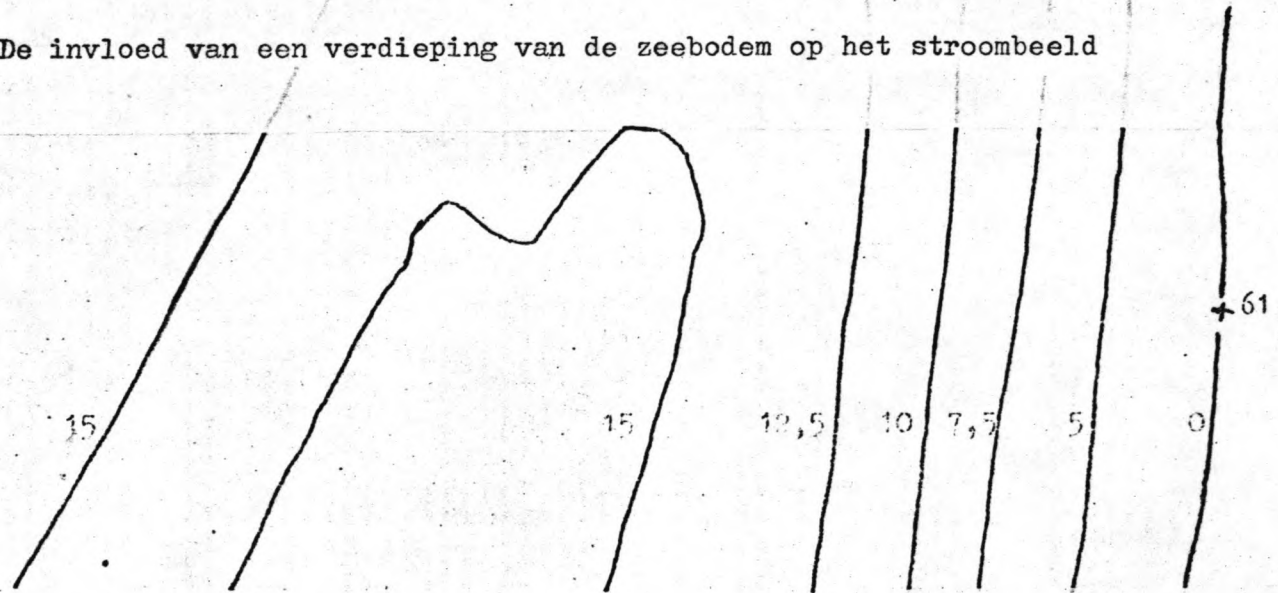


# ZANDWINNING IN DE NOORDZEE

ter hoogte van IJmuiden

De invloed van een verdieping van de zeebodem op het stroombeeld



Over roel cirkel & paul leene

mei, 1975

*Handwritten signature and date:*  
19/6/75

# Inhoud

	blz
1 Inleiding	1
2 Berekeningswijze	3
2.1 Algemene vergelijkingen	3
2.2 Gebruikelijke vergelijkingen	5
2.3 Systeem TIDES	7
3 Berekening I	9
3.1 Randen v. h. rekenschema	9
3.2 Randvoorwaarden	9
3.3 Stapgrootte	11
3.4 Waterdiepten	12
3.5 Uitvoer en controle	13
4 Berekening II	14
4.1 Randen v. h. rekenschema	14
4.2 Randvoorwaarden	15
4.3 Waterdiepten	15
4.4 Stapgrootte	16
4.5 Uitvoer	17
4.6 Controle	17
5 Berekening III	20
6 Resultaten	21
6.1 Waterstanden	21
6.2 Snelheden	22
6.3 Debieten	24
6.4 Stroomrichting	25
6.5 Nauwkeurigheid	26
7 Conclusie	28



## 1 Inleiding

Ons afstudeerontwerp is gericht op de zandwinning in de Noordzee

Het hoofdontwerp omvat een studie naar de invloed van een verdieping van de zeebodem op de stabiliteit van de kust. Hierby zijn wy uitgegaan van een verdieping van  $\sim 1$  m over een oppervlakte van  $5$  by  $5$  km in de omgeving van IJmuiden

De stabiliteit van de kust blijft niet in gevaar te komen, wanneer de landwaartse rand van deze verdieping in  $10$  m diep water komt te liggen

By deze beschouwing zijn wy ervan uitgegaan, dat de gety stroom evenwijdig aan de kust gericht is met een min of meer aangenomen verband tussen stroom snelheid en diepte en dat by een verdieping het debiet in een bepaalde strook constant blijft

In dit deelontwerp willen wy nu de invloed van een dergelyke verdieping op het stroombeeld bekijken om deze uitgangspunten te controleren. Wy doen dat m.b.v. een tweedimensionale gety berekening en wel het TIDES systeem.

Aangezien voor deze berekening geen geschikte randvoorwaarden beschikbaar zijn, maken we gebruik van de randvoorwaarden, die door J.G. de Vries voor een getyberekening van een deel van de Noordzee zijn gebruikt. Vandaar, dat eerst een getyberekening wordt gemaakt van hetzelfde gebied (zie bylage 1): berekening I.

Deze berekening levert de randvoorwaarden voor een getyberekening van de omgeving van IJmuiden, waar de bovengenoemde verdieping is gepland; berekening II

Nadat zo in dit gebied de variatie van waterstanden en snelheden gedurende een getyperiode berekend zijn, is de berekening ook uitgewerkt voor een plaatselijke verdiepte bodem: berekening III

Vergelijking van de resultaten van berekening II & III zal dan uitwijzen of er belangrijke wijzigingen in de grootte en richting van de stroom snelheden (c.q. debieten) te verwachten zijn

## 2 Berekeningswijze

### 2.1 Algemene vergelijkingen

De algemene vergelijkingen voor de voortplanting van lange golven in twee horizontale dimensies leiden als volgt:

2.1.1 Bewegingsvergelijking in x richting:

$$g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{f}{D} u \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$- \omega v + \frac{W_x}{D} = 0$$

2.1.2 Bewegingsvergelijking in y richting:

$$g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} + u \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{f}{D} v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$+ \omega u + \frac{W_y}{D} = 0$$

2.1.3 Continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial D}{\partial x} + D \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial D}{\partial y} + D \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

2.1.4 Verband tussen enerzijds de waterdiepte en anderzijds de ligging van waterhoogte en bodemdiepte tov. een referentieniveau:

$$D = h - z$$

Hierin gebruikte symbolen:

- $g$  versnelling \* zwaartekracht  
 $h$  hoogte wateroppervlakte tov een referentieniveau  
 $t$  tijd  
 $x$  horizontale coördinaat (in onze berekeningen naar de kust gericht)  
 $y$  horizontale coördinaat (in onze berekeningen evenwijdig aan de kust gericht)  
 $u$  component van de snelheid in  $x$  richting  
 $v$  idem in  $y$  richting  
 $f$  weerstandscoëfficiënt  $f = g / C_r^2$   
 waarin  $C_r = 18 \log \frac{12D}{r}$   
 $D$  waterdiepte  
 $z$  peil van de bodem tov een referentievlak  
 $\omega = 2\omega' \sin \varphi$  waarin  $\omega'$  hoeksnelheid aan de  $\varphi$  breedtegraad.  
 $W_x, W_y$  componenten van een opgedrongen kracht, resp in  $x$  en  $y$  richting; bijv. windkracht.

## 2.2. Gebruikte vergelijkingen

Voor onze berekeningen hebben wij de in 2.1 gegeven vergelijkingen gebruikt. Hieronder worden nog enige termen van deze vergelijkingen nader toegeelicht.

Bij onze berekeningen is geen rekening opgehouden met de windkracht, dus  $W_x = W_y = 0$ .

### 2.2.1 Wrijvingsterm:

$$\frac{f}{D} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \text{resp.} \quad \frac{f}{D} v \sqrt{u^2 + v^2}$$

De grootte van de weerstandscoefficiënt  $f$  hangt af van de keuze van de ruwheidsmaat  $r$ . Welke waarde voor deze ruwheidsmaat  $r$  genomen moet worden in de Noordzee voor de Nederlandse kust is niet goed bekend.

Wij nemen hiervoor de helft van de ribbelhoogte en nemen aan dat deze ribbelhoogte overal gelijk is en wel  $= 0.10 \text{ m}$ . Dus  $r = 0.05 \text{ m}$ . De Vries nam bij zijn berekening aan, dat  $r = 0.03 \text{ m}$ . De resultaten van deze berekening (hoge snelheden) leiden tot de suggestie deze waarde te vergrotten tot  $0.05 \text{ m}$ .



Bij constante waarde van  $r$  is de coëfficiënt van Chezy ( $C_r$ ) en dus ook de weerstandscoëfficiënt  $f$ , als functie van de diepte bekend (zie bijlage 283).

### 2.2.2. Coriolis term

Bekend is dat, wanneer waterbewegingen over grote horizontale afstanden beschouwd worden, de invloed van de Coriolis versnelling niet verwaarloosd mag worden. Dit blijkt ook uit de berekening van de Vries.

Op de breedte van Nederland geldt voor een rechtsdraaiend assenstelsel:

$$\omega = -2\omega' \sin \phi = -0.11461 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

### 2.3. Het systeem TIDES

Dit systeem is ontwikkeld voor het uitvoeren van twee-dimensionale getijberekeningen. Het stelsel vergelijkingen, dat de voortplanting van lange golven beschrijft (zie 2.1), wordt opgelost m.b.v. een zog. "alternating direction impliciet methode".

Dit betekent, dat om bepaalde nieuwe waarden van  $h$  en  $u$  en van  $h$  en  $v$  berekend worden m.b.v. een impliciete berekening in  $x$ - resp  $y$ -richting. Per tijdstap worden de  $u$ - en  $v$ -waarden dus eenmaal en de  $h$ -waarden tweemaal berekend. De tweede berekende  $h$ -waarde wordt uitgewerd.

Bij de discretisering wordt een in de ruimte en tijd versproongen schema gehanteerd.

Zie bijlage 4

Ergeldt:

$$H(i,j) = h(i * s_x, j * s_y, t)$$

$$F_r(i,j) = f(i * s_x, j * s_y)$$

$$U(i,j) = u((i + 1/2) s_x, j * s_y, t - 1/2 \tau)$$

$$V(i,j) = v(i * s_x, (j + 1/2) s_y, t)$$

$$Z(i,j) = z((i + 1/2) s_x, (j + 1/2) s_y)$$

$$H'(i,j) = h(i * s_x, j * s_y, t + 1/2 \tau)$$

$$U'(i,j) = u((i + 1/2) s_x, j * s_y, t + 1/2 \tau)$$

Gegevens, die nodig zijn voor het uitvoeren van een getijberekening mbv. TIDES zijn:  
 dieptecijfers, wrijvingscoëfficiënten,  
 vorm en grootte van het rekennetwerk,  
 randvoorwaarden en beginvoorwaarden.

Als beginwaarde is steeds gesteld: alle waarden ( $u$ ,  $v$  en  $h$ ) = 0

Omdat dit in het algemeen niet met de realiteit, ten tijde  $t=0$ , overeenkomt, is een inslingertijd nodig.

De berekening is "ingeslingerd" indien de berekende grootheden op een bepaald tijdstip  $t=t_1$  niet meer verschillen van die ten tijde  $t=t_1+T$ , daar de getijkromme een periodieke functie is met periode  $T$ .

Zie voor dit inslinger verschijnsel, bijlage 5. Hierop is de berekening van de getijkromme te Ymuiden weer gegeven. Zelfs bij de hier gekanteerde grootte van de tijdstap is de inslingertijd hier  $3/4 T$ .

### 3 Berekening I

Het doel van deze berekening is het bepalen van de randvoorwaarden voor berekening II, dus het berekenen van de variatie in de waterhoogten aan de rand van het schema van berekening II.

3.1 De randen van het schema zijn zo gekozen, dat deze overeenkomen met die, gebruikt door de Vries i.v.m. het ontlenen van de randvoorwaarden aan deze berekening

3.2 Randvoorwaarden.

Deze zijn door de Vries bepaald in de punten aangegeven op bijlage 6.

Uitgegaan werd van de gemiddelde getijkrommen bij Den Helder, IJmuiden en Hoek van Holland (bijlagen 7 t/m 9).

Hierop is een Fourier analyse toegepast. Voor de hierboven genoemde punten werden de getij constanten als volgt afgeleid.

Mbv de iso amplitude lijnen (ontleend aan de reductie kaart van de Noordzee) werd de amplitude verhouding bepaald tussen de bovengenoemde punten en het punt aan de kust, waar de getijkromme bekend is (voor zover gelegen op dezelfde iso fase lijn).

Aangenomen, dat op de isofaselijnen alle componenten dezelfde fase hebben, werden alle getijconstanten met deze verhouding vermenigvuldigd (zie bijlage 10).

Doar de onderrand van het reken schema niet samenvalt met de isofaselijnen van Hoek van Holland (bijlage 6) werden hier de constanten eerst bepaald voor die punten op de isofaselijnen, die op de zelfde stroomlijnen (geschat) gelegen zijn als de randpunten.

De omkering van de constanten van een punt op de isofaselijnen naar de rand werd uitgevoerd met de volgende vergelijkingen

$$a'_n = a_n \cos \phi + b_n \sin \phi$$

$$b'_n = -a_n \sin \phi + b_n \cos \phi$$

n index Fourier comp.

hierin zijn:  $a_n, b_n$  getijconstanten op isofaselijnen

$a'_n, b'_n$  " " op de rand.

$\phi = 2\pi l/L$  faseverschil

$l$  afstand isofaselijnen tot randpunt

$L$  lengte getijgolf  $\sim 750\text{km}$

Zie voor berekening bijlage 10.

Voor alle tussenliggende punten op de rand, wordt de waarde voor de waterstand verkregen door lineaire interpolatie.

### 3.3 Stapgrootte in ruimte en tijd.

Rekening houdend met de plaats van de punten, waar de randvoorwaarden gegeven zijn, is voor de stapgrootte in de ruimte in x en y richting gekozen voor  $s_x = s_y = 2500\text{m}$  (zie bijlage G). Dit betekent dat  $\sim 1150$  punten moeten worden doorgerekend.

Voor de tijdstapgrootte is gekozen:  $\Delta t = 1788.5$  (d.i. ongeveer een half uur). Voor deze stapgrootte is gekozen om de kosten van de berekening laag te houden (deze kosten bedragen bij  $\sim 1000$  ruimtepunten fl. 1.- per tijdstap). Bovendien is voor het berekenen van het verloop van de waterstanden (het deel van deze berekening) een niet al te grote nauwkeurigheid voldoende.

Neem een gemiddelde diepte = 25 m dan is de voortplantingssnelheid van de getijgolf (c)  $\sim 15\text{ m/s}$ .

$$\rightarrow \frac{c \Delta t}{s_x} \sim 11$$

### 34 Waterdiepten

De waterdiepten hebben wij ontleend aan een zeekaart voor de Nederlandse kust tussen Den Helder en Hoek van Holland.

Een nadeel van deze kaart is, dat alleen de ondiepten (belangrijk voor de scheepvaart) hierop vermeld staan. Plaatselijke diepe plekken en geulen (belangrijk voor de getijbeweging) zijn niet aangegeven. Deze moedelykheid hebben wij getracht te ondervangen door de diepte 10% groter aan te nemen.

Deze 10% is afkomstig uit een vergelijking met een overzichtsk kaart van het zeegebied IJmuiden.

Op de zeekaart zijn de diepten in meters tov. LL.W.S. aangegeven. Bijlage II geeft de diepten tov. NAP weer, zoals die zijn ingevoerd. De nauwkeurigheid van deze diepte cijfers zal niet groter zijn dan 1 m.

Deze nauwkeurigheid zal voldoende zijn voor het berekenen van het verloop van de waterstanden

### 3.5 Uitvoer en controle

Via de regelbuisjes hebben wij de resultaten van de berekening van de tweede doorgevekkende periode (ivm inslingertijd) om de twee tijdstappen (3576 s) laten uitvoeren.

Deze uitvoer omvat voor alle punten per tijdstap de waterstand en de snelheidscomponent in  $x$ - ( $u$ ) en in  $y$ -richting ( $v$ ).

Ter illustratie is de berekende getijkromme van IJmuiden weergegeven op bijlage 8. Deze vertoont een grote overeenkomst met de gemiddelde getijkromme (benadering met Fourierreeks!).

De waterstanden in de raadvorwaardenpunten van Berekening II (zoals berekend tijdens de tweede doorgevekkende periode) zijn per tijdstap weggezet op een achtergrondgeheugen, zodat deze bij berekening II direct opgeroepen konden worden.

De berekende maximale stroom snelheden voor de kust van Scheveningen, in 22 m diep water, zijn van de orde van grootte van 0.7 m/s. Dit komt overeen met geëxtrapolerde waarden uit metingen (bijlage 15).



## 4 Berekening II

Dit is een getijberekening van het zeegebied IJmuiden, zoals aangegeven op bijlage 12.

### 4.1 Randen

De volgende overwegingen hebben meegespeeld bij het bepalen van de randen.

De plaats van de verdieping, die in een volgende berekening wordt aangebracht, dient dicht bij de haven van IJmuiden gekozen te worden i.v.m. het doel van deze verdieping (zandwinning), doch buiten de directe invloed van de haven. danmer omwille van de duidelijkheid.

De randen dienen nu zo gekozen te worden, dat een verstoring van het stroombeeld door het aanbrengen van deze verdieping binnen deze randen blijft. Wij hebben aangenomen, dat de afstand tussen de randen en deze verdieping ongeveer gelijk moet zijn aan de afmetingen van deze verdieping (5 x 5 km).

Een andere overweging, van meer praktische aard, was de beschikbaarheid van een kaart van dit gebied: Overzicht zeegebied IJmuiden  
RWS Studiedienst IJmuiden.

## 4.2 Randvoorwaarden

Als randvoorwaarden worden de waterstanden genomen, die mbv Berekening I in de randen zijn berekend.

Dat als randvoorwaarden de waterstanden worden genomen, vindt zijn oorzaak hierin, dat het aanbrengen van een verdieping geen grote invloed op het verloop van de waterstand zal hebben.

Dit is van belang, wanneer de verstoring van het stroombeeld t.g.v. een verdieping zich tot de randen uitstrekt.

De opzet van het rekenschema voor deze berekening is zo gekozen, dat om de 5 punten de randvoorwaarden gegeven zijn; de waterstanden in de 4 tussenliggende randpunten worden door lineaire interpolatie bepaald.

(zie 4.4)

## 4.3 Waterdiepten

De waterdiepten voor dit gebied (zie bylage 13) zijn ontleend aan een overzichtskaart van het zeegebied IJmuiden (schaal 1:25000); hierop zijn de waterdiepten in dm's tot NAP aangegeven.

De onnauwkeurigheid van de diepte cijfers is in de orde van grootte van enige dm's.

#### 4.4 Stapgrootte in ruimte en tijd.

I.v.m. de grootte van de dan te brengen verdieping en de aansluiting aan het schema van berekening I is voor de stapgrootte in ruimte in x- en y-richting gekozen voor  $s_x = s_y = 500 \text{ m}$ .

Voor de stapgrootte in de tijd is in eerste instantie weer gekozen voor  $\Delta t = 1788 \text{ s}$ . Bij beschouwing van de resultaten van deze berekening bleek dat de stroming rond de dammen bij IJmuiden bij deze grote tijdstappen niet goed weergegeven werd: de stroomlijnen boogen niet om de dammen heen. Er ontstond een langgerekt schaduwgebied naast de pieren, met geringe snelheden (zie bijlage 14). Met een vier maal zo kleine stapgrootte  $\Delta t = 447 \text{ s}$  (d.i.  $\approx 8$  minuten) werden betere resultaten bereikt (zie ook 4.6).

Neem een gemiddelde diepte  $= 15 \text{ m}$ , dan is de voortplantingsnelheid van de golf ( $c$ )  $\approx 12 \text{ m/s}$ .

$$\text{Bij } \Delta t = 1788 \text{ s} \quad \text{is } \frac{c \Delta t}{s_x} \approx 43$$

$$\Delta t = 447 \text{ s} \quad \quad \quad \approx 11 \text{ dit komt}$$
 overeen met de bij berekening I gebruikte verhouding.

#### 4.5 Uitvoer

Bij deze berekening werd i.v.m. de kosten na een instinger tijd van een halve periode al uitvoer gegeven. De uitkomsten van de berekening na een halve periode kwamen overeen met die van een periode later.

De resultaten van de berekening werden om de  $\Delta$  tijdstappen (die  $n$  uur) uitgevoerd.

Deze uitvoer omvat voor alle punten per tijdstap de waterstand en de snelheidscomponent in x- (u) en in y-richting (v).

#### 4.6 Contrôle

Ter controle van de berekening is gekeken of de orde van grootte van de snelheid in overeenstemming is met die van gemeten waarden.

Dit is gedaan door het verband tussen de maximale stroom snelheid als functie van de diepte, bepaald uit metingen voor de kust van Scheveningen, te extrapoleren (de metingen werden uitgevoerd tot een diepte van 12.5 m) en dit te vergelijken met de door ons berekende waarden (zie bijlage 15).

Bijlage 16 geeft het verloop van de snelheid voor een punt midden in het gebied (20,23) weer. De snelheden zijn mogelijk iets aan de lage kant (zie bijlage 15), maar dit is, daar het om een vergelijking met de resultaten van Berekening III gaat, geen bezwaar.

Bij beschouwing van de resultaten van de berekening is het verband tussen maximale snelheid en diepte, bij diepten minder dan 13 m, minder duidelijk te zien. De indruk bestaat, dat hier de snelheden in vergelijking tot de gemeten waarden te laag zijn (ru 15%). Mogelijk dient in dit gebied een lagere ribbelhoogte te worden aangenomen.

Het stroombeeld rond de havendammen van Ymuiden (zie bijlage 17 & 18) voldoet aan de verwachtingen, hoewel de schematisatie (zie bijlage 18) hier moeilijk is (komberging is buiten beschouwing gebleven).

Op deze bijlagen is ook de invloed van de dammen op het stroombeeld t.p.v. de aan te brengen verdieping te zien.

Ter controle van de computer berekening, zijn de lange-golf vergelijkingen "met de hand" voor enkele punten nagerekend.

De benodigde waarden voor de afgeleiden van  $h, u, v$ , naar  $x, y$  en  $t$  zijn ontleend aan de door de computer berekende waarden van  $h, u$  en  $v$ . Bij invulling in de vergelijkingen, blijken deze niet te kloppen, daar de afrondingsfout van de door de computer uitgevoerde waarden hiervoor te groot is (welke  $u$  en  $v$ 's)

Vooral die termen die bestaan uit het product van een relatief groot getal ( $D, g$ ) en een relatief kleine afgeleide, dragen sterk bij tot de onnauwkeurigheid.

Op bijlage 19 & 20 zijn de resultaten van een dergelijke berekening te zien. De restanten van de diverse vergelijkingen zijn van dezelfde orde van grootte als de onnauwkeurigheid van de samenstellende termen. Hooqstens kan hieruit worden geconcludeerd, dat de berekening niet aantoonbaar fout is.

## 5 Berekening III

Deze berekening is gelijk aan Berekening II, afgezien van het feit, dat nu de bodem plaatselijk verdiept is (wijzigingen in diepte cijfers en weerstandscoefficienten)

De verdieping van de bodem is zo aangebracht dat een min of meer gelijkmatige laag is verwijderd, waarbij grote bodemonregelmatigheden echter wel zijn afgevlakt. De gemiddelde bodem verdieping bedraagt ongeveer 1.4 m, zodat ongeveer  $35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  bodem materiaal verwijderd is.

Op bijlage 21 en 22 zijn de dwars profielen van enige racien met en zonder verdieping weergegeven. De dwarsprofielen van de racien op de rand van de verdieping laten een kleinere verdieping zien; dit is inherent aan het numerieke model.

## 6 Resultaten

We zullen de resultaten van berekening II en III bekijken met betrekking tot de waterstanden  
snelheden  
debieten

Dit wordt gedaan in de reeksen 18, 22, 24, 28 en 34 bij max. stroomsnelheden.

Zie voor dwarsprofielen van deze reeksen bijlage 228 21.

### 6.1 Waterstanden

Uit een vergelijking van de waterstanden t.o.v. NAP, volgens berekening II en III, blijkt dat deze ongewijzigd zijn gebleven, behoudens in enkele incidentele punten, waar zich afwijkingen ter grootte van 1 cm voordoen.

(de uitvoer wordt in cm's gegeven)

T.o.v. de totale waterdiepte (10 à 15 m) zijn de geconstateerde afwijkingen verwaarloosbaar.



## 6.2 Snelheden

Van de snelheden zijn, in de eerder genoemde raaien, de componenten in  $y$  richting ( $v$ ) met elkaar vergeleken (zie bijlage 23 & 24). Aan de snelheidsverschillen ( $\Delta v$ ) op enige afstand van de verdieping behoeft geen aandacht te worden geschonken: deze afwijkingen liggen binnen de nauwkeurigheid, waarmee het verschil van de snelheden bepaald kan worden.

Uit de beschouwing van raai 34, deze is gelegen halverwege de onderrand van de verdieping ende onderrand van het rekenschema, volgt, dat er beneden strooms en bovenstrooms van de verdieping een kleine snelheids toename aanwezig is.

T.i.p.v. de verdieping, raaien 22 & 24, blijkt een snelheidsafname op te treden.

Ook blijkt er over de bovenstroomse rand (bijlage 23: raai 18 & bijlage 24: raai 28) een (piekvormige) snelheids toename aanwezig te zijn, terwijl in dezelfde raai naast de verdieping een afname te zien is.

Over de beneden stroomse rand treedt een tegengesteld verschijnsel, in geringere mate op.

Uit de figuren blijkt ook dat het stroombeeld zeewaarts van de verdieping tot een afstand van 2 à 3 km van de verdieping verstoord is.

Langs de kust doen zich tijdens de vloedstroom snelheidsverlagen voor. Tijdens de ebstroom doch zich echter hier benedenstrooms van de verdieping snelheidsverhogingen voor (raai 28234). Dit is mogelijk te wijten aan de invloed van de havendammen op het stroombeeld.

De bovengenoemde snelheidsveranderingen zijn van een orde grootte van 1 à 2 cm/s, met uitzondering van die in de verdieping: deze zijn gemiddeld ongeveer 3 à 4 cm/s, met maxima tot 6 cm/s.

De relatieve snelheidsveranderingen zijn langs de kust maximaal, doch niet erg groot. ( $\approx 4\%$ )

### 6.3. Debieten

De debieten tijdens eb- en vloedstroom zijn voor de beschouwde ruiten weergegeven op de bylagen 25 & 26

Hieruit blijkt het debiet tijdens de ebstroom te verlopen van  $\approx 8$  tot  $10 \text{ m}^3/\text{sm}'$ , tijdens de vloedstroom van  $\approx 10$  tot  $12 \text{ m}^3/\text{sm}'$  voor afstanden tot de kust van  $\approx 3$  tot  $14 \text{ km}$   $12 \text{ m}^3/\text{sm}'$

T.a.v de debieten in de verdieping valt een toename te constateren (zie bijlage 28 & 29), evenals boven- en benedenstrooms van de verdieping (hier evenredig met toename snelheid!) Deze toename was te verwachten, daar een dieper gewel, i.v.m. de geringere weerstand, meer water trekt.

Deze verstoring van het stroombeeld, strekt zich uit tot buiten de randen van het gekozen reken schema. De invloed op de waterstanden is echter gering, zodat deze randen voor dit verschijnsel nauwelijks een belemmering zullen vormen.

## 64 Stroomrichting

T.a.v. de richtingsverandering van de stroom (zie bijlage 29 & 30). valt op te merken, dat bij de ebstroom, de stroomrichting meer naar de kust gericht is.

Dit komt overeen met de stekheids toename vlak bij de kust zoals hierboven vermeld (zie ook bijlage 23).

Beschouwen we de zeewaartse rand van de verdieping (raai 15), dan laten de stroomlijnen een insnoering zien: bovenstrooms is een richtingsverandering naar de verdieping toe, benedenstrooms is een verandering van de verdieping af te zien.

## 6.5 Nauwkeurigheid

De juistheid van de berekende grootheden hangt af van de invoergegevens en de discretisering.

6.5.1 Nauwkeurigheid van de invoergegevens  
 Zoals hierboven al vermeld, dient bij de waterdiepten, die in Berekening I zijn invoergevoerd, rekening te worden gehouden met een onnauwkeurigheid van meer dan 1m (5 à 10%); bij die van Berekening II van enige dm's (1 à 2%).  
 De grootte van de gebruikte wrijvingscoëfficiënt  $f$  berust, zoals eerder al opgemerkt (blz 5), op een aanname.  
 Over de nauwkeurigheid van de gebruikte randvoorwaarden valt het moeilijk iets te zeggen.

6.5.2 Onnauwkeurigheid t.q.v. discretisering  
 De invloed van de grootte van de timesteps is reeds in het voorgaande besproken.  
 De ideale grootte van de parameter  $\frac{c\Delta t}{\Delta x}$  dient nog te worden onderzocht.

### 6.5.3 Afrondingsfout uitvoer

By onze berekeningen zijn (i.v.m. de nauwkeurigheid van de ingevoerde gegevens) de berekende waarden voor  $h$ ,  $u$  en  $v$  in cm's uitgevoerd.

De snelheidsverschillen t.o.v. een verdieping zijn van de zelfde orde grootte als deze afrondingsfout

Een grotere nauwkeurigheid is wel gewenst i.v.m. het maken van een controle berekening "met de hand".

Boven genoemde onnauwkeurigheden maken het moeilijk de werkelijkheid te benaderen (dit is moeilijk te controleren!)

Het is echter wel mogelijk de invloed van een (niet te kleine) verdieping weer te geven.

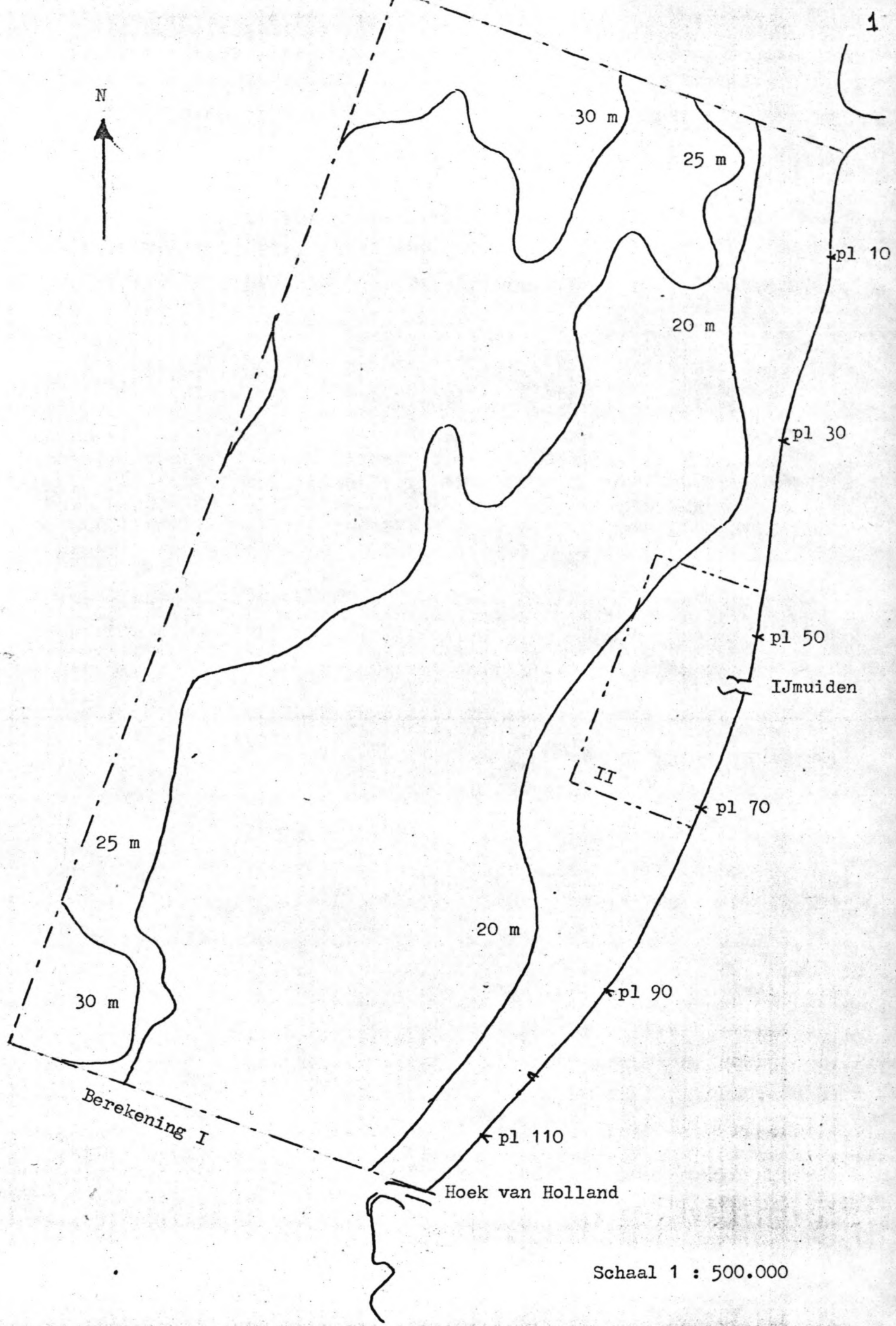
## 7 Conclusie

- 1 In de verdieping treedt een snelheids verlaging op.  
Bij aanname, dat het debiet constant blijft,  
volgt dit uit:  $v_1 h_1 = v_2 h_2 = q = \text{constant}$   
 $h_2 = h_1 + \text{verdieping}$
- 2 Het debiet door de verdieping is toegenomen,  
t.q.v. geringere weerstand t.p.v verdieping.
- 3 T.q.v. de verdieping buigt de ebstroom sterker  
naar de kust toe en de vloedstroom sterker  
van de kust af bij de haven dammen van Ymuiden.
- 4 De onnauwkeurigheid van de gebruikte gegevens  
maakt het niet zinvol om de uitvoer in meer dan 2  
decimalen te geven. In dit geval is dat echter  
wel gewenst. Het is dus nodig een betere  
kennis omtrent in te voeren gegevens en  
schematisatie van het netwerk te verkrijgen.
- 5 In dit geval zijn de veranderingen in snelheid,  
en dus ook die van het zandtransport klein.

↑  
/ ?  
?







Schaal 1 : 500.000

diepte  
(m)

20

17,5

15

12,5

10

7,5

5

2,5

0

40

50

60

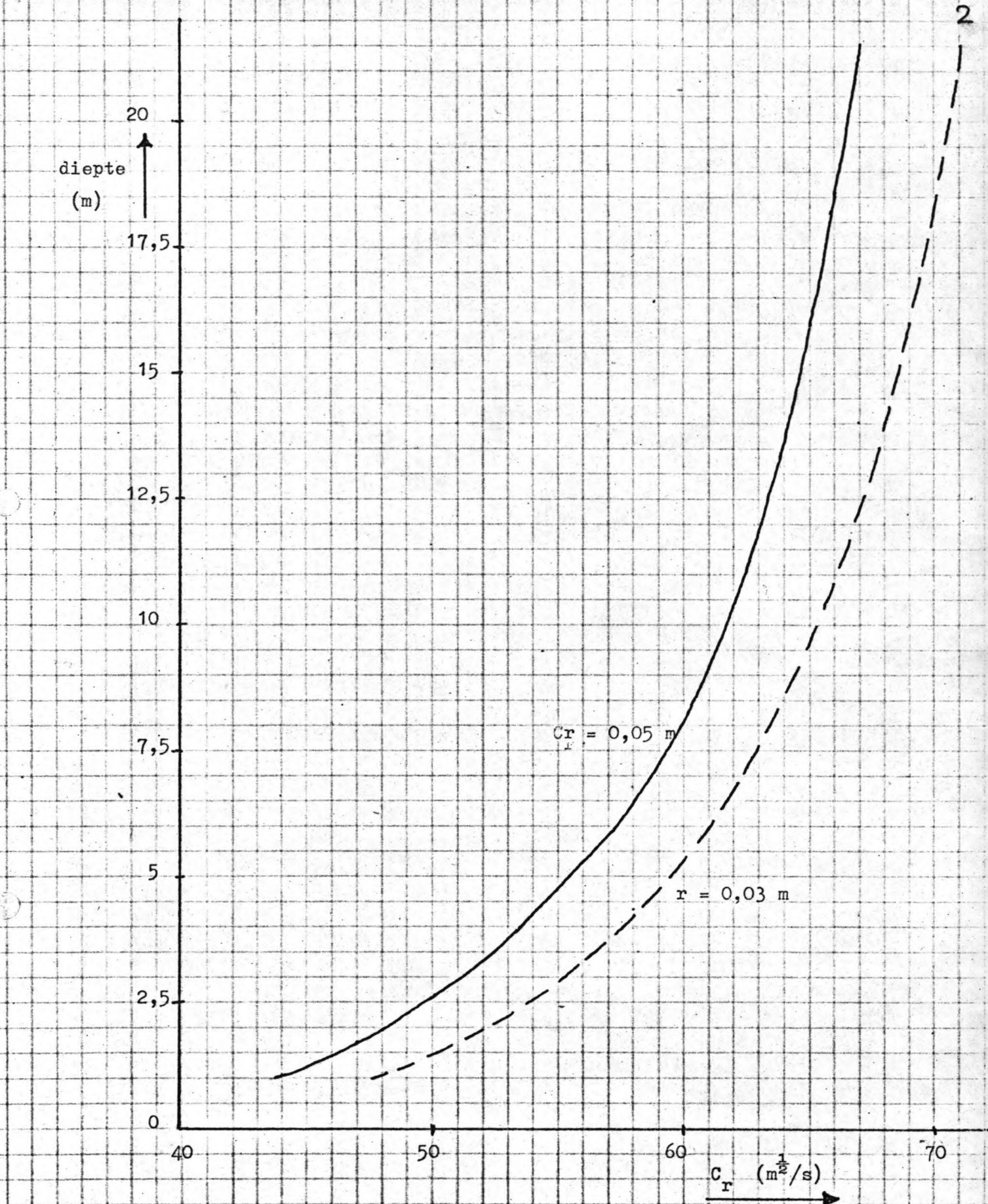
70

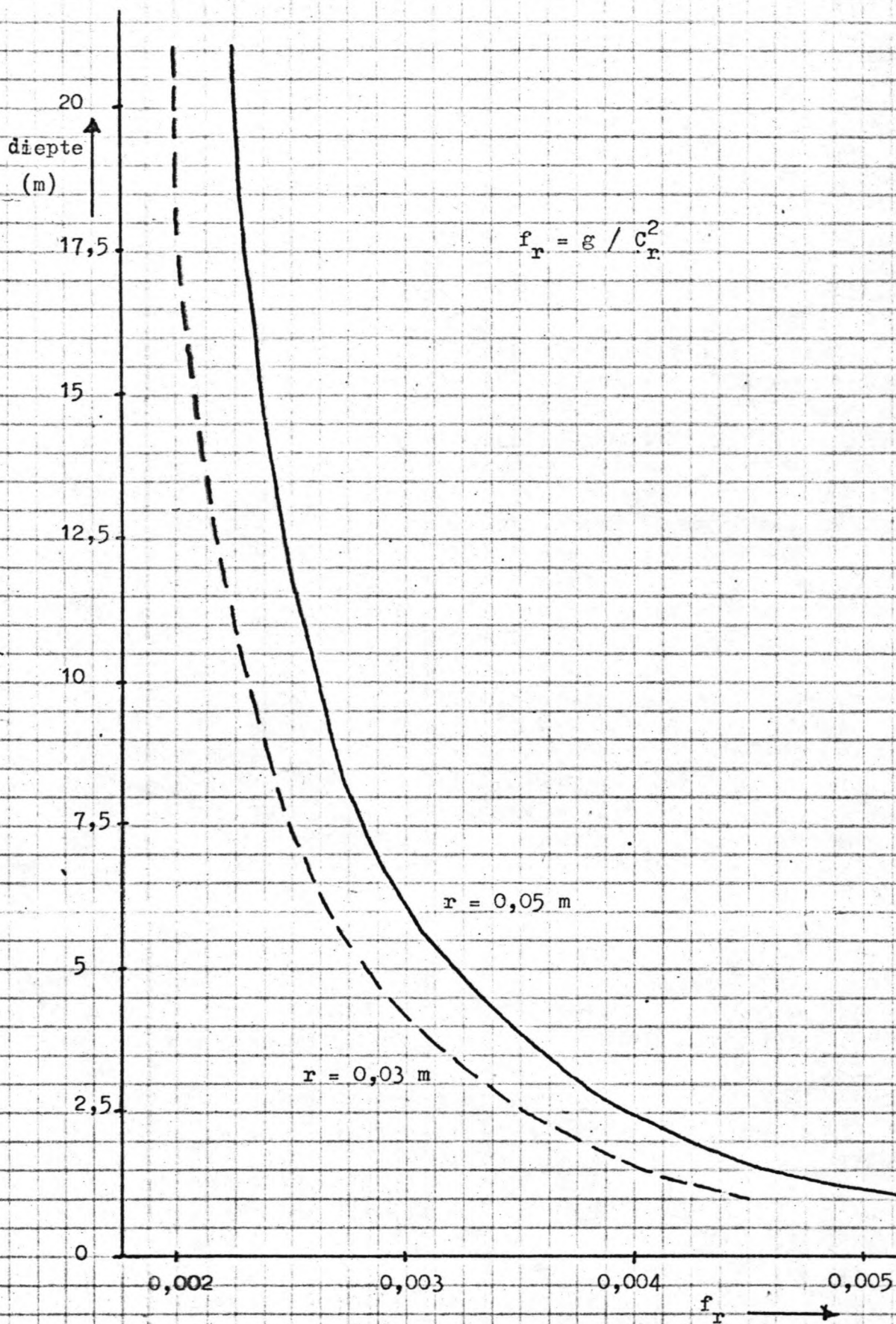
$C_r$  ( $m^{1/2}/s$ )

$C_r = 0,05$  m

$r = 0,03$  m

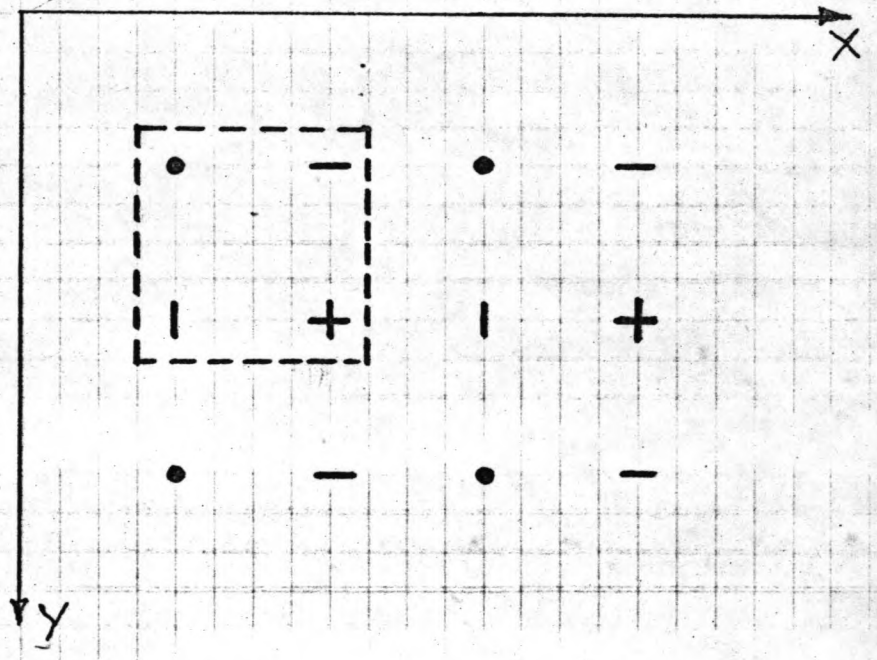
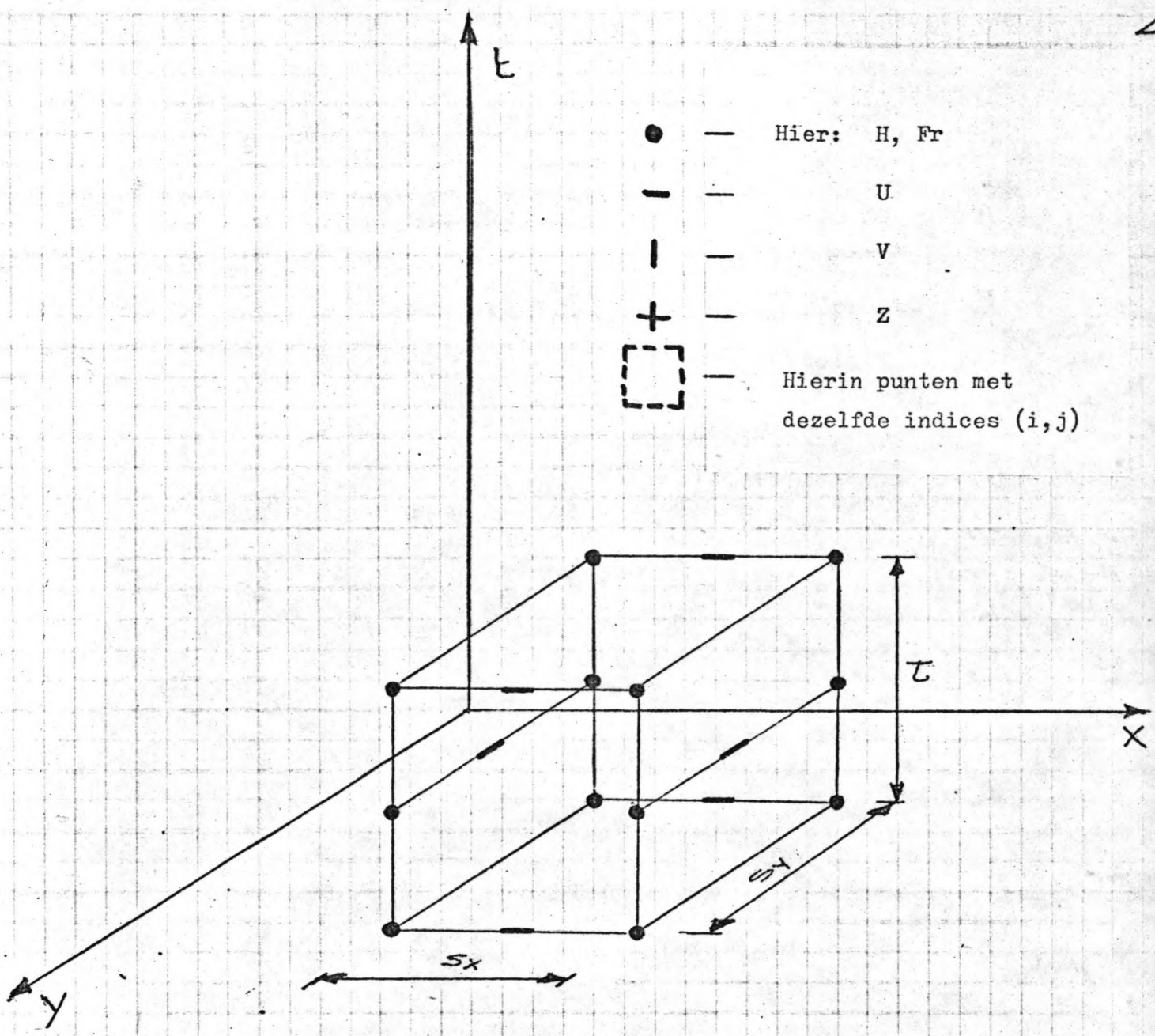
$C_r$  als functie van de diepte



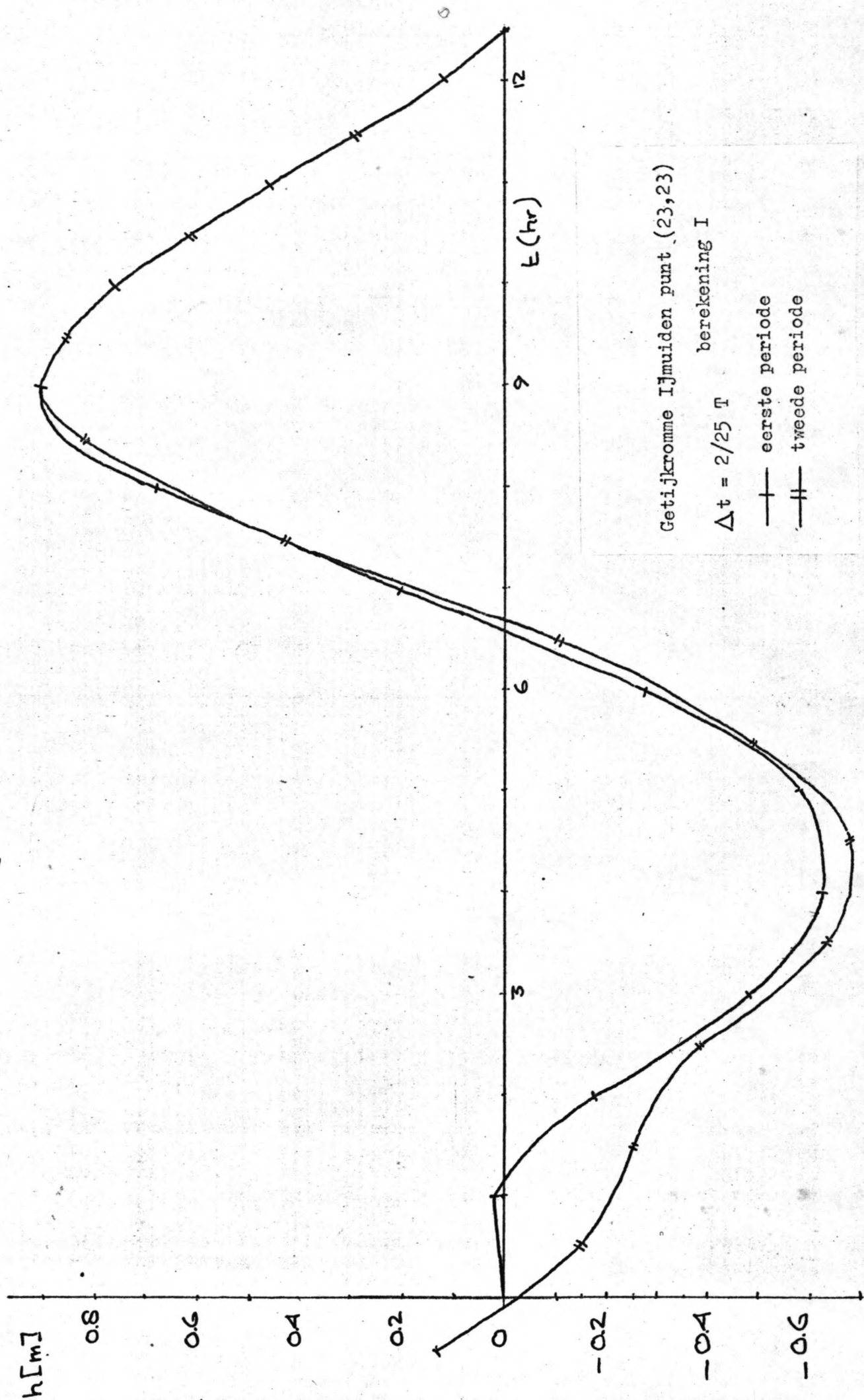


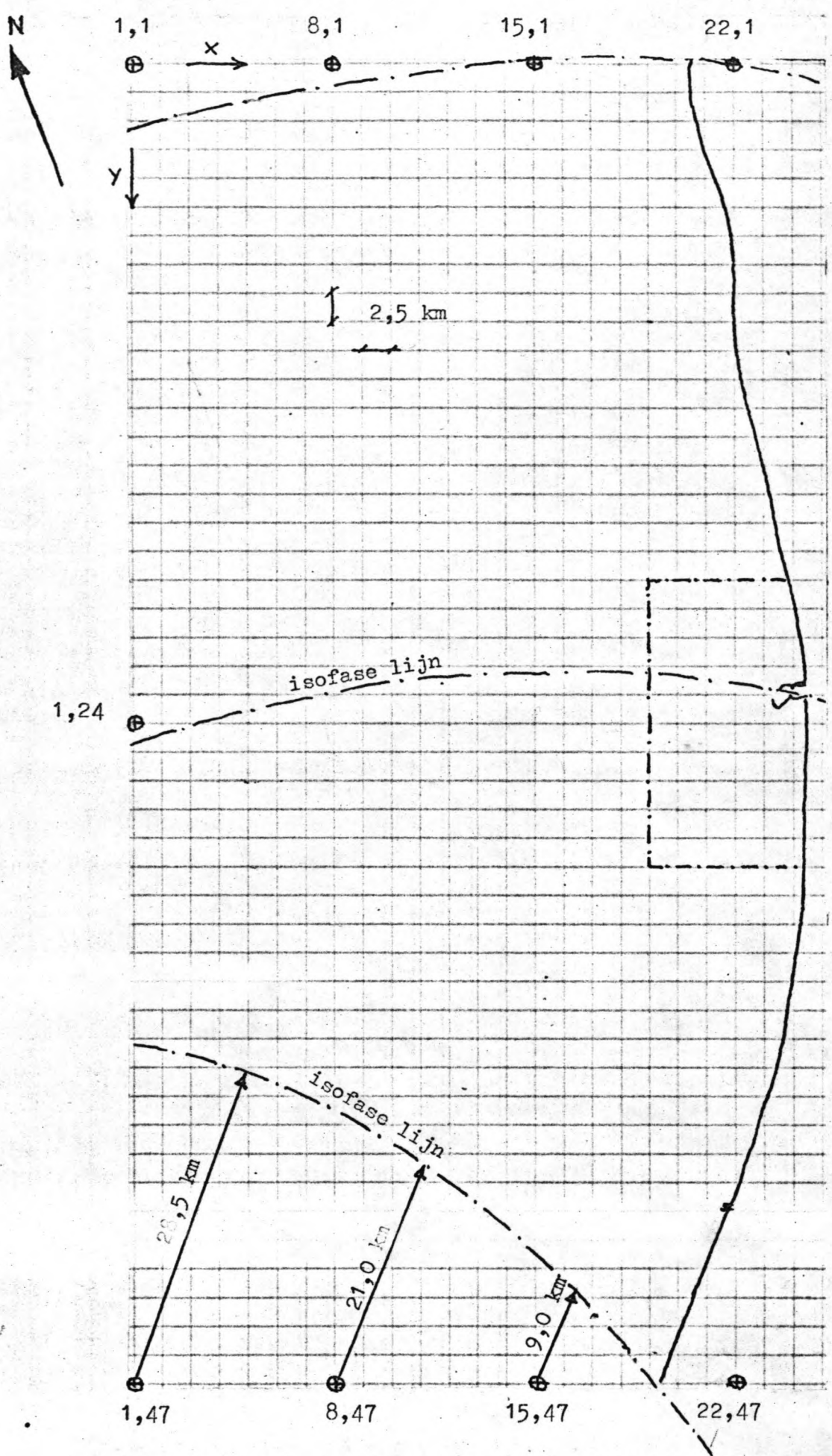
$f_r$  als functie van de diepte

- — Hier: H, Fr
- — U
- | — V
- + — Z
- — Hierin punten met dezelfde indices (i,j)

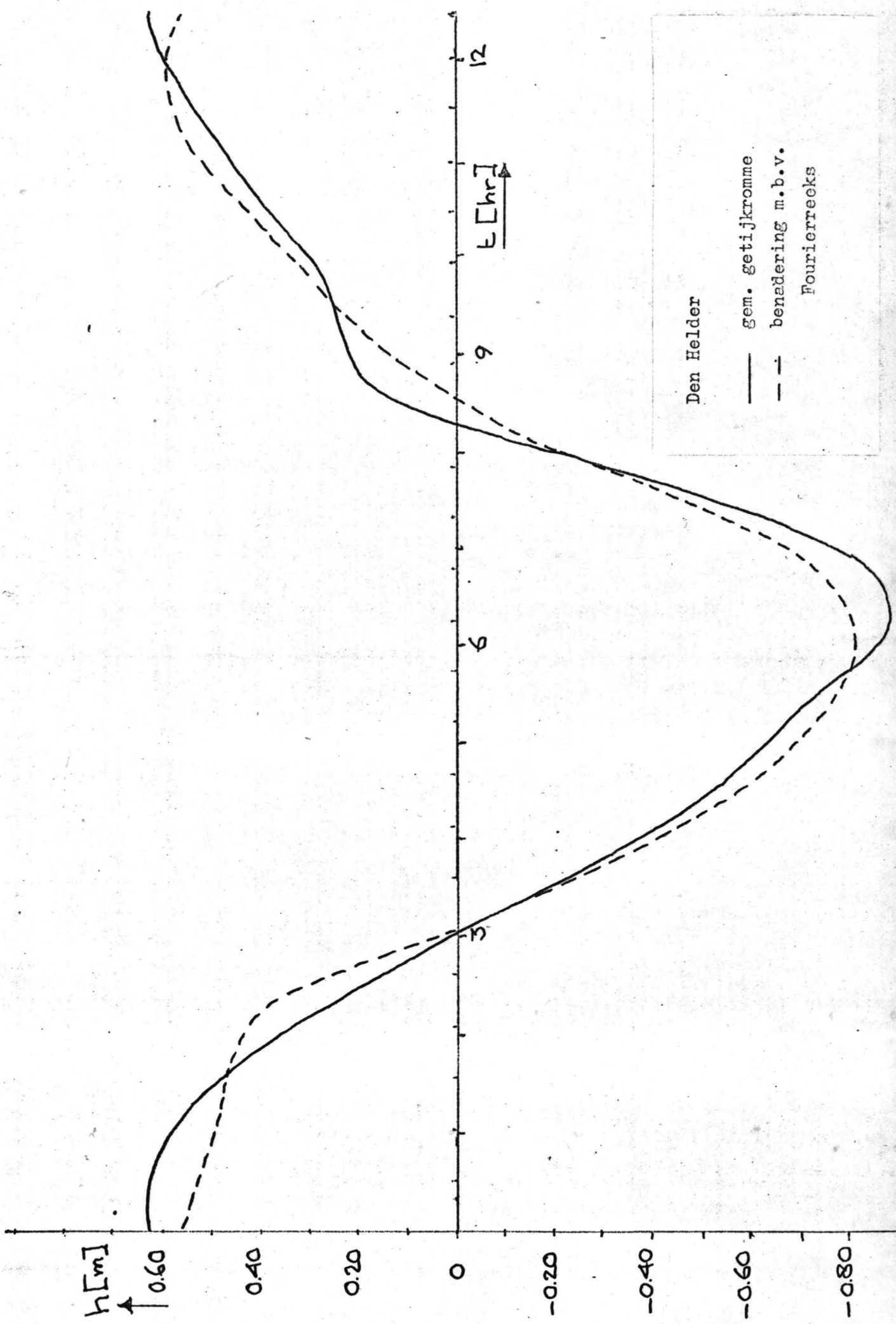


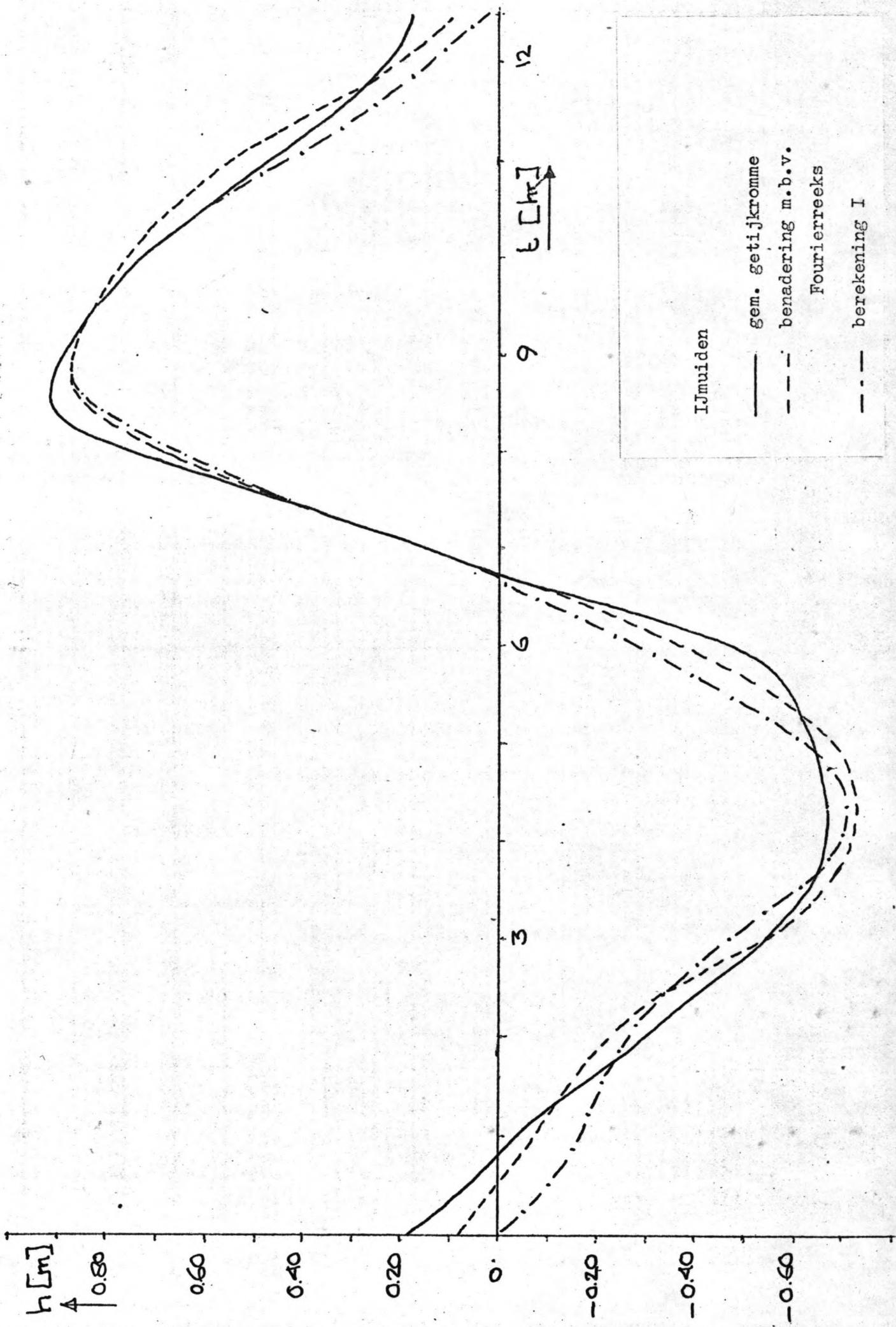
In tijd en ruimte versprongen schema



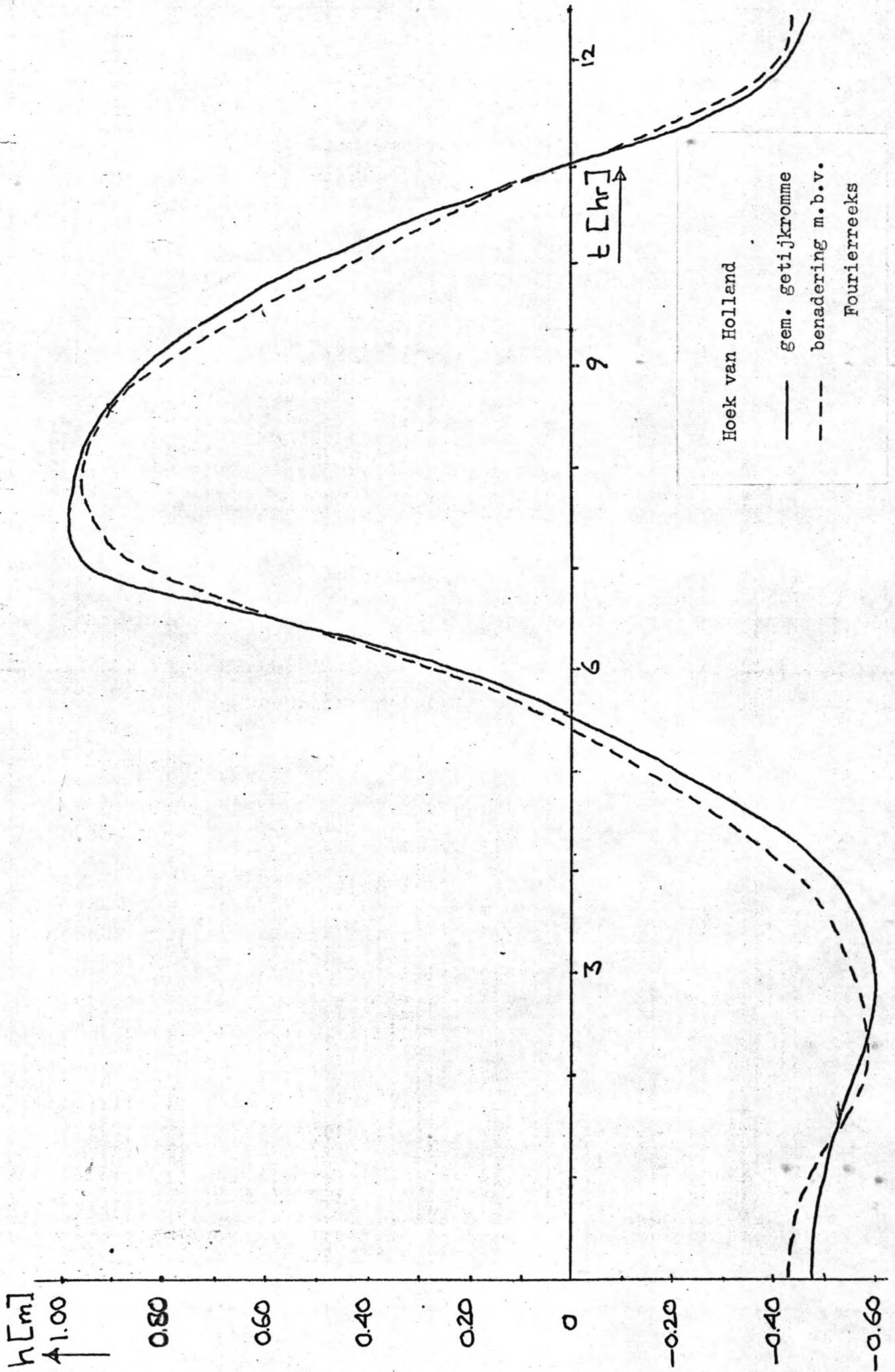


Rekenschema      ⊕ knooppunten met randvoorwaarden









Getijconstanten

Bepaling van de grootte van de getijconstanten uit de verhouding van de amplitudes ( $\bar{h}/\bar{h}_k$ )

$\bar{h}$  amplitude in het knooppunt

$\bar{h}_k$  amplitude aan de kust

Den Helder

Punt	$\bar{h}/\bar{h}_k$	$a_0$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$	$b_4$	$a_4$	$b_6$	$a_6$	$b_8$	$a_8$
kust	1	0,5	-11,2	69,5	6,6	-12,0	-4,6	-1,2	0,3	0,6	0,3	-0,4
1,1	0,73	0,5	-8,2	50,7	4,8	-8,8	-3,4	-0,9	0,2	0,4	0,2	-0,3
8,1	0,83	0,5	-9,3	57,7	5,5	-10,0	-3,8	-1,0	0,2	0,5	0,2	-0,3
15,1	0,93	0,5	-10,4	64,6	6,1	-11,1	-4,2	-1,1	0,3	0,6	0,3	-0,4
22,1	1,02	0,5	-11,4	71,1	6,7	-12,2	-4,7	-1,2	0,3	0,6	0,3	-0,4

IJmuiden

Punt	$\bar{h}/\bar{h}_k$	$a_0$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$	$b_4$	$a_4$	$b_6$	$a_6$	$b_8$	$a_8$
kust	1	4,8	-70,6	17,9	15,6	-11,5	-0,3	-2,4	1,6	0,7	1,6	-0,7
1,24	0,60	4,8	-42,4	10,7	9,4	-6,9	-0,2	-1,4	1,0	0,4	1,0	-0,4

Hoek van Holland (isofase lijn)

Punt	$\bar{h}/\bar{h}_k$	$a_0$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$	$b_4$	$a_4$	$b_6$	$a_6$	$b_8$	$a_8$
kust	1	3,7	-64,4	-45,0	18,5	-3,1	4,1	-0,3	1,3	-1,2	0,7	0,9
1,47	0,71	3,7	-45,7	-31,9	13,1	-2,2	2,9	-0,2	0,9	-0,8	0,5	0,6
8,47	0,81	3,7	-52,1	-36,4	15,0	-2,5	3,3	-0,2	1,1	-1,0	0,6	0,7
15,47	0,91	3,7	-58,5	-40,9	16,8	-2,8	3,7	-0,3	1,2	-1,1	0,6	0,8
22,47	1,02	3,7	-65,6	-45,9	18,9	-3,2	4,2	-0,3	1,3	-1,2	0,7	0,9

Hoek van Holland (langs rand rekenschema)

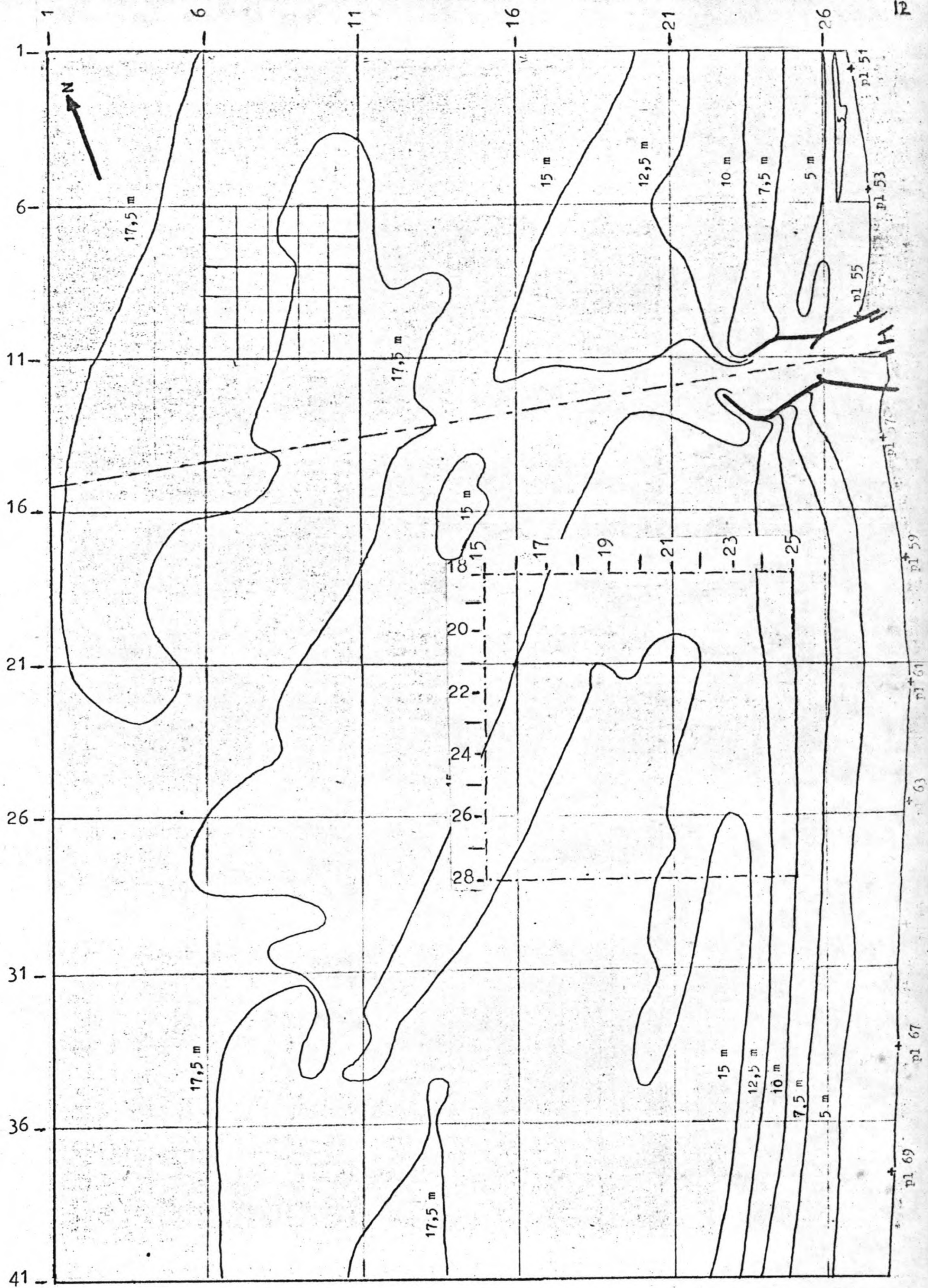
Punt	$\phi$	$a_0$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$	$b_4$	$a_4$	$b_6$	$a_6$	$b_8$	$a_8$
1,47	13° 35'	3,7	-36,8	-41,7	12,7	1,3	2,8	0,5	1,1	-0,6	0,4	0,7
8,47	10° 5'	3,7	-45,1	-44,7	15,1	0	3,2	0,3	1,3	-0,8	0,5	0,8
15,47	4° 20'	3,7	-55,2	-45,1	16,9	-1,6	3,7	0	1,3	-1,0	0,6	0,8
22,47	-2° 45'	3,7	-67,7	-42,7	18,7	-4,1	4,2	-0,5	1,2	-1,3	0,7	0,9

$$\phi = 2\pi \frac{1}{L}$$

waarin: 1 afstand van isofaselijn tot de rand van het rekenschema

L golflengte van het getij (+ 750 km)

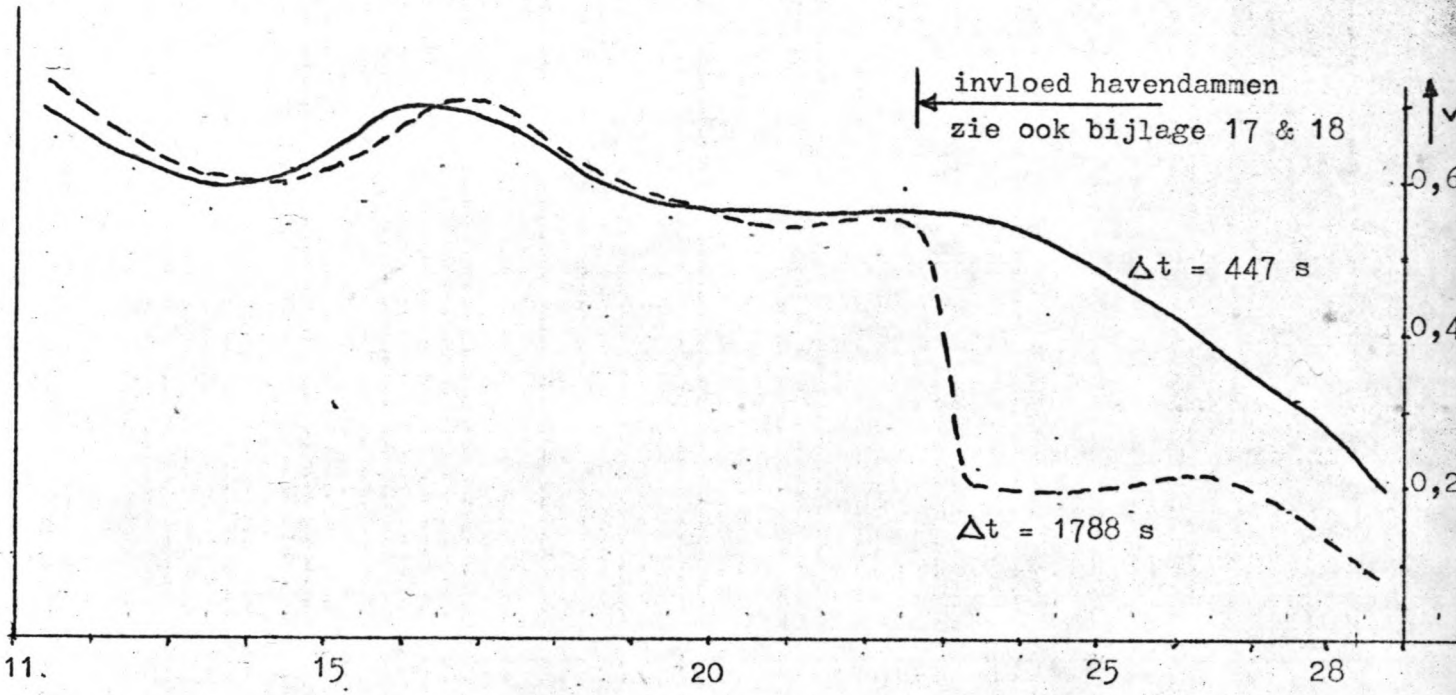




Rekenschema

2500 m      schaal 1 : 80000

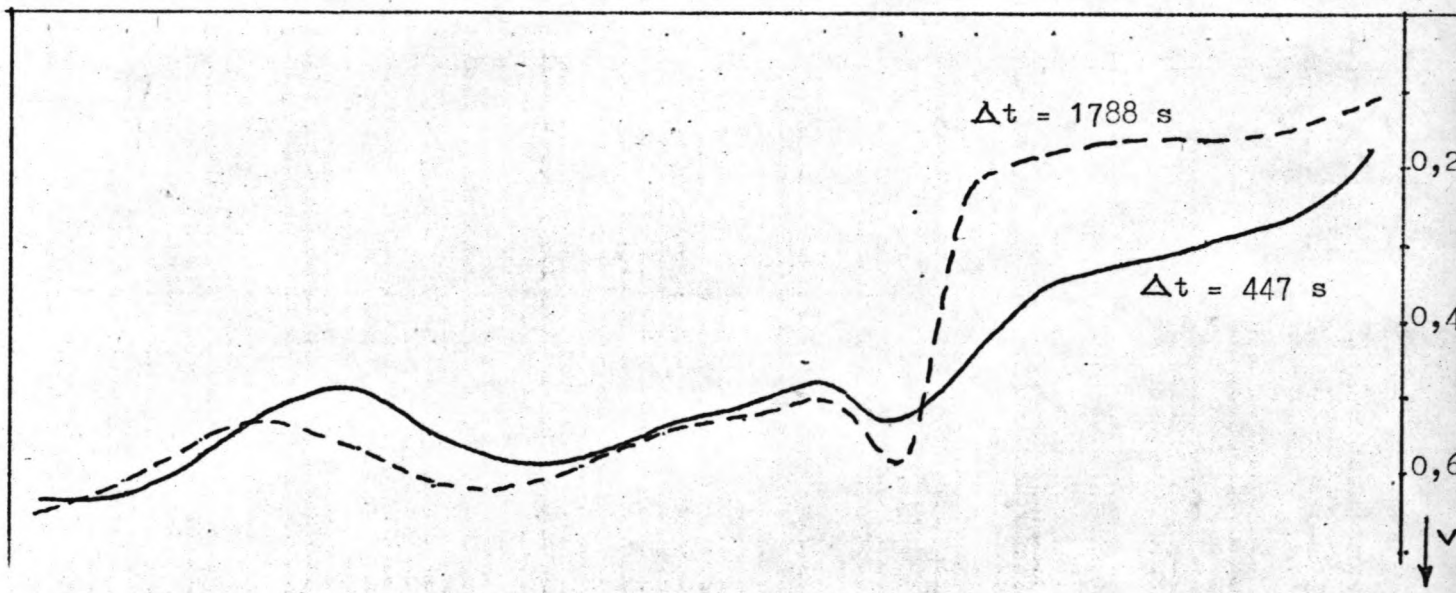




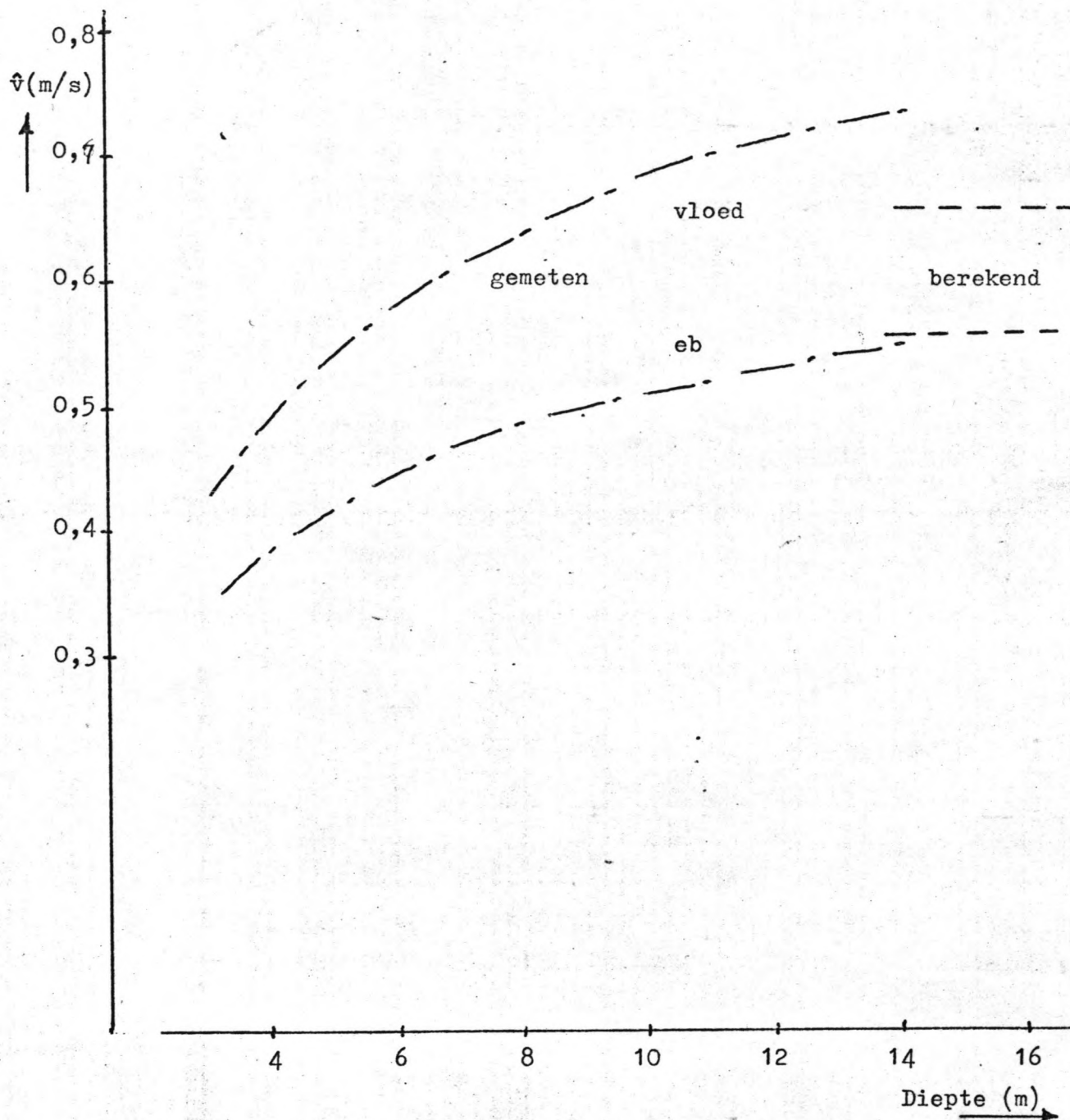
Verloop snelheid (in m/s) over raai 22

Vloedstroom (t = 76884 s)

Ebstroom (t = 55428 s)

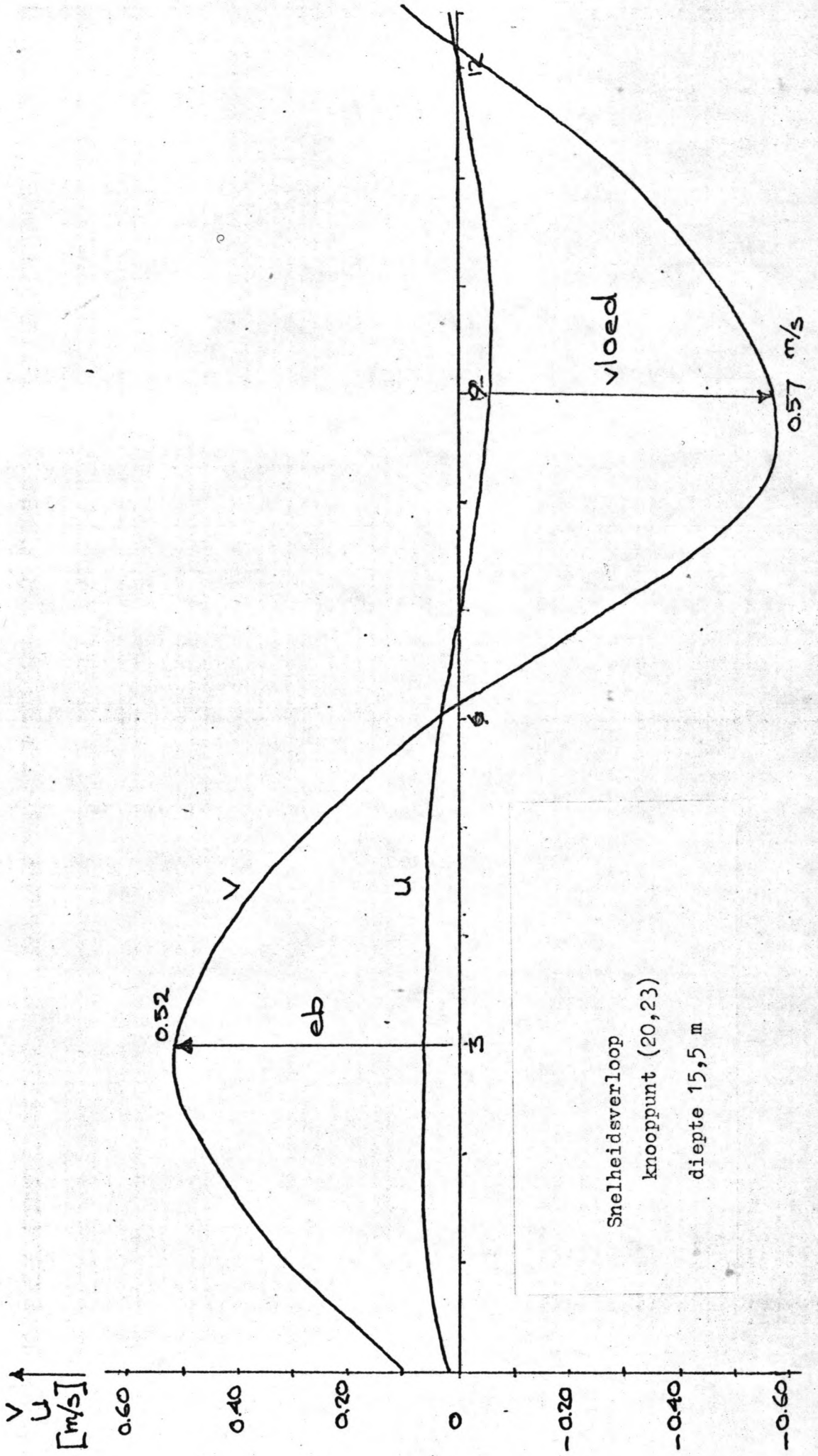


Variatie in tijdstapgrootte, nl  $\Delta t = 1788$  s en  $447 (= 1788/4)$  s

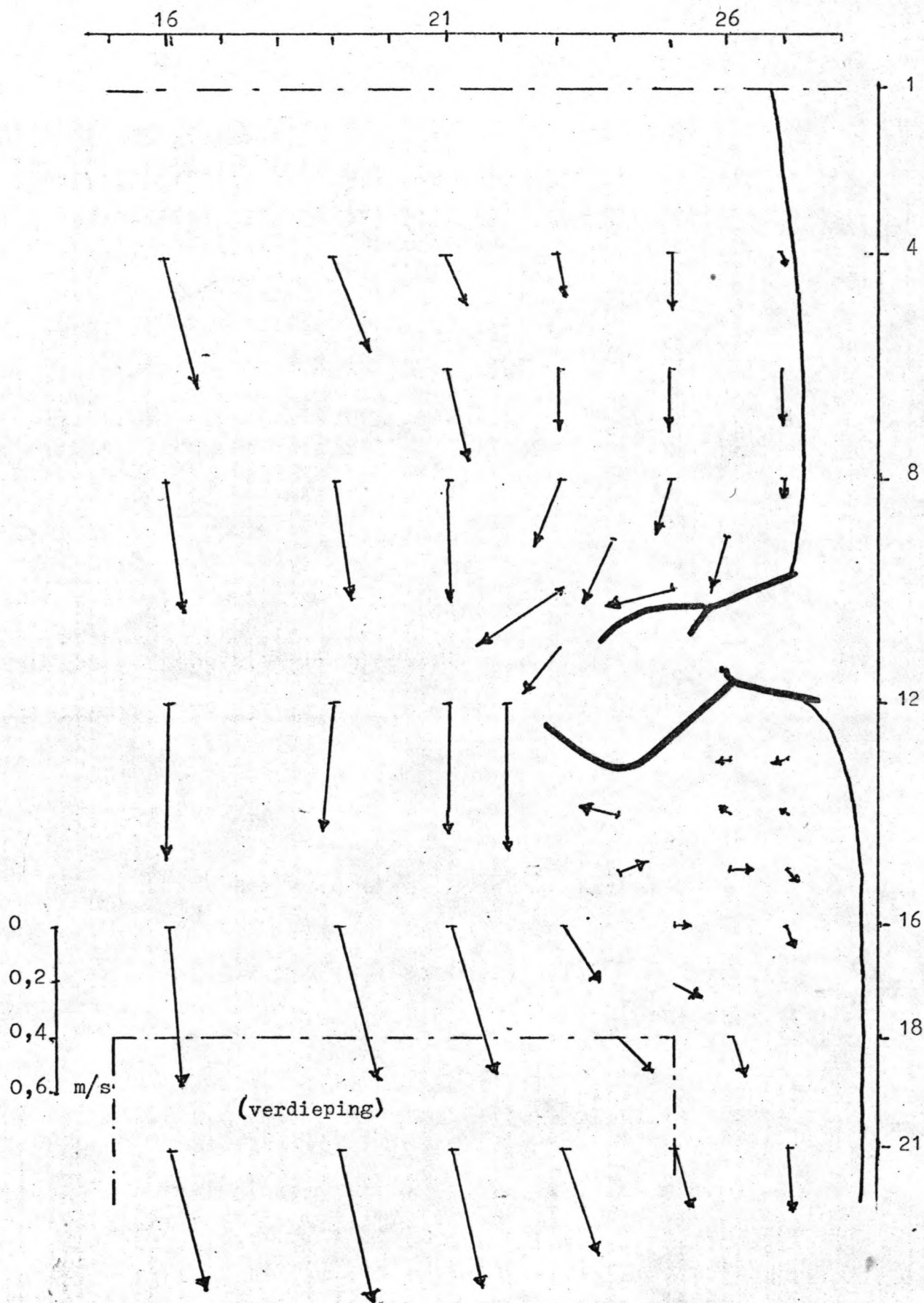


Maximale stroomsnelheid ( $\hat{v}$ ) als functie van de diepte

(Metingen voor de kust van Scheveningen vergeleken met resultaten van berekening II)



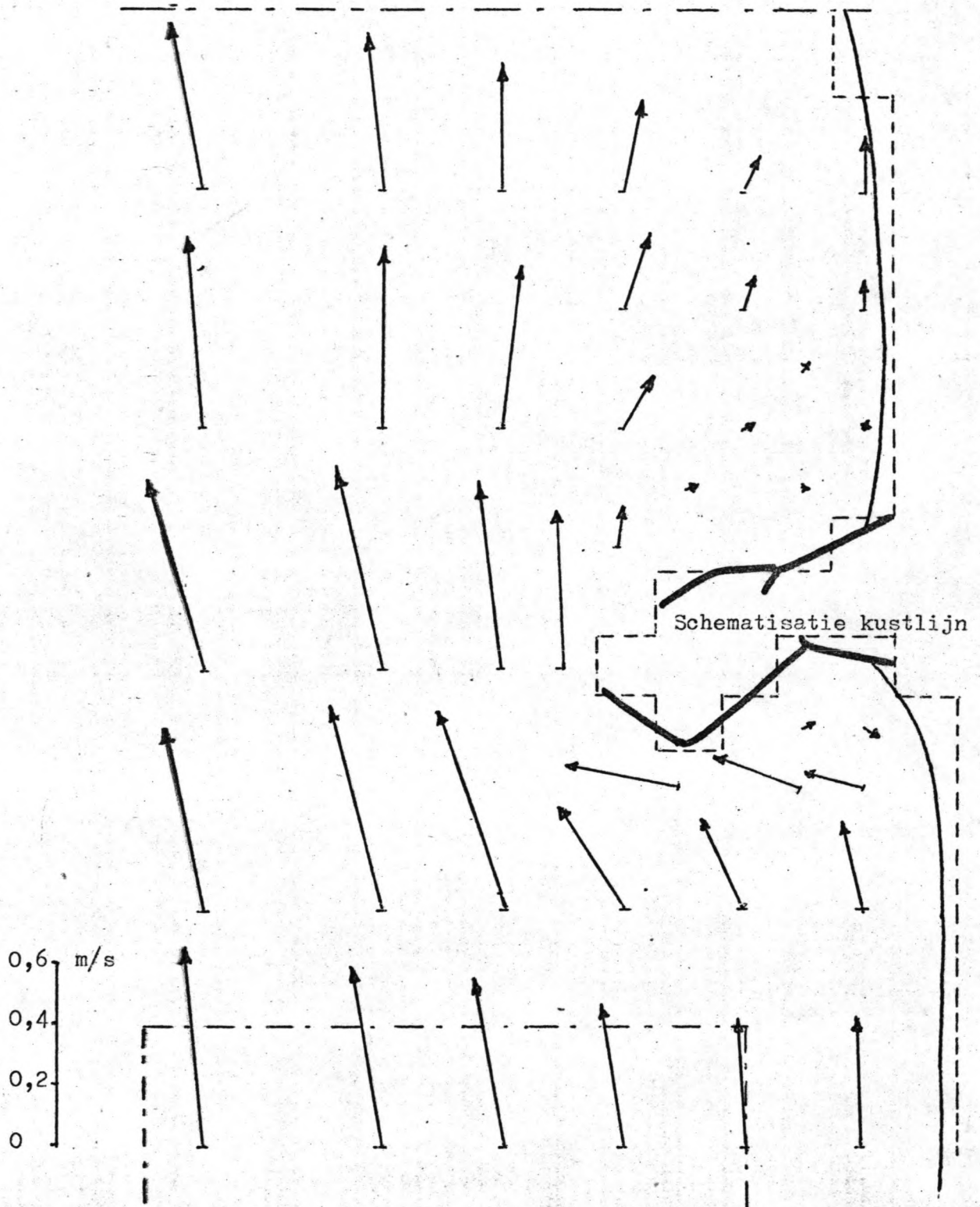




IJmuiden

Ebstroom (t = 55428 s)

Schaal 1 : 50000



IJmuiden

Vloedstroom ( $t = 76884 \text{ s}$ )

Schaal 1 : 50000

Controle berekening

punt (9.25)  $t = 87612$  s  
berekening II

$$\Delta x = \Delta y = 500 \text{ m}$$

$$h = 0.11 \text{ m}$$

$$z = -16.65 \text{ m}$$

$$D = h - z = 16.76 \text{ m}$$

$$\Delta t = 8 * 447 = 5364 \text{ s}$$

$$u = -0.04 \text{ m/s}$$

$$v = -0.06 \text{ m/s}$$

$$f = 233 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{-16.55 + 16.75}{500} = 4 \cdot 10^{-4} \pm 0.2 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{-16.50 + 16.80}{500} = 6 \cdot 10^{-4} \pm 0.2 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{-0.02 - 0.38}{5364} = 7.47 \cdot 10^{-5} \pm 0.19 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{0.11 - 0.11}{500} = 0 \pm 0.2 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{dh}{dy} = \frac{0.09 - 0.12}{500} = -7.5 \cdot 10^{-6} \pm 2.5 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{-0.02 + 0.07}{5364} = 9.3 \cdot 10^{-6} \pm 1.9 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{-0.04 + 0.04}{500} = 0 \pm 0.2 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{-0.050 + 0.045}{1000} = -0.5 \cdot 10^{-5} \pm 0.1 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.085 + 0.360}{5364} = 8.30 \cdot 10^{-5} \pm 3.7 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{-0.045 + 0.100}{1000} = 0.55 \cdot 10^{-4} \pm 0.1 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{dv}{dy} = \frac{-0.06 + 0.06}{500} = 0 \pm 0.2 \cdot 10^{-4}$$

Controle berekening (vervolg)

Continuïteitsvergl.

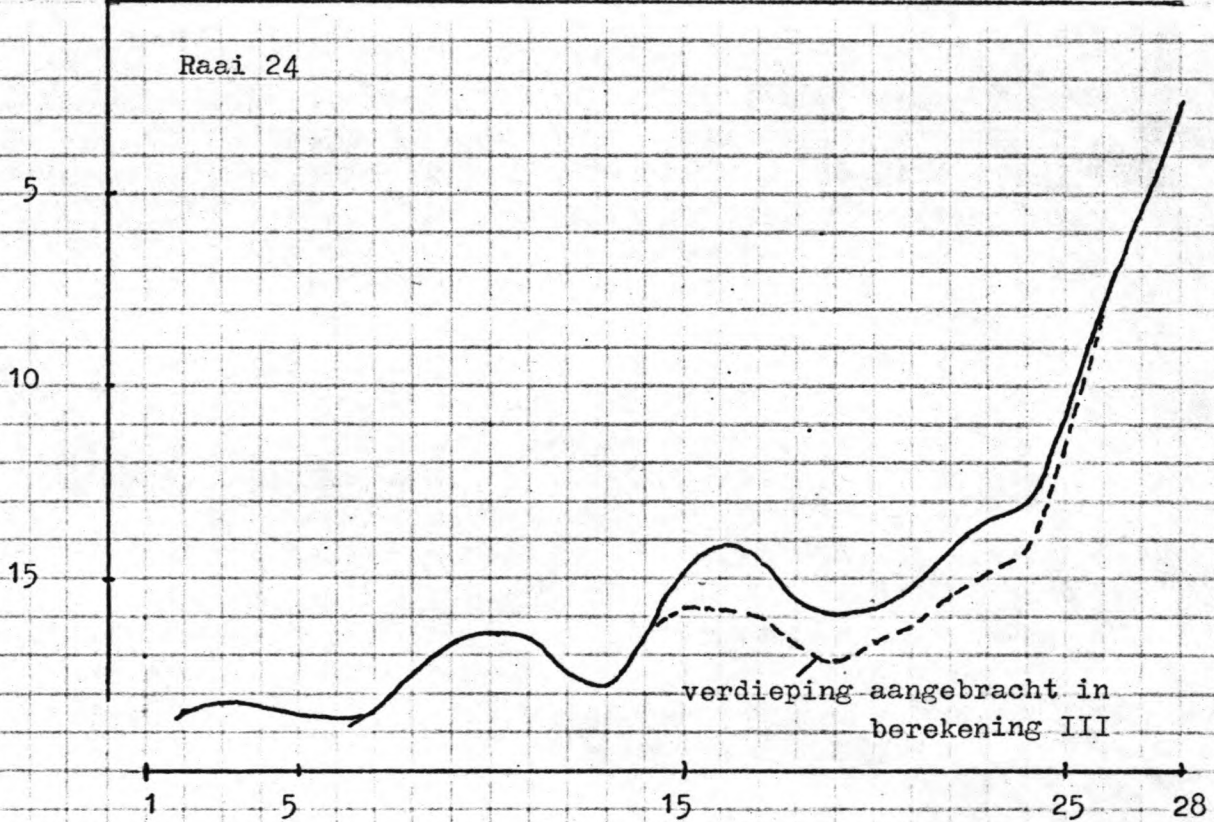
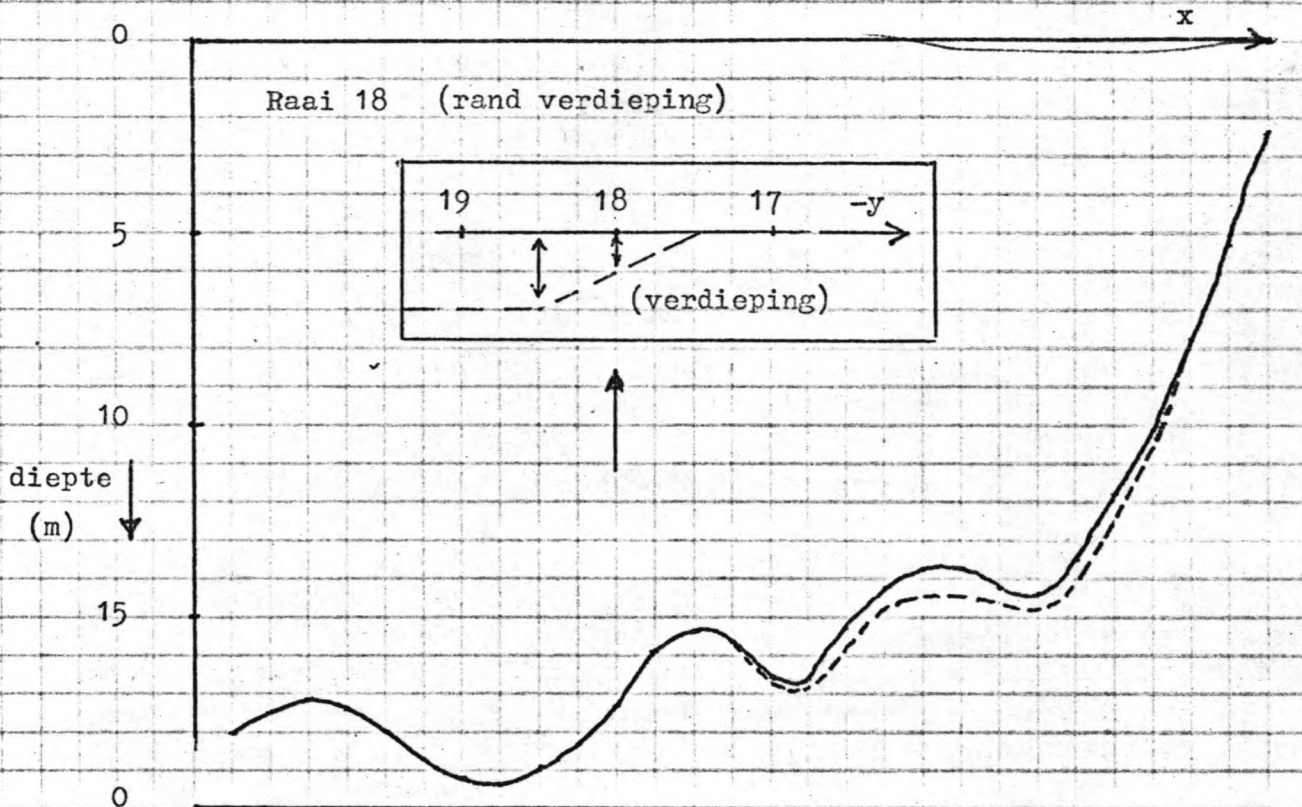
$$\begin{aligned}
 \partial h / \partial t &= -0.747 \cdot 10^{-4} \\
 u \partial h / \partial x &= 0.0 \\
 -u \partial z / \partial x &= 0.16 \cdot 10^{-4} \\
 D \partial u / \partial x &= 0.0 \\
 v \partial h / \partial y &= 0.004 \cdot 10^{-4} \\
 -v \partial z / \partial y &= 0.360 \cdot 10^{-4} \\
 D \partial v / \partial y &= \frac{0.0}{-0.222 \cdot 10^{-4}} \neq 0.0
 \end{aligned}$$

Bewegingsvergl x-richting

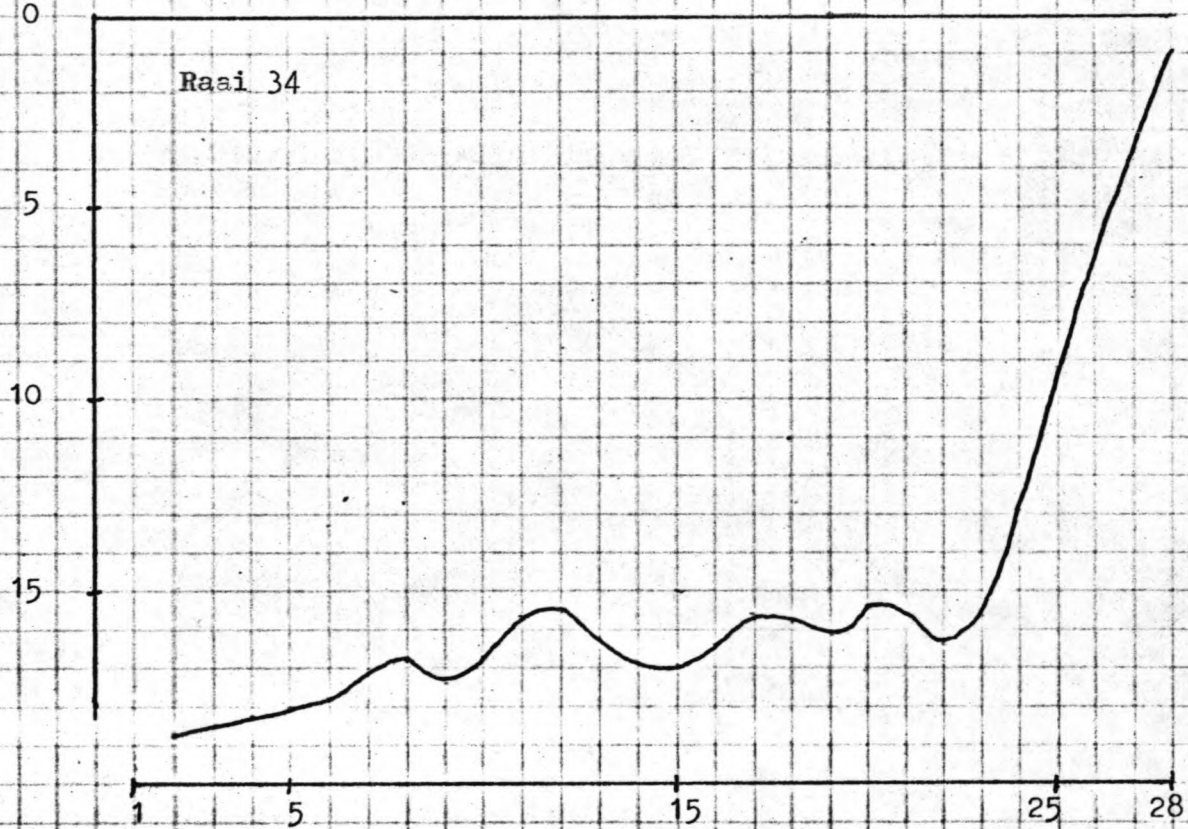
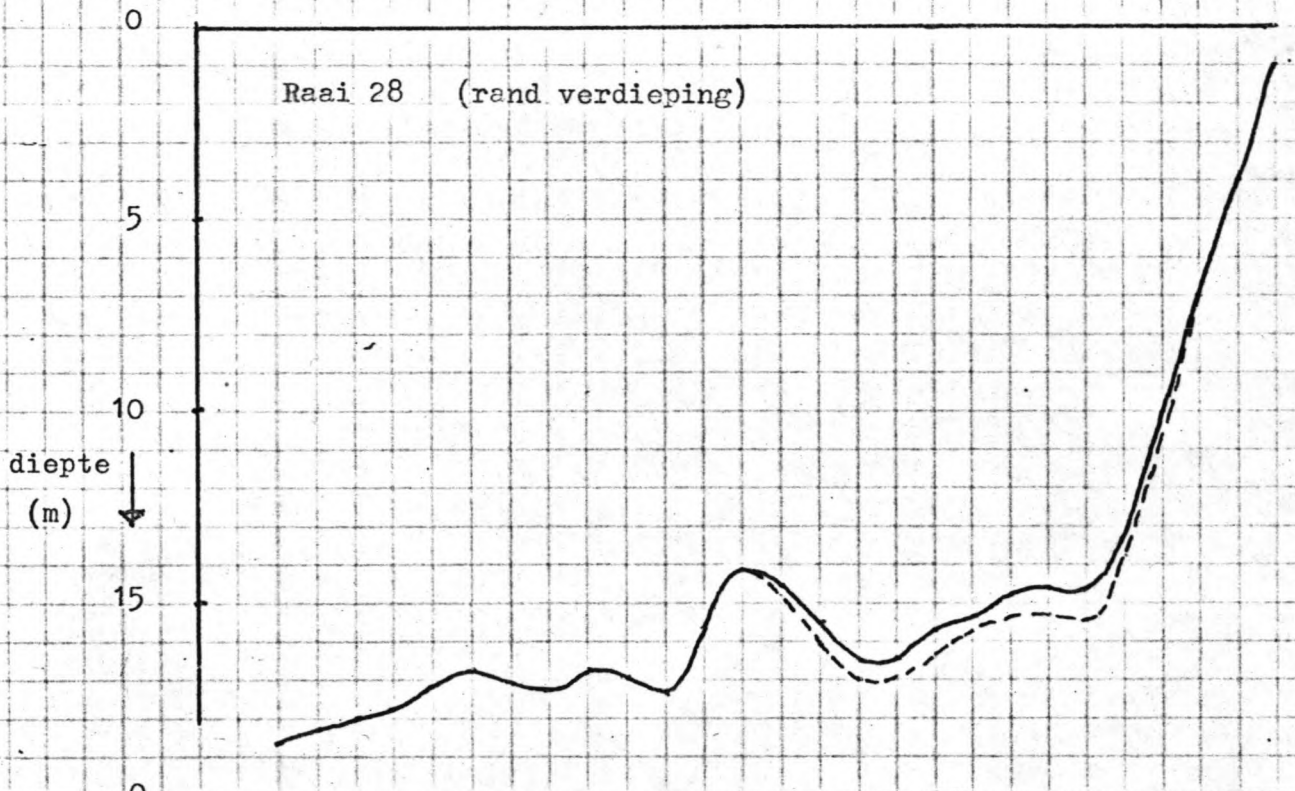
$$\begin{aligned}
 g \partial h / \partial x &= 0.0 \\
 \partial u / \partial t &= 0.093 \cdot 10^{-4} \\
 u \partial u / \partial x &= 0.0 \\
 v \partial u / \partial y &= 0.003 \cdot 10^{-4} \\
 \frac{f}{D} u \sqrt{u^2 + v^2} &= -0.001 \cdot 10^{-4} \\
 -\omega v &= \frac{-0.069 \cdot 10^{-4}}{0.026 \cdot 10^{-4}}
 \end{aligned}$$

Bewegingsvergl y-richting

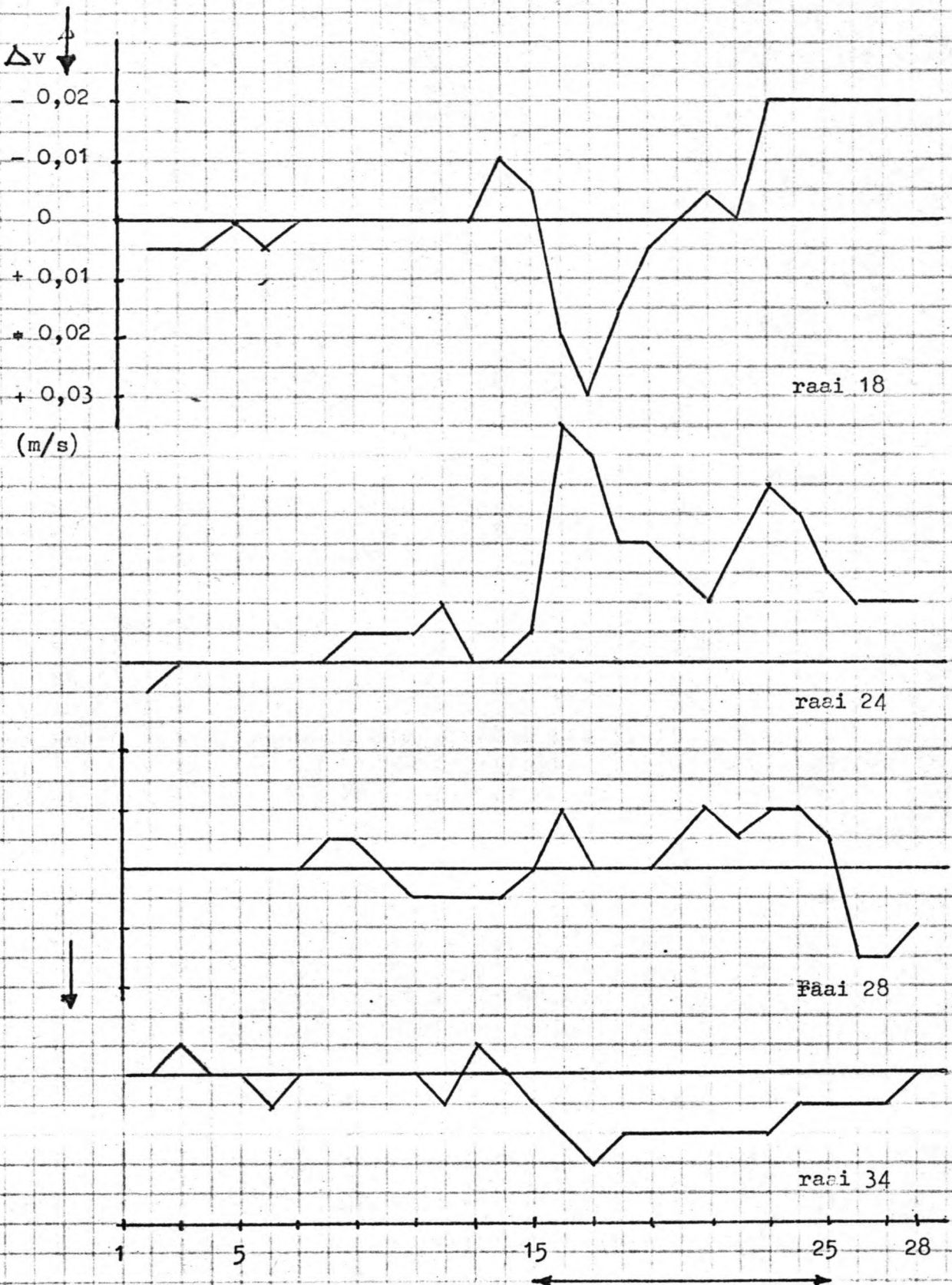
$$\begin{aligned}
 g \partial h / \partial y &= -0.735 \cdot 10^{-4} \\
 \partial v / \partial t &= 0.83 \cdot 10^{-4} \\
 u \partial v / \partial x &= -0.022 \cdot 10^{-4} \\
 v \partial v / \partial y &= 0.0 \\
 \frac{f}{D} v \sqrt{u^2 + v^2} &= -0.002 \cdot 10^{-4} \\
 \omega v &= \frac{0.069 \cdot 10^{-4}}{0.140 \cdot 10^{-4}}
 \end{aligned}$$



Verloop van de diepte



Verloop van de diepte



Toename snelheid ( $\Delta v$ ) bij verdieping

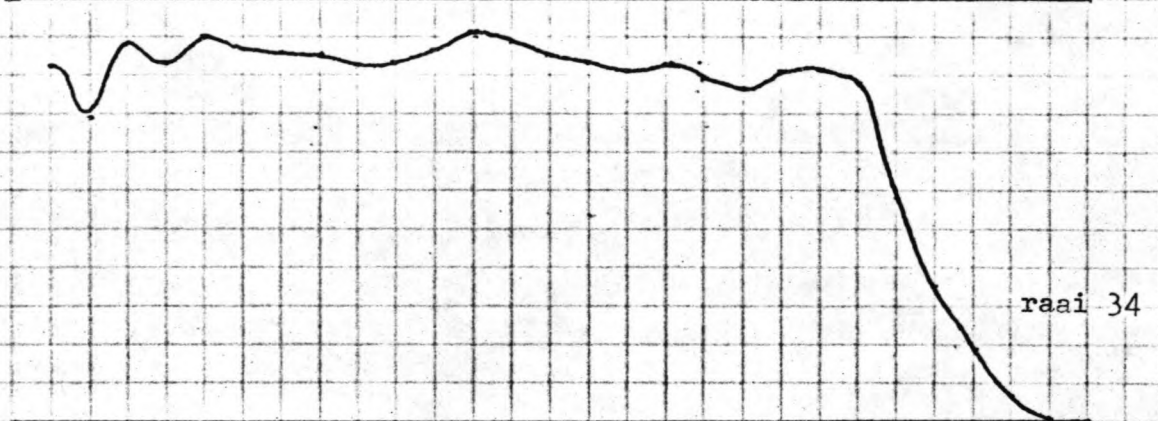
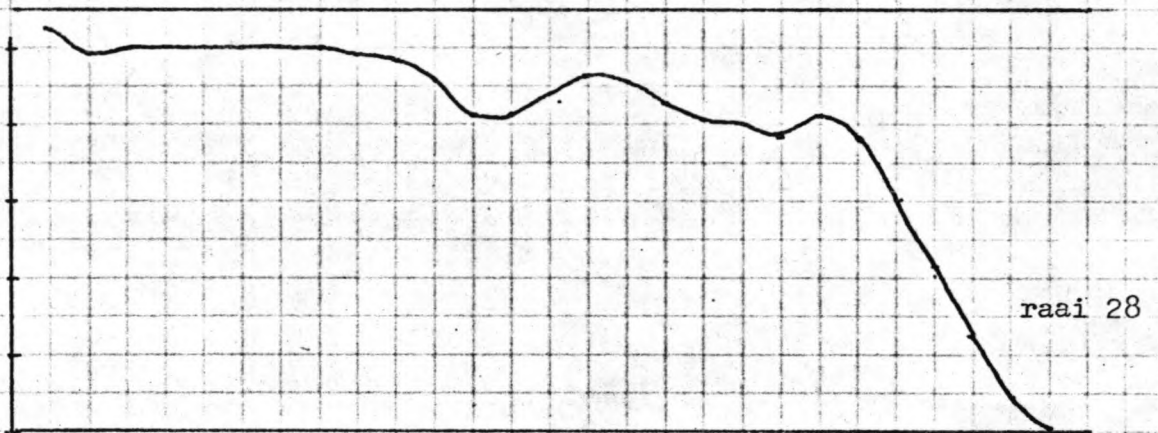
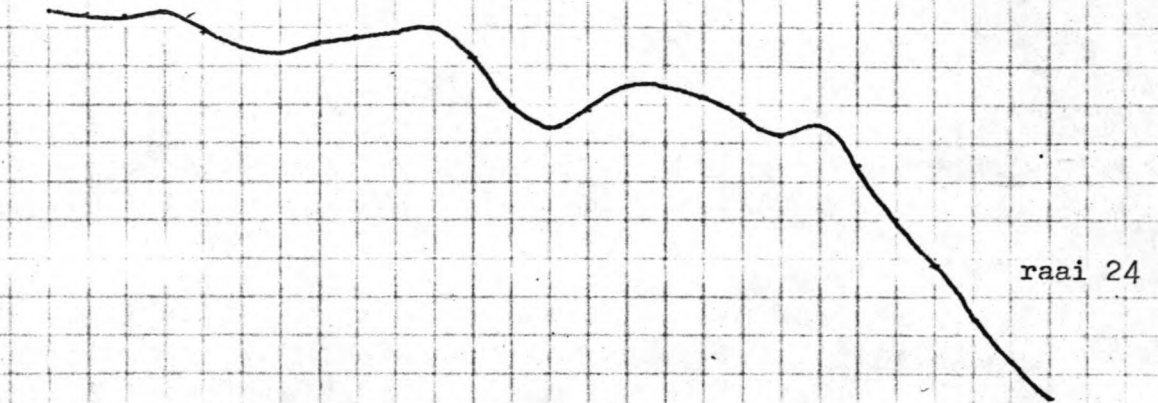
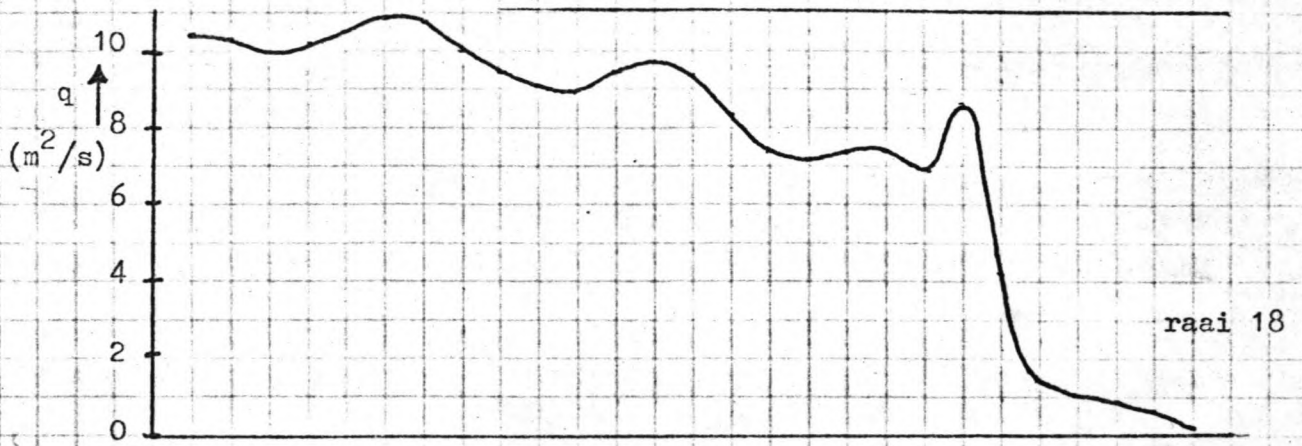
Ebstroom (t = 55428 s)



Toename snelheid ( $\Delta v$ ) bij verdieping

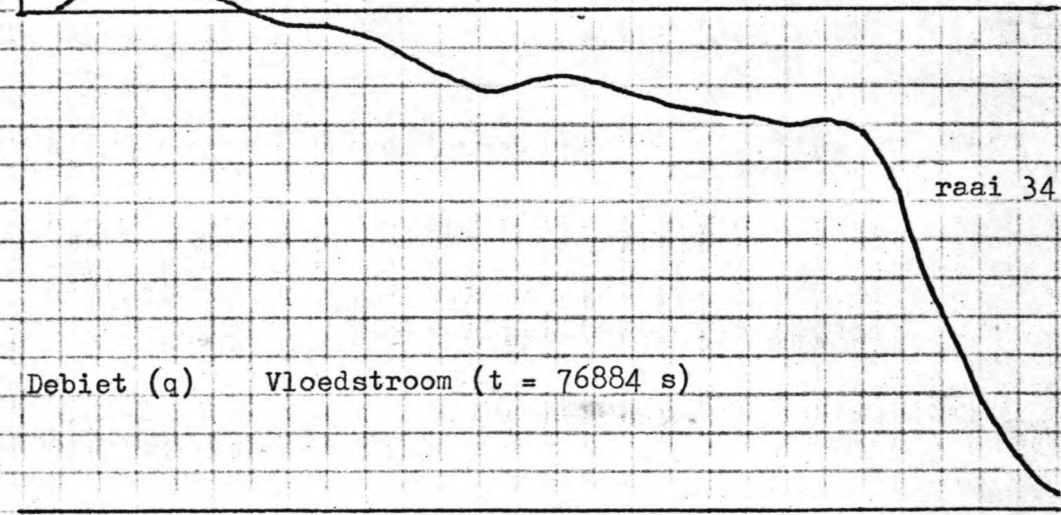
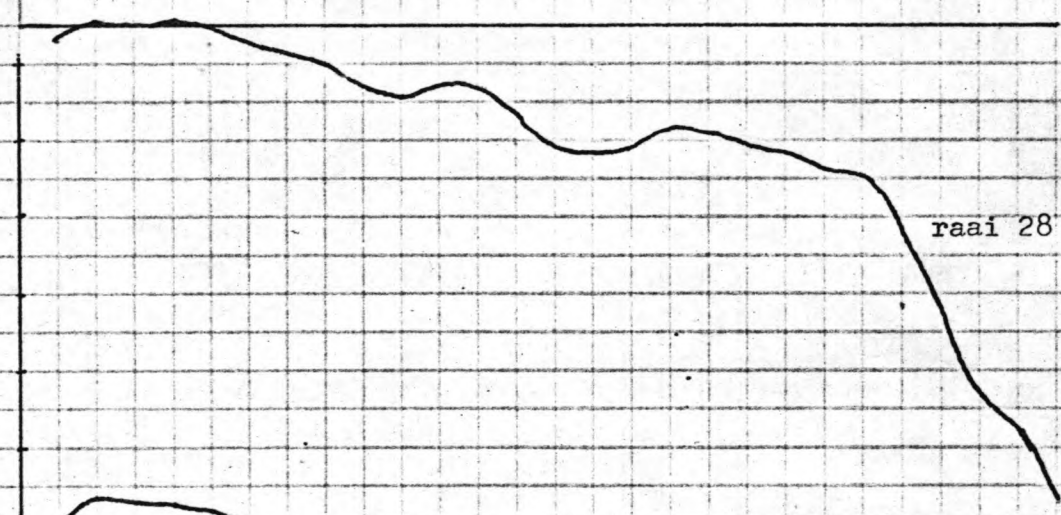
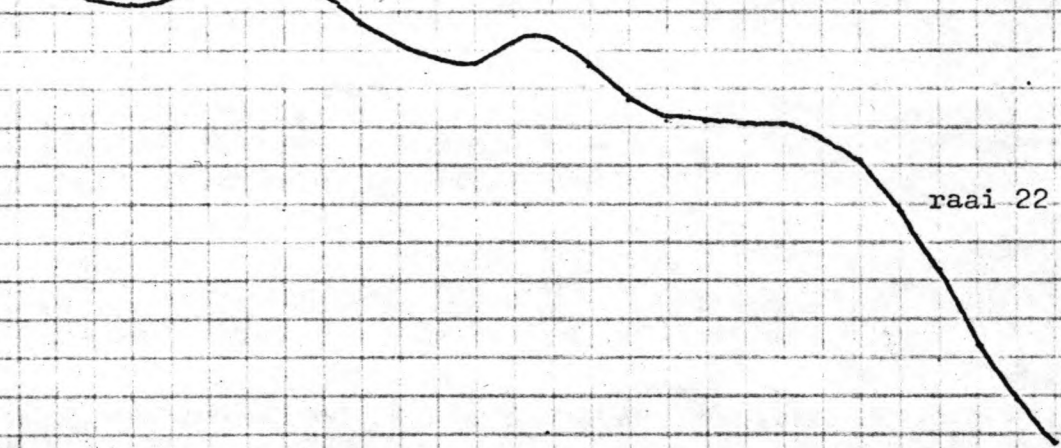
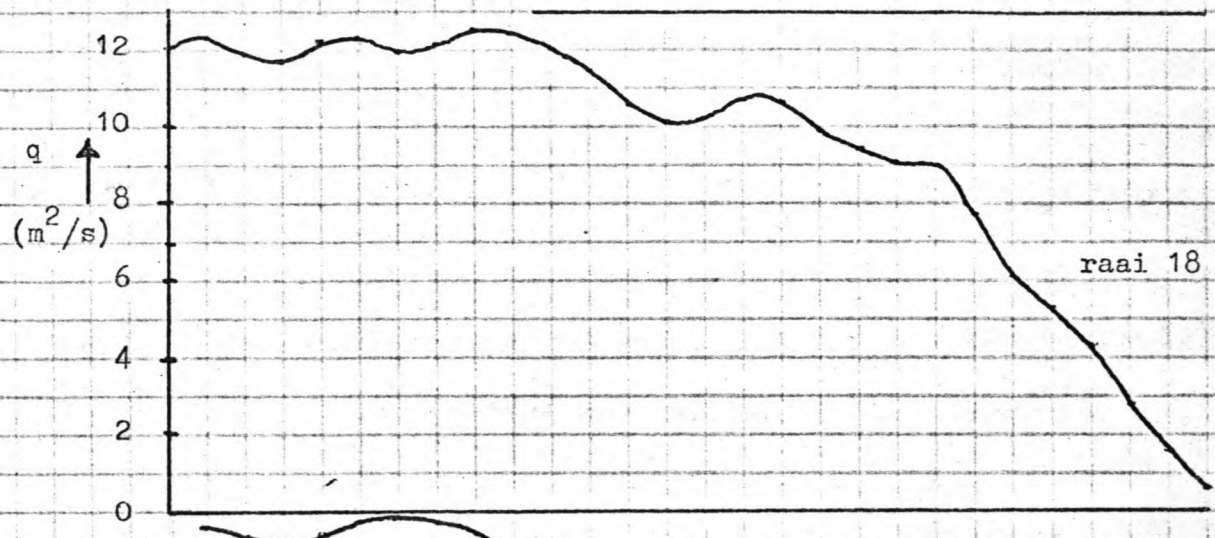
Vloedstroom (t = 76884 s)





1 5 15 25 28

Debiet (q) Ebstroom (t = 55428 s)



Debiet (q)      Vloedstroom (t = 76884 s)

1      5      15      25      28



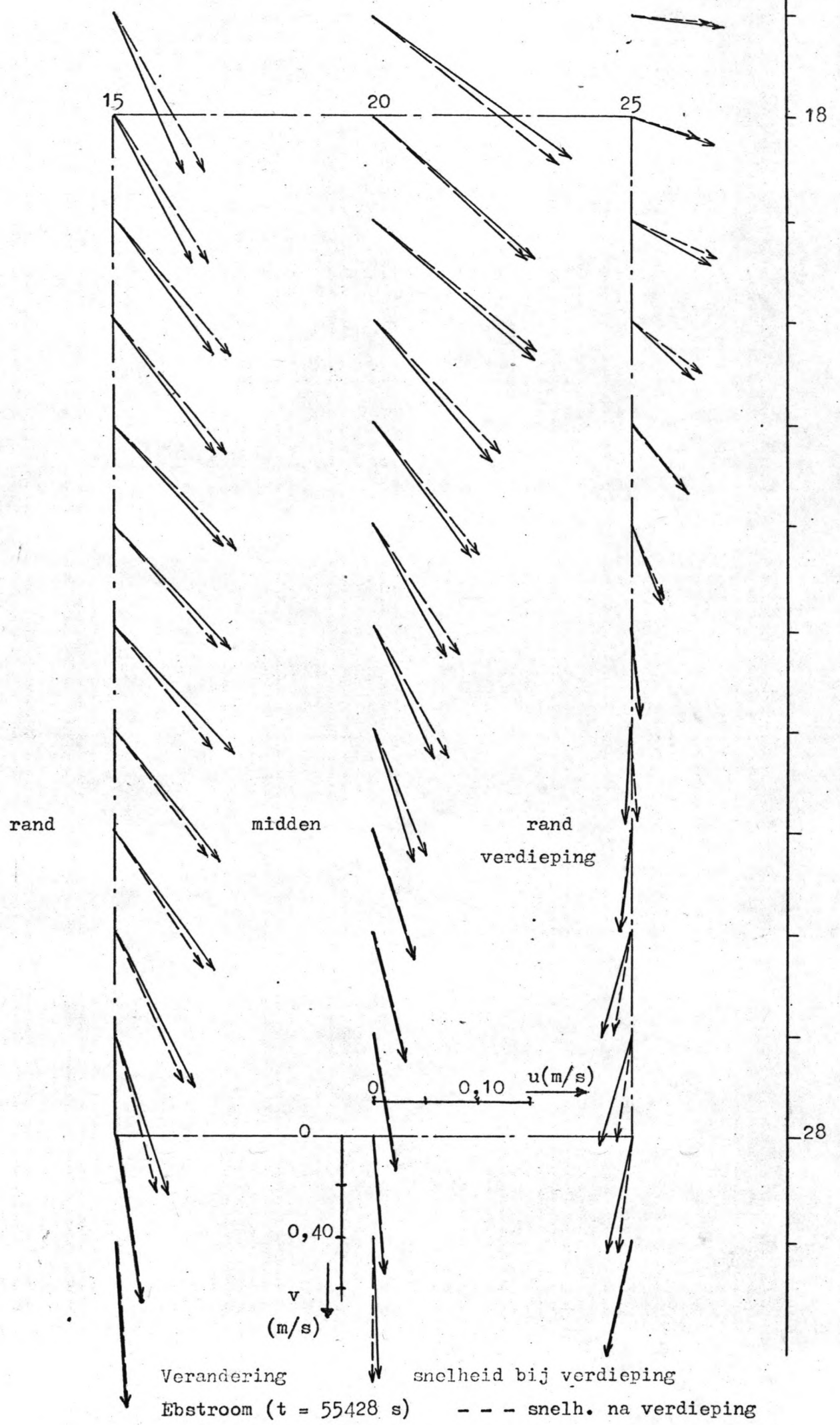
Toename debiet ( $\Delta q$ ) bij verdieping

Ebstroom (t = 55428 s)



Toename debiet ( $\Delta q$ ) bij verdieping

Vloedstroom ( $t = 76884$  s)



15

20

25

18

rand

midden

rand verdieping

0 0,10 u(m/s)

0

0,40

v (m/s)

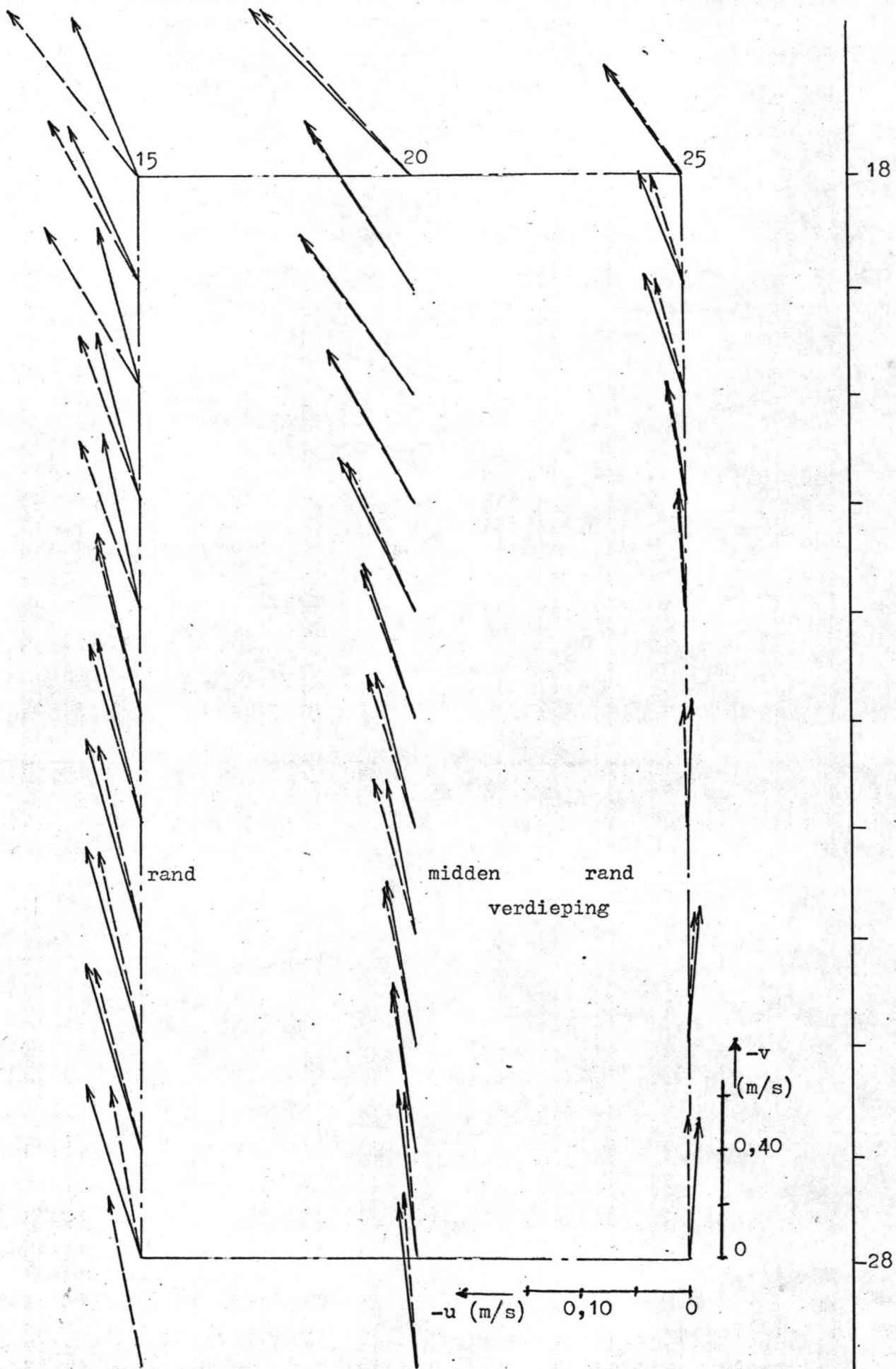
Verandering

Ebstroom (t = 55428 s)

snelheid bij verdieping

- - - snelh. na verdieping

28



Verandering snelheid bij verdieping

Vloedstroom ( $t = 76884$  s)

--- snelh na verdieping