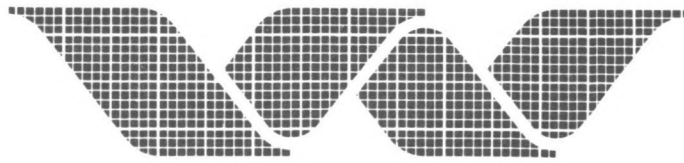


69013



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

technische universiteit delft
faculteit der civiele techniek

Waterloopkundig systeemonderzoek
Noordelijk Deltabekken

Ruwheid en menging (deel 2)
Deelonderzoek naar invloed van kribben
op inhomogene waterbeweging

verslag getijgootonderzoek

afstudeerverslag (deel 2)

maart 1987

Waterloopkundig systeemonderzoek
Noordelijk Deltabekken

Ruwheid en menging (deel 2)
Deelonderzoek naar invloed van kribben
op inhomogene waterbeweging

verslag getijgootonderzoek

afstudeerverslag (deel 2)

maart 1987

Waterloopkundig Laboratorium
Estuaria en Zeeën

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

student : Karel Heynert

titel : Ruwheid en Menging (deel 2)
Deelonderzoek naar invloed van kribben op inhomogene waterbeweging
Verslag Getijgootonderzoek

inhoud : Nagaan van de invloed van vertrekking op de inhomogene waterbeweging in een riviertak met kribben
Onderzoek naar de gevoeligheid van een aantal (geometrische) kribparameters.

afstudeerdocent : Prof.dr.ir. J.P.Th. Kalkwijk

begeleiders : Dr.ir. C. Kranenburg (TUD)
Ing. P. de Jong (WL)
Ir. C. Kuyper (WL)

maart 1987

INHOUD

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

Lijst van symbolen

	blz.
<u>1.</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2.</u> <u>Probleemstelling</u>	3
<u>3.</u> <u>Probleemanalyse</u>	4
3.1 Invloed kribben op ruwheids- en mengingsprocessen.....	4
3.1.1 Ruwheid.....	4
3.1.2 Menging.....	7
3.2 Vertrekkingsinvloed.....	10
3.3 Onderzoekspunten in dit kader.....	11
<u>4.</u> <u>Opzet van het onderzoek</u>	14
4.1 De nieuwe Getijgoot.....	14
4.1.1 Algemene beschrijving.....	14
4.1.2 Weerstandverandering in de goot.....	15
4.2 Onderzoekssituaties.....	16
4.2.1 Vertrekkingsexperimenten.....	17
4.2.2 Gevoeligheidsonderzoek kribparameters.....	20
4.3 Hydraulische randvoorwaarden.....	20
4.4 Meetopstelling.....	22
4.5 Proevenprogramma.....	22

<u>5.</u>	<u>Resultaten</u>	24
5.1	Inleiding.....	24
5.2	Vertrekkingsexperimenten.....	25
5.2.1	Waterbeweging.....	25
5.2.2	Zoutverdeling.....	27
5.3	Gevoeligheidsonderzoek kribparameters.....	30
5.3.1	Waterbeweging.....	31
5.3.2	Zoutverdeling.....	32
<u>6.</u>	<u>Interpretatie</u>	34
6.1	Vertrekkingsexperimenten.....	34
6.2	Gevoeligheidsonderzoek kribparameters.....	37
<u>7.</u>	<u>Konklusies en aanbevelingen</u>	41

Referenties

Bijlagen:

1. Afschatting bijdrage "trapping" en dichtheidsstroming in kribvak aan zout-indringing
2. Vertrekkingseffekten met betrekking tot de turbulente uitwisseling
3. Berekening schaalwaarden
4. Permanentie-proeven

Tabellen

Figuren

Lijst van tabellen

nr. onderschrift (verkort)

I	Schaalwaarden	(pag. 18)
II	Modelmaten vertrekkingsonderzoek	(pag. 18)
III	Modelmaten variatie kribparameters	(pag. 20)
IV	Hydraulische modelrandvoorwaarden	(pag. 21)
V	Onderzoeksprogramma	(pag. 23)
BI	Vertrekkingseffekten in turbulente termen	(pag. B2-8)
BII	Reynoldsgetallen	(pag. B3-3)
5.1	Middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent); springtij; vertrekkingsonderzoek	
5.2	Verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) 'met-zonder' kribben; springtij; vertrekkingsonderzoek	
5.3	Middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent); doodtij; vertrekkingsonderzoek	
5.4	Verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) 'met-zonder' kribben; doodtij; vertrekkingsonderzoek	
5.5	Horizontaal getij uit INITAK-berekening (A2-komponent); springtij; vertrekkingsonderzoek	
5.6	Horizontaal getij uit INITAK-berekening (A2-komponent); doodtij; vertrekkingsonderzoek	
5.7	Zoutindringingslengten; springtij; vertrekkingsonderzoek	
5.8	Vertikaal en getijgemiddelde dichtheden; springtij; vertrekkingsonderzoek	
5.9	Zoutindringingslengten; doodtij; vertrekkingsonderzoek	
5.10	Vertikaal en getijgemiddelde dichtheden; doodtij; vertrekkingsonderzoek	
5.11	Middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent); gevoeligheidsonderzoek kribparameters	
5.12	Verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent); gevoeligheidsonderzoek kribparameters	
5.13	Horizontaal getij uit INITAK-berekening (A2-komponent); gevoeligheidsonderzoek kribparameters	

- 5.14 Zoutindringingslengten; gevoeligheidsonderzoek kribparameters
- 5.15 Vertikaal en getijgemiddelde dichtheden; gevoeligheidsonderzoek kribparameters
- 5.16 Resultaten permanentie-metingen.

Lijst van figuren

- | <u>nr.</u> | <u>onderschrift (verkort)</u> | |
|------------|--|-------------|
| B3.1 | Variatie schuifspanningscoëfficiënt in grenslaag onder invloed van het Reynoldsgetal (laminair/turbulent) | (pag. B3-5) |
| 3.1 | Formule ruwheid wandkribben | |
| 4.1 | Schematische weergave Getijgoot en zeerand | |
| 4.2 | Proefopstelling in Getijgoot | |
| 4.3 | Additionele wand- en bodemruwheid; $\delta = 10$ | |
| 4.4 | Kribkonfiguratie in goot | |
| 4.5 | Kribkonfiguratie en bodemruwheid; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 4.6 | Konfiguraties gevoeligheidsonderzoek kribparameters | |
| 4.7 | Frekwentieverdeling afzonderlijke getijslagen en gemiddelde getijslagen per doodtij/sprintij-cyclus (natuurwaarnemingen) | |
| 4.8 | Meetopstelling | |
| 5.1 | Snelheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); springtij; met kribben/zonder kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.2 | Snelheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); springtij; met kribben/zonder kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.3 | Snelheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); doodtij; met kribben/zonder kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.4 | Snelheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); doodtij; met kribben/zonder kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.5 | Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; springtij; $\delta = 10$ en $\delta = 5$ | |
| 5.6 | Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; springtij; $\delta = 10$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.7 | Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; springtij; $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.8 | Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); springtij; zonder kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ | |
| 5.9 | Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); springtij; zonder | |

- kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$
- 5.10 Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); springtij; met kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$
- 5.11 Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); springtij; met kribben; $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$
- 5.12 Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; doodtij; $\delta = 10$ en $\delta = 5$
- 5.13 Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); doodtij; zonder kribben; $\delta = 10$ en $\delta = 5$
- 5.14 Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); doodtij; zonder kribben; $\delta = 10$ en $\delta = 5$
- 5.15 Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); doodtij; met kribben; $\delta = 10$ en $\delta = 5$
- 5.16 Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); doodtij; met kribben; $\delta = 10$ en $\delta = 5$
- 5.17 Snelheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); T8 en T9
- 5.18 Snelheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); T8 en T9
- 5.19 Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; T6, T8 en T9
- 5.20 Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); T6, T8 en T9
- 5.21 Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); T6, T8 en T9
- 5.22 Snelheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); T8 en T10
- 5.23 Snelheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); T8 en T10
- 5.24 Longitudinale (vert. gemidd.) dichtheidsverdeling op LWK en HWK; T6, T8 en T10
- 5.25 Dichtheidsprofielen (tijdstep 10 t/m 60); T6, T8 en T10
- 5.26 Dichtheidsprofielen (tijdstep 70 t/m 100); T6, T8 en T10

Lijst van symbolen

<u>symb.</u>	<u>omschrijving</u>	<u>eenh.</u>
a_0	waterdiepte	m
\hat{a}	waterstandsamplitude	m
B	breedte	m
C	Chézy-waarde	$m^{2/3}/s$
C_w	Chézy-waarde t.g.v. wandruwheid	$m^{2/3}/s$
D	dispersie-koëfficiënt	m^2/s
f	Coriolis-parameter	1/s
h_k	kruinhoogte krib	m
g	zwaartekrachtsversnelling	m/s^2
G(Ri)	dempingsfunctie	-
i_E	energieverhang	-
L	kribafstand	m
L_i	zoutindringingslengte	m
L_r	reële gootlengte	m
L_v	virtuele gootlengte	m
l_k	kriblengte	m
k	reciproke van karakteristieke uitwisselingstijd tussen "traps" en hoofdstroom	1/s
n	schaalfactor	-
p	druk	$kg/m \cdot s^2$
Q_f	bovenafvoer	m^3/s
Q(t)	wisseldebiet bij rivierrand goot	m^3/s
r	verh. volumina oeveronregelmatigheden → hoofdstroom	-
R	hydraulische straal	m
Re	Reynolds-getal	-
Ri	Richardson-getal	-
t	tijd	s
T	getijperiode	s
u	stroomsnelheid in lengterichting	m/s
u_*	schuifspanningssnelheid	m/s
v	stroomsnelheid in dwarsrichting	m/s
w	stroomsnelheid in verticale richting	m/s

x	koördinaat in lengterichting	m
y	koördinaat in dwarsrichting	m
z	koördinaat in verticale richting	m
δ	vertrekking	-
δ	grenslaagdikte	m
ϵ	turbulente diffusie-koëfficiënt	m ² /s
l	mengweglengte	kg/m ³
μ	gemiddelde	
ν	kinematische viskositeit	m ² /s
ρ	dichtheid	kg/m ³
σ	standaardafwijking	
ω	hoeksnelheid	1/s

1. Inleiding

In opdracht van de Directie Benedenrivieren van Rijkswaterstaat vindt sinds 1983 het Waterloopkundig Systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken plaats [lit. 1]. In het kader van de cluster "Ruwheid en Menging" van dit onderzoek is in het Getijmodel Rijnmond de invloed van de kribben langs de Nieuwe Waterweg op de inhomogene waterbeweging in het gebied nagegaan.

Door middel van het stroomlijnen van een aantal trajekten met kribben in het model is de specifieke invloed hiervan op de inhomogene waterbeweging (wisselwerking tussen "zoute" zee en "zoete" bovenafvoer) bepaald.

De experimenten zijn uitgebreid beschreven in het eerste deel van de rapportage van deze cluster. Hierin is eveneens gesteld dat in eerste instantie de resultaten met enige terughoudendheid beschouwd moeten worden, gezien het feit dat de turbulente uitwisseling van massa en impuls formeel onjuist wordt weergegeven in een vertrokken model, zoals het Getijmodel Rijnmond. Deze turbulente uitwisseling speelt een belangrijke rol bij de mengingsprocessen rond kribben.

In dit onderzoek is nagegaan in welke mate deze vertrekkingseffekten op een traject met kribben van invloed zijn op de inhomogene waterbeweging in het Getijmodel Rijnmond.

Hiertoe zijn een aantal overeenkomstige experimenten in de nieuwe Getijgoot gedaan, waarin de mate van vertrekking gevarieerd is.

In twee andere proeven is daarnaast de invloed van de kruinhoogte van de kribben en de mate van opvulling van de kribvakken op de inhomogene waterbeweging nagegaan.

Dit onderzoek is het eerste praktische gebruik van de Getijgoot als onderzoeksmiddel. Hierdoor is de voortgang bemoeilijkt en is een aantal oorspronkelijk geplande experimenten vervallen. Veel tijd moest besteed worden aan het operationeel maken van de goot. In dit verslag wordt hierop niet verder ingegaan. Het onderzoek is uitgevoerd in de periode juli-september 1986.

De rapportage van het gehele onderzoek in het kader van de cluster "Ruwheid en Menging" is ondergebracht in twee delen,

deel 1: "Ruwheid en Menging; verslag onderzoek:

deel 2: "Ruwheid en Menging; deelonderzoek naar invloed van kribben op inhomogene waterbeweging; verslag Getijgootonderzoek".

In dit deel komen achtereenvolgens de probleemstelling en de probleemanalyse m.b.t. het deelonderzoek, de opzet van het onderzoek, de onderzoeksresultaten uit de Getijgoot, de interpretatie van de resultaten en de konklusies en aanbevelingen t.a.v. het deelonderzoek aan de orde.

In deel 1 wordt o.a. het kader aangegeven waarbinnen dit deelonderzoek plaatsvindt. Daarnaast wordt ingegaan op ruwheids- en mengingsaspecten in het Noordelijk Deltabekken in algemene zin en m.b.t. de kribben in de Nieuwe Waterweg in het bijzonder.

Het onderzoek is begeleid door de Projektgroep Systeemonderzoek, waarin de Rijkswaterstaat Direktie Benedenrivieren en Dienst Binnenwateren/RIZA) en het Waterloopkundig Laboratorium vertegenwoordigd zijn. Tevens is het onderzoek aan de orde geweest binnen de Werkgroep Inhomogene Stromingen. Namens het Waterloopkundig Laboratorium is het onderzoek voorbereid, uitgevoerd en gerapporteerd door K. Heynert met medewerking van ing. P. de Jong. en ir. C. Kuijper. De eerstgenoemde heeft het onderzoek mede verricht in het kader van zijn afstuderen aan de Technische Universiteit Delft onder begeleiding van prof.dr.ir. J.P.Th. Kalkwijk en dr.ir. C. Kranenburg.

2. Probleemstelling

Het kribonderzoek in de Getijgoot moet een bijdrage leveren aan het inzicht in de rol van kribben in ruwheids- en mengingsprocessen in het algemeen en in het Noordelijk Deltabekken in het bijzonder. Het accent wordt daartoe gelegd op twee punten.

- het nagaan op welke wijze vertrekkingseffekten de realisaties beïnvloeden bij kribonderzoek in het Getijmodel Rijnmond. De resultaten van dit onderzoek moeten de vertaling van Getijmodel-realisaties naar het prototype mogelijk maken.
- het, in beperkte mate, nagaan van de gevoeligheid van een aantal kribparameters (b.v. kruinhoogte t.o.v. gemiddelde waterstand, mate van kribvakopvulling, spatiëring, kriblengte e.d.) voor realisaties van de inhomogene waterbeweging.

Bij het eerste punt van de probleemstelling moet opgemerkt worden, dat kribben een belangrijke invloed hebben op de turbulente uitwisseling in een stroomgeul. Het feit, dat in een vertrokken model de turbulente uitwisseling formeel onjuist wordt gereproduceerd, leidt tot de noodzaak van vertrekkingsonderzoek.

In dit onderzoek wordt een grootschalige optiek gehanteerd, wat betekent dat geen onderzoek wordt gedaan naar kleinschalige mechanismen (o.a. turbulentie). Er wordt gebruik gemaakt van bestaande kennis (zie eveneens deel 1; hfst. 2).

3. Probleemanalyse

3.1 Invloed kribben op ruwheids- en mengingsprocessen

De inhomogene stroming rond kribben is zeer complex; het is echter mogelijk een onderscheid te maken tussen een aantal mechanismen die in principe het stroombeeld bepalen. Dat is ook gedaan in hfst. 3.4.3. van deel 1, maar zal hier kort herhaald worden:

- a) de voortdurende afwisseling van stroomversnelling t.p.v. de kribben en vertraging t.g.v. de uitdijende stroming ter hoogte van de kribvakken.
- b) de neervorming achter de kribben, enerzijds met een verticale as t.g.v. snelheidsverschillen tussen kribvak en hoofdstroom en anderzijds met een horizontale as bij eventuele stroming over de kribkruin.
- c) het ontstaan van menglagen t.g.v. optredende snelheidsverschillen, waarin turbulente uitwisseling plaatsvindt.
- d) de uitwisselingsstroming t.g.v. dichtheidsverschillen tussen rivier en kribvak.
- e) de vullings- en ledigingsstroming van de berging tussen de kribben.

Hiervan uitgaand wordt in dit hoofdstuk in eerste instantie ingegaan op de invloed van kribben op de ruwheid van een stroomgeul. Vervolgens worden de mengingsmechanismen, die rond kribben een rol spelen, nader uitgewerkt en wordt ingegaan op de invloed van vertrekking. Tenslotte wordt op basis daarvan een keuze gemaakt t.a.v. de punten van onderzoek in dit kader.

3.1.1 Ruwheid

De kribweerstand wordt in eerste instantie besproken voor een homogene stationaire stroming. Vervolgens wordt ingegaan op een niet-stationaire situatie.

Wanneer sprake is van een homogene permanente stroming in een kribbentraject treedt energieverlies op t.g.v. het uitwaaiëren van de stroming achter de kribben (a) en de turbulente schuifspanningen, die optreden langs de bodem, de wanden (oeveren) en in de menglaag tussen hoofdstroom en neer (c).

In voorgaand Getijgootonderzoek [lit. 5] is een formule afgeleid waarmee de

additionele ruwheid t.g.v. een bepaalde kribconfiguratie bepaald kan worden. In deze formulering wordt een weerstandparameter m.b.t. de (wand)kribben uitgedrukt in geometrische parameters (voor homogene, permanente situaties).

$$\frac{g}{C_w^2} = \beta_1 \left(\frac{B}{2l_k}\right)^{-\beta_2} * \left(\frac{L}{l_k}\right)^{-1} * \exp\left(-\beta_3 \left(\frac{L}{l_k}\right)^{-\beta_4}\right)$$

(1) (2)

met: $\frac{g}{C_w^2}$: ruwheidscoëfficiënt t.g.v. kribben
B : breedte goot
 l_k : kriblengte
L : kribafstand
 β_i : parameters.

Term (1) geeft de invloed weer van de gemiddelde snelheid ter hoogte van de kribkop. Parameter β_2 bepaalt de vorm van het horizontale snelheidsprofiel. In term (2) is de onderlinge beïnvloeding van de kribben verwerkt. Uit een groot aantal experimenten zijn de parameters β_1 t/m β_4 bepaald [lit. 5]: $\beta_1 = 11,5$, $\beta_2 = 1,34$, $\beta_3 = 10,4$, $\beta_4 = 1,30$.

Bij deze experimenten zijn zowel wandkribben als wandstrips onderzocht; er was echter geen extra bodemruwheid in de goot aangebracht.

Wanneer er sprake is van een combinatie van wand- en bodemruwheid kan de vorm van het snelheidsprofiel veranderen en moet eventueel β_2 aangepast worden.

In bovenstaande onderzoeken zijn voor diverse waarden $B/2l_k$ en L/l_k verhangen bepaald (prototype: $20 \text{ m} < l_k < 65 \text{ m}$ en $4 < L/l_k < 24$ (32)).

Het blijkt, dat een toename van de verhouding $B/2l_k$ een gladdere situatie oplevert. Bij een afname van L/l_k , tot een waarde van ongeveer 8, wordt het energieverlies steeds groter, waarna blijkbaar een afdekeffect optreedt en het energieverlies weer afneemt. Het een en ander is geïllustreerd in figuur 3.1. Tenslotte moet opgemerkt worden, dat in alle proeven waaruit de formule is afgeleid de kribben of wandstrips doorliepen tot boven de hoogste waterstand.

De stroming rond kribben ijlt in zekere mate na ten gevolge van de snelheidsgradiënten (in de tijd) in de hoofdstroom. In welke mate dit van invloed is op

de weerstand van een tak met kribben, wordt in eerste instantie afgeschat door de bepaling van de tijdschaal, waarmee het stroombeeld zich aanpast.

Uitgaande van een bestaande relatie voor de grenslaagontwikkeling ten gevolge van bodeminvloeden kan deze tijdschaal bepaald worden. Bij stroming rond kribben is evenwel sprake van vrije turbulentie, die zich sneller ontwikkelt, zodat sprake is van een bovengrens.

De dikte van een turbulente grenslaag ontwikkelt zich in de tijd volgens:

$$\frac{d\delta}{dt} = 0,4 u_* = 0,4 u \frac{\sqrt{g}}{C} \quad [\text{lit. 10}]$$

waarin: δ : dikte grenslaag

u_* : schuifspanningssnelheid

u : snelheid buiten grenslaag.

Wanneer aangenomen wordt, dat in een stroomgeul met kribben ($C = 60 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$) instantaan een snelheidsverschil tussen hoofdstroom en kribvakken ontstaat van $1,0 \text{ m}/\text{s}$, dan kan de insteltijd van de stroming in de kribvakken afgeschat worden. Aangenomen wordt dan, dat zich een grenslaag moet instellen ter grootte van de kriblengte.

Bij een kriblengte van 30 m bedraagt de insteltijd ten hoogste ca. 25 min. De invloed van het "instelverschijnsel" is naar verwachting gering, aangezien uit het (ongunstige) rekenvoorbeeld blijkt, dat de insteltijd beperkt is.

De energiedissipatie in een stroming is verschillend voor permanentie- en (homogene) getij-omstandigheden. In het verleden is dit meerdere malen onderzocht [o.a. lit. 7]. In hoeverre dit verschijnsel een rol speelt bij getijgoot-experimenten is niet goed bekend, maar naar verwachting is deze gering. Een vooronderzoek in de nieuwe Getijgoot heeft namelijk opgeleverd dat in beide gevallen de waarde van de weerstandsparameter ongeveer gelijk is ($C = 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ bij $a_0 = 0,20 \text{ cm}$; $a_0 =$ middenstand). Deze proeven zijn gedaan in een goot met uitsluitend additionele bodemruwheid (geen kribben!).

Aangenomen wordt dan ook dat voor een situatie met kribben geen wezenlijk verschil bestaat tussen de ruwheid onder permanentie- en onder getijomstandigheden.

3.1.2 Menging

Menging treedt op t.g.v. mechanismen b, c en d uit 3.1.

In de neren, die ontstaan achter de kribben, kan gedurende een zekere tijd water met een bepaalde dichtheid worden "vastgehouden", om vervolgens weer aan de hoofdstroom te worden afgegeven. Wanneer de dichtheid in de hoofdstroom inmiddels gewijzigd is, is sprake van menging. Het verschijnsel kan zowel optreden t.g.v. neren met een verticale als met een horizontale as.

Dit mengingsmechanisme, dat "trapping" genoemd wordt, is beschreven door Okubo [lit. 8].

Hij heeft voor een over de doorsnede uniforme snelheidsverdeling, variërend volgens $u(t) = u_0 \cos \omega t$, en een uniforme verdeling van oever-onregelmatigheden (vgl. kribben) een formulering afgeleid voor de effectieve dispersiecoëfficiënt:

$$D = \frac{D'}{1+r} + \frac{ru_0^2}{2k(1+r)^2(1+r+\frac{\omega}{k})}$$

waarin: D' = disp. koëf. in de hoofdstroom

r = verhouding volumina van oever-onregelmatigheden - hoofdstroom

k^{-1} = kar. uitwisselingstijd tussen "traps" en hoofdstroom

u_0 = snelheidamplitude

ω^{-1} = getijperiode

In bijlage 1(A) is een schatting gemaakt van de bijdrage van het "trapping"-mechanisme aan de dispersiecoëfficiënt in de goot. Deze blijkt van ondergeschikt belang te zijn, aangezien de uitwisselingstijd tussen kribvakken en hoofdstroom, k^{-1} , klein is.

De uitwisselingsstroming t.g.v. dichtheidsverschillen tussen kribvak en hoofdstroom treedt in principe op, maar is in veel gevallen van ondergeschikt belang.

In bijlage 1(B) wordt hier kort op ingegaan.

Turbulente diffusie is een belangrijk mengingsmechanisme in een estuarium. De

kleinschalige, turbulente processen beïnvloeden in belangrijke mate de groot-schalige advektieve mengingsprocessen bijvoorbeeld ten gevolge van gravitatie-cirkulatie (zie 3.1, deel 1).

De turbulente wervels worden gegenereerd op plaatsen waar snelheidsgradiënten heersen, zoals bij de bodem, de wanden en rond een eventueel grensvlak.

Het complexe stroombeeld rond een krib verhoogt de turbulentie-intensiteit langs de wand in sterke mate en beïnvloedt zodoende de dichtheidsverdeling in de hoofdstroom.

De turbulente diffusie wordt traditioneel beschreven door de wet van Fick, waarin een evenredigheid wordt verondersteld tussen het turbulente massa-transport en de dichtheidsgradient in een bepaalde richting.

$$\text{b.v. } \overline{\rho'w'} = -\epsilon_{dz} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z}$$

waarin: $\overline{\rho'w'}$: turbulent massatransport in verticale richting

ϵ_{dz} : turbulente diffusie-coëfficiënt

$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z}$: verticale dichtheidsgradient.

De mengweglengte-hypothese van Prandtl geeft een formulering voor de turbulentie diffusie-coëfficiënt.

In verticale richting wordt dit:

$$\epsilon_{dz} = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| G(Ri)$$

waarin: l : mengweg-lengte

$\frac{\partial u}{\partial z}$: snelheidsgradient in verticale richting.

$G(Ri)$: dempingsfunctie.

De afmetingen van de wervels nemen af nabij de wanden en het vrije oppervlak. Dit wordt in bovenstaande uitdrukking weergegeven door de mengweglengte l afhankelijk te maken van b.v. de afstand tot de bodem.

Een sterke gelaagdheid onderdrukt de turbulentie-intensiteit. De dempingsfunk-

tie $G(Ri)$ koppelt de turbulente diffusie-koëfficiënt aan het getal van Richardson, dat een maat is voor de stabiliteit van een stromingssituatie,

$$Ri = \frac{-g\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)}{\rho\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$$

In een algemenere formulering, analoog aan de bovenstaande, kan zowel de turbulente uitwisseling ten gevolge van de wanden als de bodem beschreven worden.

Aangezien turbulentie per definitie een driedimensionaal verschijnsel is, wordt het turbulente transport in verticale richting ook door de wanden beïnvloed; bodeminvloeden blijken in bepaalde gevallen zelfs ondergeschikt aan wandinvloeden [o.a. lit. 5].

Samenvattend kan gesteld worden, dat de kribinvloed vrijwel uitsluitend tot uiting komt in de verandering van de turbulente uitwisseling in een tak.

De overige mengmechanismen blijken immers van ondergeschikt belang te zijn.

In de "oude" Getijgoot is de invloed van wandruwheid/kribben op de zoutverdeling een aantal malen aan de orde geweest.

In M896-39, deel 3 [lit. 5] wordt een aantal experimenten beschreven waarin de invloed van kribben op de zoutverdeling is bepaald.

Er blijkt, dat bij gelijke randvoorwaarden, zoals verwacht, een grotere zoutindringing optreedt bij een "gladdere" kribconfiguratie (in dit geval: grotere kribafstand).

Tenslotte zijn verschillende soorten bodem- en wandruwheid vergeleken op basis van hun invloed op de zoutverdeling. Hier is nogmaals een belangrijk verschil tussen deze soorten ruwheid aangetoond; wandruwheid veroorzaakt een wezenlijk gemengder dichtheidsprofiel dan bodemruwheid.

Bij het onderzoek i.v.m. het "gedeeltelijk verwijderen van het Noorderhoofd" [lit. 6] is nagegaan, wat het geheel of gedeeltelijk verwijderen van één krib voor effect op de zoutverdeling heeft. De uitkomsten vertonen de lichte tendens, dat een enigszins verzonken krib (kruinhoogte op NAP-2 m) een kleinere zoutindringing tot gevolg heeft dan een krib met een kruinhoogte boven de gemiddelde waterstand.

Voorgaande resultaten zijn deels bevestigd in een aantal oude Getijmodel-onderzoeken, waarvan de belangrijkste resultaten in deel 1 (hfst. 3.4.2) besproken zijn.

3.2 Vertrekkingsinvloed

Stroming rond kribben in vertrokken modellen, zoals het Getijmodel Rijnmond, wordt beïnvloed door vertrekkingseffekten. In welke mate dit het geval is, is niet zonder meer duidelijk aangezien onderzoeksresultaten hierover niet altijd eenduidig zijn.

In M1350-XI [lit. 3] is aangegeven dat de konvektieve mechanismen, die een rol spelen bij kribben (zie 3.1), in principe schaaleffektvrij zijn, mits de energiedissipatie op orde gebracht is. Dit betekent dus, dat de vulling en de lediging van de komberging tussen de kribben en de uitwisselingsstroming t.g.v. dichtheidsverschillen goed gereproduceerd worden.

Bij de neerontwikkeling (met een verticale as) achter een krib is dit t.g.v. de sterkere wandinvloeden waarschijnlijk in mindere mate het geval. Vergelijking tussen proeven in een onvertrokken model van een deel van de Lek ($n_h = n_l = 40$) en Getijmodel-experimenten ($n_h = 64$; $n_l = 640$) in het overeenkomstige traject (homogeen, permanent) liet zien, dat de neer op prototype-schaal in het laatste geval tweemaal zo breed werd (loodrecht op stroomrichting). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het optreden van een sterk drie-dimensionaal stroombeeld achter een krib in de vertrokken situatie [lit. 4].

In M896-39, deel 2 [lit. 5] zijn eveneens stroombeelden beschouwd in situaties met verschillende vertrekkingen (6 en 12). Hier werd geconstateerd dat er bijna geen invloed was op de neervorm.

De turbulente diffusie wordt, uitgaande van de schaalregels, formeel onjuist weergegeven in een vertrokken model. In het Getijmodel Rijnmond zijn de vertrekkingseffekten in de turbulente schuifspanning en diffusie "overall" gecorrigeerd m.b.v. model-technische hulpmiddelen, als weerstandselementjes. Wanneer evenwel een ingreep in het model gedaan wordt, die (in sterke mate) van invloed is op de turbulentie-intensiteit in een tak (vgl. het stroomlijnen van

de kribben in de Nieuwe Waterweg, deel 1) worden opnieuw vertrekkingseffekten geïnduceerd. In bijlage 2 wordt uitgebreid ingegaan op dit aspect.

De absolute betekenis van de vertrekkingseffekten voor de diverse mechanismen is nog onvoldoende bekend, om aan te kunnen geven in welke mate Getijmodelresultaten zullen afwijken van de prototype-situatie. Dat deze afwijkingen relatief beperkt zullen zijn, is al aangetoond in o.a. [lit. 2], waar bij toepassing van wandstrips en een combinatie van wandstrips en bodemruwheid de horizontale schaal gevariëerd is. Zodoende zijn bij vertrekkingen 5 en 10 de zoutverdelingen vergeleken. Er werd een redelijk goede overeenstemming aangetoond. Het resultaat voor $\delta = 20$ was wat slechter. Voor wandkribben kan een overeenkomstig resultaat verwacht worden.

3.3 Onderzoekspunten in dit kader

Ter onderbouwing van de Getijmodel-experimenten moet in een aantal gevallen nagegaan worden wat de invloed van de vertrekking is op de uiteindelijke meetresultaten. Er zijn echter ook in de Getijgoot duidelijke beperkingen. Het simuleren van een onvertrokken situatie is, i.v.m. de beperkte breedte van de goot en de daaraan gekoppelde waterdiepte, onmogelijk, aangezien de waterdiepte in dat geval te gering is. Dit gaat gepaard met geringe snelheden (Froudeschaling), waardoor het turbulentie-niveau dermate laag wordt, dat laminaire effecten van invloed gaan worden (Reynolds-invloeden). Er moet derhalve getracht worden een tendens vast te stellen om zodoende de resultaten te kunnen extrapoleren.

De primaire doelstelling van deze experimenten brengt met zich mee, dat als uitgangspunt een situatie wordt gekozen, waarvan de geometrische en hydraulische omstandigheden overeenkomen met de "Nieuwe Waterweg" in het Getijmodel. Uitgaande van vertrekking 10 moeten realisaties beschouwd worden in minder "vertrokken" onderzoekssituaties. De uitkomsten van de experimenten zijn evenwel algemeen toepasbaar.

Uit 3.1 blijkt, dat inzicht in de wijze waarop en de mate waarin kribben ruwheids- en mengingsprocessen beïnvloeden op bepaalde punten nog ontbreekt. Verdieping van dit inzicht is noodzakelijk om de specifieke rol van kribben in een systeem als het Noordelijk Deltabekken vast te kunnen stellen.

Hiertoe wordt in eerste instantie geanalyseerd waar de aandacht op gericht moet worden.

De ruwheids- en mengingsprocessen t.g.v. kribben zijn het gevolg van diverse mechanismen, welke beschreven zijn in 3.1. Deze mechanismen worden op hun beurt bepaald door een aantal geometrische factoren:

- a) verhouding tussen kribafstand en kriblengte
 - b) verhouding tussen rivierbreedte en kriblengte
 - c) kruinhoogte t.o.v. de gemiddelde waterstand
 - d) mate van opvulling van kribvakken
 - e) verhouding tussen breedte en diepte van de riviertak,
- en de heersende (hydraulische) condities:

- stroomsnelheden en waterstanden
- getijfase (eb/vloed)
- dichtheidsprofiel ter plaatse
- bodemruwheid.

In het verleden zijn de factoren (a) en (b) enkele malen onderwerp van onderzoek geweest (zie 3.1). Hierbij zijn zowel ruwheids- als mengingsaspecten beschouwd. Het beschikbare onderzoeksmateriaal is vooral voor wat betreft (inhomogene) getijomstandigheden beperkt, maar vanuit een kwalitatief oogmerk goed bruikbaar. Hoewel de tendensen duidelijk zijn, is het toch zinvol om enkele aanvullende proeven te doen, waarbij faktor (a) varieert, vanwege de aansluiting op eerder uitgevoerde Getijgootproeven.

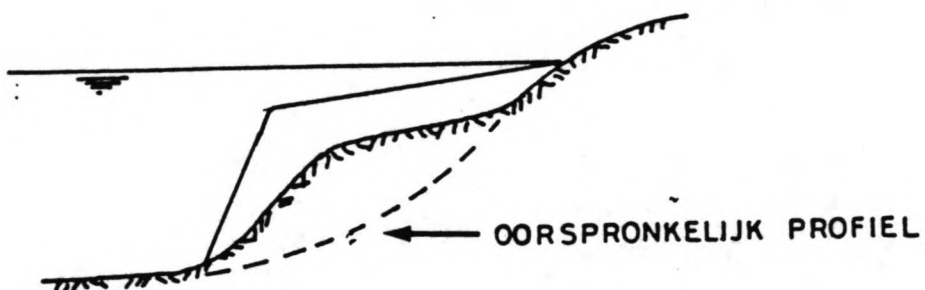
De kruinhoogte t.o.v. de gemiddelde waterstand (c) lijkt een belangrijke faktor, maar is nooit systematisch onderzocht voor een traject met kribben. Verwacht mag worden dat de stroming over een krib een aanzienlijke verhoging van de turbulentie-intensiteit veroorzaakt t.o.v. van de situatie, waarbij de kruin boven water uitsteekt.

Hierbij zijn de snelheidsverdeling ter plaatse van de kruin en de kriblengte van belang. Bovendien bepaalt de plaatselijke dichtheidsverdeling het uiteindelijke effect van de verhoogde turbulentie-intensiteit op de menging.

Ten gevolge van sedimentatie kunnen kribvakken in de loop der tijd gedeeltelijk opgevuld zijn (d). Dit heeft een vergelijkbare invloed als het toepassen van kortere kribben (b), afgezien van het feit dat het doorstroomprofiel in

mindere mate verandert. De verwachting is derhalve, dat zowel de ruwheid als de menging als gevolg hiervan afneemt. In welke mate dit het geval is moet uit experimenten volgen.

Ter informatie kan toegevoegd worden dat langs de Nieuwe Waterweg zowel sprake is van verzande als van onverzande kribvakken (bv. in de bocht van Maassluis).



De breedte-diepte-verhouding van de riviertak (e) is in dit kader geen punt van onderzoek, hoewel verwacht mag worden dat zij in belangrijke mate de relatieve invloed van ruwheids- en mengingsprocessen t.g.v. kribben bepaalt. Hier wordt, mede vanwege de uniformiteit van het totale onderzoek, uitgegaan van de situatie, zoals voor handen is op de Nieuwe Waterweg.

Het onderzoek m.b.t. de kribparameters is uiteindelijk zeer beperkt geweest. In een tweetal experimenten is de aandacht gericht op factoren (c) en (d).

4. Opzet van het onderzoek

4.1 De nieuwe Getijgoot

In deze paragraaf wordt in eerste instantie beknopt ingegaan op de werking van de Getijgoot. In 4.1.2 wordt vervolgens beschreven op welke wijze de hydraulische randvoorwaarden aangepast kunnen worden aan de configuratie in de goot.

4.1.1 Algemene beschrijving

De Getijgoot is een onderzoeksfaciliteit met een groot aantal mogelijkheden [lit. 13]. Naast het gebruik als getijgoot kan de goot tevens als stroomgoot en permanentiegoot voor twee-lagen stromingen functioneren. In alle gevallen kan zoet/zout en slib onderzoek gedaan worden.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van de getijgoot-optie, is de lange rechte bak aan een zijde aangesloten op het zeebassin, waar de gewenste waterstandsvariaties kunnen worden ingesteld. Aan het andere einde kan, behalve een konstante debietaanvoer, een in de tijd variërend debiet toe- of afgevoerd worden. In figuur 4.1 is het systeem geschematiseerd weergegeven.

De afmetingen van de goot zijn als volgt:

gootlengte	: 130 m
inwendige breedte:	1 m
inwendige hoogte :	1 m
oppervlakte zee :	100 m ²

De breedte en de hoogte zijn konstant over de volledige gootlengte.

Aan de hand van figuur 4.2 kan een indruk van de goot verkregen worden.

Met behulp van de regelcilinder met overstortrand wordt aan de zeerand een middenstand en een getijbeweging opgelegd (fig 4.1). Hiertoe wordt, vanuit het onder de vloer van de "zout/zoet-hal" gelegen zeereservoir, water in de "zee" gepompt en via de cylinder, daaruit afgevoerd.

Wanneer een inhomogene getijproef wordt gedaan zorgt een in de zee drijvende skimmerbak voor de afzuiging van de "zoet water"-laag in het zee-bassin. Zodoende kan een fysisch realistische zouttrandvoorwaarde aan de zeezijde gehandhaafd blijven, welke niet beïnvloed wordt door ingrepen in de goot.

In het prototype zal het water met een lage dichtheid, dat gedurende eb in zee stroomt, zich over een relatief veel grotere zee uitspreiden. De dunne "zoete" laag wordt vervolgens opgemengd of afgevoerd door de resulterende stroming langs de kust. Bij de daaropvolgende vloedfase stroomt zij niet volledig terug in het estuarium.

De zoutconcentratie van het zeewater wordt middels pekkel-injectie in de toevoerleidingen naar de zee konstant gehouden.

Aan de riviertrand bevindt zich de invoermogelijkheid voor een "konstante rivierafvoer" Q_f en een variabel rivierdebiet $Q(t)$.

Het zoetwaterdebiet Q_f wordt gerealiseerd m.b.v. de konstant-niveau-tank.

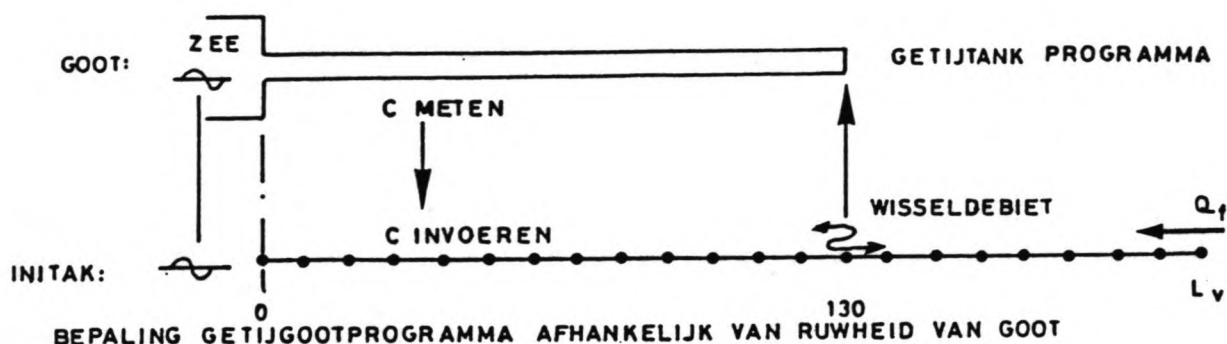
Middels het wisseldebiet $Q(t)$ kan een gootlengte groter dan 130 m gesimuleerd worden. Wanneer de virtuele gootlengte groter dan de reële is, kan m.b.v. het numerieke eendimensionale waterbewegingsmodel INITAK, het wisseldebiet $Q(t)$ op 130 m van de zee berekend worden. Dit debiet wordt m.b.v. de getijtank (fig. 4.1) in of uit de goot gepompt. In de onderstaande figuur is dit geschematiseerd.

De virtuele gootlengte is van invloed op het horizontale getij in de goot. Via het variëren hiervan kunnen de gewenste getijdebieten in bepaalde raaien opgewekt worden, zonder dat het verticale getij op zee verandert.

4.1.2 Weerstandverandering in de goot

Een belangrijk invoergegeven voor een INITAK-berekening is de ruwheid van de goot. Wanneer de ruwheidskonfiguratie in de goot verandert, moet deze opnieuw berekend of gemeten worden. Vervolgens kan middels een INITAK berekening het getijtankprogramma aangepast worden aan de situatie in de goot.

In het onderstaande schema is de werkwijze weergegeven.



In de goot is zowel additionele bodem- als wandruwheid aangebracht (fig. 4.3). De bodemruwheid is gediskretiseerd in de vorm van betonnen kegeltjes. Wandstrips, aangebracht om de 0,75 m, symmetrisch t.o.v. de as van de goot, fungeren als wandruwheid.

Uit de vergelijking tussen een experiment met en zonder kribben, waarin slechts sprake was van bodemruwheid, bleek een extreem verschil in dichtheidsverdeling (niet realistisch) en is vervolgens tot het aanbrengen van wandruwheid besloten. Het aanbrengen van wandruwheid heeft tot gevolg dat de dichtheidsverdeling in de goot met en zonder kribben niet te sterk verschilt. Zodoende wordt in beide gevallen een zoutverdeling verkregen die vergelijkbaar is met de Nieuwe Waterweg (vgl. deel 1).

De bodemruwheid biedt de mogelijkheid op consistente wijze een ruwheidsvermindering door te voeren t.b.v. een vertrekingsreduktie (zie 4.2.1). Hiertoe wordt successievelijk een aantal weerstandselementjes verwijderd. De wandruwheid blijft daarbij ongemoeid.

4.2 Onderzoekssituaties

De referentie die als basis voor dit onderzoek dient, moet aan een aantal eisen voldoen:

- 1) het specifieke effect van kribben op de inhomogene waterbeweging moet onderscheiden kunnen worden.
- 2) de modelconfiguratie moet bij voorkeur vergelijkbaar zijn met de situatie in de "Nieuwe Waterweg" van het Getijmodel, zowel wat betreft geometrie als hydraulische omstandigheden.

De noodzaak van het eerste punt houdt verband met de vraag in welke mate vertrekkingsevloedend t.g.v. kribben een rol spelen in realisaties van de inhomogene waterbeweging. Vertrekkingsevloedend o.i.v. andere model-factoren werken verstorend en moeten derhalve geëlimineerd worden. Dit gebeurt door bij de verschillende vertrekkingssituaties het verschil tussen een proef met kribben en zonder kribben te beschouwen. Nevenevloedend t.g.v. de wandstrips of bodemruwheidselementjes worden dan goeddeels geëlimineerd.

De motivatie voor het tweede punt is al in hoofdstuk 3 aan de orde geweest. Er is m.b.t. de kribkonfiguratie uitgegaan van de onderstaande, voor de Nieuwe Waterweg representatieve, prototype-maten:

breedte stroomgeul: $B = 400$ m

kruinhoogte krib : $h_k = 12,0$ m (waterdiepte: $a_0 = 15,0$ m)

kribafstand : $L = 600$ m

kriblengte : $l_k = 30$ m

De kribben worden aan beide zijden van de goot geplaatst, symmetrisch t.o.v. de lengte-as. De lengte van het kribben-trajekt is 13,8 km (prototypemaat). In figuur 4.4 is de geschetste configuratie weergegeven.

4.2.1 Vertrekkingsexperimenten

In vertrekkingssituaties $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$ zijn overeenkomstige experimenten uitgevoerd.

Uitgaande van $\delta = 10$, overeenkomstig het Getijmodel Rijnmond, is de mate van vertrekking verkleind. In verband met laminaire invloeden is $\delta = 1$ niet mogelijk; het maximaal haalbare blijkt, uitgaande van de gekozen prototype waarden, $\delta = 3,25$ te zijn. Ter bevestiging van een te constateren trend is ervoor gekozen overeenkomstige experimenten voor (ten minste) drie vertrekkingssituaties uit te voeren.

De keuze is gemaakt de hoogteschaal (n_h) te variëren en de lengteschaal (n_l) konstant te houden.

Een alternatief is het succesievelijk verkleinen van de lengteschaal. Dit geeft echter grote praktische problemen, o.a. aangezien de breedte van de goot dan aangepast moet worden.

In het gekozen geval representeert de breedte van de goot ($B_{\text{goot}} = 1,0$ m) de breedte van de stroomgeul in het prototype ($B = 400$ m) en wordt de lengteschaal $n_l = 400$. De overige schaalwaarden zijn vervolgens eenduidig te bepalen

en weergegeven in tabel I. Voor de berekening van de schaalwaarden wordt verwezen naar bijlage 3.

	$\delta = 10$	$\delta = 5$	$\delta = 3.25$
n_l	400	400	400
n_h	40	80	123.1
n_u	6.32	8.94	11.1
n_T	63.2	44.7	36.1
n_Q	101120	286080	546564
n_{C^2}	(10)	(5)	(3.25)

Tabel I: schaalwaarden

De omrekening van schaalwaarden naar modelmaten is weergegeven in tabel II.

	$\delta = 10$	$\delta = 5$	$\delta = 3.25$	prototype
kruinhoogte	0.30	0.15	0.098	12.0 (m)
kribafstand	1.50	1.50	1.50	600 (m)
kriblengte	0.075	0.075	0.075	30 (m)
breedte stroomgeul	1.0	1.0	1.0	400 (m)
lengte kribbentrajekt	34.5	34.5	34.5	13800 (m)

Tabel II: modelmaten vertrekingsonderzoek (zie ook fig 4.5)

De waarde van de weerstandsparameter C voor $\delta = 10$ is bepaald door in de goot met wand- en bodemruwheid (zie 4.1), maar zonder kribben een permanentie-

meting uit te voeren. Hierbij wordt een konstant debiet ingesteld en het verhang van de waterspiegel in de goot gemeten. Vervolgens kan de Chezy-waarde berekend worden. In bijlage 4 wordt het principe van een permanentie-meting verder uitgewerkt.

In bijlage 3 is aangegeven dat een verkleining van de vertrekking een lagere weerstand met zich meebrengt. Dit wordt in de goot gerealiseerd door het aantal bodemweerstandselementjes te verminderen.

Voor $\delta = 5$ kan zodoende itererend de gewenste Chezy-waarde verkregen worden. Bij $\delta = 3.25$ zijn alle elementjes verwijderd en is zo de in dit geval maximaal haalbare vertrekkingreduktie verkregen. Via de gemeten weerstandswaarde zijn in het laatste geval de overige schaalwaarden bepaald.

De in deze paragraaf beschreven werkwijze moet op twee punten nader beschouwd worden:

- Reynoldsinvloeden
- verhouding wand- en bodemruwheid.

Het reduceren van de vertrekking door het vergroten van de hoogteschaal, en dus de snelheidsschaal, leidt ertoe, dat de Reynoldsgetallen (Re) in de stroming omlaag gaan.

$$Re = \frac{u \cdot h}{\nu}$$

waarin: u : karakteristieke snelheid

h : karakteristieke lengtemaat

ν : kinematische viscositeit (voor water: $= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Het Reynoldsgetal is een maat voor het turbulentie-niveau in een stroming. In het prototype is de waarde van dit getal hoog; wanneer echter geëxperimenteerd wordt in een schaalmodel neemt Re af ten gevolge van kleinere waarden van u en h (zie tabel I).

Te lage waarden van Re en derhalve een te laag turbulentie-niveau leidt tot laminaire invloeden. Uit figuur B3.1 (bijlage 3) blijkt, dat bij waarden kleiner dan $Re = 10^4$ dit het geval is.

Getijgemiddeld wordt in een schaalmodel meestal voldaan aan de eis: $Re > 10^4$. Rond de kenteringen, wanneer de snelheden gering zijn, zijn evenwel gedurende

een bepaalde periode Reynoldsinvloeden te verwachten.

Voor de diverse experimenten uit dit onderzoek is in tabel BIII (bijlage 3) gecontroleerd of voldaan is aan de bovenstaande eis.

De verhouding tussen wand- en bodemruwheid is van belang voor de snelheidsverdeling in de goot. Tevens wordt de turbulente uitwisseling door deze verhouding beïnvloed. Dit aspect wordt nader belicht in hoofdstuk 6.

4.2.2 Gevoeligheidsonderzoek kribparameters

De variatie van de kribparameters is uitgevoerd bij $\delta = 5$. De modelmaten behorend bij deze experimenten zijn opgesomd in tabel III.

	"referentie"	"kribvak"	ged.opg."	"kruinhoogte" > HW"
kruinhoogte	0.15	0.15		0.30 (> HW) (m)
kribafstand	1.50	1.50		1.50 (m)
kriblengte	0.075	0.075		0.075 (m)
kribvak	leeg	ged. opg.		leeg
breedte stroomgeul	1.0	1.0		1.0 (m)
lengte kribbentrajekt	34.5	34.5		34.5 (m)

tabel III: modelmaten variatie kribparameters ("ged. opg.": gedeeltelijk opgevulde kribvakken).

In figuur 4.6 zijn de onderzochte configuraties geïllustreerd.

Op de gedeeltelijke opvulling van de kribvakken zijn wandruwheidsstrips aangebracht. De dikte van deze strips, loodrecht op de stroomrichting, is wat kleiner dan van de oorspronkelijke wandruwheidsstrips, aangezien rekening is gehouden met een versmalling van het doorstroomprofiel ter plaatse. De wandinvloed is daardoor relatief wat groter.

4.3 Hydraulische randvoorwaarden

Aan de "zeezijde" van de goot wordt een cyclisch, sinusvormig getij opgedrukt, om de interpretatie van de modelresultaten te vereenvoudigen; aan de "rivierzijde" wordt een konstant debiet toegevoerd. De hydraulische modelrandvoorwaarden zijn berekend uit representatieve prototype-waarden m.b.v. de schaalwaarden uit tabel I.

Er zijn proeven uitgevoerd met een "grote" en een "kleine" amplitude ($\hat{a} = 0,88$ m, resp. $\hat{a} = 0,60$ m (prototype-maat), om resultaten van experimenten, waarin sprake is van wezenlijk verschillende gelaagdheidskarakteristieken, met elkaar te kunnen vergelijken. De amplituden corresponderen respectievelijk met een springtij- en een extreem doottij in het prototype (fig. 4.7). In tabel IV zijn de diverse modelwaarden vermeld.

	vertrekking	\hat{a} (m)	a_0 (m)	T (sec)	Q_f (m ³ /s)
springtij	10	0.022	0.375	700	$12.0 \cdot 10^{-3}$
doottij	10	0.015	0.375	700	$12.0 \cdot 10^{-3}$
springtij	5	0.011	0.188	1000	$4.24 \cdot 10^{-3}$
doottij	5	0.0075	0.188	1000	$4.24 \cdot 10^{-3}$
springtij	3.25	0.0071	0.122	1240	$2.22 \cdot 10^{-3}$
doottij	niet uitgevoerd (zie 5.1)				
<u>PROTOTYPE:</u>					
springtij		0.88	15.0	44700	1213
doottij		0.60	15.0	44700	1213

Tabel IV: hydraulische modelrandvoorwaarden.

De snelheden in de "mond" van de goot moeten korresponderen met waarden uit het prototype, om representatieve zoutverdelingen te krijgen, zowel in een situatie zonder als met kribben. Door het toepassen van een geschikte verhouding van de resonantie-lengte en de virtuele gootlengte wordt hieraan voldaan.

4.4 Meetopstelling

Afhankelijk van de maximale zoutindringing zijn in 5 tot 7 raaien zoutvertikalen gemeten m.b.v. VEZO's. Deze instrumenten bieden de mogelijkheid, om op maximaal 12 punten in de vertikaal tegelijkertijd de geleidendheid te bepalen. Vervolgens kunnen hieruit dichtheden berekend worden.

Vanaf 5 m vanaf de "mond" van de goot (raai 5.000) is in principe om de 10 m een meting uitgevoerd. Nabij de maximale zoutindringing is in enkele gevallen om de 5 m gemeten (zie fig. 4.8).

In raaien 14.750 en 20.000 zijn snelheden bepaald met behulp van snelheidsmolen (WSM's). In figuur 4.8 zijn de posities van de WSM's in de meetraaien weergegeven.

Met behulp van waterstandsvolgers (WAVO's) zijn langs de gehele goot om de 12 m waterstandsverlopen vastgelegd. Enerzijds is de voortplanting van de getijgolf gemeten en anderzijds zijn verhangen bepaald tijdens permanente-metingen. De WAVO-opstelling is weergegeven in figuur 4.8.

4.5 Proevenprogramma

In totaal zijn twaalf inhomogene getijproeven uitgevoerd. In tabel V zijn de experimenten samengevat. In 5.1 wordt aangegeven waarom bij vertrekking $\delta = 3.25$ geen experimenten over doortijomstandigheden zijn uitgevoerd.

serienummer	vertrekking	bijzonderheden	getijampl. $\hat{\delta}$ (m)	
T1	10	geen kribben	0.015	(doodtij)
T2	10	geen kribben	0.022	(springtij)
T3	10	kribben	0.015	
T4	10	kribben	0.022	
T5	5	geen kribben	0.0075	(doodtij)
T6	5	geen kribben	0.011	(springtij)
T7	5	kribben	0.0075	
T8	5	kribben	0.011	
T9	5	krbv. ged. opg.	0.011	
T10	5	kruin > HWS	0.011	
T11	3.25	geen kribben	0.0071	(springtij)
T12	3.25	kribben	0.0071	

tabel V: onderzoeksprogramma

De middenstanden voor $\delta = 10$, $\delta = 5$ en $\delta = 3.25$ zijn respectievelijk 0.375 m, 0.188 m en 0.122 m.

Voor iedere configuratie in de goot zijn bovendien permanentie-metingen uitgevoerd ter bepaling van de weerstandcoëfficiënt (totaal 11 proeven). Deze Chezy-waarden zijn tevens noodzakelijk om m.b.v. het numerieke 1D-model INITAK de randvoorwaarden voor de goot te bepalen (zie 4.1). In tabel 5.13 zijn de permanentie-proeven samengevat.

Behalve de bovenstaande experimenten is nog een aantal inregelproeven gedaan. Deze zijn noodzakelijk, om de waterstandsvariatiën in de mond van de goot en de debietvariatiën aan de rivierrand op de juiste wijze te realiseren.

5. Resultaten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de verschillende experimenten beschreven; hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de vertrekkingsexperimenten en het onderzoek naar de gevoeligheid voor kribparameters.

In hoofdstuk 6 worden deze resultaten geïnterpreteerd.

Voor $\delta = 3,25$ zijn geen experimenten met een kleine getij-amplitude uitgevoerd. Hiertoe is besloten, nadat gekonstateerd was, dat de realisaties onder deze randvoorwaarde voor $\delta = 5$ al in sterke mate beïnvloed worden door laminaire effecten. Bij $\delta = 3,25$ zou dit in nog sterkere mate het geval zijn, aangezien de gemiddelde modelwaterstanden en \sim snelheden verder af zouden nemen (Re kleiner).

Het verstellen van de meetinstrumenten is gebeurd binnen de eerste 5 tijdstappen van een getij (totaal 100 tijdstappen). Veiligheidshalve is derhalve aangenomen, dat tijdstappen 1 tot 10 minder betrouwbaar zijn.

De resultaten van de permanentie-metingen ter bepaling van de ruwheid van de configuratie in de goot zijn samengevat in tabel 5.16.

De resultaten van de experimenten t.b.v. het vertrekkingsonderzoek zijn vergelijkbaar gemaakt door de gemeten realisaties voor $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$ terug te vertalen naar $\delta = 10$. Dit geldt zowel voor de waterstanden als de snelheden. Tussen haakjes wordt achter de meetwaarden, die vermeld worden in de tekst van dit hoofdstuk, de prototype-waarde gegeven.

In het vervolg wordt met "springtij" en "doodtij" de zeerandvoorwaarde met de grote, resp. de kleine amplitude aangeduid. De absolute waarden verschillen natuurlijk per vertrekking.

5.2 Vertrekkingsexperimenten

5.2.1 waterbeweging

springtij

In tabel 5.1 zijn de meetwaarden m.b.t. de middenstanden en de dubbeldaagse komponent voor diverse raaien weergegeven.

Bij vergelijking van de experimenten "zonder kribben" blijkt een goede overeenkomst voor de verschillende vertrekkingen te bestaan.

De middenstand, welke toeneemt vanaf de "zee", heeft de hoogste waarde voor $\delta = 10$ en de laagste voor $\delta = 3,25$. Het maximale verschil is 0,9 mm (3,6 cm) in raaien 48.000 en 60.000.

De amplitude van de dubbeldaagse komponent is in alle raaien het kleinst voor $\delta = 10$, terwijl $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$ nagenoeg hetzelfde beeld vertonen. Het maximale verschil, ter grootte van 2,7 mm (10,8 cm), treedt op in raai 72.000 (in raai 0.000 is al een verschil aanwezig van 0,4 mm (1,6 cm)). Rondom deze raai treedt voor alle vertrekkingen zowel voor spring- als doodtij de minimale amplitude op.

De A2-komponent loopt voor $\delta = 10$ ongeveer 10° (20,7 min) voor in fase in de stroomopwaartse raaien.

De experimenten "met kribben" geven wat grotere verschillen.

De middenstanden zijn het laagst voor $\delta = 3,25$. Het gemiddelde verschil met $\delta = 10$ bedraagt 0,9 mm (3,6 cm). Maximaal is dit verschil evenwel 1,3 mm (5,2 cm) voor raai 60.000. De waarden voor $\delta = 5$ liggen hier tussenin.

De amplitude van de A2-komponent is wederom het kleinst voor $\delta = 10$ met ongeveer dezelfde verschillen als "zonder kribben".

Het maximale verschil tussen $\delta = 10$ en $\delta = 5$ is 2,8 mm (11,2 cm) in raai 60.000; de afwijking in raai 0.00° is echter al 0,7 mm (2,8 cm).

De faseverschillen zijn overeenkomstig met de verschillen "zonder kribben".

De verschillen tussen de realisaties met en zonder kribben voor de diverse vertrekkingssituaties blijken redelijk goed overeen te komen (tabel 5.2).

Voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$ blijkt de toename van de middenstand t.g.v. het in de goot plaatsen van kribben het grootst. Het maximale verschil met $\delta = 3,25$ is

evenwel klein, te weten ca. 1,0 mm (4,0 cm). Het gemiddelde verschil is 0,5 mm (2,0 cm).

De verschillen in de amplitude van de A2-komponent zijn zeer klein, wanneer $\delta = 10$ vergeleken wordt met $\delta = 5$. De maximale afwijking is slechts 0,3 mm (1,2 cm). De gemiddelde afwijking voor $\delta = 3,25$ verschilt eveneens zeer weinig. Plaatselijk treden evenwel grotere afwijkingen op, in de orde van 1,0 mm (4,0 cm).

De afwijkingen m.b.t. de fase zijn het grootst voor $\delta = 3,25$ en het kleinst van $\delta = 5$. Het verschil in raai 84.000 bedraagt ca. 5° (10,3 min).

In figuren 5.1 en 5.2 zijn voor een aantal vertikalen snelheidsprofielen met elkaar vergeleken voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$. In enkele gevallen zijn eveneens profielen voor $\delta = 3,25$ ingetekend.

Er is een redelijke mate van overeenkomst te konstaten, zowel voor de situatie met als zonder kribben. Afwijkingen treden op in de ebfase, waarin de snelheden voor $\delta = 10$ systematisch groter zijn "bovenin" het profiel.

In tabel 5.5 is voor de verschillende proeven de amplitude van de A2-komponent van het horizontale getij weergegeven in de "mond" van de goot (raai 0.000). Deze is berekend met INITAK op grond van een ruwheidswaarde, die bepaald is uit een permanentie-meting (zie 5.4).

De grootste afwijking wordt aangetroffen bij $\delta = 5$ voor de proef met kribben. De getijdebieten zijn 7,5% lager dan voor $\delta = 10$.

De waarden voor $\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ komen goed overeen (afwijking ca. 2,5 %).

doodtij

In tabel 5.3 zijn de waterstandsgegevens vermeld voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$.

De middenstandsverschillen voor de proeven "zonder kribben" zijn wederom klein. De maximale afwijking bedraagt 0,9 mm (3,6 cm) in raai 60.000 ($\delta = 10 > \delta = 5$).

De amplitude voor de A2-komponent is in alle raaien kleiner voor $\delta = 10$. De maximale afwijking bedraagt 1,5 mm (6,0 cm). In raaien 72.000 en 84.000; in raai 0.000 is echter al een verschil van 0,5 mm (2,0 cm) aanwezig.

De A2-komponent loopt voor $\delta = 10$ ongeveer 11° voor in fase in raai 84.000.

De middenstandsverschillen "met kribben" zijn in dezelfde orde van grootte als voor de situatie "zonder kribben". De A2-amplitude wijkt evenwel in sterkere mate af. Het maximale verschil bedraagt 2,2 mm (8,8 cm) in raai 60.000.

De A2-komponent loopt voor $\delta = 10$ ongeveer 17° voor in fase in raai 84.000.

De verschillen tussen de realisaties met en zonder kribben blijken redelijk overeen te komen (tabel 5.4).

De middenstandsverschillen zijn systematisch kleiner voor $\delta = 10$, m.u.v. raai 0.000 waar het verschil 0,7 mm (2,8 cm) groter is. De gemiddelde afwijking bedraagt 0,3 mm (1,2 cm) met $\sigma = 0,5$ mm (2,0 cm).

De verschillen m.b.t. de A2-amplitude zijn gemiddeld groter voor $\delta = 10$. De gemiddelde afwijking bedraagt 0,2 mm (0,8 cm) met $\sigma = 0,4$ mm (1,6 cm) en de maximale afwijking is 0,8 mm (3,2 cm) in raai 60.000.

Het faseverschil is over het algemeen groter voor $\delta = 10$. De afwijking, bovenstrooms van het kribbentrajekt, is gemiddeld ongeveer 7° .

In figuren 5.3 en 5.4 zijn voor een aantal vertikalen snelheidsprofielen met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat er over het algemeen, zowel voor de situatie met als zonder kribben, een goede overeenkomst is.

In beide gevallen bestaat de tendens, dat de snelheden in de bovenste lagen van het profiel wat groter zijn voor $\delta = 10$.

In raai 20.000 zijn de snelheden nabij de bodem voor $\delta = 5$ groter gedurende de vloedfase.

In tabel 5.6 is de amplitude van de A2-komponent van het horizontale getij weergegeven (uit INITAK). De waarden voor $\delta = 5$ zijn voor de proeven zonder en met kribben respectievelijk 4,3% en 7,7% lager dan voor $\delta = 10$.

5.2.2 zoutverdeling

springtij

De maximale zoutindringing is in de goot met kribben, voor de drie vertrekkingssituaties ongeveer gelijk (tabel 5.7). In de goot zonder kribben wordt de L_{imax} kleiner, wanneer de mate van vertrekking afneemt, waarbij het verschil tussen $\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ 3,5 m (1400 m) is.

Wat grotere afwijkingen blijken te bestaan m.b.t. de minimale zoutindringing

in de goot zonder kribben; het grootste verschil treedt tussen $\delta = 5/\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ op, te weten 4,0 m (1600 m). Met kribben zijn er evenwel wederom goede overeenkomsten (tabel 5.7).

Het verschil tussen L_{imax} en L_{imin} , de slag van de zouttong ΔL_i , blijkt voor de verschillende vertrekkingen, zowel voor de experimenten met als zonder kribben slechts beperkt te variëren rond 33,0 m (13200 m).

De verschillen in L_{imax} tussen experimenten met en zonder kribben blijken met het afnemen van de vertrekking te tenderen naar lagere waarden. In de overeenkomstige verschillen voor L_{imin} is geen trend te ontdekken. De grootste afwijking bestaat tussen $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$, te weten 3,5 m (1400 m).

De verschillen m.b.t. de slag van de zouttong zijn voor $\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ bijna nihil. De ΔL_i neemt voor $\delta = 5$ met 1,0 m (400 m) toe wanneer er kribben in de goot worden geplaatst.

In figuren 5.5 t/m 5.7 is het bovenstaande geïllustreerd. Vertikaal gemiddelde dichtheden op laagwaterkentering (LWK) en hoogwaterkentering (HWK) zijn met elkaar vergeleken voor de verschillende vertrekkingen.

Van belang zijn vooral de verschillijnen tussen de realisaties van proeven met en zonder kribben.

In de figuren 5.8 t/m 5.11 zijn dichtheidsprofielen met elkaar vergeleken voor de verschillende vertrekkingssituaties voor resp. een goot zonder en een goot met kribben.

In figuren 5.8 en 5.9 is voor de situatie zonder kribben duidelijk te zien dat, hoewel tijdens de vloedfase in raai 5.000 gelijksoortige profielen gemeten zijn, stroomopwaarts in de goot met het afnemen van de vertrekking een sterkere gelaagdheid bestaat (b.v. raaien 35.000 en 45.000). Vooral $\delta = 3,25$ onderscheidt zich van beide andere vertrekkingen.

Tijdens eb (tijdstappen 60 t/m 90) doet zich eerder het tegengestelde voor en bestaan de grootste dichtheidsgradiënten nabij de bodem voor de $\delta = 10$ (b.v. raaien 25.000 en 35.000).

De dichtheidsprofielen in de figuren 5.10 en 5.11 voor de goot met kribben geven een gelijksoortig beeld te zien, waarbij de verschillen evenwel minder groot zijn. Vooral de profielen $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$ vertonen een sterke overeenkomst. De grootste verschillen treden op rondom hoogwaterkentering (tijdstep-

pen 40 t/m 60) bovenin de vertikalen voor raaien 15.000 en 25.000. Hier wijkt $\delta = 10$ duidelijk af van beide andere vertrekkingen.

De afwijkingen tijdens de eb-fase zijn klein. Er is dan een gedeeltelijk tot volledig gemengde situatie aanwezig.

In tabel 5.8 zijn de vertikaal en getijgemiddelde dichtheden in de diverse raaien voor verschillende vertrekkingssituaties met elkaar vergeleken.

Voor de experimenten zonder kribben blijkt er een goede overeenkomst te bestaan voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$ m.u.v. raai 5.000. De dichtheid voor $\delta = 3,25$ is over het algemeen lager met een maximaal verschil van 1.3 kg/m^3 in raai 15.000.

De experimenten met kribben vertonen een goede overeenkomst voor $\delta = 5$ en $\delta = 3,25$. De waarden voor $\delta = 10$ zijn iets hoger dan voor de andere vertrekkingen met een maximale afwijking in raai 25.000 van $0,9 \text{ kg/m}^3$.

De verschillen in de realisaties voor een goot met en zonder kribben blijken nogal te fluktuëren. Deze waarden zijn het grootst voor $\delta = 5$ en het kleinst voor $\delta = 3,25$ met een konstant verschil van $0,7$ à $0,9 \text{ kg/m}^3$ voor raaien 5.000 t/m 35.000. Verder "stroomopwaarts" in de goot worden de verschillen tussen de vertrekkingssituaties kleiner.

doodtij

De maximale zoutindringing L_{imax} treedt zowel in de goot zonder als met kribben op voor $\delta = 5$. het verschil met $\delta = 10$ is resp. 6,5 m (2600 m) en 7,5 m (3000 m). Hetzelfde is het geval voor L_{imin} , waarbij de verschillen resp. 9,5 m (3800) en 12,0 m (4800) zijn (tabel 5.9).

De slag van de zouttong ΔL_i is voor $\delta = 5$ kleiner dan voor $\delta = 10$. Dit verschil is voor de goot zonder en met kribben 3,0 m (1200 m) resp. 4,5 m (1800 m).

De verschillen tussen de realisaties in een goot met en zonder kribben zijn voor beide vertrekkingssituaties evenwel klein, De L_{imax} en L_{imin} zijn voor $\delta = 5$ 1,0 m (400 m) respectievelijk 2,5 m (1000 m) kleiner dan voor $\delta = 10$ (tabel 5.9).

In figuur 5.12 zijn vertikaal gemiddelde dichtheden op LWK en HWK met elkaar vergeleken voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$.

De verschillen tussen de realisaties van de proeven met en zonder kribben zijn maatgevend.

In de figuren 5.13 t/m 5.16 zijn wederom dichtheidsprofielen met elkaar vergeleken voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$.

Voor de situatie zonder kribben blijkt in de raaien nabij de zee tijdens de vloedfase de dichtheid "bovenin" de profielen toe te nemen voor $\delta = 5$, terwijl verder stroomopwaarts in raaien 35.000 t/m 55.000 de dichtheid vooral onderin toeneemt en derhalve beduidend grotere verticale dichtheidsgradiënten ontstaan.

Tijdens de eb fase is de situatie voor $\delta = 5$ eveneens sterker gelaagd, hoewel de verschillen kleiner zijn (fig. 5.13 en 5.14).

De dichtheidsprofielen voor de goot met kribben in figuren 5.15 en 5.16 geven een vergelijkbaar beeld te zien.

Voor $\delta = 5$ zijn de verticale dichtheidsgradiënten beduidend groter dan voor $\delta = 10$. De grootste dichtheidsverschillen worden in de onderste lager van het profiel gevonden.

In tabel 5.10 zijn de vertikaal en getijgemiddelde dichtheden voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$ met elkaar vergeleken. In alle gevallen is de dichtheid voor $\delta = 5$ groter.

Het maximale verschil "zonder kribben" is $1,6 \text{ kg/m}^3$ in raai 45.000 en "met kribben" $1,6 \text{ kg/m}^3$ in raai 35.000.

Wanneer de verschillen tussen de realisaties met en zonder kribben beschouwd worden blijken de afwijkingen voor beide vertrekkingssituaties over het algemeen veel kleiner. De maximale afwijking ter grootte van $1,2 \text{ kg/m}^3$ treedt op in raai 55.000; "stroomopwaarts" zijn de afwijkingen evenwel slechts 0,1 tot $0,4 \text{ kg/m}^3$.

5.3 Gevoeligheidsonderzoek kribparameters

In deze paragraaf worden de resultaten vergeleken van drie experimenten, waarin een tweetal kribparameters gevarieerd zijn. Deze experimenten zijn onderstaand opgesomd en worden in het vervolg van deze paragraaf nog slechts met het proefnummer aangeduid (zie tabel V).

- kruinhoogte < LW en "lege" kribvakken (T8, $\delta = 5$)
- kruinhoogte < LW en gedeeltelijke opgevulde kribvakken (T9, $\delta = 5$)
- kruinhoogte > HW en "lege" kribvakken (T10, $\delta = 5$)

De realisaties van de inhomogene waterbeweging in deze onderzoeksstituaties worden vergeleken met de onderzoekssituatie zonder kribben (T6).

De meetwaarden, die vermeld zijn in de tekst, de tabellen en de figuren van deze paragraaf, zijn in tegenstelling tot in 5.2 niet vertaald naar $\delta = 10$. In de tekst zijn tussen haakjes de prototype-waarden weergegeven.

5.3.1 waterbeweging

Uit tabel 5.11 en 5.12 blijkt, dat de middenstanden in T10 (kruinhoogte > HW) over het gehele meettrajekt het hoogst zijn en in T9 (kribvakken gedeeltelijk opgevuld) het laagst. Het gemiddelde verschil met T6 bedraagt voor T8, T9 en T10 respektievelijk 0,43 mm (3,4 cm), 0,21 mm (1,7 cm) en 0,50 mm (4,0 cm).

De amplitude van de dubbeldaagse komponent wordt stroomopwaarts in vergelijking met T6 het sterkst gedempt in T10 (tabel 5.11 en 5.12). Het gemiddelde verschil met T6 bedraagt 1,17 mm (9,4 cm). In T8 is het verschil met T6 eveneens groot; gemiddeld is het 0,88 mm (7,0 cm).

Het amplitude-verloop in T9 komt sterk overeen met dat in T6. De amplitude is gemiddeld slechts 0,18 mm (1,4 cm) kleiner.

Over het gehele meettrajekt loopt de dubbeldaagse komponent in T10 enkele graden achter ten opzichte van de referentie (T6). In T9 worden vrijwel geen faseverschillen geconstateerd (tabel 5.12). In raai 84.000 bedragen de faseachterstanden in T8, T9 en T10 respektievelijk $2,7^\circ$ (5,6 min), $0,1^\circ$ en $7,8^\circ$ (16,1 min).

Middels permanentie-metingen zijn de ruwheden van de verschillende onderzoeks-situaties bepaald (tabel 5.16). De Chezywaarden in het kribbentrajekt in T8, T9 en T10 zijn respektievelijk 29, 35 en $29 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ (laatste waarde is een aanname: $C_{T8} = C_{T10}$). In de referentiesituatie T6 is de Chezywaarde gelijk aan $38 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$.

De getijdebielen in de mond van de goot, zoals berekend met INITAK, zijn in T9 ongeveer 2,5% kleiner dan in T6. De berekende getijdebielen zijn in T8 en T10 bijna 8% kleiner. In beide gevallen worden hier dezelfde waarden gevonden, aangezien de in INITAK ingevoerde ruwheid gelijk is genomen. Uit 6.2 blijkt evenwel dat het verhogen van de kribkruinen tot boven de hoogste waterstand wel enige invloed op de ruwheid in de goot heeft.

In figuren 5.17 en 5.18 zijn snelheidsprofielen vergeleken voor T8 en T9. De algemene tendens is, dat de snelheden voor T9 groter zijn. Dit is met name het geval in raai 20.000, waar de snelheid in het midden van de goot toeneemt (zie vertikaal 0.10). Deze raai bevindt zich ter hoogte van een kribvak (zie figuur 4.8).

In figuren 5.22 en 5.23 zijn snelheidsprofielen vergeleken voor T8 en T10. Er blijkt een lichte tendens te bestaan naar hogere snelheden voor T10. Deze is vooral zichtbaar in raai 14.750, vertikaal -0.30, en raai 20.000, vertikaal 0.10. De eerste meetraai bevindt zich ter hoogte van de kribben, de tweede ter hoogte van de kribvakken.

5.3.2 zoutverdeling

Zowel de maximale als de minimale zoutindringing komen sterk overeen in T8 en T10 (tabel 5.14). De L_{imax} is respectievelijk 11,5 m (4600 m) en 12,0 m (4800 m) kleiner dan in T6. Voor de L_{imin} bedraagt deze afname in beide onderzoeks-situaties 12,5 m (5000 m).

De L_{imax} en L_{imin} wijken in T9 slechts weinig af van de gekonstateerde lengten in T6. In het eerste geval zijn L_{imax} en L_{imin} respectievelijk 1,5 m (600 m) en 2,0 m (800 m) kleiner. De "slag" van de zouttong ΔL_i is voor de onderzoeks-situaties T6, T8, T9 en T10 vrijwel gelijk.

In figuur 5.19 zijn de vertikaal gemiddelde dichtheidsverdelingen rond LWK en HWK weergegeven voor T6, T8 en T9. Hieruit blijkt wederom de sterke overeenkomst tussen T6 en T9.

Tijdens LWK zijn de dichtheden in T9 wat groter dan in T6. Rond HWK is het tegengestelde het geval benedenstrooms van raai 40.000. Bovenstrooms hiervan zijn de dichtheden in T9 kleiner. Het kribbentrajekt strekt zich uit tot raai 41.000.

Vergelijking van de vertikaal gemiddelde dichtheidsverdelingen rond LWK en HWK in T8 en T10 (figuur 5.24) toont het geringe onderscheid tussen deze onderzoekssituaties nogmaals aan. In beide gevallen zijn de dichtheden zowel rond LWK als HWK beduidend kleiner dan in T6.

Rond HWK zijn de dichtheden in T10 ongeveer 0,4 à 0,5 kg/m³ kleiner dan in T8.

De vertikaal en getijgemiddelde dichtheden zijn weergegeven in tabel 5.15. De overeenkomst tussen T6 en T9 is hierin gekwantificeerd. Het blijkt dat de verschillen binnen de instelnaauwkeurigheid vallen (ca. 0,2 kg/m³).

In T8 en T10 zijn deze dichtheden maximaal respectievelijk 2,1 kg/m³ en 2,4 kg/m³ kleiner dan in T6 (raai 25.000). Het onderlinge verschil tussen T8 en T10 is in de orde van de instelnaauwkeurigheid.

De dichtheidsprofielen in figuren 5.20 en 5.21 geven aan dat het "grensvlak" tijdens de vloedfase in het kribbentrajekt (tot raai 41.000) in T9 hoger ligt dan in T6. Bovenstrooms van het kribbentrajekt in raai 45.000 is het tegengesteld het geval. De L_{imax} is in T6 derhalve wat groter.

Uit de dichtheidsprofielen in figuren 5.25 en 5.26 blijkt dat de dichtheidsverschillen tussen bodem en oppervlak in de benedenstroomse raaien in T8 en T10 nauwelijks verschillen van die in T6. Met name de lagere ligging van het grensvlak in T8 en T10 resulteert in lagere dichtheden stroomopwaarts. De onderlinge verschillen tussen T8 en T10 treden vooral op tijdens de vloedfase en rond HWK (tijdstappen 20 t/m 60). De dichtheidsverschillen tussen bodem en oppervlak zijn in beide gevallen gelijk, maar het grensvlak ligt wat hoger in T10. Dit is vooral het geval in het kribbentrajekt (vgl. raaien 15.000 t/m 35.000).

Tijdens de ebfase is sprake van een volledig gemengde situatie. De verschillen tussen T8 en T10 zijn dan marginaal.

6. Interpretatie

6.1 Vertrekkingsexperimenten

De algemene indruk van de resultaten is dat voor wat betreft de zoutindringing onder springtij-omstandigheden een redelijke mate van overeenkomst tussen de resultaten bij verschillende vertrekkingen bestaat. Voor doortij worden evenwel aanzienlijke afwijkingen geconstateerd; de zoutindringing voor $\delta = 5$ neemt sterk toe ten opzichte van die bij $\delta = 10$.

In hoeverre vertrekkings effecten de realisaties beïnvloeden en afwijkingen veroorzaken wordt in deze paragraaf geanalyseerd.

Bij beschouwing van de verschillen tussen onderzoekssituaties met en zonder kribben moet rekening gehouden worden met het feit, dat naast afwijkingen als gevolg van vertrekkings effecten een aantal andere bronnen voor afwijkingen bestaat:

- schaafeffecten, die ontstaan doordat de hoogteschaal wordt gevarieerd (Reynoldsinvloeden, zie 4.2.1)
- verschillen in de bovenstrooms opgelegde getijrandvoorwaarden tengevolge van onzuiverheden in de ruwheidsbepaling (zie 4.1.2)

De schaafeffecten hebben tot gevolg, dat gedurende een langere periode rond de kenteringen laminaire invloeden een rol spelen, wanneer de vertrekking gereduceerd wordt. Dit betekent een sterkere mate van gelaagdheid en derhalve hogere dichtheden "onderin" het profiel. Het transport door gravitatie-cirkulatie neemt toe en daarmee ook de zoutindringing.

Een afwijking in het horizontale getij betekent een afwijking in de snelheden in de goot en dus een verandering van de getijweg (konvektieve transporten). Hogere getijsnelheden hebben sterkere menging tot gevolg; de dichtheden "onderin" de vertikaal nemen af en daardoor het transport t.g.v. gravitatie-cirkulatie. Of het eerste danwel het tweede effect overheerst, bepaalt het uiteindelijke resultaat voor de zoutindringing.

Vergelijking van de experimenten onder springtij-omstandigheden met $\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ aan de hand van figuur 5.6 en tabel 5.8 leidt tot de konklusie, dat de kribinvloed voor $\delta = 10$ groter is. Uit tabel 5.7 blijkt, dat de afname

van L_{imax} en L_{imin} na plaatsing van kribben ongeveer 20% kleiner is voor $\delta = 3,25$. Een vergelijkbaar percentage wordt gevonden voor de maximale vertikaal-gemiddelde dichtheden in raaien 45.000 en 50.000 (15 à 25%).

De turbulente uitwisseling ten gevolge van de wandinvloeden (hier: kribben) is dus sterker naar mate de vertrekking toeneemt. Derhalve is ook het verschil tussen realisaties met en zonder kribben groter bij sterkere vertrekking.

Uit het bovenstaande kan gekonkludeerd worden dat bij een vertrekkingreduktie van $\delta = 10$ naar $\delta = 3,25$ de beïnvloeding van de zoutverdeling door vertrekkingseffekten een orde kleiner is dan door het verwijderen van de kribben.

In bijlage 2 is langs theoretische weg afgeleid waarom en in welke mate de turbulente uitwisseling ten gevolge van kribben wordt beïnvloed door vertrekking.

De belangrijkste konklusies uit bijlage 2 zijn:

- in een vertrokken model van een stroomgeul met kribben wordt de bij de oevers gemengde vloeistof te snel over de doorsnede verspreid. Dit is een gevolg van een te sterke horizontale turbulente diffusie met name in het "midden" van de stroomgeul.
- het bovenstaand vertrekkingseffekt speelt bij $\delta = 10$ een rol, maar zal bij $\delta = 3,25$ (en in mindere mate bij $\delta = 5$) minder belangrijk zijn. Evenals in het prototype zijn de termen voor de horizontale turbulente diffusie in het laatste geval kleiner ten opzichte van de konvektieve termen en de verticale turbulente uitwisseling. Een vertrekkingseffekt daarin is dan eveneens minder significant.

Opvallend is het feit, dat de afzonderlijke proeven vooral in de situatie met kribben nabij de "punt" van de zouttong tijdens HWK een sterke overeenkomst vertonen voor beide vertrekkingen (fig. 5.6). Afwijkingen treden op rond de raaien 15.000 en 25.000. Gezien de geschetste overeenkomst zijn Reynoldsinvloeden bij experimenten met $\delta = 3,25$ van ondergeschikt belang.

De meetresultaten voor $\delta = 5$ wijken wat af.

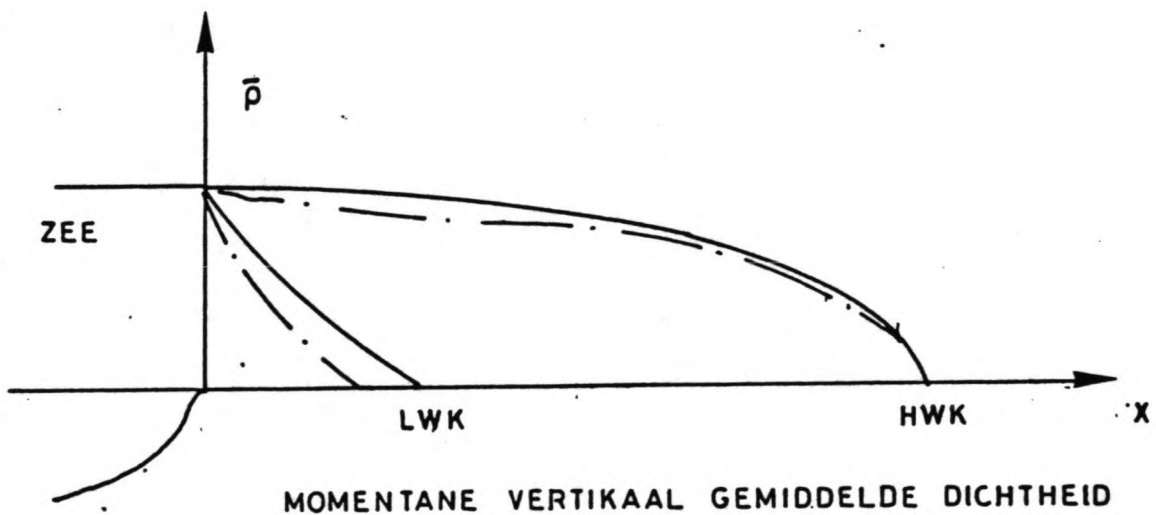
Dit kan vooral verklaard worden uit de afwijkingen in het horizontale getij. De getijdebieten in de proef met kribben zijn in vergelijking met de andere vertrekkingssituaties 3 à 4% te klein ten opzichte van de proef zonder kribben. De relatief geringe zoutindringing in deze proef is het gevolg van de

afname van de konvektieve transporten. De toename van het transport ten gevolge van gravitatie-cirkulatie wordt hierdoor kennelijk overheerst.

Ook voor $\delta = 5$ blijkt dat de afwijkingen in de realisaties nabij de punt van de zouttong tijdens HWK uitdempen. De afzonderlijke proeven komen in raaien 45.000 en 50.000 redelijk tot goed overeen met $\delta = 10$ en $\delta = 3,25$ (fig. 5.5 en 5.7).

Dat de overeenkomst tussen de proeven met en zonder kribben in de raaien nabij de punt van de zouttong rond HWK beter wordt, kan verklaard worden uit het feit dat daar de dichtheden bepaald worden door de dichtheidsverdeling rond LWK (in de mond van de goot) en de getijslag.

In zeewaartse richting wordt de invloed van de gravitatie-cirkulatie op het zouttransport belangrijker. De dichtheidsverdeling rond LWK wordt met name beheerst door dit mechanisme. Verschillen in de dichtheidsverdelingen rond LWK zijn onder bepaalde omstandigheden slechts in gedempte vorm terug te vinden rond HWK. Het principe is weergegeven in de onderstaande figuur. De getijwegen in beide proeven verschillen enigszins.



Onder doodtij-omstandigheden worden grote afwijkingen geconstateerd voor de afzonderlijke proeven met en zonder kribben met verschillende vertrekkingen ($\delta = 10$ en $\delta = 5$). Uit figuur 5.12 en tabel 5.10 blijkt, dat de zoutindringing voor $\delta = 5$ systematisch groter is dan voor $\delta = 10$. Het laatste is een gevolg van Reynoldsinvloeden rond de kenteringen.

Uit tabel BIII (bijlage 3) blijkt, dat de Reynoldsgetallen voor $\delta = 3,25$ (springtij) en $\delta = 5$ (doodtij), betrokken op de gehele waterdiepte, van dezelfde orde-grootte zijn. In het tweede geval blijkt evenwel de belangrijke dempende invloed van de sterkere mate van gelaagdheid in de doodtij-proef op de turbulente uitwisseling (groter Ri -getal, zie 3.1.2).

De verschillen tussen de realisaties met en zonder kribben voor $\delta = 10$ en $\delta = 5$ komen echter zeer goed overeen (tabel 5.12; raai 5.000 t/m 45.000).

De grote afwijkingen nabij de punt van de zouttong moeten hier buiten beschouwing blijven. Deze worden veroorzaakt door de laminaire invloeden bij $\delta = 5$, waardoor de uitwisseling tussen de lagen vrijwel tot nul wordt gereduceerd. Dit heeft een sterke toename van het transport door de dichtheidsstroming tot gevolg en derhalve een toename van de gemiddelde zoutindringing.

Ook de vertikaal-gemiddelde dichtheden rond LWK en HWK (fig. 5.12) komen goed overeen, wanneer rekening gehouden wordt met het feit dat de gemiddelde zoutindringing ca. 9 m toeneemt voor $\delta = 5$. Wanneer de maximale vertikaal-gemiddelde dichtheid in raai 45.000 voor $\delta = 10$ vergeleken wordt met raai 55.000 voor $\delta = 5$, dan is de dichtheid in het laatste geval 15% kleiner.

Ten aanzien van de geschetste overeenkomsten moet evenwel enige voorzichtigheid betracht worden, aangezien deze voortkomen uit de aanname, dat de "translatie" geoorloofd is.

6.2 Gevoeligheidsonderzoek kribparameters

Het verhogen van de ruwheid van een tak heeft tot gevolg, dat bij gelijke bovenafvoer het gemiddelde verhang over deze tak toeneemt. De getijgolf wordt sterker gedempt, wat tot uiting komt in kleinere amplitude en/of grotere fase-achterstanden stroomopwaarts ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.

Dit beeld wordt bevestigd wanneer de verschillende onderzoekssituaties met elkaar vergeleken worden (zie 5.3.1)

Uit de meetresultaten blijkt, dat de veronderstelling, dat de ruwheden in T8 en T10 bij benadering gelijk zijn niet zonder meer van toepassing is. Ondanks het feit dat de hydraulische randvoorwaarden in beide gevallen dezelfde waren, heeft de dubbeldaagse komponent in het laatste geval in de gehele goot een kleinere amplitude en een fase-achterstand. Er kan derhalve gekonkludeerd

worden, dat de ruwheid in T10 wat groter is, dan in eerste instantie verondersteld is.

De zoutverdeling wordt beïnvloed door de configuratie in de goot, waarbij twee aspecten van belang zijn:

- de ruwheid, die van invloed is op de getijdebieten.
- het doorstroomprofiel, dat afhankelijk van de getijdebieten de stroomsnelheden bepaald.

Een toename van de stroomsnelheden heeft in principe een tweeledig gevolg voor de zoutverdeling in de goot:

- 1) de hogere snelheden leiden tot een verhoging van het turbulentie-intensiteit en hebben derhalve een sterkere menging tot gevolg. De gemiddelde zoutindringingslengte neemt hierdoor af.

Deze toename van de menging is mede afhankelijk van de mate van gelaagdheid en de wand- en bodemruwheid (zie 3.1.2 en lit. 5).

- 2) de getijslag neemt toe, waardoor enerzijds de maximale zoutindringingslengte toeneemt en anderzijds de minimale afneemt.

Bovenstaande kan als volgt samengevat worden:

Stel: $\hat{u} >$

	L_{imin}	L_{imax}	ΔL_i
(1)	-	-	0
(2)	-	+	+

Het overheersen van mechanisme (1) danwel (2) in een bepaalde situatie is bepalend voor de zoutverdeling in de goot.

De zoutverdeling in T9 vertoont een sterke overeenkomst met T6 ondanks de verschillen in configuratie. Dit kan uitgaande van het voorgaande als volgt verklaard worden.

De getijdebieten in T9 zijn ongeveer 2,5% kleiner dan in T6 (tabel 5.13). Ter

hoogte van het kribbentrajekt is evenwel het doorstroomprofiel 4,5 à 12 % kleiner in T9, waardoor ter plaatse 2 à 9,5 % hogere snelheden verwacht worden.

Uit figuren 5.19 en 5.20 blijkt, dat mechanisme (2) in dit geval overheersend is, aangezien in raaien 15.000 t/m 35.000 in T9 hogere dichtheden gemeten zijn in de vloedfase (hogere ligging grensvlak). Tijdens de ebfase is het tegengestelde het geval. Uit de vorm van de dichtheidsprofielen blijkt dat de rol van mechanisme (1) nauwelijks verschilt in T6 en T9.

Bovenstrooms van het kribbentrajekt nemen de stroomsnelheden in T9 af ten gevolge van de vergroting van het doorstroomprofiel en worden kleiner dan in T6. In de dichtheidsprofielen van raai 45.000 is dit zichtbaar aan de lagere dichtheden in T9 in vergelijking tot T6.

Uiteindelijk resulteert dit laatste effect in een wat kleinere maximale zoutindringing voor T9. Wanneer de lengte van het kribbentrajekt kleiner is in verhouding tot de maximale zoutindringing, dan zal dit effect een belangrijker rol spelen. Naar de punt van de zouttong toe worden de dichtheden immers bepaald door de advektieve transporten (bij HWK).

Het gedeeltelijk opvullen van kribvakken vergroot de zoutindringing in de goot, zoals blijkt uit vergelijking van T9 en T8.

In bijlage 1 is aangetoond, dat de afname van de menging ten gevolge van kribben door het gedeeltelijk opvullen van de kribvakken niet ontstaat door de verminderde neervorming achter de kribben. Het "trapping"-mechanisme speelt een ondergeschikte rol in een kribbentrajekt.

Het bepalende mechanisme is de turbulente menging. Achter de kribben is de stroming zeer turbulent en vindt derhalve uitwisseling van massa plaats.

Dit plaatselijke mengingsmechanisme heeft een afname van de dichtheden onderin het profiel tot gevolg en vermindert zodoende het zouttransport door gravitatie-cirkulatie.

De gedeeltelijke opvulling van de kribvakken heeft een veel rustiger stroombeeld tot gevolg.

Het verhogen van de kribkruin tot boven de hoogste waterstand heeft weinig invloed op de zoutverdeling in de goot. Uit figuur 5.23 blijkt, dat de dichtheden in T10 rond HWK wat kleiner zijn dan in T8.

Bovenstaande kan verklaard worden door de lichte toename van de snelheden in T10 ten opzichte van T8 (figuren 5.21 en 5.22). Het doorstroomprofiel van de goot is immers gemiddeld 3% kleiner geworden. Mechanisme (2) (pag. 38) speelt blijkbaar een kleinere rol dan mechanisme (1).

De bovenstaande verschillen zijn evenwel erg klein (zie 5.3.2). Wanneer zij vertikaal gemiddeld worden vallen ze net buiten de instel nauwkeurigheid. Plaatselijk treden in de dichtheidsprofielen grotere verschillen op (figuur 5.24, rond de "grensvlakken").

Gekonkludeerd kan worden, dat de additionele menging die ontstaat door stroming over een krib, wanneer de kruin onder de hoogste waterstand ligt, gering is. Bij de hier beschreven proeven wordt dit effect gekompenseerd door de afname van de profielgemiddelde stroomsnelheden ten gevolge van het vergrote doorstroomprofiel (mechanisme (1)).

Verwacht mag worden, dat dit laatste effect een grotere rol speelt naarmate de kruin van de kribben lager ligt ten opzicht van de hoogste waterstand.

Wanneer het grensvlak ter hoogte van de kribkruin ligt kan er wel degelijk een belangrijke invloed van de stroming over de kruin verwacht worden. Langs de Nieuwe Waterweg (prototype) is hiervan slechts sprake bij enkele kribben; bovendien is dit afhankelijk van de fase van het getij. De ligging van het grensvlak fluktueert immers sterk gedurende een getijperiode.

Tenslotte moeten ten aanzien van het bovenstaande nog enkele opmerkingen gemaakt worden:

- de kribvakken zijn in T9 slechts voor ongeveer 40% opgevuld. In de Nieuwe Waterweg is dit percentage op veel plaatsen groter.
- de effectieve kriblengte die overblijft na de gedeeltelijke opvulling is tweemaal de dikte van de wand(ruwheids)strips (loodrecht op de stroomrichting). Deze verhouding is aan de lage kant.

7. Konklusies en aanbevelingen

In het algemeen kan gesteld worden, dat kribben vooral van invloed zijn op de turbulente uitwisseling van impuls en massa. De toename van de turbulente schuifspanningen langs de wanden heeft slechts een lichte afname van de getijdebeten tot gevolg.

De turbulente menging in een stroomgeul wordt in belangrijke mate versterkt door kribben. Dit leidt tot een afname van het transport t.g.v. gravitatie-cirkulatie en derhalve tot een kleinere zoutindringing. Andere mengingsmechanismen als "trapping" in de neren achter de kribben en de dichtheidsstromingen in de kribvakken spelen een ondergeschikte rol.

Hiervan uitgaande kunnen met betrekking tot het vertrekkingsonderzoek de volgende konklusies worden getrokken:

- een vertrekkingsredukties heeft tot gevolg, dat de verschillen in zoutindringing tussen onderzoekssituaties met en zonder kribben enigszins afnemen. De verschillen t.g.v. de ingrepen (zonder/met kribben) zijn evenwel een orde groter dan deze afname (het vertrekkings-effect). De vertrekkingsinvloeden zijn derhalve van ondergeschikt belang voor de interpretatie van de verschillen tussen proeven met en zonder kribben.

Bij een vertrekkingsreduktie van $\delta = 10$ naar $\delta = 3,25$ is onder springtijomstandigheden een afname van 15 à 25% geconstateerd van deze dichtheidsverschillen, tussen proeven met en zonder kribben, nabij de punt van de zouttong rond hoogwaterstroomkentering.

Onder doottij-omstandigheden is deze afname bij een vertrekkingsreduktie van $\delta = 10$ naar $\delta = 5$ ongeveer 15%.

De zoutindringingslengten onder springtij-omstandigheden vertonen een sterke overeenkomst bij de verschillende vertrekkingen.

- de bovenstaande percentages zijn voor de springtij-omstandigheden direkt toepasbaar bij vertaling van modelresultaten ($\delta = 10$) naar een prototype-situatie.

In bijlage 2 is immers aangetoond, dat zowel in het prototype als voor $\delta = 3,25$ de turbulente diffusie in horizontale richting verwaarloosbaar is. Derhalve zijn ook vertrekkingsinvloeden hierin verwaarloosbaar voor $\delta = 3,25$. Bij vertrekking $\delta = 10$ is dit niet het geval.

Het bovenstaande is eveneens onder doortij-omstandigheden van toepassing.

- de resultaten van het kribonderzoek in het Getijmodel (zie deel 1), kunnen eveneens aan de hand van deze tendensen vertaald worden naar het prototype. Hierbij moet men erop bedacht zijn, dat dan behalve kribben meer factoren een rol spelen (havens, splitsingspunten e.d.). De vertrekkingseffekten met betrekking tot de stroming rond kribben komen dan in mindere mate tot uiting.

Ten aanzien van het gevoeligheidsonderzoek kribparameters kunnen onderstaande konklusies getrokken worden:

- een gedeeltelijke opvulling van de kribvakken heeft een sterke toename van de zoutindringing tot gevolg ten opzichte van de situatie met lege kribvakken. Dit is een gevolg van de grotere konvektie in het kribbentrajekt en een geringer turbulentie-niveau ten gevolge van een rustiger stroombeeld.
- Het verhogen van de kribkruin tot boven de hoogste waterstand heeft slechts een geringe invloed op de inhomogene waterbeweging. Wanneer de kruinen onder de laagste waterstand liggen, wordt in de bovenlagen van het profiel extra turbulentie opgewekt door de stroming over de kribben. Het verhogen van de kruinen vermindert het doorstroomprofiel en heeft derhalve een lichte snelheidstoename tot gevolg, waardoor ook de turbulentie-intensiteit in de hoofdstroom toeneemt. Het blijkt, dat de toename van de turbulente menging in beide gevallen bij benadering gelijk is.

De resultaten van dit onderzoek leiden tot de volgende aanbevelingen:

- Bij de wiskundige modellering van een stroomgeul met kribben (vergelijk Nieuwe Waterweg) is het bij een grootschalige aanpak slechts noodzakelijk rekening te houden met een verhoogde turbulente uitwisseling ten gevolge van de wanden. Aan andere mechanismen, zoals neervorming achter kribben en de dichtheidsstroming in de kribvakken, behoeft geen directe aandacht besteed te worden. Het bovenstaande zal in mindere mate van kracht zijn, wanneer de kriblengte toeneemt.
- Het "leegbaggeren" van (gedeeltelijk) opgevulde kribvakken kan leiden tot

een afname van de zoutindringing. In welke mate dit het geval is, hangt af van de kribconfiguratie. De effectieve kriblengte (kriblengte minus de afstand, loodrecht op de stroomrichting, waarover het kribvak is opgevuld), de kribafstand en de hydraulische omstandigheden zijn van belang. Kwantificering middels onderzoek moet uitwijzen of het "leegbaggeren" van kribvakken zinvol is in een specifieke situatie.

Referenties

- [1] Waterloopkundig Laboratorium, M2000-4 WL, WWZW 31.004.31 RWS (BER/DZW),
"Projektbeschrijving Waterloopkundig Systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken: werkplan"
april 1984

- [2] Waterloopkundig Laboratorium, M896-32, "Getijgootonderzoek; vertrekkingsonderzoek met wandruwheid, en een combinatie wand- en bodemruwheid; variatie lengteschaal"
oktober 1976

- [3] Waterloopkundig Laboratorium, M1350-XI, "Grondslagen Waterhuishoudkundig onderzoek ten behoeve van het Noordelijk Deltabekken in het Getijmodel Rijnmond"
mei 1981

- [4] Waterloopkundig Laboratorium, S269-00, "Speurwerk waterhuishoudkundig onderzoek Noordelijk Deltabekken; onderzoek schaalvertrekking overtrokken model - Getijmodel Rijnmond ("Lek-meting")"
maart 1985

- [5] Waterloopkundig Laboratorium, M896-39 (deel 1, 2 en 3),
"Reproductie zouttoestand getijrivieren; invloed van kribben op zoutverdeling"
jan 1978 - nov. 1979

- [6] Waterloopkundig Laboratorium, M1186-II, "Reconstructie Noorderhoofd annex verondieping mond Rotterdamsche Waterweg; principe onderzoek naar gedeeltelijk verwijderen Noorderhoofd"
augustus 1974

- [7] Anwar, H.O., Atkins, R., 1980, "Turbulence measurements in simulated tidal flow"
Journal of the Hydr. Div., Proc. ASCE, Vol. 106, no. HYB, pp. 1273-1289

- [8] Okubo, A., 1983, "Effect of shoreline irregularities on streamwise dispersion in estuaries and other embayments"
Neth. Journal of Sea Research, 6, pp. 213-224
- [9] Delft Hydraulics Laboratory, R880, "Momentum and mass transfer in stratified flows; report on literature study"
december 1974 (1986)
- [10] Booij, R., 1986, "Turbulentie in de waterloopkunde: handleiding kollege b82"
Technische Hogeschool Delft
- [11] Schonfeld, J.C., Kranenburg, C., 1981, "dichtheidsstromen en interne golven; handleiding kollege b81"
Technische Hogeschool Delft
- [12] Fischer, H.B., et al, 1978, "Mixing in Inland and Coastal Waters"
Academic Press, New York
- [13] Waterloopkundig Laboratorium, "Getijgoot; beschrijving van de faciliteit en het hierin uit te voeren onderzoek, beknopt bouwverslag en financiële verantwoording"
april 1986.

Bijlage 1

A) Afschatting bijdrage "trapping" en dichtheidsstroming in kribvak aan zout-
indringing

Uitgaande van de formule van Okubo, zoals beschreven in 3.1.2, wordt "trapping" gekwantificeerd.

formule Okubo:

$$D = \frac{D'}{1+r} + \frac{ru_0^2}{2k(1+r)^2(1+r+\frac{\omega}{k})}$$

D' = disp. koëff. in hoofdstroom.

r = verhouding volumina oeveronregelmatigheden - hoofdstroom

k^{-1} = kar. uitwisselingstijd tussen oeveronregelmatigheden en hoofdstroom

u_0 = snelheidsamplitude

ω^{-1} = getijperiode.

Er moet in eerste instantie een schatting gemaakt worden voor k^{-1} .

Het mechanisme funktioneert als volgt:

de neer achter de krib houdt water vast met een bepaalde dichtheid; na een "ronde" is een dichtheidsverschil ontstaan tussen kribvak en hoofdstroom, afhankelijk van de longitudinale dichtheidsgradiënt in de hoofdstroom; menging kan vervolgens enerzijds plaatsvinden door turbulente uitwisseling en anderzijds t.g.v. dichtheidsstroming.

De snelheid van de neer is bepalend voor de karakteristieke uitwisselingstijd, evenals de geometrie van het kribvak.

Uitgaande van de prototype-maten:

totale breedte rivier : 400 m.

diepte rivier : 15 m.

kriblengte : 30 m

kribafstand : 600 m.

diepte in kribvak : 15 m.

Neem een gemiddelde snelheid in de hoofdstroom aan van $\bar{u} = 0,5 \text{ m/s}$. De snelheden in het kribvak zijn ongeveer een kwart van die in de hoofdstroom, derhalve: $\bar{u}_{\text{kribvak}} = 0,125 \text{ m/s}$.

Neem aan dat de neer zich uitstrekt over het halve kribvak.

De karakteristieke uitwisselingstijd is dan:

$$k^{-1} = \frac{2 \cdot 300 \text{ m}}{0,125 \text{ m/s}} = 4800 \text{ sec.}$$

De tweede term uit de formule van Okubo krijgt de volgende waarde:

$$u_0 = 1 \text{ m/s (doodtij)}$$

$$r = 0,176$$

$$\omega^{-1} = 44700 \text{ sec.}$$

$$\text{dus: } \frac{ru_0^2}{2k(1+r)^2 \left(1+r+\frac{\omega}{k}\right)} = 240 \text{ m}^2/\text{sec}$$

De waarde van D is van de orde 1500 à 2000 m²/sec (karakteristieke waarde voor de Nieuwe Waterweg uit ZWENDL-sommen voor de Nieuwe Waterweg)

$$\begin{aligned} \frac{D'}{1+r} &= \frac{1500}{1,176} \text{ à } \frac{2000}{1,176} = \\ &= 1300 \text{ à } 1700 \text{ m}^2/\text{sec} \end{aligned}$$

De bijdrage van het trapping-mechanisme aan de dispersie-coëfficiënt bedraagt in de onderzoekssituatie zoals in de Getijgoot is aangebracht in het ongunstigste geval: 12 à 16 %.

Opmerkingen:

- in veel gevallen is het kribvak beduidend kleiner ten opzichte van de hoofdstroom; hierdoor neemt de bijdrage van trapping sterk af.
- de bijdrage aan de dispersie-coëfficiënt is niet direkt gekoppeld aan de zoutindringing.

B) Bijdrage van dichtheidsstroming aan menging.

Uitgangspunten:

- dichtheid in hoofdstroom homogeen over de doorsnede.
- dichtheidsverschil ontstaat t.g.v. de karakteristieke uitwisselingstijd (zie eerder).
- dichtheid in kribvak homogeen over de vertikaal.

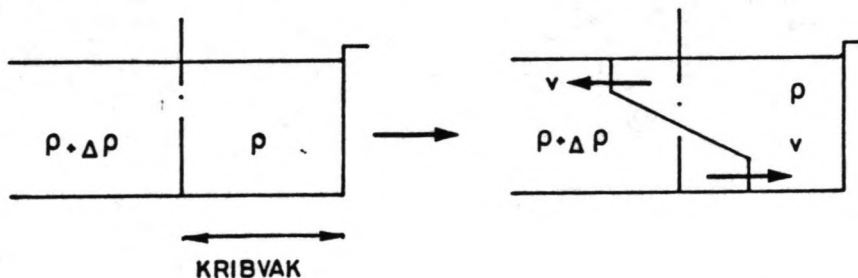
Een karakteristieke dichtheidsgradient in de tijd voor de Nieuwe Waterweg is:

$$\text{doodtij} : 1 \text{ kg/m}^3 / 6 \text{ uur}$$

$$\text{springtij} : 10 \text{ kg/m}^3 / 6 \text{ uur} = 0,028 \text{ kg/m}^3 / \text{min.}$$

Na de karakteristieke uitwisselingstijd voor springtij ($k^{-1} = 53,3 \text{ min}$) is een dichtheidsverschil $\Delta\rho$ ontstaan van:

$$\Delta\rho = 0,028 * 53,3 = 1,5 \text{ kg/m}^3$$



Bij aanname van een twee-lagenstroming bedraagt de voortplantingssnelheid van de "tong" met de hogere dichtheid:

$$\begin{aligned} v &= 0,4 \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} g h \\ &= 0,4 \sqrt{\frac{1,5}{1000}} * 9,81 * 15 = 0,188 \text{ m/s} \end{aligned}$$

De uitwisselingstijd is dan in de orde van:

$$T = \frac{2 * l_{k/v}}{v}$$

$$= 2 \cdot 30 / 0,188 = 319 \text{ sec.}$$

Dit is zeer klein t.o.v. de getijperiode en dus is de invloed van de dichtheidsstroming in de kribvakken te verwaarlozen.

konklusies bijlage 1:

- trapping speelt een beperkte rol in een traject met kribben. Wanneer sprake is van (gedeeltelijk) opgevulde kribvakken en/of een kortere karakteristieke uitwisselingstijd neemt de invloed sterk af.

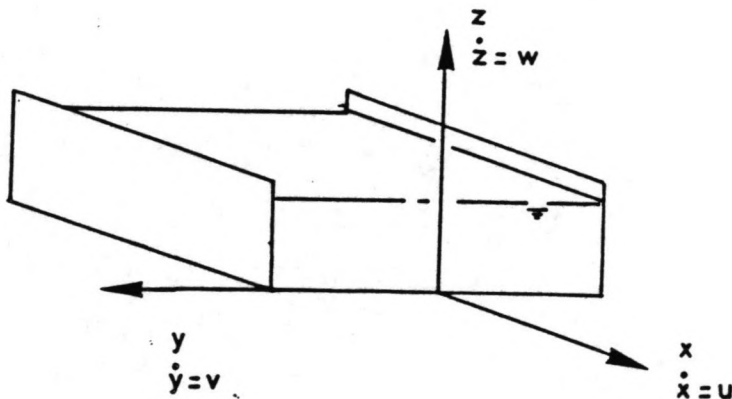
- de dichtheidsstroming tussen de rivier en de kribvakken speelt geen rol van betekenis.

Bijlage 2.

Vertrekkingseffekten met betrekking tot de turbulente uitwisseling [lit. 3]

In deze bijlage worden de vertrekkingseffekten afgeleid voor de turbulente uitwisseling in een stroomgeul. Vervolgens wordt afgeschat in welke mate zij van invloed zijn bij de verschillende vertrekkingssituaties en wat hun specifieke invloed is in een stroomgeul met kribben.

De basisvergelijkingen, waarmee de inhomogene waterbeweging beschreven kan worden zijn:



behoud van massa:

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

behoud van impuls:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{u}^2)}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{u} \bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{u} \bar{w})}{\partial z} + \frac{\partial (\bar{\rho} \overline{u'^2})}{\partial x} \\ + \frac{\partial (\overline{\rho u' v'})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{\rho u' w'})}{\partial z} + \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \bar{\rho} f \bar{v} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

In een model kunnen evenwel ook andere turbulente termen een rol van betekenis spelen, te weten:

- turbulente wandschuifspanning: $\bar{\rho} \overline{u'v'}$ en $\bar{\rho} \overline{v'w'}$ (vgl. (2) en (3))
- turbulente diffusie in het horizontale vlak: $\bar{\rho} \overline{u'u'}$ en $\bar{\rho} \overline{v'v'}$ (vgl. (5))

De bovenstaande termen kunnen beschreven worden met het gradiënt-type-model uit 3.1.2:

$$\text{b.v. } \overline{\rho'w'} = -\epsilon_{dz} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} \quad (\text{vertikale turbulente diffusie})$$

$$\text{met: } \epsilon_{dz} = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| G(\text{Ri})$$

De "dimensieloze" dempingsfunctie $G(\text{Ri})$ hoort onafhankelijk te zijn van de mate van vertrekking.

De koëfficiënt ϵ wordt bepaald door de wand- en bodemruwheid (via mengweglengte).

In een riviertak met kribben is nabij de oevers natuurlijk sprake van overheersende wandinvloed. Naar het midden van de stroomgeul toe neemt deze invloed evenwel af en wordt de bodeminvloed belangrijker. Bij een toenemende breedte-diepte-verhouding komt het bovenstaande sterker tot uiting.

Empirisch is bepaald, dat ϵ in een homogene, permanente situatie evenredig is met $u_* L$, waarin L een karakteristieke lengtemaat is.

In geval van overheersende wandinvloed (vrije turbulentie nabij kribben!) kan gelden: $\epsilon \sim \Delta u l_k$, waarin l_k de kriblengte en Δu een karakteristiek snelheidsverschil is.

Bij maatgevende bodeminvloed geldt: $\epsilon \sim u_{b*} h$, waarin $u_{b*} = \sqrt{gh_i}$.

Onderstaand worden de vertrekkingseffekten bepaald in de turbulente uitwisseling in verticale en horizontale richting met maatgevende bodeminvloed (a en b) en in horizontale richting met maatgevende wandinvloed (c).

schaaleis

konvektieve en turbulente termen schalen op dezelfde wijze:

$$a) \quad n \left(\frac{\partial(\bar{\rho} \bar{u})}{\partial x} \right) = n \left(\frac{\partial(\bar{\rho}' w')}{\partial z} \right)$$

$$\text{dus: } n(\bar{\rho}' w') = n_h^{3/2} \cdot n_1^{-1} \quad (6)$$

$$b) \quad n \left(\frac{\partial(\bar{\rho} \bar{u})}{\partial x} \right) = n \left(\frac{\partial(\bar{\rho}' v')}{\partial y} \right)$$

$$\text{dus: } n(\bar{\rho}' v') = n_h^{1/2} \quad (7)$$

c) als (b)

volgens turbulentie model

met maatgevende bodemruwheid:

$$a) \quad n(\bar{\rho}' w') = n(u_{b*} h \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z}) = n_h \cdot h_1^{-1/2} \quad (8)$$

$$b) \quad n(\bar{\rho}' v') = n(u_{b*} h \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial y}) = n_h^2 \cdot n_1^{-3/2} \quad (9)$$

met maatgevende wandruwheid:

$$c) \quad n(\bar{\rho}' v') = n(\Delta u \quad l_k \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial y}) = n_h^{1/2} \quad (10)$$

vertrekkingseffekt

a) $(6)/(8) = n_h^{1/2} \cdot n_1^{-1/2} = \delta^{-1/2}$

b) $(7)/(9) = n_h^{-3/2} \cdot n_1^{3/2} = \delta^{3/2}$

c) $(7)/(10) = 1$

In tabel B1 is het resultaat gegeven voor de diverse turbulente bijdragen, welke analoog aan bovenstaande afleiding kunnen worden bepaald.

In een schaalmodel wordt met behulp van weerstandselementjes het vertrekkingseffekt in de turbulente bodemschuifspanning $\bar{\rho} \bar{u}'\bar{w}'$ gekorrigeerd. De ruwheid van de bodem wordt met een faktor $(n_1/u_h)^{1/2}$ verhoogd.

Hiervan uitgaande moeten de berekende vertrekkingseffekten bij een maatgevende bodeminvloed opnieuw bepaald worden. Dit is in het vervolg van deze bijlage gedaan. Wanneer sprake is van een maatgevende wandinvloed is geen correctie noodzakelijk, aangezien het verhogen van de bodemweerstand dan niet van invloed is.

Uit tabel BI:

$$\frac{[\frac{\partial(\bar{\rho}u'w')}{\partial z}] \text{ schaalreis}}{[u_*h \frac{\partial u}{\partial z}] \text{ model}} = \delta^{-1/2} \quad (= 1 \text{ na correctie})$$

dus:

$$[u_*h \frac{\partial u}{\partial z}] \text{ model, gekorr.} = \delta^{-1/2} \cdot [u_*h \frac{\partial u}{\partial z}] \text{ model}$$

De vertrekkingseffekten kunnen op dezelfde wijze als eerder in deze bijlage berekend worden:

schaaleis

$$a) \quad n(\overline{\rho'w'}) = n_h^{3/2} \cdot n_1^{-1} \quad (\text{zie 6})$$

$$b) \quad n(\overline{\rho'v'}) = n_h^{1/2} \quad (\text{zie 7})$$

volgens turbulentiemodel

$$a) \quad n(\overline{\rho'w'}) = \delta^{-1/2} \cdot n_h \cdot n_1^{-1/2} = n_1^{-1} \cdot n_h^{3/2} \quad (11)$$

$$b) \quad n(\overline{\rho'v'}) = \delta^{-1/2} \cdot n_h^2 \cdot n_1^{-3/2} = n_h^{5/2} \cdot n_1^{-2} \quad (12)$$

vertrekkingseffekt

$$a) \quad (6)/(10) = 1$$

$$b) \quad (7)/(11) = n_1^2 \cdot n_h^{-2} = \delta^2$$

In de laatste kolom van tabel BI is weergegeven met welke faktor de turbulente termen te groot worden voor de verschillende vertrekkingen.

Uit het voorgaande blijkt dat in een traject met kribben nabij de oevers de turbulente uitwisseling in het horizontale vlak korrrekt wordt weergegeven.

In het midden van een relatief brede stroomgeul, waar de bodeminvloeden overheersen, zijn deze termen bij benadering een faktor δ^2 te groot.

In de rest van de doorsnede is sprake van een overgangsgebied.

In de vergelijking voor het behoud van opgeloste stof (5) domineren in het prototype de konvektieve transporten in langsrichting en turbulente diffusie in verticale richting.

In een model met $\delta = 10$ worden de turbulente transporten in horizontale richting in het ongunstigste geval een faktor 100 te sterk weergegeven en is het derhalve aannemelijk dat zij de zoutverdeling gaan beïnvloeden.

Bij een vertrekking $\delta = 3,25$ is dit nog maar een faktor 10 en neemt de relatieve invloed ten opzichte van de andere termen sterk af en kan aangenomen worden dat zij vrijwel verwaarloosbaar zijn. Er treedt dan vrijwel geen vertrekkingseffekt op in turbulente uitwisseling.

Kribben hebben een sterke mengende werking (zowel in verticale als in horizontale richting) nabij de wanden (oevers). De gemengde vloeistof wordt mede door de turbulente menging in dwarsrichting naar het midden van de goot getransporteerd. In een vertrokken model vindt deze uitwisseling in te sterke mate plaats. Hierdoor is het mengende effect van kribben op de gehele doorsnede groter en zijn de verschillen in zoutindringing tussen proeven met en zonder kribben groter dan in het prototype. Een vertrekkingreduktie impliceert derhalve een vermindering van deze verschillen.

term	vertrekkingseffekt		$\delta = 10$	$\delta = 5$	$\delta = 3,25$	
	voor/na correctie		na correctie			
$\frac{\partial(\overline{\rho' u' w'})}{\partial z}$	$\delta^{-1/2}$	1	1	1	1	maatgevende bodeminvloed! (turb. schuifsp.)
$\frac{\partial(\overline{\rho' u'})}{\partial x}$	$\delta^{3/2}$	δ^2	100	25	10	maatgevende bodeminvloed! (turb. diffusie)
$\frac{\partial(\overline{\rho' v'})}{\partial y}$	$\delta^{3/2}$	δ^2	100	25	10	
$\frac{\partial(\overline{\rho' w'})}{\partial z}$	$\delta^{-1/2}$	1	1	1	1	
$\frac{\partial(\overline{\rho' u'})}{\partial x}$	1		1	1	1	maatgevende wandinvloed! (turb. diff.)
$\frac{\partial(\overline{\rho' v'})}{\partial y}$	1		1	1	1	
$\frac{\partial(\overline{\rho' w'})}{\partial z}$	δ^{-2}		0,01	0,04	0,10	

tabel BI: vertrekkingseffekten in turbulente termen

Bijlage 3

Berekening schaalwaarden

In een schaalmodel wordt gestreefd naar gelijkvormigheid tussen model en prototype. Dit betekent dat de verhoudingen van de karakteristieke waarden in model en prototype gelijk zijn.

Hieruit kunnen een aantal schaalregels worden afgeleid:

- 1) kinematische gelijkvormigheid:

$$n_u = n_l/n_t \text{ (schaalwet)}$$

- 2) dynamische gelijkvormigheid (schaalvoorwaarde van Froude):

$$n_u = \sqrt{n_h}$$

Wanneer de $\Delta\rho/\rho$ in prototype en model gelijk is wordt zowel voldaan aan de schaalregel volgens het externe als het interne Froudegetal

$$(F_e = \frac{u}{\sqrt{gh}} \text{ en } F_i = \frac{u}{(\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} g h)})$$

- 3) geometrische gelijkvormigheid:

$$n_z = n_h$$

- 4) Reynoldsschaalregel:

$$n_u = n_h^{-1}$$

Het is duidelijk dat schaalregels (2) en (4) met elkaar in strijd zijn in een vertrokken model. Er wordt gekozen voor het schalen volgens de Froude-schaalregel; het schaafeffect, dat hierdoor ontstaat, komt in het vervolg van deze bijlage aan de orde.

Uitgaande van $n_l = 400$ en $\delta = 10$, $\delta = 5$, respectievelijk $\delta = 3.25$ kunnen de schaalwaarden met behulp van (1), (2) en (3) berekend worden (tabel I).

Uit de strijdige Reynolds-voorwaarde volgt, dat de snelheden in het model relatief te laag zijn ten opzichte van het prototype. Dit is van invloed zijn op de turbulentie-structuur in de stroming en kan zodoende laminaire invloeden tot gevolg hebben. Wanneer het Reynoldsgetal van de stroming voldoende groot is, wordt aangenomen dat er geen sprake is van schaafeffekten.

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} > 10^4$$

waarin: u: karakteristieke snelheid

l: karakteristieke lengte

ν : kinematische viskositeit.

In figuur B3.1 is het bovenstaande geïllustreerd aan de hand van meetgegevens [lit. 9].

In tabel BII zijn de Reynoldsgetallen bepaald voor de diverse vertrekkingsexperimenten. Als karakterieke snelheid is de getijgemiddelde snelheid in de mond van de goot genomen (uit INITAK-berekeningen). De gemiddelde waterdiepte is de karakteristieke lengteschaal.

grote amplitude ("springtij"):

$\delta = 10$	$\delta = 5$	$\delta = 3.25$
$\bar{u} = 0,111 \text{ m/s}$	$\bar{u} = 0,074 \text{ s}$	$\bar{u} = 0,062 \text{ m/s}$
$\bar{h} = 0,375 \text{ m}$	$\bar{h} = 0,188 \text{ m}$	$\bar{h} = 0,122 \text{ m}$
$Re = 4,2 \cdot 10^4$	$Re = 1,4 \cdot 10^4$	$Re = 0,8 \cdot 10^4$

kleine amplitude ("doodtij"):

$\delta = 10$	$\delta = 5$
$\bar{u} = 0,089 \text{ m/s}$	$\bar{u} = 0,059 \text{ m/s}$
$\bar{h} = 0,375 \text{ m}$	$\bar{h} = 0,188 \text{ m}$
$Re = 3,3 \cdot 10^4$	$Re = 1,1 \cdot 10^4$

tabel BII: Reynoldsgetallen

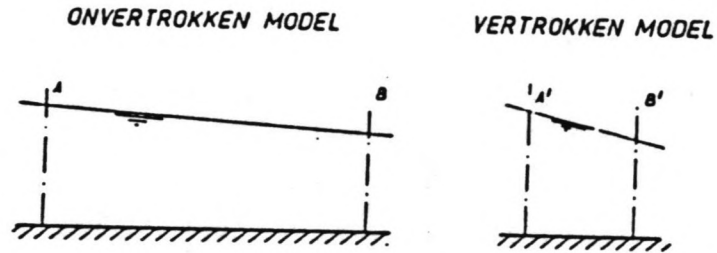
De stromingssituatie voldoet getijgemiddeld voor alle proeven aan de Reynoldsvoorwaarde.

Er moet evenwel rekening mee gehouden worden dat de snelheden rond de kenteringen en tijdens de vloedfase lager zijn.

Bepaling van schaalwaarde gootweerstand:

Als gevolg van vertrekking moet het gemiddelde verhang van de waterspiegel in de goot toenemen, immers:

$$n_i = \frac{n_h}{n_l}$$



Dit grotere verhang wordt gerealiseerd door het vergroten van de totale weerstand van de goot (zonder kribben).

In 4.1.2 wordt beschreven, op welke wijze de ruwheid wordt aangepast.

Vervolgens kan uitgaande van onderzoekssituatie (1), waarin de totale ruwheid bekend is, de gewenste totale ruwheid voor het vertrokken model van deze onderzoekssituatie bepaald worden (2).

$$i_1 = \frac{n_h}{n_l} \cdot i_2 = \frac{1}{\delta} \cdot i_2 \quad (1)$$

De formule van Chézy geeft:

$$i = \frac{\bar{u}^2}{C^2 R} \quad (2)$$

Uit (1) en (2) volgt:

$$\frac{\bar{u}_1^2}{C_1^2 R_1} = \frac{1}{\delta} \frac{\bar{u}_2^2}{C_2^2 R_2} \quad (3)$$

Het model is geschaald volgens Froude:

$$\frac{u_1^2}{gh_1} = \frac{u_2^2}{gh_2} \quad (4)$$

Uit (3) en (4) volgt:

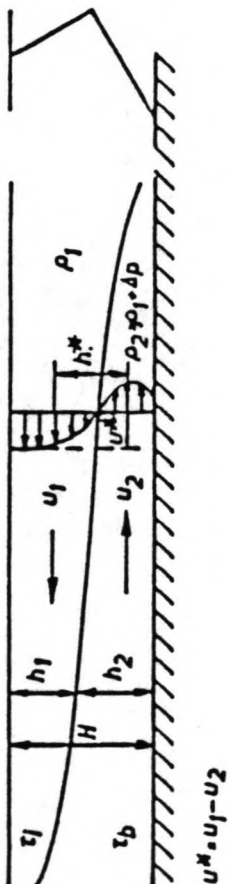
$$C_2^2 = \frac{1}{\delta} \cdot \frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot C_1^2 \quad (5)$$

Wanneer n_1 konstant is dan:

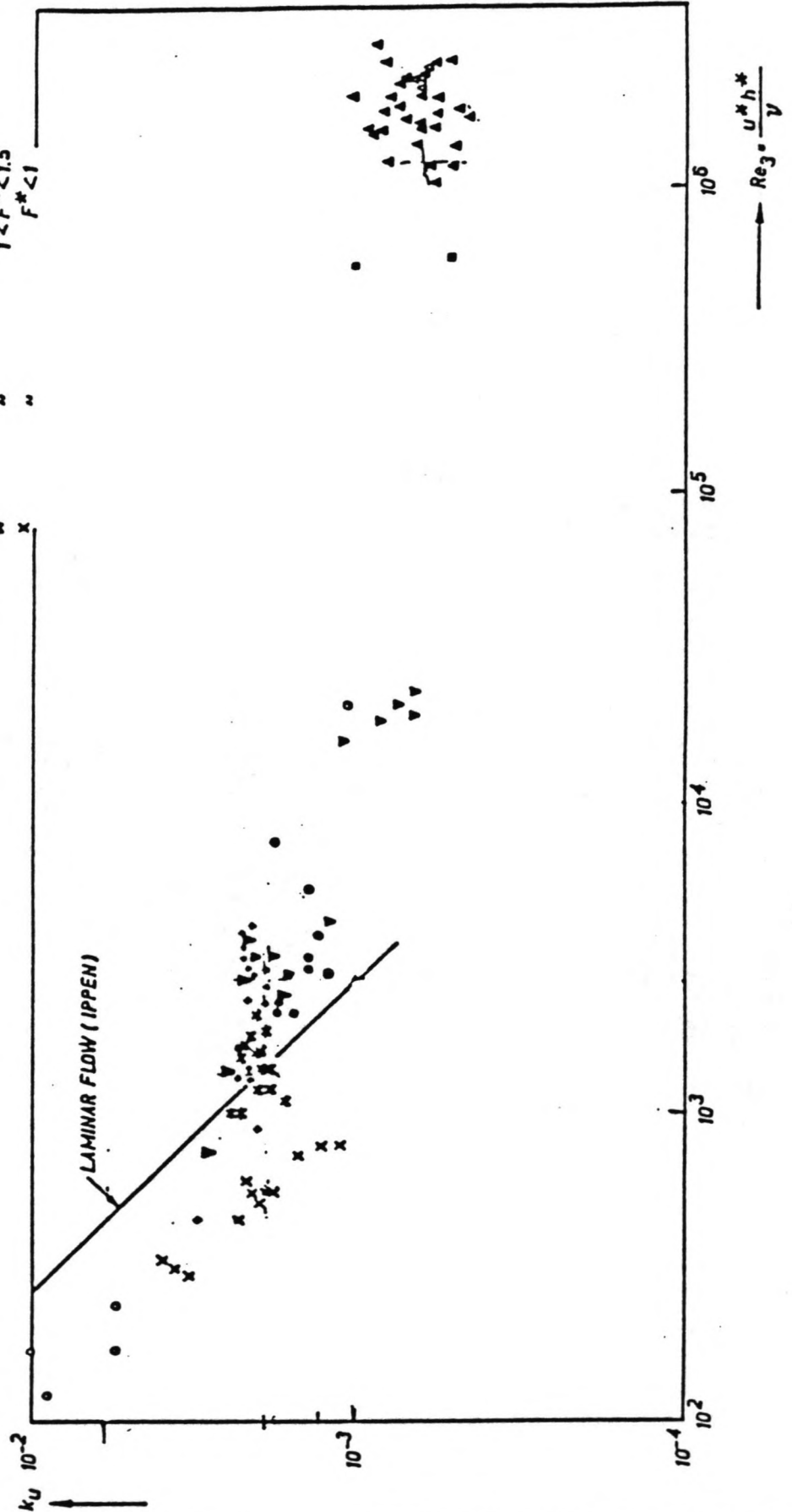
$$C_2^2 = \frac{R_1}{R_2} \cdot C_1^2 \quad (6)$$

De waarde van C_2 is een maat voor de weerstand van de gehele goot.

WEDGE WITH COUNTER CURRENTS



- KEULEGAN (ANALYZED BY ABRAHAM 1970)
- BARR
- ▽ ABRAHAM/EYSINK [1970]
- RUKSWATERSTAAT [1974], HARINGVLIET
- ▲ YHUIDEN LOCK
- △ ROTTERDAM WATERWAY (LOW WATER SLACK)
- ▽ MACAGNO/ROUSE [1966] $F^* > 2$
- ◆ $15 < F^* < 2$
- ✕ $1 < F^* < 1.5$
- ✕ $F^* < 1$



VARIATIE VAN DE KOEFFICIENT VOOR DE SCHUIFSPANNING OP HET GRENSVLAK (k_u) MET HET REYNOLDS-GETAL (Re_3)

Bijlage 4

Permanentie-proeven

Het uitvoeren van permanentie-proeven is een eenvoudige mogelijkheid om de ruwheid van de goot te bepalen. Dit is noodzakelijk voor het berekenen van het getijtank-programma, waarmee de getijdebieten aan de bovenstroomse zijde van de goot worden gestuurd.

De werkwijze is als volgt:

- een konstant debiet wordt aan de bovenstroomse zijde van de goot toegevoerd. De stroomsnelheden liggen in de orde van de verwachte getijsnelheden.
- middels een vaste stand van de regelcilinder wordt de gewenste gemiddelde waterstand in de goot ingesteld.
- met behulp van waterstandsvolgers wordt het verhang in de goot bepaald.
- per meetraai kan vervolgens de Chézy-waarde op de volgende wijze worden berekend:

$$\text{Bernoulli: } i_E = \frac{d}{dx} \left[\frac{\bar{u}^2}{2g} + h \right] \quad (1)$$

$$\text{Chézy: } i_E = \frac{\bar{u}^2}{RC^2} \quad (2)$$

$$\text{Uit (1) en (2) volgt: } C = \frac{\bar{u}}{\sqrt{R}} \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{\bar{u}^2}{2g} + h \right) \right]^{-\frac{1}{2}}$$

- waarin: i_E = energieverhang
 \bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid in meetraai
 h = waterstand in meetraai
 R = hydraulische straal in meetraai
 x = coördinaat in lengterichting

- via middeling kan tenslotte de C-waarde van het gewenste traject bepaald worden.

VERTREKKING 10 :						
MEETRAAI	ZONDER KRIBBEN			MET KRIBBEN		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.1 \cdot 10^{-3}$	$21.8 \cdot 10^{-3}$	89.0	$0.0 \cdot 10^{-3}$	$21.7 \cdot 10^{-3}$	89.0
4.500	0.7	21.0	90.1	1.2	20.8	89.5
12.000	0.8	20.1	93.4	1.6	19.4	92.2
36.000	3.0	16.8	109.5	4.3	14.3	108.9
48.000	4.0	15.3	119.2	5.2	12.3	121.3
60.000	4.6	14.7	130.9	5.6	11.8	133.9
72.000	5.4	13.9	143.6	6.4	11.4	148.1
84.000	6.0	14.0	154.7	6.8	11.9	160.4
96.000	6.3	14.7	164.9	7.2	12.8	170.8
108.000	7.0	15.5	174.1	7.9	13.5	179.7
120.000	7.4	16.7	178.6	8.3	14.9	-173.4

VERTREKKING 5 :						
MEETRAAI	ZONDER KRIBBEN			MET KRIBBEN		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.0 \cdot 10^{-3}$	$22.2 \cdot 10^{-3}$	89.8	$0.2 \cdot 10^{-3}$	$22.4 \cdot 10^{-3}$	90.0
4.500	0.4	21.8	91.8	0.6	21.8	91.0
12.000	1.0	21.0	95.2	1.6	20.4	94.2
24.000	2.4	19.6	102.1	3.2	18.2	101.1
36.000	3.0	18.6	109.7	4.2	16.2	110.4
48.000	3.6	17.6	118.0	5.0	15.0	120.3
60.000	3.8	17.2	127.5	5.0	14.6	129.7
72.000	5.2	16.6	137.1	6.2	14.2	139.7
84.000	5.8	16.6	145.7	6.8	14.4	148.4
96.000	6.0	17.0	153.5	7.0	14.8	156.3
108.000	6.6	17.6	160.8	7.4	15.4	163.4
120.000	7.0	18.4	167.0	7.8	16.2	169.7

VERTREKKING 3.25 :						
MEETRAAI	ZONDER KRIBBEN			MET KRIBBEN		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.0 \cdot 10^{-3}$	$22.2 \cdot 10^{-3}$	90.2	$-0.6 \cdot 10^{-3}$	$21.8 \cdot 10^{-3}$	90.1
4.500	0.6	21.5	91.9	-0.3	21.2	91.5
12.000	1.2	20.9	95.5	1.2	20.0	94.5
24.000	1.8	19.4	102.5	2.2	17.5	102.2
36.000	2.8	18.5	110.5	3.1	15.7	112.4
48.000	3.1	17.8	119.0	4.0	14.5	122.7
60.000	3.7	17.2	128.4	4.3	14.2	133.6
72.000	5.2	16.6	137.1	5.8	14.2	143.1
84.000	5.5	16.6	145.5	6.2	14.5	152.3
96.000	5.8	17.2	153.4	6.2	15.1	160.4
108.000	6.5	17.5	160.2	6.8	16.0	167.5
120.000	6.8	18.2	166.3	7.4	16.9	173.3

TABEL 5.1 : middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) in [m] springtij vertrekkingsonderzoek

VERTREKKING 10			
MEETRAAI	A0	AMPL.	FASE
0.000	$-0.1 \cdot 10^{-3}$	$-0.1 \cdot 10^{-3}$	0.0
4.500	0.5	-0.2	-0.6
12.000	0.8	-0.7	-1.2
36.000	1.3	-2.6	-0.6
48.000	1.2	-3.0	2.2
60.000	1.1	-2.9	3.0
72.000	1.0	-2.5	4.5
84.000	0.8	-2.1	5.7
96.000	0.8	-1.9	5.9
108.000	0.9	-2.0	5.7
120.000	0.9	-1.9	5.2
μ	0.84	-1.81	
σ	0.38	1.03	
VERTREKKING 5			
MEETRAAI	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.2 \cdot 10^{-3}$	$0.1 \cdot 10^{-3}$	0.2
4.500	0.2	-0.1	-0.8
12.000	0.6	-0.8	-1.0
24.000	0.8	-1.4	-1.0
36.000	1.2	-2.3	0.7
48.000	1.4	-2.7	2.4
60.000	1.2	-2.6	2.2
72.000	1.0	-2.4	2.6
84.000	1.0	-2.3	2.7
96.000	1.0	-2.2	2.9
108.000	0.8	-2.2	2.7
120.000	0.8	-2.2	2.7
μ	0.85	-1.76	
σ	0.37	0.97	
VERTREKKING 3.25			
MEETRAAI	A0	AMPL.	FASE
0.000	$-0.5 \cdot 10^{-3}$	$-0.4 \cdot 10^{-3}$	-0.1
4.500	-0.8	-0.3	-0.4
12.000	0.0	-1.0	-0.8
24.000	0.5	-2.0	-0.2
36.000	0.3	-3.0	2.4
48.000	0.9	-3.2	4.8
60.000	0.7	-2.8	6.0
72.000	0.6	-2.3	7.4
84.000	0.7	-1.9	7.9
96.000	0.4	-1.6	8.1
108.000	0.3	-1.2	8.0
120.000	0.5	-1.0	7.6
μ	0.30	-1.73	
σ	0.50	0.98	

TABEL 5.2 : verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) "met-zonder" kribben in [m] springtij vertrekingsonderzoek

ZONDER KRIBBEN :						
MEETRAAI	VERTREKKING 10			VERTREKKING 5		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$-0.5 \cdot 10^{-3}$	$14.7 \cdot 10^{-3}$	89.0	$0.0 \cdot 10^{-3}$	$15.2 \cdot 10^{-3}$	90.0
4.500	-0.2	13.9	90.6	0.2	14.6	91.6
12.000	-0.3	13.3	94.5	0.4	14.0	95.6
24.000				1.0	12.8	103.7
36.000	1.7	11.1	114.1	1.8	12.2	112.9
48.000	2.4	10.2	124.8	3.0	11.6	122.1
60.000	2.9	10.2	137.9	2.0	11.8	132.0
72.000	3.6	10.1	151.7	3.8	11.6	142.7
84.000	4.0	10.5	162.7	4.2	12.0	152.0
96.000	4.5	11.2	172.3	4.2	12.6	160.1
108.000	4.3	12.1	-179.1	4.6	13.2	167.0
120.000	5.0	13.5	-173.1	5.0	14.2	172.8

MET KRIBBEN :						
MEETRAAI	VERTREKKING 10			VERTREKKING 5		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.2 \cdot 10^{-3}$	$14.9 \cdot 10^{-3}$	88.9	$0.0 \cdot 10^{-3}$	$15.0 \cdot 10^{-3}$	89.4
4.500	-0.3	14.0	89.8	0.6	14.4	90.1
12.000	0.1	13.0	92.9	1.0	13.4	93.6
24.000				2.6	12.0	101.3
36.000	2.7	9.3	111.1	3.4	10.8	110.4
48.000	3.6	8.0	125.9	4.4	10.0	120.9
60.000	3.9	7.8	140.9	4.2	10.0	132.1
72.000	4.5	7.9	157.2	4.8	10.0	143.3
84.000	4.6	8.5	169.9	5.0	10.4	152.7
96.000	5.1	9.4	-179.7	5.8	11.0	160.7
108.000	5.3	10.6	-171.7	5.8	11.6	167.7
120.000	5.6	11.9	-165.8	5.4	12.4	173.4

TABEL 5.3 : middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) in [m] doortij vertrekkingsonderzoek

MEETRAAI	VERTREKKING 10			VERTREKKING 5		
	A0	AMPL.	FASE	A0	AMPL.	FASE
0.000	$0.8 \cdot 10^{-3}$	$0.2 \cdot 10^{-3}$	-0.2	$0.1 \cdot 10^{-3}$	$-0.2 \cdot 10^{-3}$	-0.6
4.500	-0.1	0.1	-0.8	0.4	-0.2	-1.5
12.000	0.4	-0.3	-1.6	0.5	-0.7	-2.0
24.000				1.6	-0.9	-2.4
36.000	1.0	-1.9	-3.0	1.6	-1.3	-2.5
48.000	1.2	-2.3	1.1	1.3	-1.6	-1.2
60.000	1.0	-2.4	3.0	2.3	-1.6	0.1
72.000	0.8	-2.3	5.5	1.1	-1.7	0.7
84.000	0.6	-2.0	7.2	0.7	-1.7	0.7
96.000	0.6	-1.8	7.9	1.5	-1.6	0.6
108.000	1.1	-1.5	7.7	1.2	-1.6	0.7
120.000	0.6	-1.5	7.3	0.5	-1.7	0.6
μ	0.73	-1.43		1.07	-1.23	
σ	0.37	0.97		0.64	0.58	

TABEL 5.4 : verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) "met-zonder" kribben in [m] doodtij vertrekkingsonderzoek

VERTREKKING	KRIBBEN	\hat{Q} (RAAI 0.000)	\hat{U} (RAAI 0.000)
10	nee	$67.2 \cdot 10^{-3}$	0.179
10	ja	63.9	0.170
5	nee	64.3	0.171
5	ja	59.1	0.157
3.25	nee	65.3	0.174
3.25	ja	62.7	0.167

TABEL 5.5 : horizontaal getij uit INITAK-berekening
(amplitude A2-komponent) in [m³/s], resp. [m/s]
springtij
vertrekkingsonderzoek

VERTREKKING	KRIBBEN	\hat{Q} (RAAI 0.000)	\hat{U} (RAAI 0.000)
10	nee	$53.7 \cdot 10^{-3}$	0.143
10	ja	51.2	0.136
5	nee	51.4	0.137
5	ja	47.2	0.126

TABEL 5.6 : horizontaal getij uit INITAK-berekening
(amplitude A2-komponent) in [m³/s], resp. [m/s]
doodtij
vertrekkingsonderzoek

	VERTR.	ZONDER KRIBBEN	MET KRIBBEN	MET-ZONDER
Limax	10	62.5	50.5	-12.0
	5	61.0	49.5	-11.5
	3.25	59.0	49.5	-9.5
Limin	10	29.0	17.5	-11.5
	5	29.0	16.5	-12.5
	3.25	25.0	16.0	-9.0
ΔLi	10	33.5	33.0	-0.5
	5	32.0	33.0	1.0
	3.25	34.0	33.5	-0.5

TABEL 5.7 : zoutindringingslengten in [m]
springtij
vertrekkingsonderzoek

MEETRAAI	VERTR.	ZONDER KRIBBEN	MET KRIBBEN	MET-ZONDER
5.000	10	14.2	13.8	-0.4
	5	13.5	12.7	-0.8
	3.25	13.1	13.0	-0.1
15.000	10	11.4	9.9	-1.4
	5	11.0	9.4	-1.6
	3.25	10.1	9.4	-0.7
25.000	10	8.0	6.7	-1.3
	5	8.0	5.9	-2.1
	3.25	7.1	5.8	-1.3
35.000	10	4.8	3.3	-1.5
	5	4.8	3.0	-1.8
	3.25	4.1	3.1	-1.0
45.000	10	2.2	-	-
	5	2.3	0.7	-1.6
	3.25	1.8	0.7	-1.1
50.000	10	-	0.1	-
	5	-	-	-
	3.25	-	0.0	-
55.000	10	0.3	0.0	-0.3
	5	-	0.0	-
	3.25	0.1	-	-

TABEL 5.8 : vertikaal en getijgemiddelde dichtheden in [kg/m³]
springtij
vertrekkingsonderzoek

	VERTR.	ZONDER KRIBBEN	MET KRIBBEN	MET-ZONDER
Limax	10	68.5	52.5	-16.0
	5	75.0	60.0	-15.0
Limin	10	43.0	28.0	-15.0
	5	52.5	40.0	-12.5
ΔLi	10	25.5	24.5	-1.0
	5	22.5	20.0	-2.5

TABEL 5.9 : zoutindringingslengten in [m]
doodtij
vertrekkingsonderzoek

MEETRAAI	VERTR.	ZONDER KRIBBEN	MET KRIBBEN	MET-ZONDER
5.000	10	14.2	14.4	0.2
	5	14.6	15.1	0.5
15.000	10	11.4	10.7	-0.7
	5	12.5	11.7	-0.8
25.000	10	9.1	7.1	-2.1
	5	10.2	8.2	-2.0
35.000	10	6.2	3.4	-2.8
	5	7.6	5.0	-2.7
45.000	10	3.5	0.7	-2.8
	5	5.1	1.9	-3.2
50.000	10	-	0.1	-
	5	-	-	-
55.000	10	1.2	0.0	-1.2
	5	2.6	0.3	-2.3
65.000	10	-	-	-
	5	0.9	0.0	-0.9
75.000	10	0.0	0.0	0.0
	5	0.1	0.0	-0.1

TABEL 5.10 : vertikaal en getijgemiddelde dichtheden in [kg/m³]
doodtij
vertrekkingsonderzoek

ZONDER KRIBBEN (T6)				KRIBBEN (T8)		
A0	AMPL.	FASE	MEETRAAI	A0	AMPL.	FASE
0.0*10 ⁻³	11.1*10 ⁻³	89.8	0.000	0.1*10 ⁻³	11.2*10 ⁻³	90.0
0.2	10.9	91.8	4.500	0.3	10.9	91.0
0.5	10.5	95.2	12.000	0.8	10.2	94.2
1.2	9.8	102.1	24.000	1.5	9.1	101.1
1.5	9.3	109.7	36.000	2.1	8.1	110.4
1.8	8.8	118.0	48.000	2.5	7.5	120.3
1.9	8.6	127.5	60.000	2.5	7.3	129.7
2.6	8.3	137.1	72.000	3.1	7.1	139.7
2.9	8.3	145.7	84.000	3.4	7.2	148.4
3.0	8.5	153.5	96.000	3.5	7.4	156.3
3.3	8.8	160.8	108.000	3.7	7.7	163.4
3.5	9.2	167.0	120.000	3.9	8.1	169.7
KRIBVAKKEN DEELS OPGEVULD (T9)						
			MEETRAAI	A0	AMPL.	FASE
			0.000	0.1*10 ⁻³	11.3*10 ⁻³	89.7
			4.500	0.3	11.0	91.6
			12.000	0.7	10.4	94.9
			24.000	1.2	9.6	101.8
			36.000	1.8	9.0	109.8
			48.000	2.0	8.5	118.2
			60.000	2.3	8.3	127.2
			72.000	2.9	8.1	137.2
			84.000	3.1	8.1	145.7
			96.000	3.3	8.3	153.4
			108.000	3.5	8.6	160.6
			120.000	3.7	9.0	166.9
KRUINHOOGTE) HW (T10)						
				A0	AMPL.	FASE
			0.000	0.1*10 ⁻³	11.3*10 ⁻³	89.8
			4.500	0.3	10.9	90.4
			12.000	0.8	10.1	93.2
			24.000	1.6	8.7	100.6
			36.000	2.3	7.4	111.0
			48.000	2.6	6.7	122.3
			60.000	2.5	6.6	132.9
			72.000	3.3	6.5	143.6
			84.000	3.5	6.7	153.1
			96.000	3.7	7.1	161.4
			108.000	3.8	7.5	168.5
			120.000	3.9	8.0	174.6

TABEL 5.11 : middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) IN [m] gevoeligheidsonderzoek kribparameters

KRIBBEN (T8) : T8-T6						
A0	AMPL.	FASE	MEETRAAI			
0.1*10 ⁻³	0.1*10 ⁻³	0.2	0.000			
0.1	-0.1	-0.8	4.500			
0.3	-0.4	-1.0	12.000			
0.4	-0.7	-1.0	24.000			
0.6	-1.2	0.7	36.000			
0.7	-1.3	2.4	48.000			
0.6	-1.3	2.2	60.000			
0.5	-1.2	2.6	72.000			
0.5	-1.2	2.7	84.000			
0.5	-1.1	2.9	96.000			
0.4	-1.1	2.7	108.000			
0.4	-1.1	2.7	120.000			
0.43	-0.88		μ			
0.19	0.49		σ			
KRIBVAKKEN DEELS OPGEVULD (T9) : T9-T6						
A0	AMPL.	FASE	MEETRAAI	T9-T8		
				A0	AMPL.	FASE
0.1*10 ⁻³	0.2*10 ⁻³	-0.1	0.000	0.0	0.1*10 ⁻³	-0.3
0.1	0.1	-0.2	4.500	0.0	0.1	0.6
0.2	-0.2	-0.3	12.000	-0.1*10 ⁻³	0.2	0.7
0.1	-0.2	-0.3	24.000	-0.3	0.5	0.7
0.3	-0.3	0.1	36.000	-0.3	0.9	-0.6
0.2	-0.3	0.2	48.000	-0.5	0.4	-2.1
0.4	-0.3	0.2	60.000	-0.2	1.0	-2.5
0.3	-0.3	0.1	72.000	-0.2	1.0	-2.5
0.2	-0.2	0.1	84.000	-0.3	0.9	-2.7
0.2	-0.2	-0.1	96.000	-0.2	0.9	-2.9
0.2	-0.2	-0.2	108.000	-0.2	0.9	-2.8
0.2	-0.2	-0.1	120.000	-0.2	0.9	-2.8
0.21	-0.18		μ	-0.21	0.65	
0.09	0.16		σ	0.14	0.36	
KRUINHOOGTE) HW (T10) : T10-T6						
A0	AMPL.	FASE	MEETRAAI	T10-T8		
				A0	AMPL.	FASE
0.1*10 ⁻³	0.2*10 ⁻³	0.4	0.000	0.0*10 ⁻³	0.1*10 ⁻³	-0.2
0.1	0.0	-1.2	4.500	0.0	0.0	-0.6
0.3	-0.5	-1.8	12.000	0.0	-0.1	-1.0
0.4	-1.1	-1.2	24.000	0.1	-0.4	-0.5
0.8	-1.8	1.7	36.000	0.2	-0.7	0.6
0.8	-2.0	4.7	48.000	0.1	-0.8	2.0
0.6	-1.9	5.8	60.000	0.0	-0.7	3.2
0.7	-1.7	6.9	72.000	0.2	-0.6	3.9
0.6	-1.5	7.8	84.000	0.1	-0.5	4.7
0.7	-1.4	8.1	96.000	0.2	-0.3	5.1
0.5	-1.2	8.0	108.000	0.1	-0.2	5.1
0.4	-1.1	7.7	120.000	0.0	-0.1	4.9
0.50	-1.17		μ	0.08	-0.36	
0.24	0.72		σ	0.08	0.30	

TABEL 5.12 : verschillen in middenstanden en amplituden/fasen (A2-komponent) in [m]; vergelijking onderzoekssituaties T8, T9 en T10 met T6 ('zonder kribben'), resp. T8 ('kribben') gevoeligheidsonderzoek kribparameters

PROEFNUMMER	KRIBBEN	\hat{Q} (RAAI 0.000)	\hat{U} (RAAI 0.000)
T6	nee	$22.7 \cdot 10^{-3}$	0.121
T8	ja	20.9	0.111
T9	kribvakken ged. opg.	22.1	0.118
T10	kruinhoogte > HW	20.9	0.111

TABEL 5.13 : horizontaal getij uit INITAK-berekening
(amplitude A2-komponent) in [m³/s], resp. [m/s]
gevoeligheidsonderzoek kribparameters

		Ti-T6	Ti-T8	OPMERKINGEN	
Limax	T6	61.0		geen kribben kribben kribvakken ged. opg. kruinhoogte > HW	
	T8	49.5	-11.5		
	T9	59.5	- 1.5		10.0
	T10	49.0	-12.0		-0.5
Limin	T6	29.0		id.	
	T8	16.5	-12.5		
	T9	27.0	- 2.0		10.5
	T10	16.5	-12.5		0.0
ΔLi	T6	32.0		id.	
	T8	33.0	1.0		
	T9	32.5	0.5		-0.5
	T10	32.5	0.5		-0.5

TABEL 5.14 : zoutindringingslengten in [m]; vergelijking
van onderzoekssituaties onderling
gevoeligheidsonderzoek kribparameters

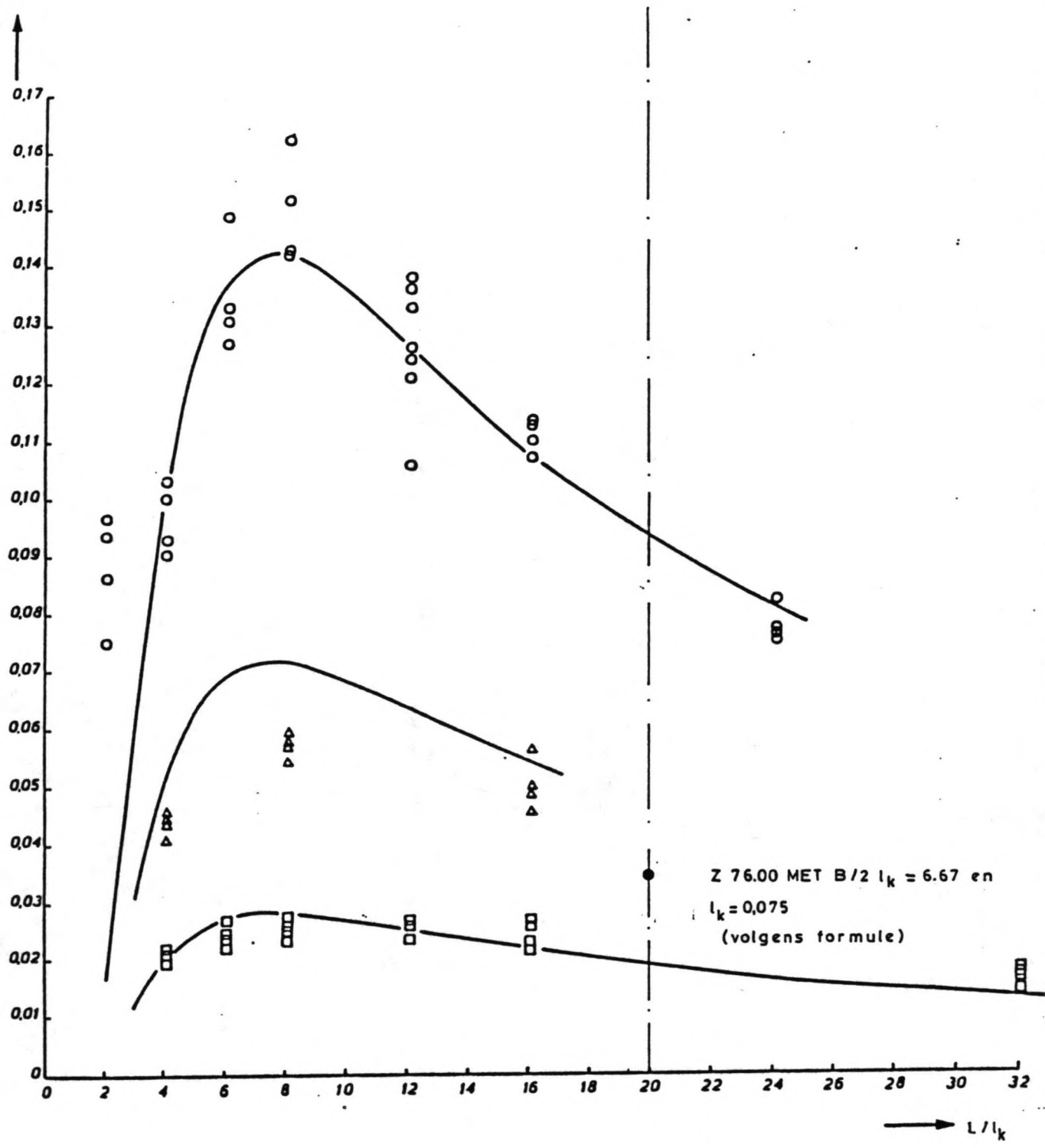
MEETRAAI	PROEFNR.		Ti-T6	Ti-T8	OPMERKINGEN
5.000	T6	13.5			geen kribben kribben kribvakken ged. opg. kruinhoogte) HW
	T8	12.7	-0.8		
	T9	13.5	0	0.8	
	T10	12.9	-0.6	0.2	
15.000	T6	11.0			id.
	T8	9.4	-1.6		
	T9	10.9	-0.1	1.5	
	T10	9.1	-1.9	-0.3	
25.000	T6	8.0			id.
	T8	5.9	-2.1		
	T9	7.8	-0.2	1.9	
	T10	5.6	-2.4	-0.3	
35.000	T6	4.8			id.
	T8	3.0	-1.8		
	T9	4.9	0.1	1.9	
	T10	2.8	-2.0	-0.2	
45.000	T6	2.3			id.
	T8	0.7	-1.6		
	T9	2.0	-0.3	1.3	
	T10	0.7	-1.6	0.0	
50.000	T6	-			id.
	T8	0.0	-		
	T9	-	-	-	
	T10	0.0	-	0.0	
55.000	T6	-			id.
	T8	0.0	-		
	T9	0.2	-	0.2	
	T10	0.0	-	0.0	

TABEL 5.15 : vertikaal en getijgemiddelde dichtheden in [kg/m³];
vergelijking van onderzoekssituaties onderling
gevoeligheidsonderzoek kribparameters

PROEFNR.	AANT. BODEM RUWK. ELEM.	WANDRUWKH.	KRIBBEN	\hat{a} [m]	Q_f [m ³ /s]	C [m ^{1/2} /s] ZONDER/MET KRIBBEN	TOEGEPAST IN EXPERIMENT
P1	28	-	-	0.207	0.030	32	-
P2	28	-	+	0.375	0.039	38	-
P3	28	+	-	0.375	0.035	30	T1, T2
P4	28	+	+	0.375	0.035	32	T3, T4
P5	12	+	+	0.188	0.025	31	-
P6	6	+	+	0.188	0.025	35	-
P7	3	+	+	0.188	0.020	38	T5, T6, T7, T8, T10
P8	3	+	(+)	0.188	0.025	39	T9
P9	0	+	-	0.122	0.015	47	-
P10	0	+	-	0.122	0.020	47	T11
P11	0	+	+	0.122	0.020	46	T12

TABEL 5.16 : resultaten permanentie-metingen

g/c_w^2



Z 76.00 MET $B/2 l_k = 6.67$ en
 $l_k = 0,075$
 (volgens formule)

$$g/c_w^2 = 11.5 (B/2 l_k)^{-1.34} (L/l_k)^{-1} \exp[-10.4 (L/l_k)^{-1.30}]$$

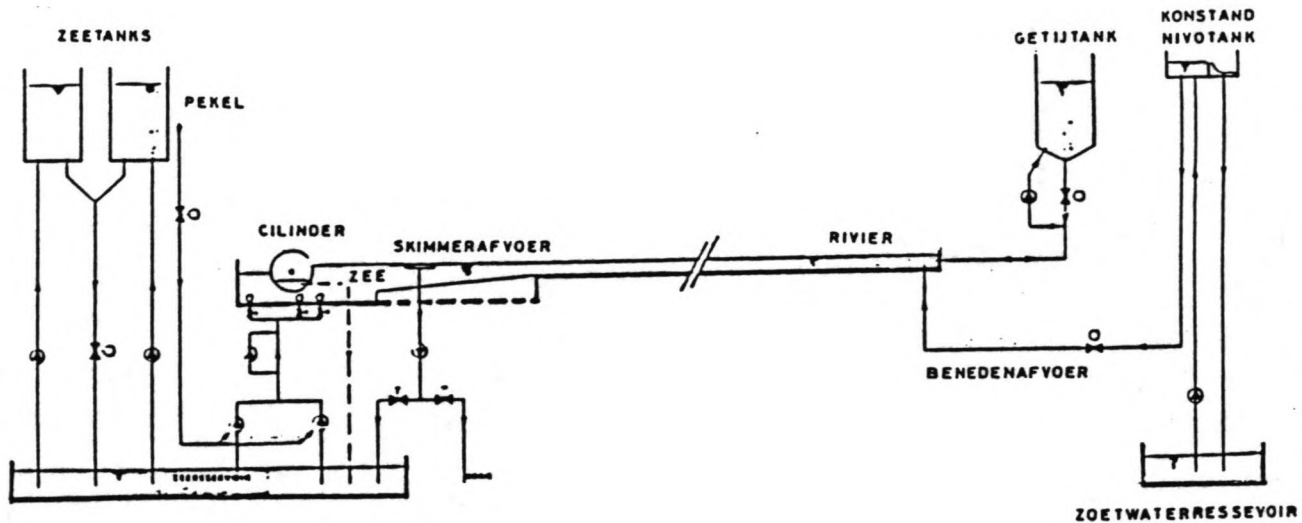
- $B/2 l_k = 3,36$ ($B = 0,672$ m, $l_k = 0,10$ m)
- △ $B/2 l_k = 5,6$ ($B = 0,334$ m, $l_k = 0,03$ m)
- $B/2 l_k = 11,2$ ($B = 0,672$ m, $l_k = 0,03$ m)

FORMULE RUWHEID WANDKRIBBEN

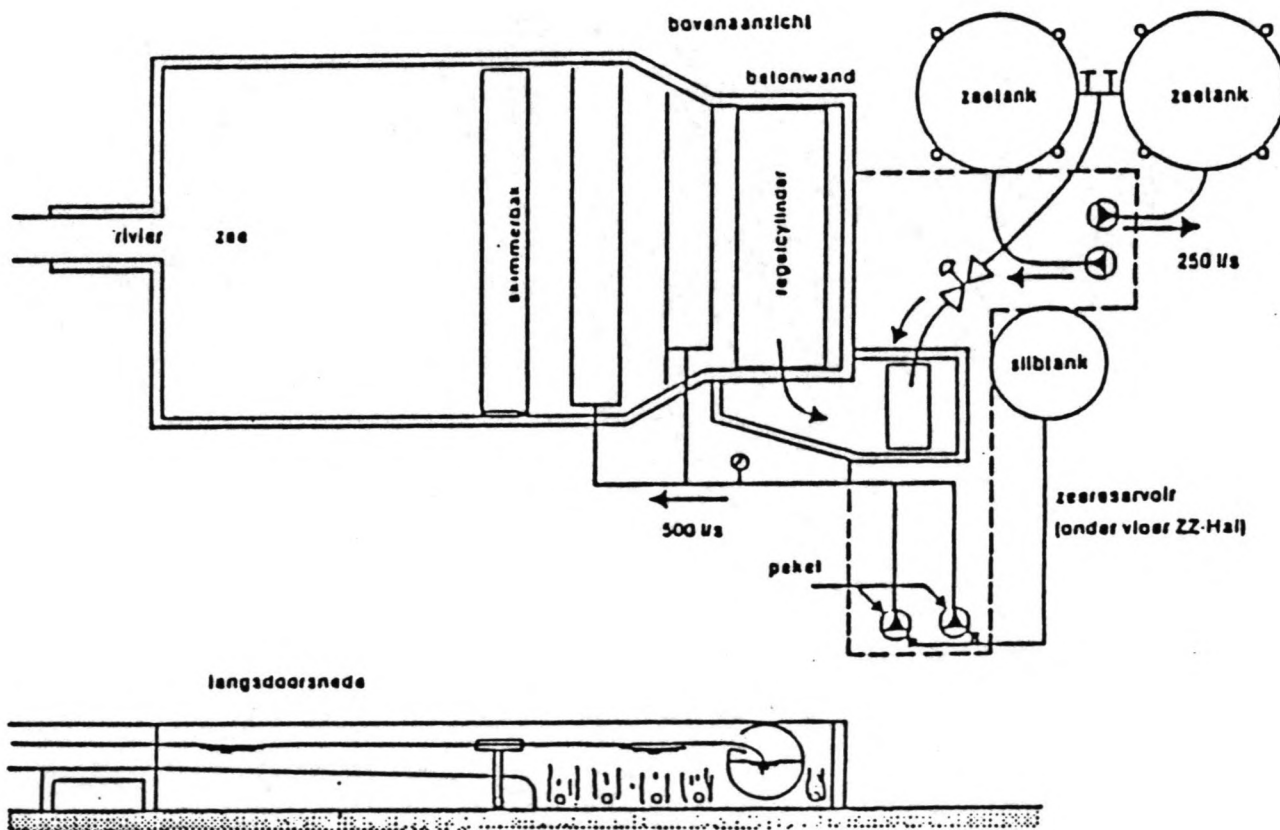
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z 0076

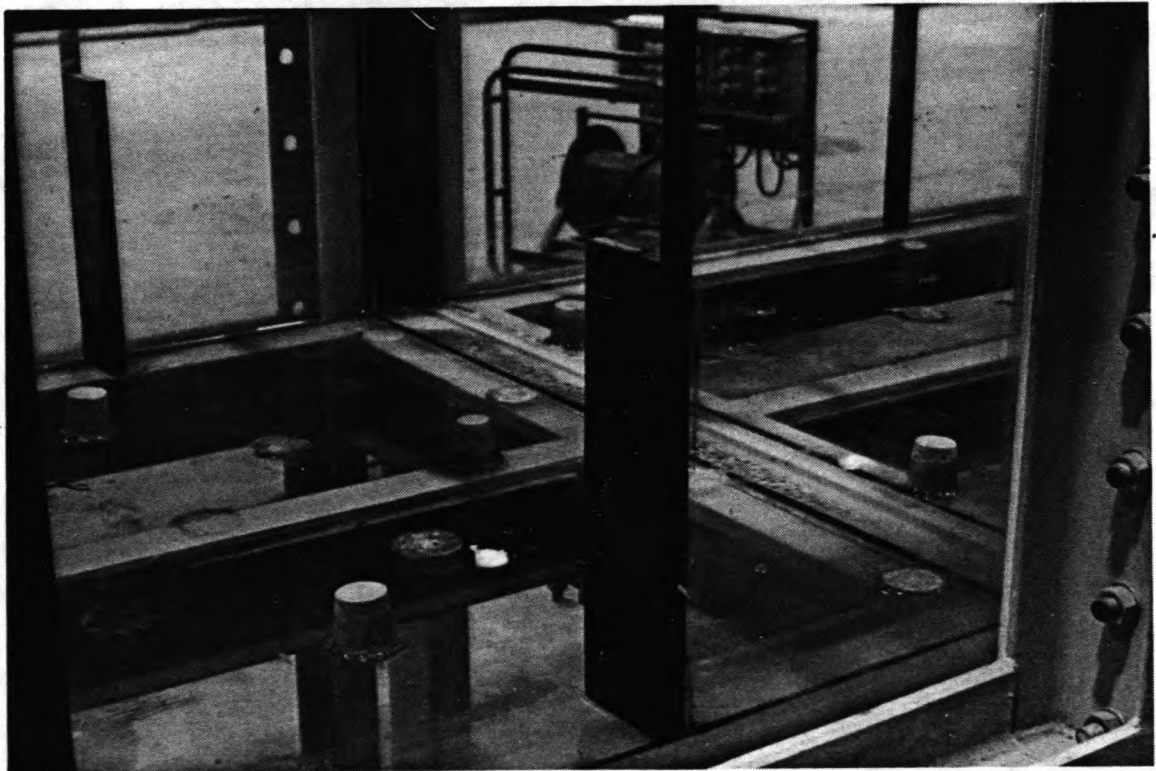
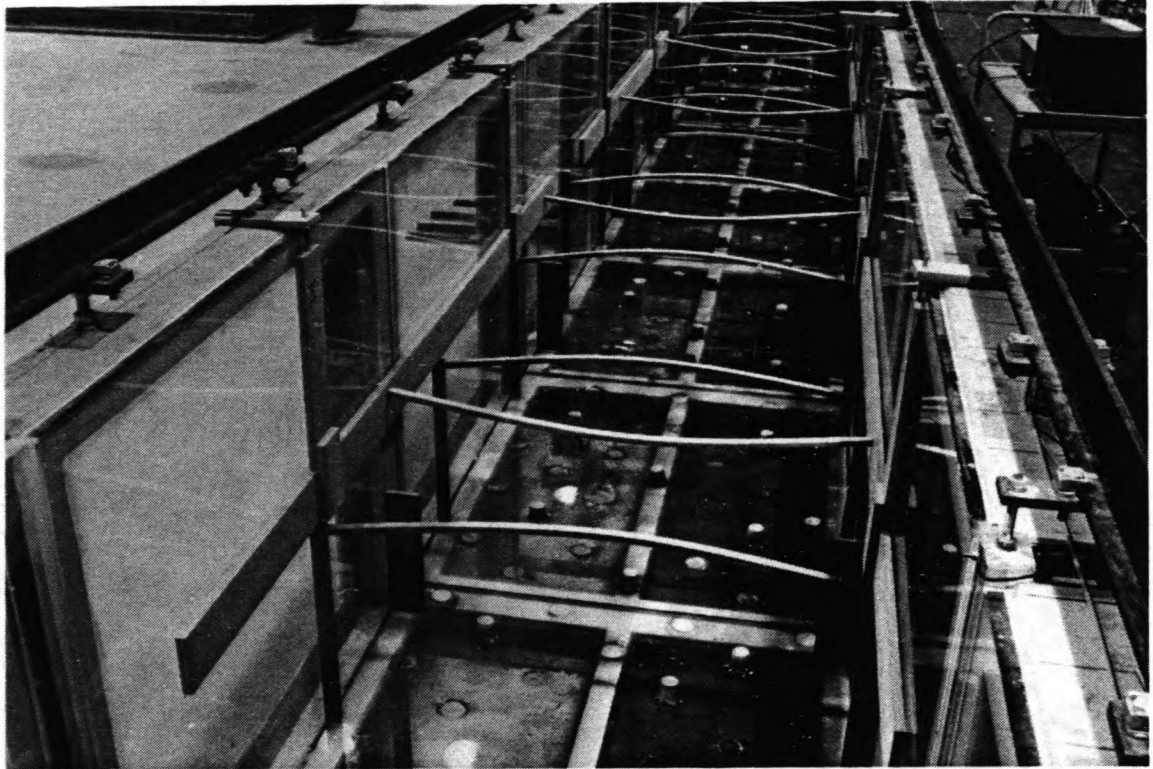
FIG 3.1



SCHEMATISCHE WEERGAVE GETIJGOOT



SCHEMATISCHE WEERGAVE GETIJGOOT (BOVENSTE FIGUUR)
EN ZEERAND (ONDERSTE FIGUREN)



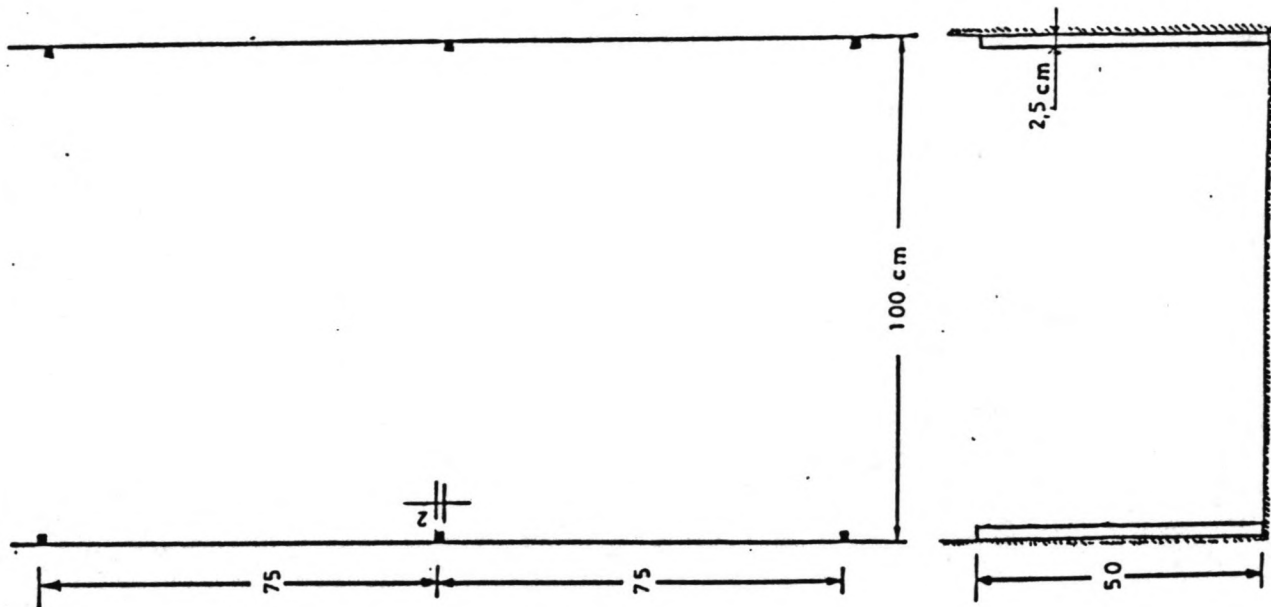
PROEFOPSTELLING IN GETIJGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

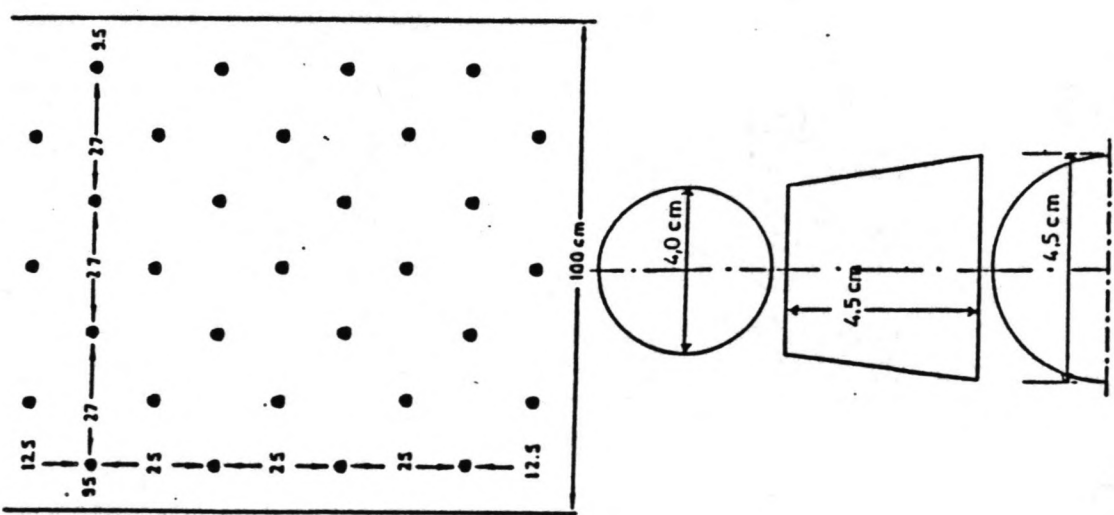
Z 0076

FIG 4.2

A4



WANDRUWHEIDSPATROON GETIJGOOT
DETAILS WANDRUWHEID



BODEMRUWHEIDSPATROON GETIJGOOT
BOVEN-,ZIJ- EN ONDERAANZICHT RUWHEIDSBLOKJE

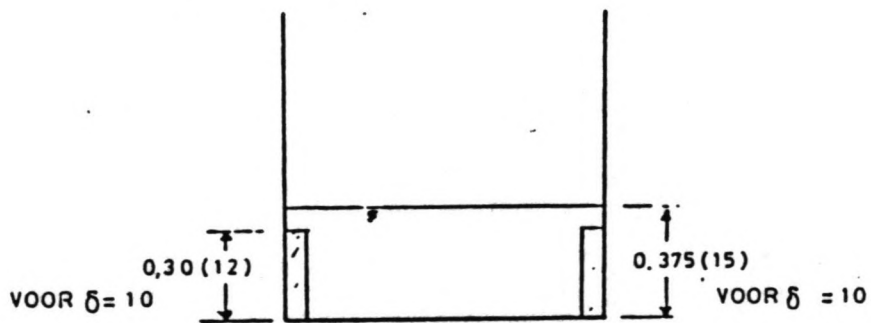
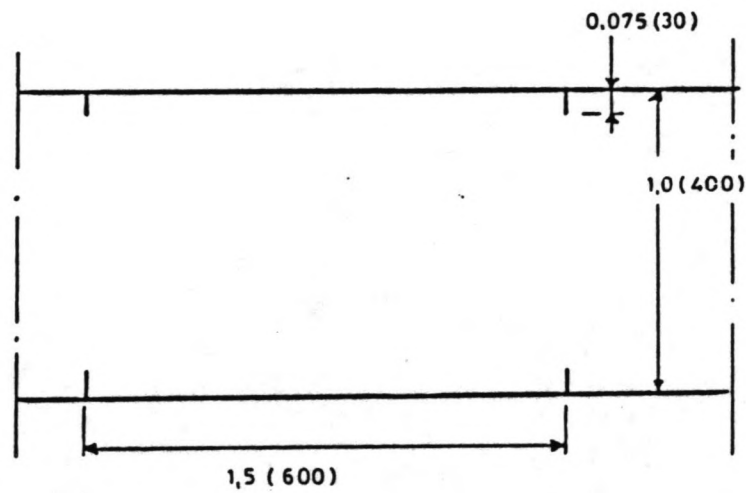
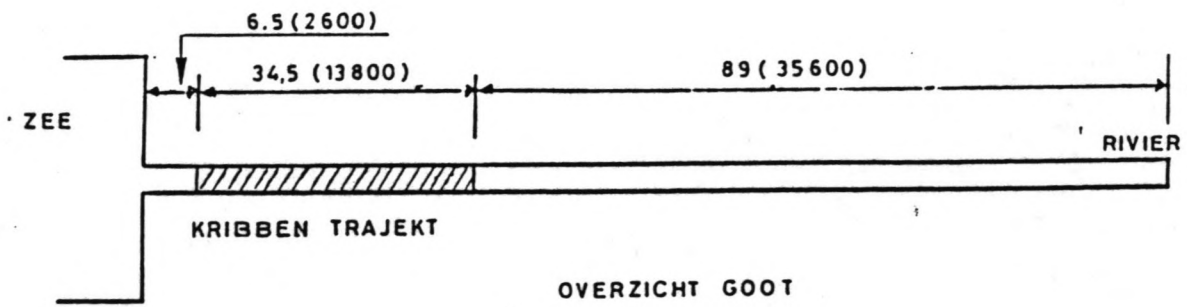
ADDITIONELE WAND- EN BODEMRUWHEID
VERTREKING 10
MATEN IN [CM]

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

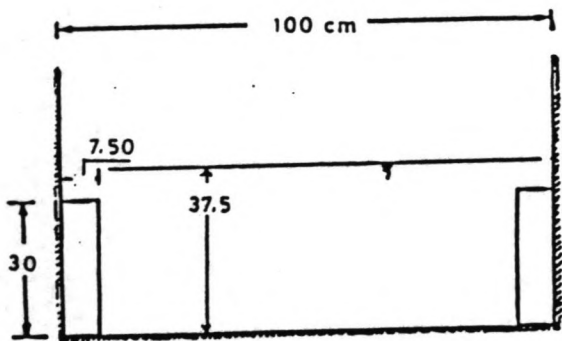
Z 0076

FIG 4.3

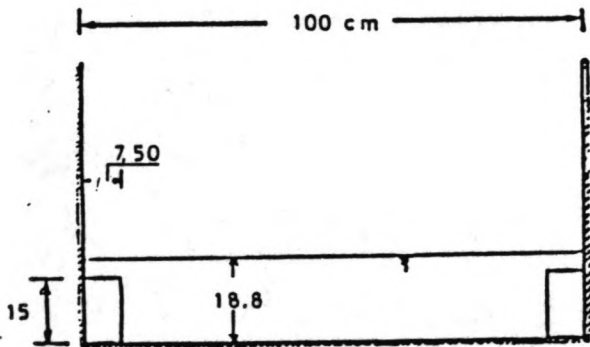
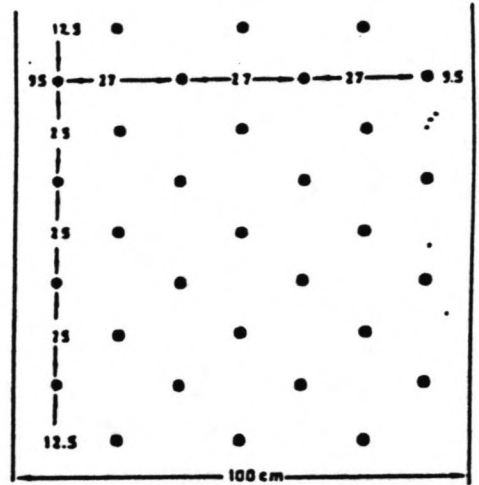
A4



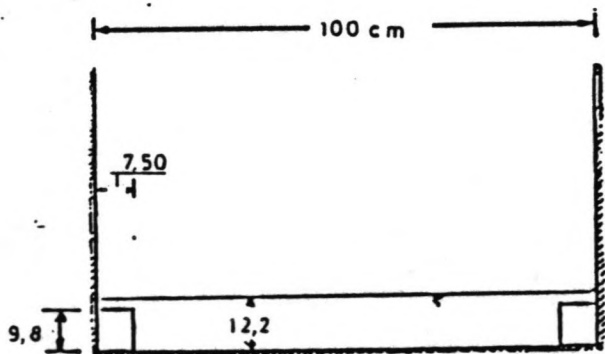
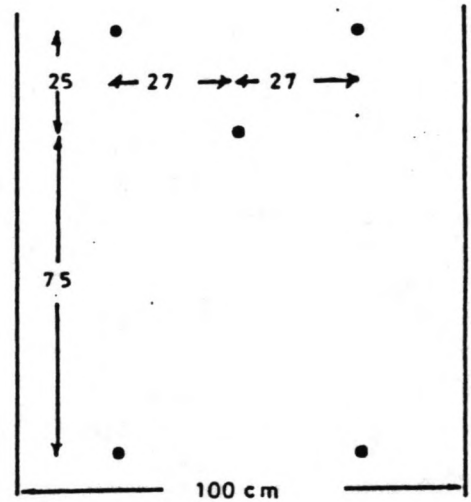
KRIKKONFIGURATIE IN GOOT
 MODELMATEN IN [M]; PROTOTYPEMATEN IN [M] (TUSSEN
 HAAKJES)



$\delta = 10$



$\delta = 5$

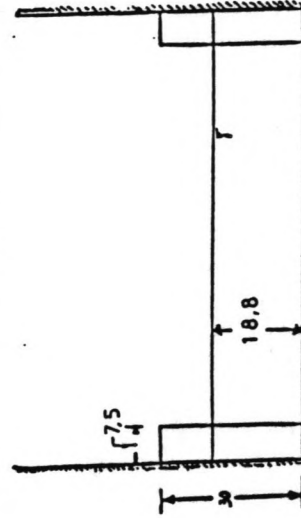
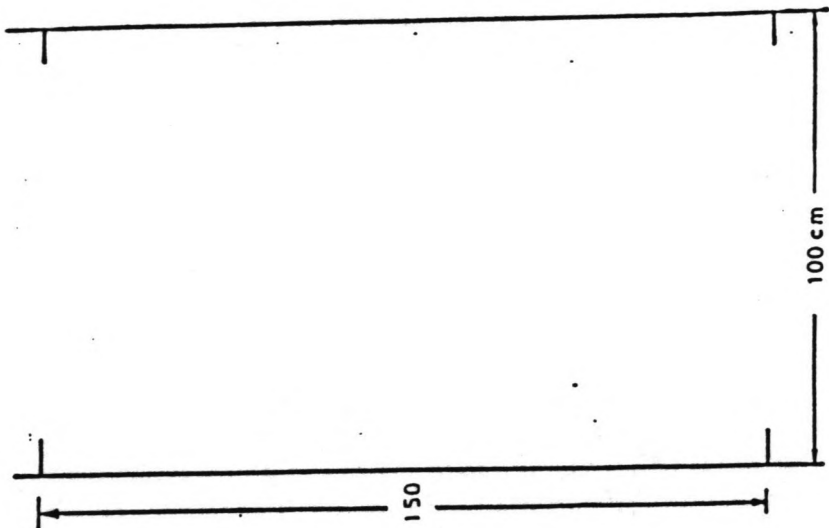


$\delta = 3,25$

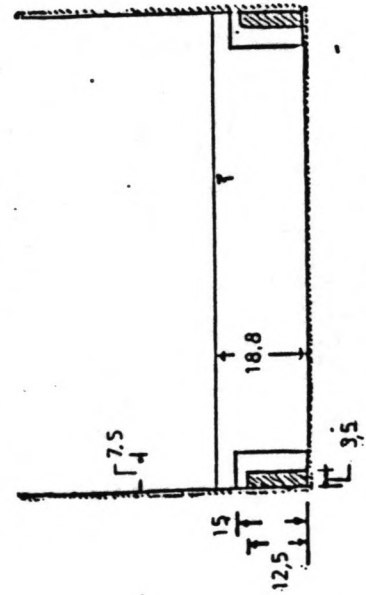
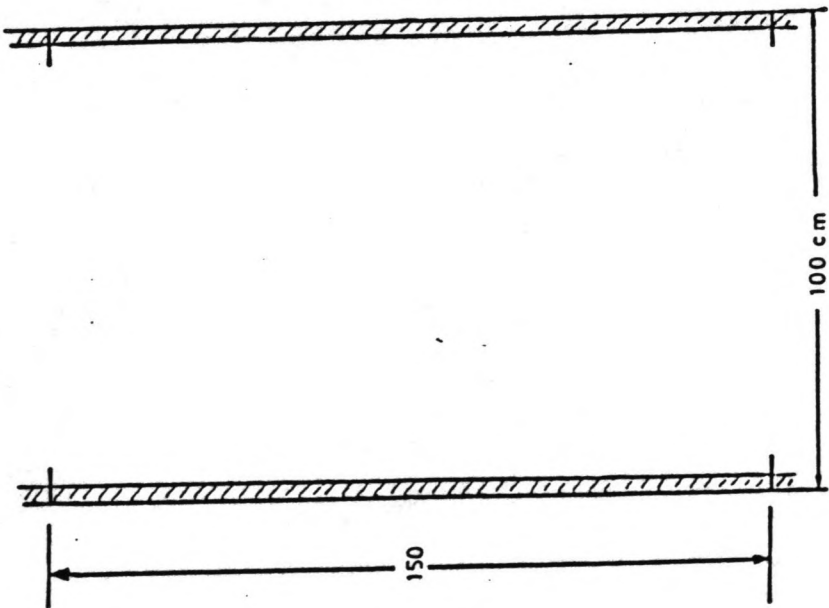
GEEN ADDITIONELE
BODEMRUWHEID

KRIBKONFIGURATIE EN BODEMRUWHEID BIJ
VERTREKKINGEN 10, 5 EN 3.25
MATEN IN [M]

A4



KRUIJNHOOGTE > HW



KRIBVAKKEN GEDEELTELIJK OPGEVULD

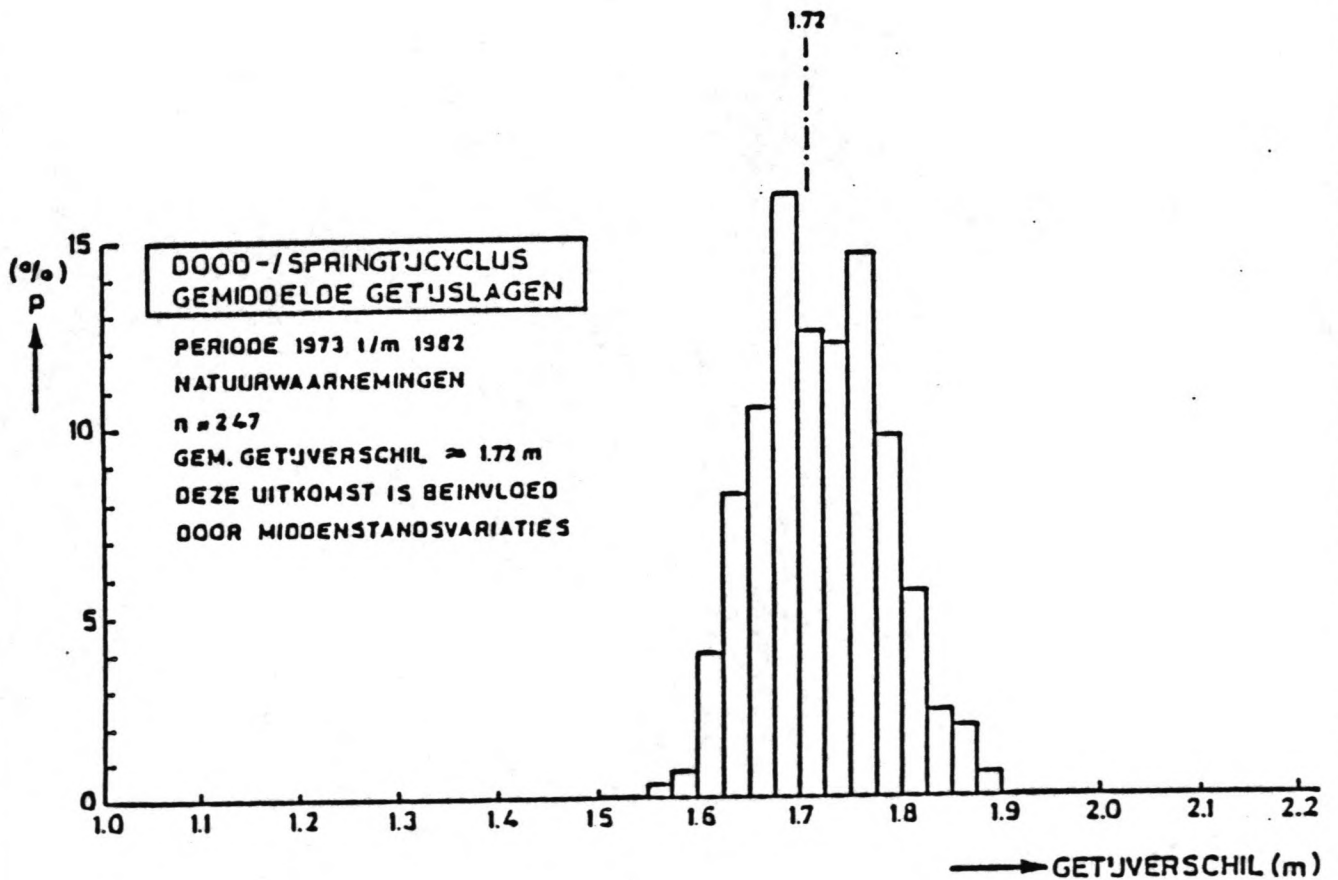
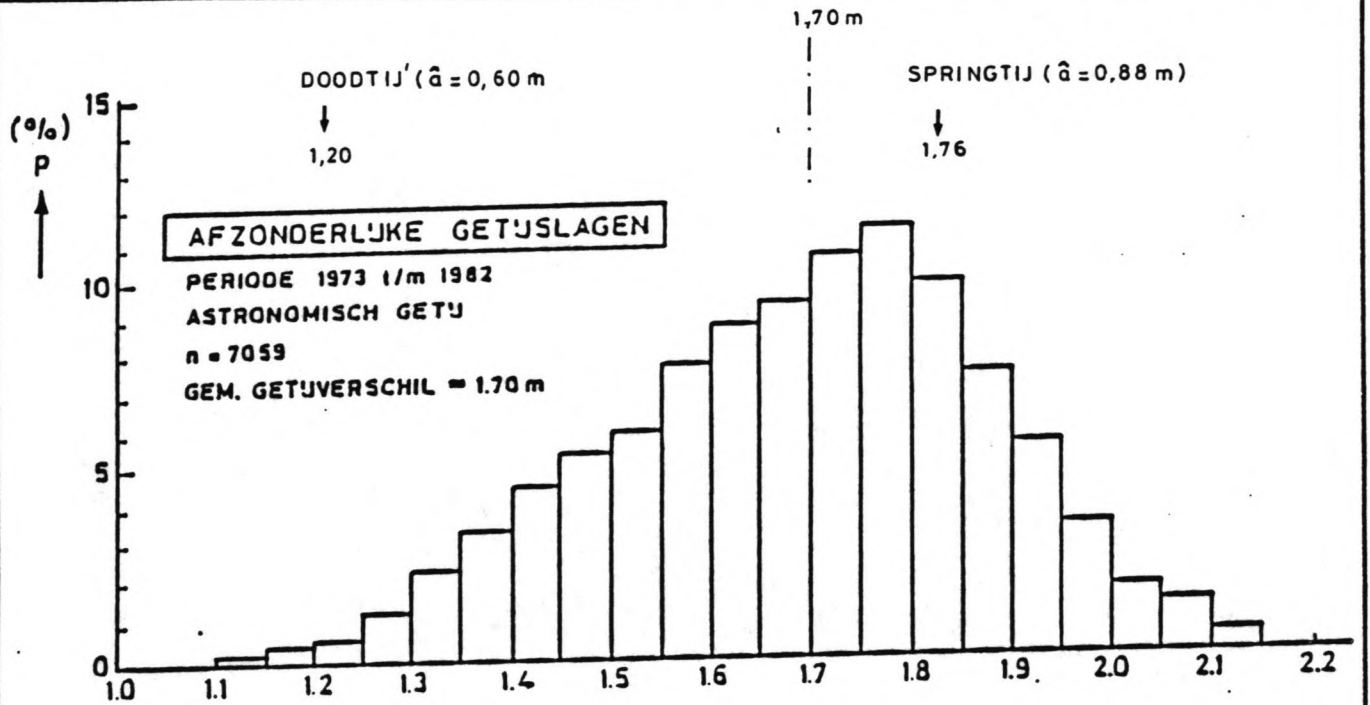
KONFIGURATIES GEVOELIGHEIDSONDERZOEK KRIBPARAMETERS
MATEN IN [CM]

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z 0076

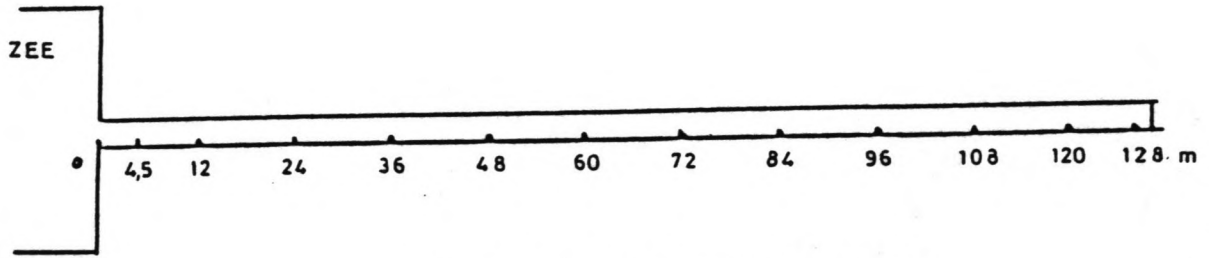
FIG 4.6

A4

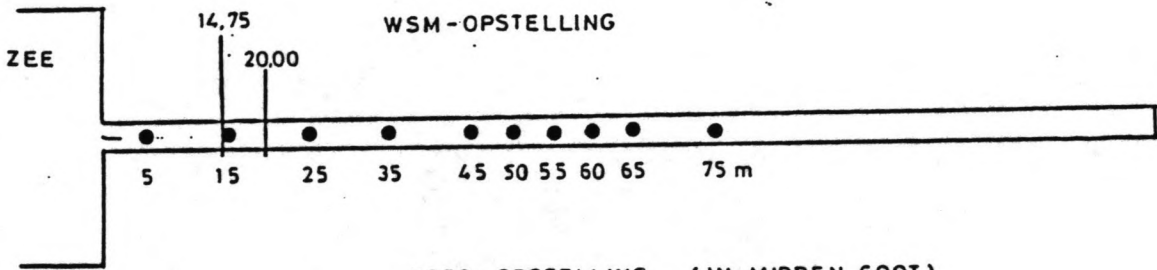


FREKVENTIEVERDELING AFZONDERLIJKE GETIJSLAGEN
 EN GEMIDDELTE GETIJSLAGEN PER DOODTIJ/
 SPRINGTIJ-CYCLUS (NATUURWAARNEMINGEN)

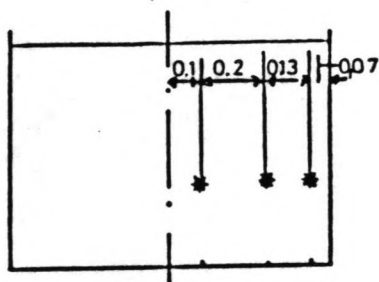
A4



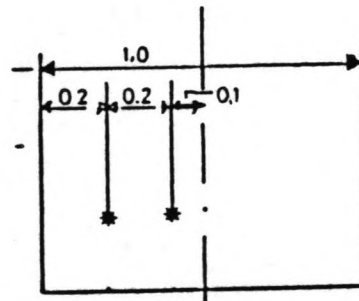
WAVO-OPSTELLING (LANGS GOOTWAND)



VEZO-OPSTELLING (IN MIDDEN GOOT)

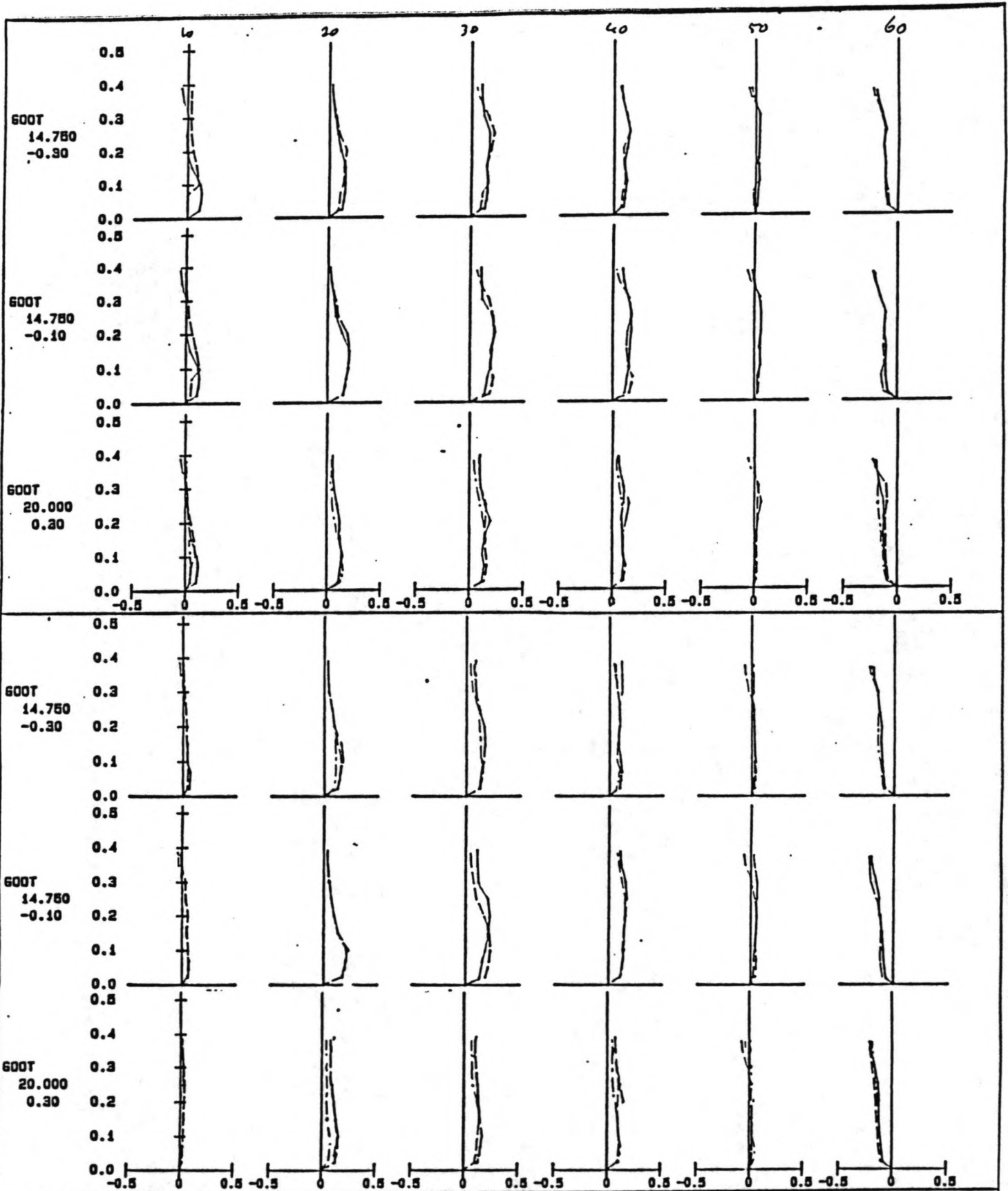


WSM'S RAAI 14.750



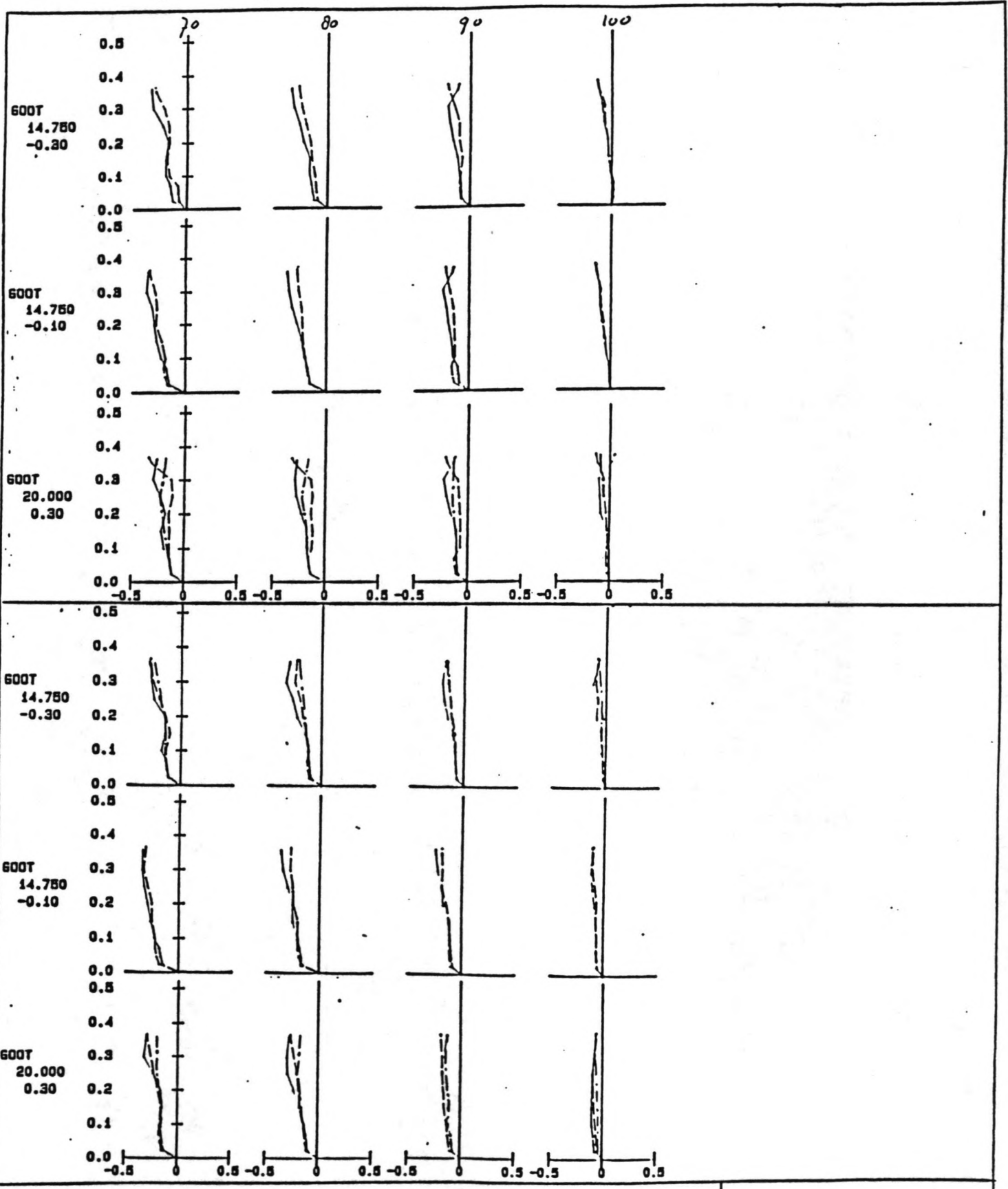
WSM'S RAAI 20.000

MEETOPSTELLING
WAVO'S, WSM'S EN VEZO'S
MATEN IN [M]



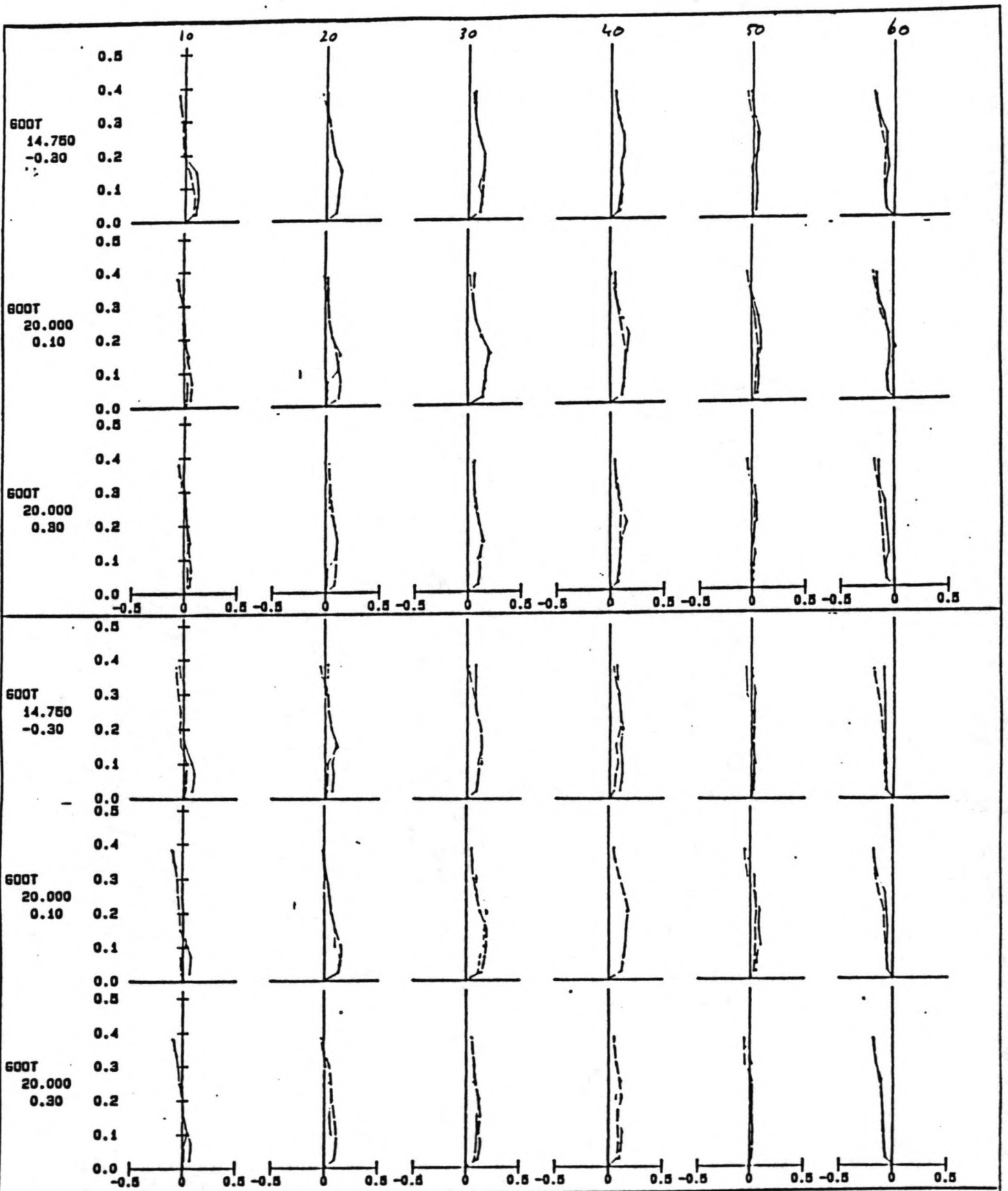
SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 ZONDER KRIBBEN (BOVENSTE 3 REGELS); MET KRIBBEN
 (ONDERSTE 3 REGELS); SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -
 VERTR. 3.25 ·····



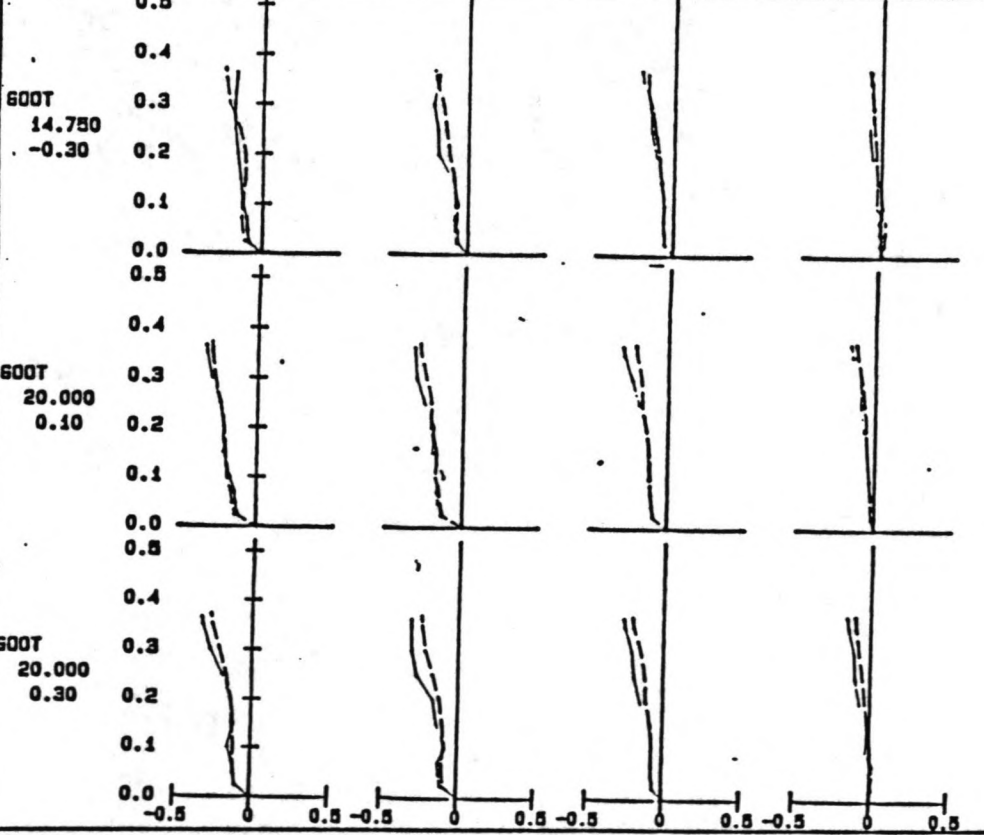
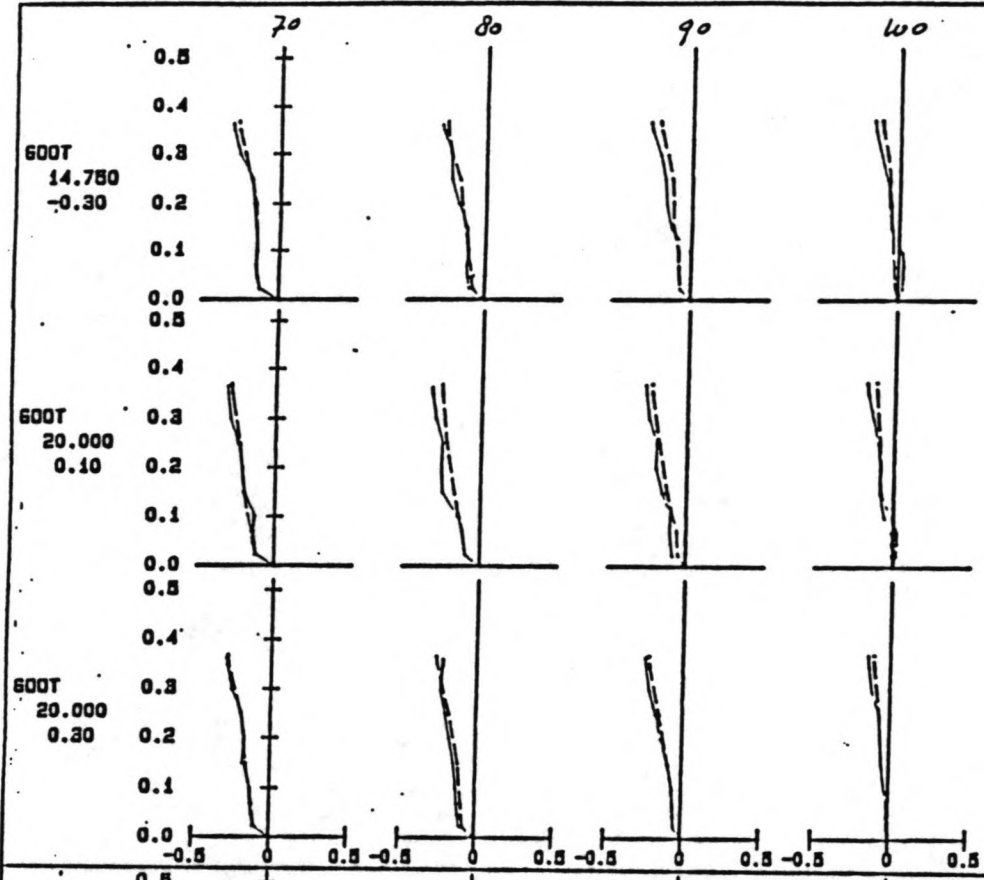
SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 ZONDER KRIBBEN (BOVENSTE 3 REGELS); MET KRIBBEN
 (ONDERSTE 3 REGELS); SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -
 VERTR. 3.25 - . . .



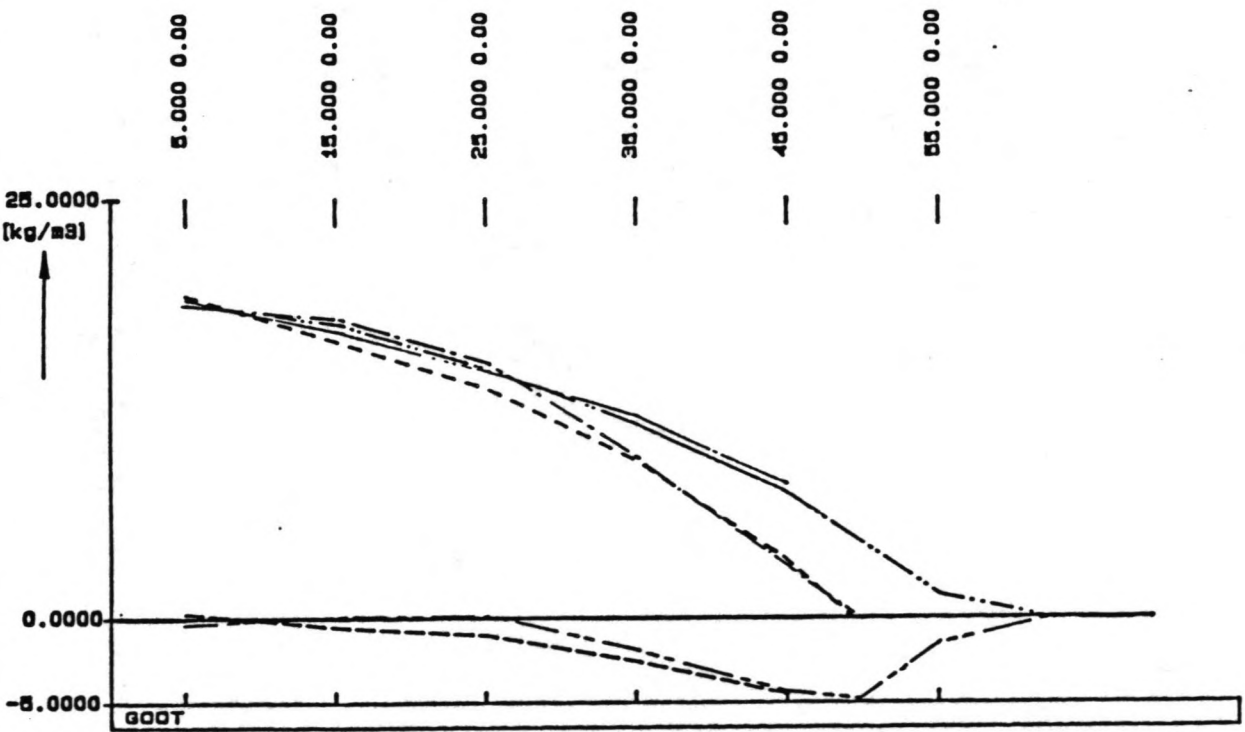
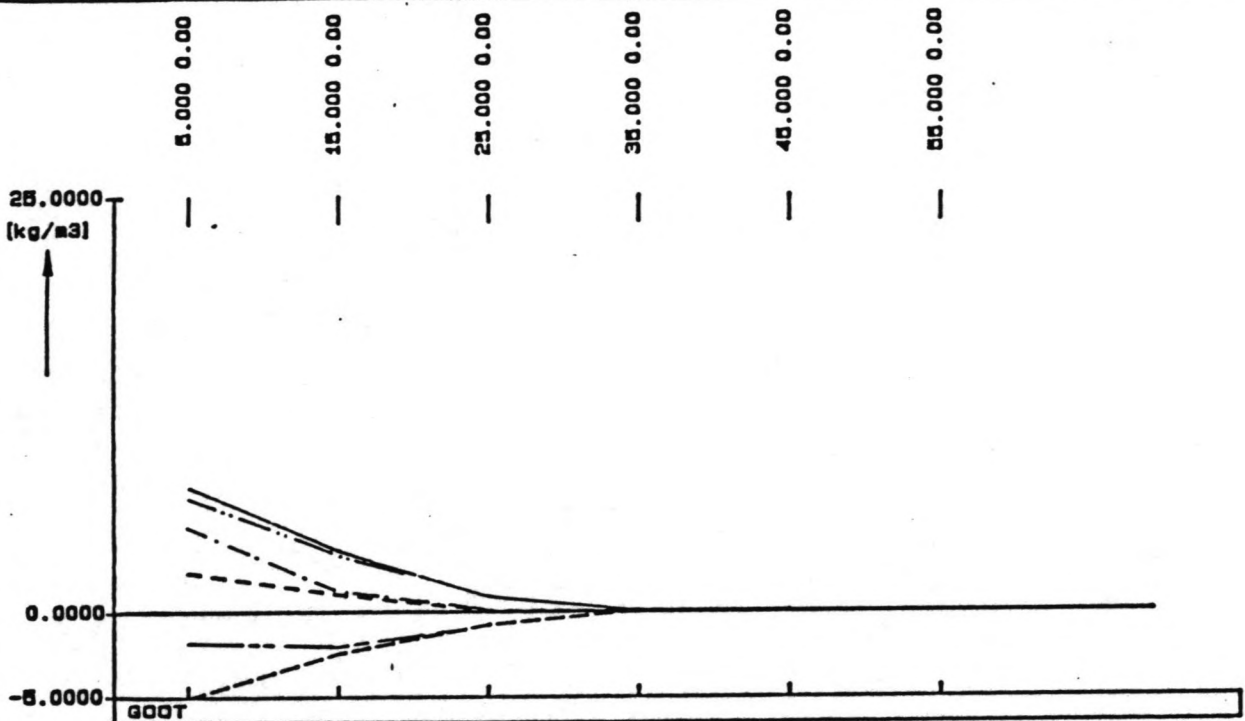
SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 ZONDER KRIBBEN (BOVENSTE 3 REGELS); MET KRIBBEN
 (ONDERSTE 3 REGELS); DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -



SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 ZONDER KRIBBEN (BOVENSTE 3 REGELS); MET KRIBBEN
 (ONDERSTE 3 REGELS); DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

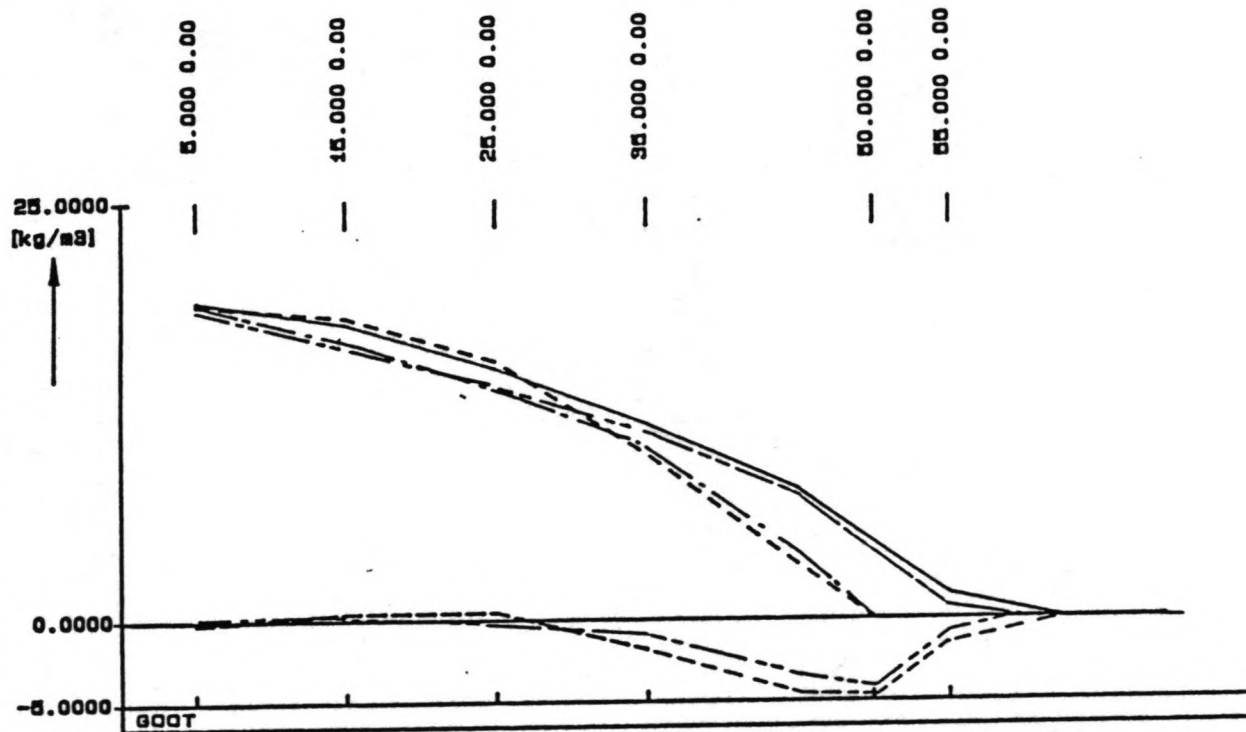
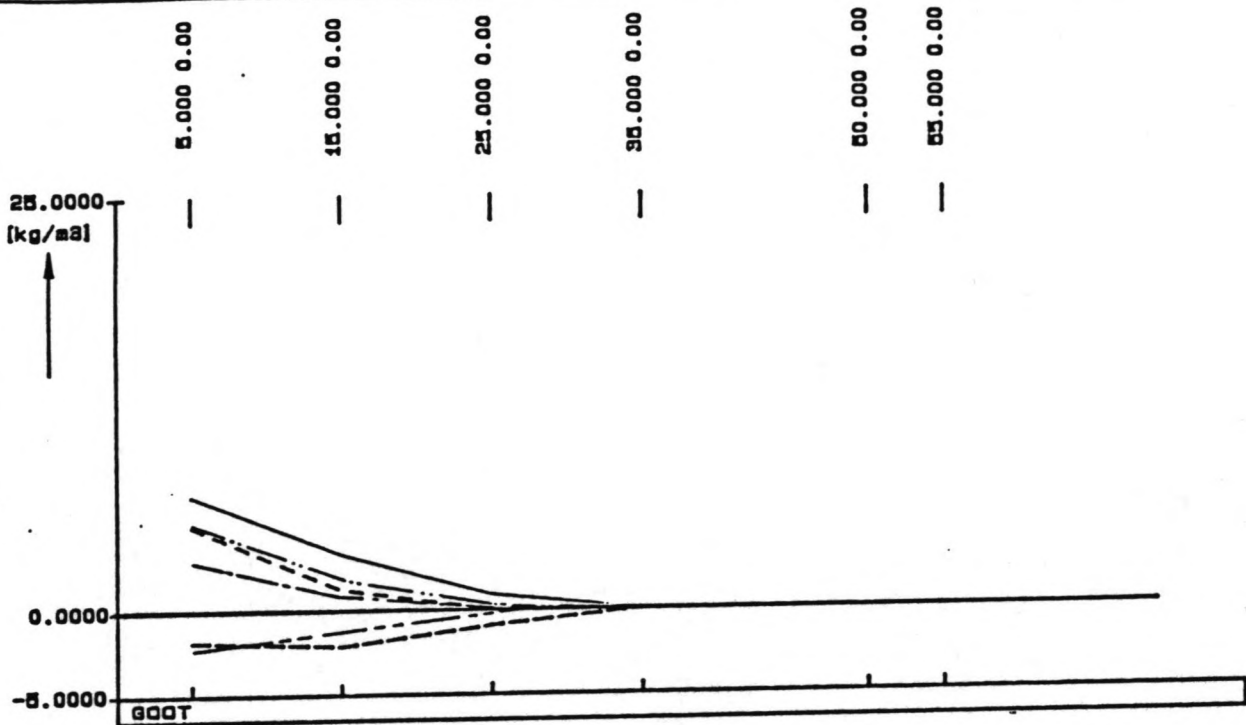
VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -



VERSCHILLIJN VERTR. 10 - - - -
 VERSCHILLIJN VERTR. 5 - - - -

LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERDELING OP
 LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
 SPRINGTIJ
 VERTREKINGEN 10 EN 5

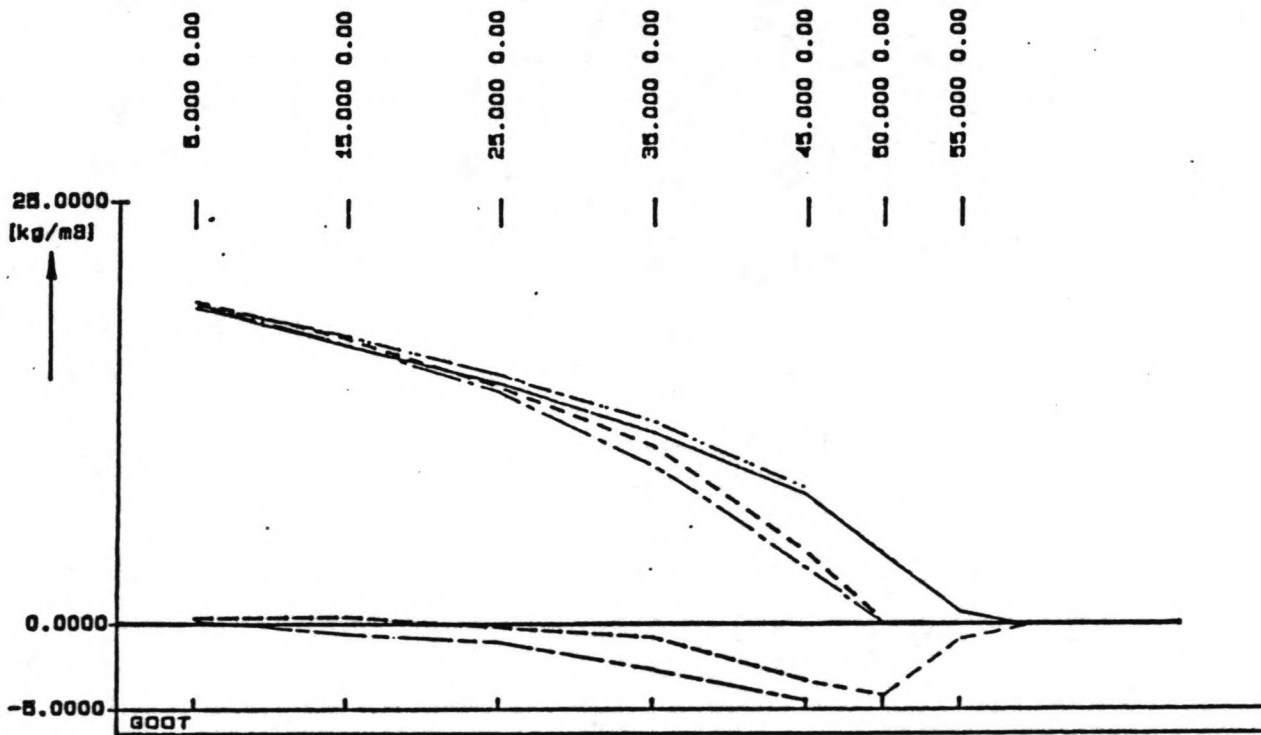
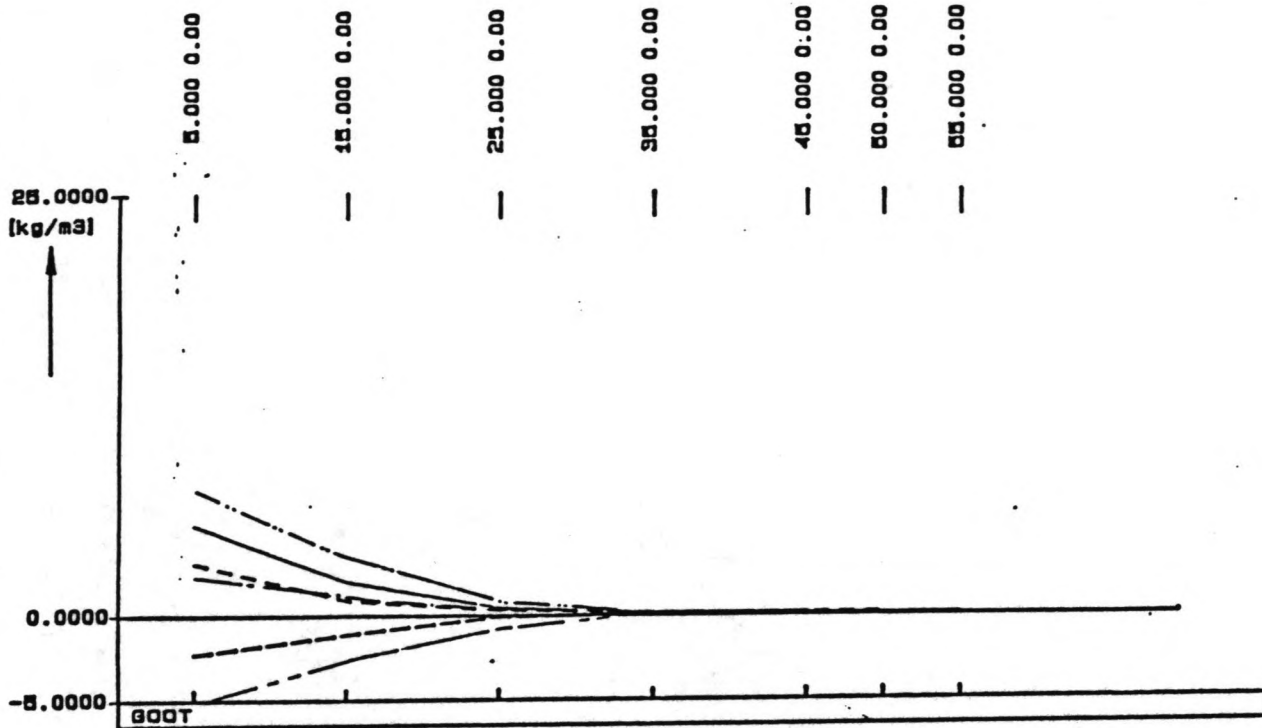
VERTR.
 10 - - - - (MET KR.)
 10 - - - - (ZONDER KR.)
 5 - - - - (MET KR.)
 5 - - - - (ZONDER KR.)



VERSCHILLIJK VERTR. 10 - - -
 VERSCHILLIJK VERTR. 3.25 - - -

LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERTREKING OP
 LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
 SPRINGTIJ
 VERTREKINGEN 10 EN 3.25

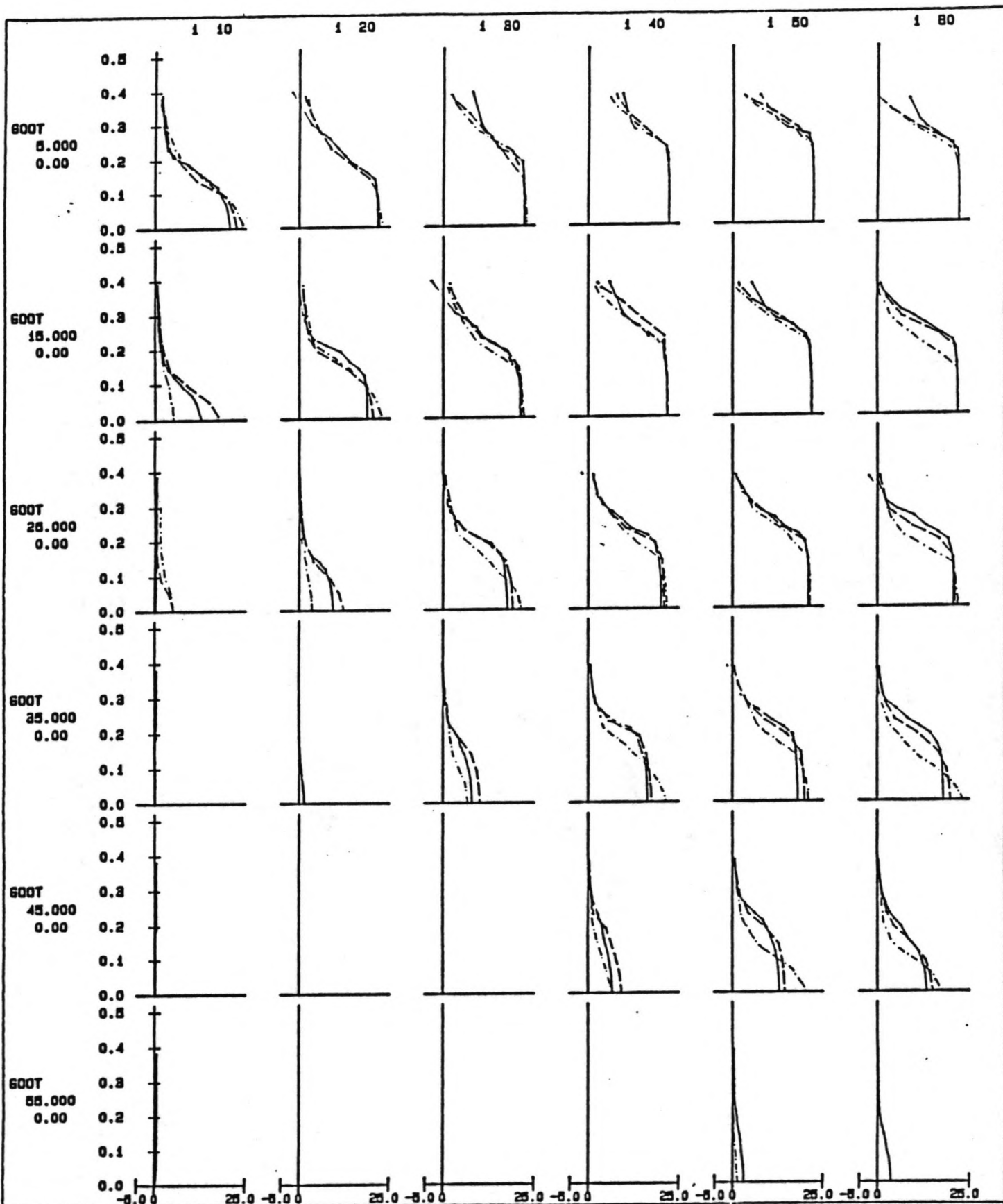
VERTR.
 10 - - - (MET KR.)
 10 ——— (ZONDER KR.)
 3.25 - - - (MET KR.)
 3.25 - - - (ZONDER KR.)



VERSCHILLIJN VERTR. 5 - - - -
 VERSCHILLIJN VERTR. 3.25 - - - -

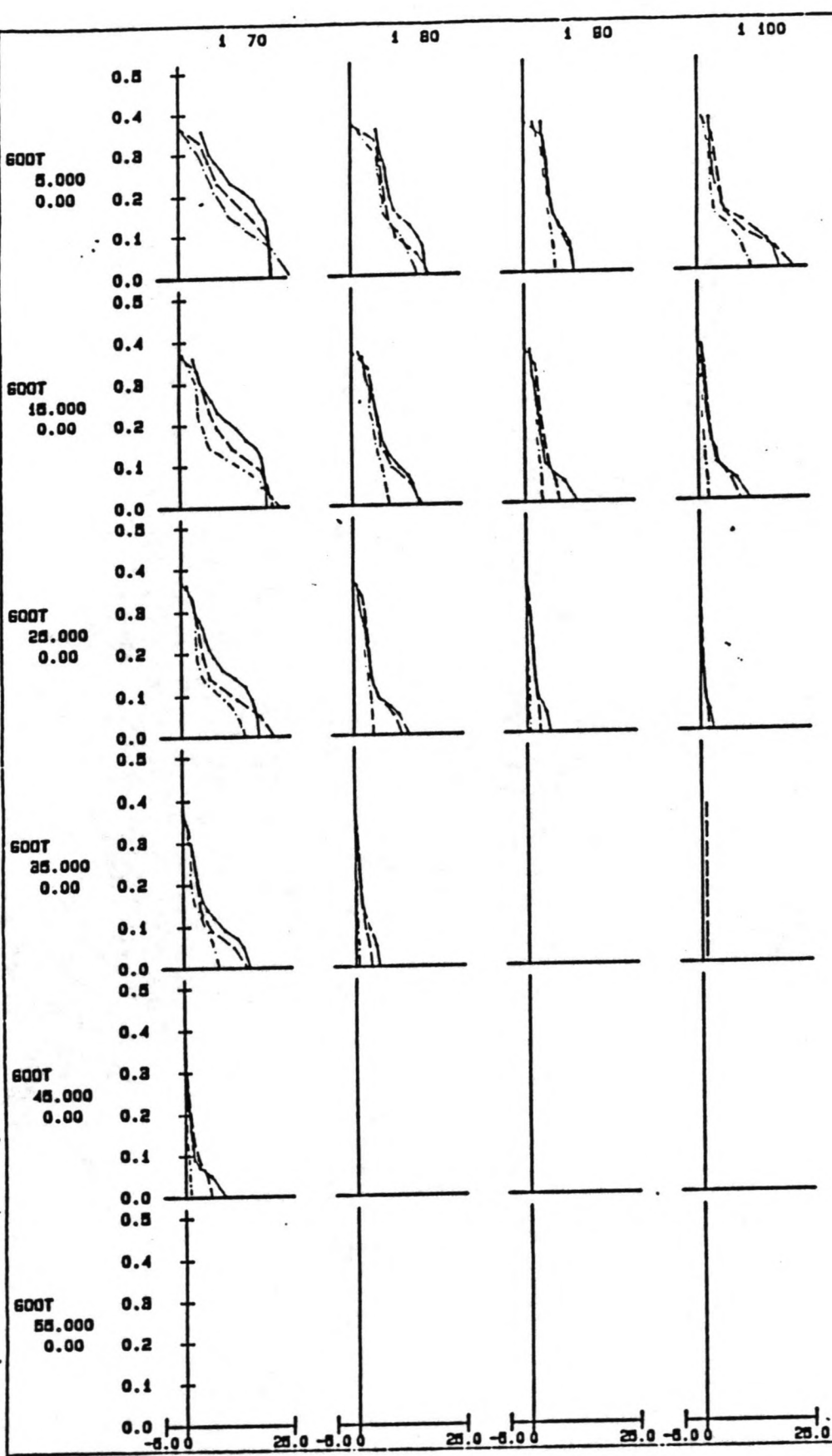
LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERDELING OP
 LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
 SPRINGTIJ
 VERTREKINGEN 5 EN 3.25

VERTR.
 5 - - - - (MET KR.)
 5 - - - - (ZONDER KR.)
 3.25 - - - (MET KR.)
 3.25 - - - (ZONDER KR.)



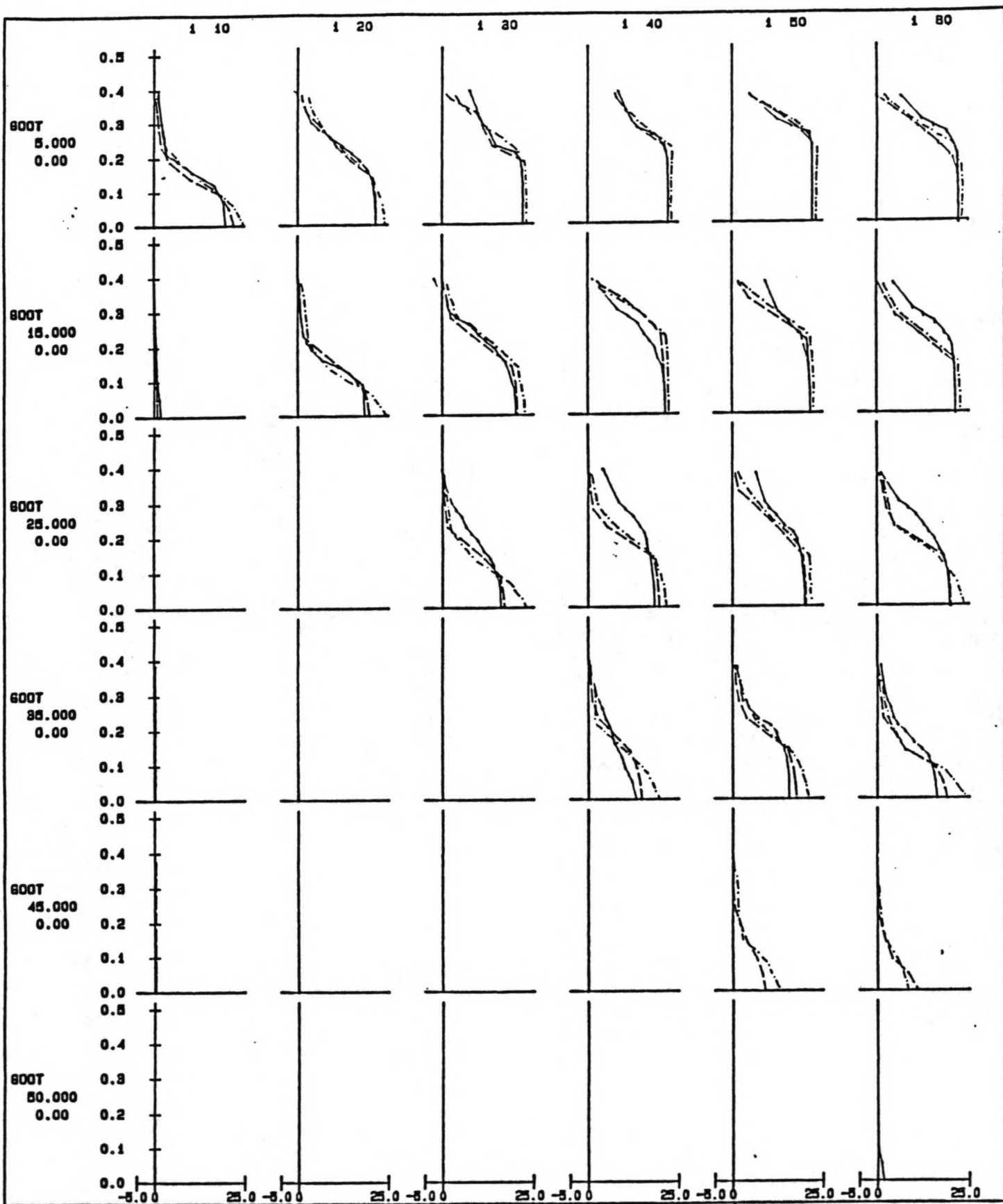
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 ZONDER KRIBBEN
 SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - - -
 VERTR. 3.25 - · - · -



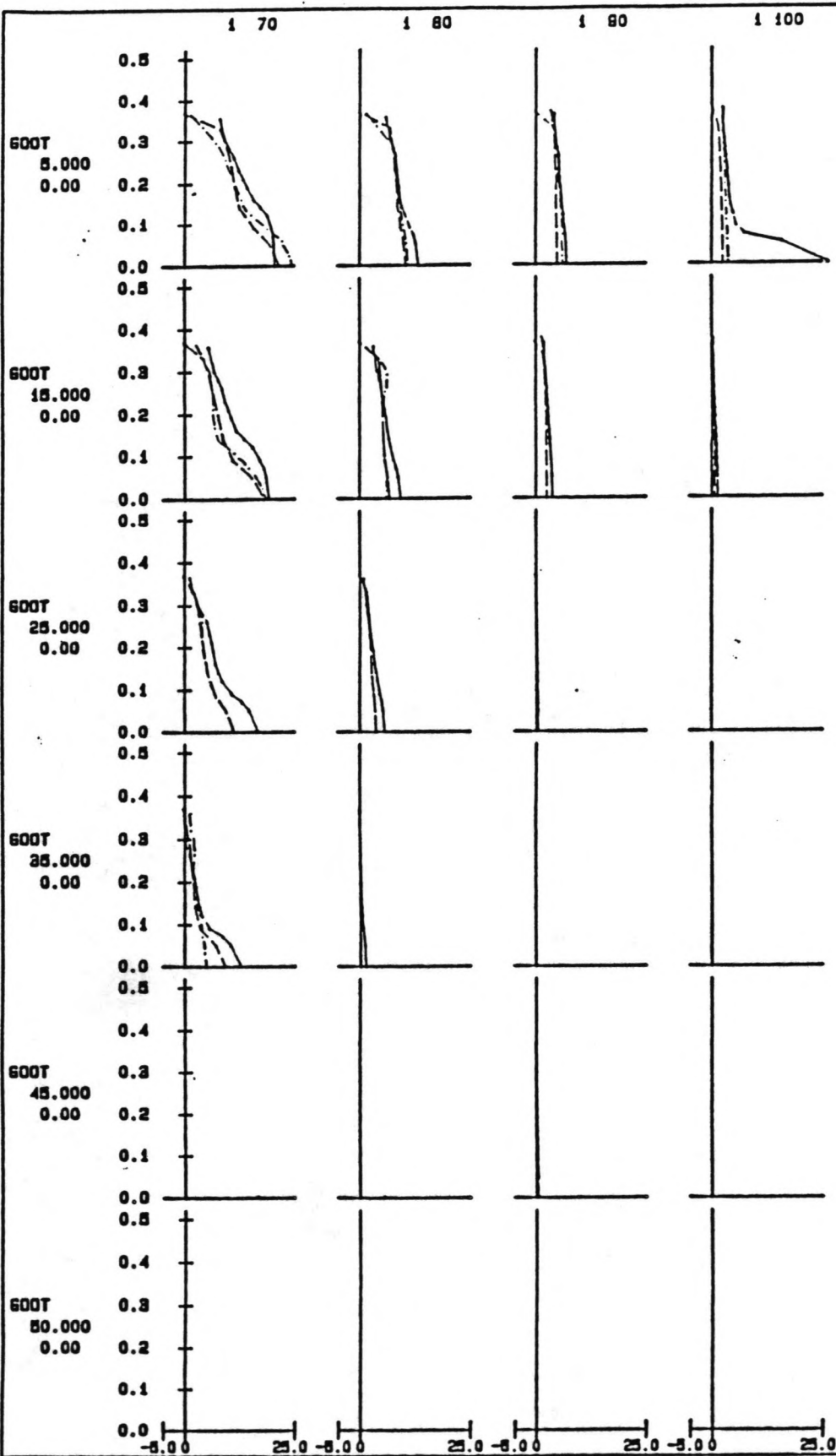
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 ZONDER KRIBBEN
 SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - - -
 VERTR. 3.25 - · - · -



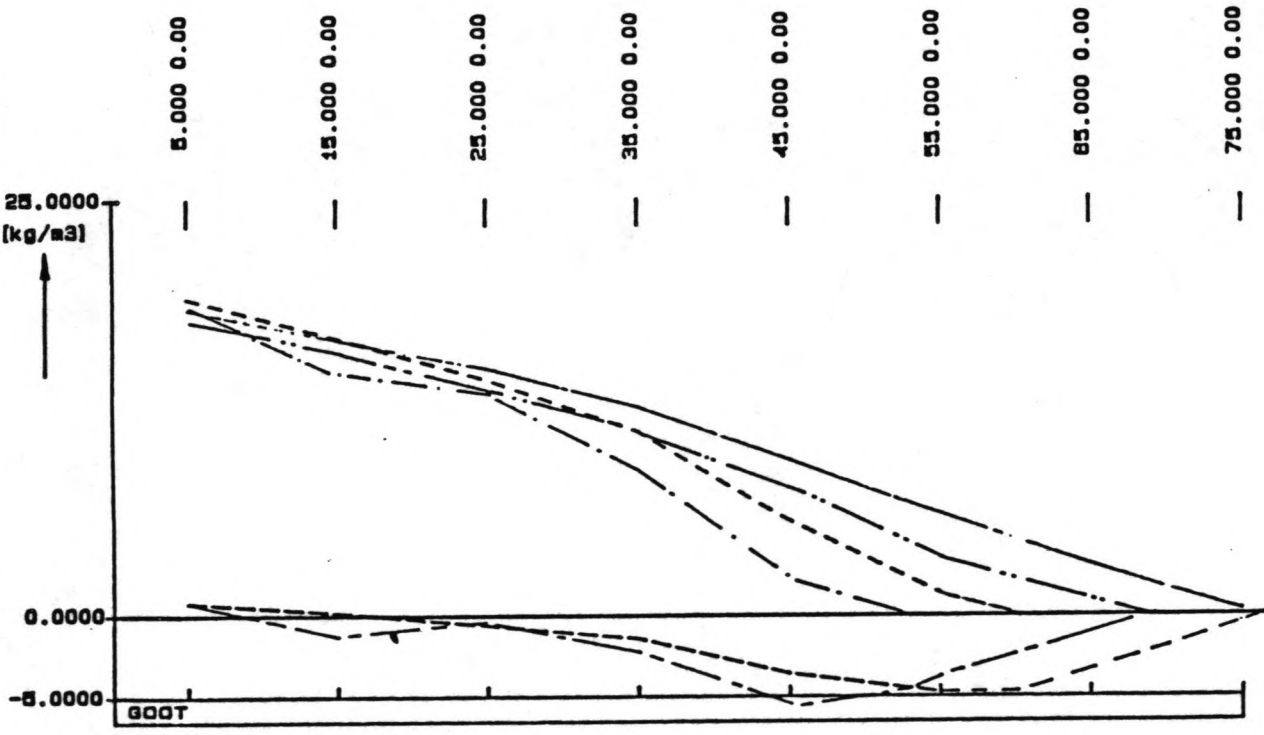
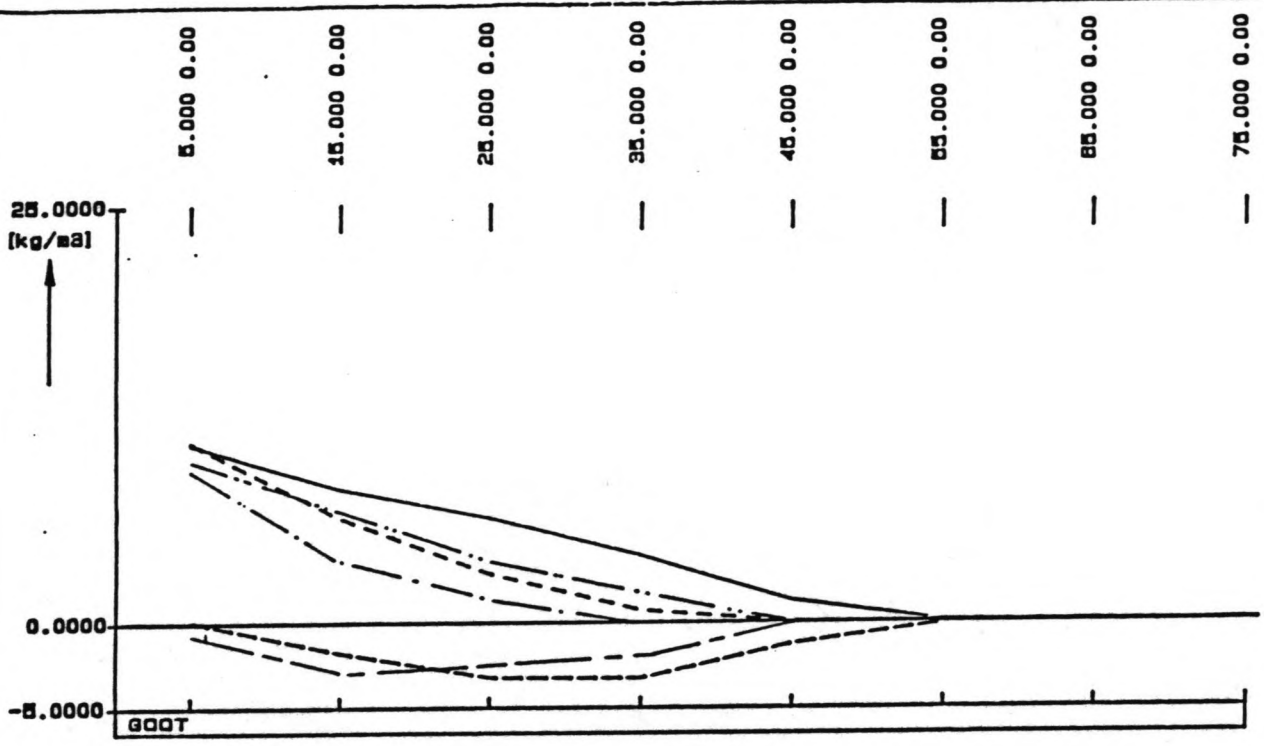
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 MET KRIBBEN
 SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - - -
 VERTR. 3.25 - · - · -



DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 MET KRIBBEN
 SPRINGTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

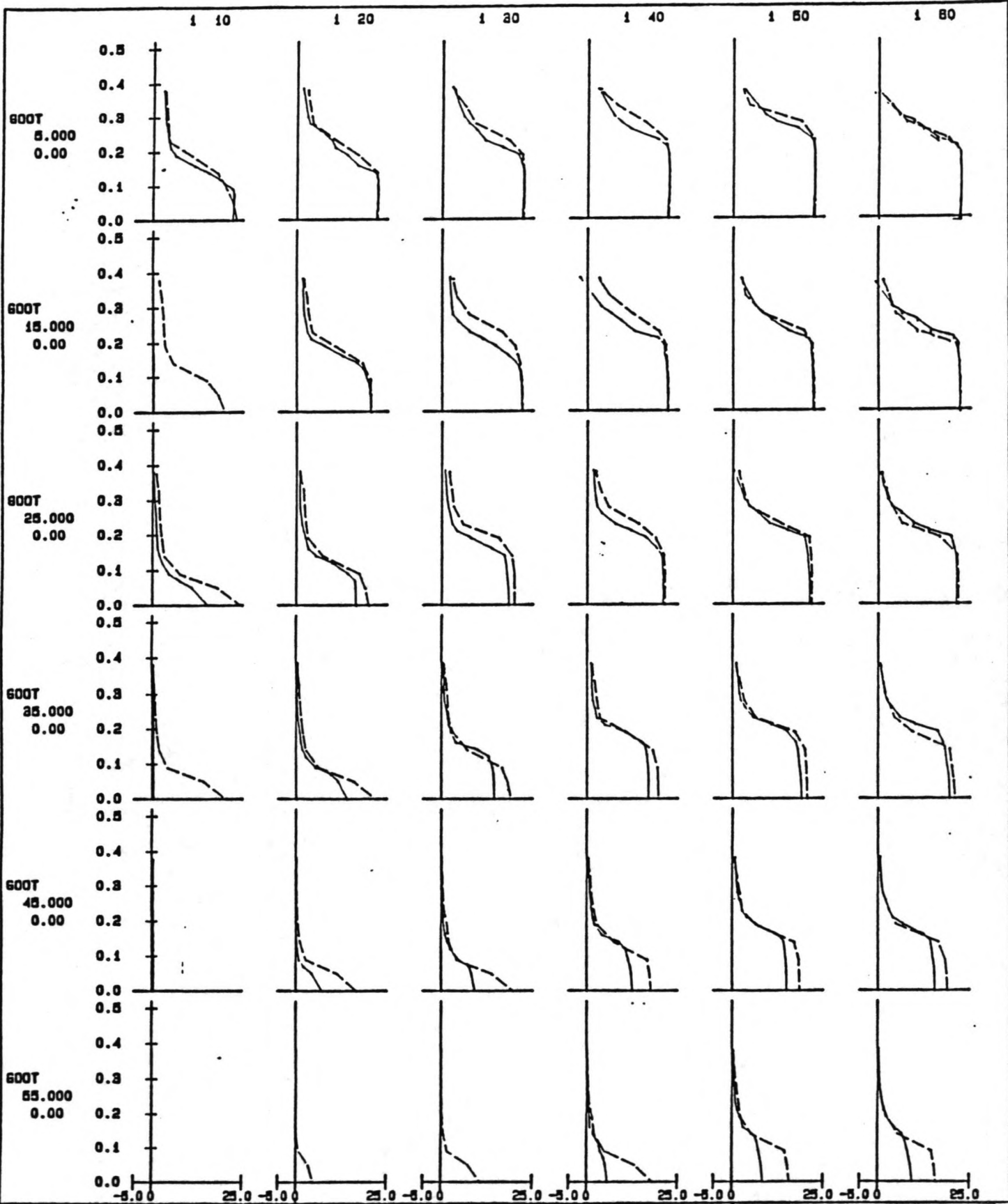
VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -
 VERTR. 3.25 ·····



VERSCHILLIJN VERTR. 10 - - - -
 VERSCHILLIJN VERTR. 5 - - - -

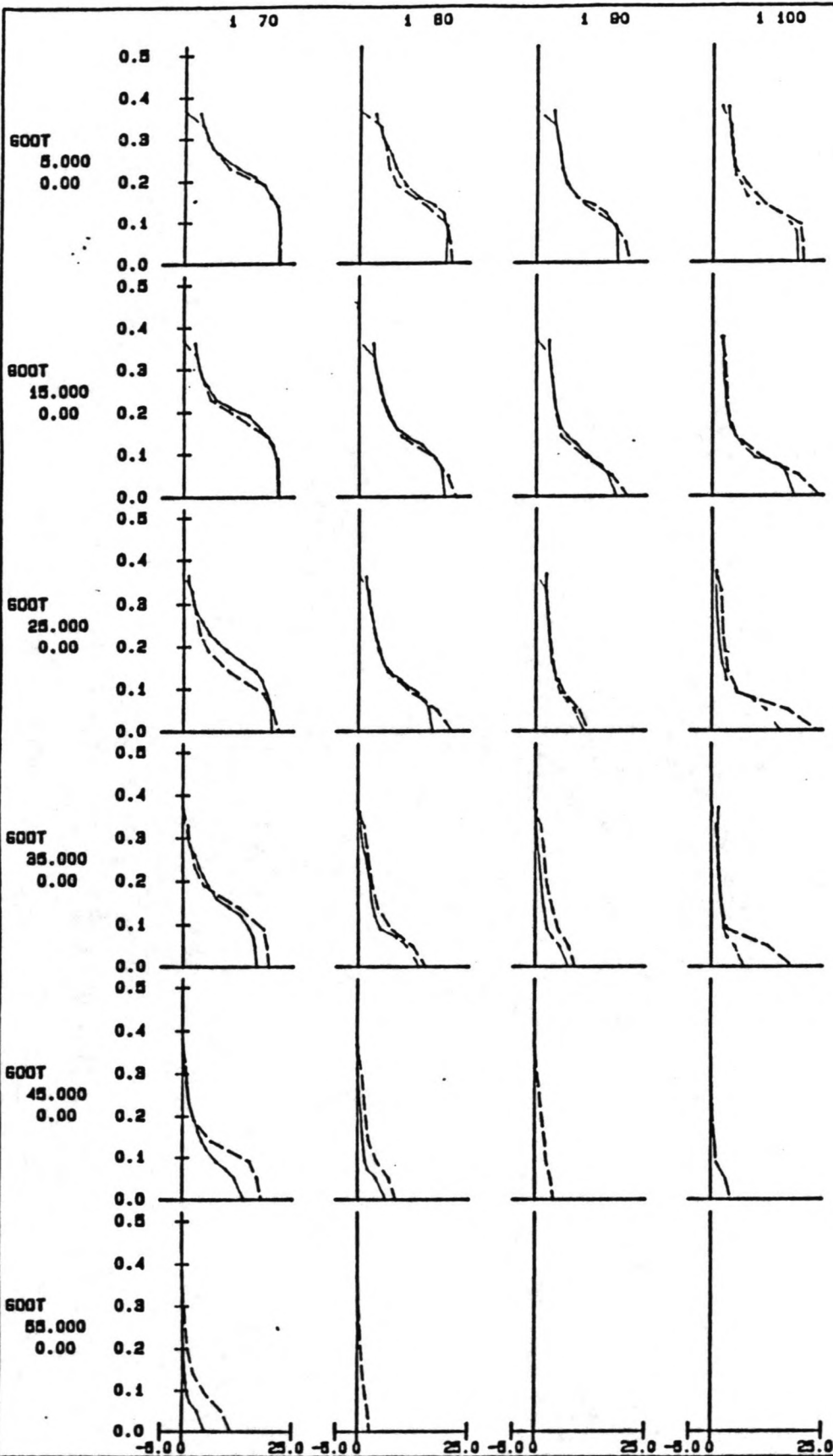
LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERDELING OP
 LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
 DOODTIJ
 VERTREKKINGEN 10 EN 5

VERTR.
 10 - - - - (MET KR.)
 10 - - - - (ZONDER KR.)
 5 - - - - (MET KR.)
 5 - - - - (ZONDER KR.)



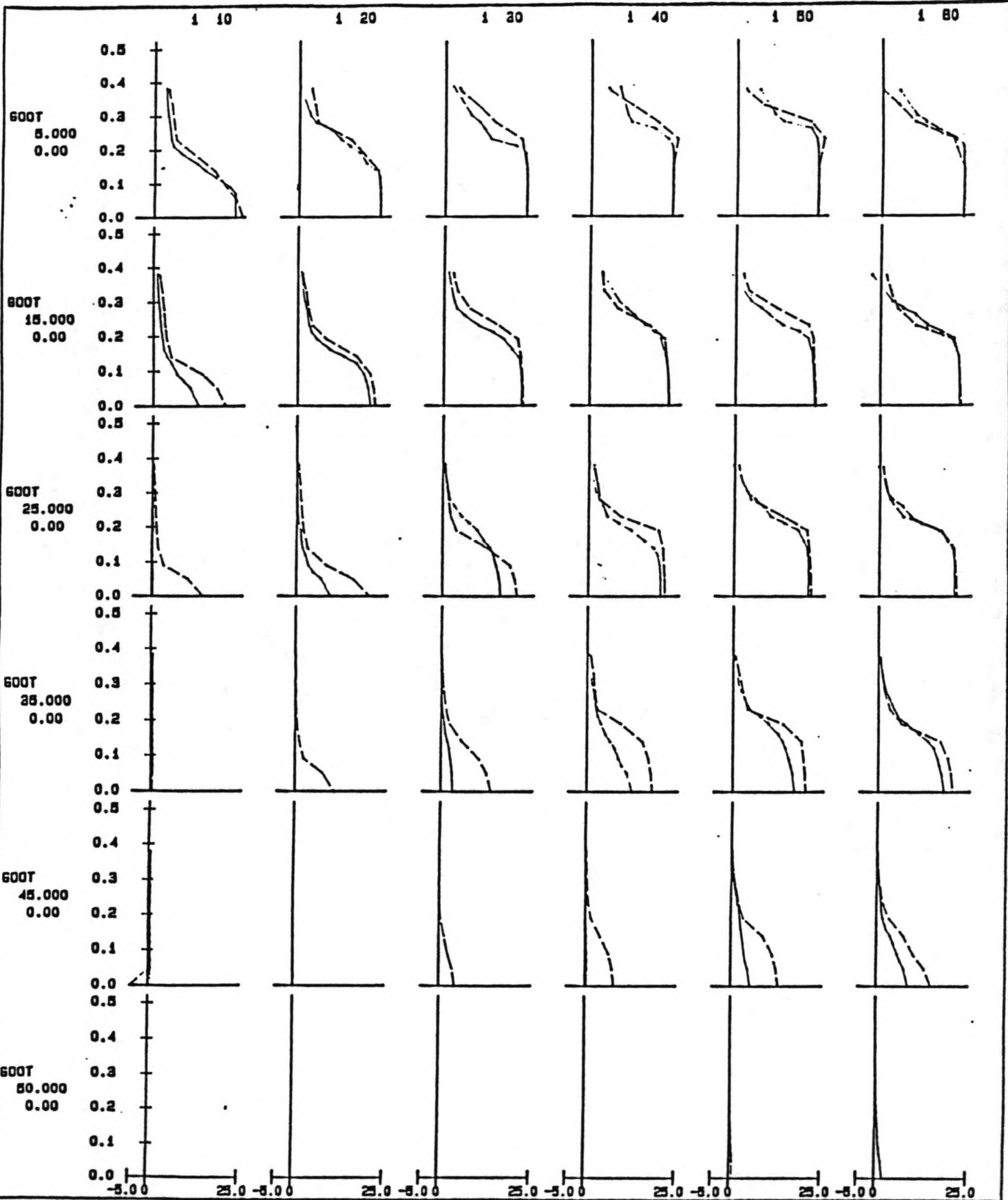
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 ZONDER KRIBBEN
 DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -



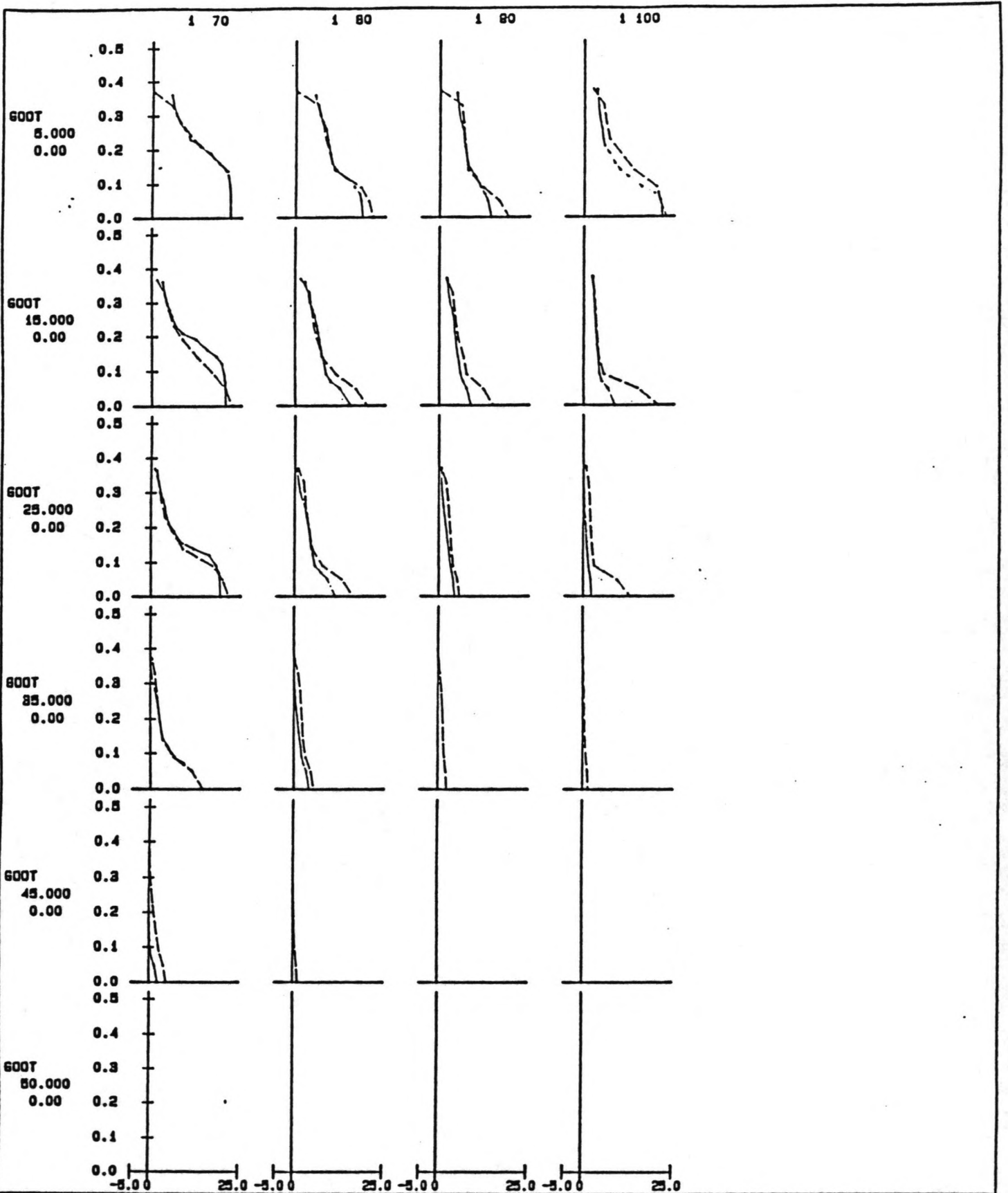
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 ZONDER KRIBBEN
 DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 -----
 VERTR. 5 - - - -



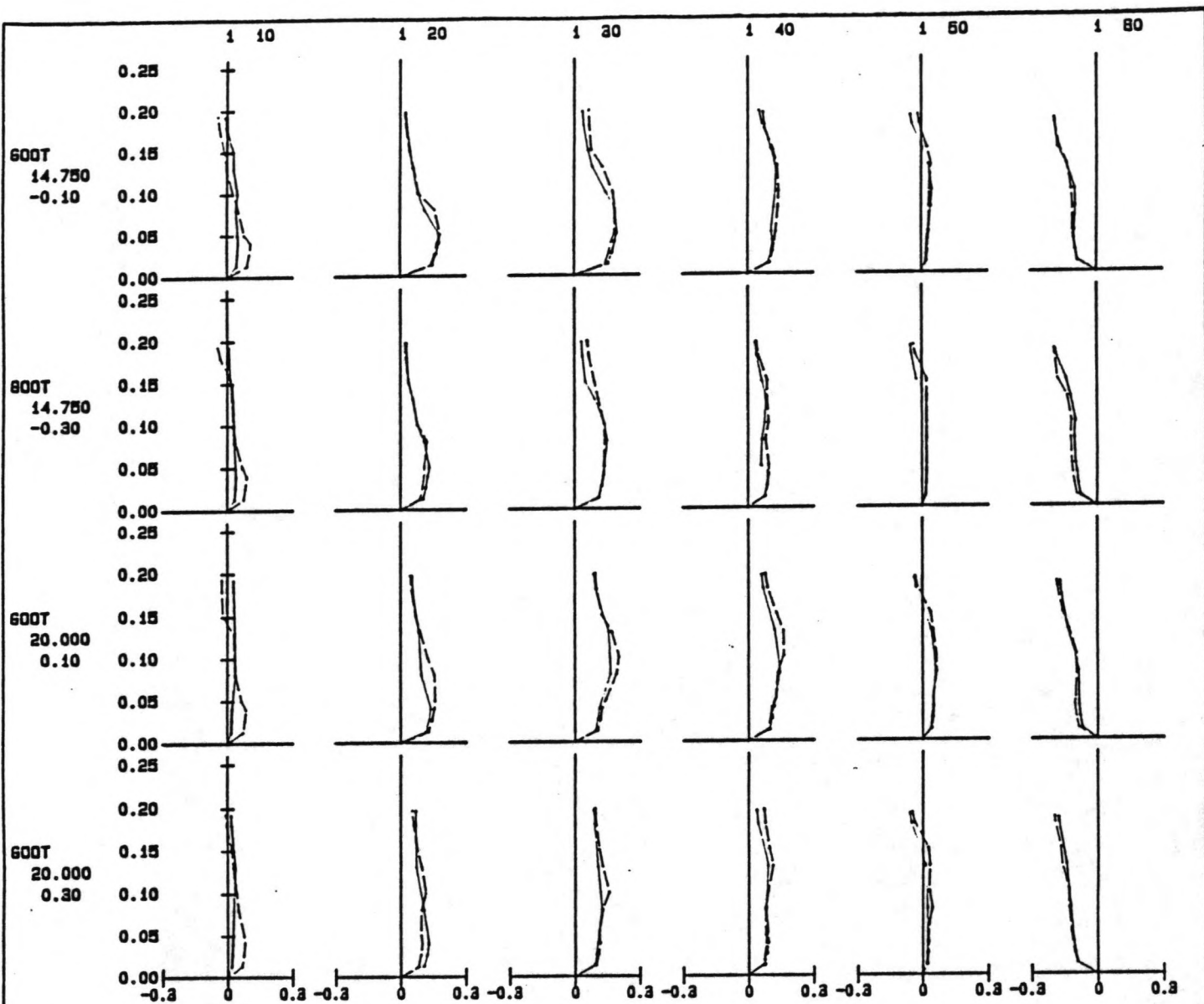
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 MET KRIBBEN
 DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 -----
 VERTR. 5 - - - - -



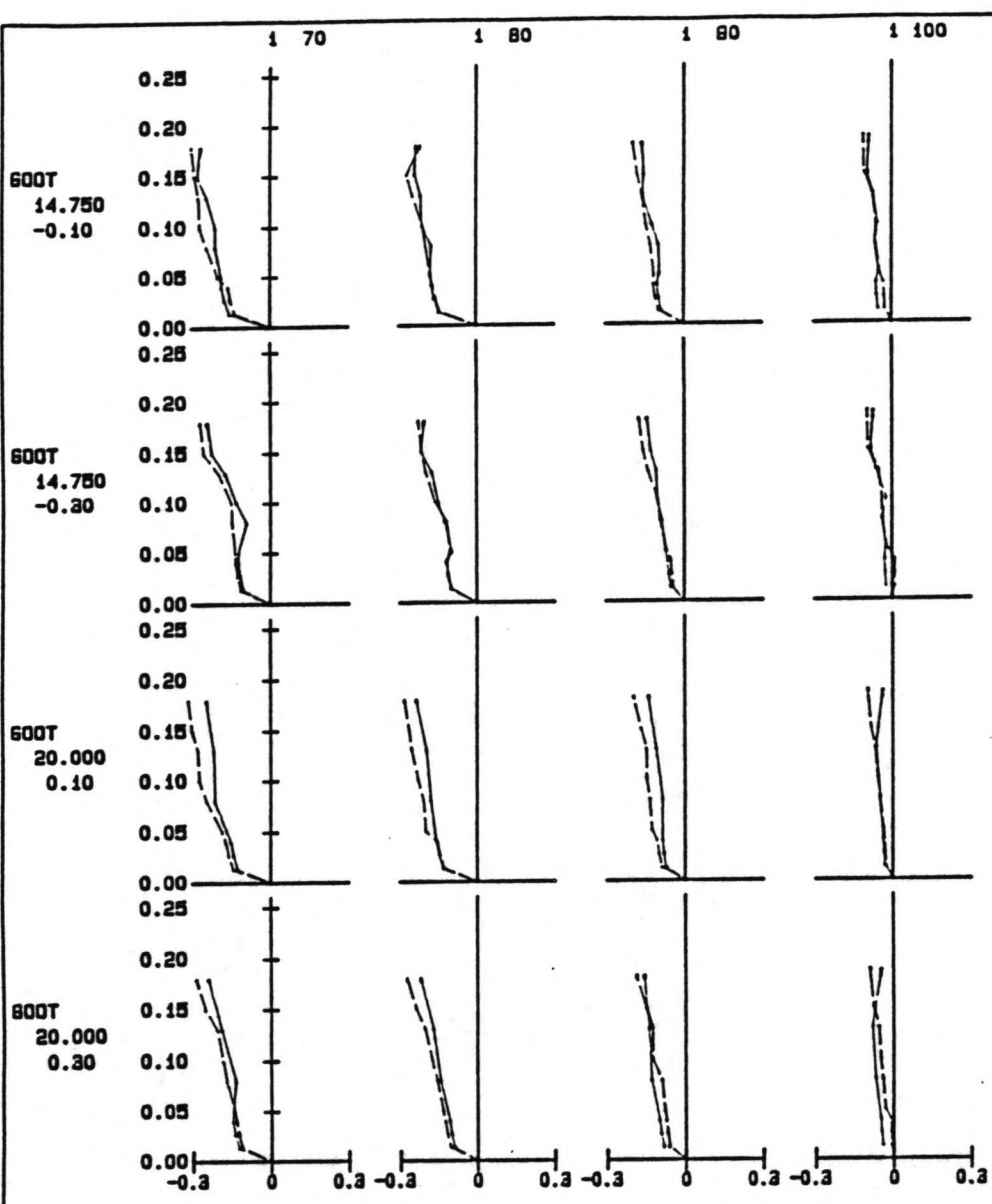
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 MET KRIBBEN
 DOODTIJ
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

VERTR. 10 ———
 VERTR. 5 - - -



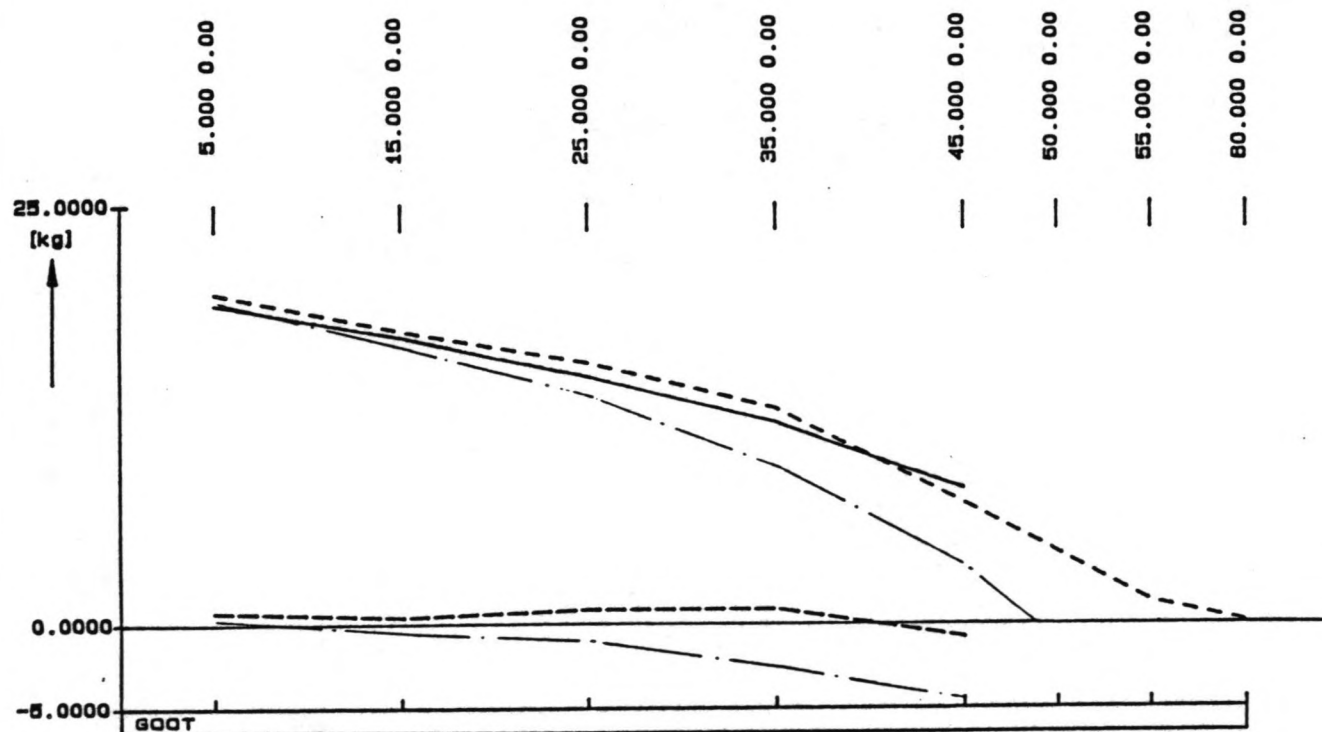
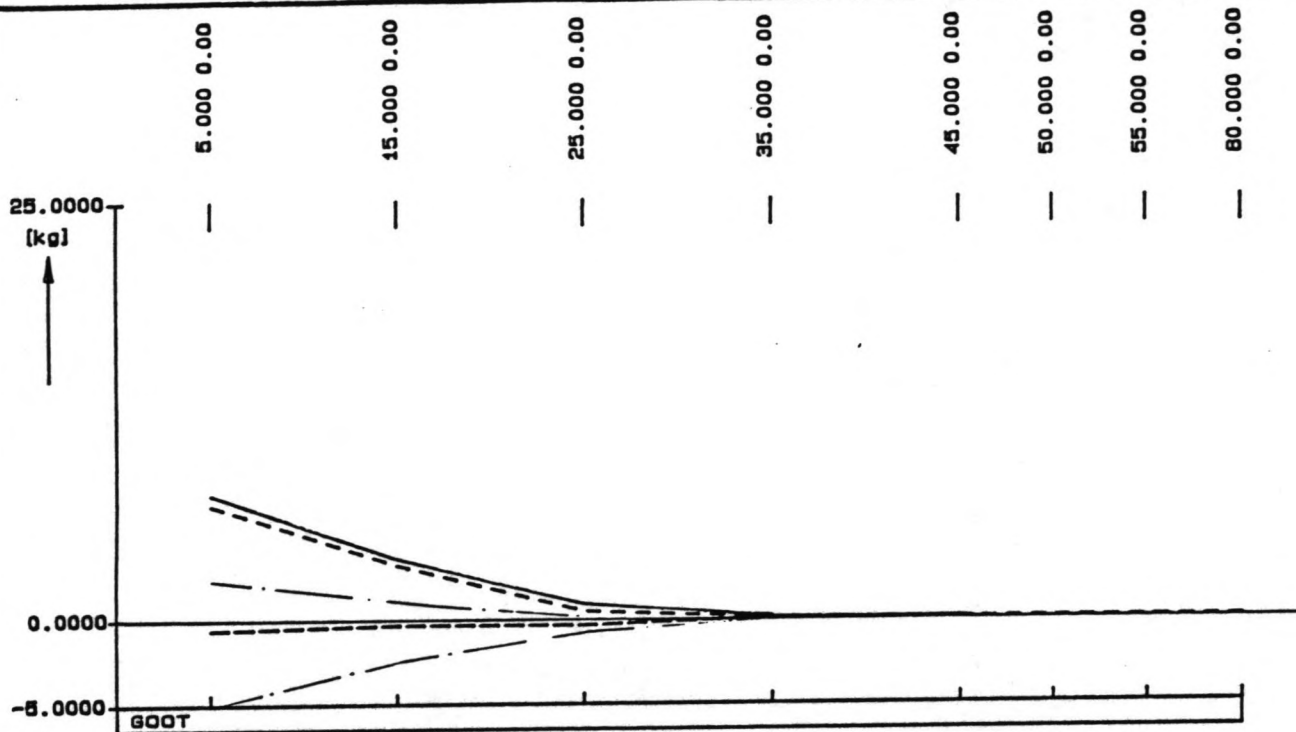
SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 KRUINHOGTE (LW (T8) / KRIBVAKKEN GED. OPG. (T9)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T8 = ———
 T9 = - - -



SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 KRUINHOOGTE (LW (T8) / KRIBVAKKEN GED. DPG. (T9)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T8 = ———
 T9 = - - -

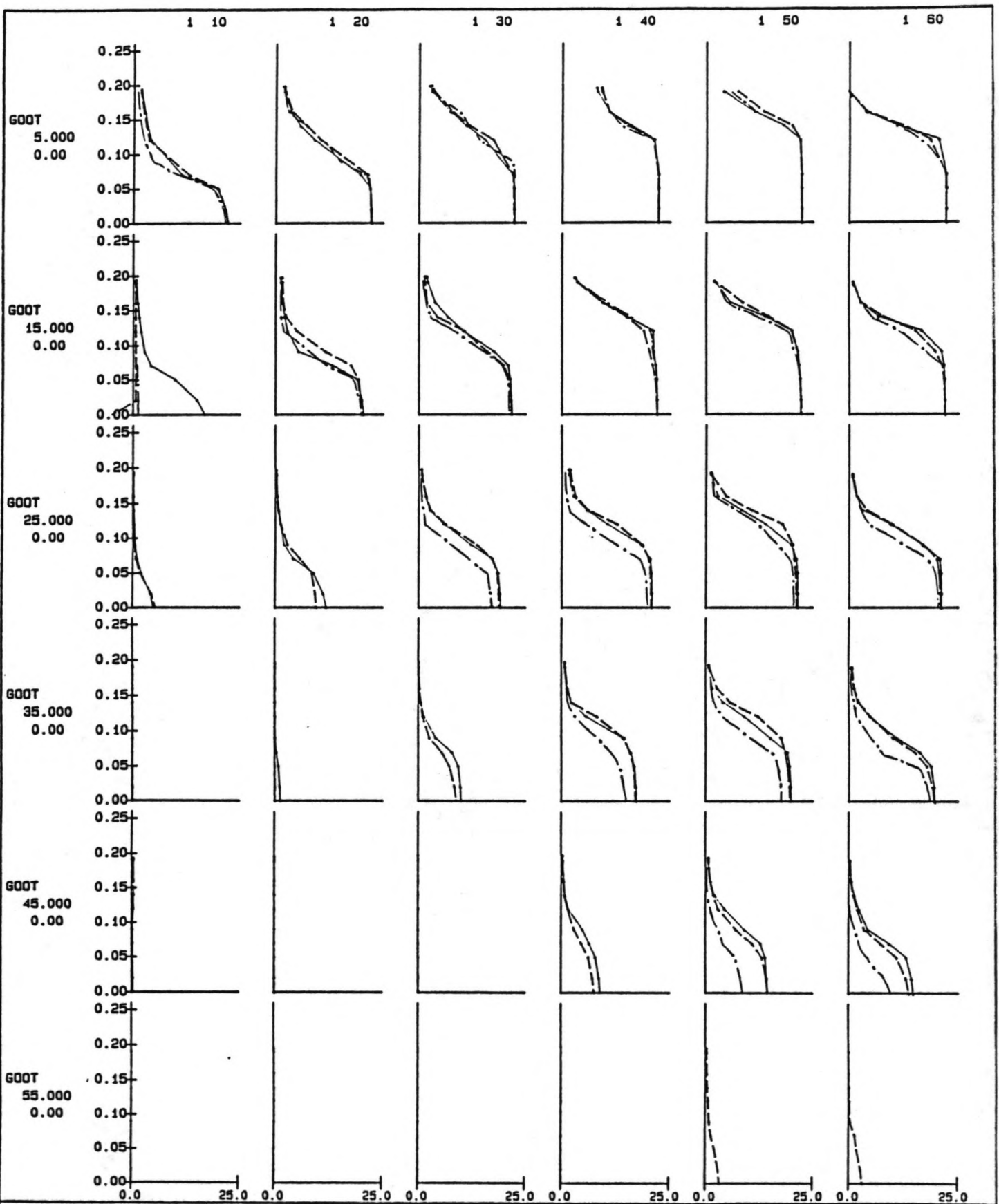


VERSCHILLIJNEN : T8-T6 = - - -

en T9-T6 = - - -

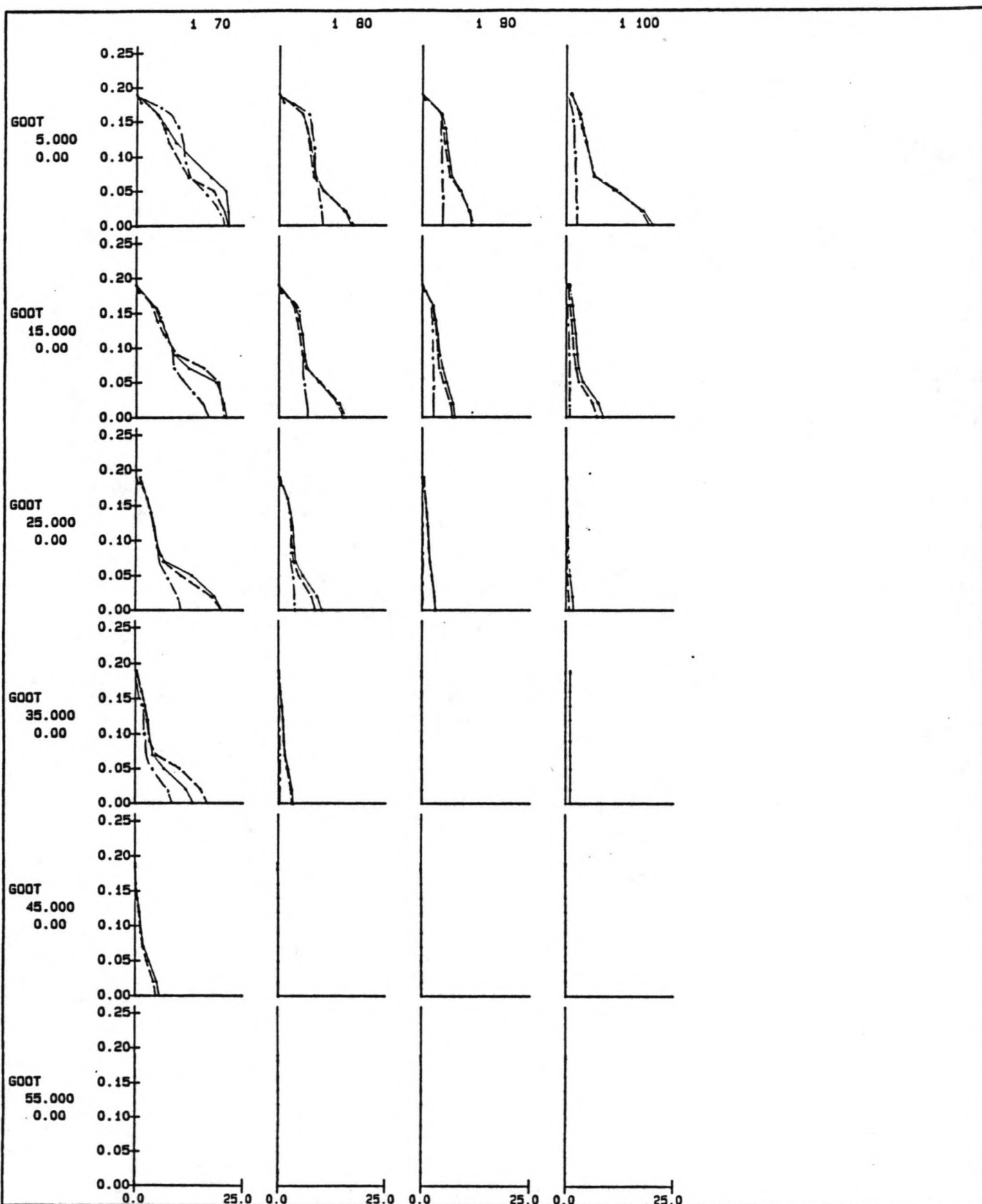
LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERDELING OP
LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
REFERENTIE (T6) / KRUINHOOGTE (LW (T8) /
KRIBVAKKEN GED. OPG. (T9)

T6 = ———
T8 = - - -
T9 = - - -



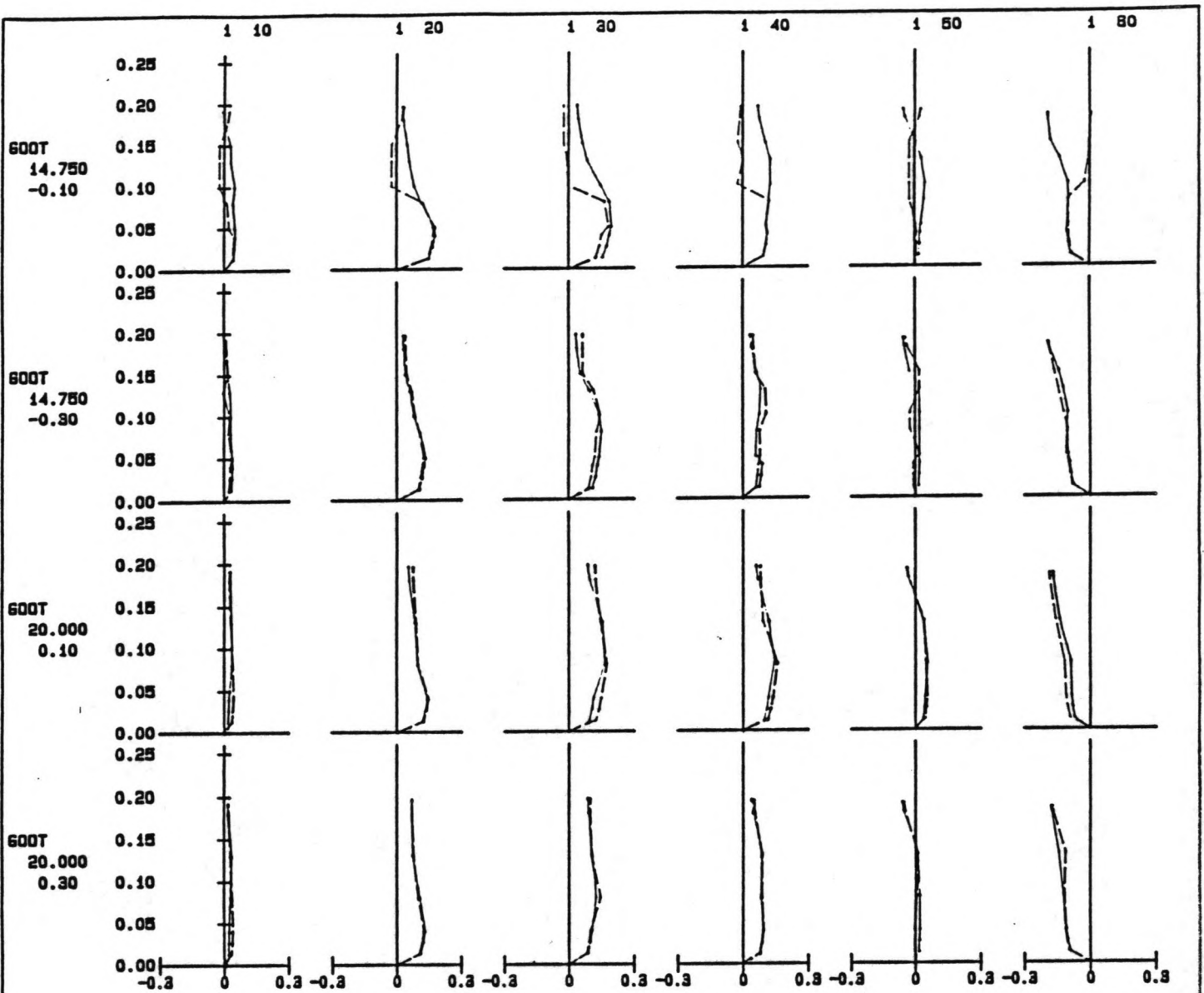
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 REFERENTIE (T6) / KRUIHOOGTE (LW (T8) /
 KRIBVAKKEN GED. OPG. (T9)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T6 = ———
 T8 = - · - · -
 T9 = - - - -



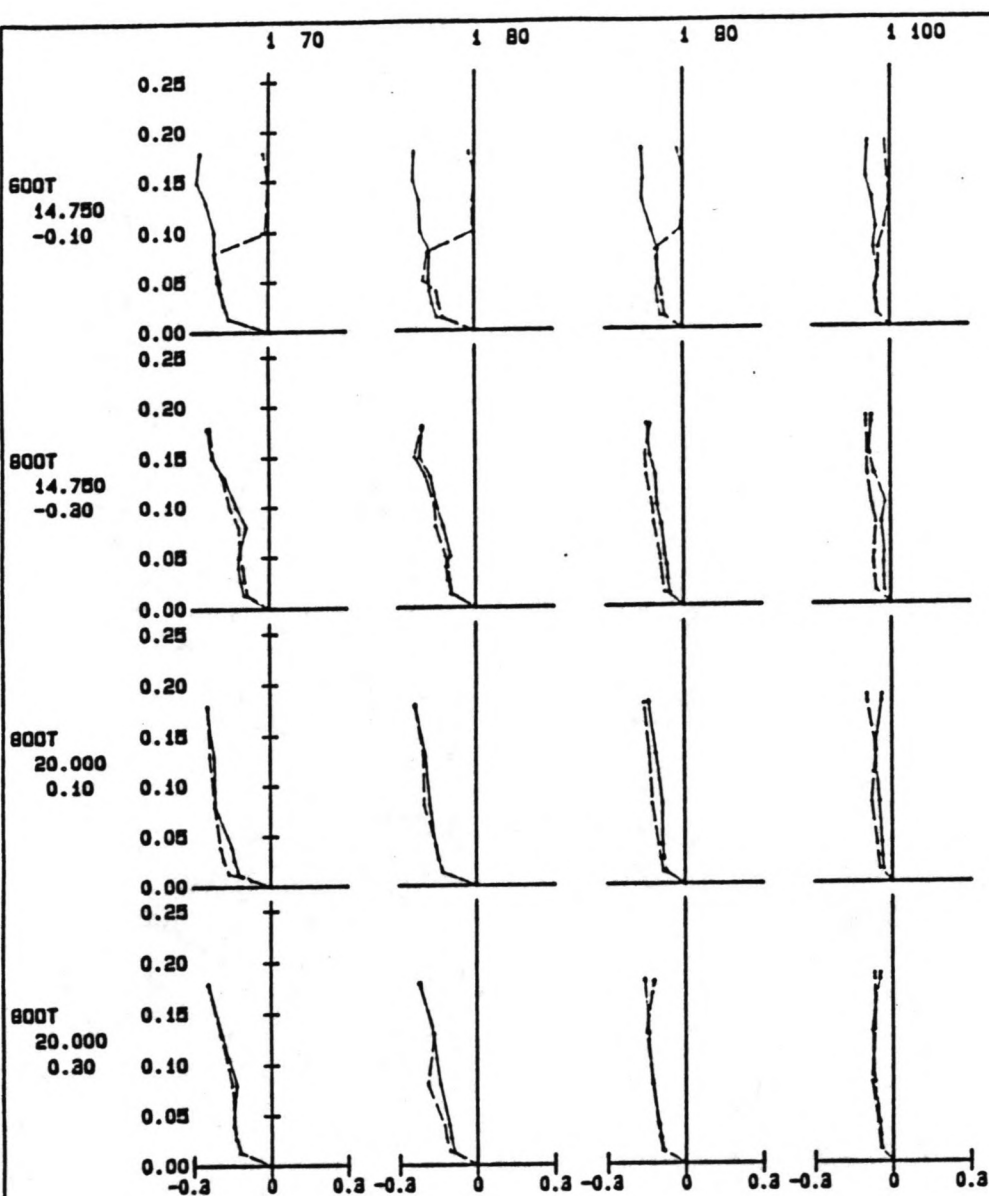
DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 REFERENTIE (T6) / KRUIHOOGTE (LW (T8) /
 KRIBVAKKEN GED. DPG. (T9)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T6 = ———
 T8 = -.-.-
 T9 = ---



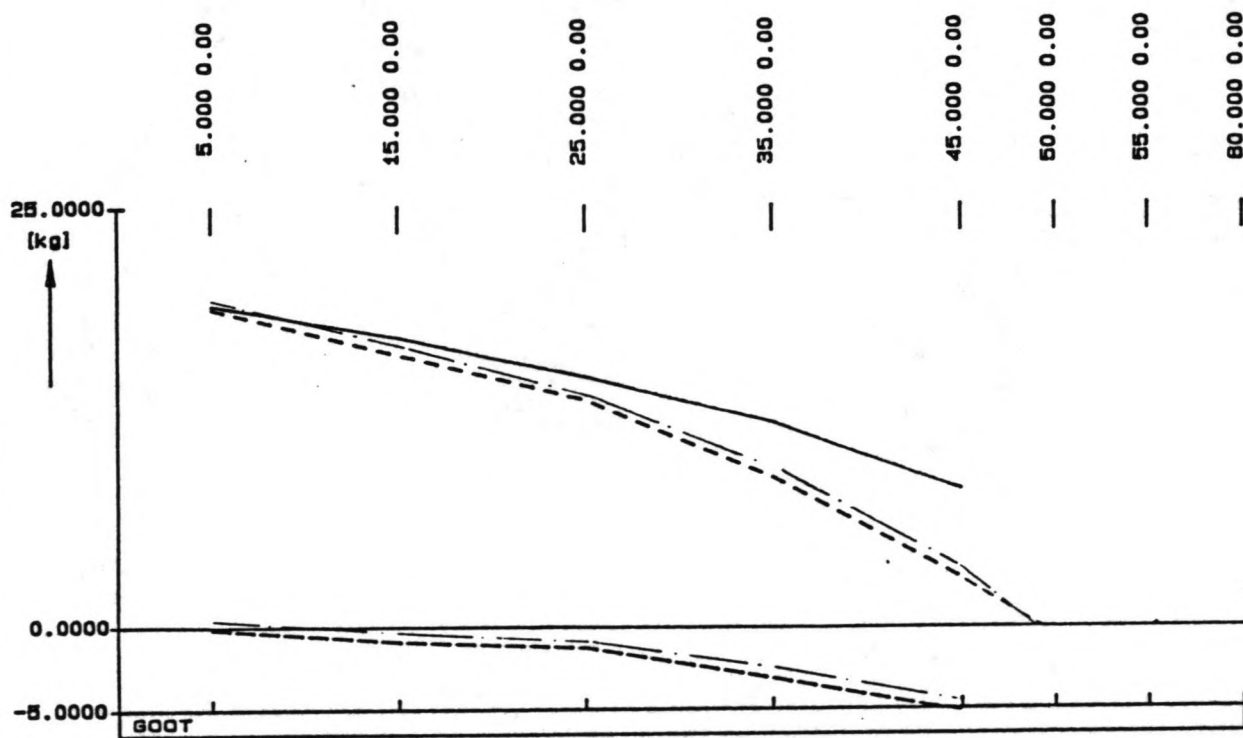
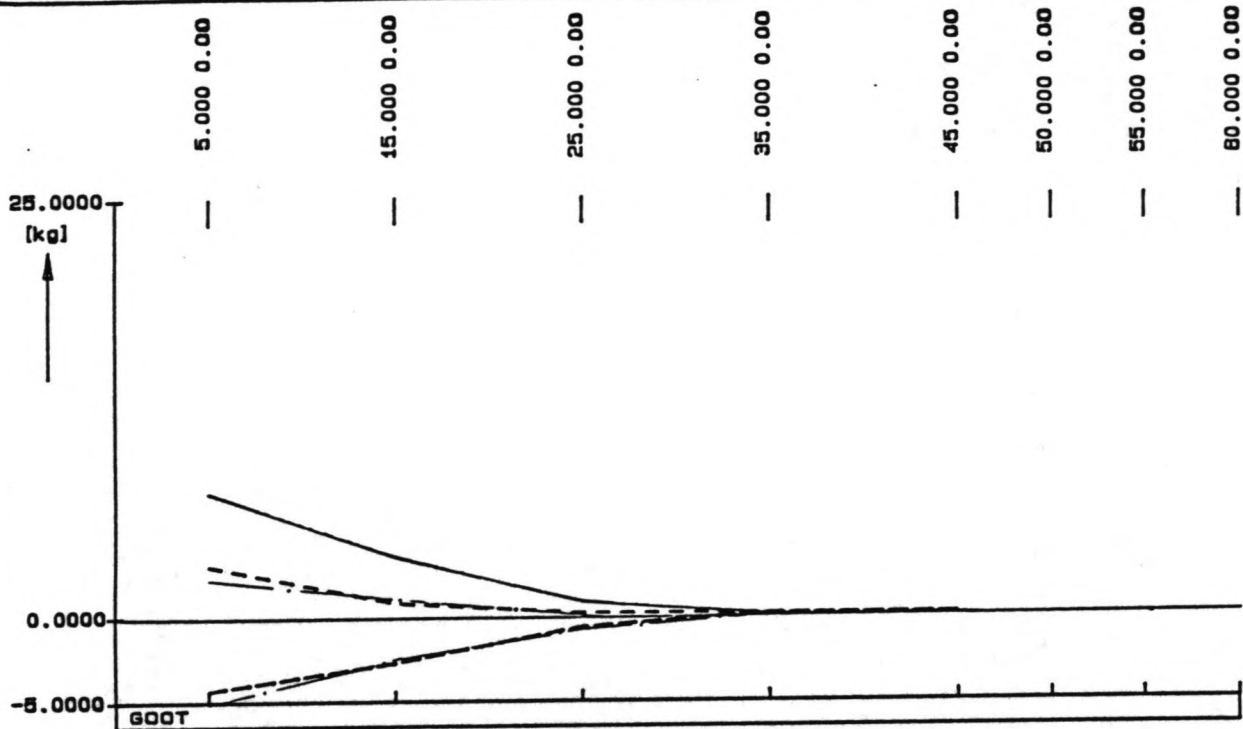
SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 KRUIHOOGTE (LW (T8) / KRUIHOOGTE) HW (T10)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T8 = ———
 T10 = - - - -



SNELHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 KRUIHOOGTE (LW (T8) / KRUIHOOGTE) HW (T10)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

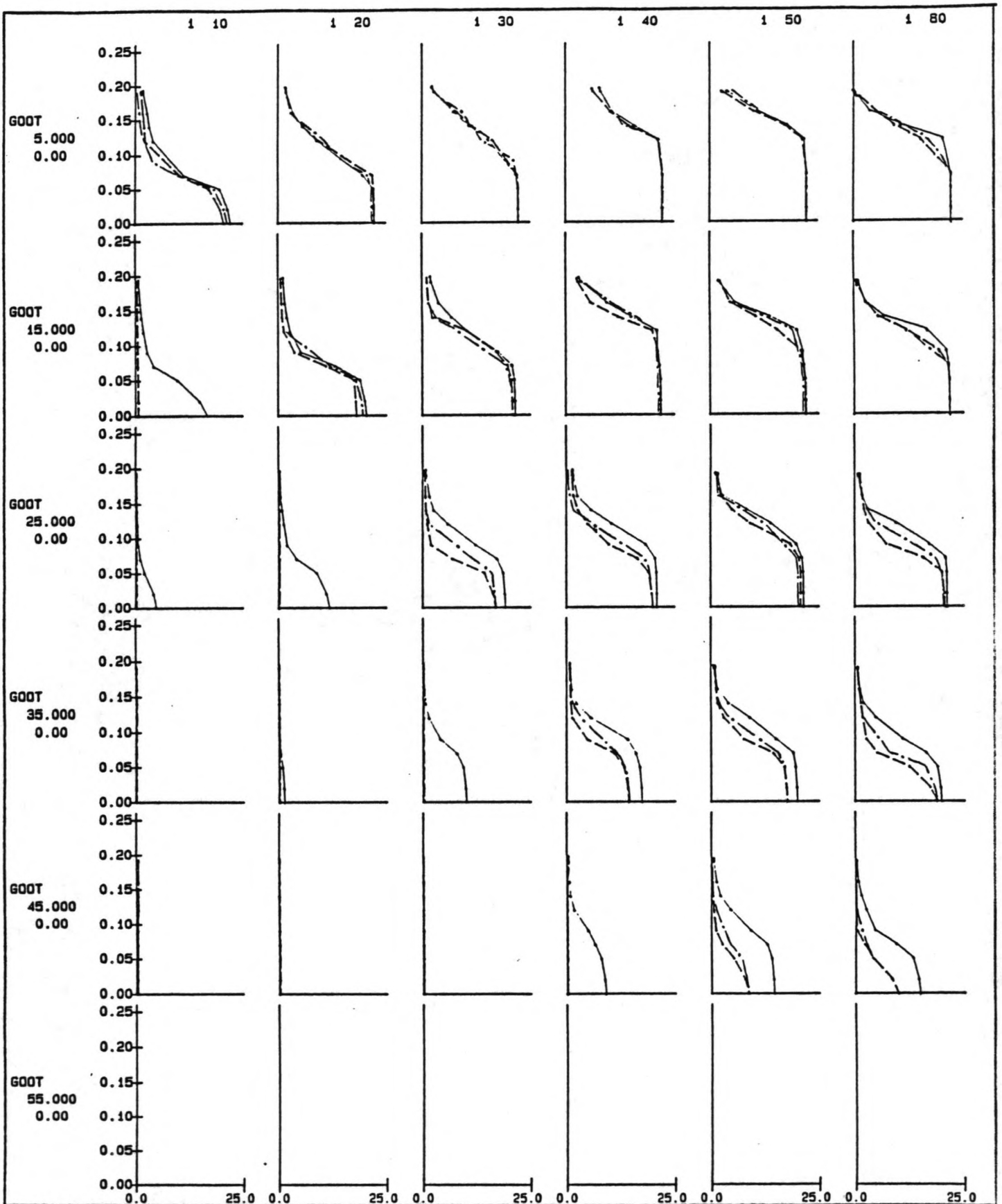
T8 = ———
 T10 = - - -



VERSCHILLIJNEN : T8-T6 = -.-.- en T10-T6 = -.-.-

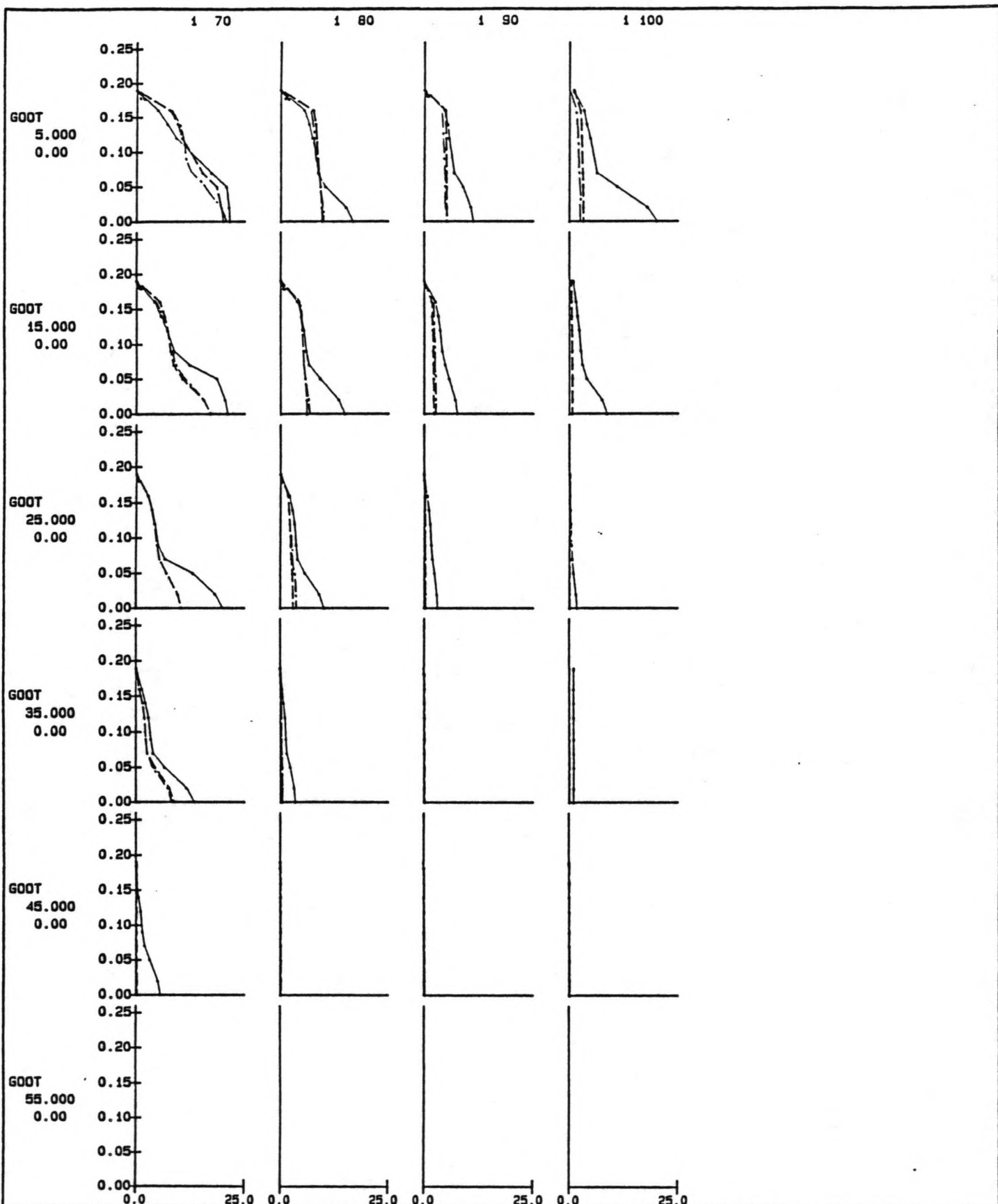
LONGITUDINALE (VERT. GEMIDD.) DICHTHEIDSVERDELING OP
 LWK (BOVENSTE FIGUUR) EN HWK (ONDERSTE FIGUUR)
 REFERENTIE (T6) / KRUIHOOGTE (LW (T8) /
 KRUIHOOGTE) HW (T10)

T6 = _____
 T8 = -.-.-
 T10 = -.-.-



DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 10 T/M 60)
 REFERENTIE (T6) / KRUIHOOGTE (LW (T8) /
 KRUIHOOGTE) HW (T10)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T6 = ———
 T8 = -.-.-
 T10 = -.-.-



DICHTHEIDSPROFIELEN (TIJDSTAP 70 T/M 100)
 REFERENTIE (T6) / KRUIHOOGTE (LW (T8) /
 KRUIHOOGTE) HW (T10)
 (LWK OP TIJDSTAPPEN 0 EN 100; HWK OP TIJDSTAP 50)

T6 = ———
 T8 = - - -
 T10 = - . -

