

REPRODUCTIE ZOUTTOESTAND
GETIJRIVIEREN

XI

TWEEDIMENSIONAAL ONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 896-XI

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

REPRODUKTIE ZOUTTOESTAND GETIJRIVIEREN

Tweedimensionaal onderzoek

M 896

april 1974

LIJST VAN FIGUREN

NOTATIES

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	1
<u>2</u>	<u>Formulering probleem</u>	3
2.1	Basisvergelijkingen	3
2.2	Turbulente termen	3
2.3	Flux vergelijkingen.....	4
2.4	Experimenteel onderzoek.....	4
<u>3</u>	<u>Experimenteel onderzoek</u>	5
3.1	Opzet onderzoek.....	5
3.2	Proevenprogramma.....	6
3.3	Optimalisering meetmethodiek.....	6
3.4	Technische gegevens.....	7
<u>4</u>	<u>Interpretatie resultaten</u>	9
4.1	Resultaten onderzoek.....	9
4.2	Interpretatietechnieken.....	10
4.3	Korrelatie parameters.....	12
4.4	Literatuurgegevens.....	15
<u>5</u>	<u>Konklusies</u>	17
<u>6</u>	<u>Literatuur</u>	19

TABELLEN 1 t/m 4

LIJST VAN FIGUREN

1. Opzet getijgootonderzoek
2. Schema meetopstelling
3. Proeven systematisch onderzoek
4. Ingestelde stromingstoestand
5. Snelheidsvertikalen
6. Dichtheidsvertikalen
7. Horizontale snelheid
8. Saliniteit
9. Turbulente schuifspanning
10. Turbulente viscositeit
11. Mengweg impulstransport
12. Parameter impulstransport
13. Turbulent massatransport
14. Turbulente diffusiecoëfficiënt
15. Mengweg massatransport
16. Parameter massatransport
17. Flux Richardsongetal
18. Getal van Schmidt
19. Snelheidsgradiënt
20. Dichtheidsgradiënt
21. Getal van Richardson
22. Afgeleide snelheidsgradiënt
23. Parameter α
24. Parameter β
25. Korrelatie gegevens proef T 149
26. Korrelatie gegevens proef T 148
27. Korrelatie gegevens proef T 145
28. Korrelatie gegevens proef T 146
29. Korrelatie gegevens proef T 147
30. Interpretatie resultaten T 149
31. Interpretatie resultaten T 148
32. Interpretatie resultaten T 145
33. Interpretatie resultaten T 146
34. Interpretatie resultaten T 147
35. Voorbeeld vereffenen gegevens

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 36. Literatuurgegevens Pasquill
- 37. Literatuurgegevens Francis c.s.
- 38. Literatuurgegevens Rider
- 39. Literatuurgegevens Ellison en Turner
- 40. Literatuurgegevens Vreugdenhil

NOTATIES

g : versnelling van de zwaartekracht
 h : waterhoogte
 l_i : lengte uitwisseling van impuls
 l_m : lengte uitwisseling van massa
 p : druk
 s : saliniteit (zie ook toelichting bij figuur 8)
 t : tijd
 u : snelheidskomponent in x-richting
 v : snelheidskomponent in y-richting
 u' : fluktuatie van u
 v' : fluktuatie van v
 x : horizontale coördinaat
 y : verticale coördinaat

D : turbulente diffusiecoëfficiënt ($D^* = D/\nu$)
 K : turbulente viscositeit ($K^* = K/\nu$)
 Ri : getal van Richardson
 Rf : flux Richardsongetal
 Sc : getal van Schmidt

α : parameter volgens verg. (35)
 β : parameter volgens verg. (36)
 δ : moleculaire diffusiecoëfficiënt
 ϵ : meetfout
 κ_i : parameter uitwisseling van impuls ($\kappa_i^* = \kappa_i/0,4$)
 κ_m : parameter uitwisseling van massa ($\kappa_m^* = \kappa_m/0,4$)
 ν : moleculaire viscositeit
 ρ : dichtheid
 ρ' : fluktuatie van ρ

$\overline{u'v'}$: kovariantie van u en v
 $\overline{v'\rho'}$: kovariantie van v en ρ
 $-\rho \overline{u'v'}$: turbulente schuifspanning
 $\overline{v'\rho'}$: turbulent massatransport

1 Inleiding

In het kader van het getijgootonderzoek is een omvangrijk systematisch onderzoek uitgevoerd naar de invloed van variatie van randvoorwaarden en stromingskondities op de zoutbeweging. De resultaten van dit onderzoek worden nog verder bewerkt voor meer fundamenteel inzicht en voor kwantitatieve korrelaties. Het kennen van de fysische samenhang is nodig i.v.m. het opzetten van rekenmodellen voor de beschrijving van de zoutbeweging in een estuarium. Het bepalen van fysische koëfficiënten is één van de doelstellingen van het getijgootonderzoek.

Een vijftal proeven in het kader van het bovengenoemde onderzoek waren geschikt voor een zeer gedetailleerde bewerking op basis van een tweedimensionaal model (behalve de horizontale koördinaat, wordt ook de vertikale koördinaat mede in beschouwing genomen; evenwel is het verschijnsel tijdsafhankelijk). Deze proeven zijn bewerkt op basis van de differentiaalvergelijkingen van het tweedimensionale model. Door middel van een balansbeschouwing kon het verloop van de turbulente schuifspanning en dat van het turbulente massatransport bepaald worden. Verder is door middel van berekenen van snelheids- en dichtheidsgradiënten het verloop van een aantal fundamentele parameters bepaald.

De schuifspanning en het massatransport zijn verder geanalyseerd op basis van een aantal uit de literatuur bekende theorieën (diffusietheorie, mengwegtheorieën). Er is getracht om de fysische grootheden volgens deze theorieën te korreleren met fundamentele parameters met betrekking tot de geometrie en de stromingskondities. Een probleem hierbij was de nauwkeurigheid van de te korreleren grootheden en parameters (gecompliceerde vormen met gradiënten en hogere afgeleiden).

Hoewel de nauwkeurigheid vaak te wensen overliet, is door een selectie van de resultaten en door op de significante resultaten een vereffening toe te passen, inzicht verkregen in de samenhang van het verschijnsel. Het is gebleken dat het diffusiemodel en het mengwegmodel van Prandtl zich niet lenen voor het beschrijven van de niet-homogene stroming. Op basis van het mengwegmodel van Von Kármán is het gelukt een verband te vinden dat op een eenvoudige wijze met de stromingskondities samenhangt (reduktie van de "konstante" van Von Kármán afhankelijk van het Richardsongetal). De resultaten zijn getoetst aan literatuurgegevens en gebleken is dat de tendensen goed overeenstemmen.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het getijgootonderzoek M896 in opdracht van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat en stond onder leiding van ir. A.J. van Rees die ook het rapport samenstelde.

2 Formulering probleem

2.1 Basisvergelijkingen

De stroming is bepaald door de snelheidscomponenten u en v (in horizontale, respektievelijk in verticale richting), de dichtheid ρ en de druk p (zie ook figuur 1). De onderlinge samenhang is bepaald door 4 vergelijkingen: de continuïteitsvergelijking voor de vloeistof en evenzo voor de opgeloste stof, de bewegingsvergelijking voor de verticale, respektievelijk de horizontale richting, achtereenvolgens met de voor het doel zinvolle benadering:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v' \rho'}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g = 0 \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{u' v'}) = 0 \quad (4)$$

Hierin is:

u', v' : fluktuatie van u , respektievelijk van v

ρ' : fluktuatie van ρ

$\overline{u' v'}$: kovariantie van u en v

$\overline{v' \rho'}$: kovariantie van v en ρ

2.2 Turbulente termen

Het stelsel is niet gesloten (bij optreden van de kovarianties $\overline{u' v'}$ en $\overline{v' \rho'}$). Men kan het stelsel uitbreiden met vergelijkingen voor deze kovarianties. In deze vergelijkingen zullen kovarianties van hogere orde voorkomen, waardoor het stelsel nooit gesloten zal zijn. Er zijn steeds hypothesen nodig ten aanzien van korrelatie tussen kovarianties en gemiddelde grootheden. Met het uitgebreider worden van het stelsel, wordt de kans groter dat de hypothese in fysische zin eenvoudiger wordt. De hypothese is in fysische zin fundamenteel, wanneer deze alleen nog betrekking heeft op de geometrie. In het minder ideale geval is er ook nog een relatie met de stromingskondities.

2.3 Flux vergelijkingen

Het hierboven gegeven stelsel kan in eerste instantie nog uitgebreid worden met vergelijkingen van de derde orde. Deze hebben het karakter van flux vergelijkingen. Het volgende stelsel zou beschouwd kunnen worden [1]:

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}}{2} \right) + \rho \overline{u'v'} \frac{\partial u}{\partial y} + g \overline{v'\rho'} - \\ - \rho v \left(\overline{u'\nabla^2 u'} + \overline{v'\nabla^2 v'} + \overline{w'\nabla^2 w'} \right) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{\overline{\rho'^2}}{2} \right) + \overline{v'\rho'} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \delta \overline{\rho'\nabla^2 \rho'} = 0 \quad (6)$$

Hierin is:

v : moleculaire viskositeit

δ : moleculaire diffusiecoëfficiënt

Zie voor bijzonderheden [1,2,3].

2.4 Experimenteel onderzoek

Zoals reeds is toegelicht, is ook het stelsel (1 t/m 6) als zodanig niet bruikbaar. De turbulente grootheden (kovarianties, e.d.) zullen betrokken moeten worden op grootheden van de gemiddelde stroming (u, v en ρ) en de afgeleiden daarvan en op de geometrie. Allereerst is experimenteel onderzoek noodzakelijk voor het bepalen van de turbulente grootheden (kovarianties, e.d.). In principe kan dit door turbulentiemetingen maar de experimentele mogelijkheden zijn echter nog zeer beperkt en toepassing op grote schaal is nog niet haalbaar. De kovarianties kunnen ook indirekt bepaald worden via de vergelijkingen (1 t/m 4). De problemen in verband met de nauwkeurigheid zijn hier ook groot, maar dit onderzoek is toch experimenteel haalbaar en op grote schaal uitvoerbaar mede dank zij de geautomatiseerde meettechnieken en de mogelijkheden van geautomatiseerde informatieverwerking.

3 Experimenteel onderzoek

3.1 Opzet onderzoek

Het onderzoek is als volgt uitgevoerd:

Gemeten is: de waterhoogte	$h f(x,t)$
de horizontale snelheid	$u f(x,y,t)$
de dichtheid	$\rho f(x,y,t)$

Uit deze gegevens wordt berekend met behulp van stelsel (1) tot en met (4):

$$\text{Uit (1): } v = - \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy \quad (7)$$

$$\text{Uit (2): } \overline{v' \rho'} = - \int_0^y \left\{ \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} \right\} dy \quad (8)$$

$$\text{Uit (3): } \frac{\partial p}{\partial y} = - \rho g + (*) \quad (9)$$

$$\text{Uit (4): } \rho \overline{u' v'} = \int_0^y \left\{ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} \right\} dy \quad (10)$$

Hierbij is gebruik gemaakt van de randvoorwaarden:

$$\text{Voor } y = 0: \quad v = 0 \quad (11)$$

$$\overline{v' \rho'} = 0 \quad (12)$$

$$\text{Voor } y = h: \quad p = 0 \quad (13)$$

$$\rho \overline{u' v'} = 0 \quad (14)$$

In vergelijking (9) wordt nog de invloed van de verticale versnellingen meegenomen (*); de termen blijken verwaarloosbaar klein te zijn. De drukgradiënt in vergelijking (10) wordt bepaald met behulp van vergelijking (9).

$$\text{Uit } p = - \int_y^h \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) dy \quad (15)$$

$$\text{volgt: } \frac{\partial p}{\partial x} = - \int_y^h \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) dy - \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right)_{(y=h)} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (16)$$

3.2 Proevenprogramma

Zoals reeds in de inleiding is genoemd, zijn in het kader van een groot systematisch onderzoek (zie fig. 3) een vijftal proeven uitgevoerd die geschikt waren voor een tweedimensionaal onderzoek (x-y stelsel). Bij deze proeven is de waterhoogte gevarieerd omdat dit in eerste instantie het meest zinvol leek (idee: variatie mengweglengten, e.d.). Bepalend was echter de behoefte om een aantal proeven te hebben die onderling niet te veel zouden verschillen om in verband met de gevoeligheid van de hierboven genoemde berekeningen, veel informatie te hebben uit onafhankelijk van elkaar uitgevoerde proeven. Dit met het doel om uit het ensemble van gegevens duidelijk significante resultaten te kunnen afzonderen. Om deze reden zijn zelfs twee volledig identieke proeven (hierna tweelingproeven genoemd) uitgevoerd.

3.3 Optimalisering meetmethodiek

Het resultaat van het onderzoek hangt ten nauwste samen met de nauwkeurigheid van de meetgegevens en nauwkeurigheid van het rekenproces. Enige aandacht wordt gegeven aan de volgende punten:

- 1°. de meetnauwkeurigheid (absoluut en relatief)
- 2°. de bepaling van de optimale meetdichtheid
- 3°. de voortplanting van de fouten van de berekening.

Ad 1 Voor de meetnauwkeurigheid worden de volgende ervaringscijfers aangehouden:

- waterhoogte h : $\epsilon = \pm 0,0001 \text{ m}$
- snelheden u : $\epsilon = \pm 0,005 \text{ m/s}$
- dichtheden ρ : $\epsilon = \pm 0,25 \text{ kg/m}^3$.

Voor de verdeling van de meetfout kan in eerste instantie aangehouden worden dat deze normaal verdeeld is. Dit klopt overigens redelijk met de meetervaring.

Ad 2 Voor de berekeningen worden behalve de gemeten grootheden ook hun gradiënten gebruikt. De nauwkeurigheid van deze gradiënten (afgeleiden) hangt enerzijds samen met de afbreekfout bij het bepalen van de afgeleide (afbreekfout in de reeks van Taylor) en anderzijds met de onnauwkeurigheid in de meting. Het is blijkbaar mogelijk om een optimale meetafstand (stapgrootte) te bepalen als volgt:

$$\frac{\epsilon}{\Delta} \approx \frac{\Delta}{6} f'''', \text{ hieruit volgt } \Delta \approx \sqrt[3]{\frac{6\epsilon}{f''''}} \quad (17)$$

Hierin is: f'''' : 3e afgeleide, maat voor de afbreekfout
 ϵ : meetfout
 Δ : meetafstand (stapgrootte).

Uit testberekeningen is gebleken dat de optimale stapgrootte wat orde van grootte betreft als volgt geïnterpreteerd kan worden:

- in x-richting: $\Delta x \approx 1/10 L_i$ L_i : indringingslengte zout
- in y-richting: $\Delta y \approx 1/10 h$ h : waterdiepte
- in t-richting: $\Delta t \approx 1/10 (\frac{1}{2}T)$ T : getijperiode.

Ad 3 Er kan worden nagegaan hoe de fouten zich voortplanten bij rekenkundige processen, zoals optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen. Hier-voor kunnen formules opgesteld worden, maar omdat de vergelijkingen gekompliceerd zijn en de grootte-orde van de termen sterk fluktueert, zijn de toepassingsmogelijkheden beperkt. Dit probleem is rigoureuus aangepakt door voor een aantal gevallen tweemaal dezelfde proef uit te voeren en deze "tweelingproeven" volledig onafhankelijk te bewerken (met behulp van geautomatiseerde informatieverwerking). Door de resultaten te vergelijken, kan nagegaan worden welke resultaten significant zijn.

3.4 Technische gegevens

De getijgoot is een sterk geschematiseerde weergave van een estuarium (getijrivier). De opzet is samengevat in fig. 2. Behalve de getijbeweging kan in deze goot de zoutbeweging onderzocht worden. De goot is 101,50 m lang, 0,672 m breed, 0,50 m hoog en is gemaakt van het doorzichtige materiaal perspex. De getijgoot heeft 2 randen, een benedenstroomse rand (de zeerand) en een bovenstroomse rand (de rivierrand). Aan de zeerand wordt het verticale getij en de zoutconcentratie voorgeschreven, aan de rivierrand het horizontale

getij (het debiet).

De "zee" bestaat uit een rechthoekige bak, lang 8 m, breed 6 m en 1,10 m dieper dan de gootbodem. Het bassin wordt niet gebruikt voor het reproduceren van een prototypezee, maar dient alleen om de juiste randvoorwaarde in de riviermond (gootmond) te reproduceren. Het bassin wordt afgesloten door een regelklep, waarmee het getij geregeld wordt. De juiste zoutconcentratie in het zeebassin wordt gehandhaafd door kontinu pekkel te doseren op basis van een automatisch regelsysteem. Door middel van een cirkulatiesysteem wordt kontinu 80 à 160 l/s zout water toegevoerd vanuit de zeebodem door ca. 800 gaatjes ϕ 1 cm verdeeld over ca. 48 m². Hiermee wordt bereikt dat het zoute water gelijkmatig toegevoerd wordt en gelijkmatig gemengd wordt met het zoete water vanuit de rivier.

Omdat de goot op een willekeurige plaats (in het getijgebied) afgebroken is, moet bij vloed een grote hoeveelheid water geborgen worden en bij eb weer gespuid. Hiertoe is een stalen tank ϕ 2,80 m, hoog 3,75 m aangebracht, waarin netto ca. 12 m³ water met voldoende drukhoogte geborgen kan worden. Hiermee kan een wisselend debiet gerealiseerd en geregeld worden; de konstante rivierafvoer wordt apart ter plaatse van de regelrand toegevoerd.

4 Interpretatie resultaten

4.1 Resultaten onderzoek

Het onderzoek heeft 5 getijgootproeven omvat waarbij 2 volledig identieke proeven. Dit zijn de proeven T 145 t/m T 149 in het schema van fig. 3. Hierbij is alleen de waterhoogte gevarieerd (tussen $h_0 = 0,156$ m en $h_0 = 0,234$ m). Bij deze proeven werd aan de zeezijde een sinusvormig getij opgedrukt en de saliniteit op de zeerland werd konstant gehouden. Aan de rivierzijde werd een konstant debiet opgedrukt. Zie fig. 4.

De goot was 0,672 m breed en de lengte was ekwivalent met 179,16 m. Bij de diverse waterdiepten was de verhouding $L/\frac{1}{4} \lambda$ (λ = lengte onvervormde getijgolf; L = gootlengte) zodanig (in de buurt van 1 $\rightarrow$ resonantie) dat een redelijke menging verwacht kon worden.

De ruwheid van de goot was ekwivalent met $C = 19,0 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$ (C = Chézy koëfficiënt) voor stromen met homogeen water. De ruwheid werd gerealiseerd door verticale plaatjes 4 x 4 cm die in een bepaald patroon op de bodem aangebracht waren. Er was geen extra wandruwheid en omdat de goot gemaakt is van het gladde materiaal perspex, waren de omstandigheden zodanig dat een tweedimensionaal stroombeeld verwacht kon worden.

De meetresultaten voor de 5 hierboven aangegeven proeven zijn weergegeven in de fig. 5 t/m 8. De tweelingproeven geven identieke resultaten; ze wijken alleen af wat betreft de gradiënten, zoals later zal blijken. In de fig. 5 en 6 is de horizontale snelheid, respectievelijk de dichtheid gegeven als functie van de verticale coördinaat voor 25 tijdstippen over het getij. In de fig. 7 en 8 is de horizontale snelheid, respectievelijk de saliniteit gegeven als functie van de tijd voor 4 niveaus in de vertikaal.

De rekenresultaten zijn in beeld gebracht in de fig. 9 t/m 24, ook als functie van de tijd op dezelfde wijze als bij de fig. 7 en 8. Deze presentatie heeft duidelijke voordelen. Het beeld is cyclisch, het varieert tamelijk gelijkmatig wat ook geldt voor de verdeling van de nauwkeurigheid, en is niet behept met integratiefouten e.d. aan de randen.

De grafieken van fig. 9 t/m 24 zijn verkregen door gladstrijken ("smoothen", hierna aan te duiden met vereffenen) van de oorspronkelijke resultaten (eindresultaten) die beschikbaar zijn voor 12 niveau's in de vertikaal. Voor 4 niveau's is hieruit het meest waarschijnlijke verloop gekonstrueerd. Deze procedure is ook voor de 2 tweelingproeven min of meer onafhankelijk uitgevoerd.

4.2 Interpretatietechnieken

Het doel van het onderzoek is het zoeken van het verband tussen de turbulente grootheden (kovarianties - $\overline{u'v'}$ en $\overline{v'\rho'}$) en grootheden van de gemiddelde stroming (u, v, ρ en gradiënten hiervan) en de geometrie. In eerste instantie zullen de interpretatietechnieken onderzocht worden die bekend zijn uit de literatuur. Enkele bekende technieken zijn in opklimmende graad van gedetailleerdheid, samengevat in tabel 1.

Op basis van het raamwerk, zoals gegeven in deze tabel, zijn de meetgegevens stapsgewijs verwerkt en geanalyseerd. De resultaten zijn weergegeven in fig. 9 t/m 16. De resultaten over de vloedperiode ($t/0,04 T = 3$ t/m 12) blijken over het algemeen onbetrouwbaar te zijn. De resultaten over de ebperiode ($t/0,04 T = 12$ t/m 21) blijken daarentegen redelijk nauwkeurig te zijn. Deze laatste resultaten zullen gebruikt worden bij het hierna te bespreken korrelatie-onderzoek.

De in tabel 1 genoemde interpretatietechnieken zijn niet met elkaar in strijd, ze verschillen alleen wat graad van gedetailleerdheid betreft. Bepalend voor de keuze is of de methode al dan niet geschikt is voor het beschrijven van een niet-homogene vloeistofbeweging. Voor dit geval kan verwacht worden dat de diffusietheorie te weinig inzicht geeft omdat deze te weinig gedetailleerd is. Ten aanzien van het mengwegmodel van Prandtl kunnen betere resultaten verwacht worden, hoewel voor het beschrijven van een meer uitgesproken tweelagenstroming toch wel bijzondere problemen met betrekking tot het grensvlak op zullen treden. Het mengwegmodel van Von Kármán [4] behoeft geen specificatie van de begrenzing vanwege de koppeling aan de lokale geometrie en leent zich daardoor bij voorbaat beter voor het beschrijven van een niet-homogene stroming.

Interpretatie- techniek (theorie)	Korrelatie/ analogie	Fundamentele parameters	
		Uitwisseling van impuls	Uitwisseling van massa
<u>Diffusie-</u> <u>theorie</u> Impuls, resp. massa: Boussinesq (1877), resp. Fick (1855)	Korrelatie met gradiënt. Analogie met mol. diffusie	$K = \frac{\overline{-u'v'}}{\frac{\partial u}{\partial y}} \quad (18)$ (turb. viskositeit)	$D = \frac{\overline{v'\rho'}}{-\frac{\partial \rho}{\partial y}} \quad (19)$ (turb. diffusiecoëfficiënt)
<u>Mengwegtheorie</u> Prandtl (1925)	Korrelatie met produkt gradiënten. Analogie met moleculaire gastheorie	$l_i^2 = \frac{\overline{-u'v'}}{(\frac{\partial u}{\partial y})^2} \quad (20)$ (mengweg uitw. impuls)	$l_m^2 = \frac{\overline{v'\rho'}}{(\frac{\partial u}{\partial y})(-\frac{\partial \rho}{\partial y})} \quad (21)$ (mengweg uitwisseling massa)
<u>Hypothese</u> <u>lokale geom.</u> <u>gelijkvormigh.</u> <u>turbulentie</u> Von Kármán (1930)	Korrelatie met 1e en 2e afgeleiden. Generalisatie mengweg- theorie	$\kappa_i^2 = \frac{\overline{-u'v'}}{(\frac{\partial u}{\partial y})^4 / (\frac{\partial^2 u}{\partial y^2})^2} \quad (22)$ (parameter uitw. impuls)	$\kappa_m^2 = \frac{\overline{v'\rho'}}{(\frac{\partial u}{\partial y})^3 (-\frac{\partial \rho}{\partial y}) / (\frac{\partial^2 u}{\partial y^2})^2} \quad (23)$ (parameter uitwisseling massa)

Tabel 1 Schema interpretatietechnieken

4.3 Korrelatie parameters

Om de parameters te vinden die bepalend zijn voor de turbulente uitwisseling van impuls en massa, wordt uitgegaan van het stelsel flux vergelijkingen (5,6). In het bijzonder van de vergelijking (5) die een balans is voor het energietransport. Deze vergelijking bestaat uit 4 groepen van termen, achtereenvolgens met betrekking tot de verandering van turbulente energie, de produktie van turbulente energie en de konsumptie tengevolge van turbulent massatransport en dissipatie tengevolge van viskeuze effecten. Uiteindelijk wordt de turbulente energie omgezet in moleculaire processen tengevolge van moleculaire viskositeit en moleculaire diffusie, afgezien van een deel dat omgezet is in turbulent massatransport.

De demping tengevolge van moleculaire processen hangt samen met de laatste groep termen in (5) en met de laatste groep termen in (6), respektievelijk dissipatie tengevolge van moleculaire viskositeit en diffusie. Deze termen kunnen niet anders dan met turbulentiemetingen bepaald worden, hetgeen niet gebeurd is afgezien van de onmogelijkheid hiervan met behulp van de huidige techniek. Alleen de term tengevolge van turbulent massatransport kan bepaald worden.

De konsumptie van energie tengevolge van turbulent massatransport ten opzichte van de produktie van turbulente energie wordt weergegeven door het Flux Richardsongetal (Rf)

$$Rf = \frac{\overline{g v' \rho'}}{-\rho \overline{u' v' \frac{\partial u}{\partial y}}} \quad (24)$$

Met behulp van de mengweghypothese kan gesteld worden dat:

$$-\overline{u' v'} = l_i^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (20), \quad \overline{v' \rho'} = l_m^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \left(- \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) \quad (21)$$

waardoor vergelijking (24) overgaat in:

$$Rf = \frac{-g l_m^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right)}{\rho l_i^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^3} = \frac{l_m^2}{l_i^2} \frac{-g \frac{\partial \rho}{\partial y}}{\rho \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2} \quad (25)$$

Deze vergelijking wordt geschreven als:

$$Rf = Sc^{-1} \cdot Ri \quad (26)$$

waarin:

$$Ri = \frac{-g \frac{\partial \rho}{\partial y}}{\rho \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2} \quad (27) \quad \text{en} \quad Sc^{-1} = \frac{l_m^2}{l_i^2} = \frac{D}{K} = \frac{\overline{v' \rho'} / -\left(\frac{\partial \rho}{\partial y}\right)}{-\overline{u' v'} / \frac{\partial u}{\partial y}} \quad (28)$$

Ri is het Richardsongetal, een belangrijke parameter bij de beschrijving van de stabiliteit van gelaagde stromingen en Sc is het Schmidtgetal. Het Flux Richardsongetal is uit de meetgegevens berekend en weergegeven in fig. 17, evenzo het Schmidtgetal in fig. 18 en het Richardsongetal in fig. 21, waarbij in fig. 19 en 20 respectievelijk de snelheidsgradiënt en de dichtheidsgradiënt weergegeven zijn.

Er is nu hier een basis aanwezig om tot een interpretatie te komen. De beschouwing onder 4.2 heeft geleid tot de keuze van κ_i en κ_m als afhankelijk variabelen. Bij de hierboven gegeven beschouwing werd afgeleid dat Ri de onafhankelijk variabele moet zijn, afgezien van invloeden van dissipatie. Het is dus aannemelijk om de volgende korrelatie te onderzoeken:

$$\kappa_i = f_i (Ri, \text{dissipatie}) \quad (29)$$

$$\kappa_m = f_m (Ri, \text{dissipatie}) \quad (30)$$

Zolang niet bekend is door welke parameter de dissipatie weergegeven wordt, kan slechts de korrelatie met het Richardsongetal onderzocht worden.

Het onderzoek is uitgevoerd uitgaande van de vereffende resultaten die in de tabellen 2 t/m 6 verzameld zijn. In fig. 25 t/m 29 is de korrelatie met

het Richardsongetal nagegaan op een lineaire verdeling, in fig. 30 t/m 34 op een enkel-logaritmische verdeling. In de figuren is

$$\kappa_i^* = \kappa_i / 0,4 \quad (31) \quad \kappa_m^* = \kappa_m / 0,4 \quad (32)$$

waarbij 0,4 de waarde van κ voor het homogene geval voorstelt.

Het blijkt dat er een zekere korrelatie is. Wanneer de resultaten voor diverse tijdstippen, diverse niveau's en voor de verschillende proeven met elkaar vergeleken worden, blijkt deze tendens min of meer eenduidig te zijn en globaal weergegeven te kunnen worden met de functies:

$$\kappa_i^{*2} = \exp (-9 Ri) \quad (33)$$

$$\kappa_m^{*2} = \exp (-13,5 Ri) \quad (34)$$

Deze functies worden als referentie bij de beoordeling gebruikt. Door de grote spreiding in de resultaten is het niet mogelijk om de korrelaties volgens (29) en (30) in detail na te gaan.

De "spreiding" vertoont een merkwaardig beeld. Door de resultaten voor achtereenvolgende tijdstippen te verbinden ontstaan "lussen" om de tendens volgens (33) en (34). Hiervoor zijn een aantal verklaringen mogelijk:

- De standaardafwijking in de berekende resultaten is zodanig groot dat "vereffenen" systematische afwijkingen kan introduceren.
- De onvolkomenheden in het bepalen van de gradiënten van gemeten grootheden bij een beperkte bemonsteringsdichtheid, kunnen resulteren in systematische afwijkingen.
- Het verschijnsel is tijdsafhankelijk. De korrelaties (29) en (30) zouden mogelijk aangevuld moeten worden met tijdsafhankelijke termen.

Bij het samenstellen van fig. 25 t/m 34 is het vereffenen nogmaals beoordeeld en zonodig zijn korrekties toegepast. De gegevens in de tabellen 2 t/m 6 met betrekking tot κ_i , κ_m en Ri zijn daardoor soms niet meer volledig in overeenstemming met die in fig. 12, 16 en 21. Dit betreft dan tijdstippen waarvoor het verloop onduidelijk (triviaal) was. Bijvoorbeeld in fig. 35 rond hoogwaterkentering ($t/0,04T = 11$) fluktuëren de grafieken tussen zeer grote positieve en negatieve waarden.

Voor $y/\Delta y = 2$ en $y/\Delta y = 5$ is de waarde 0 aangehouden. Dit kan niet juist zijn; het Richardsongetal moet erg groot zijn. Deze tendens is in fig. 25 t/m 34 verwerkt. Verder moet er rekening mee gehouden worden dat de gegevens onafhankelijk van elkaar vereffend zijn en daardoor mogelijk niet meer consistent zijn ten aanzien van de basisvergelijkingen (1 t/m 4). Voor aanvullende berekeningen moet daarom uitgegaan worden van de oorspronkelijke gegevens.

Er is nog nagegaan of de spreiding in de resultaten verklaard kan worden uit invloeden van viscositeit (dissipatie). In principe zou dit een nader onderzoek van de vergelijkingen (5) en (6) vereisen met betrekking tot de dissipatie-termen. Dit valt echter buiten de mogelijkheden van het huidige onderzoek. Er is daarom gezocht naar de mogelijkheid om uitgaande van de "snelheidsschaal" en de "lengteschaal" die volgt uit (20) en (22), een "schaal" voor een Reynoldsgetal op te stellen. In de tweede instantie zou ook nog het Richardsongetal in de "schaal" opgenomen kunnen worden. Op deze wijze ontstaan de groepen:

$$\alpha = \frac{\left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^3}{v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2} \quad (35)$$

$$\beta = \frac{\left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^5 / \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2}{\frac{g v}{\rho} \left(-\frac{\partial \rho}{\partial y} \right)} \quad (36)$$

Deze grootheden zijn berekend uit de meetgegevens en zijn afgebeeld in fig. 23 en 24. (De tweede afgeleide van de horizontale snelheid is afgebeeld in fig. 22). Er kan echter niet aangetoond worden dat deze grootheden relevant zijn ten aanzien van het verschijnsel. Evenwel heeft de spreiding ten opzichte van de tendens (33, 34) ook niet een zodanig karakter dat invloed van de viscositeit voor de hand ligt. Het moet daarom niet uitgesloten worden geacht dat er een eenduidig verband bestaat over een bereik dat in praktisch opzicht relevant is. Het onderzoek heeft echter niet die kwaliteit dat een definitieve uitspraak gegeven kan worden.

4.4 Literatuurgegevens

Enkele belangrijke publikaties zijn samengevat in fig. 36 t/m 40, waarbij fig. 40 ontleend is aan het literatuuronderzoek van Vreugdenhil [1] :

- In fig. 36 resultaten van Pasquill [6] voor $\kappa_m^{*2} f(Ri)$
- In fig. 37 Francis, Stommel, Farmer en Parson [7] met $Sc^{-1} f(Ri)$

- In fig. 38 resultaten Rider [8] voor $\kappa_i^{*2} f(Ri)$ en $\kappa_m^{*2} f(Ri)$
- In fig. 39 Ellison en Turner [9] met $Sc^{-1} f(Ri)$ en Rf als parameter
- In fig. 40 Vreugdenhil [1] met samenvatting literatuurgegevens.

Om inzicht te krijgen hoe de resultaten van het onderzoek in de getijgoot gemiddeld liggen ten opzichte van de resultaten die bekend zijn uit de literatuur, zijn in fig. 40 de functies (33) en (34) ingetekend. Tevens is het quotiënt hiervan (reciproke waarde Schmidtgetal (Sc^{-1})) uitgezet. Dit is de functie:

$$\kappa_m^{*2} / \kappa_i^{*2} = \exp (-4,5 Ri) \quad (37)$$

Het blijkt dat de functies (33), (34) en (37) globaal redelijk samenvallen met de tendens van het merendeel van de resultaten in fig. 40. De functie (33) is identiek met die voorgesteld door Mamayev [5]. Naast deze exponentiële functie zijn nog andere vormen voorgesteld die ongeveer dezelfde tendens weergeven (o.a. Holzman (1942), zie [3]). Er is dus een duidelijke aansluiting met de literatuur aanwezig. Er zijn evenwel ook enkele afwijkingen die belangrijk kunnen zijn:

- De functie (37) neemt voor $Ri = 0$ de waarde 1 aan; de literatuurgegevens tenderen echter naar een hogere waarde. Ten aanzien van de uitwisseling van massa geeft de literatuur wel dezelfde tendens, maar over het algemeen hogere waarden dan volgens (34). Dit leidt voor het homogene geval tot $\kappa_m > 0,40$. Hiervoor bestaat echter allerm minst eenduidigheid. Zie Monin en Yaglom ([3], blz. 253).
- In fig. 40 vallen de resultaten van Jacobsen (1913) (zie Taylor [10]) buiten de tendens van de overige literatuurgegevens en de tendens volgens (37). Gezien de bijzonder extreme condities (Ri orde 5), is het niet ondenkbaar dat de uitwisseling overschat is. Zouden deze gegevens niet significant zijn, dan zijn hierdoor empirische verbanden als in fig. 40 zeer misleidend.

Het is mogelijk dat de resultaten van het getijgootonderzoek meer beïnvloedend zijn dan in laatste instantie lijkt. Ook in de literatuurgegevens is een grote spreiding aanwezig. Het lijkt verantwoord te stellen dat met een aantal verbeteringen ten aanzien van meten en bewerken, het getijgootonderzoek nog verder bij kan dragen in het vinden van fysische correlaties.

5. Konklusies

1. Uit het toetsen van de meetgegevens aan het diffusiemodel (Boussinesq; Fick), het mengwegmodel van Prandtl en het mengwegmodel van Von Kármán, is gebleken dat de gedetailleerdheid van het laatste model nodig is voor het vinden van eenvoudige korrelaties.
2. De "konstante" ($\kappa = 0,4$) die behoort bij het mengwegmodel van Von Kármán, blijkt bij een niet-homogene stroming niet konstant te zijn, maar samen te hangen met het getal van Richardson (Ri).
3. De resultaten van het onderzoek vertonen de tendens dat de volgende beschrijving eenduidig zou zijn:
 $\kappa_i = 0,4 \exp(-4,5 Ri)$; $\kappa_m = 0,4 \exp(-6,75 Ri)$, waarbij κ_i en κ_m de parameters zijn volgens de mengwegtheorie van Von Kármán met betrekking tot respektievelijk impuls- en massatransport.
4. Het onderzoek heeft niet die kwaliteit dat een definitieve uitspraak gegeven kan worden. Er is een grote spreiding in de resultaten die deels te wijten is aan onnauwkeurigheden in meten en bewerken, maar deels mogelijk inherent is aan het niet permanente verschijnsel.
5. Uit het toetsen van de gevonden verbanden aan literatuurgegevens blijkt dat er een goede overeenkomst aanwezig is wat tendens betreft met de meer recente gegevens (de oudere literatuurgegevens doen een overschatting van de uitwisseling vermoeden; zie ook de punten 7 en 8).
6. Omdat thans reeds duidelijke tendensen verkregen zijn, kan verwacht worden dat met een aantal verbeteringen (ten aanzien van bemonsteringsdichtheid, ijking instrumenten, bepaling gradiënten en vereffenen resultaten) het getijgootonderzoek bij kan dragen in het vinden van fysische korrelaties.
7. Ten aanzien van de uitwisseling van massa geeft de literatuur dezelfde tendens, maar wel over het algemeen hogere waarden dan uit het verband onder punt 3 zou volgen. Dit leidt voor het neutrale (homogene) geval tot $\kappa_m > 0,40$. Hierover bestaat echter allerm minst eenduidigheid. Zie Monin en Yaglom [3], blz. 253).

8. De metingen van Jacobsen (1913) (zie Taylor [10]) kunnen niet korrekt zijn. Bedenkkelijk is reeds dat dit de enige gegevens zijn waarbij bij zeer hoge Richardsongetallen (orde 5) nog een massatransport gemeten is. Zouden deze gegevens niet significant zijn, dan zijn hierdoor empirische verbanden als in fig. 40 zeer misleidend.

6 LITERATUUR

- 1 VREUGDENHIL, C.B., Literatuuronderzoek in het kader van S114:
 1. Turbulente viscositeit en diffusiecoëfficiënt bij variabele dichtheid, maart 1967.
 2. Toepassing van de energievergelijking bij de berekening van turbulente stroming, november 1968.Niet-gepubliceerde nota's, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- 2 HINZE, J.O., Turbulence, An introduction to its mechanism and theory, Mc Graw-Hill Book Co, Inc., New York, etc., 1959.
- 3 MONIN, A.S., and YAGLOM, A.M., Statistical hydromechanics, Part I: The mechanics of turbulence, Moscow, 1965; English translation, Joint Publications Research Service, U.S.A., 1968.
- 4 VON KÁRMÁN, Th., Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., 58-76, 1930.
- 5 MAMAYEV, O.I., The influence of stratification on vertical turbulent mixing in the sea, Izv. Acad. Sci., USSR, Geoph. Ser., 870-875, 1958 (English translation p. 494-497).
- 6 PASQUILL, F., Eddy diffusion of water vapour and heat near the ground, Proc. Roy. Soc. A 198, 116-140, 1949.
- 7 FRANCIS, J.R.D., STOMMEL, H., FARMER, H.G., and PARSON, D., Observations of turbulent mixing processes in a tidal estuary, Tech. Rep. no. 53-22, Woods Hole Oceanogr. Inst., Woods Hole, Mass., 1953.
- 8 RIDER, N.E., Eddy diffusion of momentum, water vapour and heat near the ground, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 246, 918, 481-501, 1954.

- 9 ELLISON, T.H., and TURNER, J.S., Mixing of a dense fluid in a turbulent pipe flow, J. Fluid Mech., 8,4, 514-544, 1960.
- 10 TAYLOR, G.I., Internal waves and turbulence in a fluid of variable density, Rapports et Procès verbaux du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer, Vol. 76, p. 35-49, 1931.

	$y/(1/13h_0) \text{ m}$	u	s	$-\overline{\rho u'v'}$	K^*	χ_i^{*2}	$\overline{v'\rho'}$	D^*	χ_m^{*2}	Ri	Rf
		m/s	10^{-3}	N/m^2			10^{-3} kg/ms				
<u>2</u>	13	-0,06	29	-0,06	200	0,25	0,04	5	0,02	0,20	0,01
	14	-0,08	28	-0,14	410	0,56	0,06	25	0,08	0,11	0,04
	15	-0,10	28	-0,21	570	0,64	0,18	70	0,18	0,08	0,04
	16	-0,09	27	-0,24	510	0,60	0,45	79	0,18	0,08	0,04
	17	-0,08	26	-0,20	290	0,36	0,55	60	0,16	0,11	0,03
	18	-0,07	24	-0,15	170	0,18	0,58	31	0,08	0,19	0,03
	19	-0,05	23	-0,08	80	0,08	0,47	14	0,03	0,29	0,02
	20	-0,03	22	-0,02	30	0,04	0,22	4	0,02	0,36	0,02
	21	-0,01	21	0,03	10	0,03	0,05	1	0,01	0,40	0,01
<u>5</u>	13	-0,06	28	-0,03	40	0,01	0,03	4	0,00	0,60	0,04
	14	-0,10	28	-0,08	140	0,12	0,16	10	0,03	0,24	0,04
	15	-0,12	27	-0,13	220	0,20	0,55	47	0,09	0,18	0,04
	16	-0,12	26	-0,15	150	0,25	0,95	33	0,09	0,19	0,04
	17	-0,12	25	-0,13	70	0,14	1,15	16	0,04	0,24	0,04
	18	-0,12	22	-0,09	30	0,08	1,15	7	0,02	0,28	0,03
	19	-0,11	19	-0,05	10	0,04	0,82	3	0,01	0,31	0,02
	20	-0,10	16	-0,02	10	0,02	0,52	1	0,00	0,34	0,02
	21	-0,09	13	0,02	10	0,01	0,25	1	0,00	0,36	0,01
<u>8</u>	13	-0,07	28	-0,02	90	0,00	0,02	3	0,00	0,90	0,01
	14	-0,13	28	-0,04	60	0,01	0,06	17	0,00	0,90	0,04
	15	-0,17	26	-0,05	20	0,01	0,40	6	0,00	0,77	0,02
	16	-0,21	18	-0,06	10	0,01	0,60	2	0,00	0,48	0,01
	17	-0,23	2	-0,05	10	0,02	0,65	1	0,01	0,34	0,01
	18	-0,24	0	-0,04	10	0,02	0,59	1	0,01	0,26	0,02
	19	-0,23	0	-0,03	0	0,03	0,42	2	0,02	0,22	0,05
	20	-0,21	0	-0,02	0	0,04	0,20	1	0,02	0,21	0,02
	21	0,18	0	0,00	0	0,05	0,05	1	0,03	0,24	0,00

Tabel 2

Resultaten proef T 149

	$y/(1/13h_0)$ $t/0,04 \text{ T}$	u	s	$-\rho u'v'$	K^*	χ_i^{*2}	$\overline{v'\rho'}$	D^*	χ_m^{*2}	Ri	Rf
		m/s	10^{-3}	N/m^2			$10^{-3} kg/ms$				
<u>2</u>	13	-0,07	30	-0,21	240	0,25	0,05	30	0,12	0,12	0,00
	14	-0,09	30	-0,29	510	0,56	0,15	57	0,33	0,05	0,01
	15	-0,10	29	-0,33	410	0,64	0,29	73	0,42	0,07	0,01
	16	-0,10	28	-0,33	310	0,56	0,46	75	0,36	0,10	0,02
	17	-0,08	27	-0,31	300	0,42	0,58	67	0,25	0,14	0,02
	18	-0,07	26	-0,25	300	0,28	0,50	42	0,12	0,20	0,02
	19	-0,05	25	-0,18	170	0,18	0,35	20	0,06	0,25	0,02
	20	-0,02	24	-0,14	70	0,14	0,25	9	0,04	0,28	0,02
	21	-0,01	24	-0,12	90	0,12	0,20	7	0,04	0,30	0,02
<u>5</u>	13	-0,09	29	-0,12	200	0,10	0,11	5	0,01	0,30	0,01
	14	-0,12	29	-0,17	250	0,22	0,35	14	0,06	0,21	0,02
	15	-0,13	28	-0,21	240	0,25	0,73	36	0,11	0,18	0,03
	16	-0,13	27	-0,22	190	0,25	1,00	50	0,14	0,16	0,03
	17	-0,13	26	-0,22	140	0,20	1,20	38	0,12	0,15	0,02
	18	-0,12	25	-0,19	100	0,12	0,95	21	0,08	0,17	0,02
	19	-0,11	24	-0,13	60	0,09	0,70	9	0,05	0,19	0,02
	20	-0,08	22	-0,10	40	0,06	0,38	3	0,02	0,23	0,01
	21	-0,06	21	-0,09	20	0,04	0,26	2	0,01	0,27	0,01
<u>8</u>	13	-0,10	29	-0,05	140	0,08	0,05	2	0,03	0,30	0,02
	14	-0,15	29	-0,08	100	0,05	0,16	9	0,02	0,34	0,05
	15	-0,18	28	-0,10	70	0,03	0,40	22	0,01	0,38	0,03
	16	-0,21	26	-0,11	50	0,02	0,65	8	0,01	0,40	0,02
	17	-0,23	23	-0,10	40	0,02	0,72	3	0,00	0,37	0,02
	18	-0,24	10	-0,09	30	0,04	0,65	1	0,01	0,32	0,02
	19	-0,24	2	-0,07	30	0,05	0,30	1	0,01	0,31	0,02
	20	-0,22	1	-0,06	30	0,06	0,13	1	0,01	0,30	0,02
	21	-0,18	0	-0,05	40	0,09	0,05	1	0,02	0,27	0,01

Tabel 3

Resultaten proef T 148

$y/(1/13h_0)$ $t/0,04$ T		u	s	$-\overline{\rho u'v'}$	K^*	χ_i^{*2}	$\overline{v'\rho'}$	D^*	χ_m^{*2}	Ri	Rf
		m/s	10^{-3}	N/m ²			10^{-3} kg/ms				
<u>2</u>	13	-0,08	29	-0,02	40	0,20	0,08	28	0,11	0,10	0,00
	14	-0,10	28	-0,13	170	0,42	0,17	49	0,20	0,06	0,01
	15	-0,11	28	-0,21	250	0,72	0,28	68	0,22	0,08	0,02
	16	-0,11	27	-0,23	330	0,64	0,40	75	0,16	0,12	0,03
	17	-0,09	26	-0,19	320	0,42	0,60	63	0,09	0,17	0,04
	18	-0,08	25	-0,13	200	0,20	0,50	30	0,04	0,23	0,05
	19	-0,05	24	-0,05	100	0,06	0,28	12	0,02	0,30	0,05
	20	-0,02	24	-0,02	20	0,03	0,20	8	0,01	0,34	0,05
	21	0,02	24	0,00	10	0,02	0,14	7	0,01	0,39	0,04
<u>5</u>	13	-0,10	28	0,01	10	0,06	0,16	5	0,03	0,26	0,01
	14	-0,13	28	-0,06	50	0,14	0,40	14	0,05	0,15	0,02
	15	-0,15	27	-0,13	120	0,12	0,68	28	0,05	0,12	0,03
	16	-0,15	26	-0,15	120	0,08	0,97	48	0,04	0,13	0,04
	17	-0,14	25	-0,14	100	0,05	1,28	55	0,03	0,15	0,05
	18	-0,12	24	-0,11	70	0,04	1,10	44	0,03	0,18	0,06
	19	-0,09	24	-0,06	40	0,04	0,66	21	0,02	0,23	0,06
	20	-0,07	23	-0,03	20	0,05	0,45	9	0,03	0,27	0,06
	21	-0,03	22	-0,01	10	0,04	0,35	5	0,02	0,29	0,06
<u>8</u>	13	-0,13	28	0,04	0	0,02	0,05	8	0,02	0,25	0,01
	14	-0,17	27	-0,01	20	0,06	0,09	51	0,04	0,25	0,01
	15	-0,20	27	-0,04	80	0,04	0,20	9	0,02	0,31	0,02
	16	-0,22	25	-0,06	70	0,02	0,70	4	0,01	0,36	0,03
	17	-0,22	23	-0,06	40	0,02	1,50	2	0,01	0,37	0,04
	18	-0,22	15	-0,05	20	0,02	0,90	1	0,00	0,38	0,04
	19	-0,21	5	-0,04	10	0,02	0,39	1	0,00	0,39	0,04
	20	-0,19	0	-0,03	10	0,02	0,13	3	0,01	0,40	0,04
	21	-0,16	0	-0,03	20	0,02	0,05	7	0,01	0,41	0,04

Tabel 4 Resultaten proef T 145

$y/(1/13h_0)$ t/0,04 T		u	s	$-\overline{\rho u'v'}$	K^*	χ_i^{*2}	$\overline{v'\rho'}$	D^*	χ_m^{*2}	Ri	Rf
		m/s	10^3	N/m ²			$10^3 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$				
2	13	-0,08	29	-0,17	140	0,22	0,10	33	0,06	0,18	0,00
	14	-0,10	28	-0,29	500	0,86	0,20	57	0,36	0,05	0,01
	15	-0,11	28	-0,39	620	1,26	0,28	72	0,64	0,01	0,01
	16	-0,11	27	-0,44	540	1,26	0,55	76	0,64	0,00	0,02
	17	-0,09	26	-0,44	470	0,90	0,78	71	0,53	0,01	0,02
	18	-0,08	25	-0,37	420	0,49	0,72	44	0,25	0,06	0,02
	19	-0,05	24	-0,22	280	0,25	0,42	24	0,09	0,12	0,02
	20	-0,02	24	-0,14	140	0,12	0,25	15	0,03	0,20	0,03
	21	0,02	24	-0,09	80	0,06	0,15	10	0,02	0,30	0,03
5	13	-0,10	28	-0,10	60	0,06	0,22	4	0,01	0,35	0,03
	14	-0,13	28	-0,19	200	0,25	0,45	12	0,06	0,18	0,03
	15	-0,15	27	-0,28	380	0,64	0,78	23	0,16	0,08	0,02
	16	-0,15	26	-0,31	290	0,56	1,05	35	0,16	0,07	0,02
	17	-0,14	25	-0,32	200	0,36	1,44	39	0,14	0,08	0,02
	18	-0,12	24	-0,28	160	0,25	1,40	29	0,09	0,11	0,02
	19	-0,09	24	-0,16	120	0,20	0,97	14	0,06	0,13	0,02
	20	-0,07	23	-0,12	80	0,14	0,64	7	0,03	0,19	0,02
	21	-0,03	22	-0,10	50	0,05	0,43	3	0,01	0,30	0,02
8	13	-0,13	28	-0,05	20	0,09	0,17	5	0,02	0,15	0,00
	14	-0,17	27	-0,12	90	0,25	0,54	43	0,03	0,10	0,04
	15	-0,20	27	-0,16	130	0,16	0,85	23	0,02	0,16	0,03
	16	-0,22	25	-0,18	120	0,06	1,11	10	0,01	0,27	0,02
	17	-0,22	23	-0,18	80	0,03	1,38	4	0,01	0,35	0,02
	18	-0,22	15	-0,16	50	0,02	1,24	2	0,00	0,39	0,02
	19	-0,21	5	-0,12	40	0,02	0,63	2	0,00	0,40	0,02
	20	-0,19	0	-0,09	40	0,04	0,20	2	0,01	0,36	0,04
	21	-0,16	0	-0,07	40	0,09	0,05	2	0,04	0,27	0,04

Tabel 5

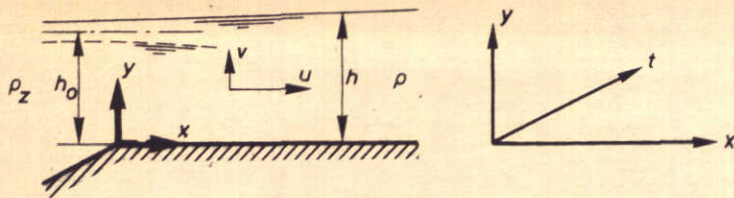
Resultaten proef T 146

$y/(1/13h_0)$ $z/0,04$ F		u	s	$-\overline{\rho u'v'}$	K^*	χ_i^{*2}	$\overline{v'\rho'}$	D^*	χ_m^{*2}	Ri	Rf
m/s			10^{-3}	N/m ²			10^{-3} kg/ms				
2	13	-0,08	29	-0,15	70	0,06	0,05	17	0,02	0,20	0,01
	14	-0,10	29	-0,26	410	0,25	0,17	38	0,04	0,12	0,01
	15	-0,10	28	-0,36	440	0,53	0,31	65	0,06	0,08	0,01
	16	-0,10	28	-0,42	410	0,46	0,50	75	0,11	0,08	0,01
	17	-0,08	27	-0,45	360	0,28	0,65	75	0,14	0,11	0,02
	18	-0,06	26	-0,39	120	0,14	0,57	65	0,11	0,16	0,02
	19	-0,04	25	-0,17	30	0,06	0,40	44	0,05	0,22	0,03
	20	-0,01	25	-0,07	10	0,02	0,16	13	0,02	0,30	0,03
	21	0,01	25	-0,01	20	0,01	0,09	4	0,02	0,40	0,00
5	13	-0,12	29	-0,08	50	0,05	0,15	8	0,02	0,20	0,01
	14	-0,14	28	-0,15	190	0,16	0,35	20	0,05	0,13	0,01
	15	-0,16	28	-0,22	230	0,22	0,68	41	0,08	0,10	0,02
	16	-0,16	27	-0,29	210	0,18	1,03	51	0,06	0,08	0,02
	17	-0,14	26	-0,31	170	0,11	1,33	51	0,05	0,10	0,02
	18	-0,11	25	-0,27	80	0,06	1,18	44	0,03	0,14	0,03
	19	-0,08	24	-0,15	20	0,03	0,74	22	0,02	0,25	0,02
	20	-0,05	24	-0,09	10	0,03	0,33	4	0,01	0,31	0,02
	21	-0,01	23	-0,05	20	0,06	0,19	1	0,01	0,32	0,02
8	13	-0,14	29	-0,02	20	0,04	0,04	4	0,02	0,30	0,03
	14	-0,18	28	-0,07	120	0,25	0,10	8	0,06	0,10	0,02
	15	-0,21	27	-0,12	150	0,12	0,25	18	0,06	0,15	0,02
	16	-0,22	26	-0,16	120	0,04	0,50	26	0,03	0,25	0,02
	17	-0,22	24	-0,17	80	0,02	0,75	5	0,02	0,30	0,02
	18	-0,21	21	-0,13	20	0,01	0,67	1	0,01	0,37	0,02
	19	-0,19	16	-0,07	10	0,01	0,30	1	0,01	0,39	0,02
	20	-0,17	10	-0,04	10	0,01	0,10	1	0,01	0,40	0,02
	21	-0,14	4	-0,03	10	0,02	0,05	1	0,01	0,39	0,02

Tabel 6

Resultaten proef T 147

SCHEMATISATIE PROTOTYPEPROBLEEM



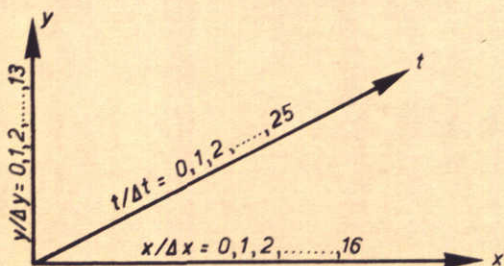
SCHEMATISATIE TOT TWEEDIMENSIONALE NIET-HOMOGEË GETUBEWEGING

$$\begin{aligned} h &= f(x, t) \\ u &= f(x, y, t) \\ v &= f(x, y, t) \\ \rho &= f(x, y, t) \end{aligned}$$

GETJMODEL GESCHEMATISEERD ESTUARIUM



SCHEMA BEMONSTERING



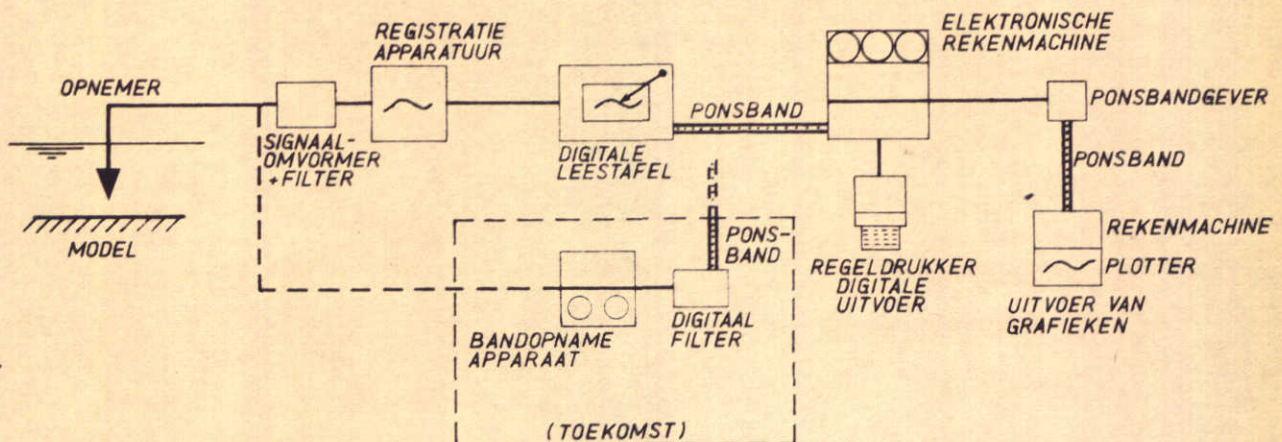
METEN VAN :

$h f(x, t)$ WATERHOOGTE
 $u f(x, y, t)$ HOR. SNELHEID
 $\rho f(x, y, t)$ DICHTHEID

GEKOZEN MEETAFASTANDEN :

$\Delta x = 3,65 \text{ m}$ (2340m PROTOTYPE)
 $\Delta y = 0,077 h_0$ (ORDE 1m PROTOTYPE)
 $\Delta t = 0,04 T$ (ORDE 1/2 uur PROTOTYPE)

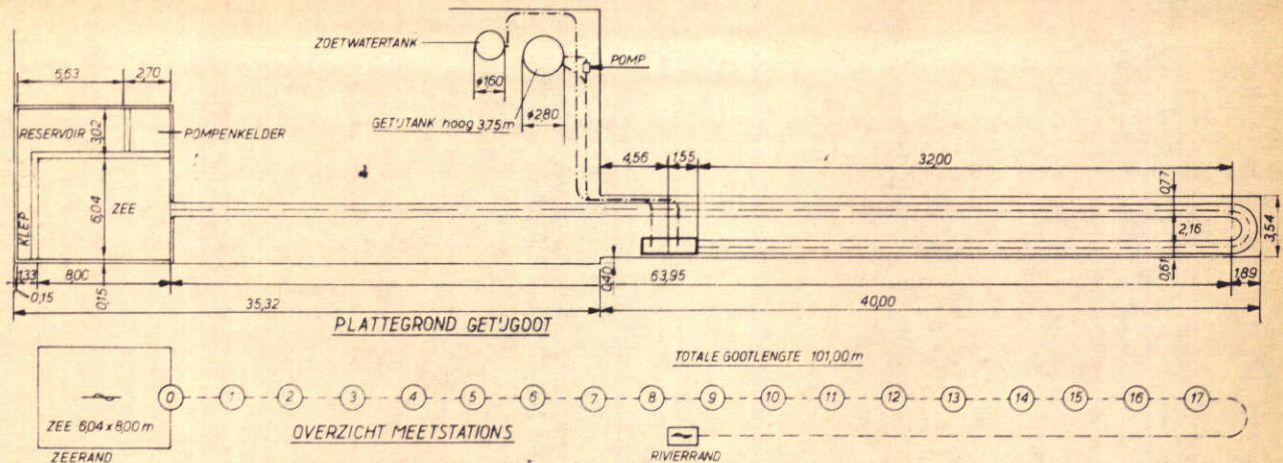
SCHEMA VERWERKING MEET- EN REKENRESULTATEN



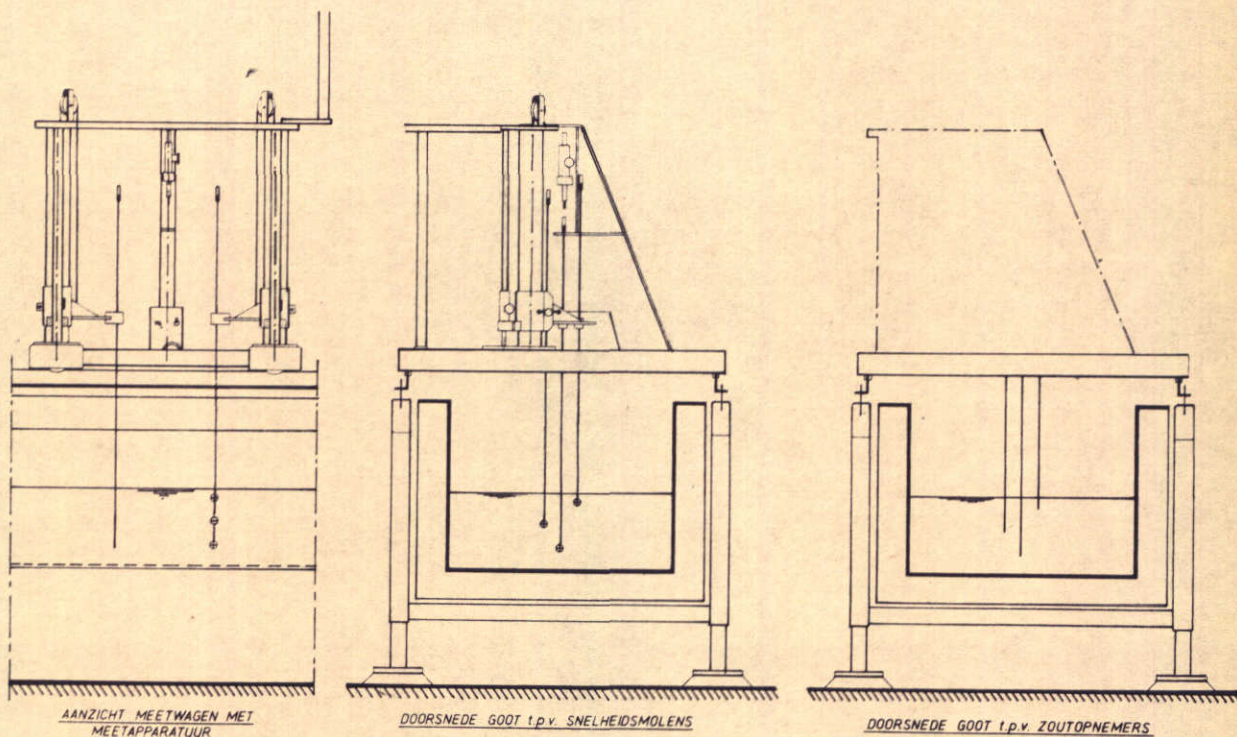
OPZET GETJGOOTONDERZOEK

j.w.

A4



OVERZICHT GETUFGOOT



OPSTELLING MEETAPPARATUUR

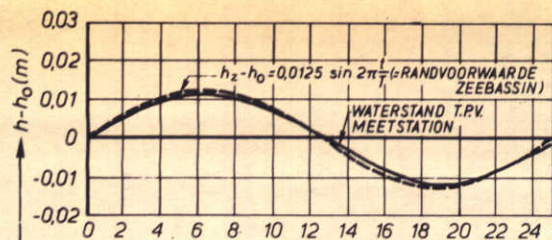
SCHEMA MEETOPSTELLING

GEGEVENS PROEVEN (VOOR ZOVER AFWIJKEND VAN GEGEVENS REFERENTIEPROEVEN)									
PROEF NO.	EENH.	MODEL	PROT.	BUZ.	PROEF NO.	EENH.	MODEL	PROT.	BUZ.
1° VARIATIE WATERHOOGTE					4° VARIATIE GETUJVERSCHIL				
106	m	0,156	10		34B/C	m	0,0188	1,20	
107	"	0,188	12		134	"	0,0375	2,40	
108	"	0,250	16		135	"	0,0125	0,80	
109	"	0,281	18		136	"	0,0750	4,80	
110	"	0,266	17		137	"	0,0500	3,20	
145	"	0,216	13,8	BODEMRUWH.	138	"	0,0156	1,00	
146	"	0,216	13,8	"	5° VARIATIE SALINITEIT				
147	"	0,234	15	"	140	%.	40	40	
148	"	0,188	12	"	141	"	20	20	
149	"	0,156	10	"	142	"	10	10	
151	"	0,156	10	LU. 60 cc/m ² s	143	"	5	5	
152	"	0,250	16	"	144	"	50	50	
2° VARIATIE GOOTLENGTE					6° VARIATIE RUWHEID				
101	m	157,22	100620	$L/\frac{1}{4}\lambda = 0,774$	113	m ^{1/2} /s	15,8	50	
102	"	201,09	128700	" 0,990	114	"	12,7	40	
103	"	135,28	86580	" 0,666	115	"	22,1	70	
104	"	113,34	72540	" 0,558	116	"	25,3	80	
105	"	252,28	161460	" 1,242	117	"	28,5	90	
111	"	303,47	194220	" 1,494	7° VARIATIE LUCHTINJEKTIE				
112	"	106,03	67860	" 0,522	124	cc/m ² s	40		cc = 10 ⁻⁶ m ³
3° VARIATIE BOVENAFVOER					125	"	100		
118	m ³ /s	-0,00580	- 1899		126	"	80		
119	"	-0,01159	- 3798		127	"	60		
120	"	-0,00217	- 712		128	"	20		
121	"	-0,00145	- 475		8° VARIATIE KONDITIE ZEE				
122	"	-0,00181	- 593		129	CIKULATIEDEBIET MINIMAAL			
123	"	-0,00869	- 2848		131	LUCHT 80 cc/m ² s (ZEE + GOOT)			
153	"	-0,00181	- 593	LU. 60 cc/m ² s	132	LUCHT 80 cc/m ² s (ZEE)			
154	"	-0,00869	- 2848	"	133	DUIKSCHOT VERWUDERD			
					139	GEEN ZOETWATERAFZUIGING			

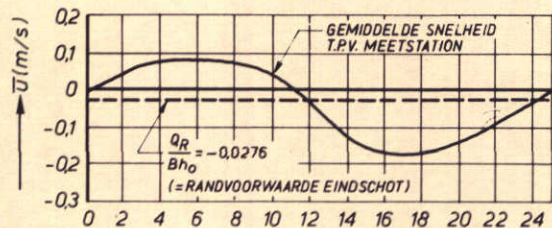
GEGEVENS REFERENTIEPROEVEN T3/T3B			
KONDITIES	EENH.	MODEL	PROTOTYPE
1° WATERHOOGTE	m	0,216	13,8
2° GOOTLENGTE	"	179,16	114660
3° BOVENAFVOER	m ³ /s	-0,00290	- 949
4° GETUVERSCHIL	m	0,0250	1,60
5° SALINITEIT	%.	30	30
6° RUWHEID GOOT	m ^{1/2} /s	19,0	60
7° LUCHTINJEKTIE	GEEN LUCHT		
8° KONDITIE ZEE	GEEN LUCHT		

SCHAALFAKTOREN	
MODEL - PROTOTYPE	
HOOGTE:	64
LENGTE:	640
SNELHEID:	8
TJD:	80
DEBIET:	327680
SALINITEIT:	1
RUWHEID:	$\sqrt{0,1}$
LUCHTDEBIET:	327680

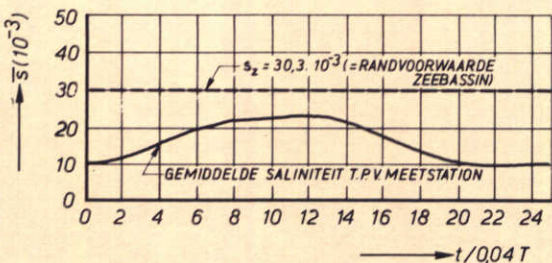
PROEVEN SYSTEMATISCH ONDERZOEK			j.w.
			A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		M. 896-1247	FIG. 3



$h-h_0$

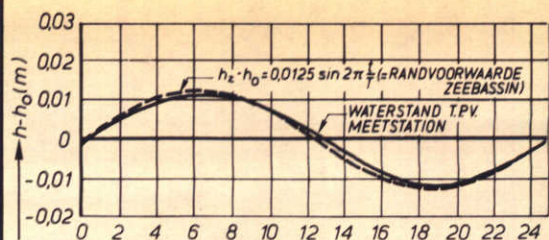


$\bar{U}$

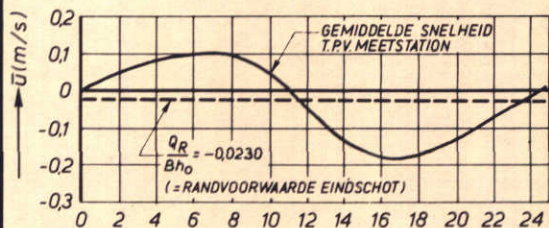


$\bar{S}$

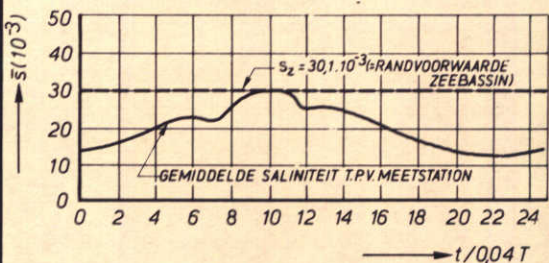
PROEF T 149 ($h_0=0,156$ m)



$h-h_0$

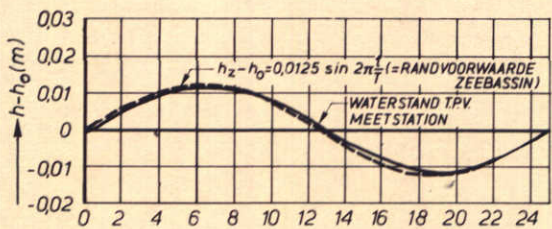


$\bar{U}$

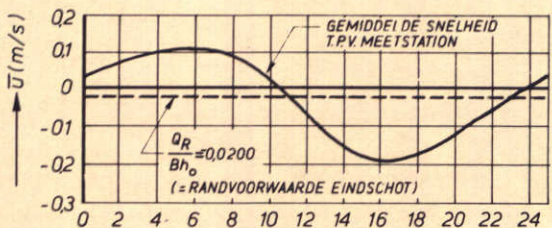


$\bar{S}$

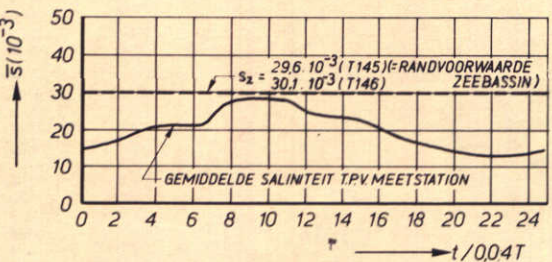
PROEF T 148 ($h_0=0,188$ m)



$h-h_0$

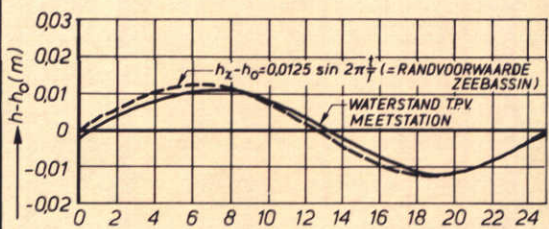


$\bar{U}$

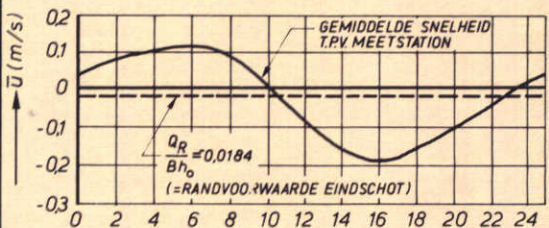


$\bar{S}$

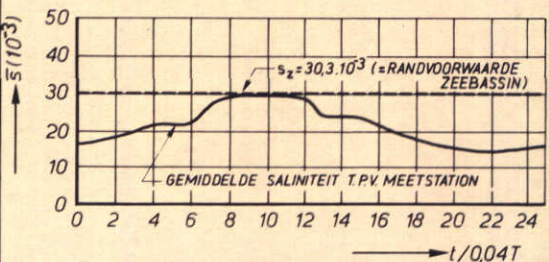
PROEF T 145 ($h_0=0,216$ m)



$h-h_0$



$\bar{U}$



$\bar{S}$

PROEF T 147 ($h_0=0,234$ m)

INGESTELDE STROMINGSTOESTAND

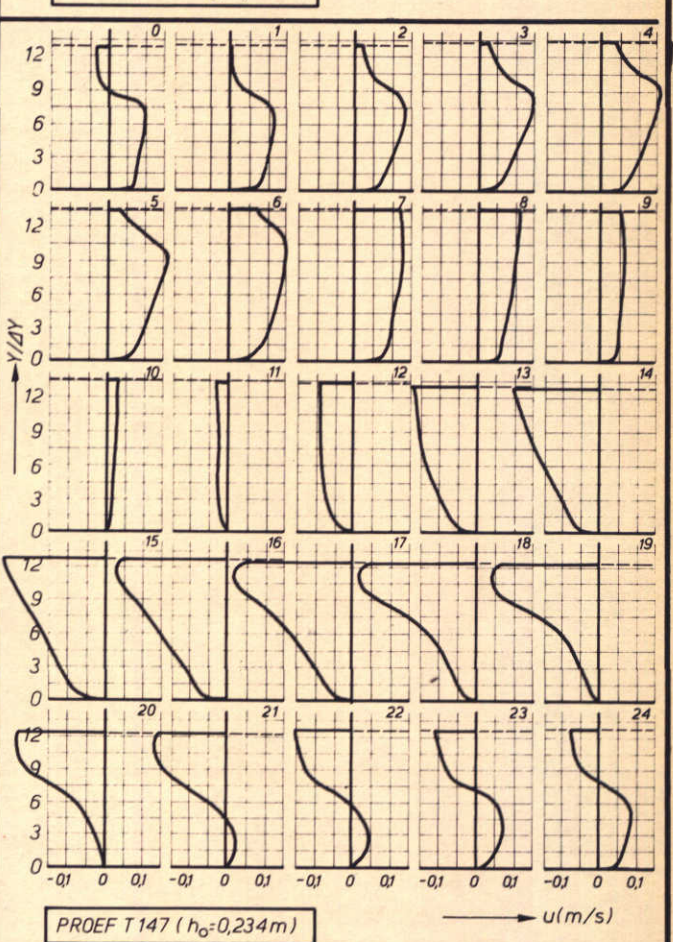
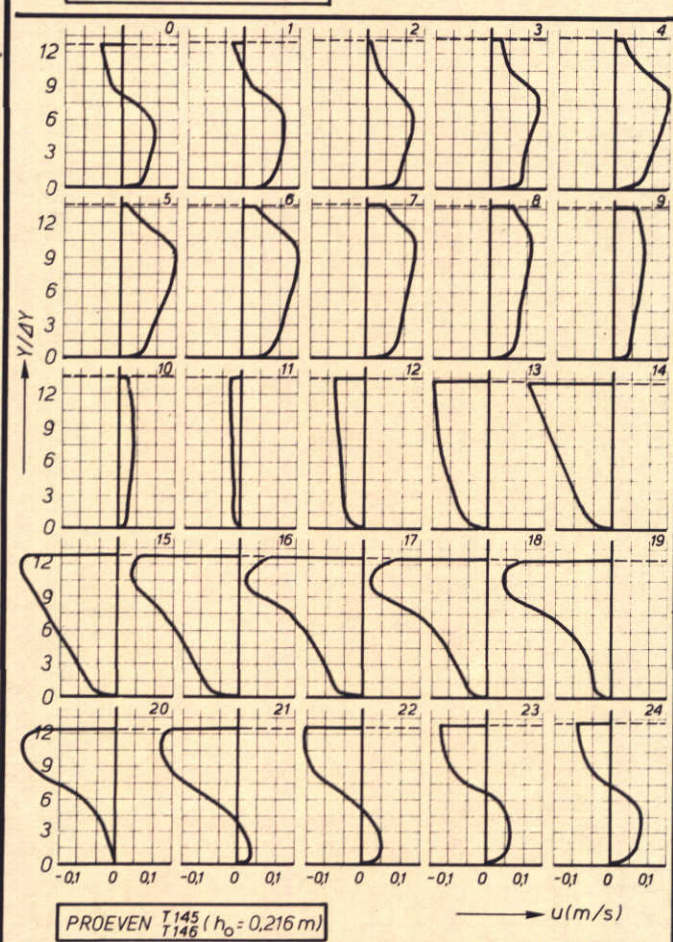
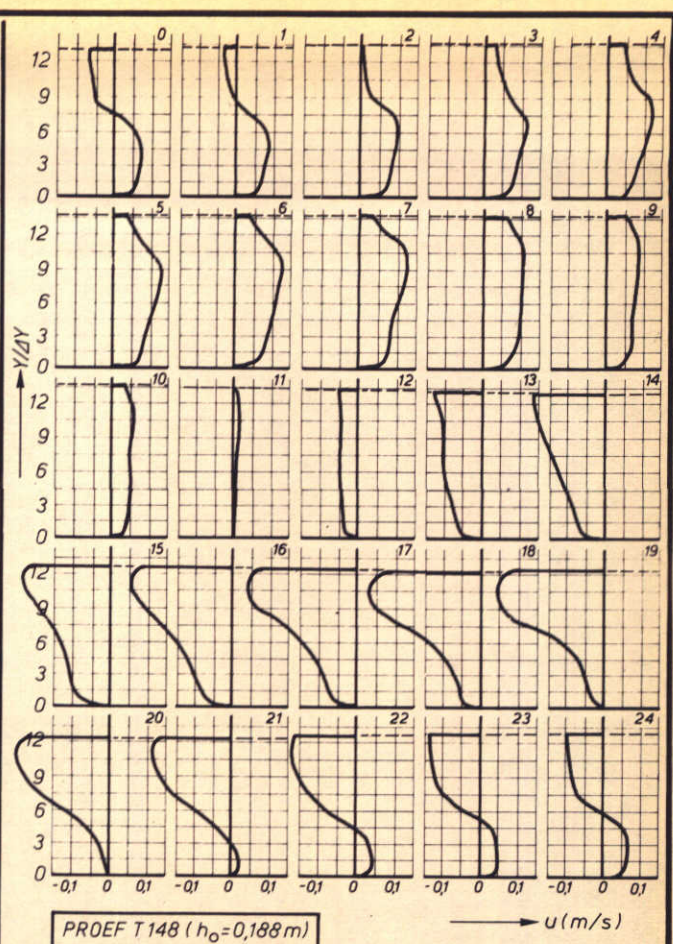
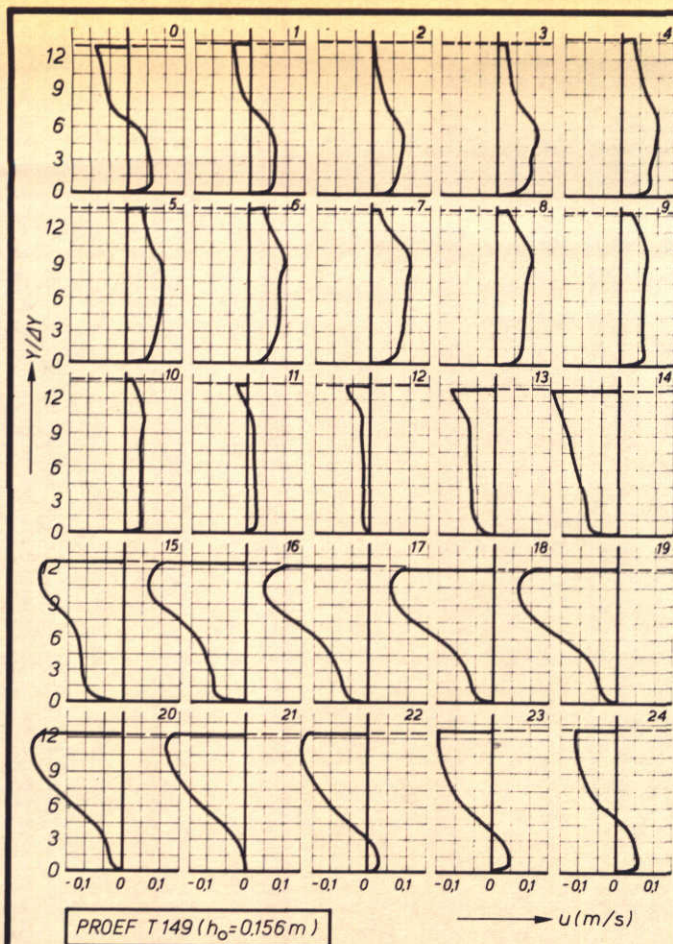
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896-1971

FIG. 4

j.z.

A4

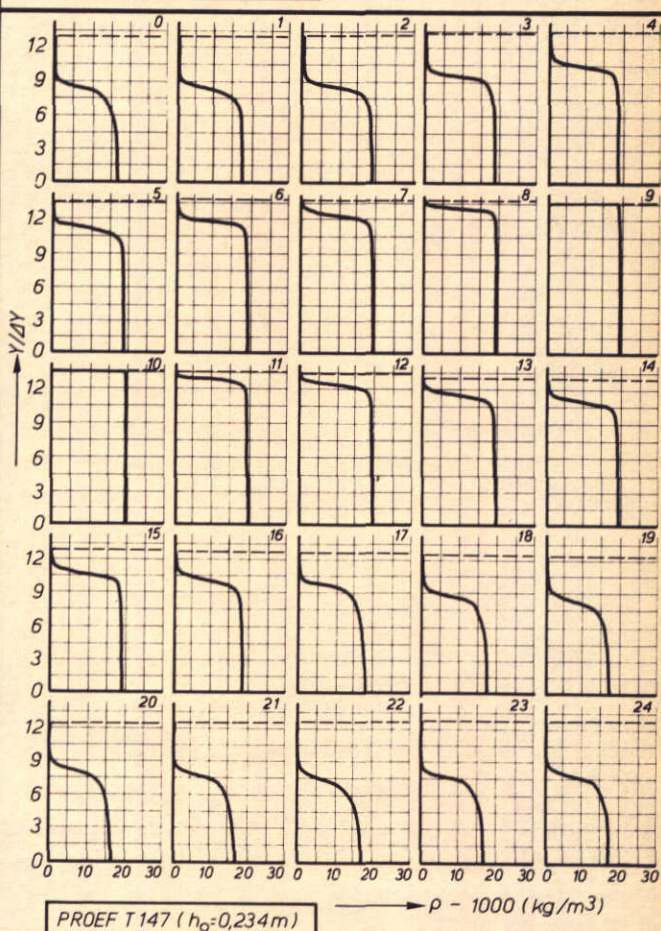
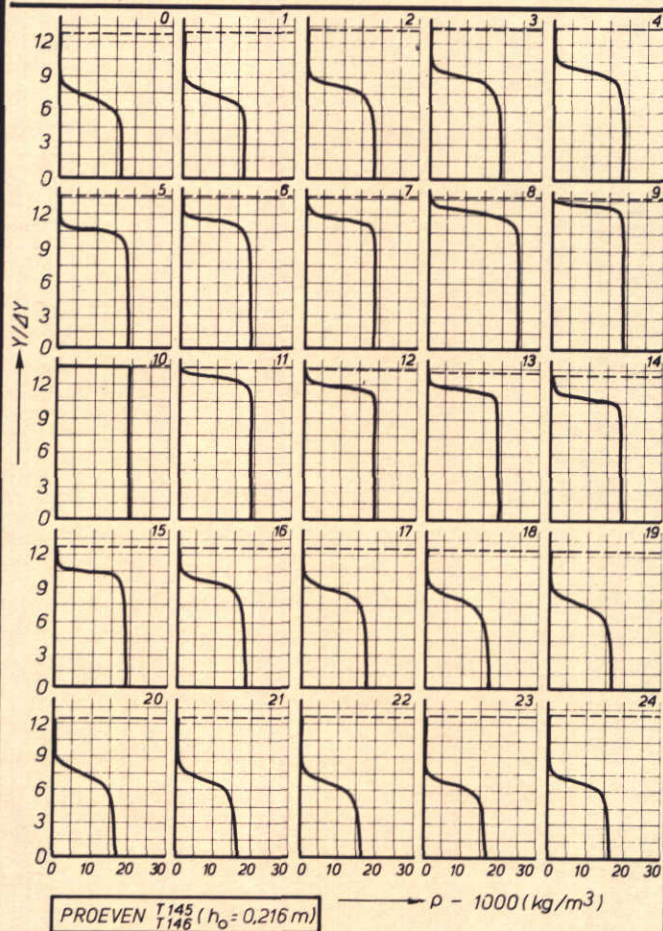
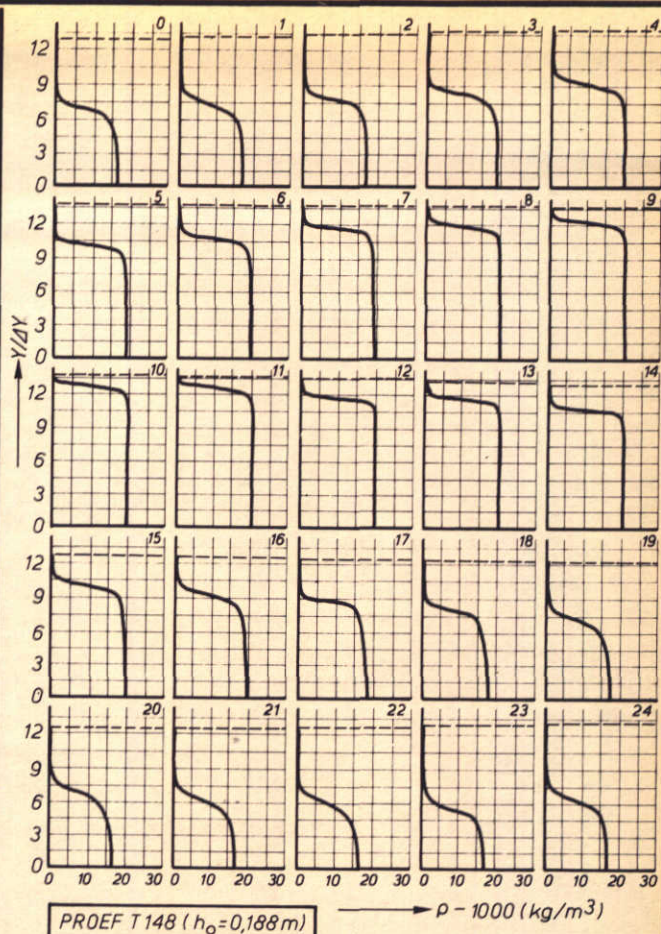
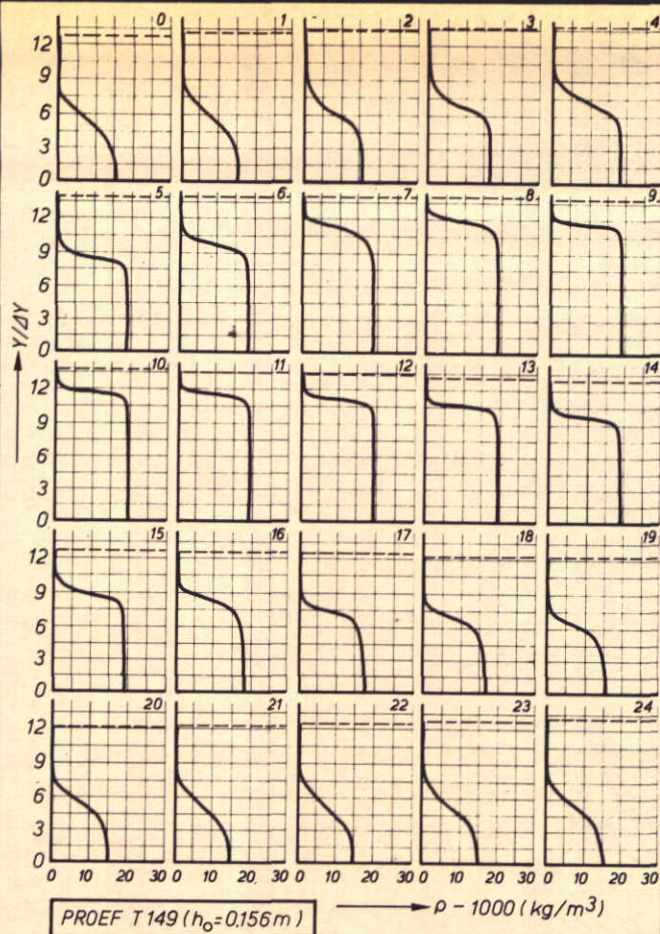


SNELHEIDSVERTIKALEN

VERTIKALE VERDELING VOOR
TJDSIPPEN $t/\Delta t = 0 \dots 24$

J. Z.

A4

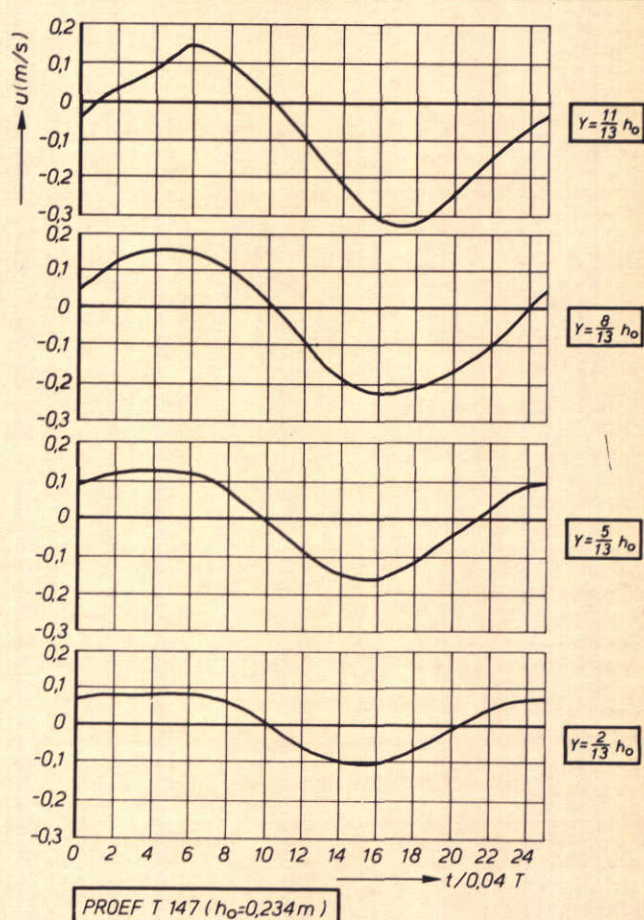
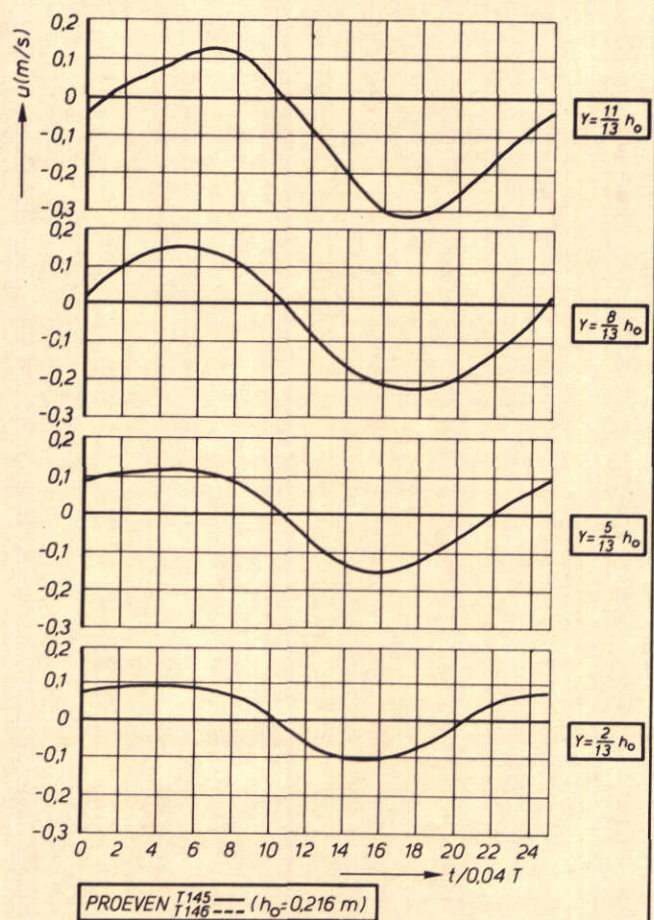
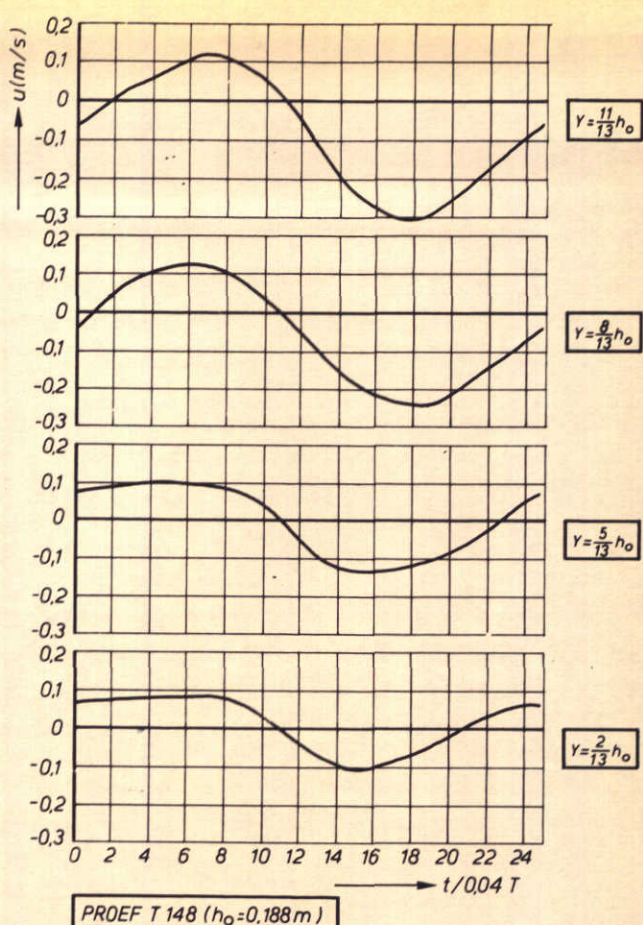
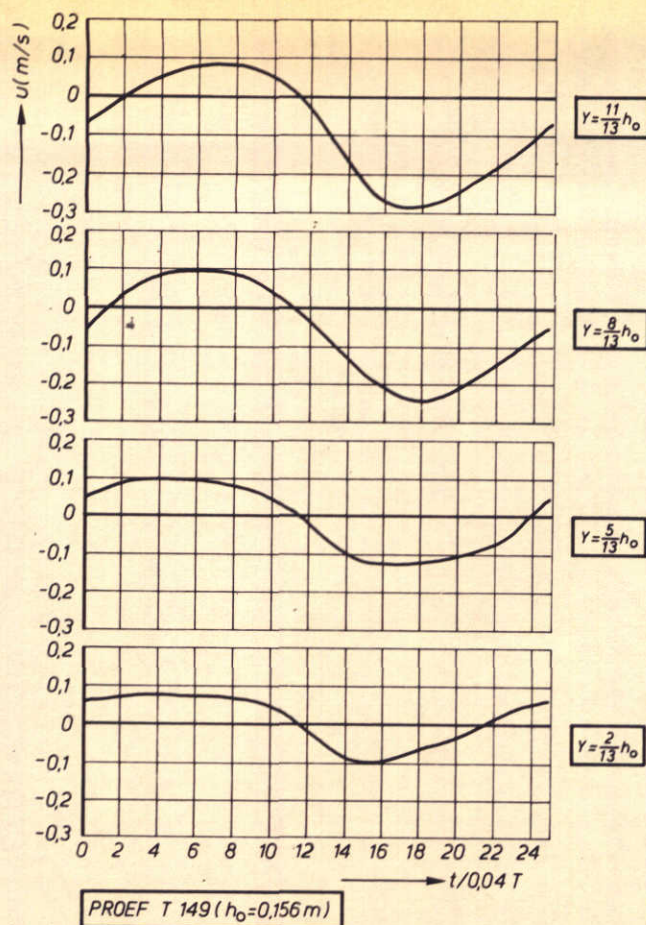


DICHTHEIDSVERTIKALEN

VERTIKALE VERDELING VOOR
TJDSNIPPEN $t/\Delta t=0, \dots, 24$

j.z.

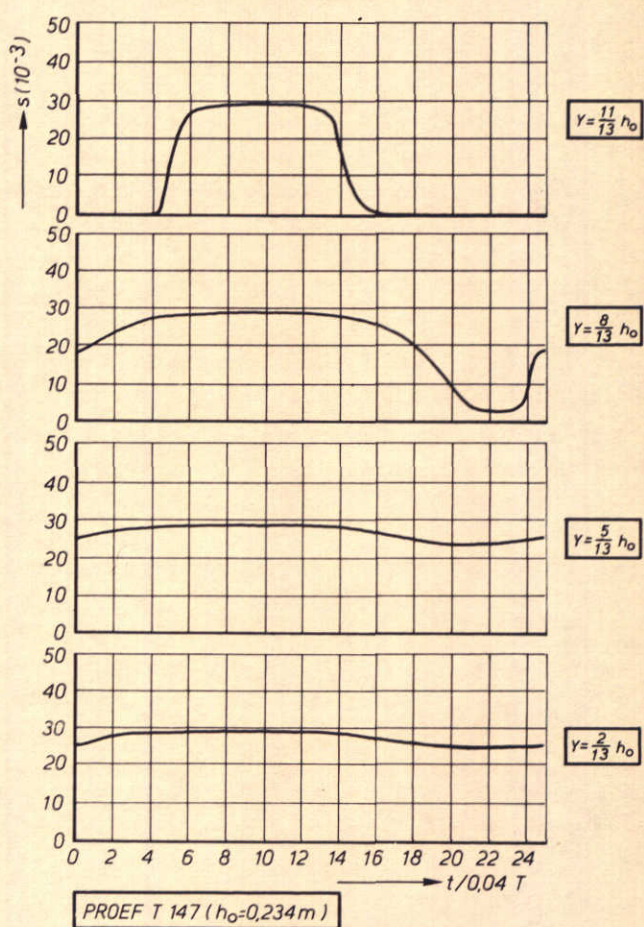
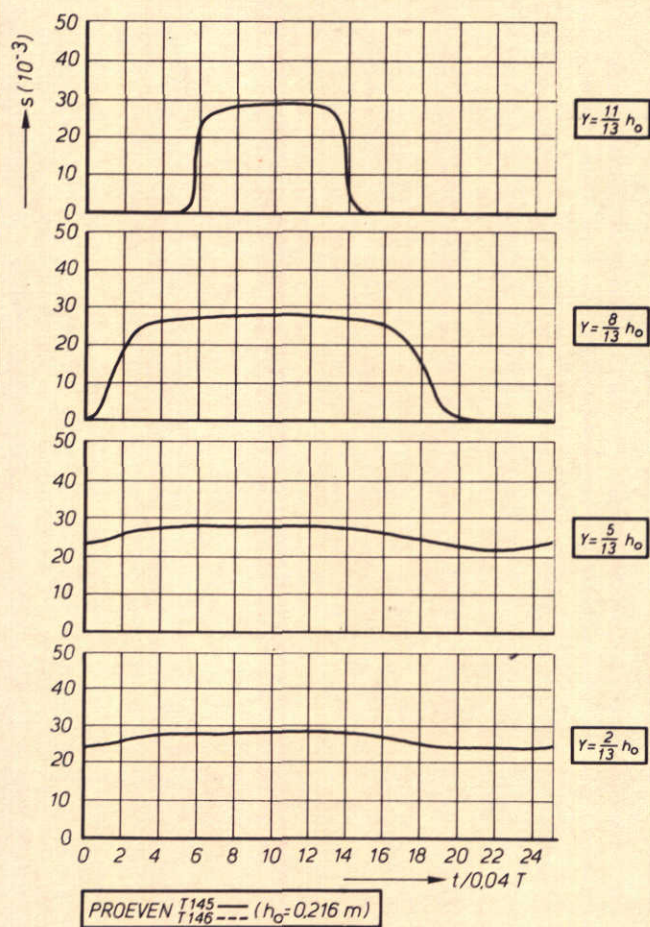
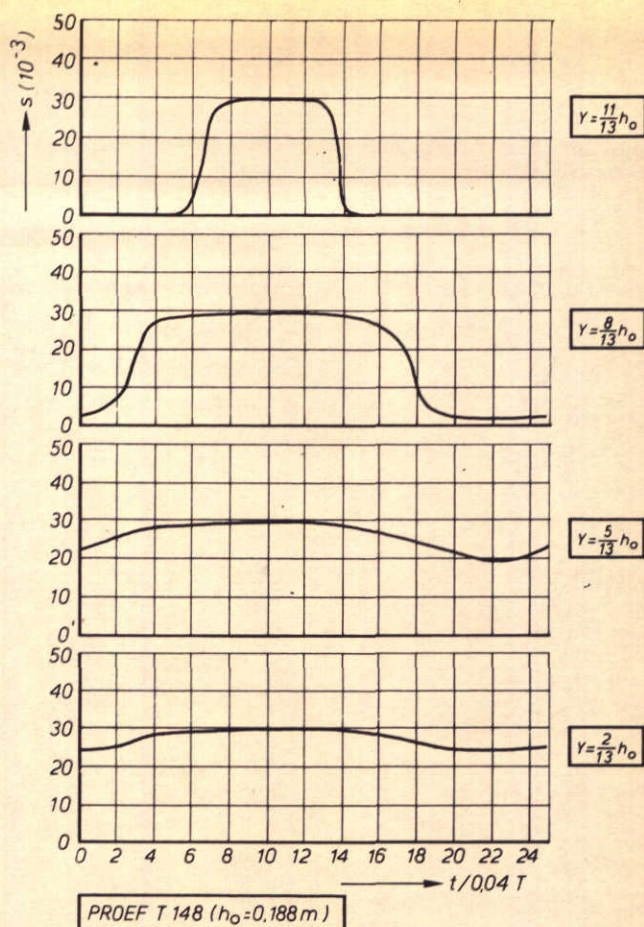
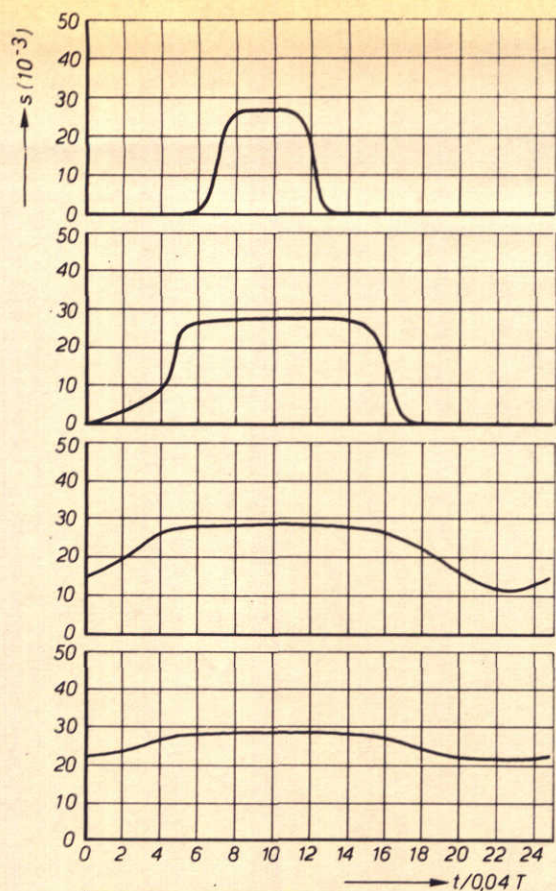
A4



HORizontALE Snelheid

j.z.

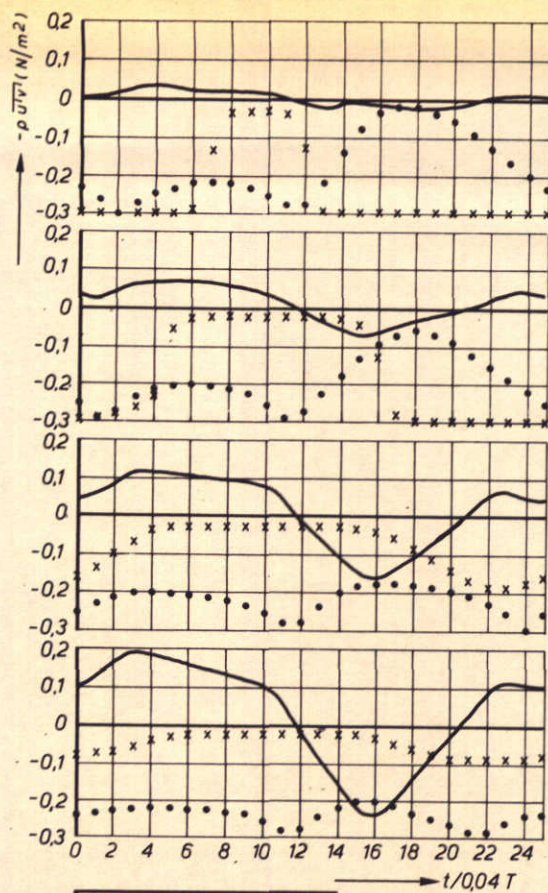
A4



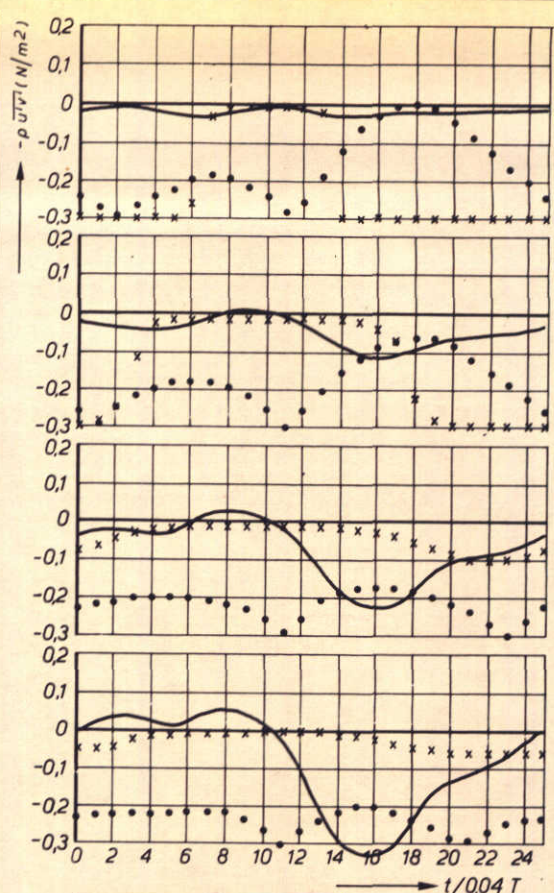
SALINITEIT

(s UIT $p = \rho_0 + \rho_1 s$; $\rho_0, \rho_1 f(\text{TEMP})$)

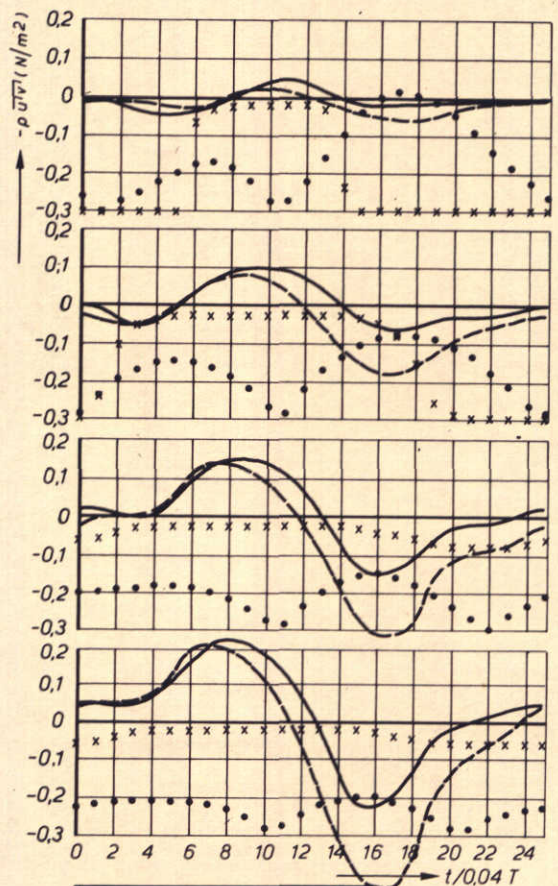
	TEMP(°C)	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_1 (kg/m ³)	j. Z.
T 149	17	998,9	721	A4
T 148	18	998,7	718	
T 145	18	998,7	718	
T 146	19	998,5	716	
T 147	18	998,7	718	



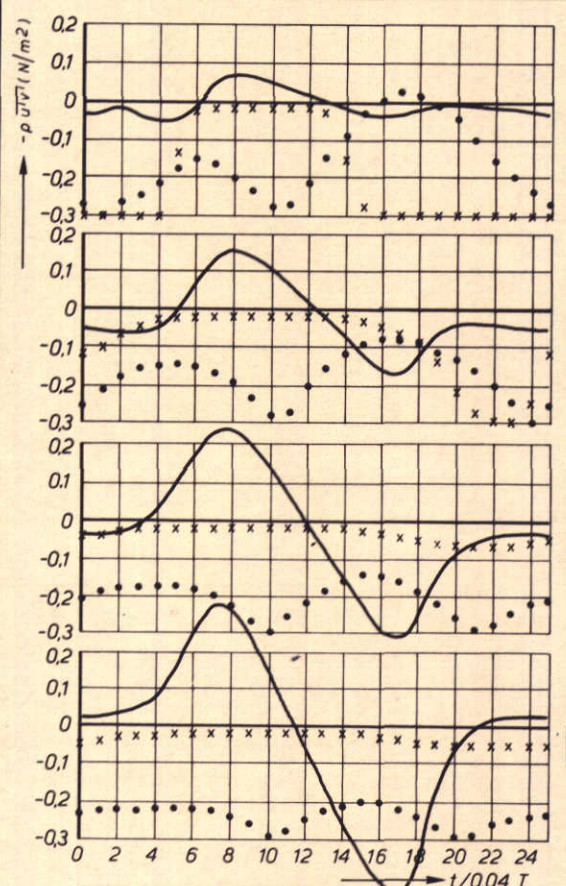
PROEF T 149 ($h_0=0.156\text{m}$)



PROEF T 148 ($h_0=0.188\text{m}$)



PROEF T 145 ($h_0=0.216\text{m}$)



PROEF T 147 ($h_0=0.234\text{m}$)

TURBULENTE SCHUIFSPANNING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

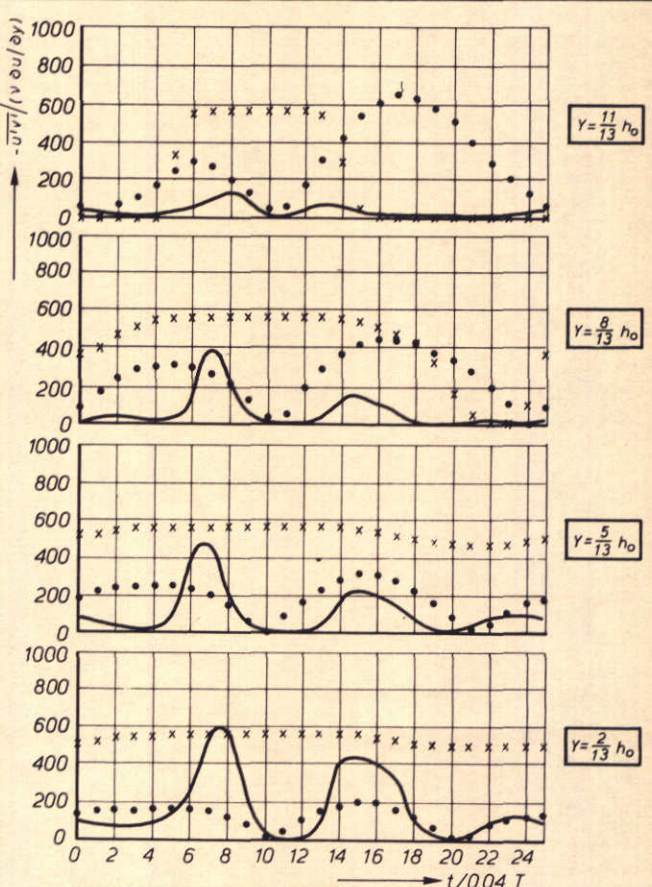
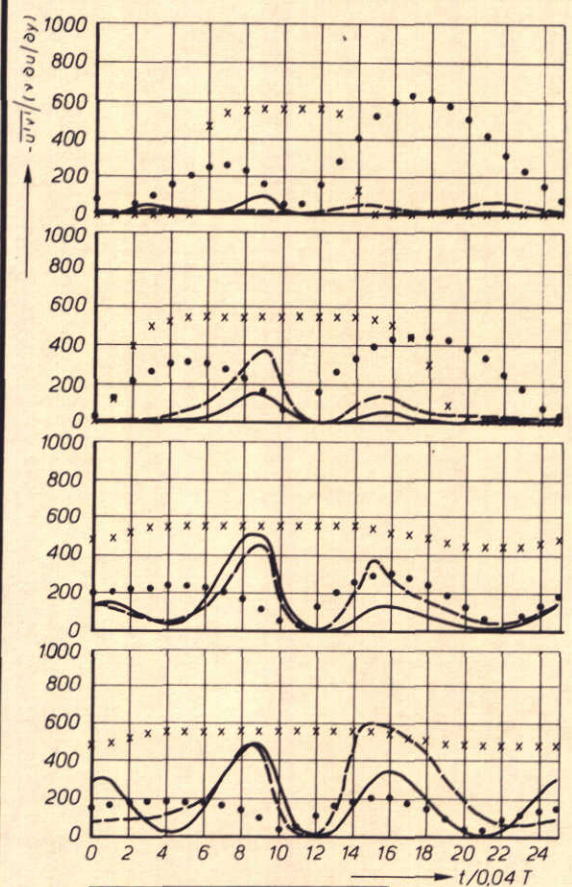
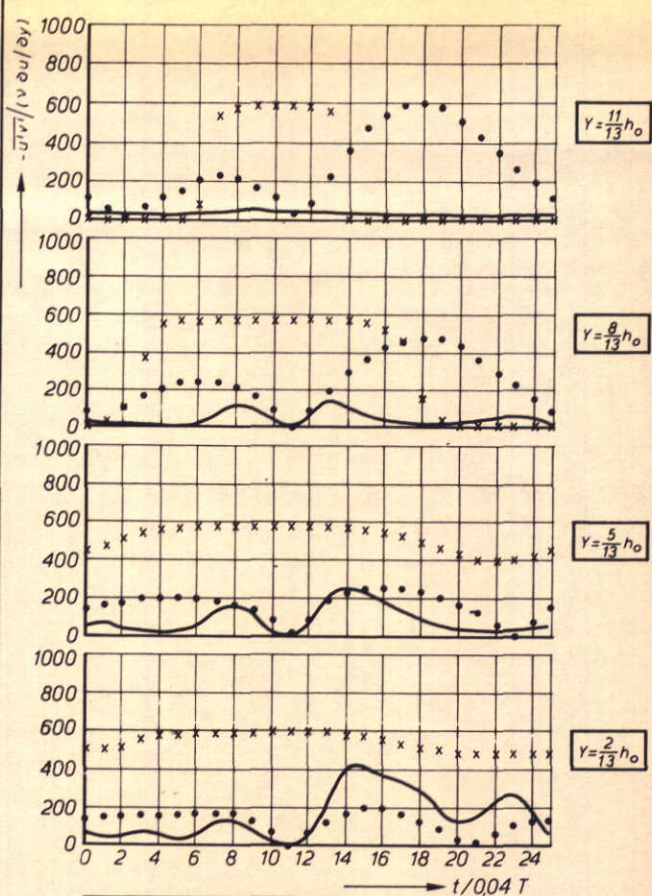
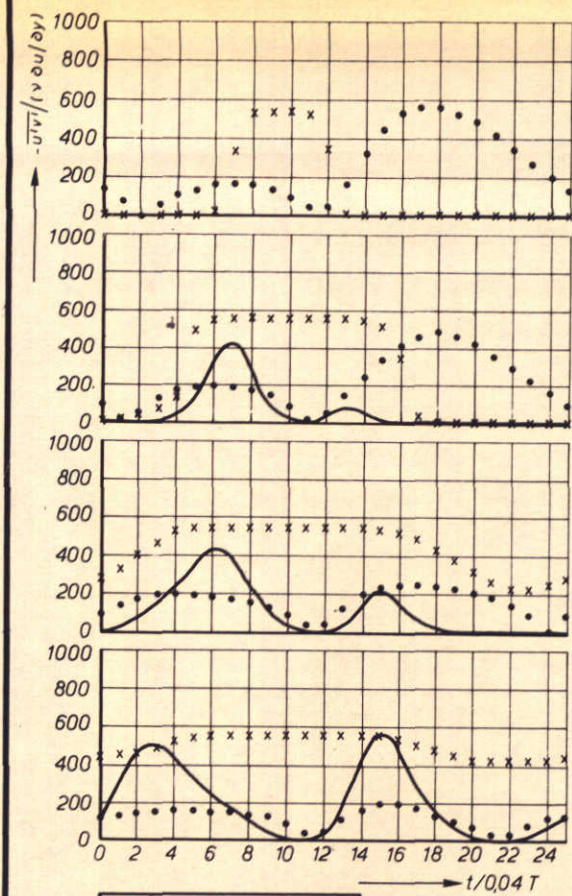
x REF. SNELHEID $|\mathbf{u}|$ (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

M. 896 - 1976

FIG. 9

J. Z.

A4

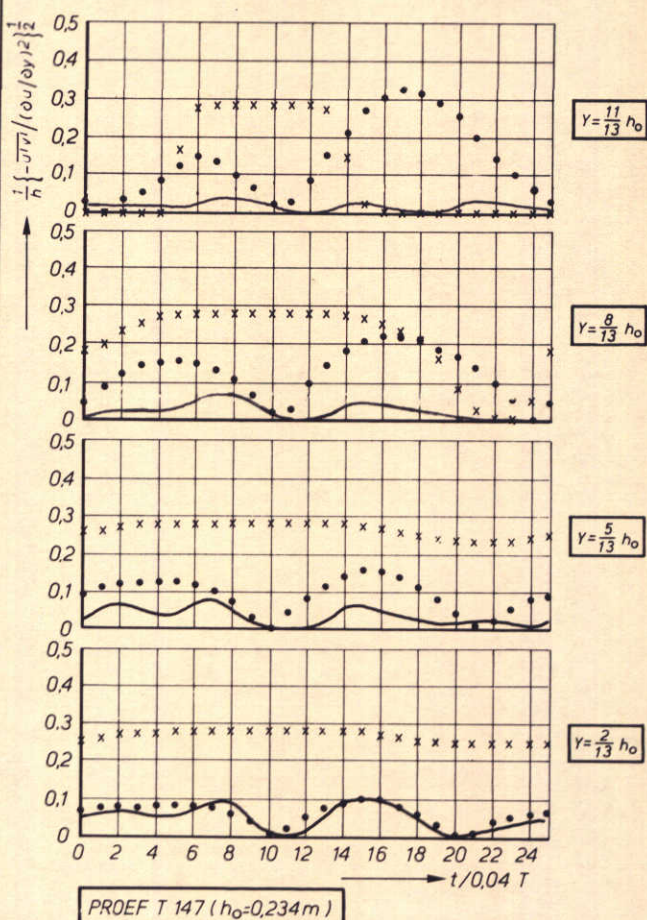
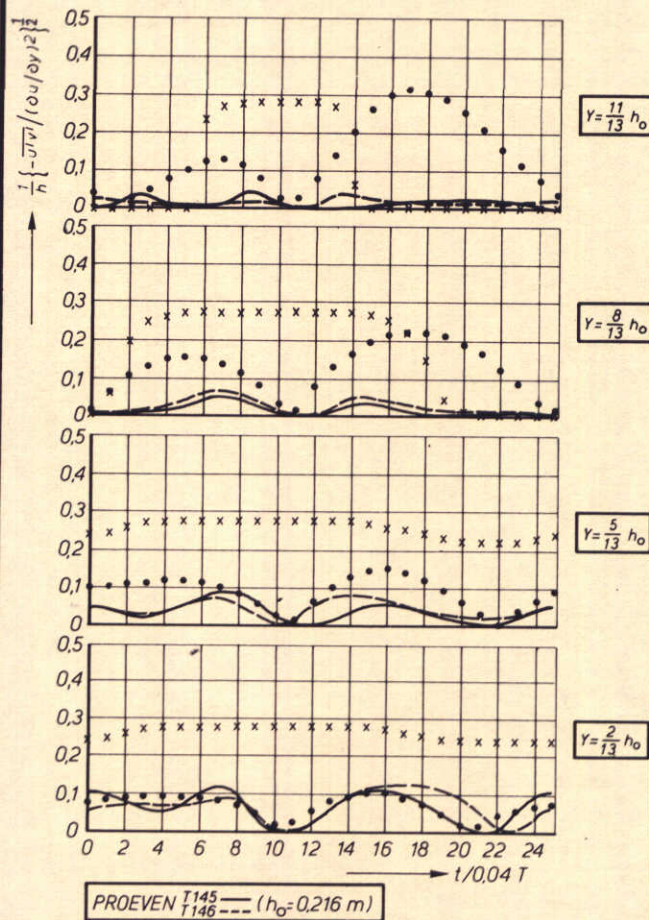
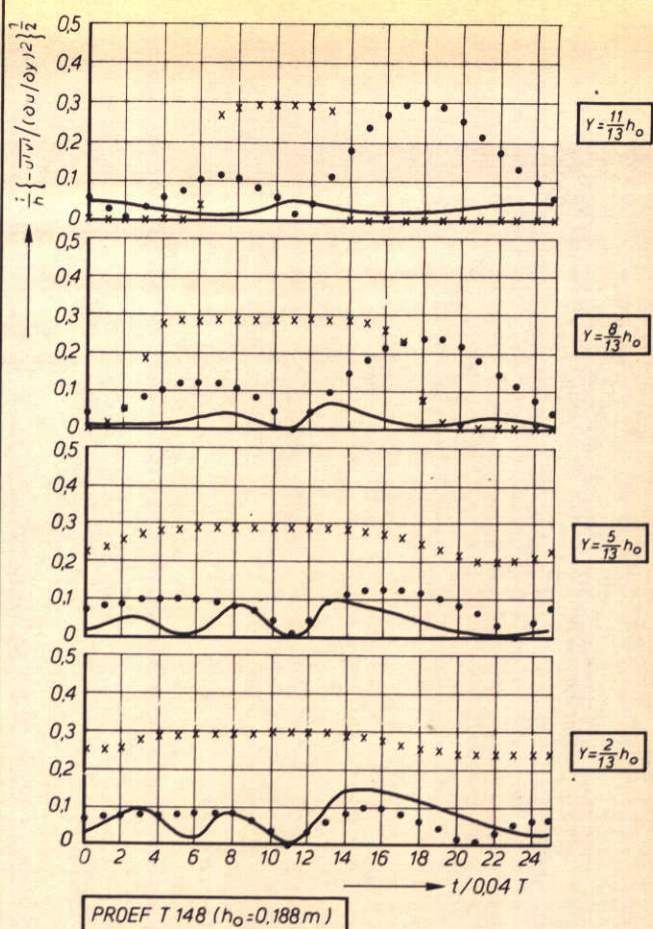
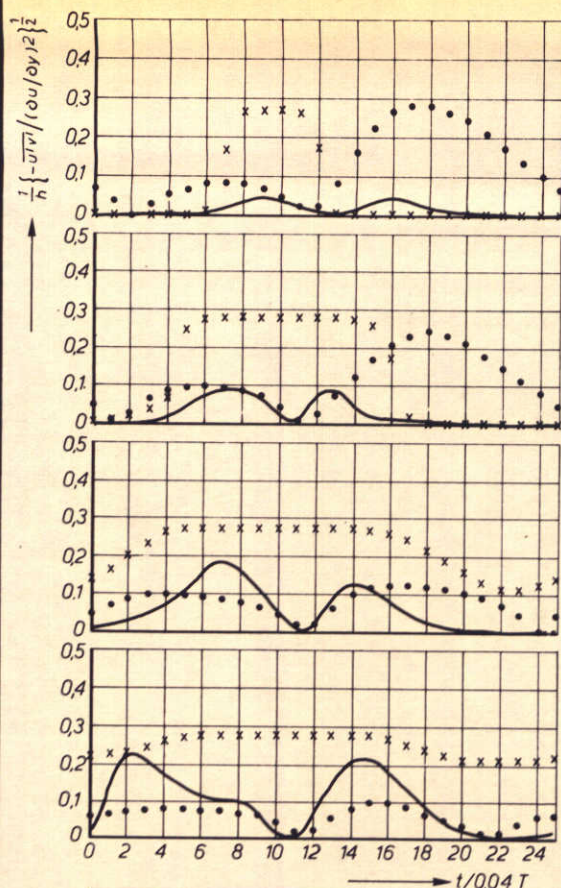


TURBULENTE VISKOSITEIT
(T.O.V. KINEMATISCHE VISKOSITEIT)

x REF. SNELHEID $|u|$ (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

J.Z.

A4



MENGWEG IMPULSTRANSPORT
(TOV. WATERHOOGTE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

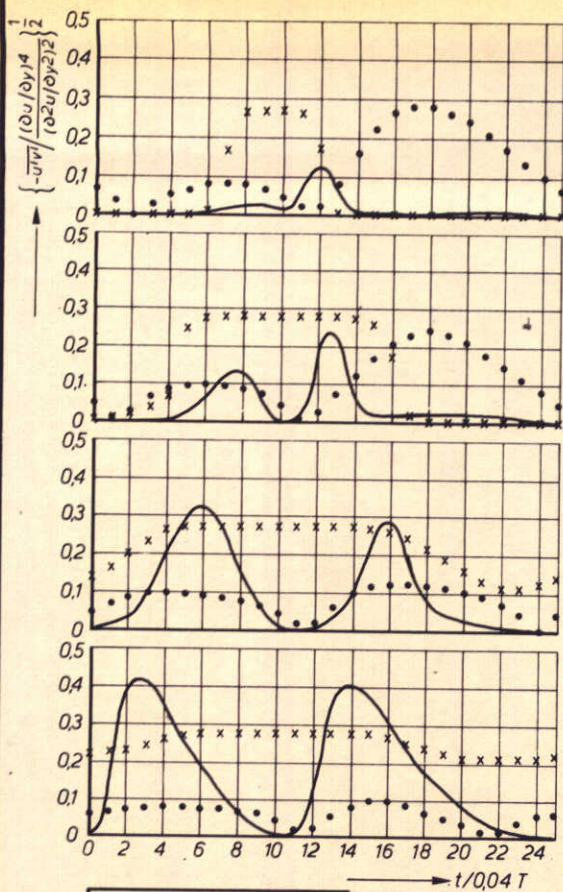
x REF. SNELHEID $1u_1$ (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

M. 896 - 1978

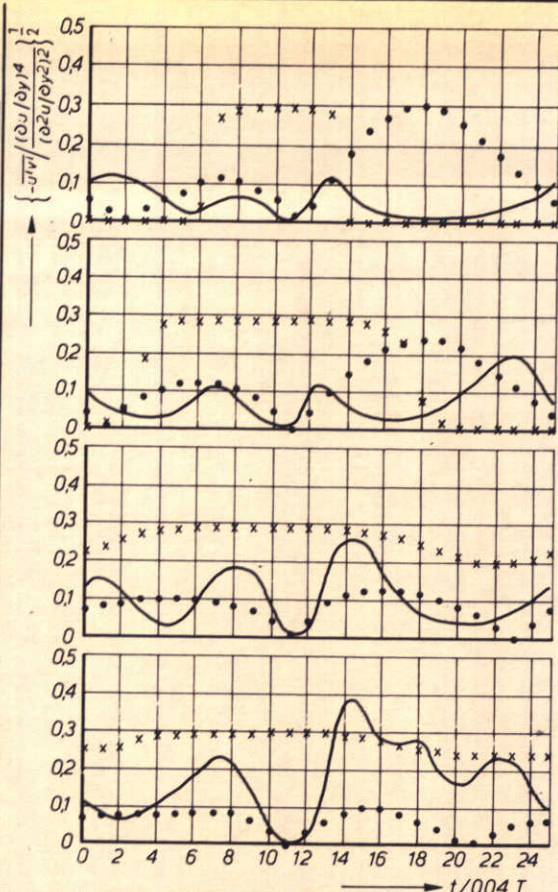
FIG. 11

J. Z.

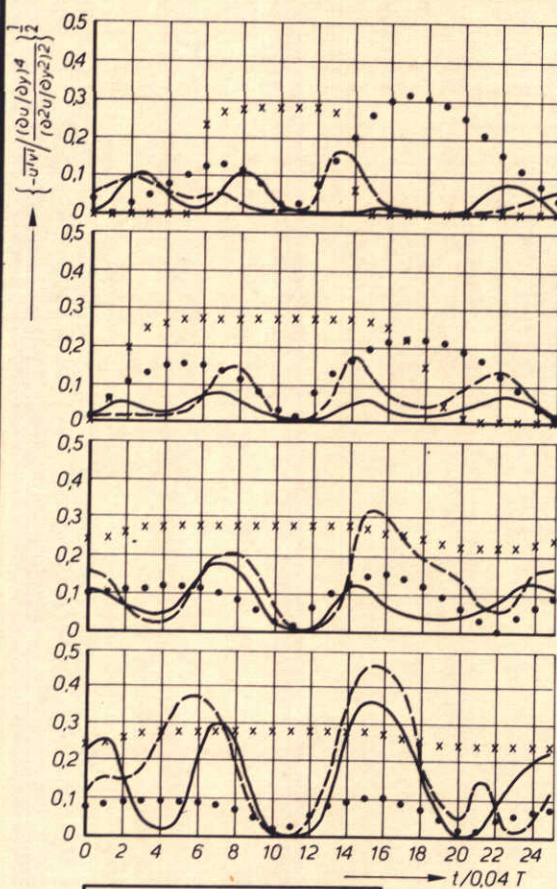
A4



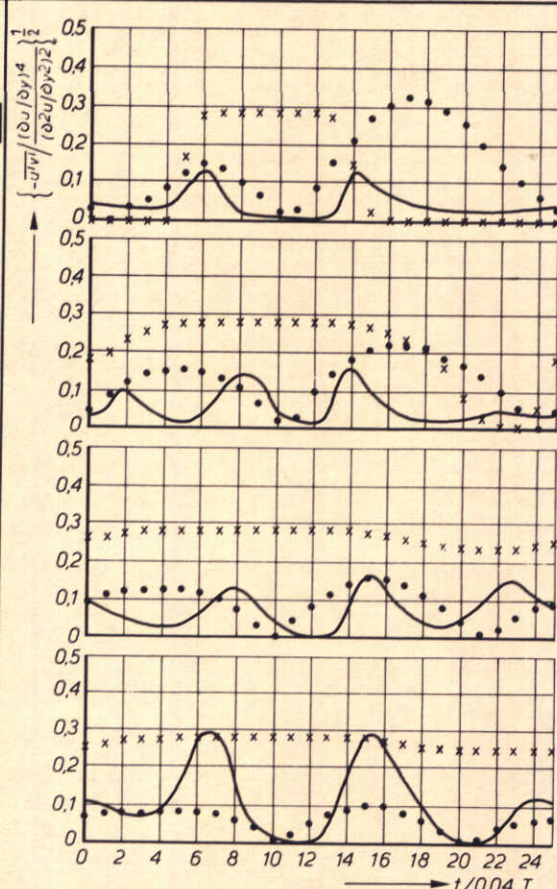
PROEF T 149 ($h_0=0,156$ m)



PROEF T 148 ($h_0=0,188$ m)



PROEF T 145 ($h_0=0,216$ m)



PROEF T 147 ($h_0=0,234$ m)

PARAMETER IMPULSTRANSPORT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

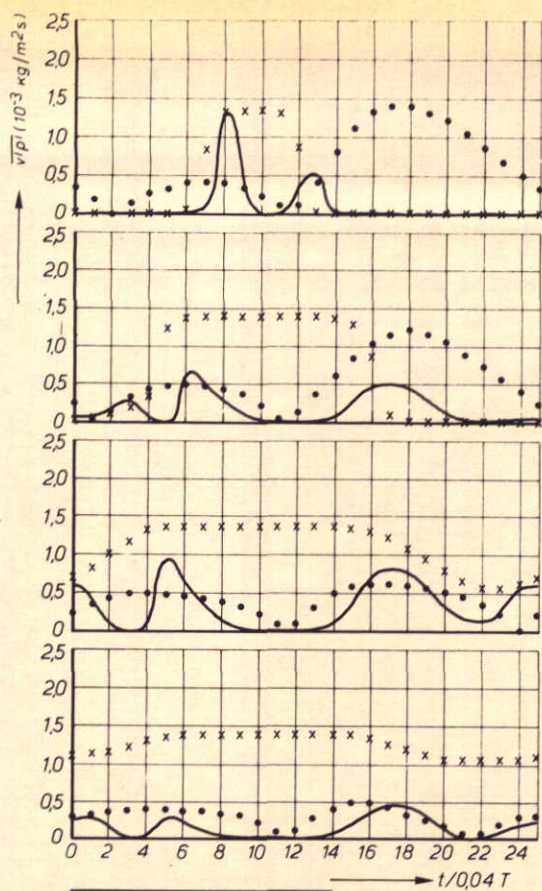
x REF. SNELHEID $|\bar{u}|$ (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

j.z.

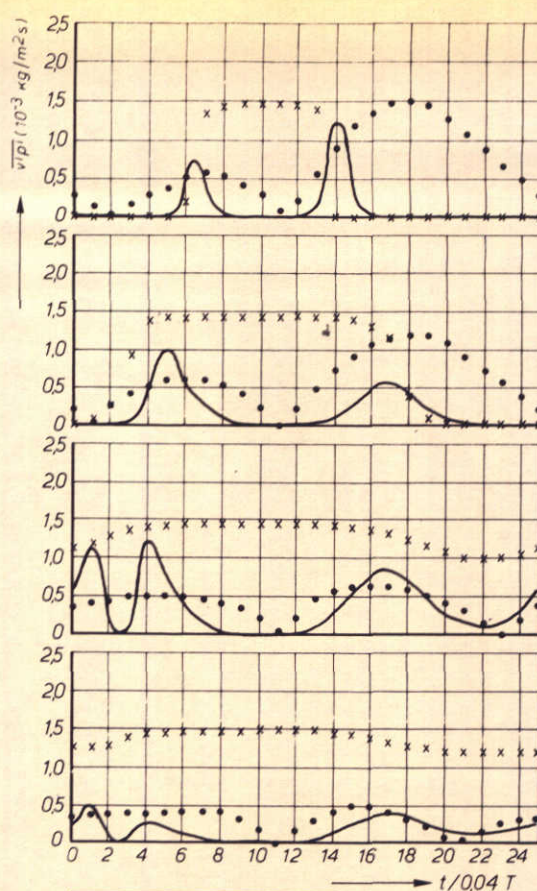
A4

M. 896-1979

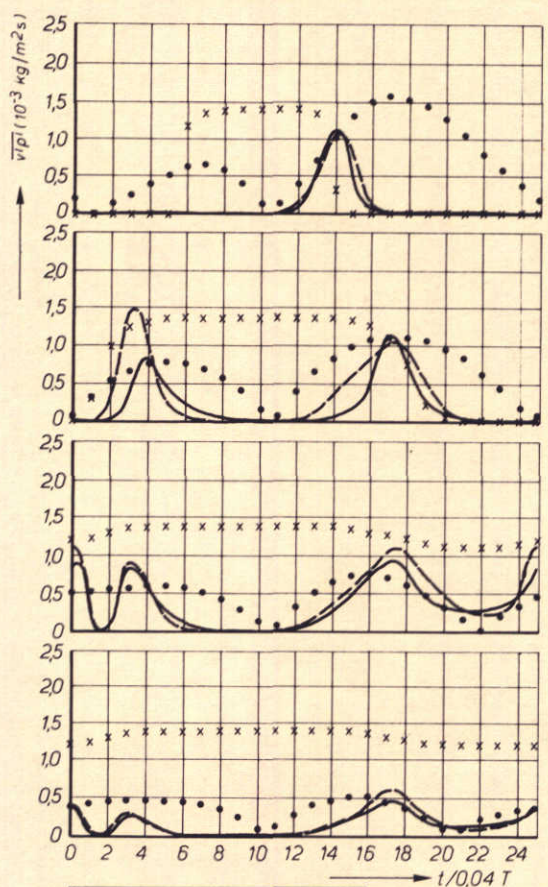
FIG.12



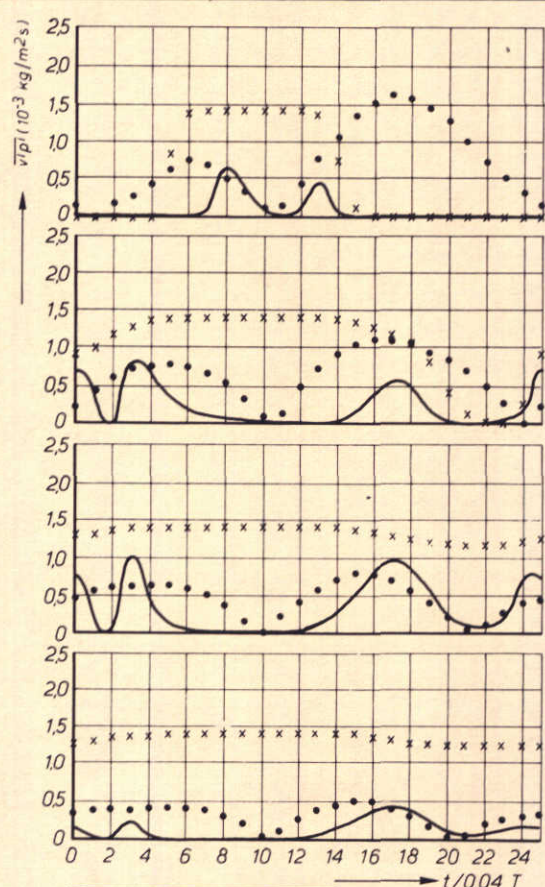
PROEF T 149 ($h_0=0.156$ m)



PROEF T 148 ($h_0=0.188$ m)



PROEF T 145 — (solid line)
T 146 --- (dashed line) ($h_0=0.216$ m)



PROEF T 147 ($h_0=0.234$ m)

TURBULENT MASSATransPORT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

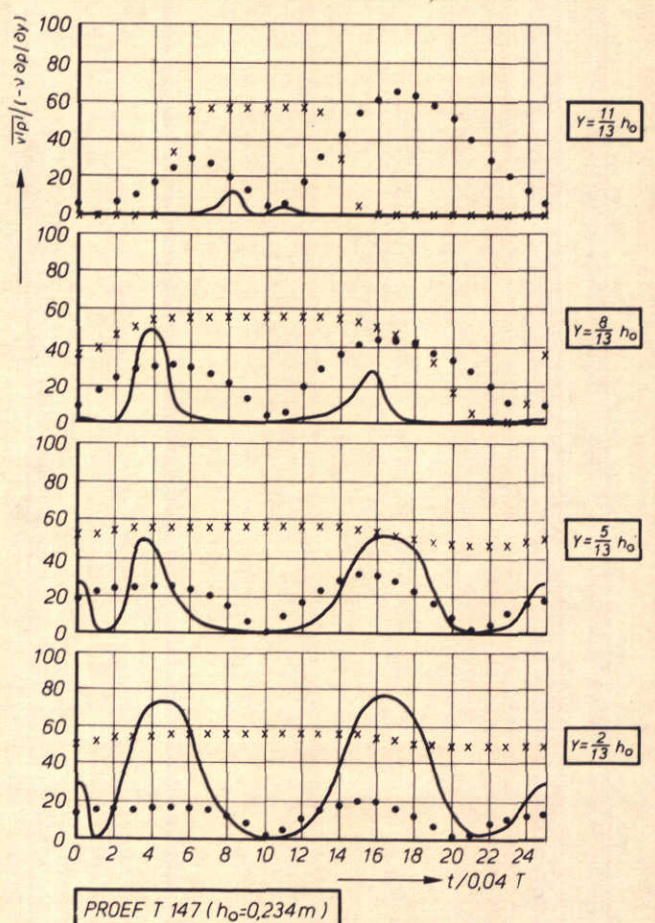
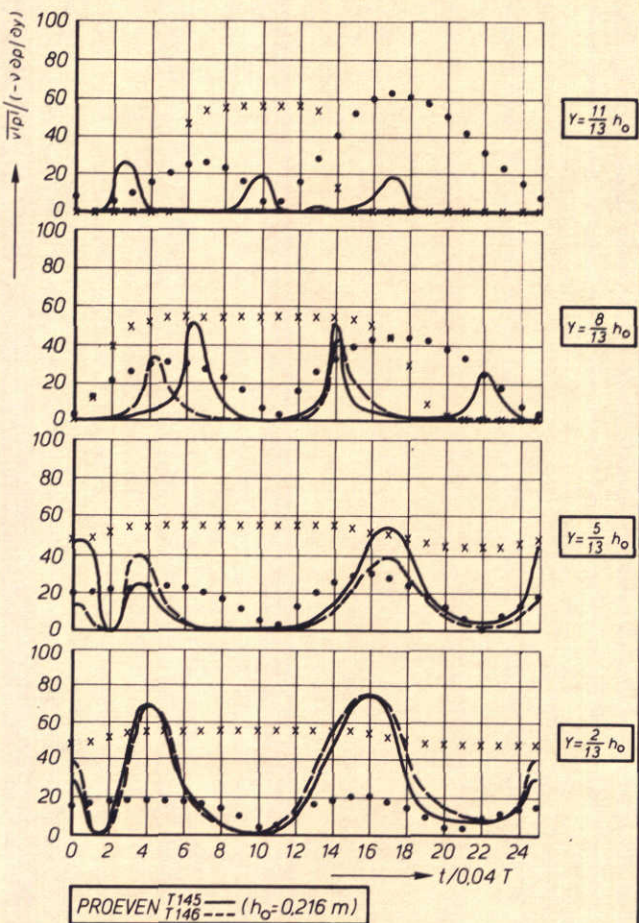
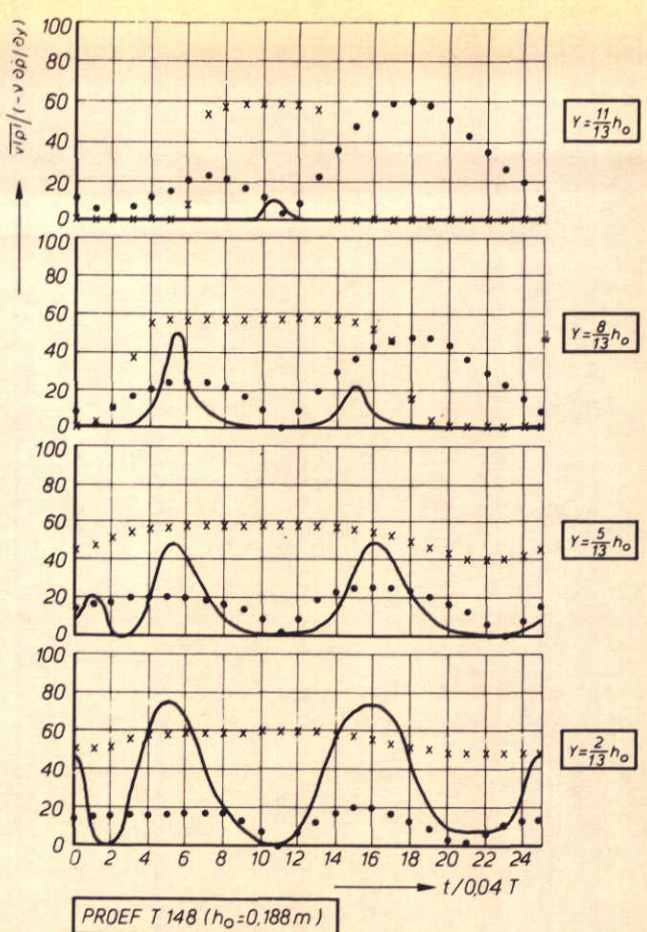
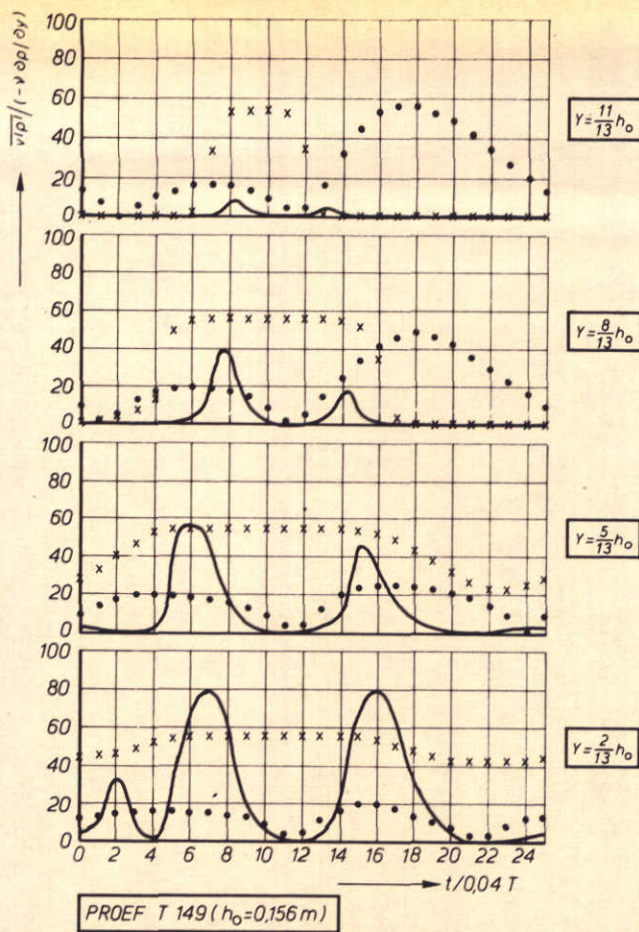
j.z.

x REF. SNELHEID $|u|$ (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

A4

M. 896-1980

FIG. 13



TURBULENTE DIFFUSIEKOEFFICIENT
(T.O.V. KINEMATISCHE VISKOSITEIT)

x REF. SNELHEID u (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

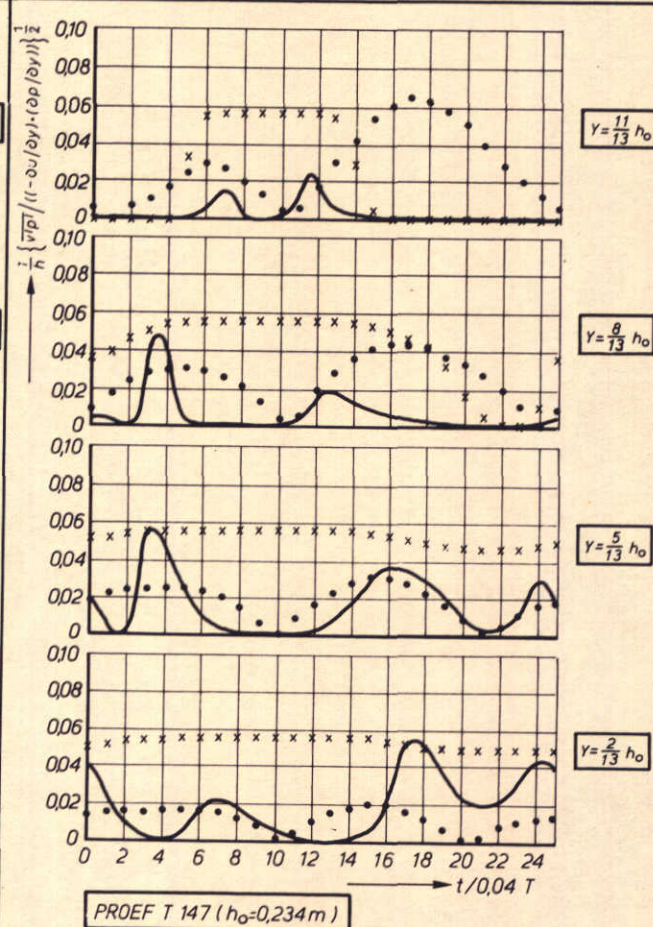
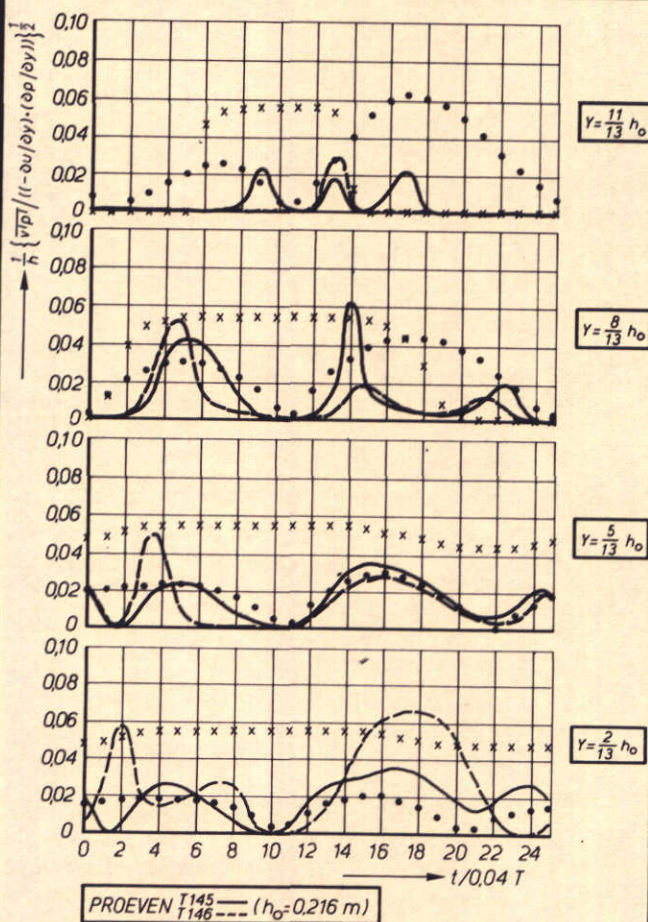
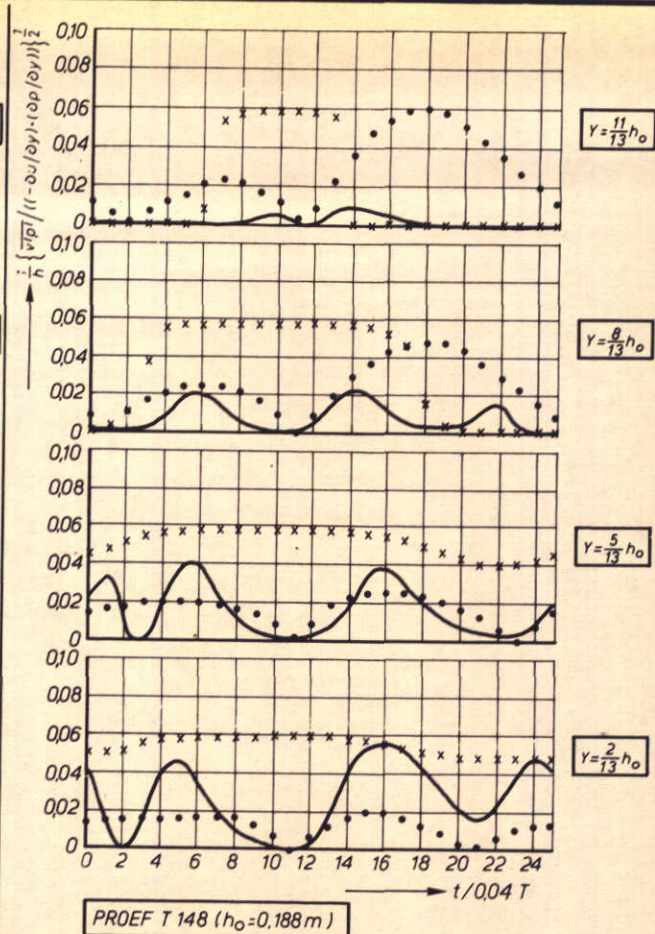
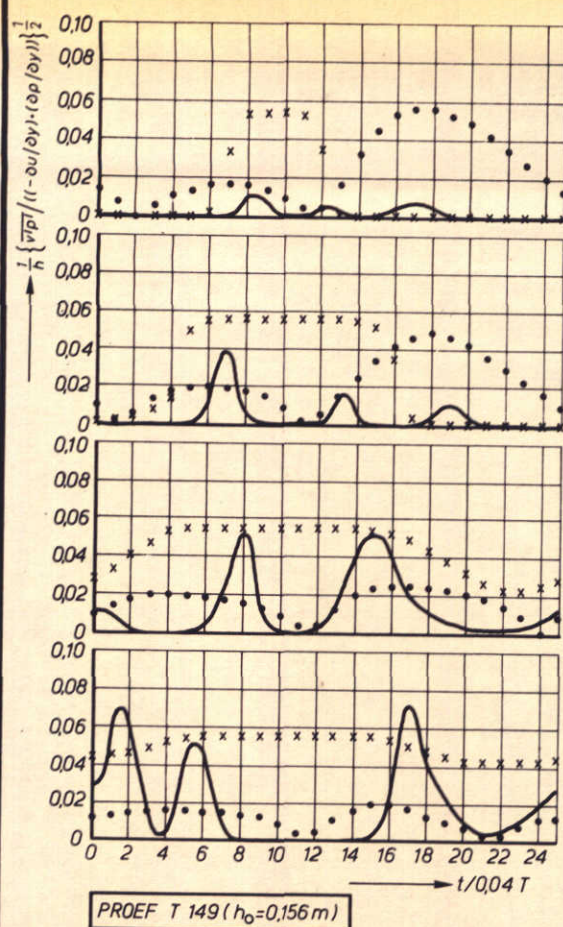
J. Z.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896-1981

FIG. 14



MENGWEG MASSATRANSPORT
(TOV. WATERHOOGTE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

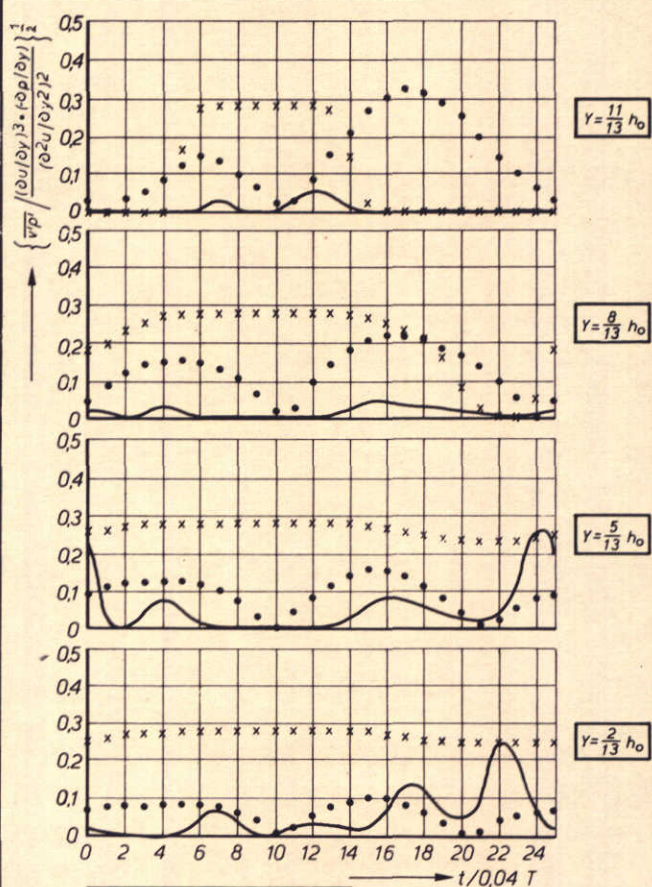
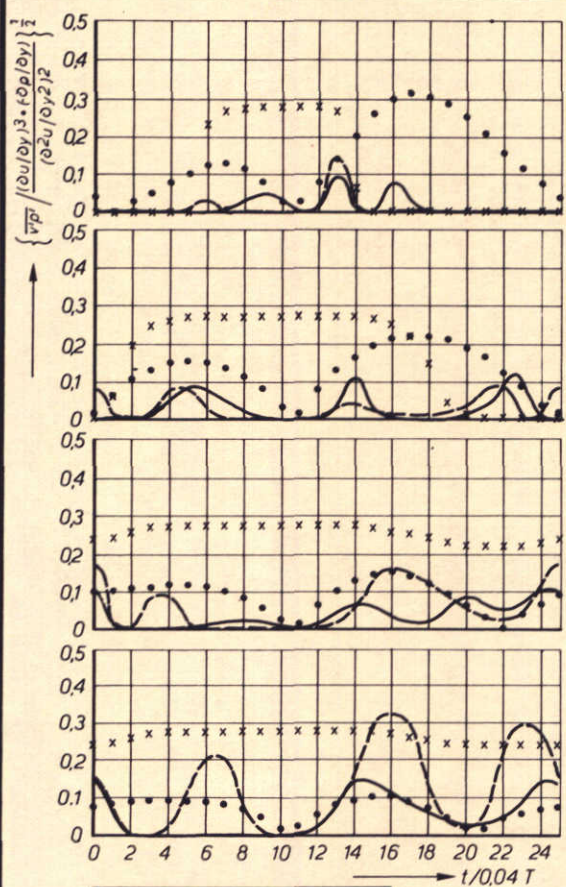
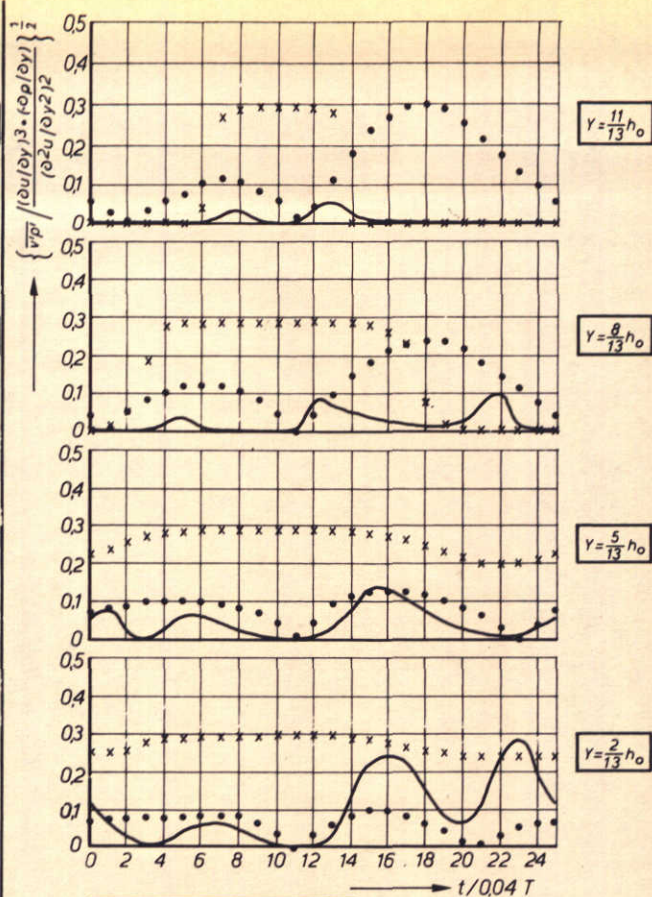
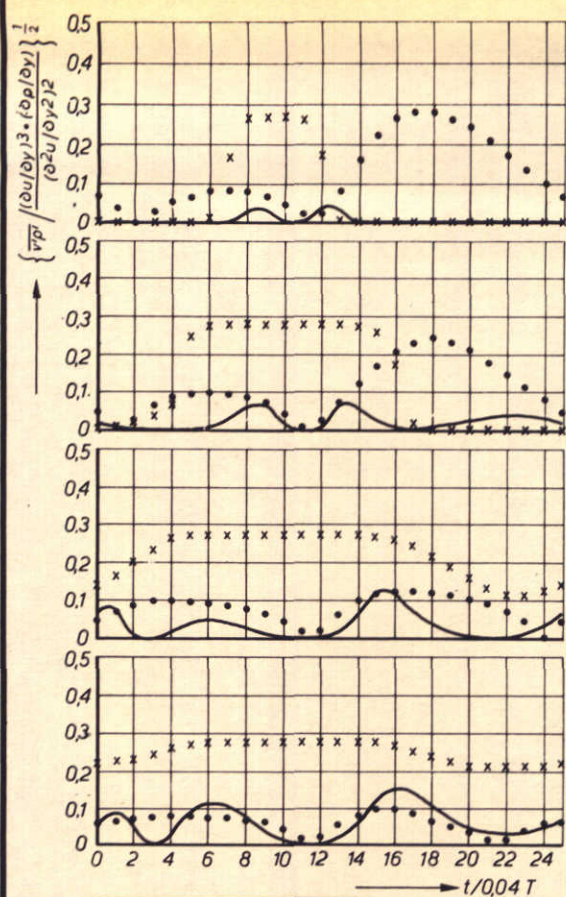
x REF. SNELHEID u (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

M. 896-1982

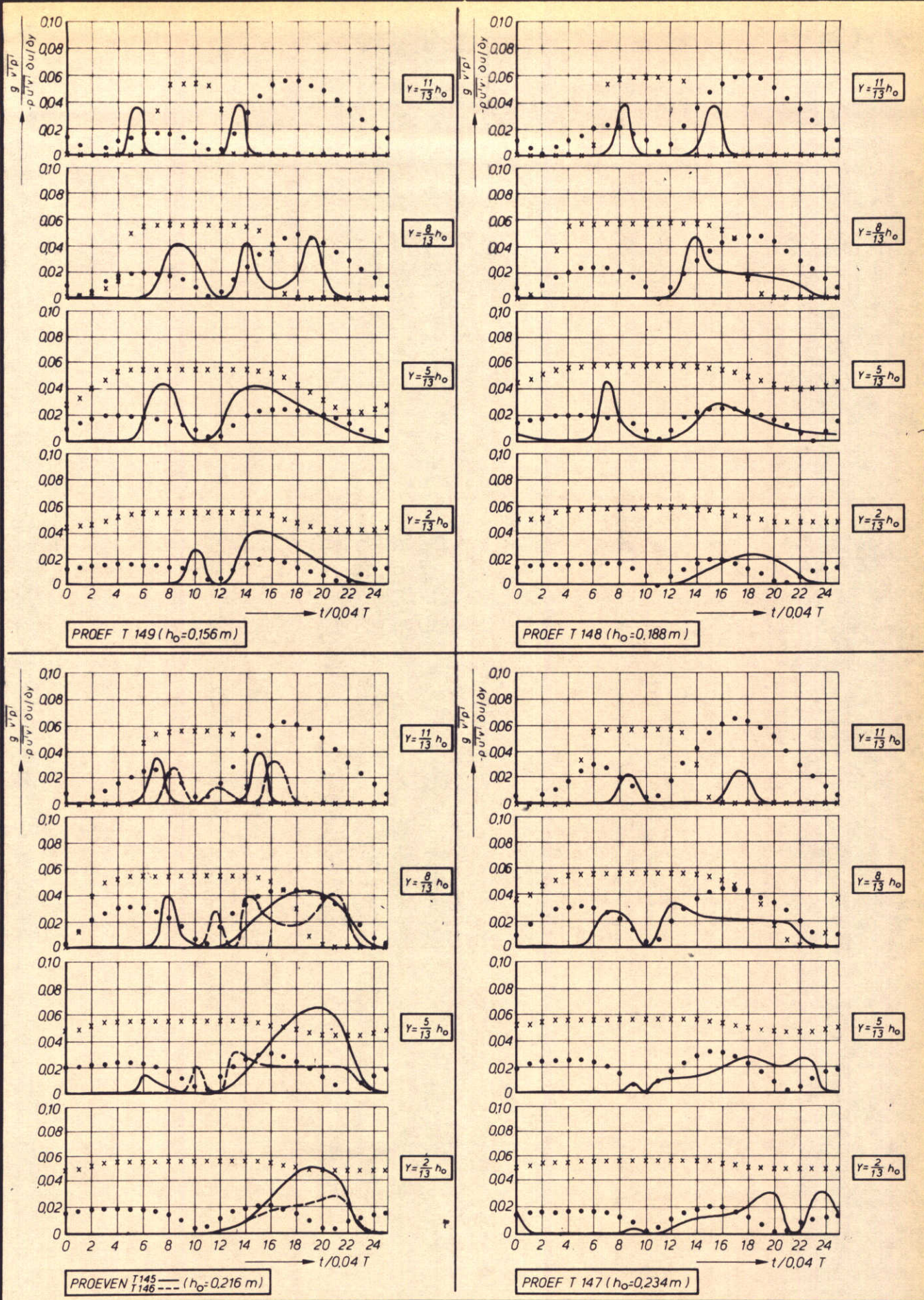
FIG. 15

j.z.

A4



PARAMETER MASSATransPORT



FLUX RICHARDSON ET AL

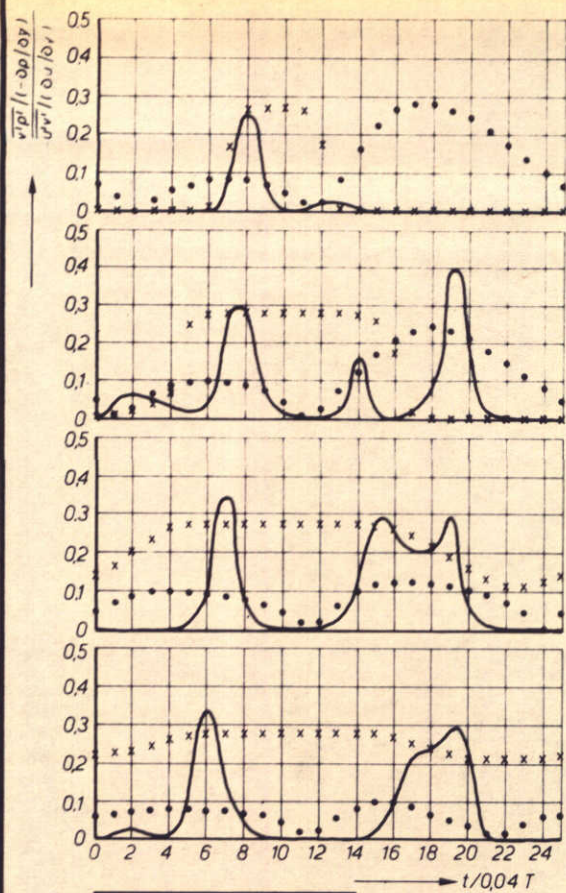
x REF SNELHEID IuI (FIG 7)
o REF SNELHEID s (FIG 8)

A4

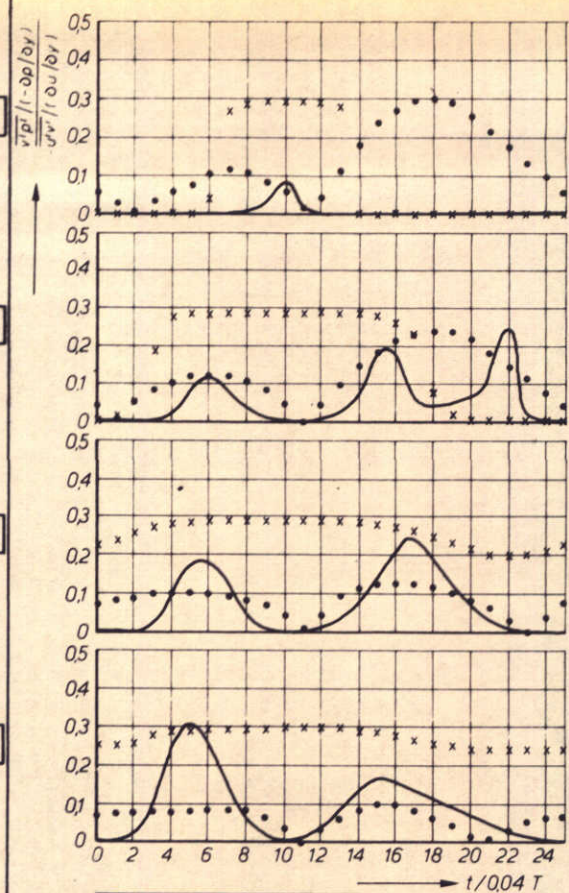
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 1985

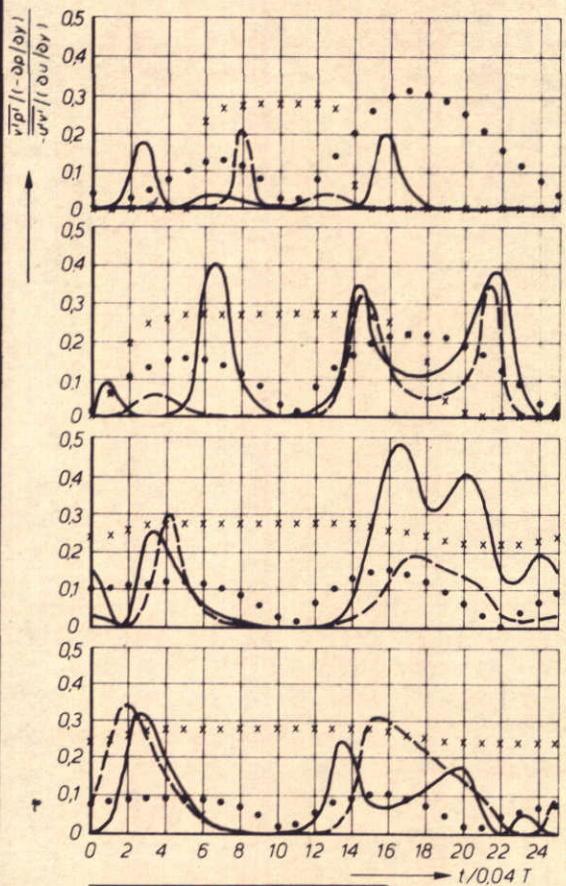
FIG. 17



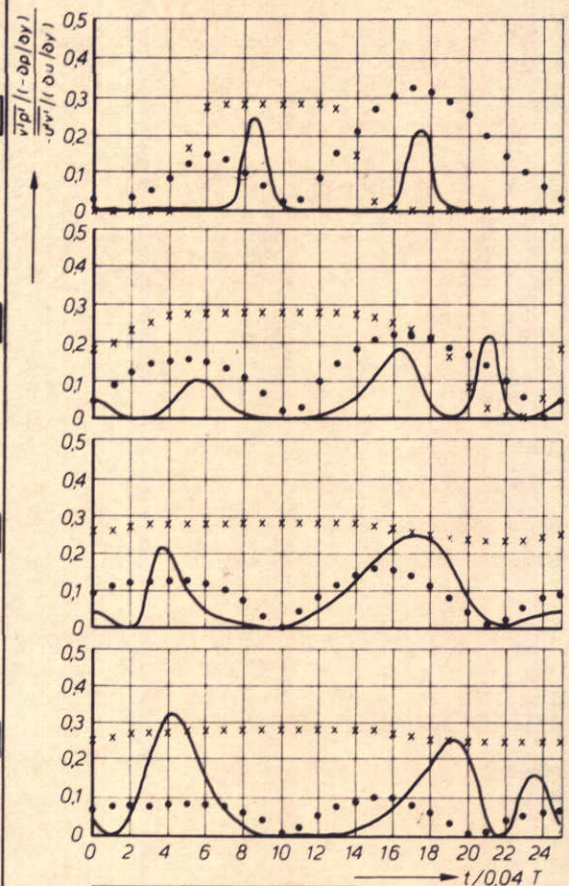
PROEF T 149 ($h_0=0,156\text{ m}$)



PROEF T 148 ($h_0=0,188\text{ m}$)



PROEF T 145 ($h_0=0,216\text{ m}$)



PROEF T 147 ($h_0=0,234\text{ m}$)

RECIPROKE WAARDE SCHMIDTGETAL

J.Z.

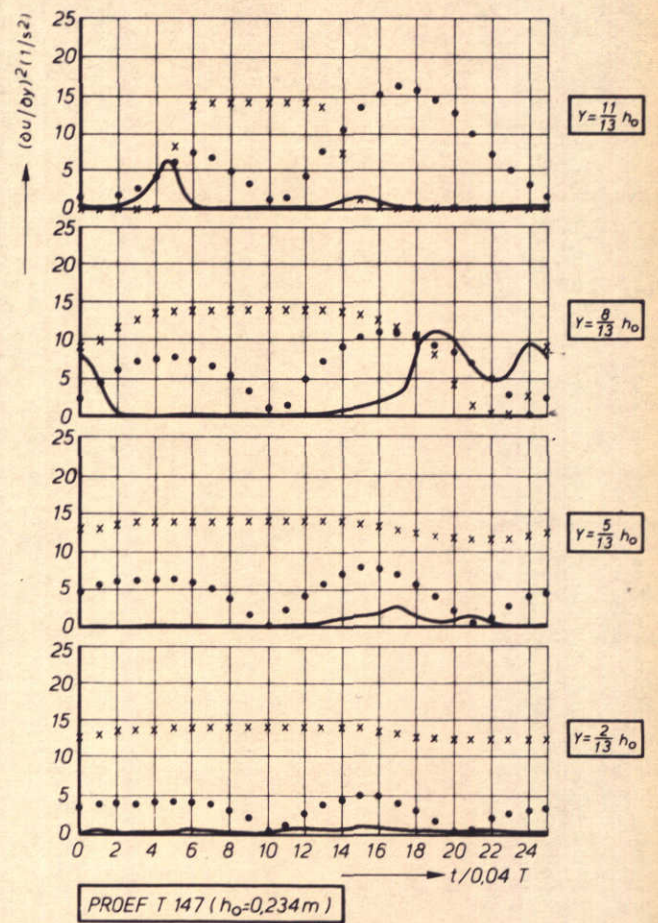
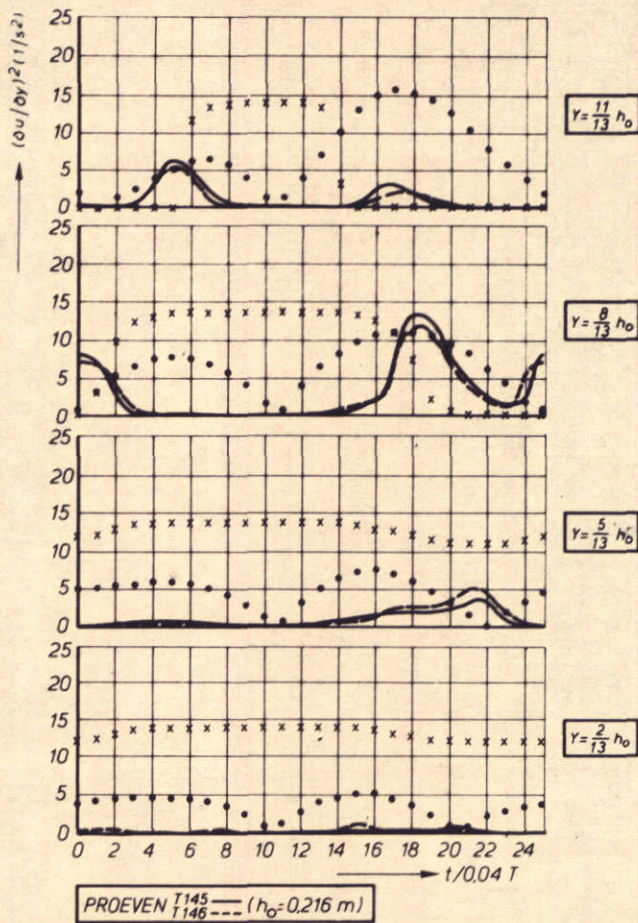
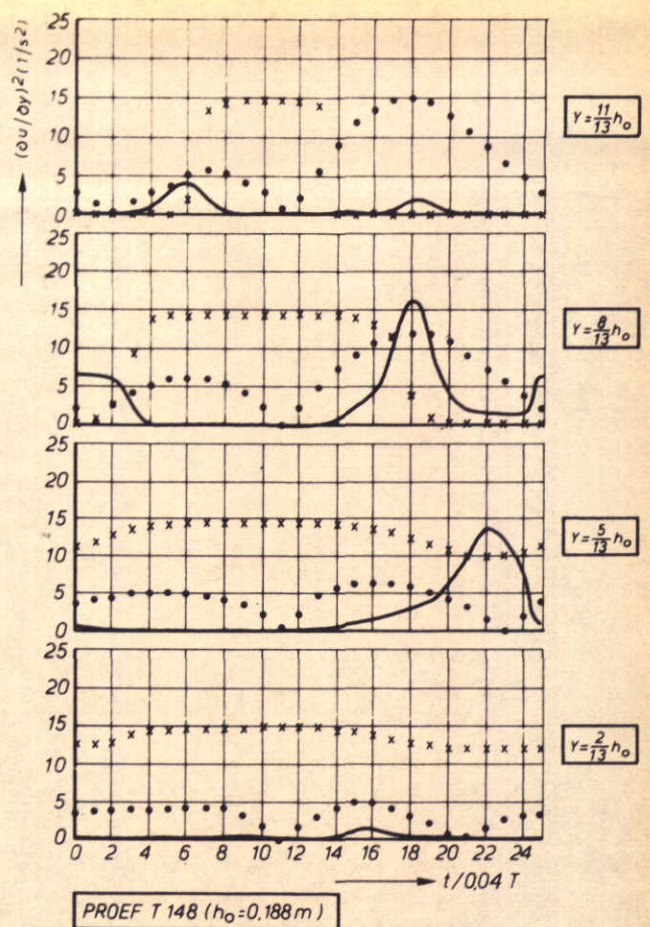
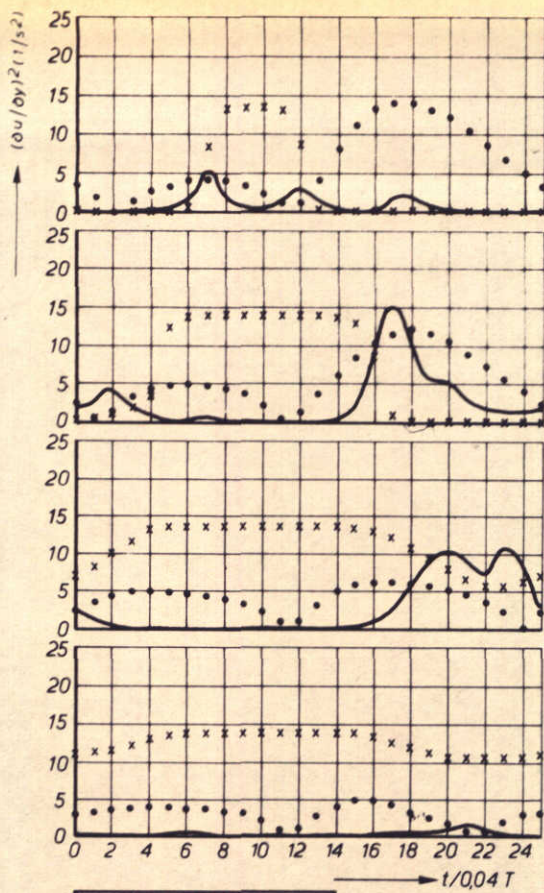
x REF SNELHEID 1 u (FIG. 7)
• REF SALINITEIT s (FIG. 8)

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 1986

FIG. 18



KWADRATISCHE WAARDE SNELHEIDSGRADIENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

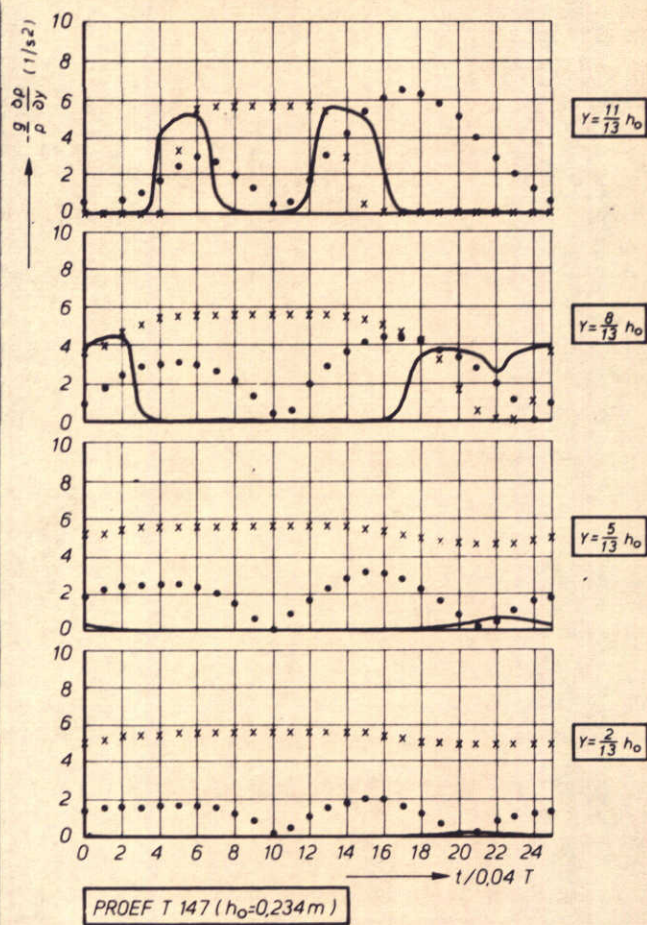
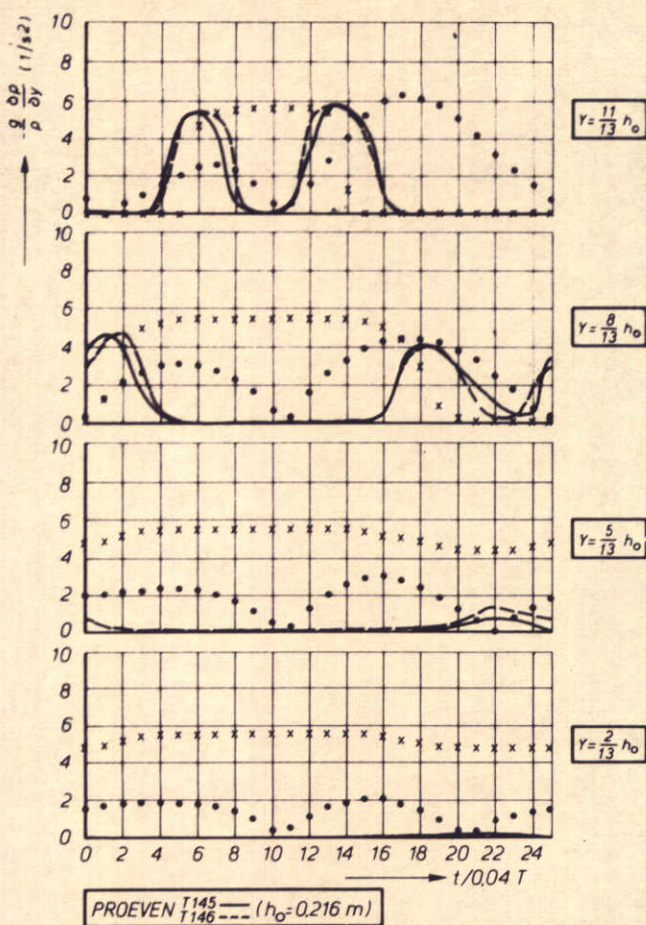
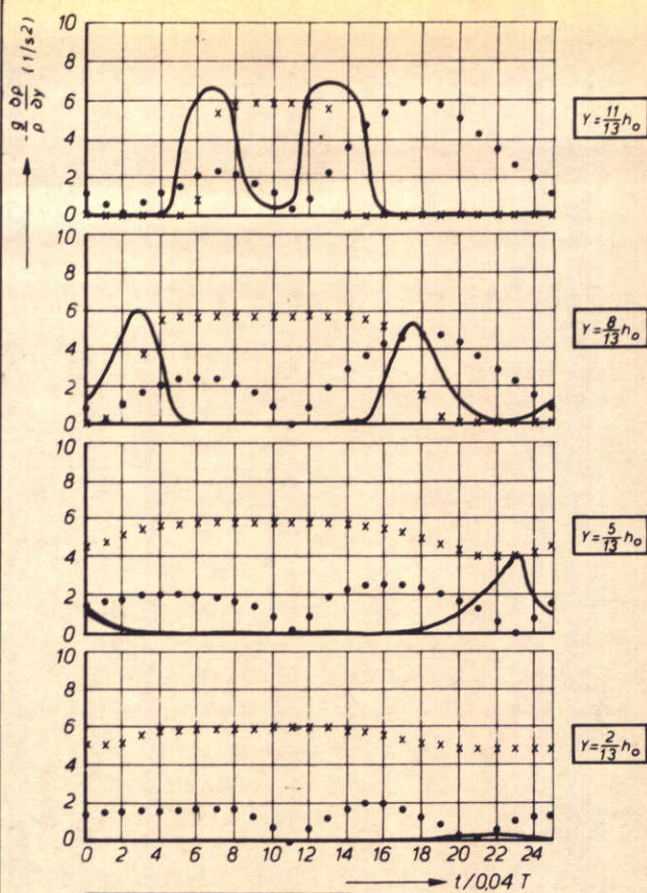
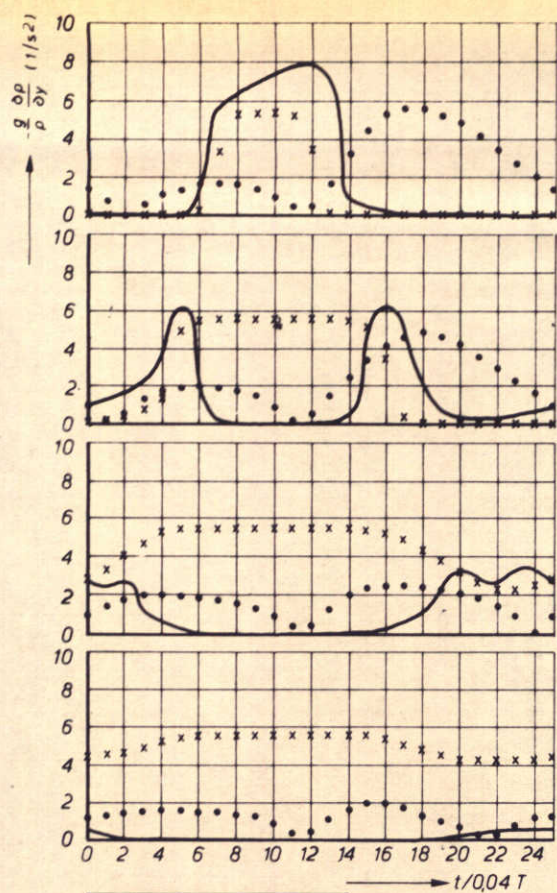
x REF SNELHEID u (FIG 7)
• REF SALINITEIT s (FIG 8)

M. 896 - 1987

FIG.19

J.Z.

A4

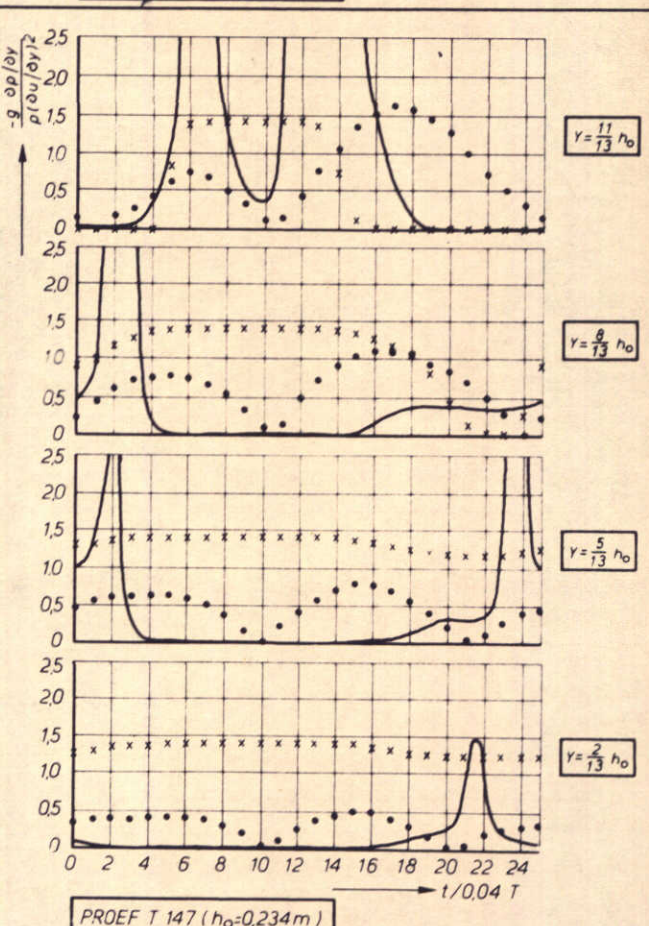
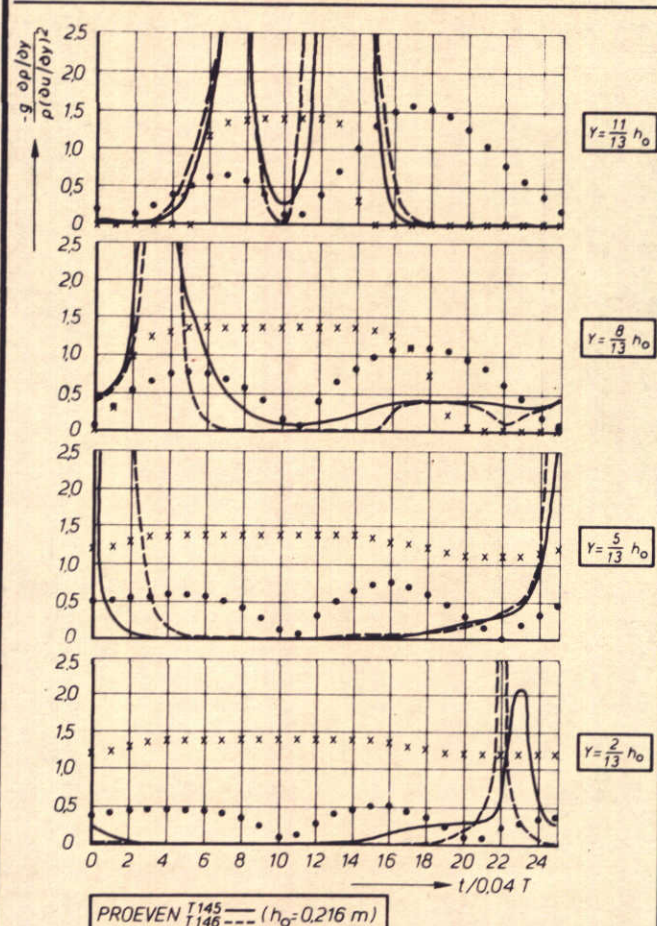
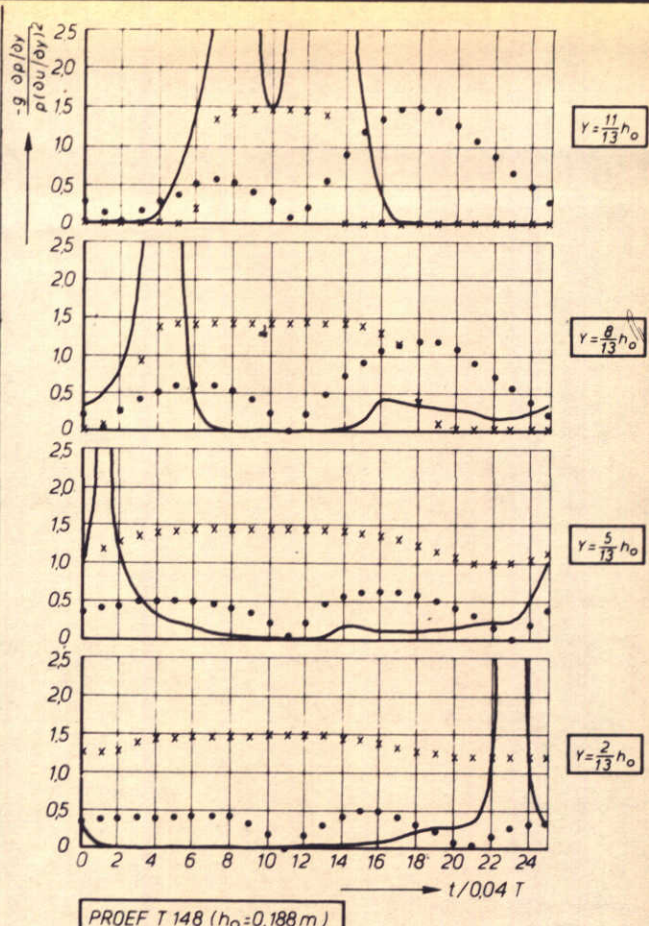
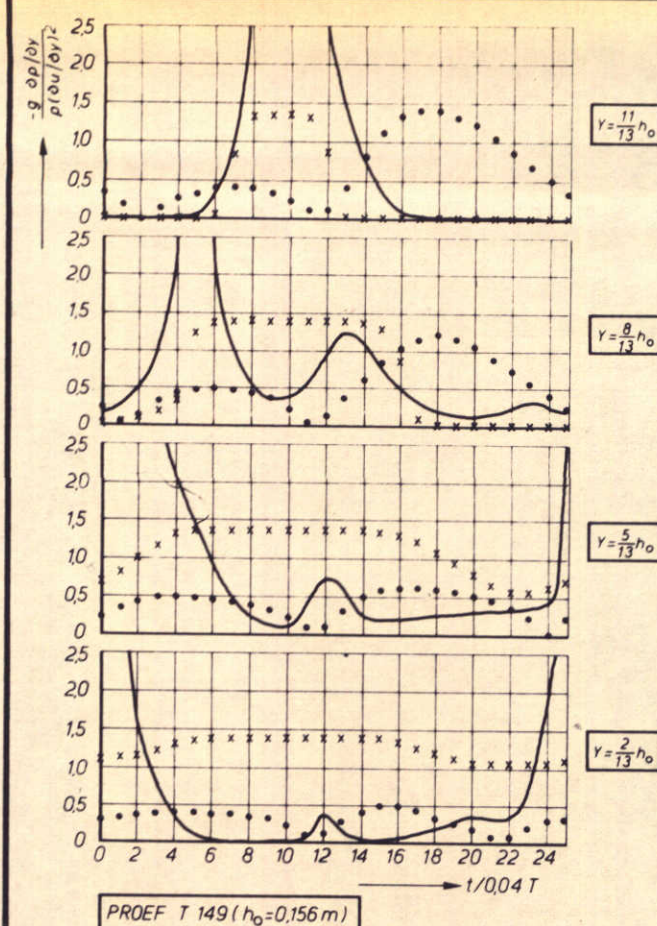


DICHTHEIDSGRADIENT
(TOV ρ/g)

x REF SNELHEID u (FIG. 7)
• REF SALINITEIT s (FIG. 8)

J. Z.

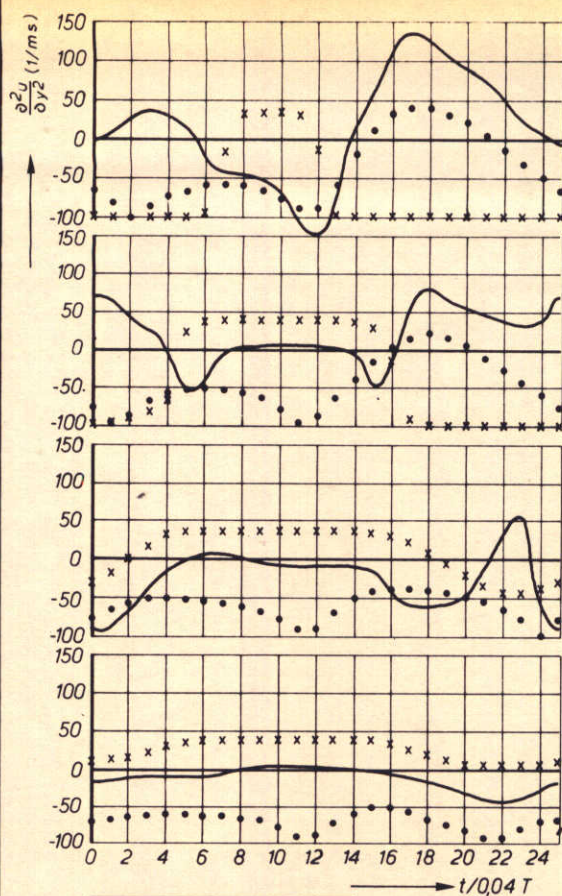
A4



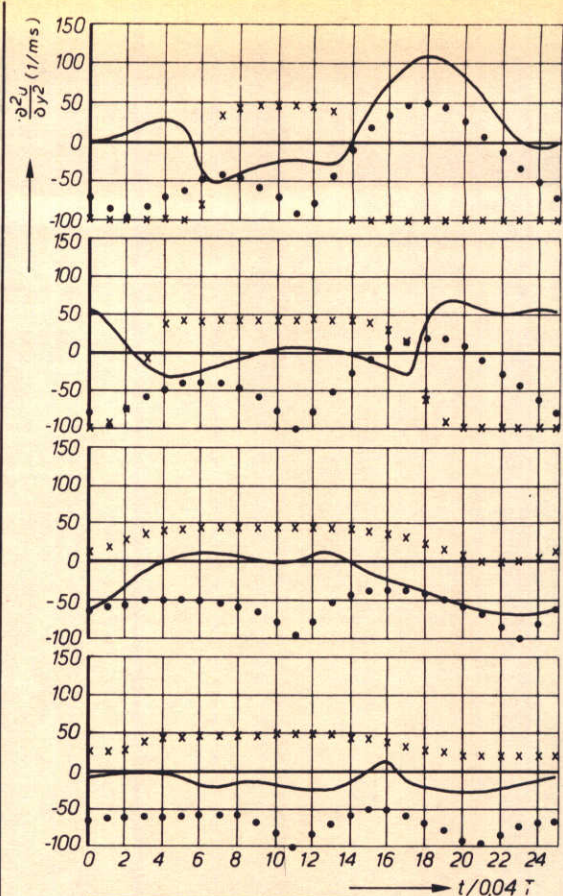
GETAL VAN RICHARDSON

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

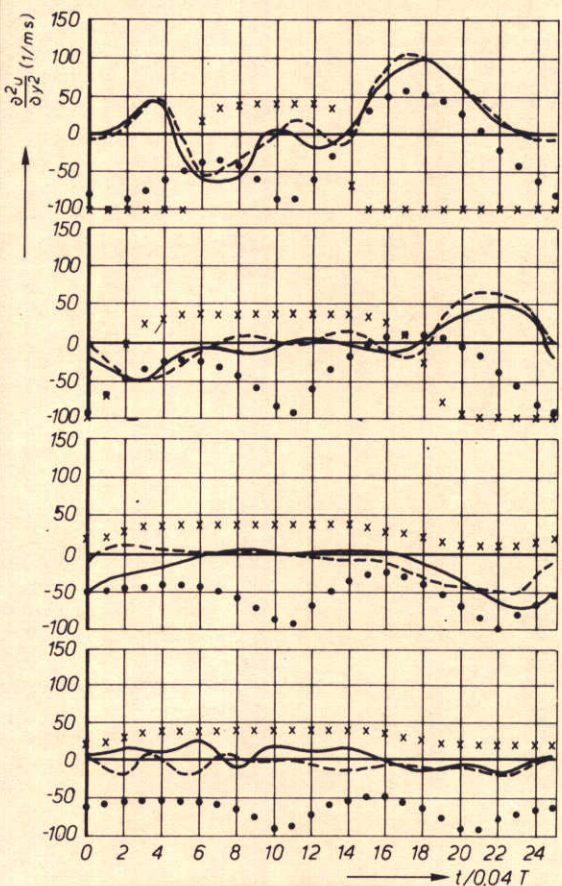
J.Z.
 x REF SNELHEID IUI (FIG 7)
 o REF SALINITEIT s (FIG 8)
A4
 M 896-1984
 FIG.21



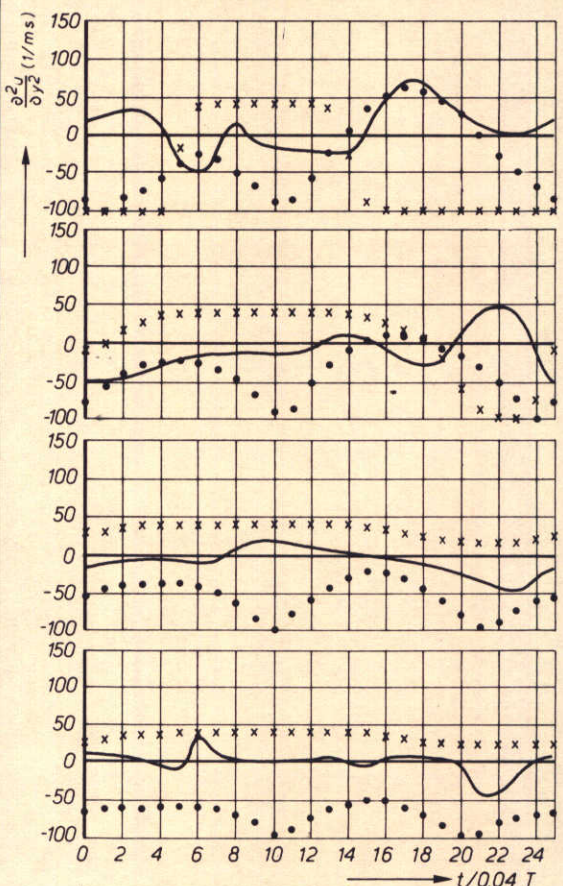
PROEF T 149 ($h_0=0.156\text{m}$)



PROEF T 148 ($h_0=0.188\text{m}$)



PROEF T 145 ($h_0=0.216\text{m}$)



PROEF T 147 ($h_0=0.234\text{m}$)

TWEDE AFGELEIDE HOR. SNELHEID

x REF. SNELHEID u (FIG. 7)
• REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

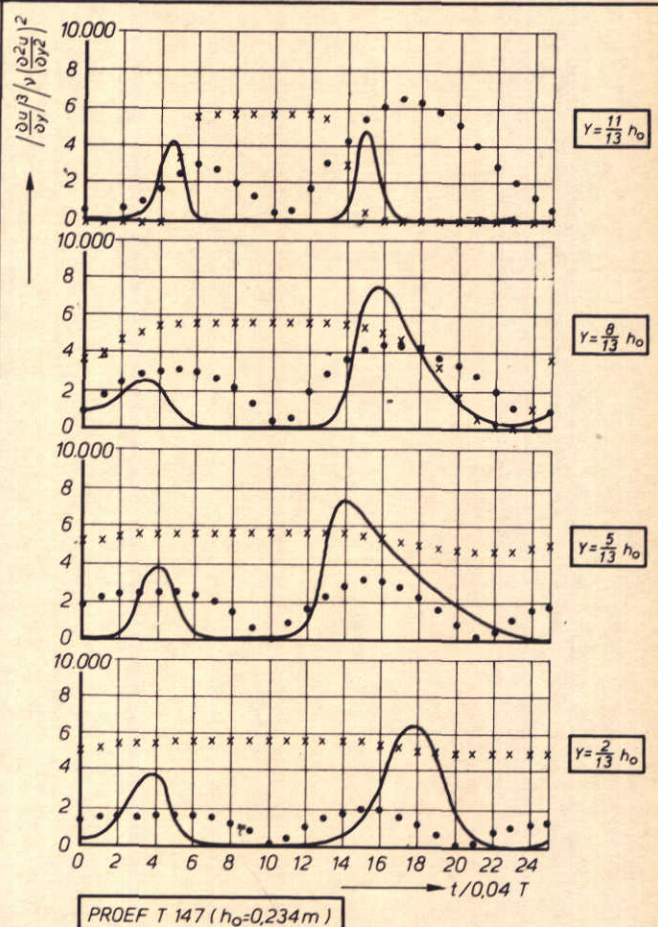
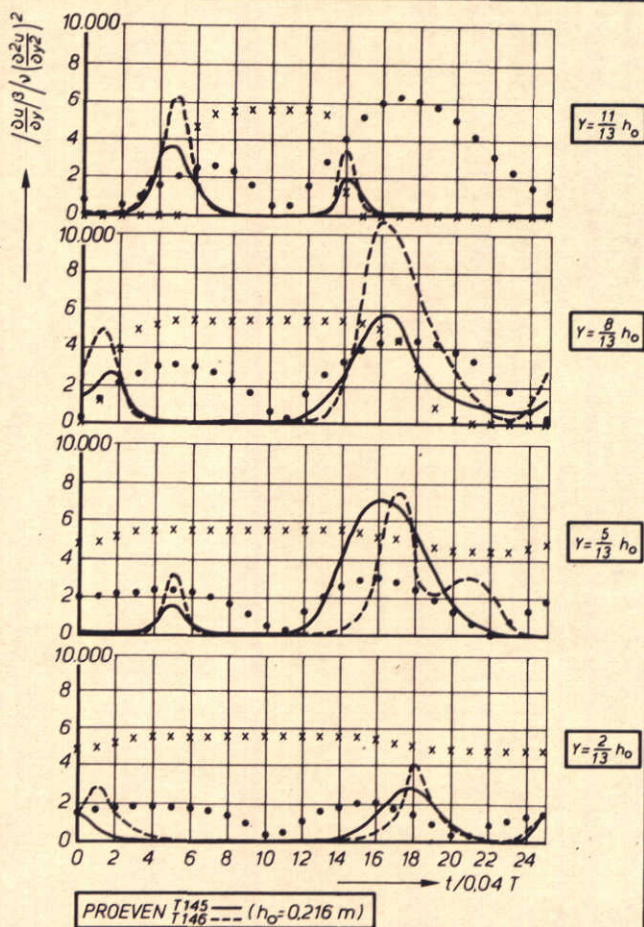
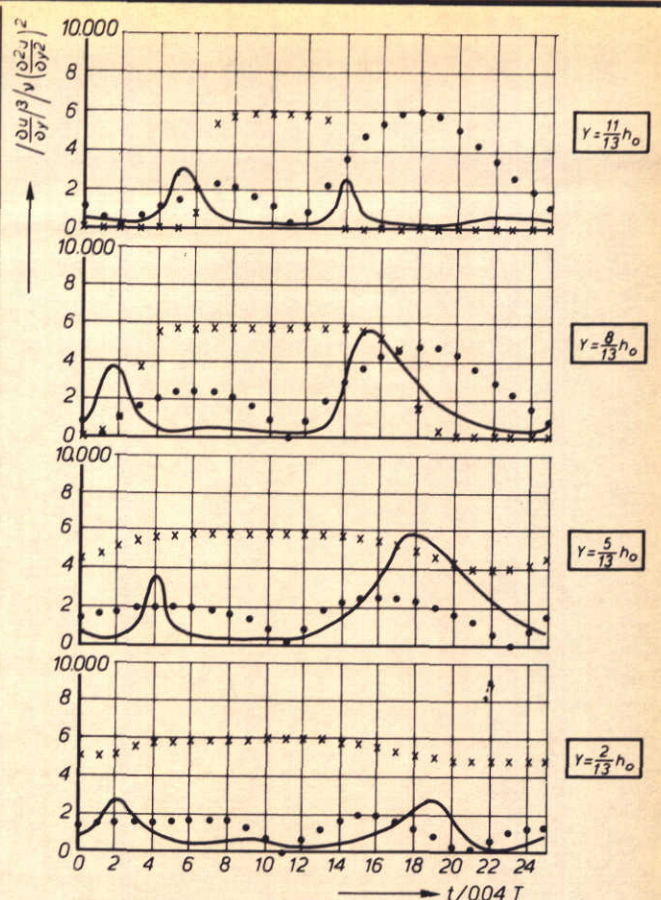
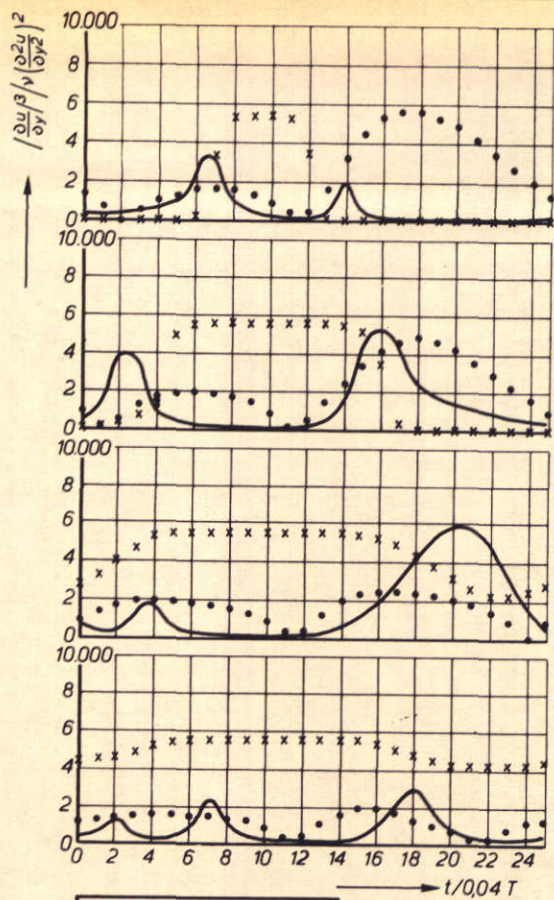
j.z.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 1989

FIG. 22

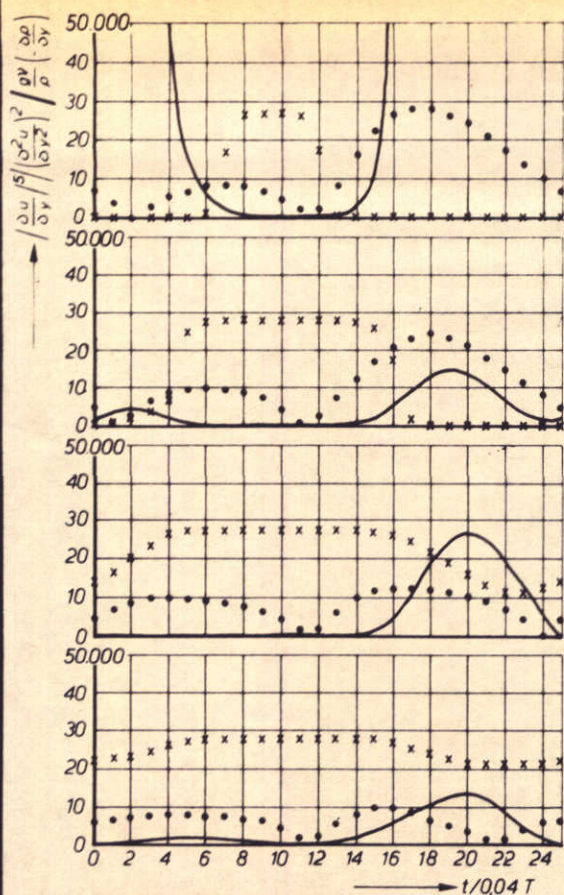


PARAMETER α

x REF. SNELHEID $|u|$ (FIG. 7)
 • REF. SALINITEIT s (FIG. 8)

j.z.

A4

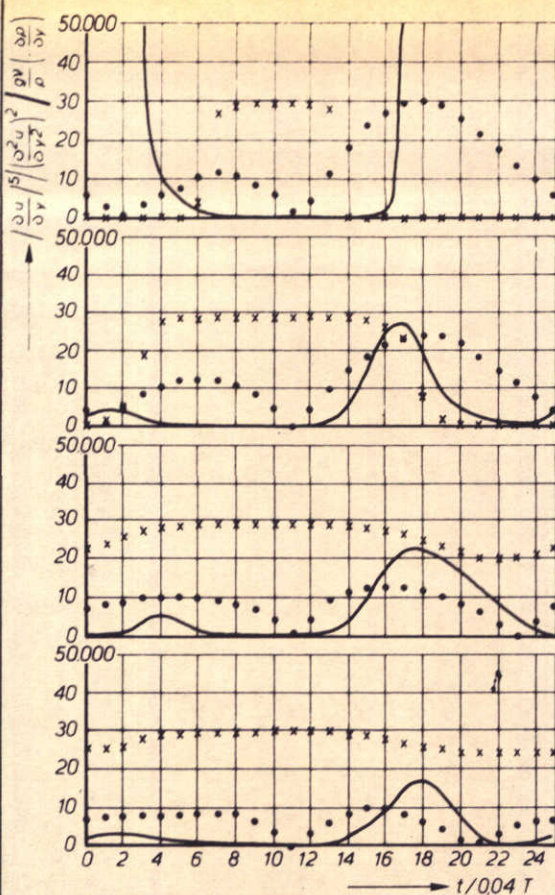


$$\gamma = \frac{11}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{8}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{5}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{2}{13} h_0$$

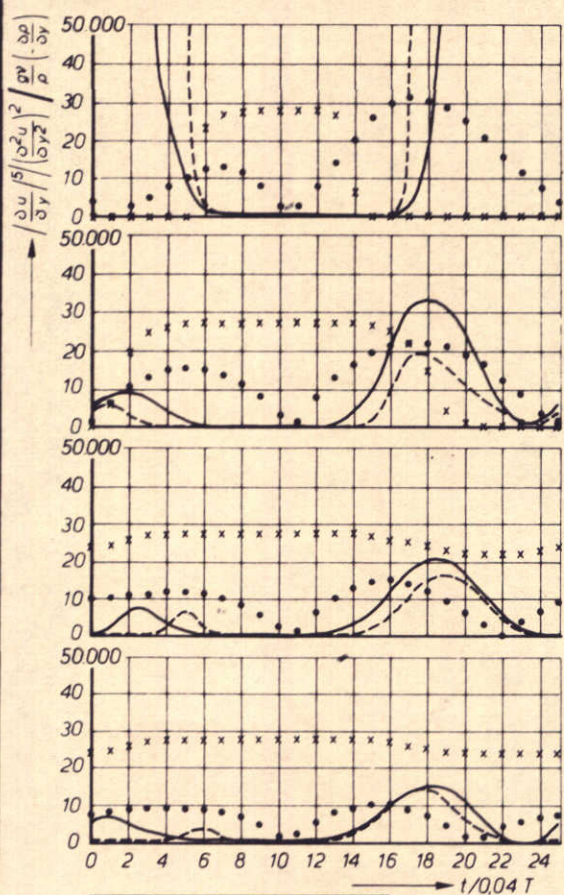


$$\gamma = \frac{11}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{8}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{5}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{2}{13} h_0$$

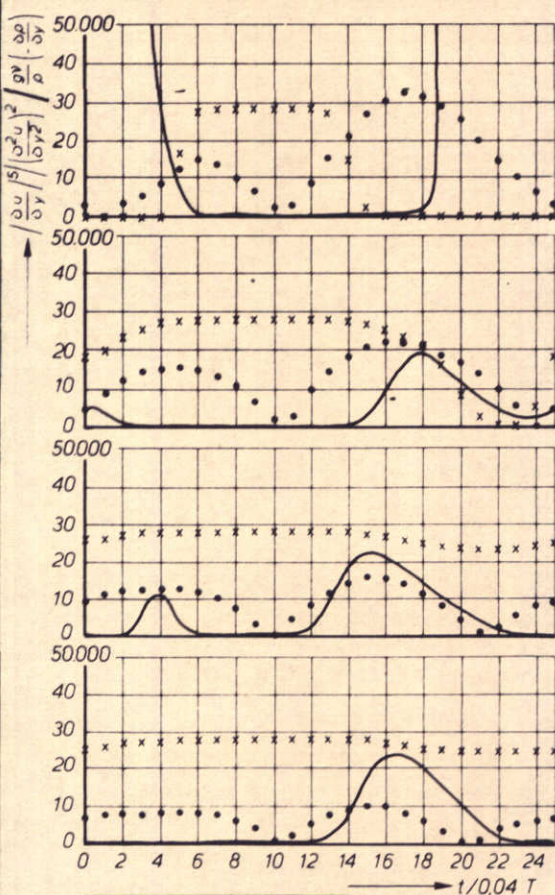


$$\gamma = \frac{11}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{8}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{5}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{2}{13} h_0$$



$$\gamma = \frac{11}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{8}{13} h_0$$

$$\gamma = \frac{5}{13} h_0$$

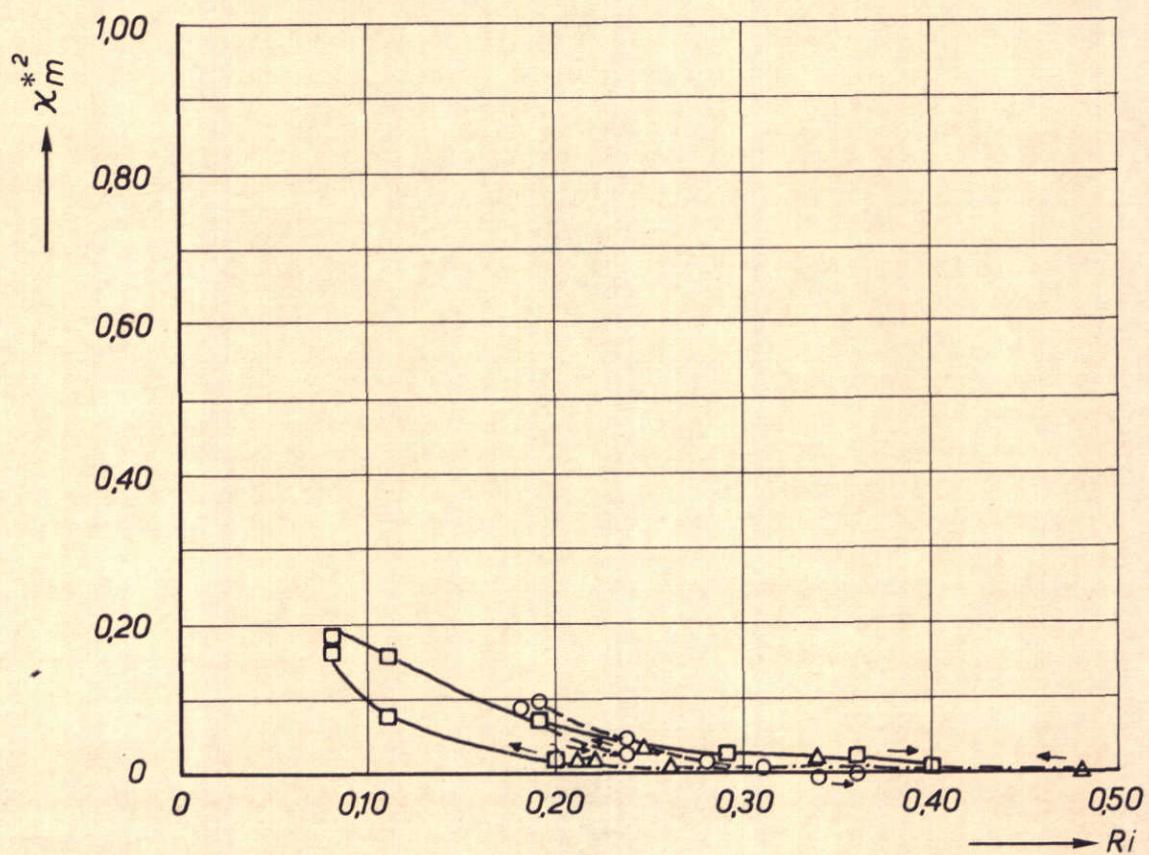
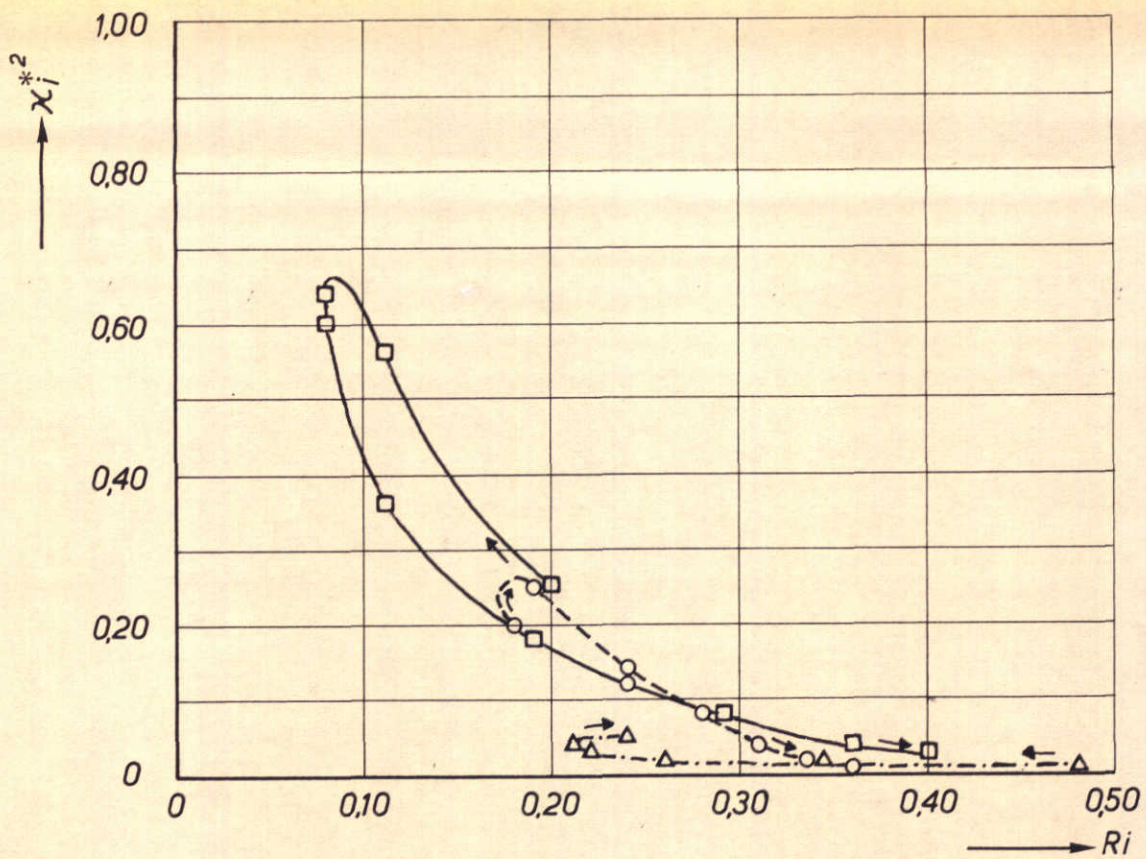
$$\gamma = \frac{2}{13} h_0$$

PARAMETER β

x REF SNELHEID 101 (FIG 7)
• REF SALINITEIT s (FIG 8)

J.Z.

A4

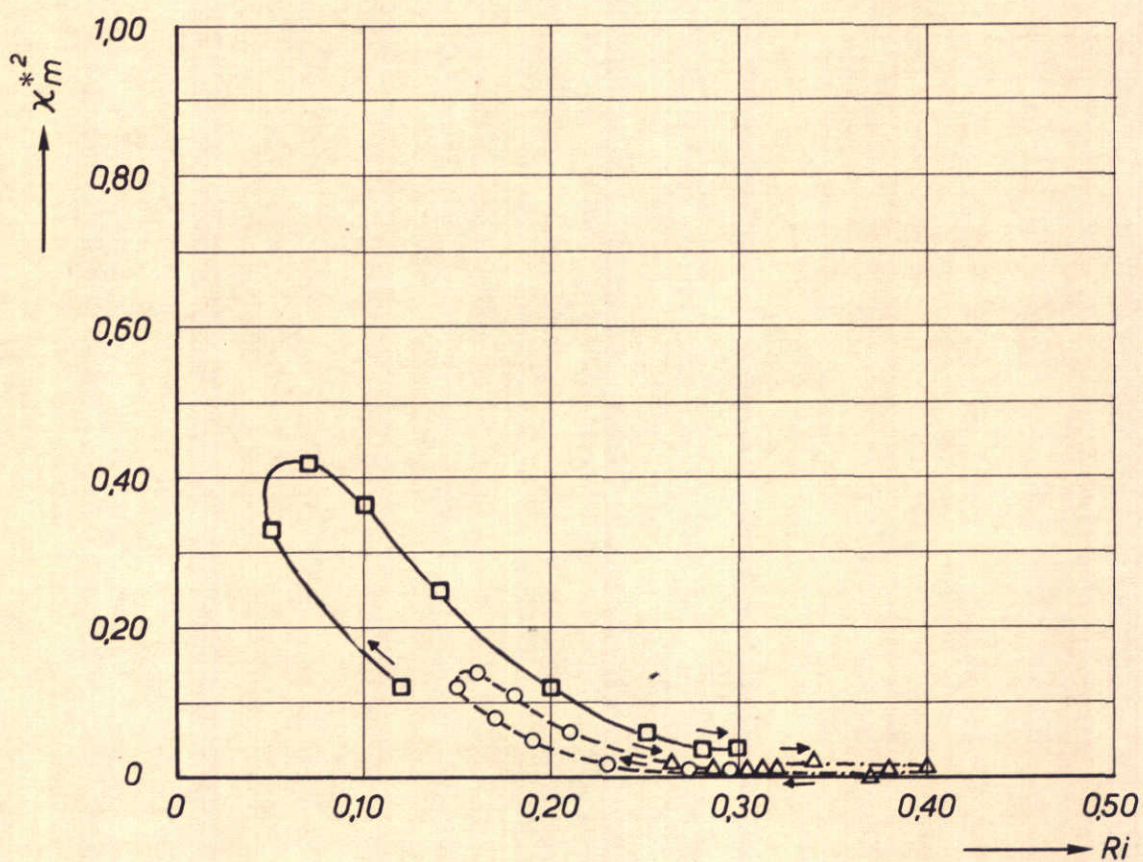
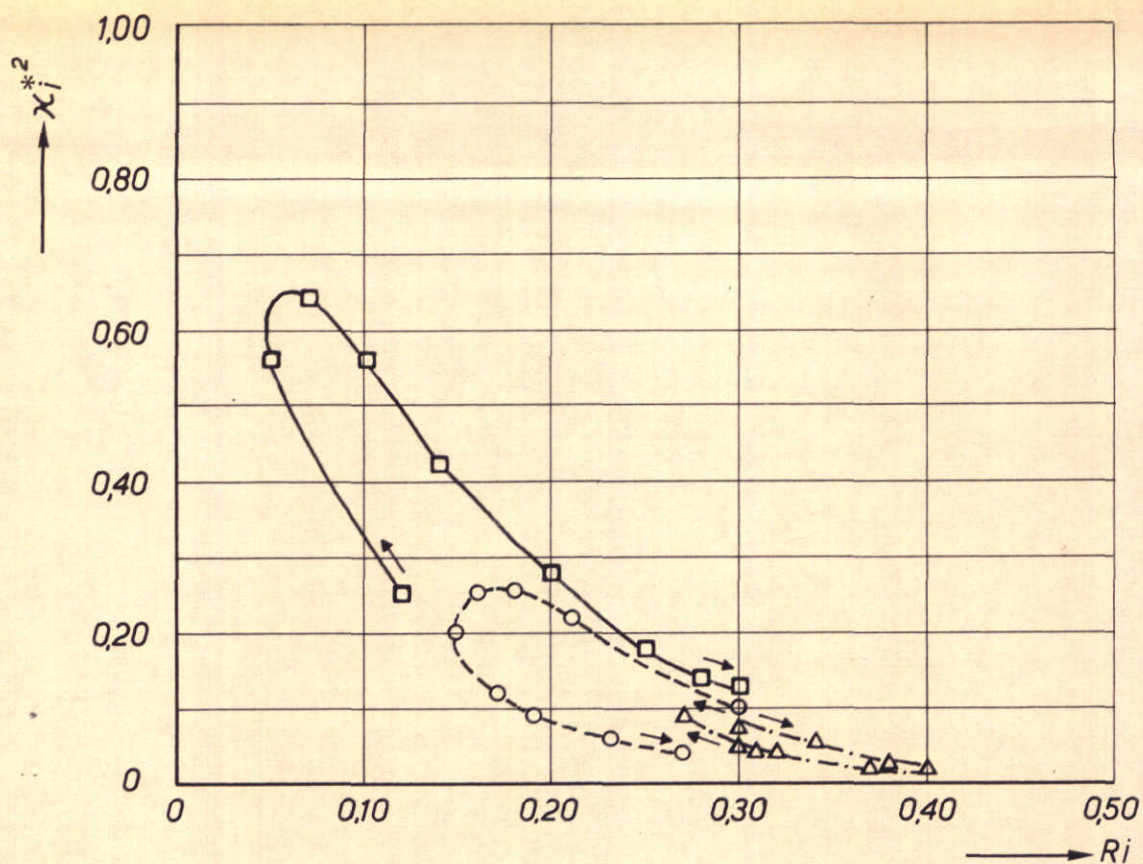


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T149
(GRAFIEKEN OP LINEAIRE VERDELING)

$\square$ $y/(1/13 h_0) = 2$
 $\circ$ $y/(1/13 h_0) = 5$
 $\triangle$ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

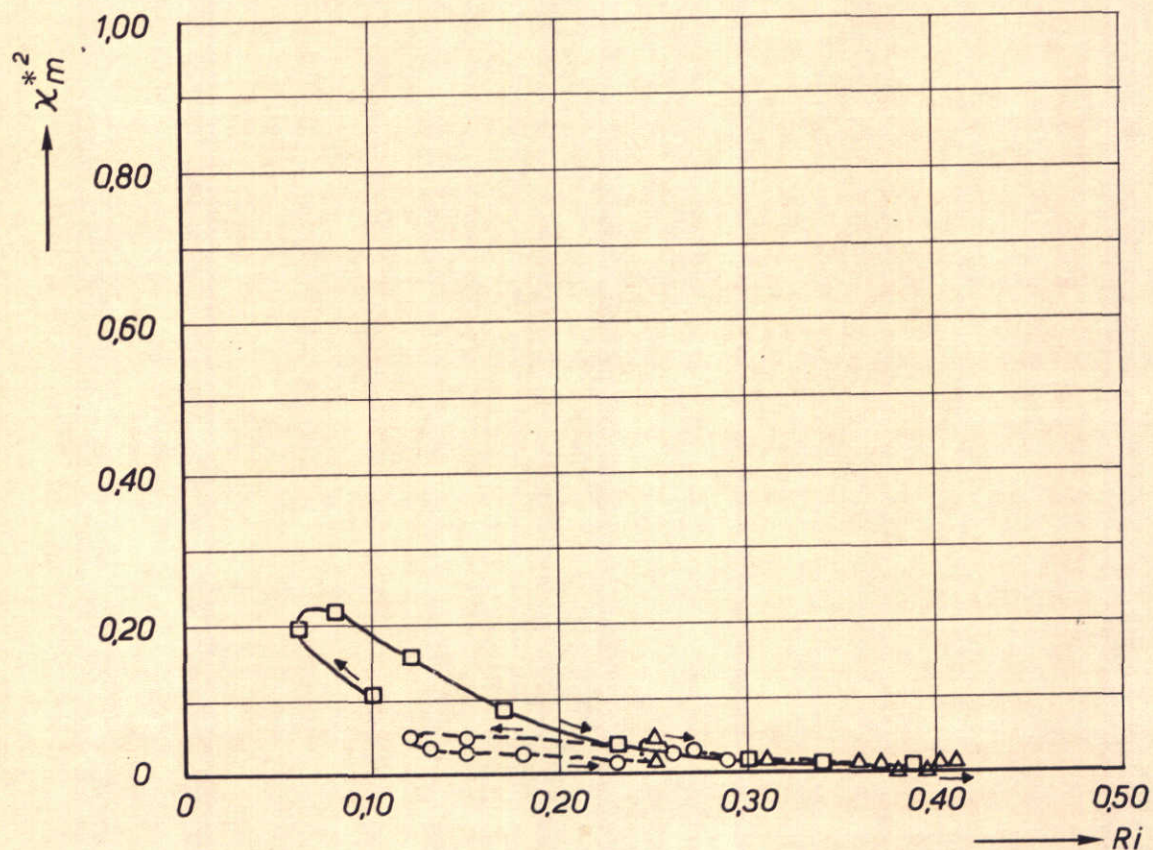
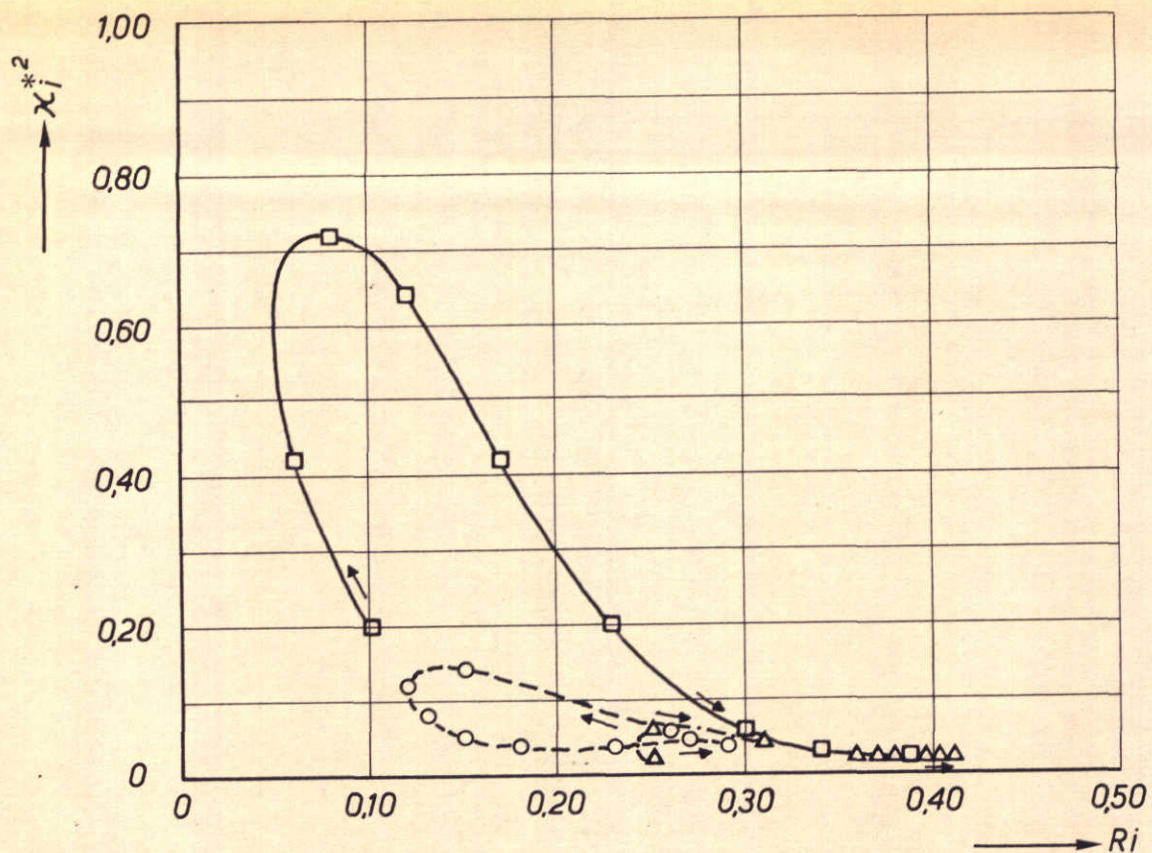


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T148
(GRAFIEKEN OP LINEAIRE VERDELING)

□ $y/(1/13 h_0) = 2$
○ $y/(1/13 h_0) = 5$
△ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

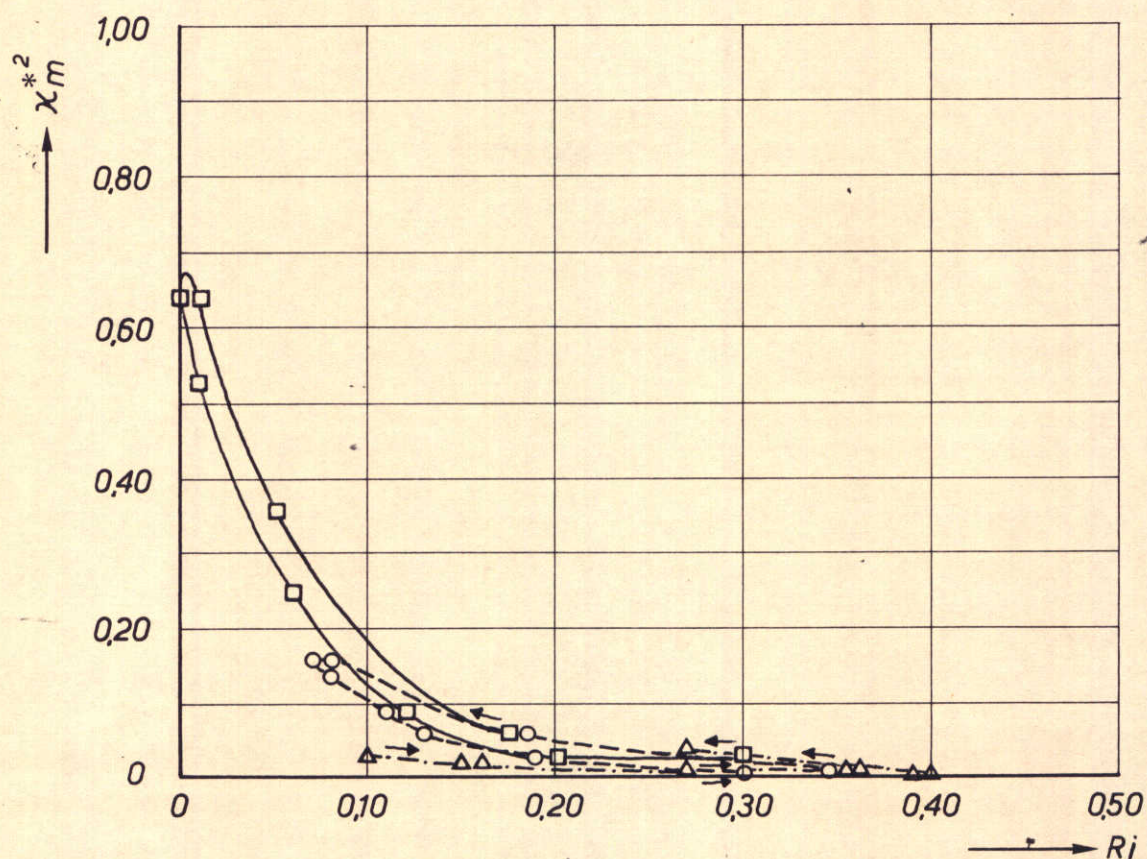
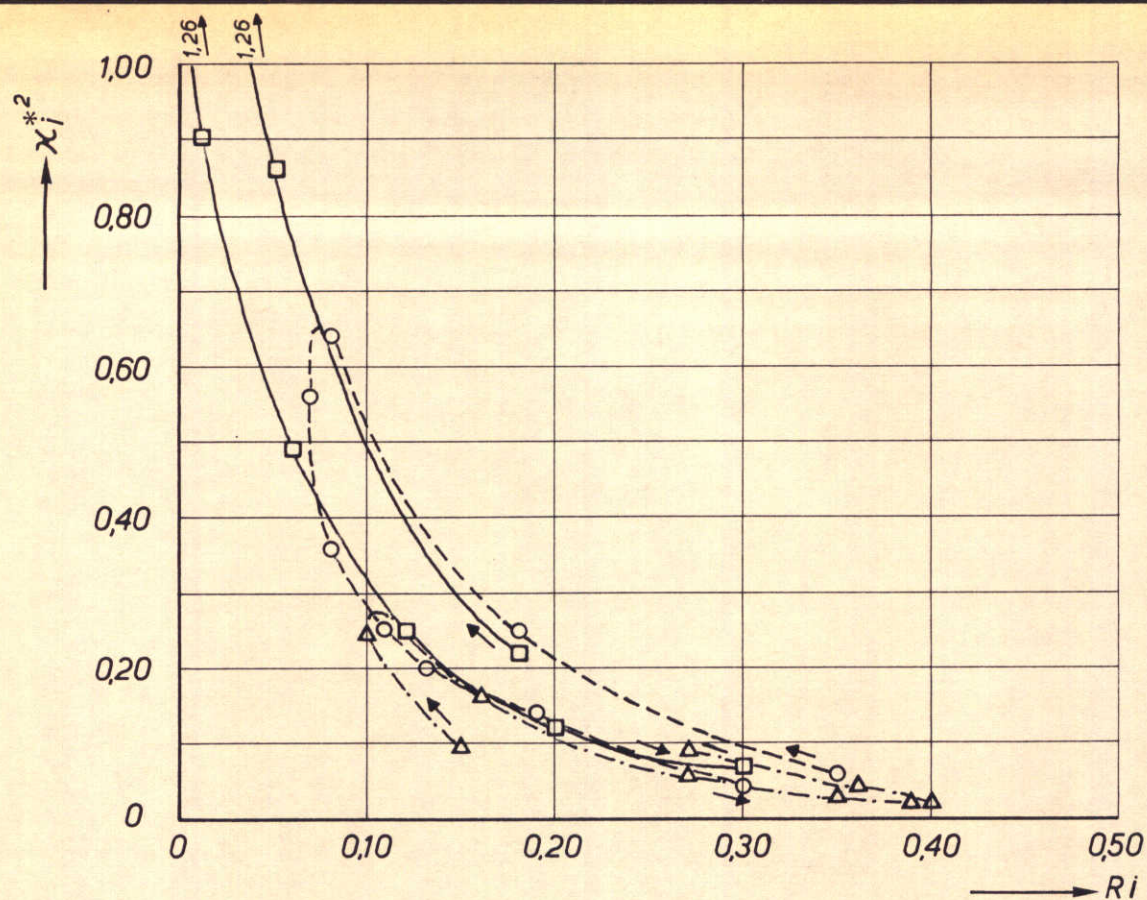


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T145
(GRAFIEKEN OP LINEAIRE VERDELING)

□ $y/(1/13 h_0) = 2$
○ $y/(1/13 h_0) = 5$
△ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

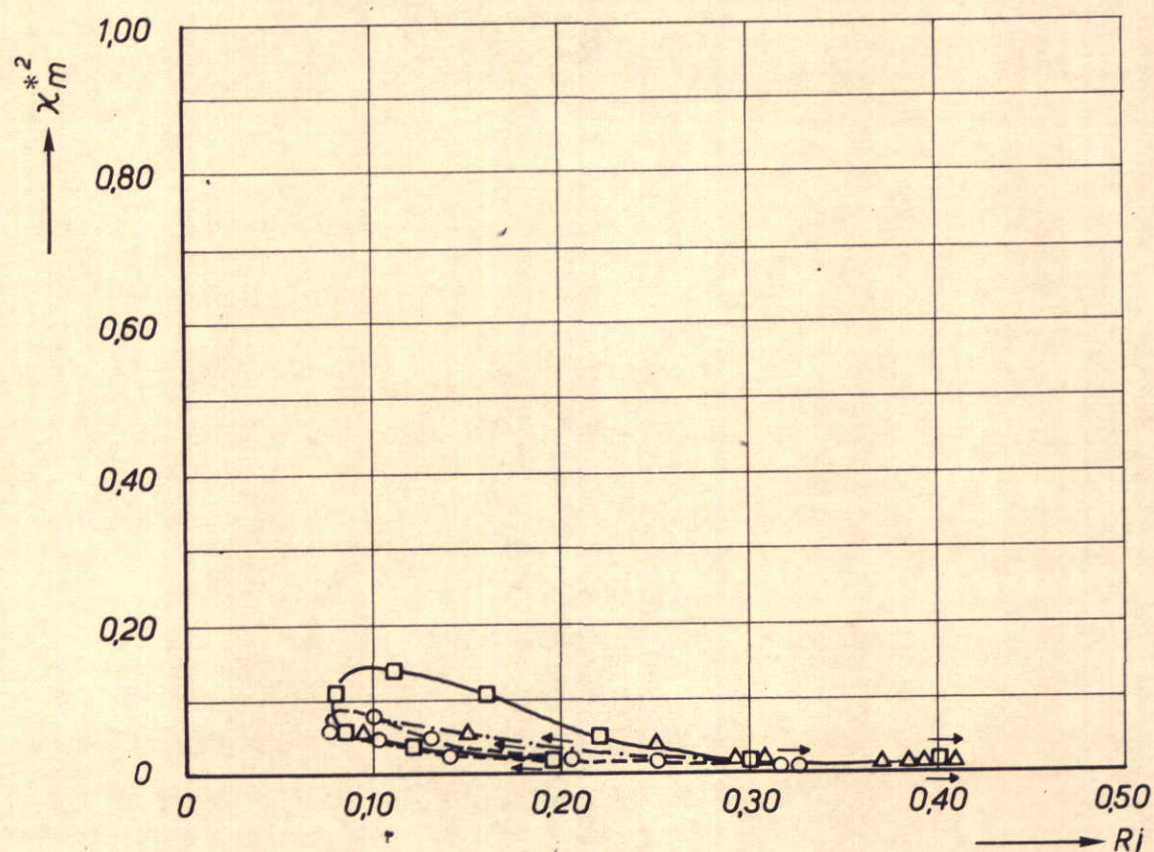
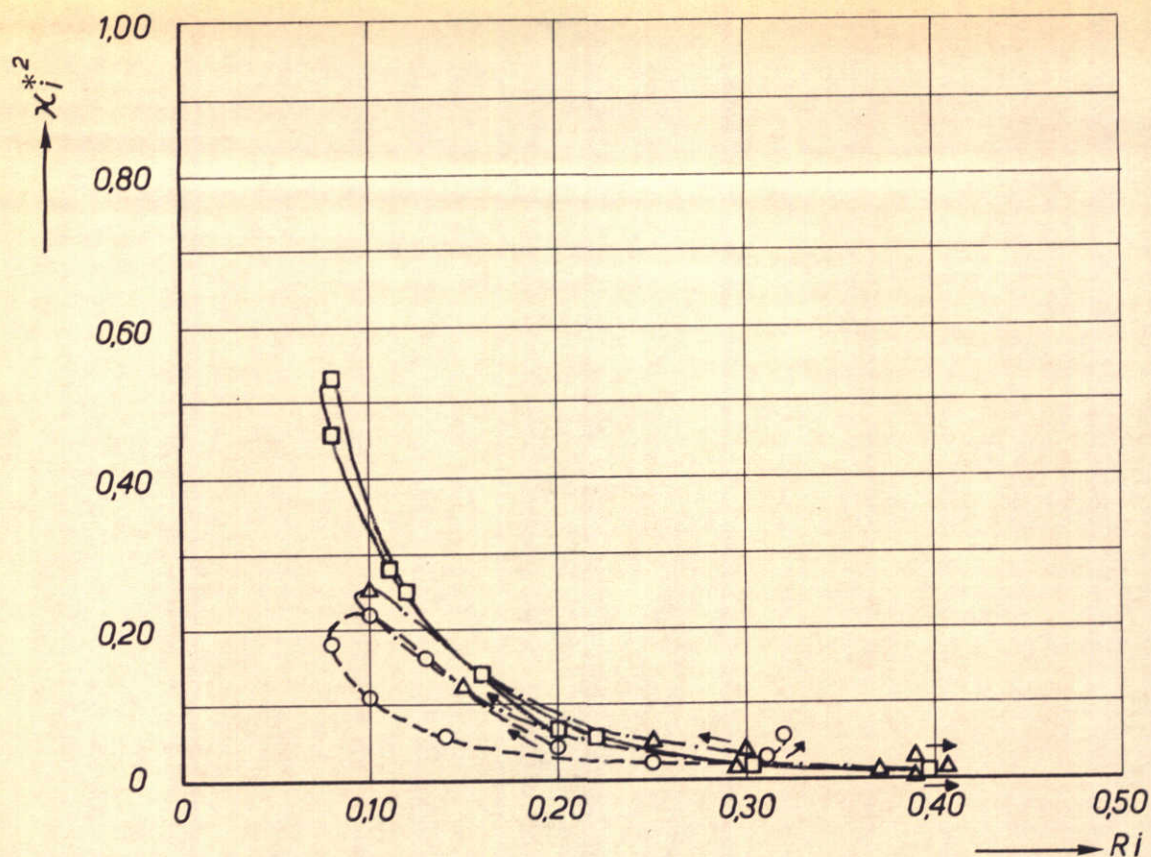


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T146
(GRAFIEKEN OP LINEAIRE VERDELING)

$\square$ $y/(1/13 h_0) = 2$
 $\circ$ $y/(1/13 h_0) = 5$
 $\triangle$ $y/(1/13 h_0) = 8$

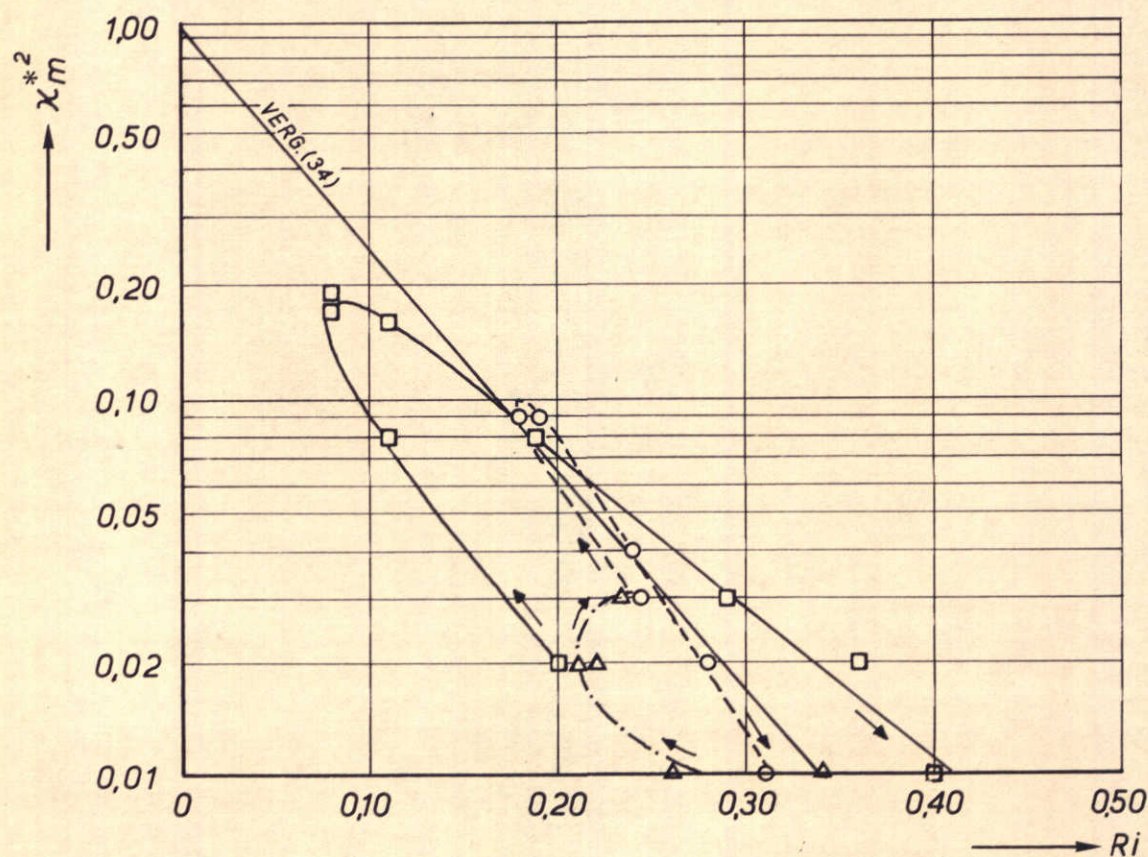
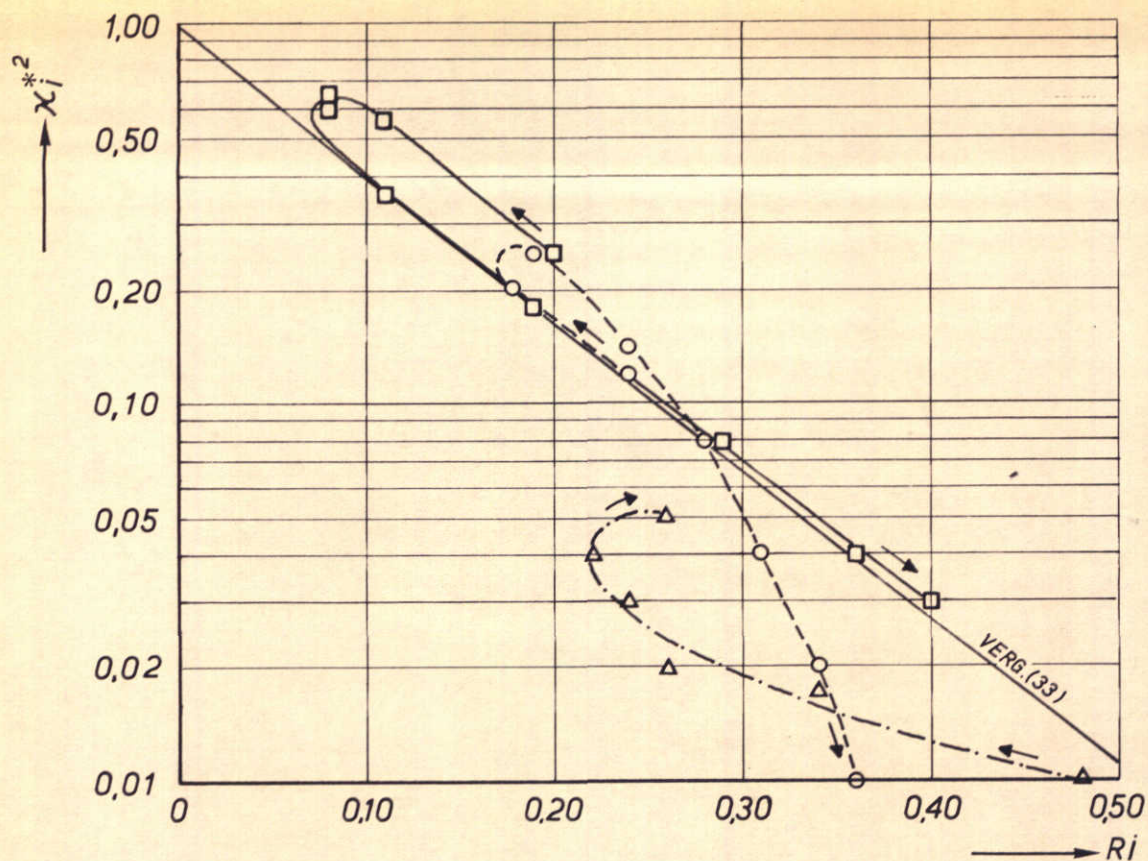
j.z.

A4



KORRELATIE RESULTATEN PROEF T 147
(GRAFIEKEN OP LINEAIRE VERDELING)

□ $y/(1/13 h_0)=2$ j.z.
○ $y/(1/13 h_0)=5$
△ $y/(1/13 h_0)=8$ A4

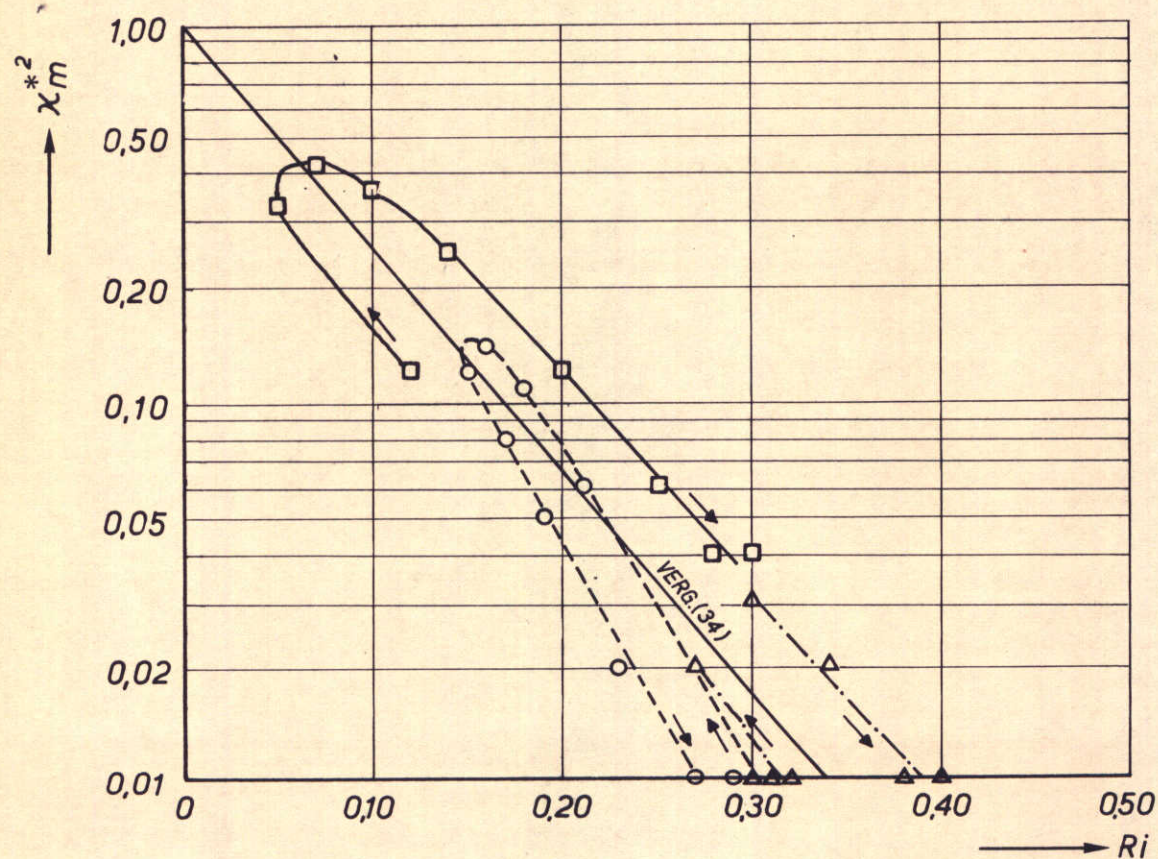
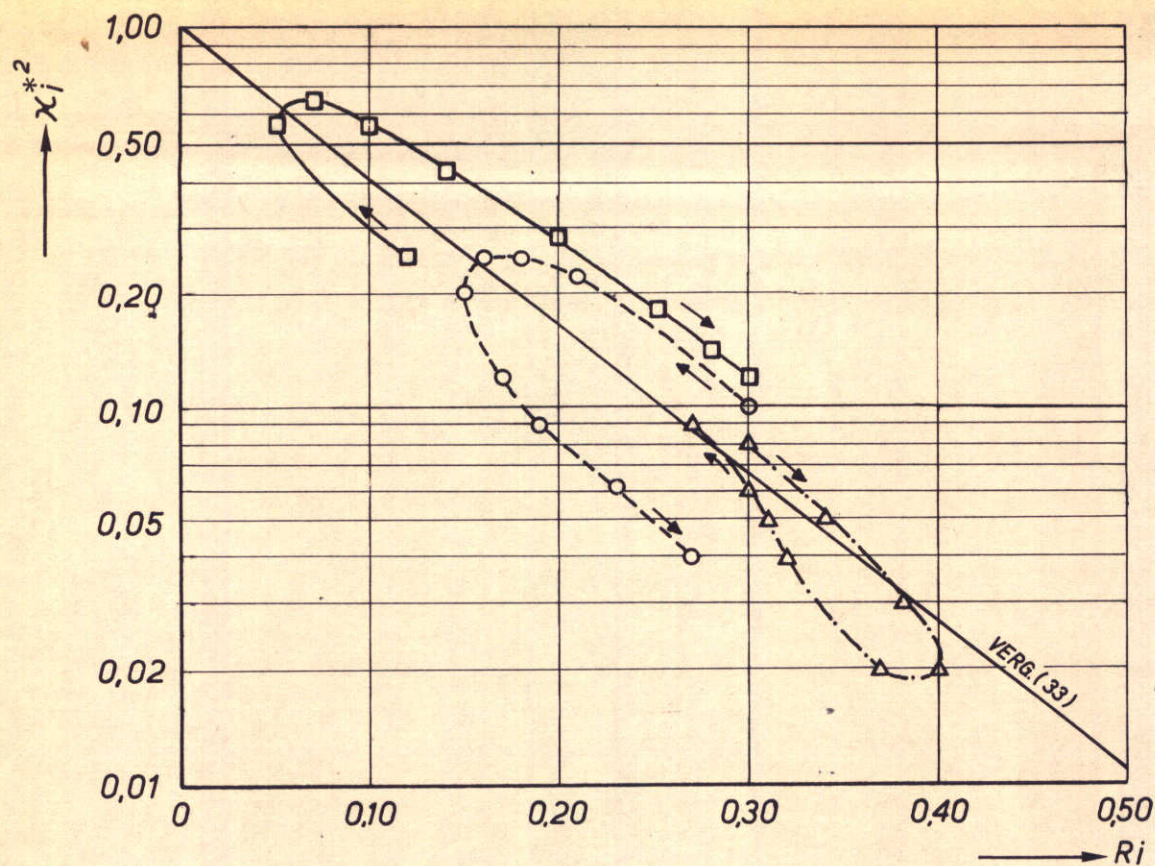


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T149
(GRAFIEKEN OP ENKELLOG. VERDELING)

□ $y/(1/13 h_o) = 2$
○ $y/(1/13 h_o) = 5$
△ $y/(1/13 h_o) = 8$

j.z.

A4

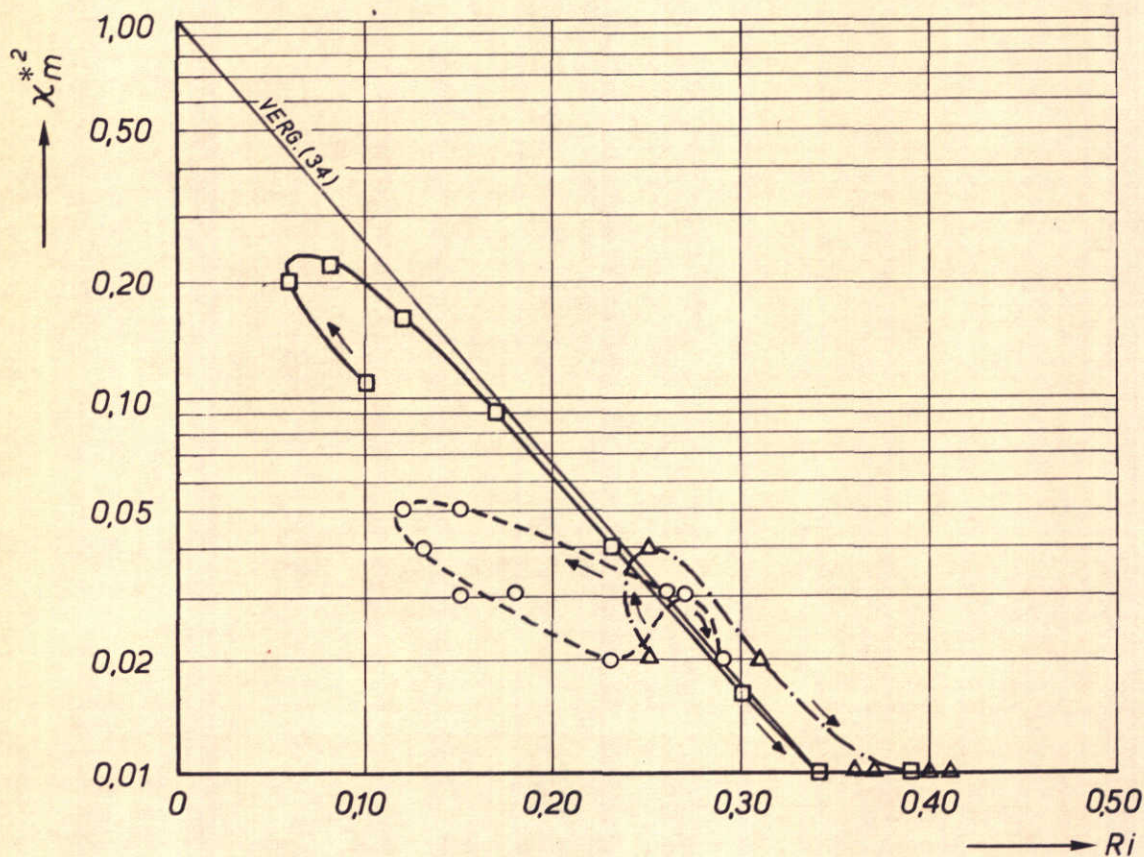
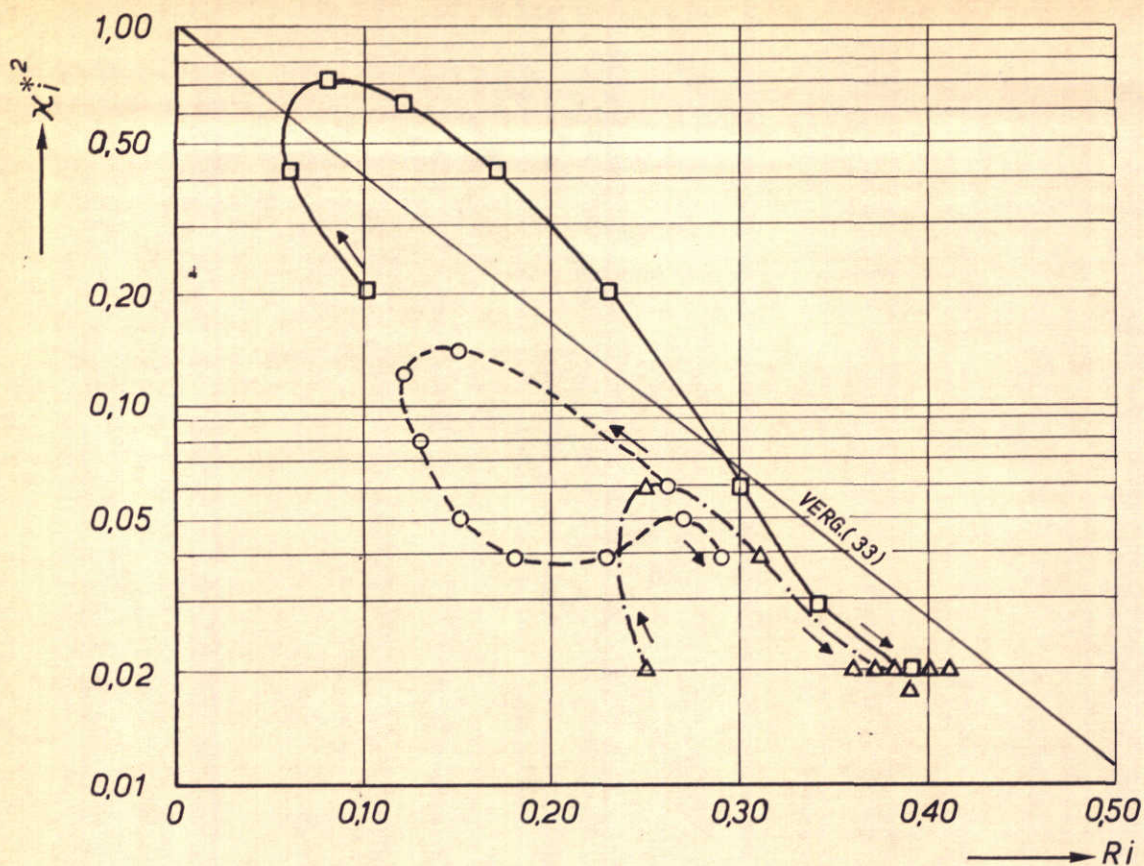


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T148
(GRAFIEKEN OP ENKELLOG. VERDELING)

□ $y/(1/13 h_0) = 2$
○ $y/(1/13 h_0) = 5$
△ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

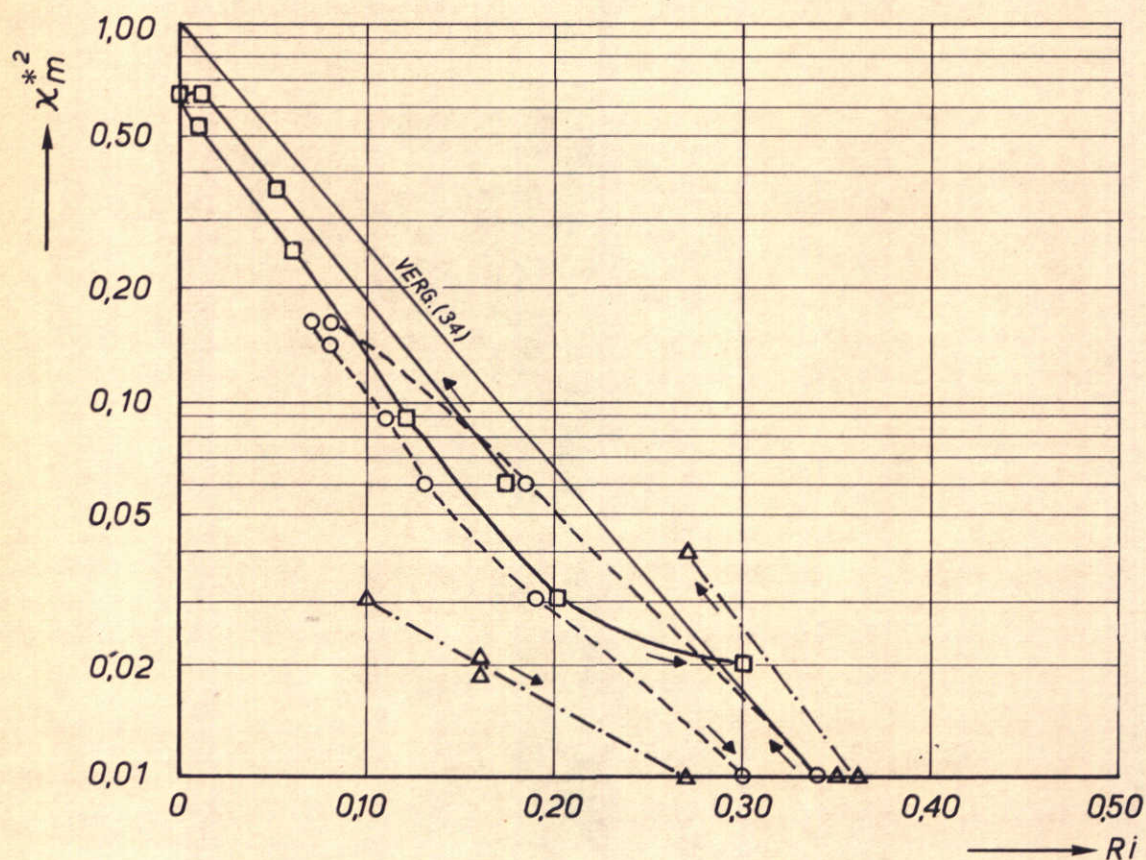
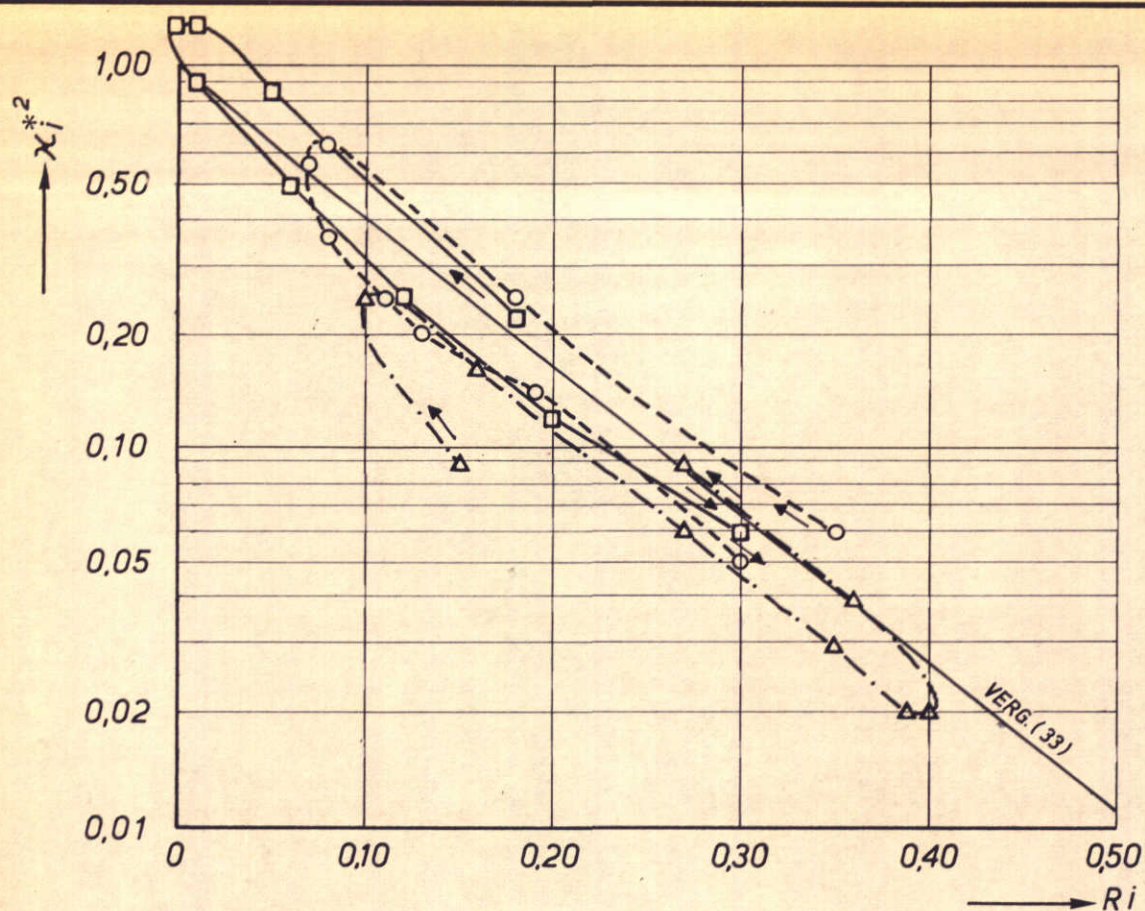


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T145
(GRAFIEKEN OP ENKELLOG. VERDELING)

□ $y/(1/13 h_0) = 2$
○ $y/(1/13 h_0) = 5$
△ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

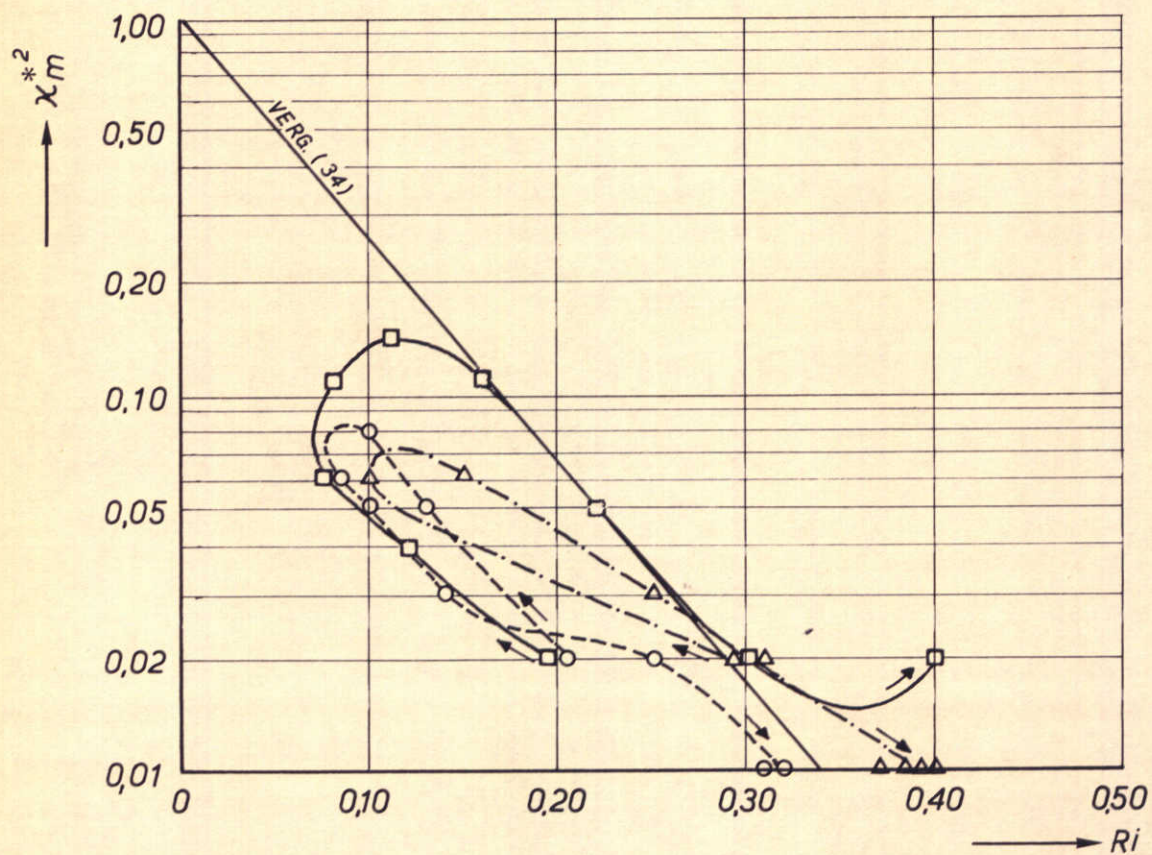
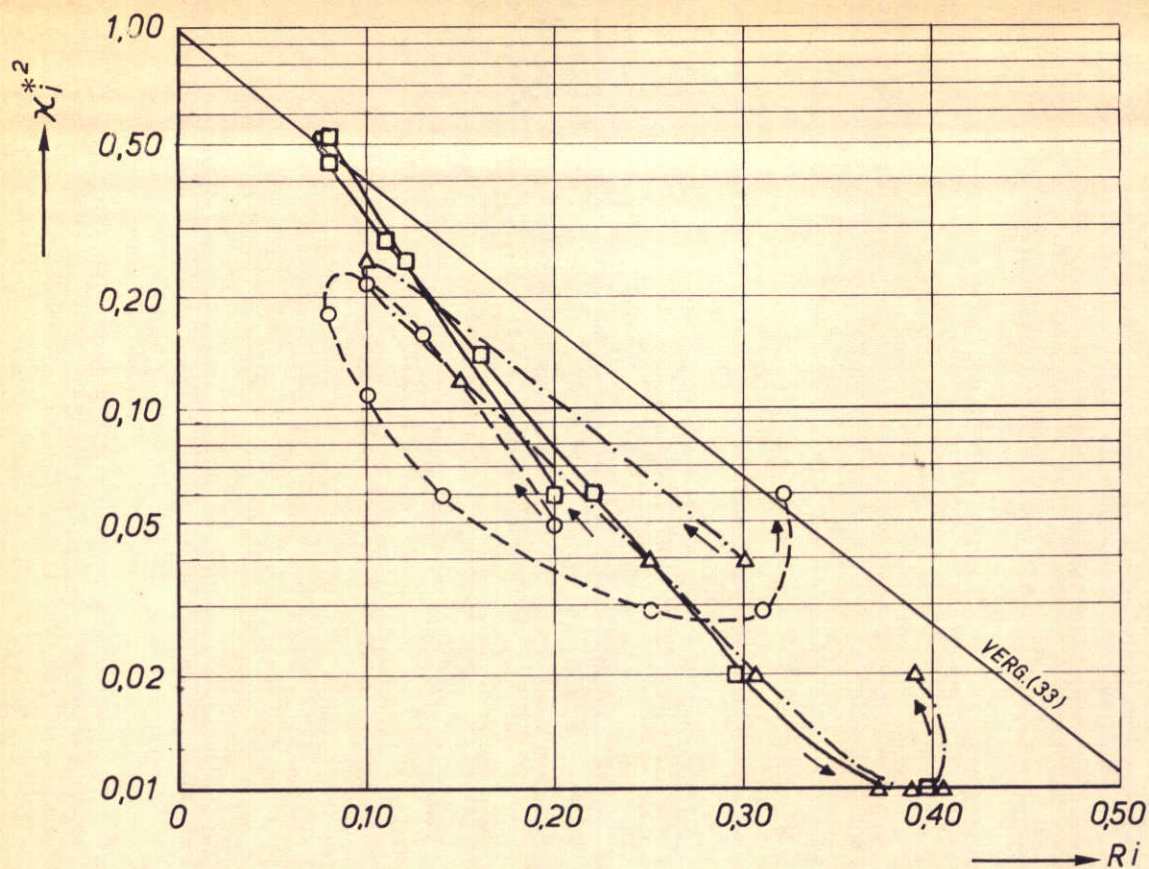


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T146
(GRAFIEKEN OP ENKELLOG. VERDELING)

$\square$ $y/(1/13 h_0) = 2$
 $\circ$ $y/(1/13 h_0) = 5$
 $\triangle$ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

A4

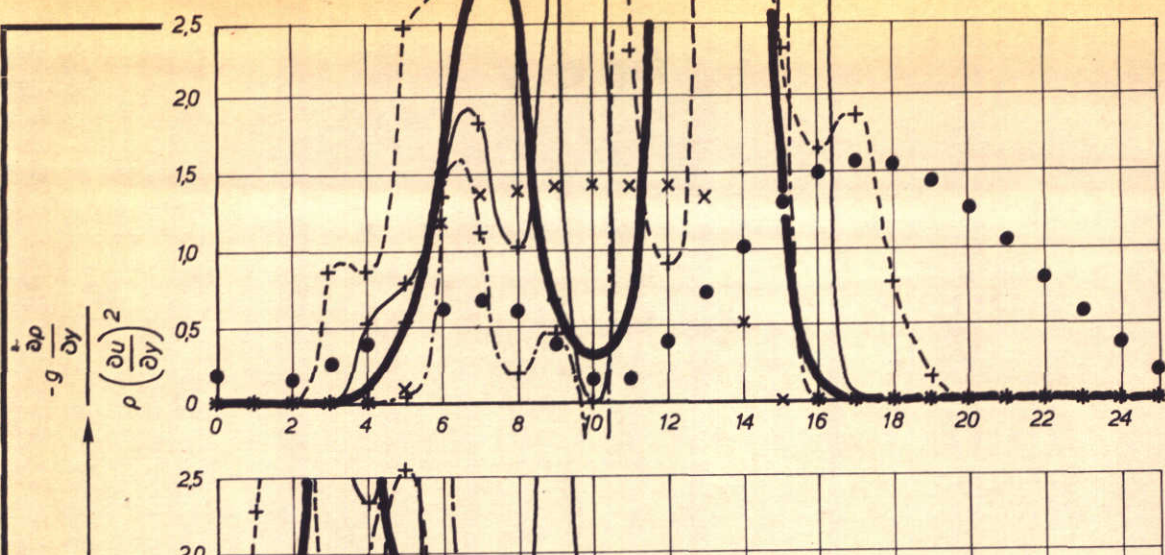


KORRELATIE RESULTATEN PROEF T147
(GRAFIEKEN OP ENKELLOG. VERDELING)

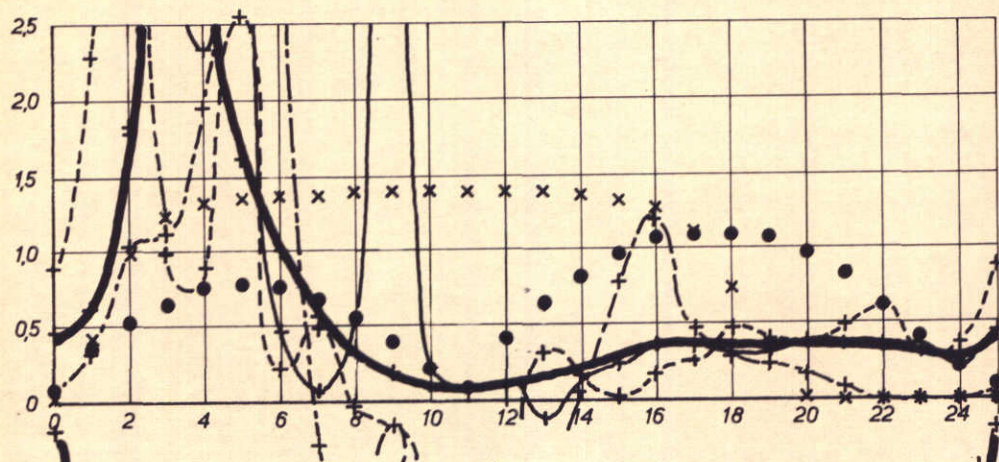
□ $y/(1/13 h_0) = 2$
○ $y/(1/13 h_0) = 5$
△ $y/(1/13 h_0) = 8$

j.z.

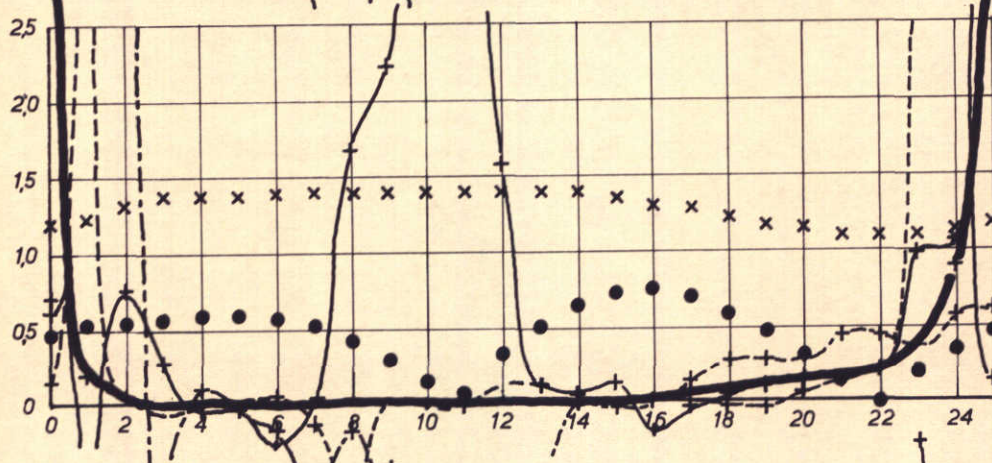
A4



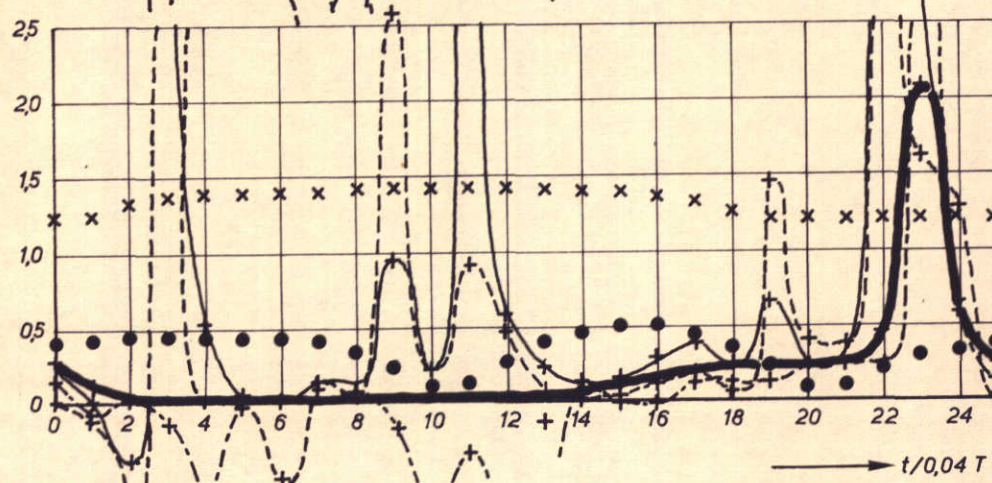
$\frac{y}{\Delta y} = 12$ ---
 $\frac{y}{\Delta y} = 11$ —
 $\frac{y}{\Delta y} = 10$ -.-



$\frac{y}{\Delta y} = 9$ ---
 $\frac{y}{\Delta y} = 8$ —
 $\frac{y}{\Delta y} = 7$ -.-



$\frac{y}{\Delta y} = 6$ ---
 $\frac{y}{\Delta y} = 5$ —
 $\frac{y}{\Delta y} = 4$ -.-



$\frac{y}{\Delta y} = 3$ ---
 $\frac{y}{\Delta y} = 2$ —
 $\frac{y}{\Delta y} = 1$ -.-

VOORBEELD VEREFFENEN GEGEVENS (T145)

(● REF. SNELHEID (FIG. 7))
 (x REF. SALINITEIT (FIG. 8))

-.-.- $y = (y) + \Delta y$
 — $y = (y)$
 -.-.- $y = (y) - \Delta y$
 — (y) VEREFFEND

j. z.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2002

FIG. 35

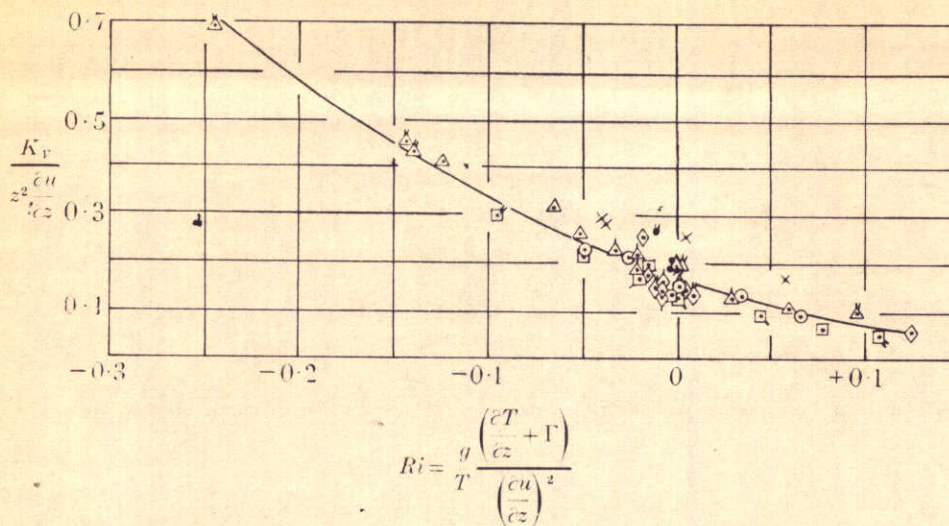


FIGURE 4. Relation between eddy diffusivity for water vapour (K_v), vertical wind gradient ($\partial u / \partial z$) and Richardson number (Ri) at various heights above a short grass surface.

group	symbol	
A	⊙	
B	×	
C	△	undashed points $z = 75$ cm.
C'	□	single dash $z = 37.5$
D	◇	double dash $z = 150$
D'	●	

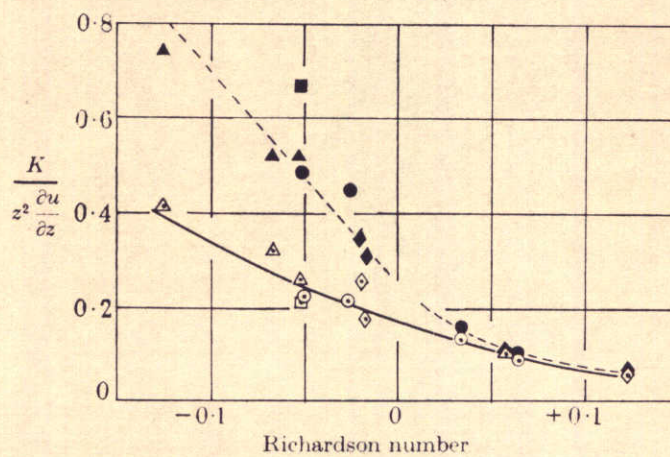
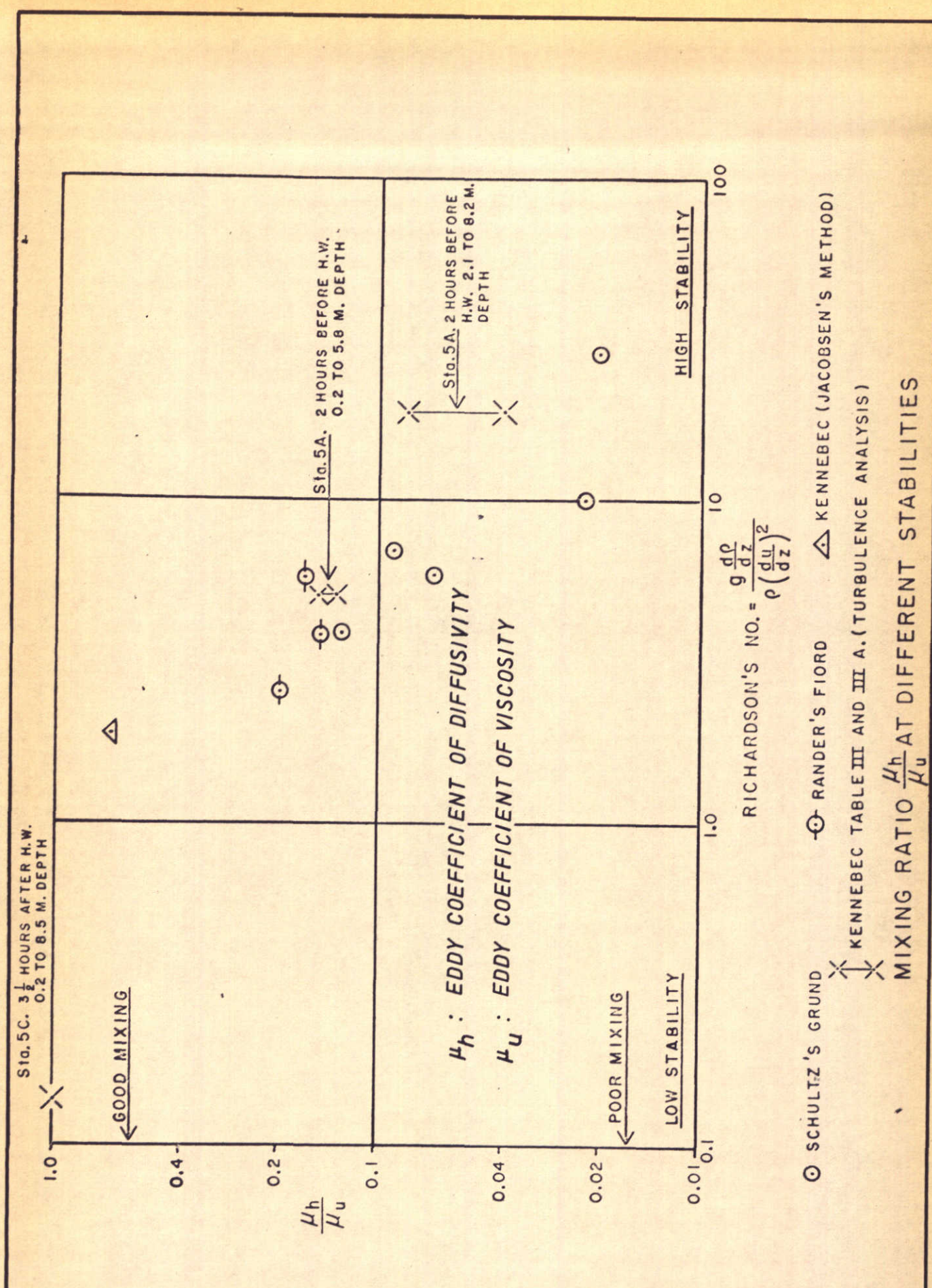


FIGURE 5. Observed values of eddy diffusivities for heat (K_H) and water vapour (K_v) in relation to wind velocity gradient ($\partial u / \partial z$) and Richardson number (Ri) at 75 cm. over a short grass surface.

group	$K = K_v$	$K = K_H$
A	⊙	●
C	△	▲
C'	□	■
D	◇	◆

($z = 75$ cm.)



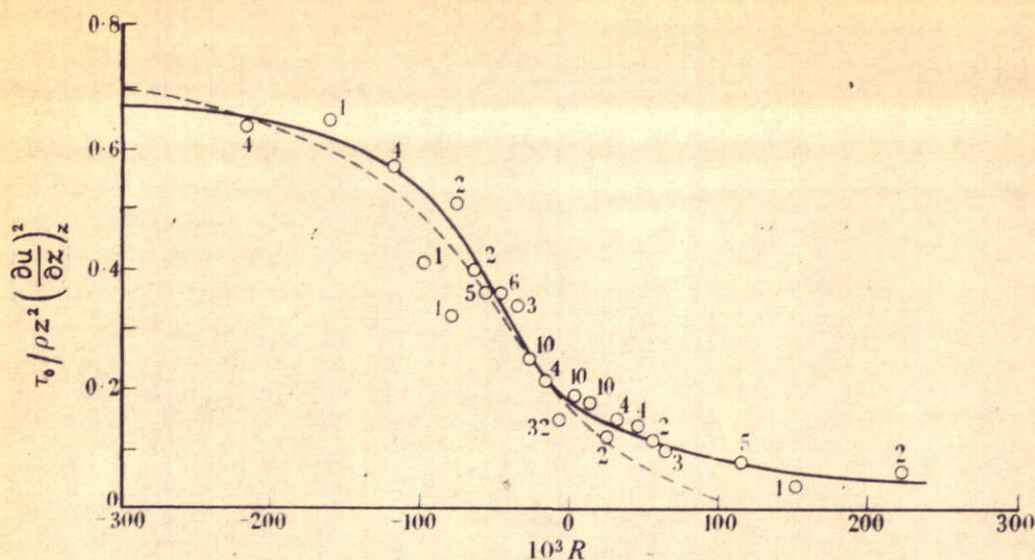


FIGURE 8. Relation between the Richardson number and the observed values of

$$\tau_0 / \rho z^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad \text{and} \quad k^2 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{2\beta-2}$$

○ and —, $\tau_0 / \rho z^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$; ---, $k^2 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{2\beta-2}$.

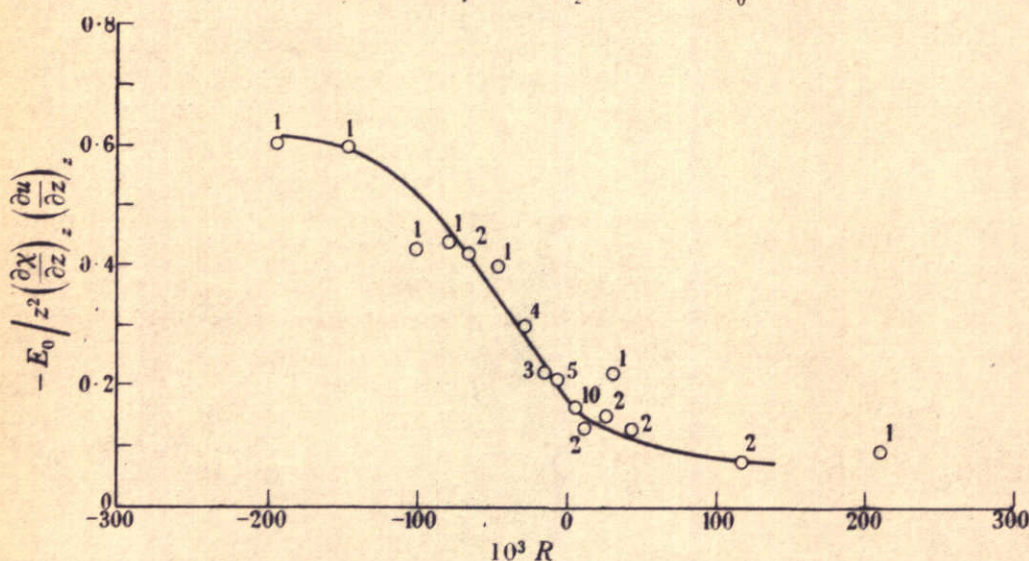


FIGURE 9. Relation between the Richardson number and the observed values of

$$-E_0 / z^2 \left(\frac{\partial \chi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

τ_0 : SCHUIFSPANNING AAN DE BODEM
 E_0 : VERDAMPING AAN DE BODEM
 u : HORIZONTALE SNELHEID
 χ : ABSOLUTE LUCHTVOCHTIGHEID
 ρ : DICHTHEID VAN DE LUCHT
 z : VERTIKALE KOÖRDINAAT

UITWISSELINGSKOËFFICIENTEN VOLGENS
 RIDER (1954) [8]

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 896 - 1280

FIG 38

j.z.

A4

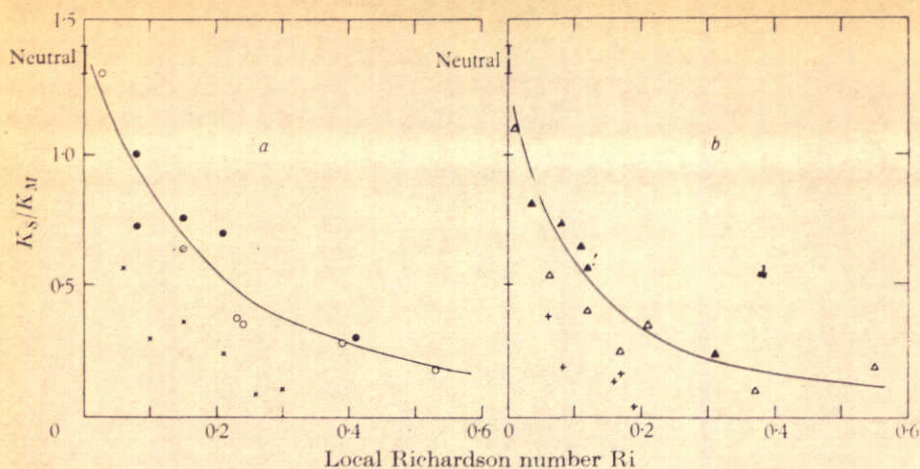


FIGURE 5. The ratio K_s/K_M as a function of the local Richardson number; (a) at 1.5 cm; (b) at 1.0 cm. The solid symbols refer to occasions when the vertical velocity was zero; the open symbols to occasions when it was measurable, but probably negligible, and the crosses to cases where a significant vertical velocity has been ignored.

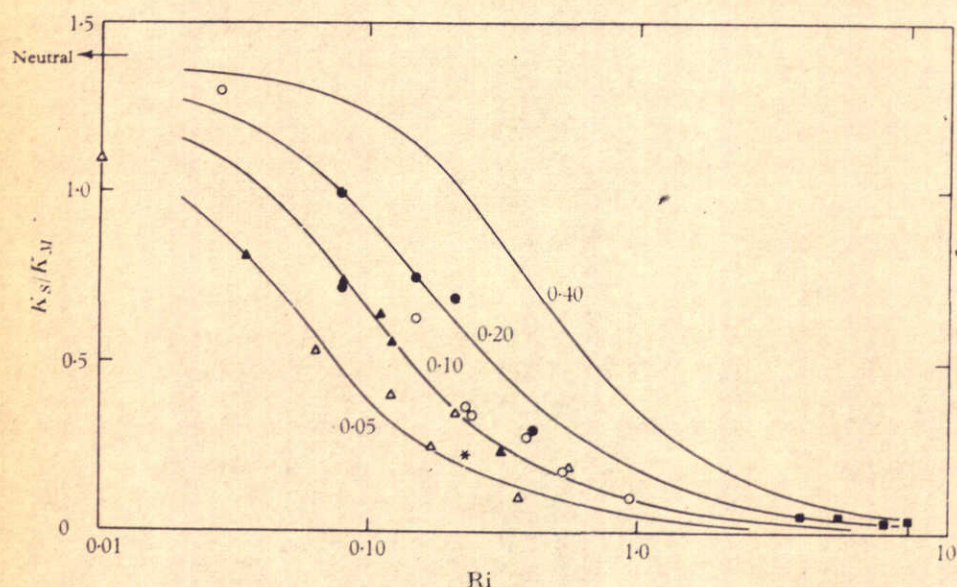


FIGURE 6. The comparison of our experimental results and other available data with the theory of Ellison (1957). The values of the parameter Rf_c are marked on the theoretical curves. ● ○, 1.5 cm; ▲ △, 1.0 cm; *, Wall plume; ■, Kattegat.

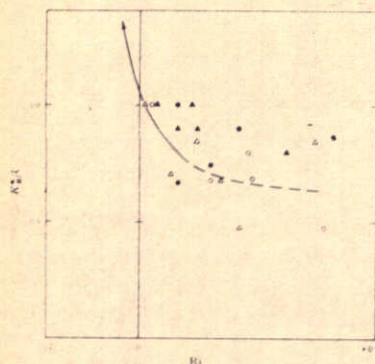


FIGURE 7. Measurements of the non-dimensional eddy viscosity K_s/k as a function of local Richardson number. ▲, 1.0 cm; ●, 1.5 cm. The curve drawn represents an average of the atmospheric measurements reported by Rida (1954).

K_M : TURBULENTE VISKOSITEIT
 K_s : DIFFUSIEKOËFFICIËNT
 Ri : GETAL VAN RICHARDSON
 Rf_c : KRITISCHE RICHARDSON FLUX
 k : KONSTANTE VAN VON KARMAN
 u_s : SCHUIFSPANNINGSSNELHEID
 z : VERTIKALE KOËRDINAAT

UITWISSELINGSKOËFFICIËNTEN VOLGENS
 ELLISON EN TURNER (1960) [9]

$$\frac{K_M^*}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{K_M}{u_s z}$$

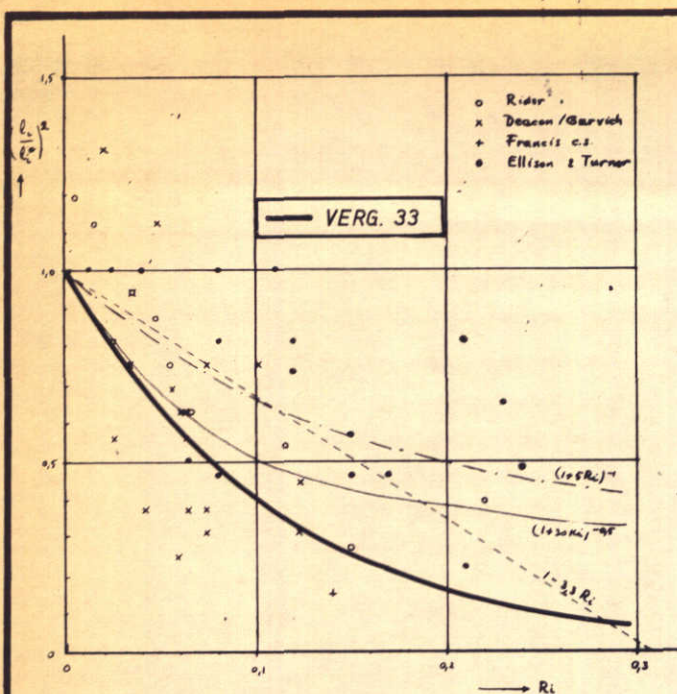
j. z.

A4

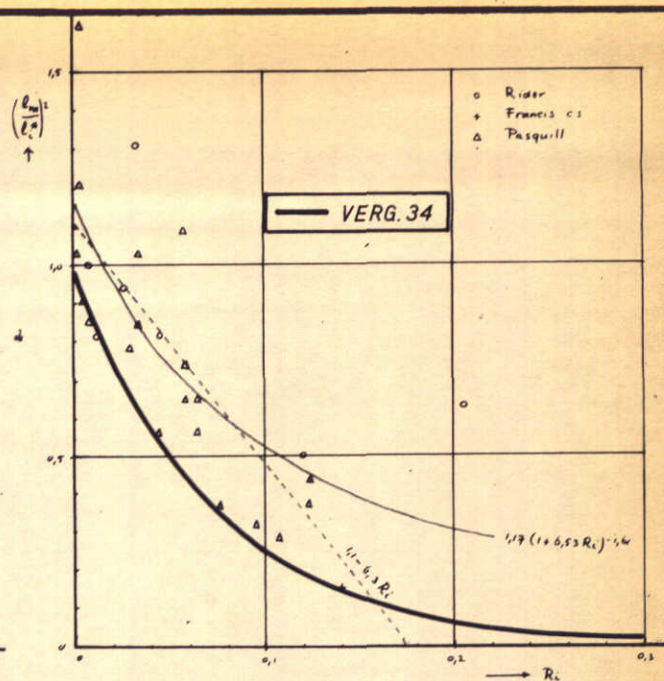
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 896 - 1282

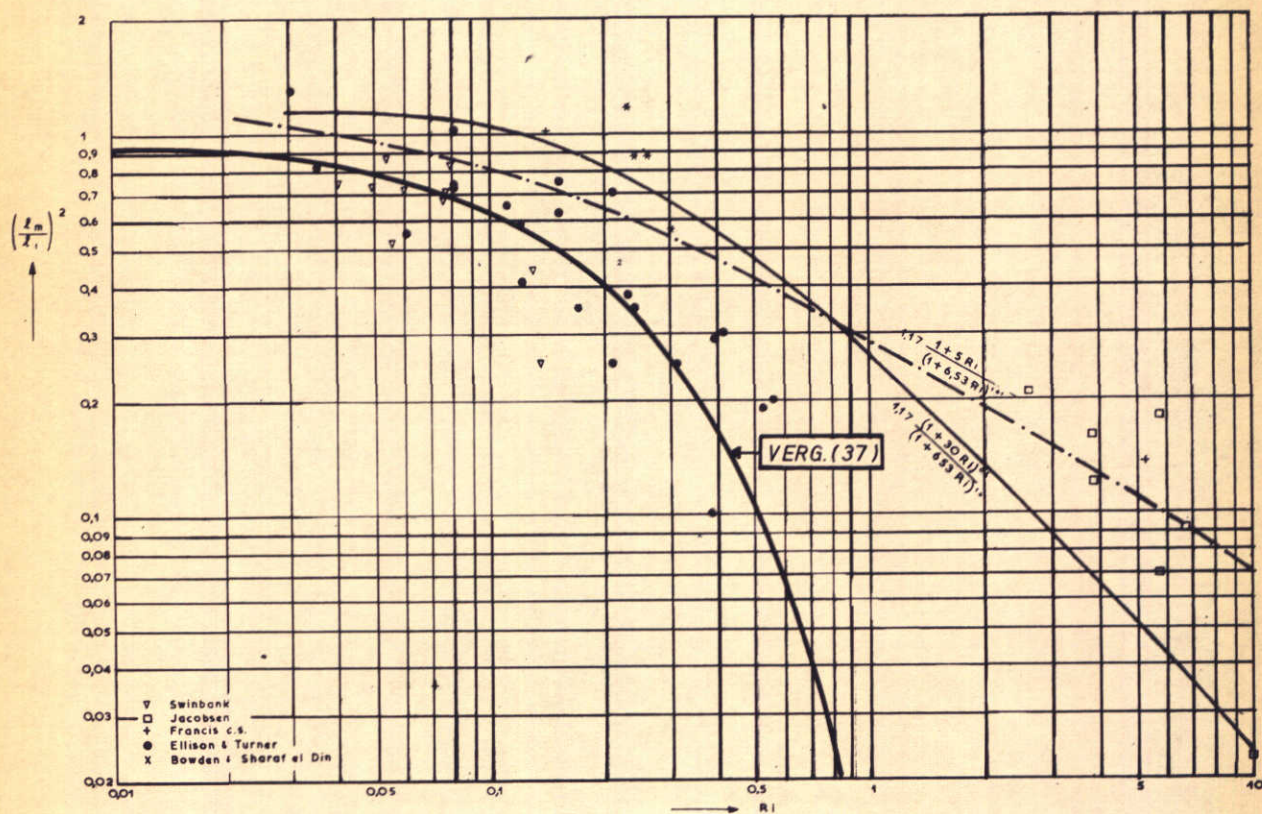
FIG. 39



VERBAND TUSSEN TURBULENTE VISKOSITEIT
EN HET GETAL VAN RICHARDSON



VERBAND TUSSEN DE TURBULENTE DIFFUSIE-
KOEFFICIENT EN HET GETAL VAN RICHARDSON



VERHOUDING TUSSEN DE TURBULENTE DIFFUSIE-
KOEFFICIENT EN DE TURBULENTE VISKOSITEIT
ALS FUNKTIE VAN HET GETAL VAN RICHARDSON

l_i : MENGWEG IMPULSTRANSPORT
 l_m : MENGWEG MASSATRANSPORT
 l_i^* : NEUTRALE WAARDE (l_i VOOR $Ri = 0$)

UITWISSELINGSKOEFFICIËNTEN VOLGENS
LITERATUURONDERZOEK VREUGDENHIL (1967)[1]

DE VERGELIJKINGEN
33,34, EN 37 ZIJN
GERESULTEERD UIT
GETUIGOOT ONDERZOEK

j.z.
A4

