebruikelijke wijze, met $x \cdot \bar{u} / (\bar{u} + V_g)$ als de loopweg, in principieel niet juist is. De stroming is zeker niet uniform te noemen en de loopweg is in werkelijkheid veel kleiner. (par.V)

j- de voor de loopweg opgegeven geldigheid inhoudt dat de lokale waarde van c_f niet groter dan 0,011 kan worden. (par.V)

Voorts kan nog gesteld worden dat;

k- er bestaan redenen om te veronderstellen dat de lokale c_f -waarde gedurende de stroomversnelling na de boegpassage fors groter is dan uit de toepassing van de hier gebruikte relaties volgt. Dit beeld kan corresponderen met hetgeen eerder in lab. proeven (WL) is geconstateerd, nl. dat het maximale transport vlak na de boegpassage optreedt. (par.V)

l- na heroverwegingen de waarden van u_{kr} en Ψ_{kr} van T 44 F.O. hoger geschat kunnen worden dan aanvankelijk is gedaan, zij het niet veel. (par.VI)

m- de geconstateerde (non-) transporten bij T 22 F.O. en G.O. en T 44 G.O. niet strijdig zijn met het transport bij T 44 F.O. (par.VI)

In de volgende paragraaf zal getracht worden de consequenties van het bovenstaande voor de in hfdst.3 gemaakte vergelijking van c_f en Ψ_{kr} .

5.2 Hertoetsing c_f en Ψ_{kr}

Op grond van het onder de punten a t/m d gestelde zou de c_f -waarde volgend uit het opgevangen gewicht fors hoger kunnen zijn dan aanvankelijk bepaald is. In hoeverre dit echter het geval zou kunnen zijn is, met de ter hand staande gegevens, hier niet te bepalen. Het ontbreekt immers aan gegevens betreffende:

- +verdeling Q_s over de breedte; de transportafstand;
- +verdeling van de retourstroomsnelheid over de breedte en hoogte, vooral bij lagere waterstand op het bed;

De invloed van de taludhelling op de omvang van het transport (punt e) is eveneens niet met zekerheid vast te stellen. Wordt, zoals in hfdst.4 par.I

geopperd, gesteld dat op het talud eenzelfde hoeveelheid transport als op een vlakke bodem plaatsvindt indien $\Psi_{\text{talud}} = (I/K) \cdot \Psi_{\text{vlak}}$ (als voor de waarde van Ψ_{kr}), dan worden de c_f -waarden met zo'n 17% verminderd.

Deze reductie zou groter kunnen zijn als de stroomrichting een component naar de vaarweg toe had bezeten. Een richtingafwijking houdt tevens een hogere werkelijke stroomsnelheid in, daar de SHM's slechts in I richting meten. Er zijn door de samensteller van dit rapport echter geen gegevens hierover verzameld (zie opm. op blz.7).

Een reductie van c_f (tabel 4) kan verkregen worden indien de D_{50} van het gestorte i.p.v. het opgevangen grind gehanteerd wordt. Deze reductie ($I/I,33$) kan echter, naar oordeel van de samensteller van dit rapport, niet terecht toegepast worden. Daarvoor is het geconstateerde verschil te structureel (zie bijlage D). Bovendien is de reductie, zelfs in combinatie met de reductie a.g.v. de taludhelling, bij lange na niet toereikend.

Conclusie tot zover: ondanks een vrij grote reductie, a.g.v. de taludhelling, blijft er een groot verschil bestaan tussen de c_f -waarden vgl. transport en die bepaald zijn uit de waterdiepten/loopweg. Bovendien is dan zelfs een mogelijke verhoging van de transport- c_f , a.g.v. a t/m d, buiten beschouwing gelaten.

Ook de geconstateerde waarde van Ψ_{kr} blijft sterk verschillen van die vlgs. de literatuur.

Overeenstemming kan, op grond van de gebruikte vgl., verkregen worden door aan te nemen dat de c_f -waarde volgens waterdiepte/loopweg aanzienlijk hoger dient te zijn geweest.

Dit sluit dan aan bij het onder k) gestelde, nl. dat de c_f -waarde in een versnellende stroom relatief groter is dan deze is in een eenparige stroom. De c_f -bepaling op grond van de waterdiepte biedt hieraan geen uitdrukkingsmogelijkheid. (punt h). Bovendien kan aan de geldigheid daarvan getwijfeld worden. De c_f -bepaling op grond van de loopweg van een waterdeeltje langs een wand biedt daarentegen meer aanknopng, zij het dat dan geweld moet worden gedaan aan de oorspronkelijke geldigheidsbepalingen van vgl.(I4). (punt i en j). De hoge waarden van de c_f uit het transport bepaald kunnen echter met (I4) nog niet bereikt worden.

Een hogere waarde van c_f resulteert in hogere waarden van Ψ_{kr} volgens vgl.(7), waardoor ook wat dat betreft overeenstemming kan worden behaald.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

5.3.1 Conclusies-

- Uitwerking van de beschikbare meetgegevens toont, aan de hand van de in deze studie gehanteerde theorie (hfdst.I), dat de c_f -waarden die bepaald zijn op grond van het opgevangen gewicht enige malen de c_f -waarden die op basis van de waterdiepte/loopweg bepaald zijn bedragen. (blz.24)
- De waarde van Ψ_{kr} volgens literatuur is enige malen groter dan de in de proeven gebleken waarde daarvan. (blz.24)
- De bovenstaande twee zaken zijn van toepassing wanneer er zich ter hoogte van de boeg een versnellingsgebied van de retourstroom bevindt, hetgeen in dit geval bij de vaarten langs de teen van het talud het geval was.
- Toepassing van de relaties voor c_f -bepaling op basis van waterdiepte/loopweg is in strijd met hun geldigheid. (blz.22, f, i en j)
- De hogere c_f -waarden zijn waarschijnlijk te wijten aan de achterblijvende grenslaagontwikkeling in het versnellingsgebied na de boegpassage. (blz.14 e.v., 23 en 24)
- Wordt wel uitgegaan van de theorie op basis van eenparige/uniforme stroming, dan liggen, in het geval van Teen Talud, de c_f -waarden rond 0,05 á 0,06.

5.3.2 Aanbevelingen-

Door verschillende oorzaken zijn er geen "hardere" conclusies te trekken.

Te noemen zijn:

- de afmetingen van de grindvangbak waren zodanig dat het niet mogelijk was om zeer kleine transporten te kunnen constateren. Dit betekent dat de lokale bedvorm van relatief grote invloed op de geconstateerde transporten kan zijn geweest. (bijl. B)
- de plaats van de stroommeters op de "kerstboom" was zodanig dat de stroomsnelheid bij de bodem niet gemeten kon worden. Bovendien, en dat is nadelig wanneer er sprake was van grote spiegeldaling, stond de "kerstboom" een flink eind (in Y-richting beschouwd) van de onderste fijne grindvangbak. (fig. I en 2)
- er is geen informatie voorhanden betreffende:
 - verdeling transport over de breedte.
 - moment van transport.
 - transportafstand (-verdeling)
 - snelheidsprofielen in breedte en hoogte t.p.v. proefbedjes.

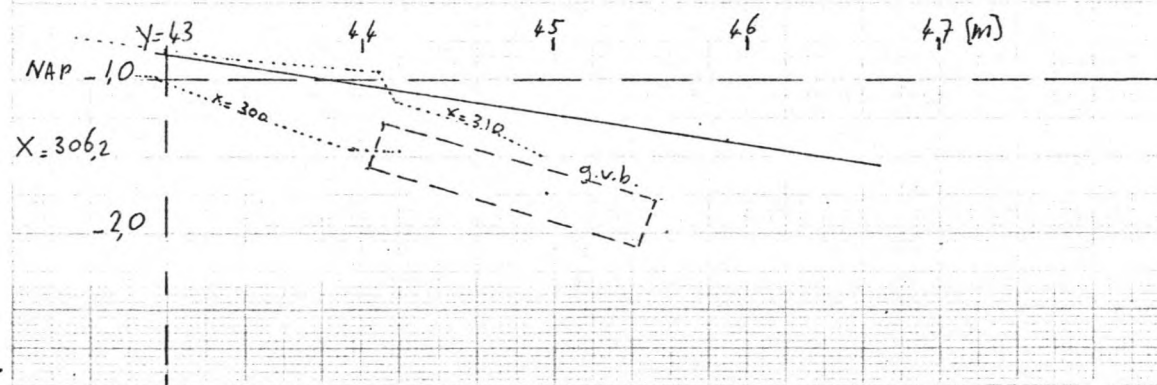
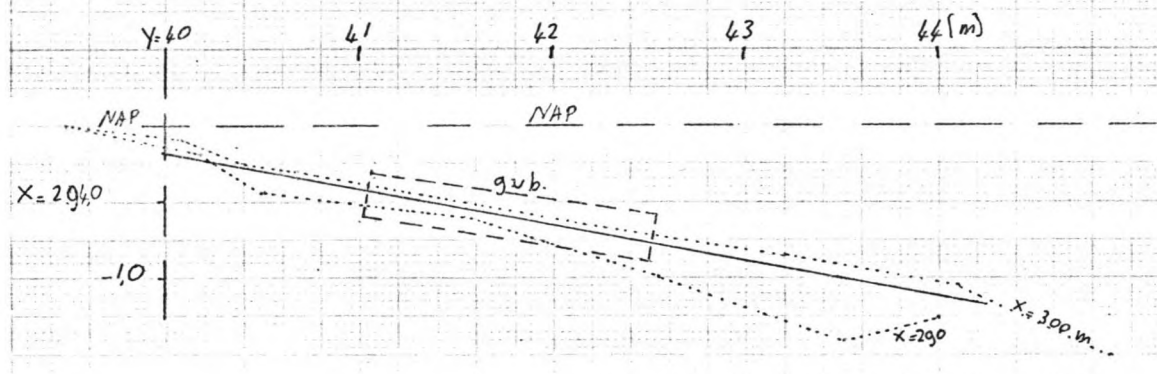
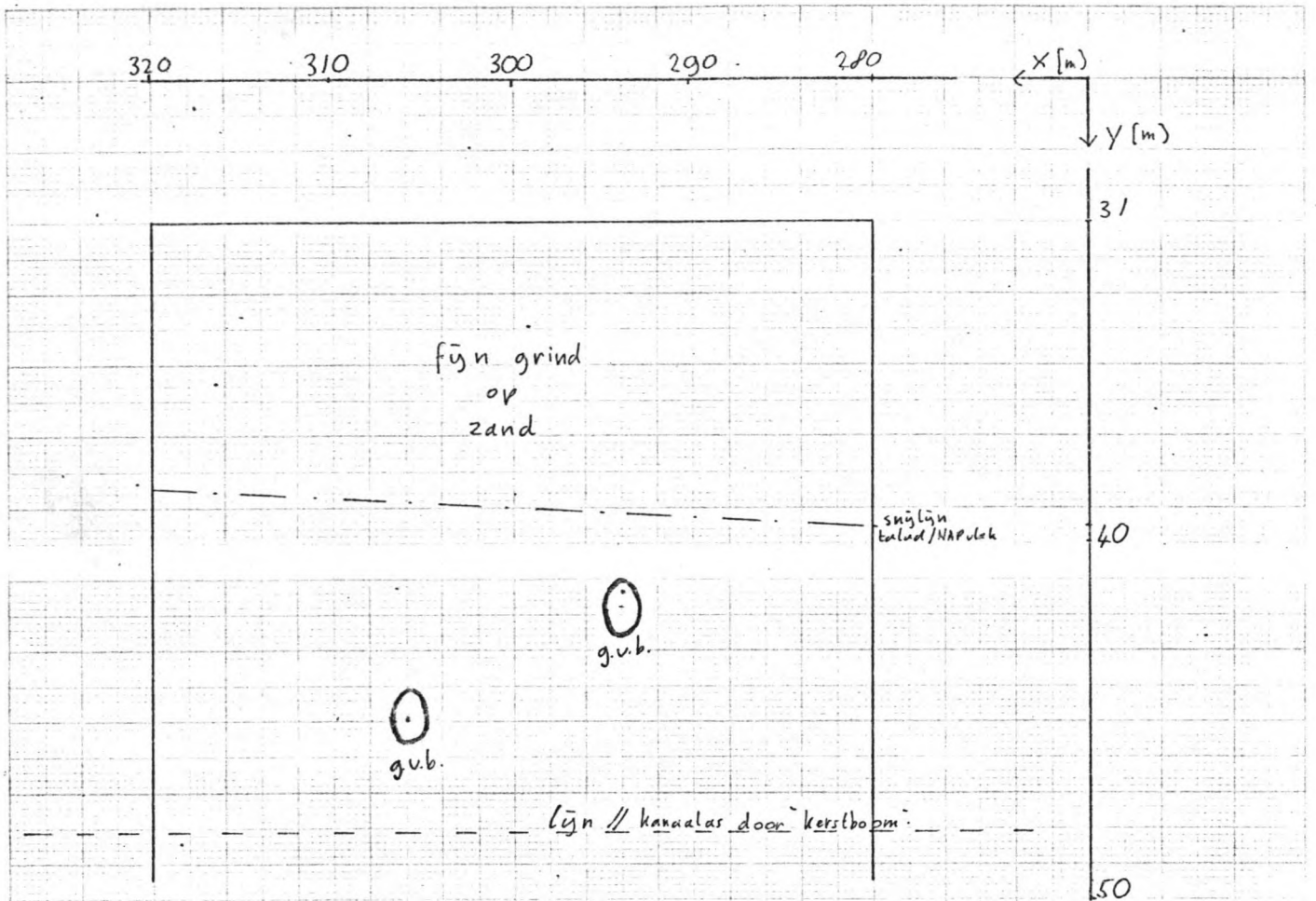
- i.t.t. tot de opzet onder de meer lager gelegen delen van het grindvak stortsteen i.p.v. zand lag, hetgeen lokale onregelmatigheden in de bedvorm veroorzaakte
 - de samensteller van dit rapport heeft geen gebruik gemaakt van de registratie van de richtingmeter op de "kerstboom". (zie opm. blz. 10)
 - deze analyse beperkt is gebleven tot de toestanden T 22 en T 44. De resultaten van de 6-baksvaarten kunnen mogelijk voor meer herkenning van verbanden zorgen.
- Bovendien bestaat er onduidelijkheid omtrent de D_{50} en D_{90} van het grind (zie bijlage C).

Indien, zoals momenteel nog in de bedoeling ligt, vervolgprouven op het Hartelkanaal uitgevoerd gaan worden, dan is, om beter interpreteerbare resultaten inzake transport door retourstroom te verkrijgen, voor te stellen dat:

- de proefvakken, als de bakken, cirkelvormig uitgevoerd worden. De strijklengte van de stroom op de gekleurde stenen is dan over de breedte gelijk.
- de bakken zelf in vakjes onderverdeeld worden. Er kan dan meer inzicht in de transportverdeling, loodrecht op de transportrichting, verkregen worden.
- een voorziening aangebracht wordt, waarmee de "kerstboom" op de juiste plaats gesitueerd kan worden, nl. op een punt dat op de lijn, die de middelpunten van de onderste grindvangbakken verbindt, ligt.
- de proefbedden van te voren zodanig geëgaliseerd worden dat lokale steile hellingen, vooral dicht bij de vangbak, vermeden worden.
- om de mogelijkheid om de transportrelaties te kunnen toetsen te scheppen zou een proefvak met nog fijner grind aangebracht kunnen worden. (zie ook Bjl. B)
- een zeefanalyse gemaakt wordt van het materiaal vóór de aanvang van de proeven, wanneer er een vrij lange periode tussen de aanleg en de proeven ligt. (zie ook bijlage D)
- stroomsnelheidsmeters geplaatst worden op enige afstand ter weerszijden van de "kerstboom" t.p.v. het grove grind of op overeenkomende plaatsen
- metingen worden verricht naar het momentane transport. Mogelijk zou dit op akoestische wijze kunnen geschieden.

Bij deze lijst dient de kanttekening gemaakt te worden dat het hier handelt om prototype-proeven. Dit betekent dat van prettige laboratorium-omstandigheden vaak geen sprake zal zijn, zoals de OeBes '81 proeven aantoonde (b.v. plaats kerstboom). Lokale condities kunnen een optimale meetopstelling bemoeilijken.

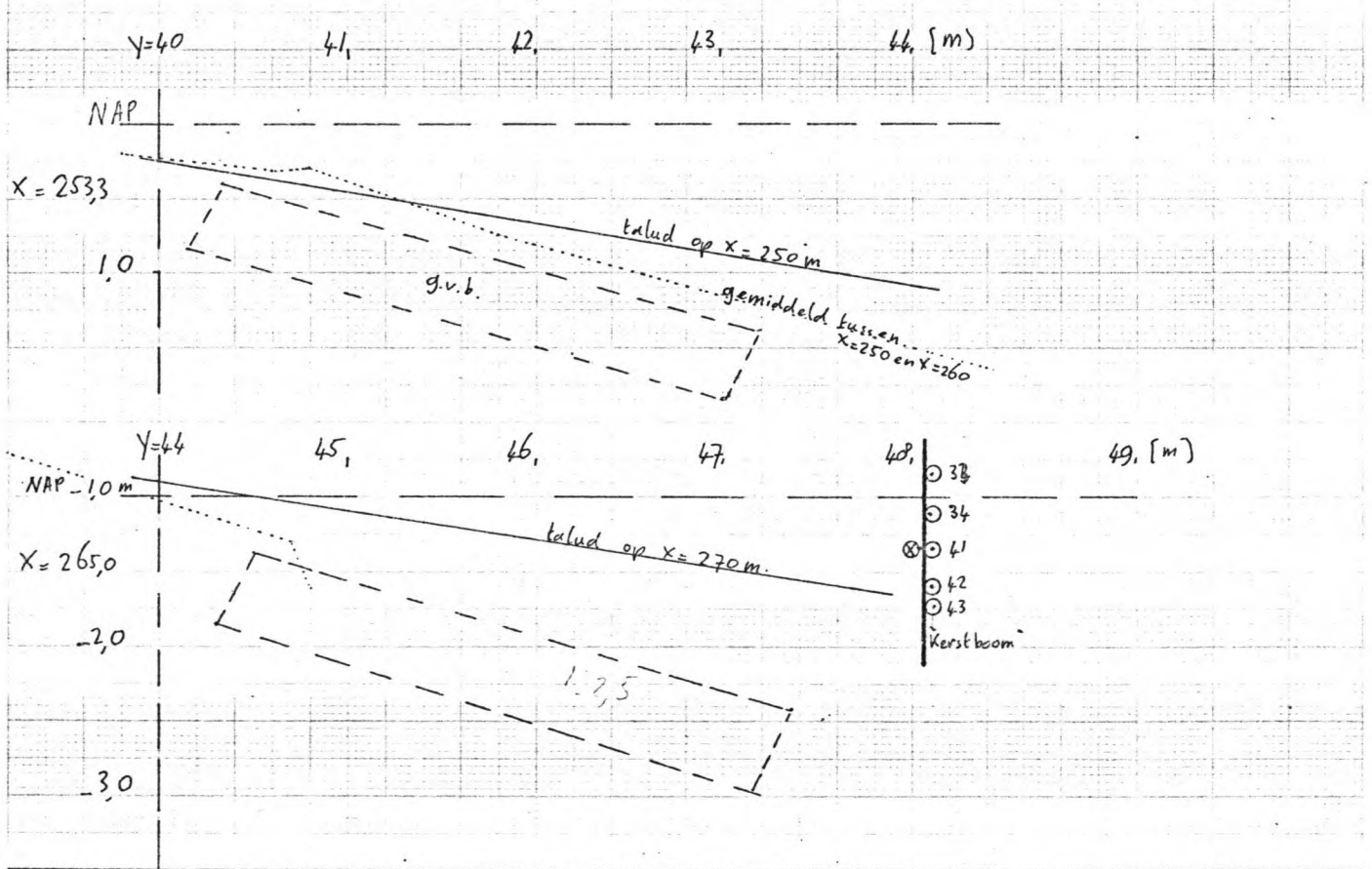
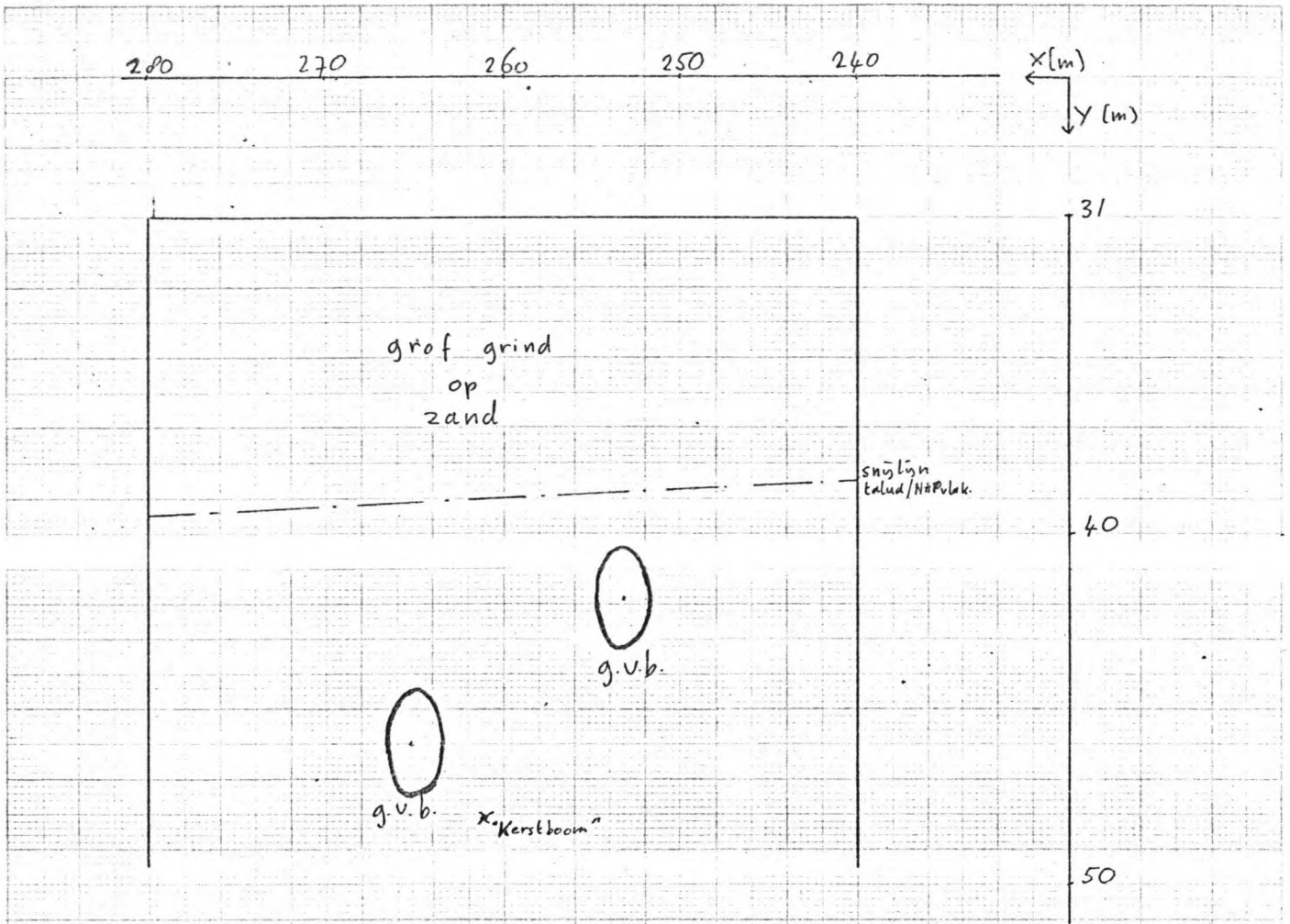




Plaats grindvangbakken vak 8

fijn grind

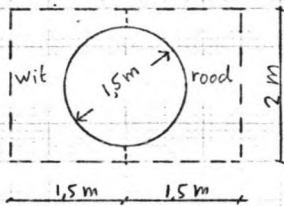
Fig. 1



Plaats grind vangbakken vak 7

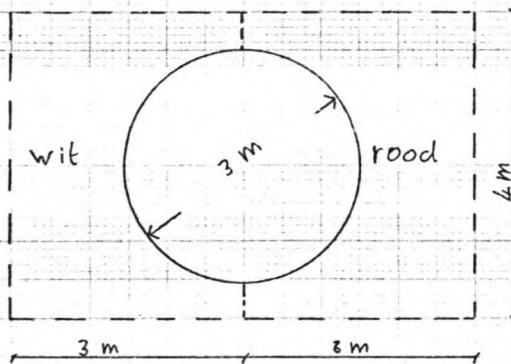
grof grind

Fig. 2



Vak 8 fijn grind

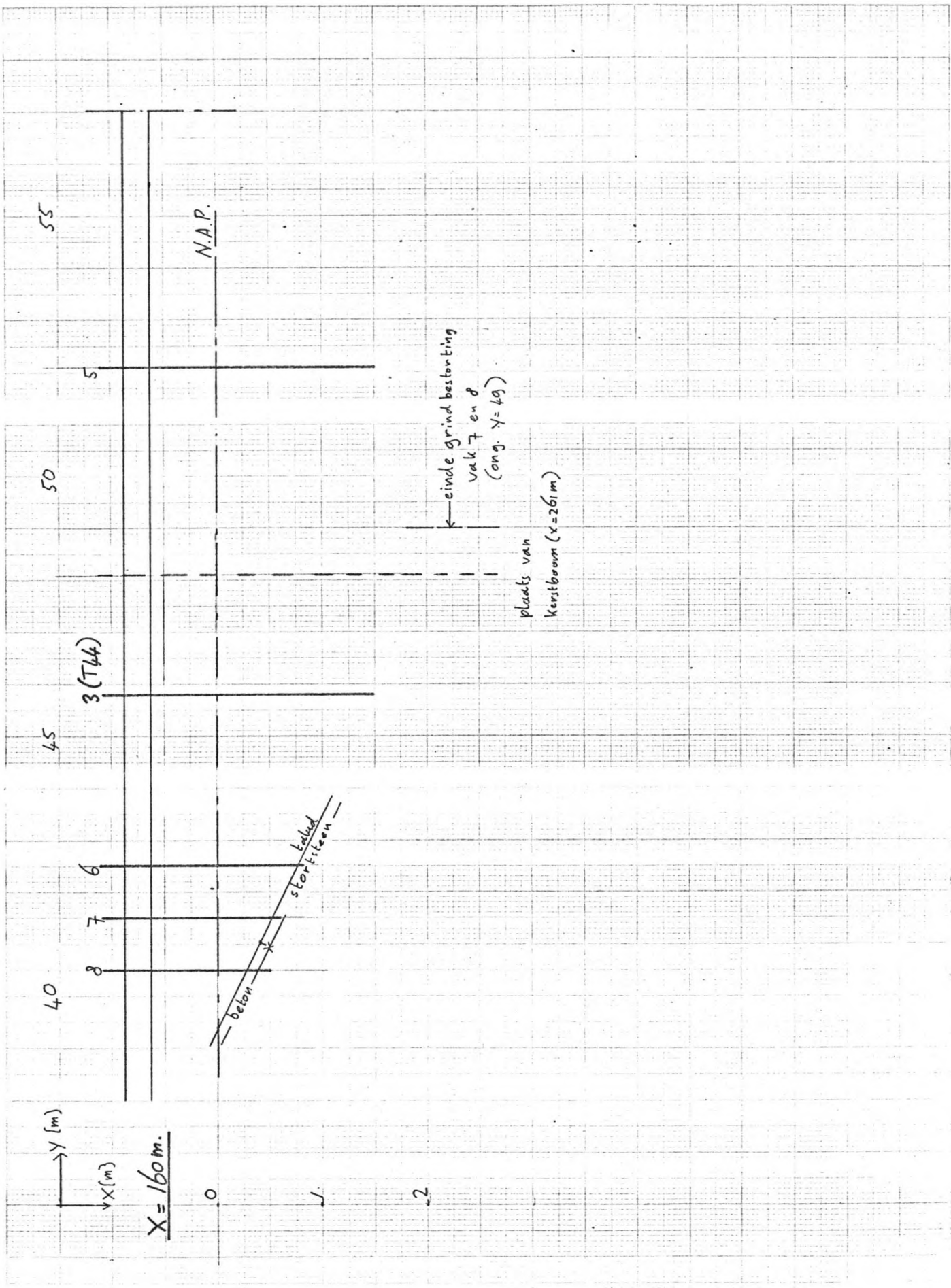
← Vaarrichting



Vak 7 grof grind

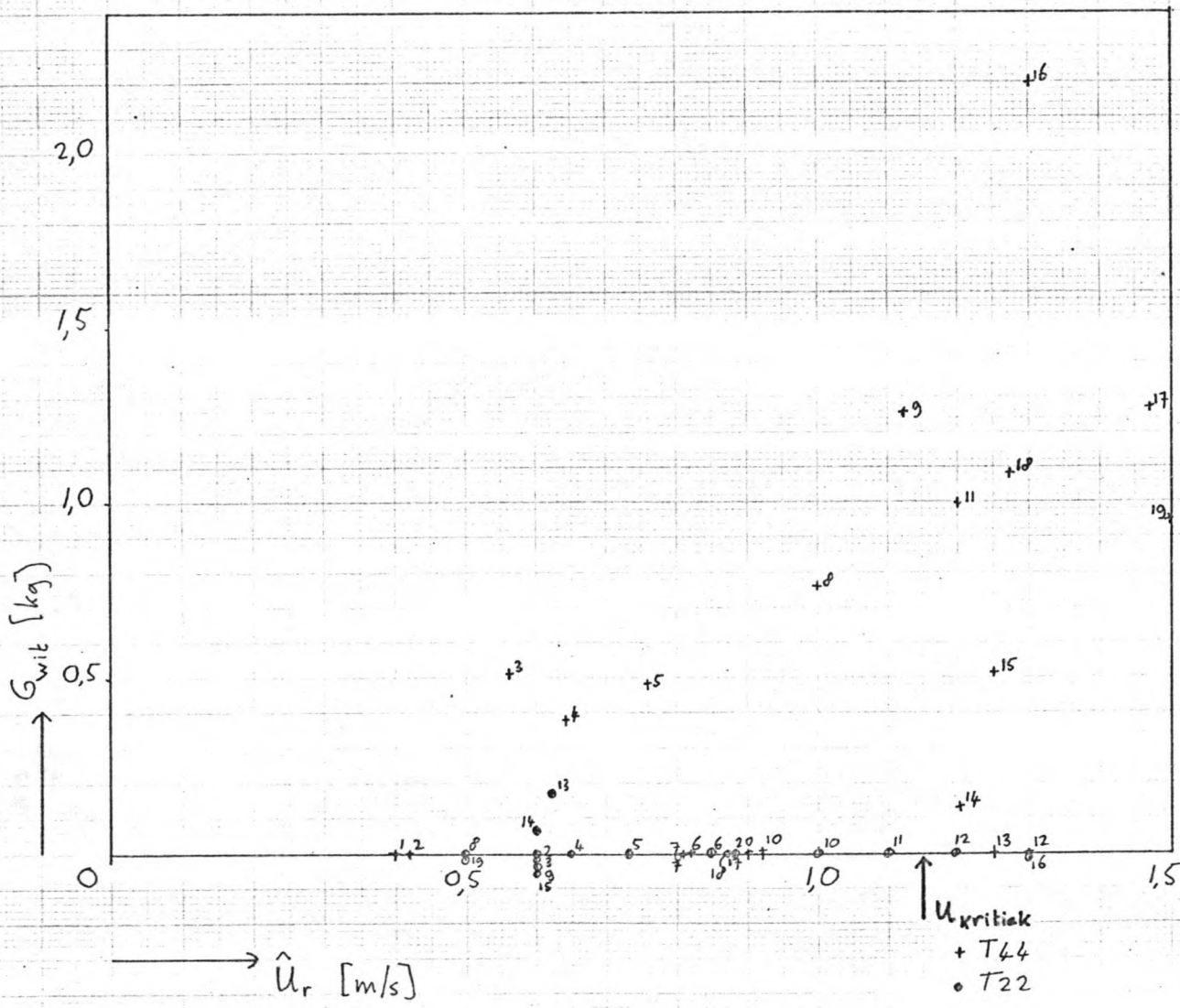
← Vaarrichting

Afmetingen gekleurde grindvakken vak 7 en 8



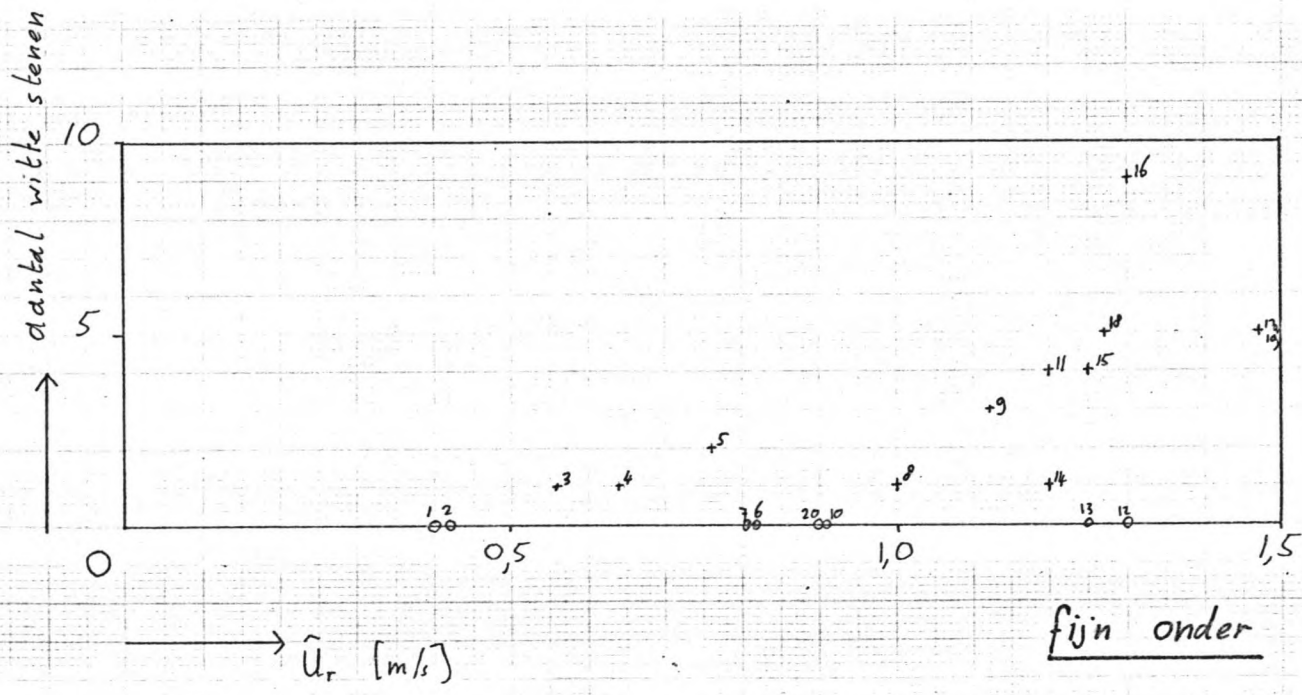
Positie capacatieve staven 5 t/m 8 (T22/40)
 en 3 (T44)

Fig. 4.



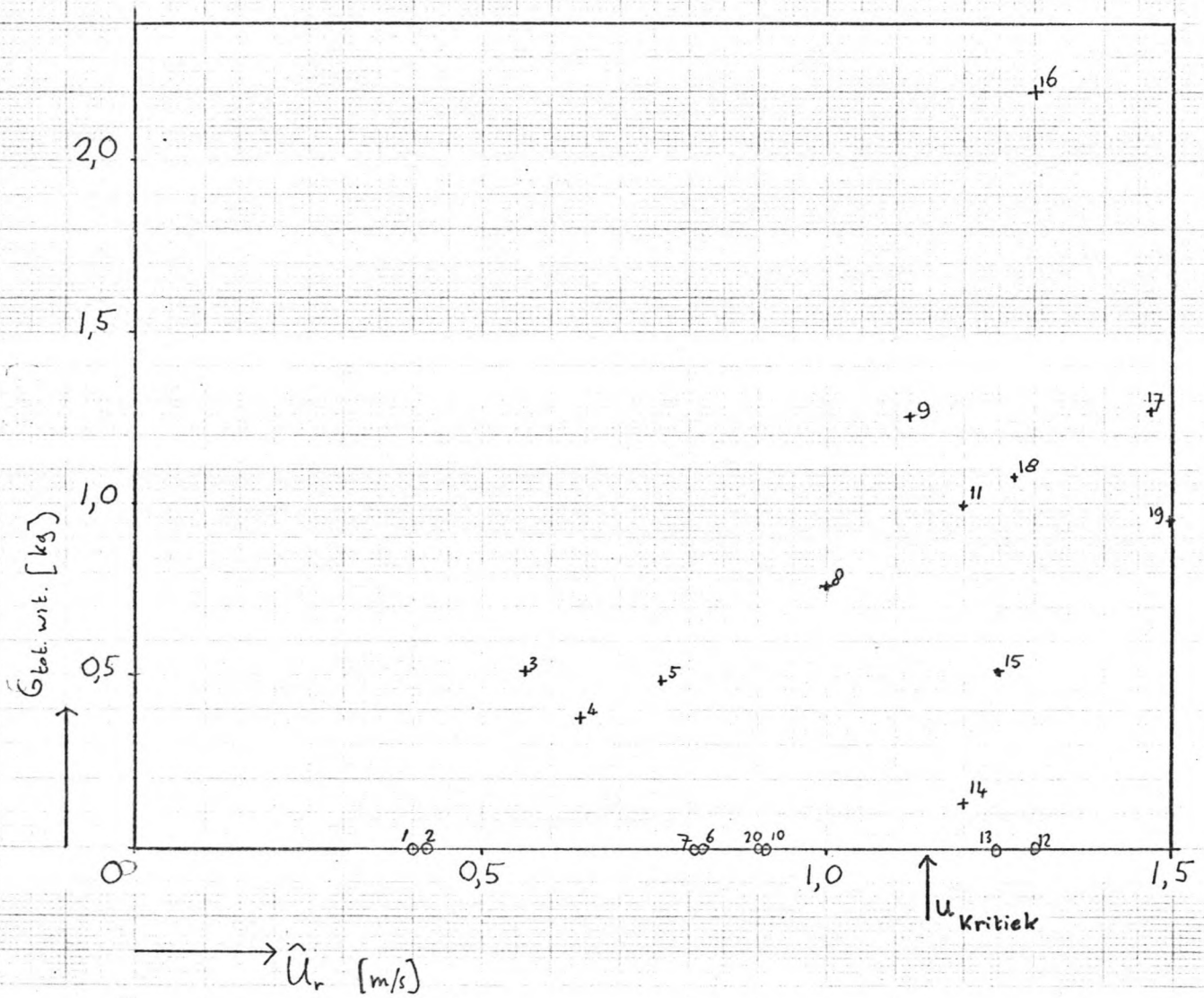
$G_{wit} - \hat{u}_r$

T22, T44 | Fig. 5a
Fijn Onder



Aantal witte stenen - \hat{u}_r

T44	Fig. 5b
-----	---------



$G_{\text{totaal wit}} - U_{r \text{ max}}$

T44

Fig. 6

fijn onder

LITERATUURLIJST

- 1 - Gessler, J. I97I Beginning and ceasing of sediment motion,
River Mechanics, chapter 7, redactie Shen, H.W.
- 2 - Wat.Lab.Delft I98I M I74I dl.I, Steenstabiliteit van afsluitdammen bij
strooamaanval, methode van verticale opbouw, verslag
literatuuronderzoek.
- 3 - Fredsoe, J. I978 Sedimentation of river navigation channels, Proc.ASCE
I04 HY 2, pg. 223-236.
- 4 - Stevens, M.A. I97I Stability analysis for coarse granular material on
slopes, River Mechanics, chapter I7, redactie Shen, H.W.
 Simons, D.B.
- 5 - Wat.Lab.Delft I98I M III5 dl.X, Aantasting van dwarsprofielen in vaar-
wegen: Erosie door retourstroom, verslag literatuur-
onderzoek.
- 6 - Wat.Lab.Delft I963 M 7II dl.II, Stroombestendigheid sluitgatrempel, brede
kruin, verslag modelonderzoek.
- 7 - Kaa, E.J.v.d. I979 Waterloopkundige aantasting van oeververdedigingen,
Kust- en oeverwerken in praktijk en theorie. Vereni-
ging van Kust- en Oeverwerken.
- 8 - RWS, Deltadienst I98I Nota DD.WWO 8I-20.00I, Compartimenteringswerken Oos-
terschelde: Evaluatie stortsteenconstructies.

TABEL Ia

T 22

vaart no.	\hat{u} (m/s)	\bar{u} (m/s)	V_s (m/s)	S (m)	\hat{z}^{xx} (m)
01	g.o.	g.o.	2,67	98,2	
02	0,60	0,60	3,08	95,7	
03	0,60	0,60	3,31	102,2	
04	0,65	0,63	3,33	100,3	
05	0,73	0,67	3,63	94,3	
06	0,85	0,77	4,01	101,0	
07	0,80	0,75	4,08	105,3	
08	0,50	0,45	2,96	97,0	
09	0,60	0,57	3,39	98,7	
10	1,00	0,90	4,08	93,8	
11	1,10	0,97	4,14	104,1	0,60
12	1,20	0,82	4,17	96,8	0,72
13	0,62	0,52	4,16	102,8	
14 ^x	0,60	0,50	4,20	95,8	0,72
15 ^x	0,60	0,55	4,17	100,1	0,63
16	1,30	1,07	4,15	93,8	
17	0,88	0,78	3,80	95,5	
18	0,87	0,77	3,54	94,6	
19	0,50	0,50	2,56	100,2	

\hat{u} - max. retourstroomsnelheid, zoals gemeten door SHM 33-42

\bar{u} - gem. retourstroomsnelheid, zoals gemeten door SHM 33-42

V_s - gem. vaarsnelheid

S - afstand vaarlijn tot meetlijn ($Y = 0$)

x - voor deze vaarten was slechts de registratie van I SHM beschikbaar.

xx- zie opmerking op blz. 6b.

TABEL Ib

T 44

vaart no.	\hat{u} (m/s)	\bar{u} (m/s)	\hat{z} (m)	V_s (m/s)	S (m)
01	0,40	0,40	0,20	2,63	79,9
02	0,42	0,42	0,25	2,75	80,3
03	0,56	0,50	0,35	2,97	78,8
04	0,64	0,60	0,40	3,14	82,0
05	0,76	0,70	0,45	3,32	81,1
06	0,82	0,75	0,38	3,50	79,0
07	0,81	0,76	0,45	3,64	83,6
08	1,00	0,81	0,46	3,82	79,2
09	1,12	0,85	0,53	3,80	76,8
10	0,91	0,77	0,65	3,76	78,6
11	1,20	0,90	0,67	3,83	79,4
12	1,30	1,00	0,80	3,99	81,2
13	1,25	1,02	0,80	4,05	82,2
14	1,20	0,98	0,85	4,15	82,6
15	1,25	0,89	0,75	3,82	76,7
16	1,30	1,00	0,92	4,00	77,4
17	1,47	1,15	1,00	4,07	81,8
18	1,27	g.o.	g.o.	4,07	g.o.
19	1,50	1,13	0,90	4,00	82,4
20	0,90	0,74	g.o.	3,79	79,8

\hat{u} - max. retourstroomsnelheid, zoals gemeten door SHM 33-42

\bar{u} - gem. retourstroomsnelheid, zoals gemeten door SHM 33-42

\hat{z} - max. spiegeldaling, zoals gemeten door GHM 3

V_s - gem. vaarsnelheid

S - afstand vaarlijn tot meetlijn ($Y = 0$)

TABEL 2a

T 44

FIJN BOVEN

vaart no.	G _{tot.} (kg)	n	G _{tot} (kg)	G _{wit} (kg)	n	G _{wit} (kg)	G _{rood} (kg)	n	G _{rood} (kg)	G _{neutr} (kg)	n	G _{neut} (kg)
01	0,288	3	0,096	0,164	2	0,082	0,124	1	0,124	-	-	-
02	0,103	1	0,103	0,103	1	0,103	-	-	-	-	-	-
03	1,065	4	0,266	1,005	3	0,335	0,060	1	0,060	-	-	-
04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05	0,680	2	0,340	0,680	2	0,340	-	-	-	-	-	-
06	1,157	8	0,145	0,493	4	0,123	0,664	4	0,166	-	-	-
07	0,325	2	0,163	0,012	1	0,012	0,313	1	0,313	-	-	-
08	9,850	42	0,235	0,958	5	0,192	6,719	31	0,217	2,180	6	0,363
09	60,497	425	0,111	7,003	179	0,060	34,201	266	0,168	19,293	106	0,182
10	6,576	31	0,212	0,875	6	0,146	5,701	25	0,228	-	-	-
11	44,256	352	0,126	2,103	21	0,100	36,443	303	0,120	5,702	28	0,204
12	6,955	51	0,136	0,585	2	0,293	4,840	43	0,113	1,530	6	0,255
13	5,384	43	0,125	0,419	3	0,140	3,603	35	0,103	1,362	5	0,272
14	17,217	138	0,125	0,049	2	0,025	10,549	92	0,115	6,619	44	0,150
15	60,979	486	0,125	5,250	46	0,114	22,857	211	0,108	32,872	229	0,144
16	51,850	488	0,106	1,559	15	0,077	23,484	236	0,100	26,807	237	0,113
17	16,634	138	0,121	0,179	3	0,060	5,575	40	0,139	10,880	95	0,115
18	22,948	193	0,119									
19	14,430	121	0,119									
20	0,923	8	0,115									

geen onderscheid naar kleur meer gemaakt^x

^x (dit is gedaan omdat het merendeel van de gekleurde stenen inmiddels verwijderd was door de stroom/golfaanvallen vande voorgaande vaarten

TABEL 2c

GROF BOVEN

T 44

vaart no.	G _{tot} (kg)	n	G _{tot} (kg)	G _{wit} (kg)	n	G _{wit} (kg)	G _{rood} (kg)	n	G _{rood} (kg)	G _{neut} (kg)	n	G _{neut} (kg)
01	4,840	5	0,968	2,937	2	1,469	0,389	1	0,389	1,514	2	0,757
02	6,154	1	6,154	-	-	-	-	-	-	6,154	1	6,154
03	0,280	2	0,140	-	-	-	-	-	-	0,280	2	0,140
04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06	1,884	2	0,942	1,884	2	0,942	-	-	-	-	-	-
07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08	0,991	2	0,496	0,434	1	0,434	-	-	-	0,557	1	0,557
09	18,954	16	1,185	1,084	3	0,361	17,850	12	1,488	0,020	1	0,020
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	1,025	1	1,025	-	-	-	-	-	-	1,025	1	1,025
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,330	2	0,165	-	-	-	0,330	2	0,165	-	-	-
15	5,152	6	0,859	0,450	1	0,450	4,702	5	0,940	-	-	-
16	29,955	24	1,248	4,320	4	1,080	13,665	13	1,051	11,970	7	1,710
17	11,359	9	1,262	-	-	-	2,730	7	0,390	8,629	2	4,315
18	13,782	5	2,756	-	-	-	1,715	3	0,572	12,067	2	6,034
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,262	1	0,131	-	-	-	0,262	1	0,262	-	-	-

TABEL 2d

GROF ONDER

T 44

vaart no.	G _{tot} (kg)	n	G _{tot} (kg)	G _{wit} (kg)	n	G _{wit} (kg)	G _{rood} (kg)	n	G _{rood} (kg)	G _{neut} (kg)	n	G _{neut} (kg)
01	1,961	1	1,961	1,961	1	1,961	-	-	-	-	-	-
07	1,335	1	1,335	-	-	-	1,335	1	1,335	-	-	-
08	1,456	1	1,456	-	-	-	1,456	1	1,456	-	-	-
09	1,545	1	1,545	-	-	-	1,545	1	1,545	-	-	-
10	1,147	2	0,574	1,147	2	0,574	-	-	-	-	-	-
11	3,505 ^x	2	1,752	2,760 ^x	1	2,760	0,745	1	0,745	-	-	-
15	1,836	2	0,918	-	-	-	1,240	1	1,240	0,596	1	0,596
16	2,090	4	0,522	-	-	-	2,090	4	0,523	-	-	-
17	3,074	3	1,025	0,583	1	0,583	2,491	2	1,246	-	-	-
18	2,180	1	2,180	-	-	-	-	-	-	2,180	1	2,180

Vaarten 2 t/m 6, 12 t/m 14, 19 en 20 : geen transport opgevangen.

^x(vermoedelijk is hier een zeef- of weegfout gemaakt, daar deze relatief vrij zware (witte) steen genoteerd staat op het analyse-formulier als hebbende een diameter tussen de 0,052 en 0,078 m in. Dit lijkt erg onwaarschijnlijk.

TABEL 2e

FIJN BOVEN

T 22

vaart no.	G _{tot}	n	G _{tot}	G _{wit}	n	G _{wit}	G _{rood}	n	G _{rood}	G _{neut}	n	G _{neut}
02 ^x	0,142	2	0,071	0,126	1	0,126	0,016	1	0,016	-	-	-
03 ^x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04 ^x	1,272	8	0,159	0,826	6	0,138	0,397	2	0,190	-	-	-
05 ^x	2,200	12	0,183	0,228	2	0,144	1,972	10	0,197	-	-	-
06 ^x	3,159	9	0,351	1,230	3	0,041	1,519	5	0,304	0,410	1	0,410
07 ^x	0,496	2	0,248	0,248	1	0,248	0,248	1	0,248	-	-	-
08	geen transportmetingen verricht											
09	geen transportmetingen verricht											
10	0,796	4	0,199	0,512	3	0,171	0,283	1	0,283	-	-	-
11	1,488	6	0,248	0,490	2	0,245	0,900	4	0,225	-	-	-
12	2,834	13	0,218	2,326	8	0,291	0,608	5	0,122	-	-	-
13	0,536	4	0,134	-	-	-	0,535	4	0,134	-	-	-
14	0,712	4	0,178	0,360	3	0,120	0,351	1	0,351	-	-	-
15	3,434	17	0,202	0,206	2	0,103	2,051	10	0,205	1,175	5	0,235
16	1,696	8	0,212	0,465	2	0,233	1,231	6	0,308	-	-	-
17	0,310	2	0,155	0,310	2	0,155	-	-	-	-	-	-
18	geen transportmetingen verricht											
19	geen transportmetingen verricht											

^x(Bij de analyse van het tijdens deze vaarten opgevangen grind is geen uitsplitsing van gewicht naar kleur gemaakt. Wel is het totale gewicht bepaald en is bij het zeven onderscheid naar kleur gemaakt. Op grond van de zeefanalyses en het totale gewicht zijn naar evenredigheid de gewichten per kleur berekend.)

TABEL 2f

FLJN ONDER

T 22

vaart no.	G _{tot}	n	\bar{G}_{tot}	G _{wit}	n	\bar{G}_{wit}	G _{rood}	n	\bar{G}_{rood}	G _{neut}	n	\bar{G}_{neut}
02	0,030	3	0,010	-	-	-	-	-	-	0,030	3	0,010
03	0,175	7 ^x	0,025	-	-	-	-	-	-	0,175	7	0,025
I2	0,107	I	0,107	-	-	-	0,107	I	0,107	-	-	-
I3	0,170	I	0,170	0,170	I	0,170	-	-	-	-	-	-
I4	0,062	I	0,062	0,062	I	0,062	-	-	-	-	-	-
I7	0,492	3	0,164	-	-	-	0,492	3	0,164	-	-	-

^x (waarvan 3 zeer kleine stenen (d < 0,018 m)

TABEL 2g

T 22

GROF BOVEN

vaart no.	G _{tot}	n	G _{tot}	G _{wit}	n	G _{wit}	G _{rood}	n	G _{rood}	G _{neut}	n	G _{neut}
02	0,133	7 ^x	0,019	-	-	-	-	-	-	0,133	7	0,019
05	1,275	I	1,275	1,275	I	1,275	-	-	-	-	-	-
10	0,810	I	0,810	-	-	-	0,810	I	0,810	-	-	-
12	2,106	I	2,106	2,106	I	2,106	-	-	-	-	-	-
13	1,320	I	1,320	-	-	-	-	-	-	1,320	I	1,320
14	1,280	I	1,280	-	-	-	-	-	-	1,280	I	1,280
15	0,392	I	0,392	0,392	I	0,392	-	-	-	-	-	-

^x(gruis.

TABEL 2h

T 22

GROF ONDER

vaart no.	G _{tot}	n	G _{tot}	G _{wit}	n	G _{wit}	G _{rood}	n	G _{rood}	G _{neut}	n	G _{neut}
02 ^x	0,224	7	0,032	0,013	I	0,013	0,042	2	0,021	0,088	8	0,011
03 ^x	0,143	II	0,013	0,037	I	0,037	0,041	2	0,020	0,146	4	0,036
06 ^x	0,040	2	0,020	0,020	I	0,020	-	-	-	0,020	I	0,020
16	1,546	I	1,546	-	-	-	-	-	-	1,546	I	1,546

^x(zie opmerking bij T 22 - fijn boven.

TABEL 3

ZEEFANALYSE

Grind vangbak	D _{I6} (m)	D ₈₄ (m)	D _g (m)	G _g (-)	D ₅₀ (m)	G ₅₀ (kg)	Ḡ (kg)
Fijn boven (T 22) 9I	0,046	0,070	0,057	I,23	0,059	0,248	0,210
Fijn boven W (T 22) 35	0,042	0,060	0,050	I,20	0,055	0,397	0,208
Fijn boven R (T 22) 50	0,046	0,074	0,058	I,27	0,060		0,204
Fijn boven (T 44) 2536	0,034	0,062	0,046	I,35	0,050	0,162	0,127
Fijn boven W (T 44) 232	0,030	0,056	0,041	I,37	0,044	0,160	0,098
Fijn boven R (T 44) I226	0,034	0,061	0,046	I,34	0,049		0,126
Fijn boven N (T 44) 756	0,035	0,065	0,048	I,36	0,053		0,142
Fijn onder (T 44) I8I	0,044	0,069	0,055	I,25	0,058	0,292	0,215
Fijn onder W (T 44) 4I	0,053	0,062	0,057	I,08	0,057		0,257
Fijn onder R (T 44) 92	0,043	0,074	0,056	I,3I	0,058		0,218
Fijn onder N (T 44) 48	0,038	0,058	0,047	I,24	0,054		0,172
Grof boven (T 44) 76	0,078	0,151	0,109	I,39	0,102	I,348	I,250
Grof boven R (T 44) 44	0,072	0,110	0,089	I,24	0,093		0,946
<u>GESTORT:</u>							
Fijn grind	0,033	0,058	0,044	I,33	0,043		
Grof grind	0,060	0,105	0,079	I,32	0,085		

TABEL 4

Berekening wrijvingscoëfficiënt retourstroom T 44 F.O.Wit

Vaart no.	\hat{u} (m/s)	Δt (s)	G (kg)	$\bar{\Phi}^x$ · 10 ⁻⁴	Ψ^x (-)	c_f (-)
44.03	0,56	3	0,510	7,8	0,059	0,347
04	0,64	3	0,380	5,8	0,058	0,261
05	0,76	3	0,483	7,4	0,059	0,189
08	1,00	3	0,765	11,7	0,062	0,114
09	1,12	3	1,258	19,2	0,065	0,096
11	1,20	3	0,977	15,0	0,063	0,081
14	1,20	3	0,131	2,0	0,052	0,067
15	1,25	3	0,517	7,9	0,060	0,071
16	1,30	3	2,200	33,7	0,068	0,074
17	1,47	3	1,269	19,4	0,065	0,056
18	1,27	3	1,075	16,5	0,064	0,073
19	1,50	3	1,054	16,1	0,064	0,052

$\bar{\Phi}$ berekend met vgl.(16), met $b = 1,5$ m
 $D = 0,057$ m

Ψ berekend met vgl.(6), met $D = 0,057$ m

c_f berekend met vgl. (3') en (4).

^x(zie opmerking op bijlage B.

TABEL 5

Berekening van c_f volgens W-C, Schl. en Str. (vgl. I3, I4, I5)

Vaart no.	W.-C.		Schlichting			Strickler			
	$h(1)$ (m)	$h(2)$ (m)	$c_f(1)$	$c_f(2)$	$\frac{u}{u+V_s}$	S (m)	c_f	$c_f(1)$	$c_f(2)$
44.03	0,75	1,23	0,013	0,011	0,144	20	0,014	0,013	0,011
04	0,70	1,18	0,013	0,011	0,160	20	0,014	0,013	0,011
05	0,65	1,13	0,014	0,011	0,174	20	0,013	0,014	0,011
08	0,64	1,12	0,014	0,011	0,175	20	0,013	0,014	0,011
09	0,57	1,05	0,015	0,011	0,183	20	0,013	0,014	0,011
11	0,43	0,91	0,017	0,012	0,190	20	0,013	0,016	0,012
14	0,25	0,73	0,021	0,013	0,191	20	0,013	0,019	0,013
15	0,35	0,83	0,018	0,012	0,189	20	0,013	0,017	0,012
16	0,18	0,66	0,026	0,014	0,200	20	0,012	0,021	0,013
17	0,10	0,58	0,037	0,014	0,220	20	0,012	0,026	0,014
18	g.o.	g.o.	-	-	-	-	-	-	-
19	0,20	0,68	0,024	0,014	0,220	20	0,012	0,021	0,013

$h(1)$ - bovenrand g.v.b. (bij een ongestoorde waterspiegel is $h = 1,10$ m)

$h(2)$ - onderrand g.v.b. (bij een ongestoorde waterspiegel is $h = 1,58$ m)

NATIONAL
BANK



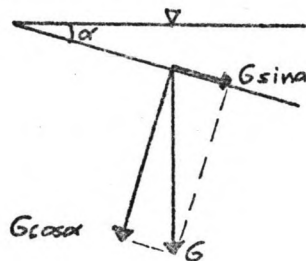
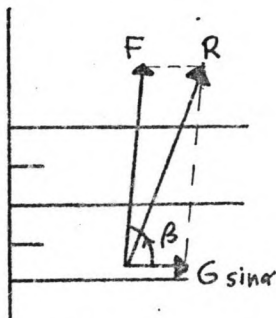
BIJLAGE A

Bepaling reductiefactor van ψ_{α} als gevolg van taludhelling

Als de sleepkracht die een stroom op een korrel uitoefend F genoemd wordt, het eigen gewicht onder water van de korrel verminderd met een liftkracht (als gevolg van de kromming van de stroomlijnen) G genoemd wordt en φ de hoek van inwendige wrijving tussen de korrels is, dan kan gesteld worden dat het evenwicht verbroken is indien geldt;

$$\frac{F}{G} > \tan \varphi \quad (I)$$

Voor stroming over een talud geldt:



β = hoek die de stroomrichting met de kanaaldir. maakt ($^{\circ}$)

α = taludhelling ($^{\circ}$) R = resultante van F en G , langs talud.

Met

$$R^2 = F^2 + G^2 \sin^2 \alpha + 2FG \cos \beta \sin \alpha$$

wordt de evenwichtsvoorwaarde (I);

$$\frac{R}{G \cdot \cos \alpha} \leq \tan \varphi$$

na omwerken levert dit;

$$\frac{F}{G} \leq \tan \varphi \cdot \left[\frac{\sin \alpha}{\tan \varphi} \cdot \left[-\cos \beta + \sqrt{-\sin^2 \beta + \frac{\tan^2 \varphi}{\tan^2 \alpha}} \right] \right] \quad (I')$$

Voor $\beta = 90^\circ$ wordt (I') :

$$\frac{F}{G} \leq \tan \varphi \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

en voor $\beta = 0^\circ$ wordt (I') :

$$\frac{F}{G} \leq \tan \varphi \cdot \left(\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \varphi}\right)$$

Volgens o.a. Lane kan nu gesteld worden dat de waarde van de kritische schuifspanning in geval van stroming langs een helling gereduceerd is t.o.v. van τ_c in geval van stroming over een vlak bed volgens :

$$\tau_c (\text{helling}) = K \cdot \tau_c (\text{vlak}) \quad \text{of, met vgl (4): } \psi_{cr}(\text{helling}) = K \cdot \psi_{cr}(\text{vlak})$$

waarin K gelijk is aan het quotiënt van de rechterdelen van de vgl. I' en I.

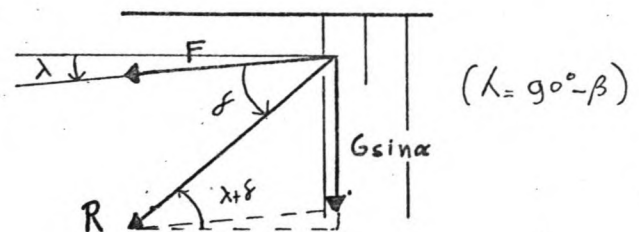
Voorbeeld: (maximale reductie)

$$\left. \begin{array}{l} \varphi = 37^\circ \text{ (fijn grind)} \\ \alpha = \arctan(0,2) \\ \beta = 0^\circ \end{array} \right\} \rightarrow K = 0,72 \rightarrow \psi_{cr}(\text{helling}) = 0,72 \psi_{cr}(\text{vlak})$$

Invloed taludhelling op transportrichting

De richting waarin een korrel, wanneer de evenwichtssituatie verbroken is, getransporteerd wordt door een stroming die evenwijdig aan de kanaalas ($\lambda = 0$) loopt kan volgens Fredsoe (lit. 3) bepaald worden middels:

$$\tan \delta = \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi} \quad (2)$$



Hierin is: φ = dynamische wrijvingshoek \approx hoek van nat. talud. (φ)

δ = hoek tussen transportrichting en stroomrichting.

Aan de hand van de tekening op de vorige bladzijde kan ook de volgende betrekking worden afgeleid:

$$\tan(\varphi + \lambda) = \frac{G \cdot \sin \alpha + F \cdot \sin \lambda}{F \cdot \cos \lambda} \quad (3)$$

of

$$\tan(\varphi + \lambda) = \frac{G \cdot \sin \alpha}{F \cdot \cos \lambda} + \tan \lambda$$

Voor F/G kan gesteld worden:

$$\frac{F}{G} = \frac{F}{F_0} \cdot \frac{F_0}{G} \quad \begin{array}{l} F_0 \text{ is de sleepkracht bij het begin van bewegen, dus} \\ F_0/G = \tan \varphi \cdot K \end{array}$$

Zo wordt:

$$\frac{F}{G} = \frac{F}{F_0} \cdot \tan \varphi \cdot K$$

Gesteld kan worden dat F/F_0 evenredig is met $\Psi/(K \cdot \Psi_{cr})$, zodat

$$\frac{F}{G} = \tan \varphi \cdot \frac{\Psi}{\Psi_{cr}} \quad (\text{vl. bed})$$

Hiermee wordt vgl.(3):

$$\tan(\varphi + \lambda) = \frac{\Psi_{cr}}{\Psi} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \lambda \cdot \tan \varphi} + \tan \lambda \quad (4)$$

(met Ψ_{cr} -vlak bed)

Een soortgelijke afleiding is in vrij uitgebreide vorm opgesteld door Stevens en Simons (lit.4).

BIJLAGE B

1. Relatie $G_{opgevangen} = Q_s$ en q_s

Q_s

Het volume van het opgevangen materiaal wordt bepaald middels $G_{opg.} \cdot \rho_s$.

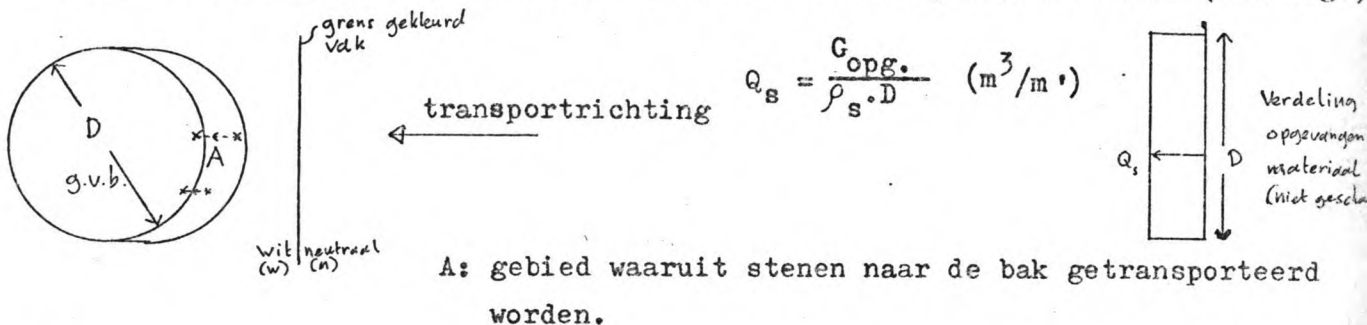
Hierbij wordt eventuele porositeit van het materiaal verwaarloosd.

Voor de berekening van Q_s , de transportomvang in m^3 per eenheid van breedte m' , en q_s , de transportomvang per eenheid van breedte en tijd (sec), kan worden uitgegaan van de veronderstellingen:

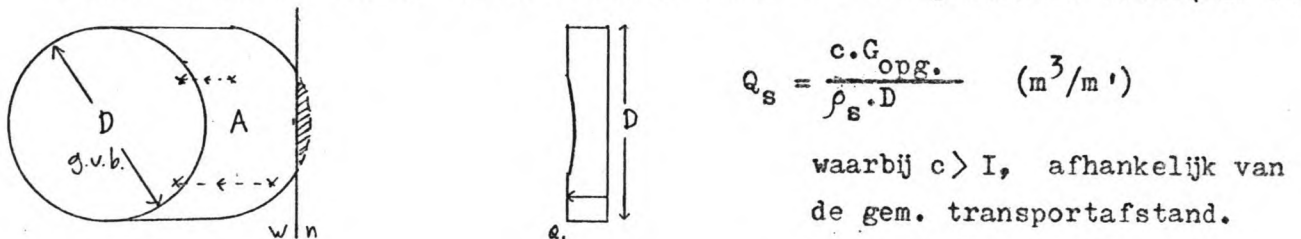
I) Het materiaal in beweging slaat praktisch direct over de rand van de grindvangbak neer. Dit zal voornamelijk het geval zijn wanneer er sprake is van "bed load" transport, waarbij de stenen over het bed rollen en schuiven.

Ook hier zijn twee mogelijkheden:

a) de maximale transportafstand is kleiner dan de kleinste afstand tussen de rand van de bak en het bovenstroomse einde van het gekleurde veld. (zie fig.)



b) de maximale transportafstand is groter dan de kleinste afstand tussen de rand van de bak en het bovenstroomse einde van het gekleurde veld. (zie fig.)



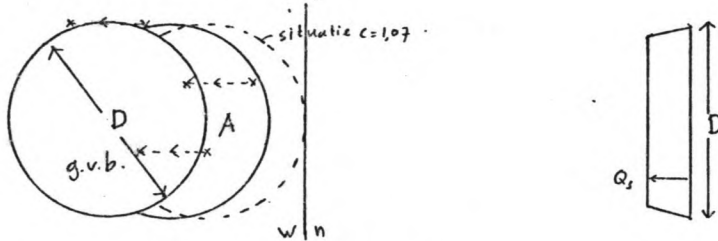
N.B.: uit het gearceerde gebied worden wel degelijk stenen naar en in de bak getransporteerd, doch deze zijn ongekleurd en daardoor te verwarren met ongekleurde stenen die a.g.v. de haalgolf zijn geïrodeerd.

II) De aanwezigheid van de bak heeft geen invloed op het al of niet neerslaan van het bewegende materiaal, m.a.w. er is transport óver de bak heen. Dit zal vooral het geval zijn wanneer het transport plaatsvindt in een laag boven die van het bedtransport. Of de bewegende stenen in de bak terechtkomen is afhankelijk van de bezinkafstand/-snelheid en het stroombeeld t.p.v. de bak.

II)(vervolg)

Voor de bepaling van Q_s zijn nu drie situaties te onderscheiden;

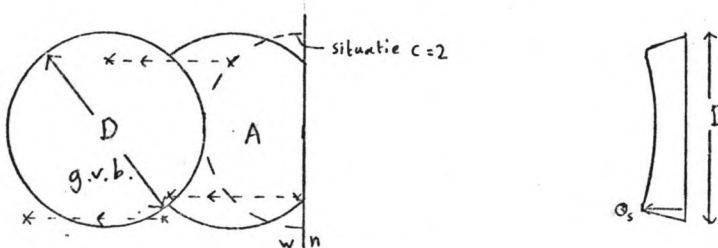
a) de gemiddelde transportafstand is kleiner dan $\frac{1}{2}D$.



Bij benadering geldt: $\frac{G_{opg.}}{\rho_s} = (D-2a)Q_s + sQ_s = (D-s)Q_s$, h.u.v. $Q_s = \frac{G_{opg.}}{\rho_s(D-s)}$

s is afhankelijk van de transportafstand(gem.). max.waarde $1/(D-s)$ is 1,07.

b) de gemiddelde transportafstand is groter dan $\frac{1}{2}D$, doch kleiner dan D.

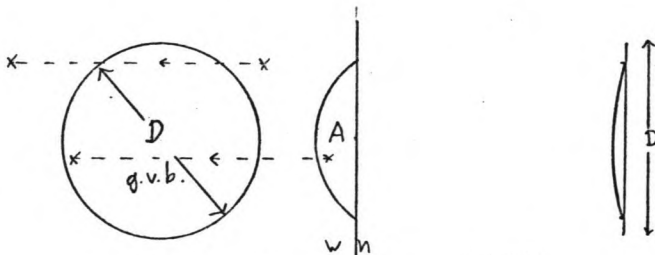


Hier geldt: $Q_s = \frac{cG_{opg.}}{\rho_s}$, waarbij $1,07 < c < 2$

c) de gemiddelde transportafstand is groter dan D.

In dit geval kan men zich afvragen of het niet verstandiger is om het gekleurde bed te verlengen, daar het zwaartepunt van het gebied van waaruit stenen naar de bak worden getransporteerd anders buiten het gekleurde vak komt te liggen.

Ook hier: $Q_s = \frac{c \cdot G_{opg.}}{\rho_s}$, met $c > 2$.



Gedurende de proeven zijn door de retourstroom geringe transporten veroorzaakt, waarbij de diameter van de opgevangen stenen steeds groter was dan 26 mm.

Wordt de vuistregel gehanteerd dat, bij een verhouding tussen de schuifspannings-snelheid u_x en valsnelheid w van ongeveer $\frac{1}{4}$ en kleiner, er voornamelijk transport over de bodem zal plaatsvinden, en dat, bij een verhouding van u_x/w van ongeveer 1, er materiaal in de onderste helft in suspensie wordt getransporteerd, dan kan gesteld worden dat er hoofdzakelijk sprake is geweest van bodemtransport.

Voor de berekeningen dient dan van de I^e veronderstelling te worden uitgegaan. Of daarbij a) of b) aangehouden dient te worden is onduidelijk. In lit. 7 en 5 wordt gewag gemaakt van een gemiddelde transportafstand van $20 D_{50}$ bij lage transporten, en een tendens tot toename daarvan met toenemende waarden van ϕ . Mogelijk is de gemiddelde transportafstand echter omgekeerd evenredig met de steendiameter, dit is echter nog niet nader onderzocht. Voor de berekeningen wordt vooreerst uitgegaan van alternatief a).

q_s

De waarde van q_s kan uit die van Q_s berekend worden wanneer de periode gedurende welke stenen in de bak gedeponereerd werden bekend is. Althans, de gemiddelde waarde van q_s , daar slechts na afloop het transport onderzocht werd.

De momentane waarde van q_s is afhankelijk van het deel van het gekleurde bed waar de τ_{cr} is overschreden. Bij het fijne grind is dit het geval voor het hele witte bed op gemiddeld $(0,75 + (\frac{1}{2}D - \pi D/8))/V_s = 0,9I/V_s$ seconden na overschrijding van τ_{cr} t.p.v. de bovenstroomse rand van de vangbak. Deze periode is in vergelijking met de totale overschrijdingsduur van τ_{cr} te verwaarlozen.

Hoewel in het algemeen de waarde van τ waarbij afzetting plaats vindt kleiner is dan die waarbij materiaal in beweging komt (het is echter niet bekend in welke mate dat het geval is), wordt verondersteld dat de neerslag in de bak stopt wanneer τ_{cr} weer wordt onderschreden.

De transporttijd Δt is in de berekeningen voor iedere vaart gelijk genomen aan 3 se. Bestudering van de uitvoerplots leert dat er bij de vaarten waarbij transport van witte stenen in de bak van fijn onder plaatsvond steeds sprake was van een maximum snelheidsgebied vóór het hek of achter de boeg, resp. bij de vaarten 3, 4, 5 en de overige vaarten. Steeds manifesteerde de maximale retourstroomsnelheid zich gedurende enkele seconden; bij de minder snelle vaarten ietwat langer dan bij de andere vaarten. Daar een verdubbeling van Δt slechts een 6% reductie van de c_f -waarde (volgens berekening) tot gevolg heeft, is de invloed van een fout in de Δt -waarde van geringe invloed.

2. Relatie ϕ - ψ

I opgevangen steen van het fijne grind met gewicht $(\pi/6) \cdot \rho_s \cdot D_{50}^3$ resulteert, volgens de hier gebruikte relaties, al in een ϕ -waarde van ong. $2 \cdot 10^{-4}$ en een ψ -waarde van ong. 0,05.

Dit betekent dat, aangezien een steen natuurlijk niet uit opsplitsbare delen bestaat, het te constateren transport een kwestie van alles of niets is.

Lagere ϕ - en ψ -waarden zijn immers praktisch onmogelijk te bereiken, daar de b-waarde reeds maximaal is en Δt niet veel groter dan aangenomen zal kunnen zijn.

Indien aangenomen wordt dat b.v. de transporten van T 44-3,4 en 5, gezien de lage waarden van u, in werkelijkheid zeer klein zijn geweest, dan kan verondersteld worden dat (de opgevangen stenen vallen niet te ontkennen) de lokale bedconfiguratie van grote invloed is geweest (bij kleine transporten).

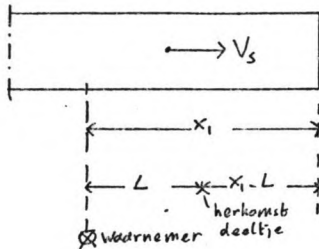
BIJLAGE C

Loopwegbepaling t.b.v. c_f -berekening volgens Schlichting (vgl. I4)

De loopwegbepaling (L) voor formule I4:

$$c'_f = \left[2,87 + 1,58 \log\left(\frac{L}{K}\right) \right]^{-2,5} \quad (\text{zie ook blz. I-4})$$

kan als volgt geschieden:



De tijd dat een waterdeeltje reeds in beweging is wanneer deze de raai t.p.v. de waarnemer passeert is gelijk aan $(x_I - L)/V_s (= T)$

Wanneer de stroomsnelheid nu constant blijft, dan is de loopweg $L = u \cdot T = u(x_I - L)/V_s$.

$$\text{H.u.v. } L = x_I u / (V_s + u). \quad (\text{I4a})$$

(I4a) in (I4) ingevuld levert:

$$c'_f = \left[2,87 + 1,58 \log\left(\frac{x_I \cdot u}{V_s + u} \cdot \frac{1}{K}\right) \right]^{-2,5} \quad (\text{I4'})$$

met $u =$ gemiddelde retourstroomsnelheid (m/s).

Het lijkt juister om de verandering van de retourstroomsnelheid in de loopwegbepaling te verrekenen. Neem b.v. een sinusvormig verloop van u aan van $u = 0$, ter hoogte van de boeg, tot $u = \hat{u}$, ter hoogte van het maximum op S (m) achter de boeg.

Te stellen:
$$L = \int_0^T u(t) \cdot dt \quad (\text{a})$$

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin \frac{t\pi}{2T_S} \quad (\text{b}) \quad T_S = (S-L)/V_s$$

(b) in (a) en geïntegreerd levert:
$$L = \frac{S \cdot \hat{u}}{(\pi/2) V_s + \hat{u}}$$
 voor de waterdeeltjes ter plaatse van maximum.

Hieruit;

$$c'_f = \left[2,87 + 1,58 \log\left(\frac{S \cdot \hat{u}}{(\pi/2) V_s + \hat{u}} \cdot \frac{1}{K}\right) \right]^{-2,5} \quad (\text{I4''}) \quad (\text{ter plaatse van max.})$$

Verder blijkt dat voor het gestorte fijne grind de waarde van D_{50} praktisch gelijk is aan die van D_{gm} (0,043 m om 0,044 m). De zeefkromme van het gestorte fijne grind (bijlage BI) verloopt vrijwel zonder knikken.

Dit kan niet gezegd worden van de zeefkrommen van het opgevangen materiaal. De waarde van D_{gm} verschilt veelal van de waarde van D_{50} , soms relatief veel, en iedere zeefkromme vertoont een knik ter plaatse van $D = 0,037$ en $D = 0,052$ m.

Gezien de waarde van σ_g voor T 22-fijn boven en T 44-fijn onder kan gesteld worden dat het daar opgevangen materiaal uniformer van aard is dan het gestorte materiaal. Uitsplitsing van het opgevangen gewicht naar zeefdiameter leert dat bij T 22 f.b. en T 44 f.o. zo'n 70 % van het gewicht in de klasse 0,052 - 0,078 m valt. Bij T 44 f.b. is dit gereduceerd tot ong. 45 %, terwijl bij het gestorte fijne grind dit slechts 28 % bedraagt.

Samengevat kan het volgende gezegd worden ;

-Wanneer een vlak met fijn grind voor het eerst in relatief vrij sterke mate onder invloed komt van krachten uitgeoefend door de waterbeweging van het passerende duwconvooi zijn het vooral grotere stenen die getransporteerd worden. Bij een volgende serie proeven waarbij de belasting groter is, worden wat meer kleinere stenen getransporteerd.

-Van het grove grind kan alleen gezegd worden dat ook daar bij de eerste serie belastingen grotere stenen (rel. gezien) getransporteerd worden.

Een verklaring voor dit verschijnsel kan zijn dat zgn. afpleistering van het grind na de aanleg is opgetreden. Onder invloed van stroom zouden na verloop van tijd de kleinere elementen^x verwijderd zijn, waarna relatief grotere elementen een soort van natuurlijke beschermingslaag vormden die verdere erosie van de toplaag kon voorkomen.

Over de kwaliteit van de afpleistering en de manier waarop deze tot stand komt is slechts weinig bekend. Gessler (lit.I) toonde in proeven aan dat de eventuele verwijdering van korrels uit een toplaag die onder invloed van een stroming staat een proces van stochastische aard is. Uit zijn proeven bleek dat de waarschijnlijkheid van verplaatsing van een korrel afhankelijk is van de grootte van de gemiddelde waarde van de schuifspanning, uitgeoefend door de stroom op de bodem, ^(τ) t.o.v. de kritieke waarde van de schuifspanning van die korrel, ^(τ_c) en bovendien normaal verdeeld is waarbij 50% kans op verplaatsing bestaat indien $\tau_c / \tau = 1$.

Hiervan uitgaande heeft Gessler een methode opgezet waarmee, bij een gegeven korrelverdeling en een gemiddelde waarde van de schuifspanning, de uiteindelijke

^x uit de toplaag

korrelverdeling van de toplaag (afpleisteringslaag) van een bestorting die onder continue stroominvloed staat bepaald kan worden (lit.I).

Als verklaring voor hetgeen tijdens de proeven op het Hartelkanaal is geconstateerd aan de korrelverdelingen van het opgevangen materiaal is dit alles echter ontoereikend. Immers, het water in het Hartelkanaal is als praktisch stilstaand te beschouwen. Een eventuele stroomaanval kan in feite slechts door passerende schepen veroorzaakt zijn. Navraag bij de EKOM, het overslagbedrijf waarop de binnenscheepvaart op dit deel van het Hartelkanaal gericht is, leert dat vanaf het begin van de aanleg van de proefvakken (juni) tot de aanvang van de proeven (augustus) het aantal aldaar gepasseerde schepen geschat kan worden op;

Koppelverbanden (L.B.T = 160.9,5.3,0 m ³), beladen	- 30 stuks
(L.B.T = 90.19,0.0,70 m ³), onbeladen	- 30 stuks
RHK-schepen (L.B.T = 90.9,5.2,5 m ³), beladen	- 130 stuks
(L.B.T = 90.9,5.0,70 m ³), onbeladen	- 130 stuks
Duweenheden 2x2 (L.B.T = 188.22,8.3,0 m ³), beladen	- 300 stuks
(L.B.T = 188.22,8.0,60 m ³), onbeladen	- 300 stuks

Ruwe schatting van de vermoedelijke vaarsnelheid van de beladen schepen leert dat hooguit gedurende in totaal 6 uren zich een retourstroom op de proefvakken heeft gemanifesteerd als gevolg van de passage van die beladen schepen, gedurende de maanden juni-augustus. Dat is een dermate korte periode, althans relatief gezien, dat de berekeningsmethode van Gessler hier niet toegepast kan worden (de gemiddelde waarde van de schuifspanning wordt zeer gering).

Bovendien zal de retourstroomsnelheid toch al niet hoog geweest zijn, daar het merendeel van de beladen schepen langs de andere oever gevaren zullen hebben (de oever met de proefvakken was voor deze schepen de bakboord-oever). Dit houdt tevens in dat haalgolven en taludvolgstomen zich boven de proefvakken nauwelijks gemanifesteerd zullen hebben.

Ook onbeladen schepen zullen met enige afstand tot de oever met de proefvakken gevaren hebben, dit als gevolg van de werkzaamheden aan het talud en de latere aanwezigheid van de meetsteiger. De waterbeweging boven het talud met de proefvakken veroorzaakt door deze schepen zal daardoor ook bescheiden zijn geweest. De mogelijkheid die nu als veroorzaker van de afpleistering over blijft is de secundaire scheepsgolf.

Over de invloed van deze golven op de korrelverdeling van de toplaag is echter nog niets bekend, althans voorzover de samensteller van dit verhaal heeft kunnen nagaan.

Afsluitend wordt hier nog aandacht besteedt aan het verloop van de korrelverdeling gedurende de toestand T 44 voor het fijne grind.

De D_{50} van het opgevangen grind van T 44 f.b. is, hoewel nog steeds groter dan die van het gestorte fijne grind, beduidend kleiner dan die van het opgevangen grind van T 22 f.b. en T 44 f.o. Uit beschouwing van het verloop van de korrelverdeling van het tot dan toe in toestand T 44 opgevangen grind in f.b. na iedere vaart blijkt dat tot vaart 44.09 steeds ong. 70 gew.% van de stenen een diameter heeft die groter is dan 0,052 m ($D_{50} = 0,056 \text{ á } 0,059 \text{ m}$).

Bij vaart 44.09 werd er met een redelijk hoge snelheid relatief dicht langs de teen van het talud gevaren, waardoor een haalgolf met een rel. steil verhang en mogelijk een sterke taludvolgstream op het talud zijn opgetreden (althans het deel van het talud ter hoogte van de bovenste grindvangbakken).

Hierdoor is waarschijnlijk een groot deel van de toplaag, die uit grotere stenen was opgebouwd, geërodeerd, waarbij de rode stenen in de grindvangbak zijn terechtgekomen en de witte stenen een eind van de grindvangbak (in vaarrichting) zijn gedeponneerd. Het gevolg hiervan was dat de gemiddelde diameter van de stenen in de toplaag sterk afnam. Dit blijkt dan ook uit het verdere verloop van de korrelverdeling daar de waarde van de D_{50} nadien gestaag afneemt naar 0,050 m.

In de berekeningen zal worden uitgegaan van:

Fijn grind : $D_{50} = 0,057 \text{ m}$

$D_{90} = 0,064 \text{ m}$

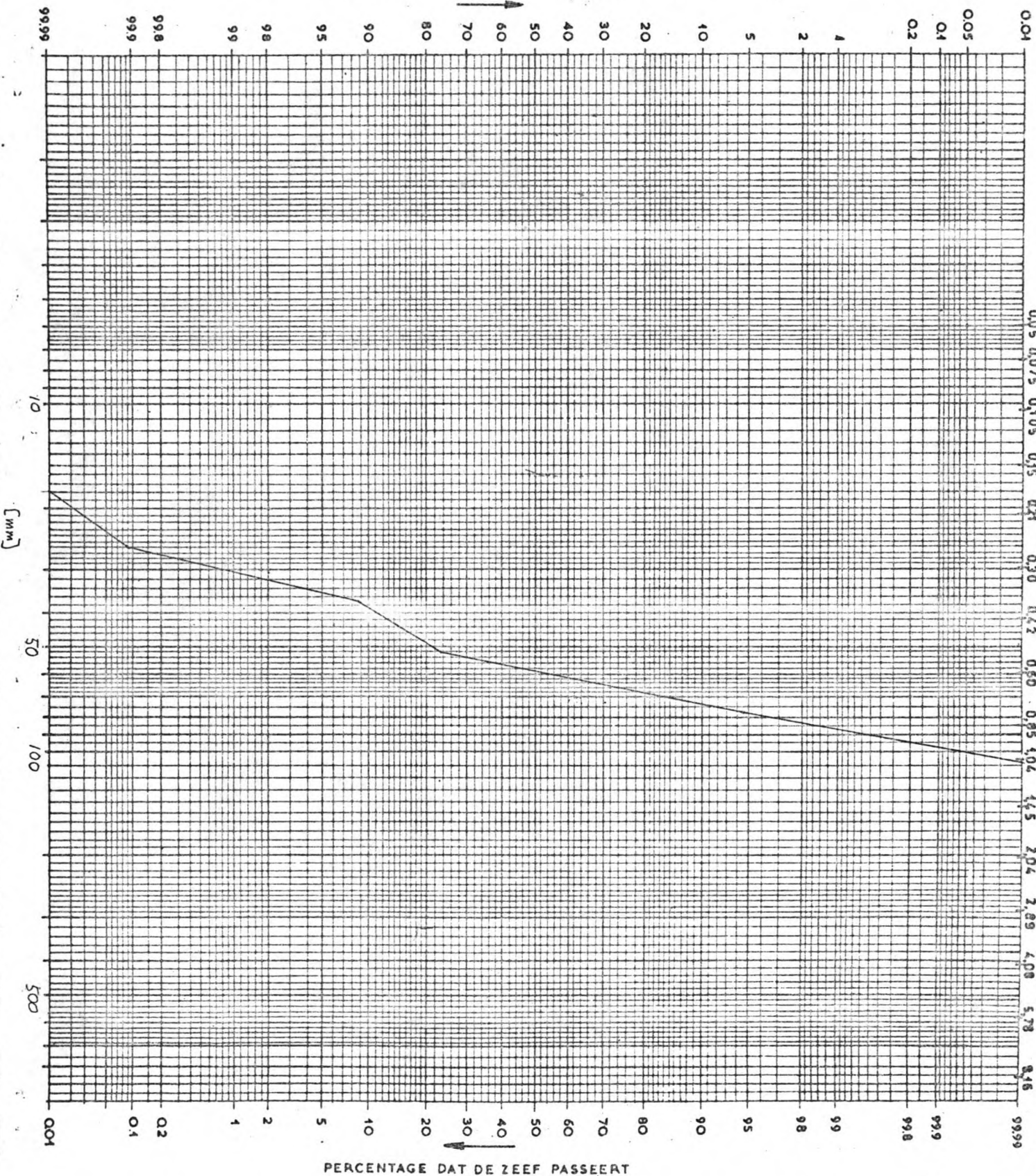
Volgens de opgevangen witte stenen in F.O. T 44.

Grof grind : $D_{50} = 0,085 \text{ m}$

$D_{90} = 0,123 \text{ m}$

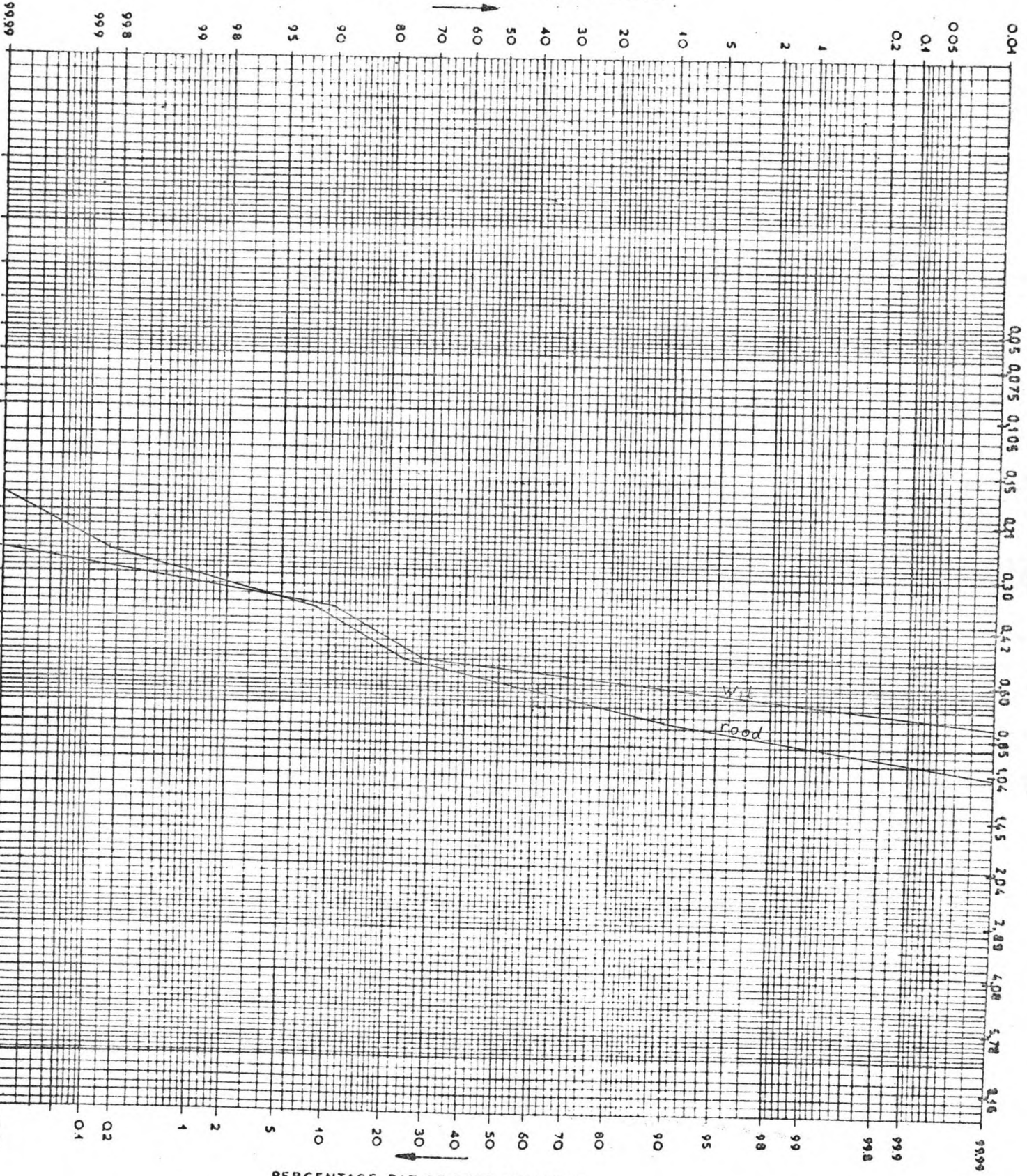
Volgens gegevens gestorte materiaal.

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLUFT LIGGEN



T. 22. Fijn boven totaal $D_{50} = 0,059$ m D1

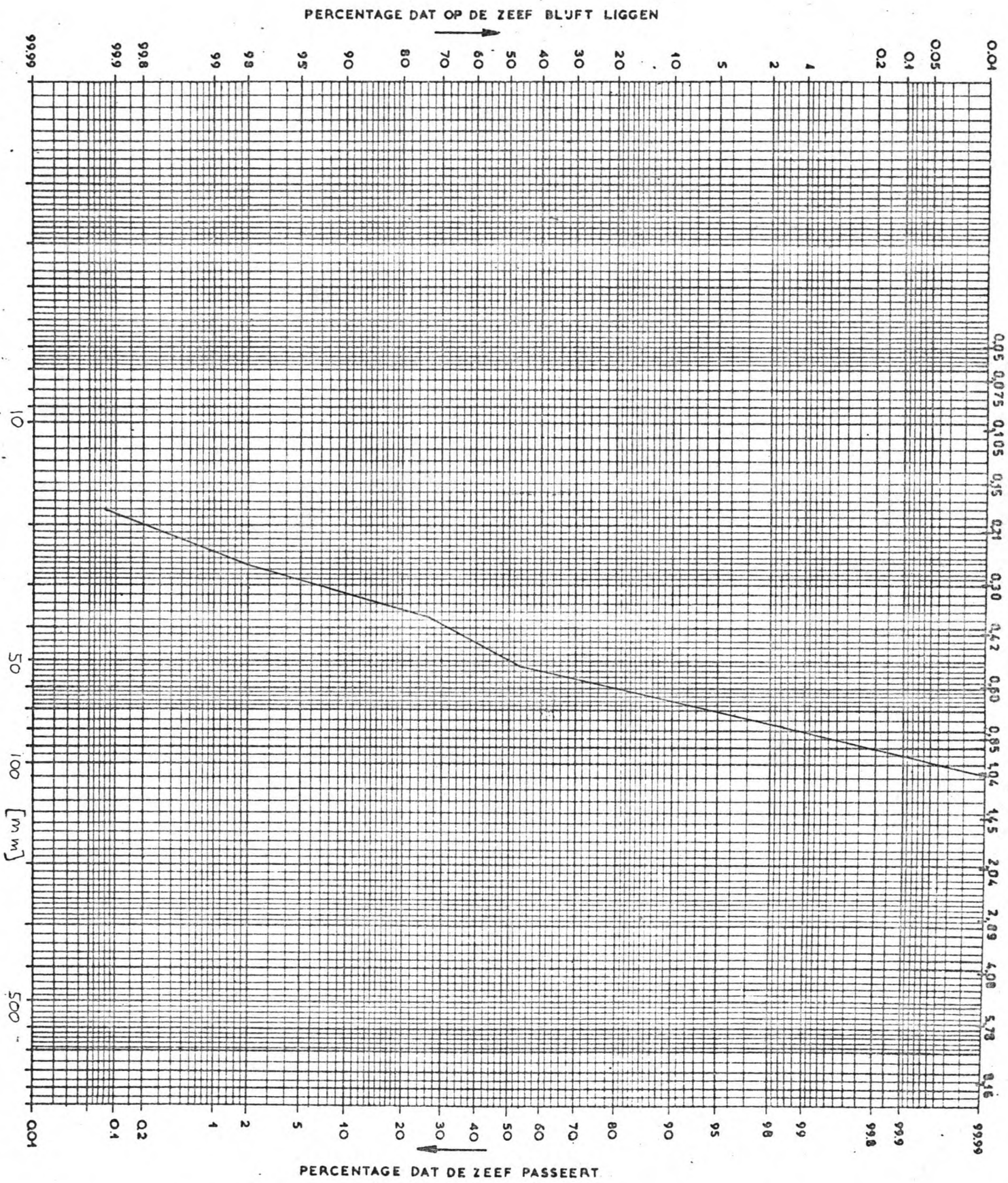
PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLIJFT LIGGEN



PERCENTAGE DAT DE ZEEF PASSEERT

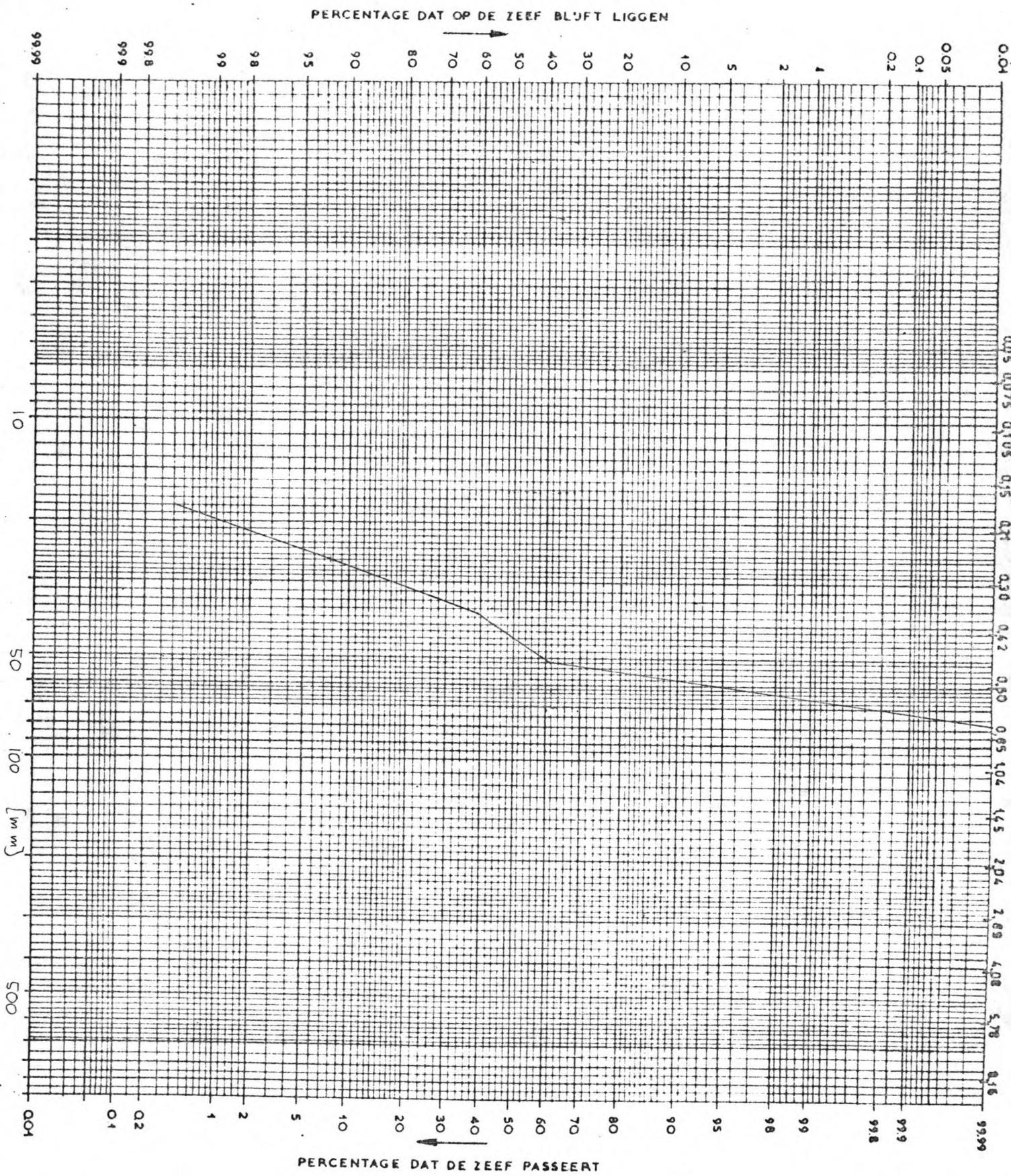
T.22 Fijn boven rood $D_{50} = 0,060 \text{ m} / 0,050 \text{ m}$ (toest.vanaf 22.10)
wit $D_{50} = 0,055 \text{ m}$

D2



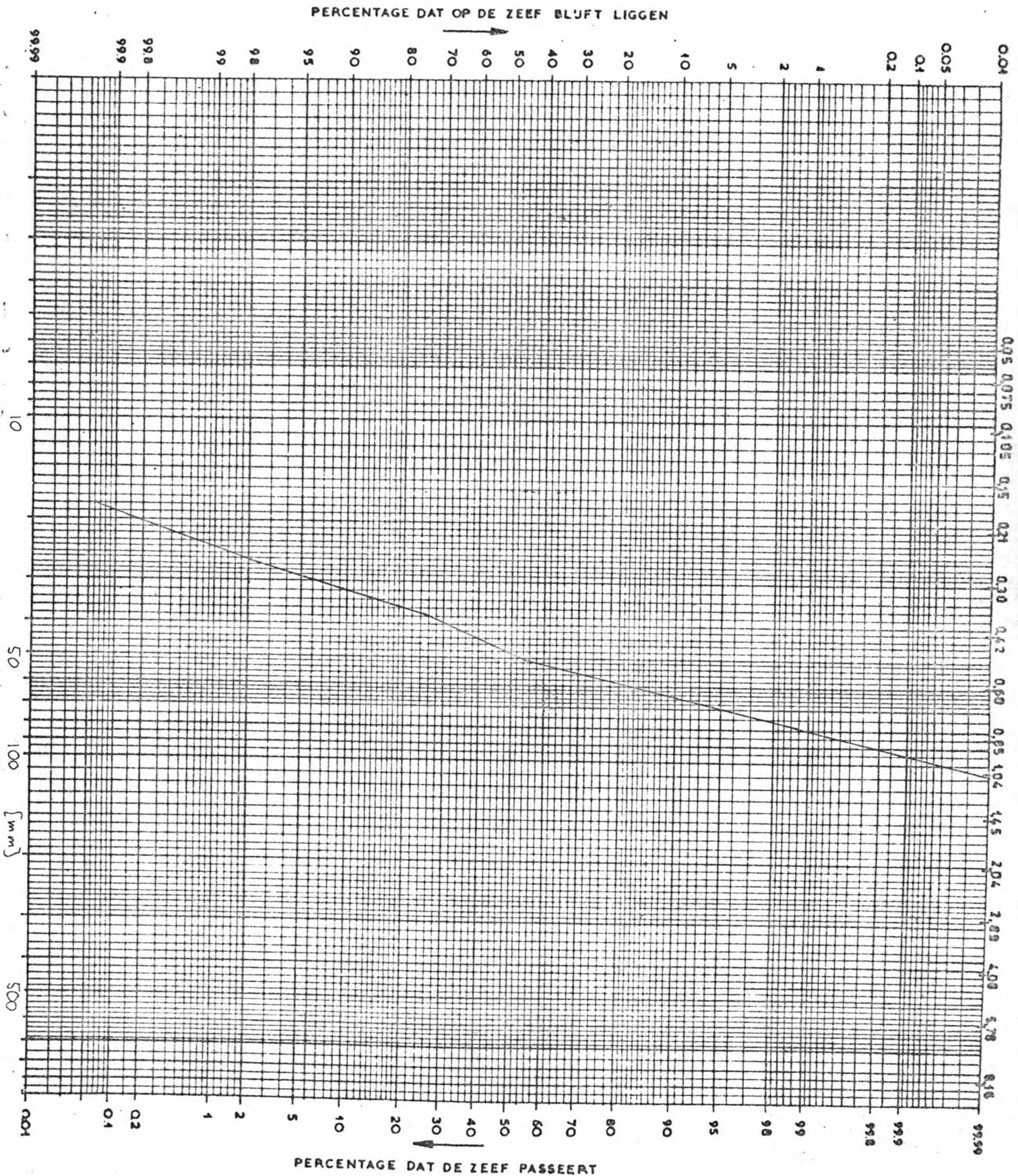
T.44. Fijn boven totaal $D_{50} = 0,050 \text{ m.}$

D3



T.44. Fijn boven wit $D_{50} = 0,044$ m.

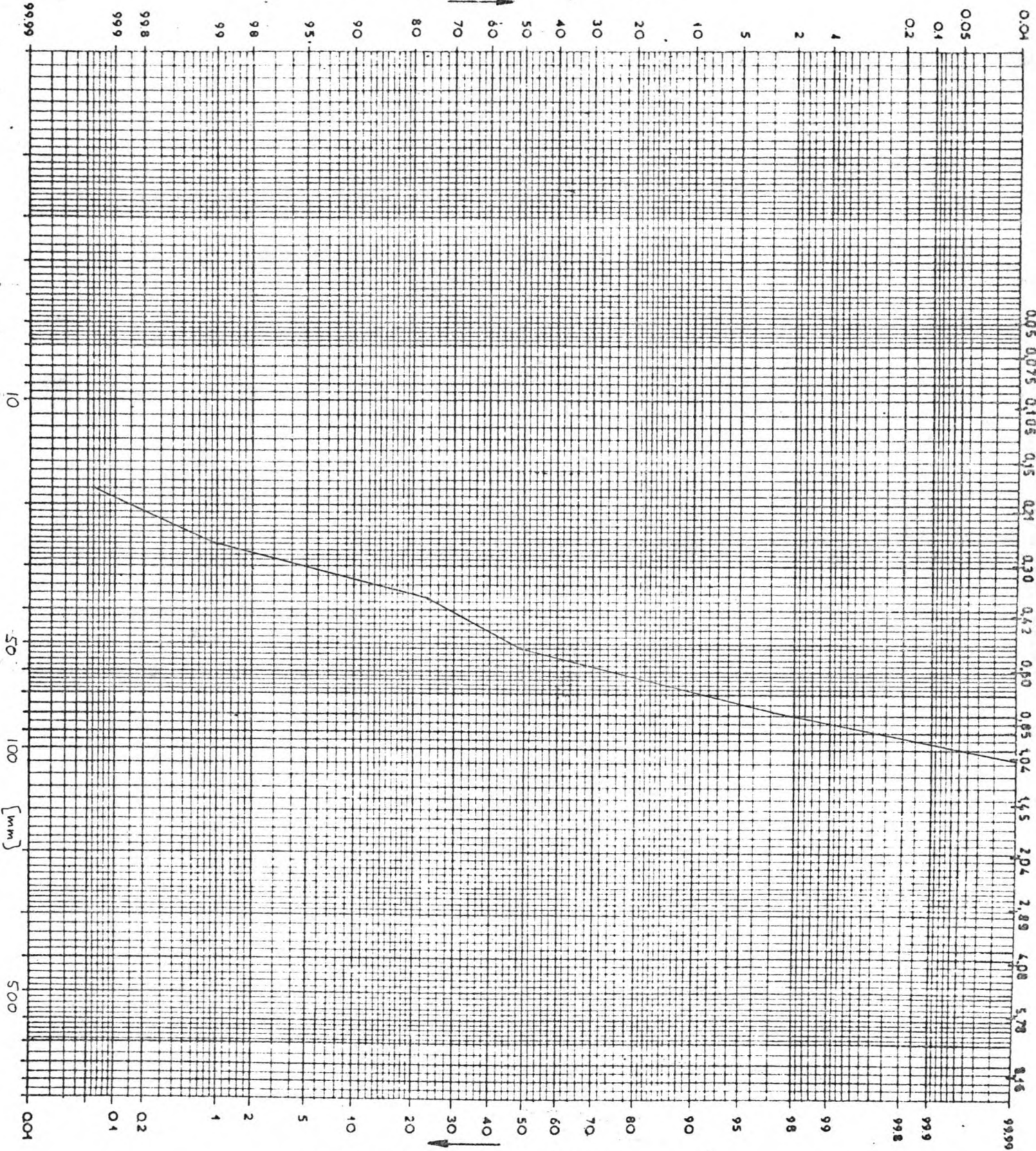
D4



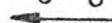
T.44. Fijn boven rood $D_{50} = 0,049 \text{ m.}$

D5

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLUFT LIGGEN

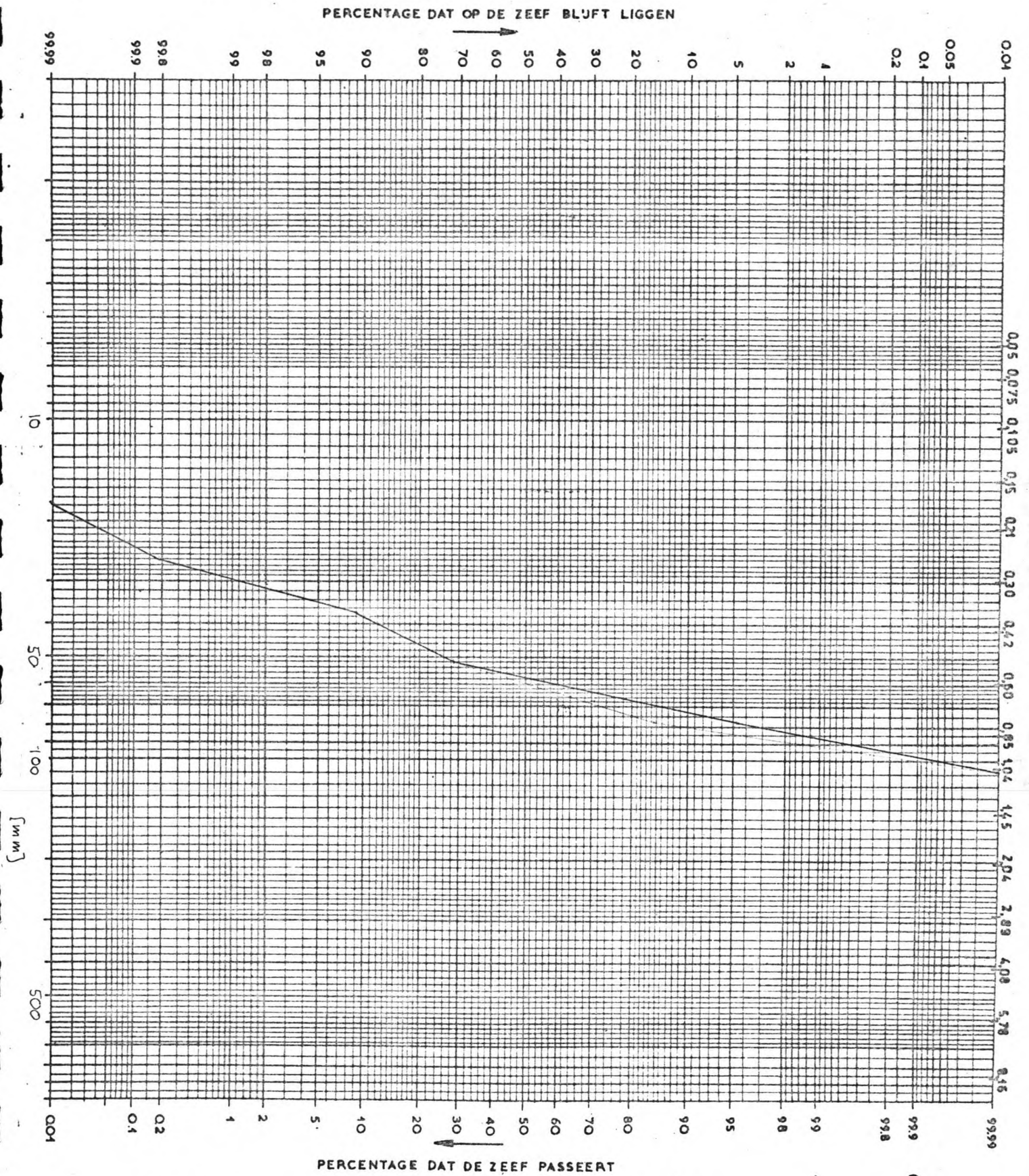


PERCENTAGE DAT DE ZEEF PASSEERT



T. 44. Fijn boven neutraal $D_{50} = 0,053$ m.

D6

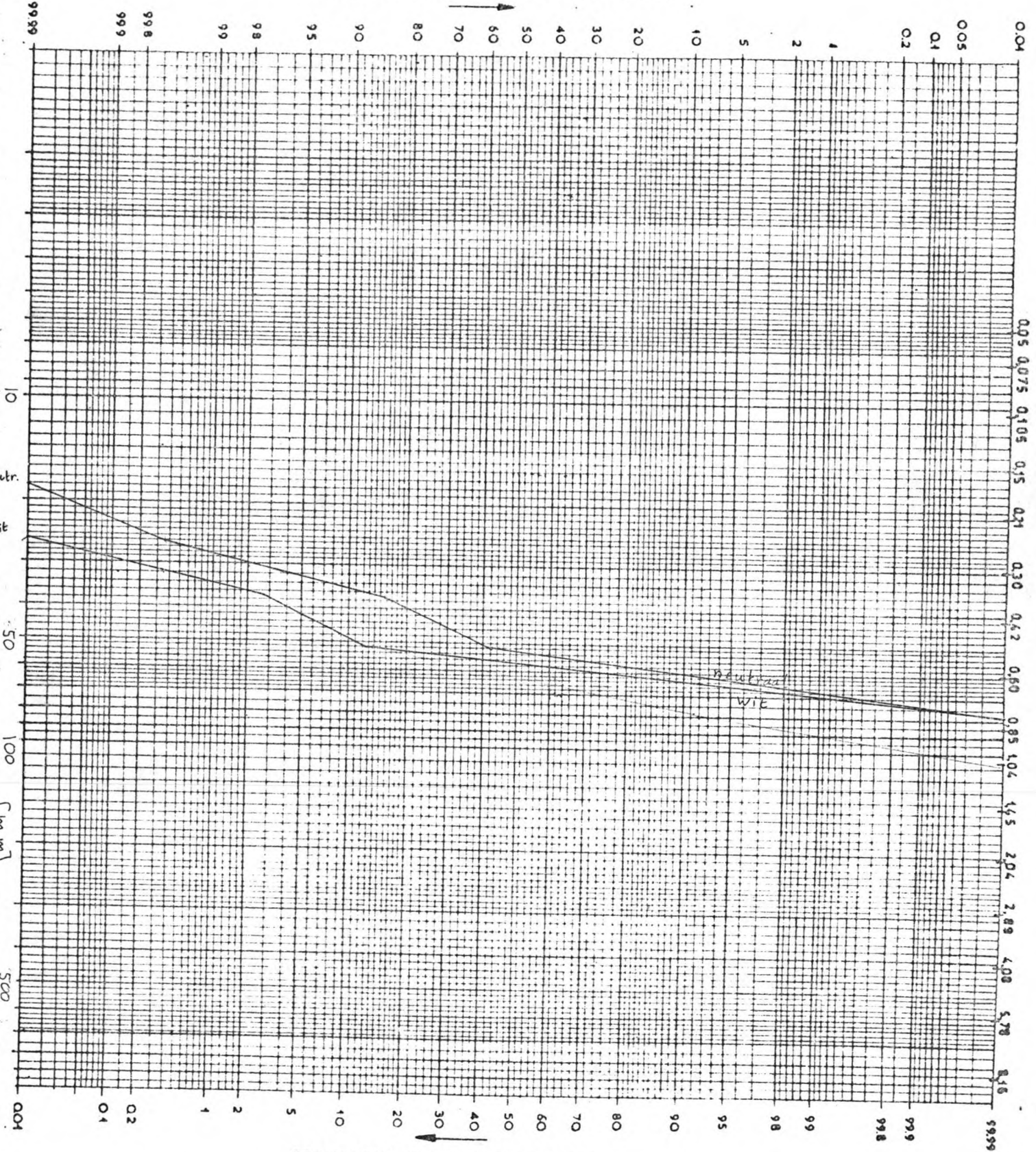


T. 44. Fijn onder totaal

$D_{50} = 0,058 \text{ m}$

D7

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLIJFT LIGGEN



T. 44. Fijn onder

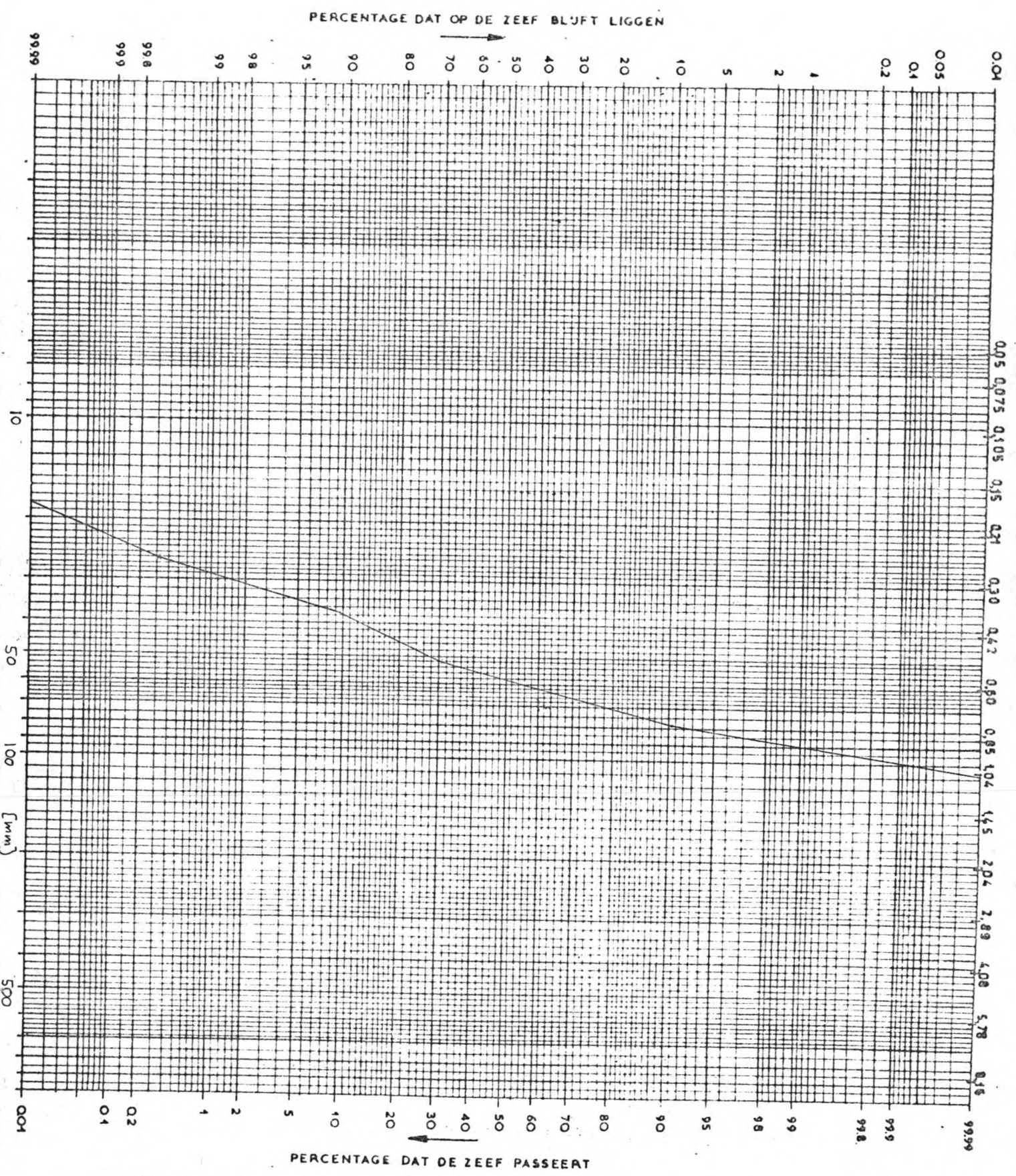
nauwaal

$D_{50} = 0,054 \text{ m}$

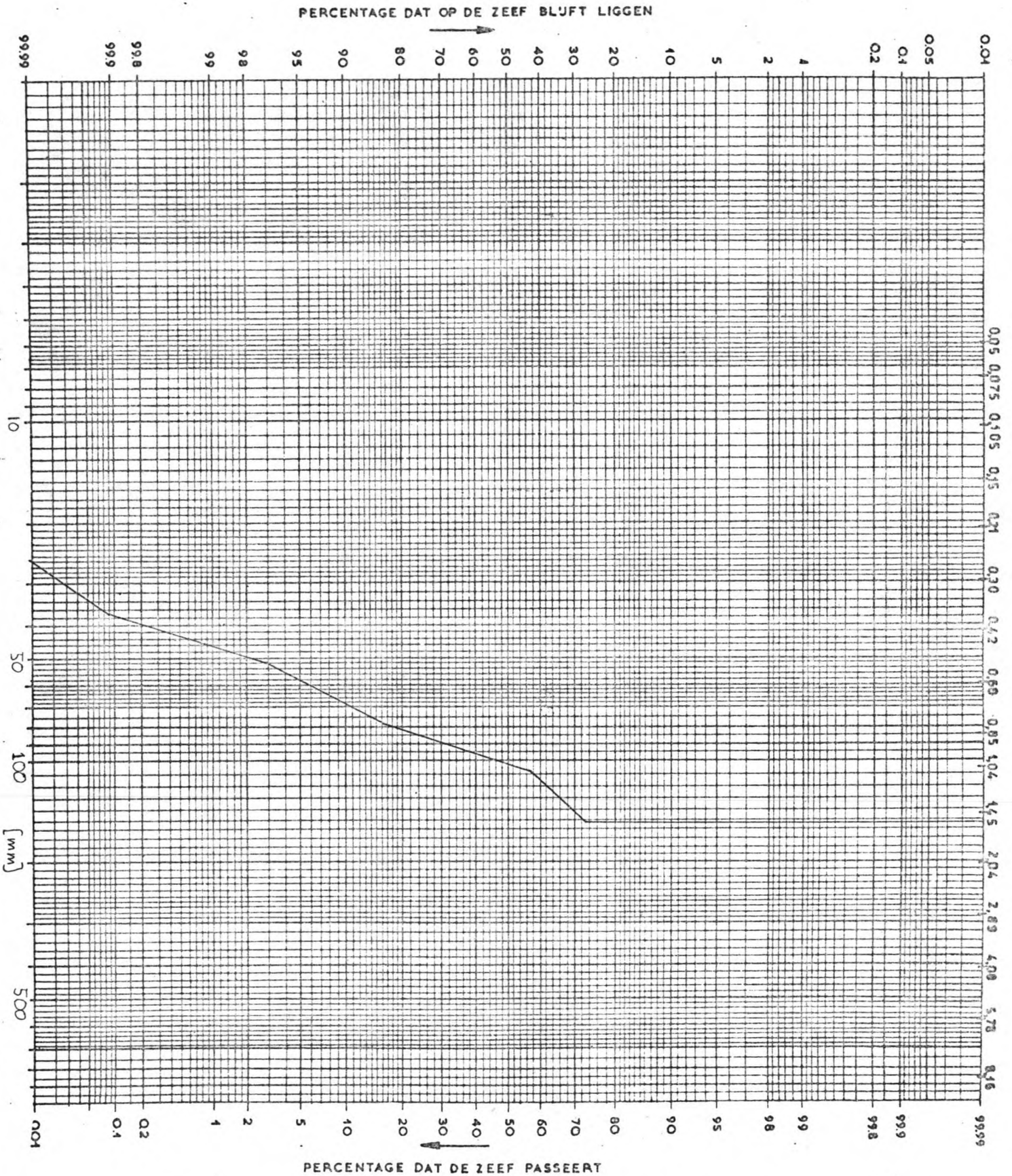
wit

$D_{50} = 0,057 \text{ m}$

D₂



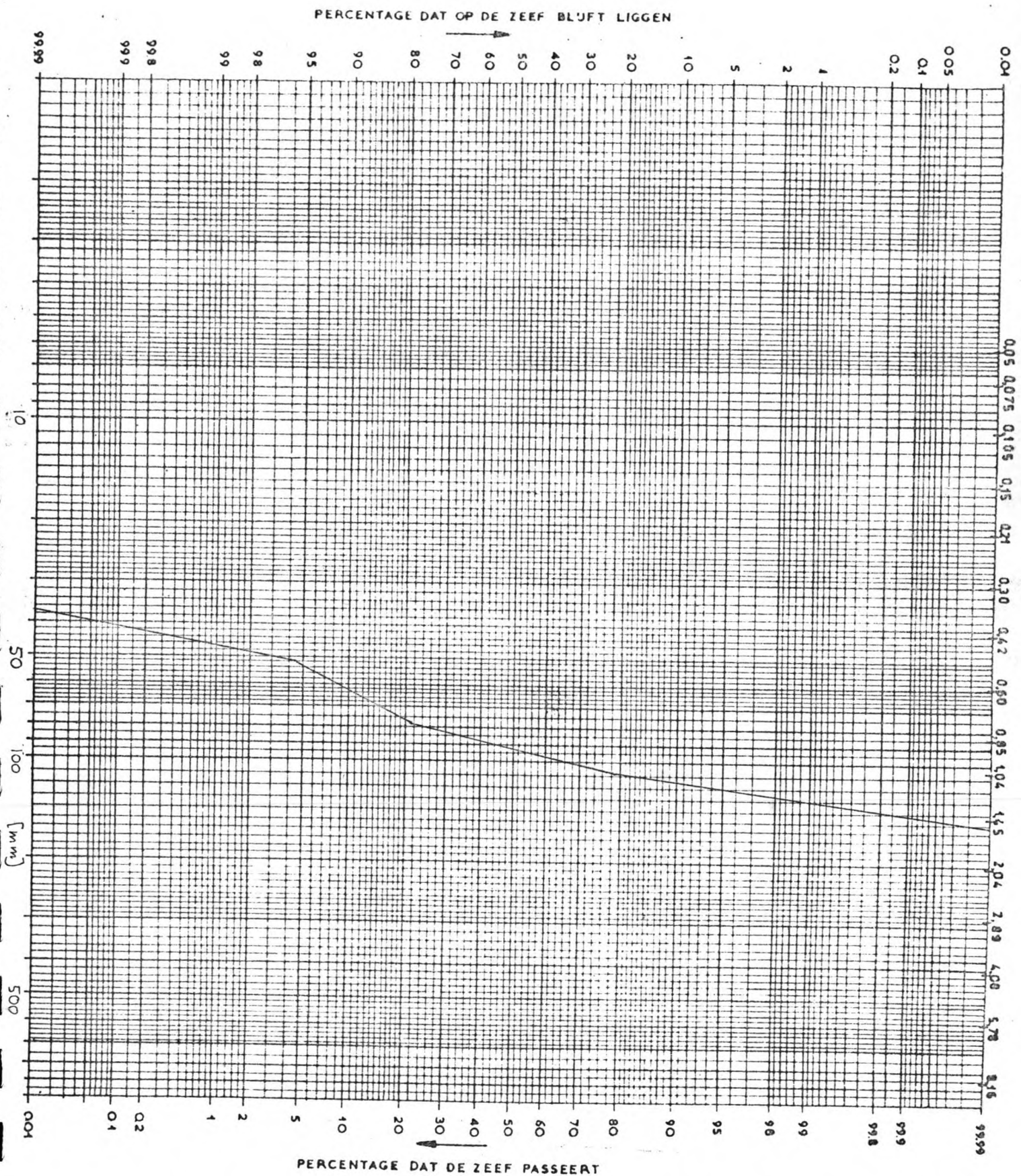
T. 44. Fijn onder rood $D_{50} = 0,058 \text{ m}$ Dg



T. 44.

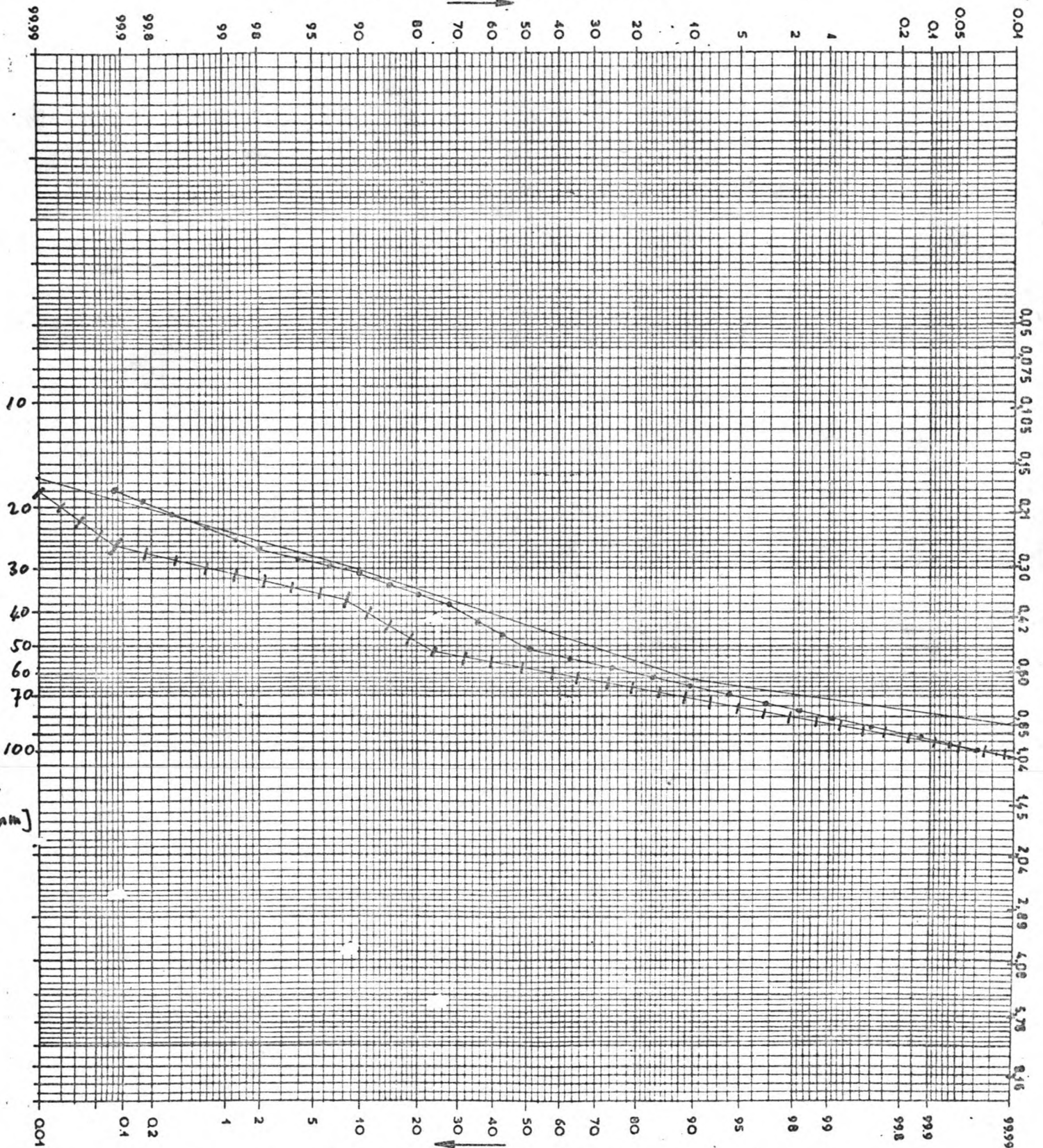
Grof boven (tot) $D_{50} = 0,702$ m.

D10



T.44 Grof boven rood $D_{50} = 0,093 \text{ m}$ D11

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLIJFT LIGGEN

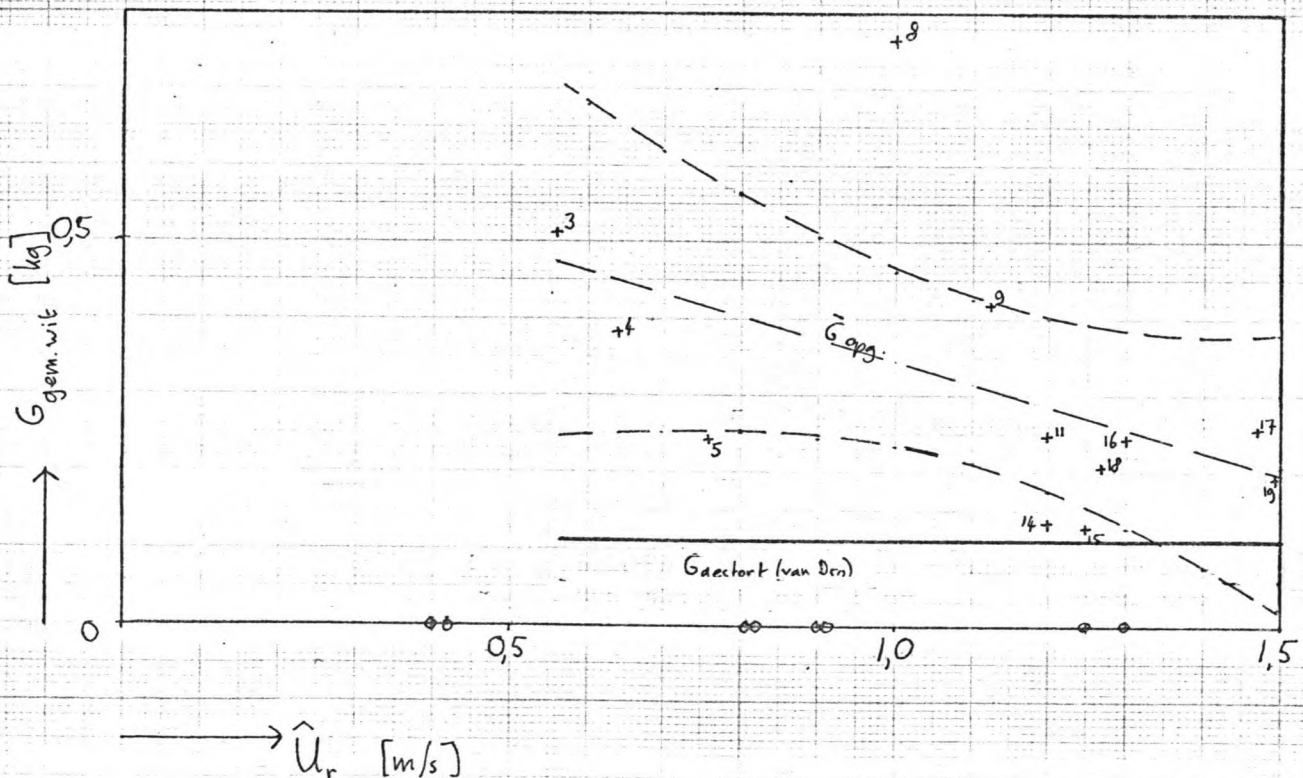


Fijn Grind : T22 boven | | | | |
 T44 boven ● — ● — ●
 Gestort —————

D12

Aangegeven is het verband, m.b.v. regressie-analyse bepaald, tussen \hat{u} en het gemiddeld opgevangen steengewicht. De lijnen die het 95% betrouwbaarheidsgebied begrenzen zijn daarbij eveneens aangegeven.

Opvallend is het grote verschil met het gewicht van een steen met $D_{50} = 0,043$ m. ($G = \frac{\pi}{6} \cdot \rho_s \cdot D_{50}^3$) Zie hierover bijlage D.



$G_{\text{gem.wit}} - U_{r \text{ max}}$

T 44

fijn onder

D 13

