

59.9



GETIJ-STROMING ROND HET SLUFTERDAM-PROJECT

- Berekening van het locale getijbeeld in de huidige situatie en bij aanleg van Variant A of B met het twee-dimensionale wiskundig model TIDES, met invoering van de stroming door de Maasmond d.m.v. een kombergingsbeschouwing.

S.J. Poel

Vakgroep Vloeistofmechanica
Afd. der Civiele Techniek
Technische Hogeschool Delft
Oktober 1984

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
CHICAGO, ILL.

RECEIVED
JAN 10 1964
FROM THE
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF CHICAGO
CHICAGO, ILL.

1964

UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
CHICAGO, ILL.
JAN 10 1964

GETIJ-STROMING ROND HET SLUFTERDAM-
PROJECT

- Berekening van het locale getijbeeld in de huidige situatie en bij aanleg van Variant A of B met het twee-dimensionale wiskundig model TIDES, met invoering van de stroming door de Maasmond d.m.v. een kombergingsbeschouwing.

S.J. Poel

1. 凡在本行開辦之各項業務，均應遵守本行所定之規章，並應隨時注意本行所定之規章，如有違反者，應即停止該項業務，並應隨時注意本行所定之規章，如有違反者，應即停止該項業務。

1. 凡在本行开立存款账户的客户，均可向本行申请开立支票。
 2. 支票的有效期为自签发之日起六个月内。
 3. 支票的金额不得超过账户余额。
 4. 支票的签发人必须为账户持有人。
 5. 支票的收款人必须为本行客户。
 6. 支票的签发人必须填写完整的支票信息。
 7. 支票的收款人必须填写完整的收款信息。
 8. 支票的签发人必须在支票背面签字。
 9. 支票的收款人必须在支票背面盖章。
 10. 支票的签发人必须在支票背面填写支票号码。
 11. 支票的收款人必须在支票背面填写收款金额。
 12. 支票的签发人必须在支票背面填写支票日期。
 13. 支票的收款人必须在支票背面填写收款人名称。
 14. 支票的签发人必须在支票背面填写支票用途。
 15. 支票的收款人必须在支票背面填写收款人地址。
 16. 支票的签发人必须在支票背面填写支票备注。
 17. 支票的收款人必须在支票背面填写收款人电话。
 18. 支票的签发人必须在支票背面填写支票备注。
 19. 支票的收款人必须在支票背面填写收款人地址。
 20. 支票的签发人必须在支票背面填写支票备注。

1. 凡在本行存款，不論定期、活期，均按本行規定之利率計算。
 2. 凡在本行存款，不論定期、活期，均按本行規定之利率計算。
 3. 凡在本行存款，不論定期、活期，均按本行規定之利率計算。
 4. 凡在本行存款，不論定期、活期，均按本行規定之利率計算。
 5. 凡在本行存款，不論定期、活期，均按本行規定之利率計算。

1. 凡在本行工作的员工，均须遵守本行各项规章制度。如有违反者，将视情节轻重给予相应处分。

[illegible]

1. The first step is to identify the problem or question that needs to be answered. This involves understanding the context and the specific information required.

Vooraf

Dit rapport is de verwoording van de deelstudie naar de getijbeweging rond het eventueel aan te leggen baggerspeciedepot "de slufterloswal". Deze studie is verricht bij de vakgroep Vloeistofmechanica van de afdeling Civiele Techniek van de Technische Hogeschool te Delft, onder begeleiding van ir. C. Verspuy en met assistentie van dr. ir. N. Booijs en S. de Boer.

Het heeft, naast de resultaten van mijn afstudeerproject bij de vakgroep Kustwaterbouwkunde (zijnde het onderzoek naar de morfologische aspecten) de basis gevormd voor het rapport "Morfologische consequenties van de realisering van het Slufterdamproject" [lit. 1].

Dit laatstgenoemde rapport is geschreven in het kader van het onderzoek naar het Slufterdamproject, uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen Rijkswaterstaat, gemeente Rotterdam en O.L. Rijnmond. Het vormt een onderdeel van de totale "Interimrapportage Sulfterdamproject" [lit. 1].

In het genoemde rapport behorend bij de interimrapportage zijn de accenten vooral gelegd op de verschillen in de getijbeweging tussen de huidige situatie en de denkbeeldige situatie met een baggerspeciedepot en op de verschillen tussen de drie varianten van het depot onderling.

In dit afstudeerrapport daarentegen wordt vooral ingegaan op de gehanteerde berekeningsmethoden, waar mogelijk zonder aandacht te schenken aan de verschillen tussen de parallel uitgevoerde berekeningen voor de varianten en de huidige situatie.

Inmiddels is een nieuwe rapportage over het onderzoek van de berging van baggerspecie op zee in voorbereiding, geschreven volgens de richtlijnen voor een milieu-effect-rapportage.

	<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
1.	Inleiding	4
2.	De berekeningsmethode - het programma Tides	10
	2.1 Inleiding	11
	2.2 De basisvergelijkingen voor de lange-golf-theorie	11
	2.3 De oplossingsmethode van de lange-golf-vergelijkingen in Tides	15
	2.4 Algemene gegevens	23
3.	Het basismodel	24
	3.1 Bepaling van het basismodel	25
	3.2 Een beschouwing over de uitkomsten van het basismodel T1	33
4.	De afgeleide modellen	36
	4.1 De modellen T2, T3 en T4	37
	4.2 De invoergegevens van de modellen	41
	4.3 De controle van de afgeleide modellen	43
5.	Resultaten van de berekeningen	45
	5.1 Presentatie van de resultaten	46
	5.2 Omrekening van doodtijresultaten naar gemiddeld-tij- en springtijomstandigheden	46
	5.3 Invloed van de termen van de differentiaalvergelijkingen	51
	5.4 Resultaten	56
	5.4.1 Verandering in het stroombeeld	57
	5.4.2 Veranderingen per deelgebied	60
	5.5 Conclusies ten aanzien van de invloed van het speciedepot op het getij	61
	5.6 De betrouwbaarheid van de resultaten	62
	5.7 Nabeschouwing	63
	5.7.1 De waarde van het onderzoek	63
	5.7.2 Aanbevelingen	63

Appendix A.	Invoering van de Maasmond in de modellen	65
A.1	Mogelijke methoden voor invoering van de Maasmond	66
A.1.1	Model Burger; model T0	66
A.1.2	Invoeren van een randvoorwaarde voor de snelheid	66
A.1.3	Invoeren van een randvoorwaarde voor de waterstand	67
A.1.4	Genereren van het stroombeeld door middel van het schematiseren van het achterliggend gebied	68
A.2	De kombergingsbeschouwing	69
A.3	Invoering Maasmond in het T1-model	70
A.4	Controle op aanname komberging	72
A.5	Toetsing van de uitkomsten van de 1.600 m-modellen T0 en T1	74
A.6	Invloed randvoorwaarde op het model	76
A.7	Invoering Maasmond in het T3-model	78
A.8	De toetsing van de uitkomsten van het T3-model	81
A.9	Vergelijking van het stroombeeld van de Maasmond in het T1- en het T3-model	84
A.10	Conclusies	90

Hoofdstuk 1: Inleiding
=====

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de aanleiding tot deze deelstudie beschreven, de doelstelling van het onderzoek geformuleerd en vervolgens de oplossingsmethoden uiteengezet. Tenslotte wordt de gevolgde werkwijze uit de doeken gedaan en wordt een samenvatting gegeven.

Aanleiding

Jaarlijks moet er uit de havens en vaarwegen rond Rotterdam een hoeveelheid van 20 miljoen m³ baggerspecie worden verwijderd om de bereikbaarheid voor schepen te verzekeren.

Tot nu toe wordt het gebaggerde slib geborgen door een gedeelte naar loswallen op het land te brengen en de rest in zee te storten op ca. 5 km uit de kust.

Maar dit slib is sterk verontreinigd. Zware metalen, pesticiden, oliën, nutriënten en dergelijke hebben zich aan het slib gehecht. Bij storten op zee kan het slib zich verspreiden en de verontreinigingen worden vervolgens opgenomen door levende organismen en belanden op die manier in de voedselketen. Op het land storten is ook niet gewenst. Ook hier komen de verontreinigingen op den duur in de voedselketen terecht.

Dit wordt zo langzamerhand als ontoelaatbaar beschouwd. Er is daartegen een duidelijke aversie ontstaan als gevolg van de milieu-effecten.

Dus is er een nijpend tekort aan bergingsruimte ontstaan. Op allerlei wijze wordt gezocht naar een oplossing. Naar methoden ter voorkoming van slibafzetting, en, hoewel zeer moeizaam, naar voorkoming van verontreiniging. Maar voorlopig wordt het bergingsprobleem steeds groter.

Eén van de oplossingen is het bergen op zee. Een M.K.O.-projectgroep "Speciebergings op zee" (M.K.O. wil zeggen minimalisering kosten onderhoudsbaggerwerk), waarin vertegenwoordigd de gemeente Rotterdam en Rijkswaterstaat, bracht als meest reële plan de zogenaamde "slufterloswal" naar voren [lit. 2]. Een loswal van zand, aansluitend op de Maasvlakte, waarbinnen het slib gestort kan worden.

Waarom dit plan?

Na de aanleg van de Maasvlakte en daarmee de verdwijning van het natuurgebied De Beer voelden velen de oprukkende industrie als een bedreiging. Een nieuw natuurgebied zou moeten kunnen ontstaan, verdere aantasting werd ontoelaatbaar geacht.

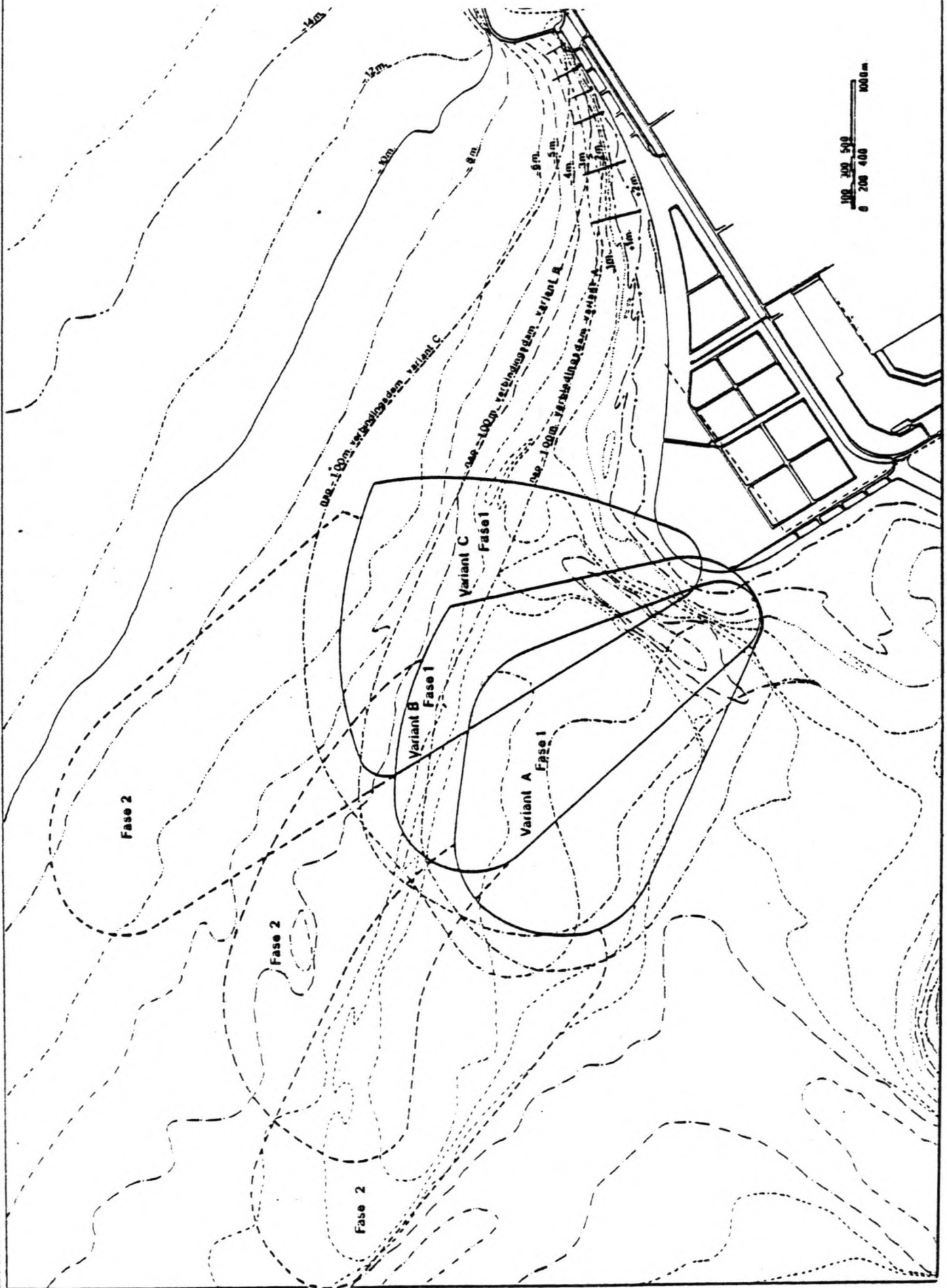
Vandaar het plan om, met het bij de aanleg van de Maasvlakte vrijgekomen zand, een nieuw natuurgebied te maken van het ondiepe, voor de kust van Voorne liggende, gedeelte van de zee. Het zand zou benut kunnen worden om de getijgeul, het "Gat van de Hawk" te dichten en op de Hinderplaat een dam te bouwen. Achter deze barrière zou dan een zogenaamde slufter ontstaan, een gebied waar het zeewater tussen de duinen kan doordringen en beweegt onder invloed van het getij. Dit plan, afkomstig van het openbaar lichaam Rijnmond (1974), werd overgenomen door Rijkswaterstaat, die de barrière als oplossing zag om de verwachte erosie van de vooroever van de Zuiderdam tegen te gaan. Maar de erosie bleek mee te vallen.

Van de gemeente Rotterdam kwam tenslotte het plan om niet één, maar twee dammen te gaan bouwen. Daartussen kan dan een grote hoeveelheid baggerspecie worden geborgen. Dit plan werd overgenomen door zowel Rijnmond en de Provincie als door Rijkswaterstaat.

Zo ontstond de slufterloswal, getekend in figuur 1.1. Inmiddels is een haalbaarheidsstudie verricht naar drie alternatieve locaties te weten variant A, B en C, verwoord in "Slufterdamproject, Interimfase" [lit. 1].

Figuur 1.1: situatie loswal A-, B- en C-variant

Overzicht varianten A, B en C fase 1 en 2



De loswal zal moeten worden opgebouwd uit een zanddam met een hoogte van N.A.P. +15 m, een maximale diepte van N.A.P. -20 m en moet een bergingscapaciteit hebben van $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ baggerspecie, zodat (afhankelijk van de variant) een oppervlak van ± 600 ha benodigd is.

Met de mogelijkheid de capaciteit te vergroten is rekening gehouden.

Doelstelling

In het kader van de haalbaarheidsstudie van het slufterdamproject zouden onder andere de volgende vragen moeten worden beantwoord.

- In hoeverre is de aanleg van een slufterdamproject uit morfologisch oogpunt gezien haalbaar?
- Wat zijn de kosten die het in stand houden van de zeezijde van de dam mogelijk met zich meebrengen?
- Waar en in welke mate zal de aanleg van een slufterdamproject invloed hebben op het morfologisch karakter van het aanliggend kustgebied?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is onder meer een grondige kennis van het optredend getij noodzakelijk in een gebied waarbinnen de invloed van het slufterdamproject zich zal beperken. Een getijberekening zal vooral de grootte en richting van het horizontale getij op iedere gewenste plaats aan het licht moeten brengen.

Deze getijberekening zal voor zowel de huidige situatie als voor de situatie met een gerealiseerde loswal moeten worden verricht.

Oplossingsmethoden

Het aantal methoden om het stroombeeld te kunnen voorspellen is slechts beperkt.

Vanwege de hoge kosten behoort een schaalmodel niet tot de mogelijkheden.

Wel zijn er verschillende wiskundige oplossingen voorhanden, die alle neerkomen op het oplossen van de bewegings- en de continuïteitsvergelijking, die de getijprocessen beschrijven.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen analytische en numerieke oplossingen van die vergelijkingen. Zonder grove verwaarlozingen te introduceren behoort een analytische oplossing niet tot de mogelijkheden.

Een numerieke oplossingsmethode van de vergelijkingen geeft wel goede resultaten. Gekozen kan worden in hoeverre variaties in tijd en richtingen zullen worden meegenomen. Gezien het karakter van het gebied is een tweedimensionale berekening, waarbij variaties over de diepte per maas worden uitgemiddeld, nauwkeurig genoeg.

Aan de T.H. Delft is het computerprogramma Tides aanwezig ten behoeve van tweedimensionale getijberekeningen. De theoretische achtergrond van het programma wordt in hoofdstuk 2 beschreven. Een gebruikersgids [lit. 3] geeft de richtlijnen voor het uitvoeren van een getijberekening.

Uitgaande van een beginvoorwaarde worden op basis van de getijgegevens op de randen (de randvoorwaarden) in ieder gridpunt de waterstand en de snelheid bepaald.

Om een bestaande situatie op de randen van het model te kunnen invoeren (randvoorwaarde) is het noodzakelijk dat de aanleg van het slufsterdamproject geen invloed heeft op de bestaande situatie ter plaatse van de randen.

De berekening moet dus noodzakelijkerwijs over een groot gebied plaatsvinden. Aangezien om rekentechnische redenen niet veel meer dan 1000 gridpunten ingevoerd kunnen worden, zal de schematisatie van de bodem van het gebied nogal grof zijn hetgeen de berekeningsresultaten niet ten goede komt. Dit wordt het basismodel genoemd.

Het basismodel, waarin de ingreep - de slufsterloswal - is geprojecteerd, kan dienen om op te kiezen plaatsen de getijsituatie (waterstanden en/of snelheden) per tijdstap te bepalen, welke in een geheugen kan worden opgeslagen. Deze getijsituatie kan dan als randvoorwaarde dienen voor een kleiner model met een kleinere gridafstand. Dit proces kan worden herhaald totdat de gewenste nauwkeurigheid is behaald.

Werkwijze - samenvatting

De stroomsnelheden en waterhoogten worden berekend met behulp van een numerieke berekeningsmethode, waarin de differentievergelijkingen (de bewegings- en continuïteitsvergelijkingen) worden opgelost. De totstandkoming van deze numerieke methode wordt beschreven in hoofdstuk 2.

De methode is als volgt. Er wordt een numeriek model gemaakt, dat het beschouwde gebied schematiseert in rechthoekjes. Per rechthoekje moet de diepte bekend zijn. Aan de randen zijn randvoorwaarden bekend en van daaruit wordt de berekening gestart en worden alle punten van het rasterwerk doorgerekend.

Omdat de randvoorwaarden bekend zijn op een plaats ver verwijderd van de ingreep, de slufsterloswal, is een gedetailleerde berekening niet mogelijk. Dan zouden teveel punten moeten worden doorgerekend.

Daarom worden er meerdere modellen gemaakt, waarbij de maaswijdte steeds kleiner wordt en de randvoorwaarden steeds worden gehaald uit een voorgaand, grover, model.

Het basismodel wordt beschreven in hoofdstuk 3 en de daarop gebaseerde modellen in hoofdstuk 4.

De resultaten van de diverse berekeningen worden besproken in hoofdstuk 5.

In een bijgevoegde appendix wordt een randvoorwaarde voor de Maasmond afgeleid. Besloten wordt de stroming door de Maasmond te simuleren door een representatief oppervlak achter de Maasmond te schakelen, dat het rivier- en havengebied moet weergeven.

De volgende aanduidingen maken, indien noodzakelijk, onderscheid tussen de diverse getijmodellen.

- T0 = basismodel; maaswijdte 1600 m
- T1 = basismodel met ingevoerde schematisatie van de Maasmond; maaswijdte 1600 m
- T2 = basismodel met ingevoerd de slufsterloswal; maaswijdte 1600 m
- T3 = Ingenest model; maaswijdte 800 m
- T4 = Ingenest model; maaswijdte 400 m

Soms wordt, indien noodzakelijk, nog een tweede index toegevoegd, om het onderscheid tussen de varianten (A of B) en de huidige situatie (0) aan te geven. Variant C, de derde variant, is niet onderzocht. De late totstandkoming van deze variant maakte het onmogelijk ook daarvoor nog een aantal getijberekeningen uit te voeren.

De conclusies

De voornaamste conclusies van het onderzoek zijn.

- De getijbeweging wordt, indien zou worden besloten tot aanleg van één der varianten, slechts plaatselijk verstoord. De aanleg heeft afgaande op de uitgevoerde berekeningen geen merkbare invloed op het stroombeeld ten noorden van de Maasmond en ten zuiden van de kop van Goeree.
In het mondingsgebied van het Haringvliet verandert het stroombeeld belangrijk.
- Invoering van het stroombeeld van de Maasmond in de modellen, door middel van het invoeren van een representatief oppervlak dat het achter de mond liggend rivier- en havengebied representeert, geeft redelijk goede resultaten. Zowel de waterstand als de snelheden op deze wijze gesimuleerd, zijn in dezelfde orde van grootte als de werkelijkheid te zien geeft. Wel treden er hinderlijke faseverschillen op.

De waarde van het onderzoek

De waarde van het onderzoek is tweërlei. Het heeft de voor de zandtransportberekeningen gewenste randvoorwaarden ten aanzien van de getijstroming geleverd. De uitkomsten van de berekeningen zijn meer dan voldoende betrouwbaar, zeker gezien de tamelijk grote onzekerheid in de zandtransportberekeningen. Wel moet worden bedacht dat de getijberekeningen zijn uitgevoerd voor een doodtijsituatie. De omzetting van de gevonden resultaten voor een andere getijsituatie (gemiddeld tij of springtij), waarvoor een methode in paragraaf 5.2 is aangegeven, berust in feite op een onvoldoende gestaafe benadering. Beter is het in een volgende fase de berekeningen voor een gemiddeld tijsituatie uit te voeren. Ten tweede heeft het onderzoek de nodige kennis opgeleverd over hoe het stroombeeld zich wijzigt bij aanleg van een slufteerwal. Verwacht mag worden dat de berekeningen een betrouwbaar beeld opleveren van waar en op welke wijze veranderingen zullen optreden. Wanneer het mogelijkwerijs noodzakelijk blijkt dat deze veranderingen ook in kwantitatieve zin moeten worden geanalyseerd, zal naast het rekenen met enkele andere getijsituaties mogelijk ook het roosternet moeten worden verfijnd.

Hoofdstuk 2: De berekeningsmethode - het programma Tides
=====

- 2.1 Inleiding
- 2.2 De basisvergelijkingen voor de lange-golftheorie
- 2.3 De oplossingsmethode van de lange-golfvergelijkingen in Tides
- 2.4 Algemene gegevens

In dit hoofdstuk wordt het basisprincipe van de methode Tides uiteengezet. De basisvergelijkingen worden afgeleid en de oplossing van deze vergelijkingen wordt uiteengezet. Hoofdstuk 2.3 is letterlijk overgenomen uit het afstudeerrapport van Bruin [lit. 4].

2.1

Inleiding

Enige jaren geleden is het programma Tides, een tweedimensionale getijberekening, tot stand gekomen. Het is gebaseerd op het model dat destijds is ontwikkeld door Leendertse, beschreven in zijn proefschrift [lit. 5]. Het eigenlijke programma Tides is ontwikkeld door Booij, wetenschappelijk medewerker van de vakgroep Vloeistofmechanica, van de afdeling Civiele Techniek aan de T.H. Delft.

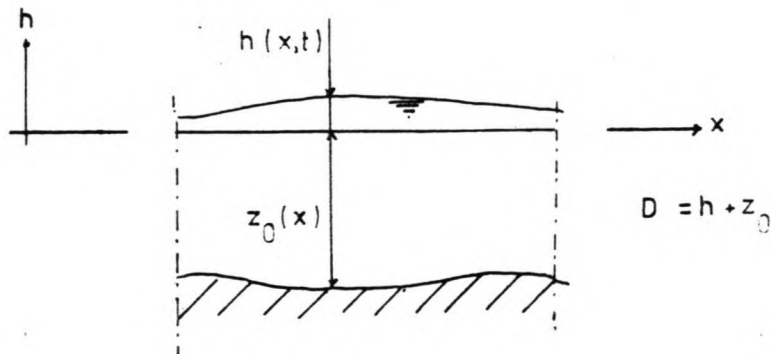
Het programma is aanwezig op het Rekencentrum van de Technische Hogeschool. Een gebruikersgids van de hand van Booij [lit. 3] vermeldt de gegevens over in- en uitvoermogelijkheden.

2.2

De basisvergelijkingen voor de lange-golftheorie

De getijbeweging, zoals hier aan de orde, kan worden beschouwd als een twee-dimensionale lange-golfvergelijking. Omdat de golflengte van een getijgolf veel groter is dan de waterdiepte zullen de stroomlijnen in het verticale vlak niet of nauwelijks gekromd zijn. Dat betekent dat de verticaal gerichte versnellingstermen verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de versnelling van de zwaartekracht, met als gevolg dat de drukverdeling over de verticaal hydrostatisch is. Golven waarin de hydrostatische drukverdeling heerst worden aangeduid als lange golven. Het is dan mogelijk een middeling over de diepte uit te voeren, zodat getijstroming kan worden vereenvoudigd tot een twee-dimensionaal probleem.

De twee-dimensionale lange-golfbeweging kan beschreven worden door de volgende differentiaalvergelijkingen, afgeleid voor onderstaand assenstelsel. Voor de afleidingen van deze vergelijkingen wordt verwezen naar Verspuyl de Vries [lit. 6].



. bewegingsvergelijkingen

in x-richting:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = k_x \quad (2.01)$$

in y-richting:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = k_y \quad (2.02)$$

. continuïteitsvergelijking

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \delta \frac{(D.u)}{\delta x} + \delta \frac{(D.v)}{\delta y} = 0 \quad (2.03)$$

waarin:

- u, v : snelheden, gemiddeld over de verticaal, in x- resp. ij-richting;
h : z-coördinaat van de waterspiegel;
g : zwaartekrachtversnelling;
t : tijd;
 k_x, k_y : componenten van de externe krachten in resp. x- en y-richting;
D : $h - z_0$, waarbij z_0 = niveau van de bodem t.o.v. de referentierichting.

De externe krachten zijn de getijverwekkende krachten, de windkracht, de wrijving en de krachten die ontstaan ten gevolge van de Coriolisversnelling.

Aangezien deze krachten de drijfveren zijn van de getijbeweging worden deze krachten in het kort genoemd.

. Getijverwekkende krachten

Aantrekkingskrachten tussen aarde en maan en in mindere mate die tussen aarde en zon veroorzaken waterstandsverschillen, aangezien deze aantrekkingskrachten op de aarde van zon en maan niet overal even groot zijn (vanwege de grote omvang van de aarde).

Deze getijverwekkende krachten spelen op het relatief kleine Noordzeebekken nauwelijks een rol. Het getij dat op de Noordzee voorkomt is afkomstig van door getijkrachten opgewekte vloedgolven op de Atlantische Oceaan. Opstuwung en reflectie zorgen voor plaatselijk zeer grote waterstandsverschillen.

. Krachten ten gevolge van de rotatie van de aarde

Deze krachten spelen een aanzienlijke rol. Ieder deeltje dat ten opzichte van de aarde in rust is, is in hoofdzaak aan twee krachten onderhevig: de Newtonse aantrekkingskracht door de totale massa van de aarde (gravitatie) en de centrifugale kracht ten gevolge van de draaiing van de aarde.

Wanneer een deeltje echter beweegt ten opzichte van de aarde komt de rotatie van de aarde tot uitdrukking in een horizontale afbuiging (naar rechts op het noordelijk halfrond, naar links op het zuidelijk halfrond).

Voor een waterdeeltje kan dit tot uitdrukking worden gebracht in een kracht loodrecht op de voortplantingsrichting.

Voor de afleiding van deze krachten, genoemd naar de ontdekker Coriolis, wordt verwezen naar Dronkers [lit. 14].

De Corioliskracht werkt dus in de richting loodrecht op een voortplantingssnelheid v van een waterdeeltje en wel naar rechts op het noordelijk halfrond.

Toegepast op de bewegingsvergelijking in x- en y-richting voor het noordelijk halfrond worden de volgende uitdrukkingen voor de Corioliscomponenten gevonden:

- een kracht in x-richting: $k_x = + 2 \omega \sin \phi \cdot \bar{v}$;

- een kracht in y-richting: $k_y = - 2 \omega \sin \phi \cdot \bar{u}$.

waarin:

ω = hoeksnelheid van de aardrotatie;

ϕ = breedtegraad.

Voor de term $2 \omega \sin \phi$ wordt het symbool Ω ingevoerd, de van de breedtegraad afhankelijke Corioliscoëfficiënt.

Dus $k_x = + \Omega \cdot \bar{v}$ (2.04)

$k_y = - \Omega \cdot \bar{u}$ (2.05).

. Weerstand

De weerstand komt in het (onderhavige) geval van twee-dimensionale lange golven voornamelijk tot uiting in de wrijvingsweerstand van de bodem. Experimenten toonden aan dat voor turbulente stroming de schuifspanning evenredig is met het kwadraat van de snelheid:

$$\tau_b = \frac{\rho g}{C^2} \cdot v|v|$$

- τ_b = bodemschuifspanning
- g = versnelling zwaartekracht
- C = Chézycoëfficiënt
- ρ = dichtheid
- v = snelheid.

De schuifkracht (weerstand) per eenheid van massa is gelijk aan de schuifspanning maal de natte omtrek gedeeld door de dichtheid ρ . De natte omtrek (het stroomvoerend oppervlak gedeeld door de hydraulische straal $R = D = h - z_0$) is in dit geval gelijk aan $1/D$.

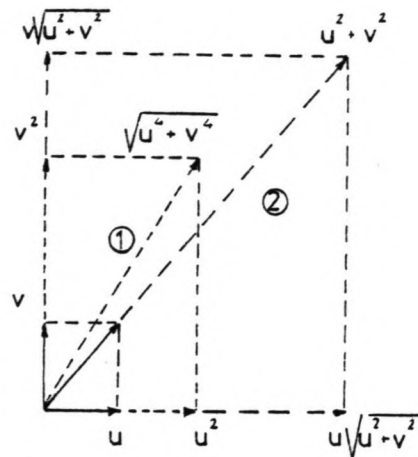
Verder wordt een weerstandscoefficiënt ingevoerd: $f = g/C^2$. Dan wordt voor de schuifkrachten gevonden:

$$X = -\frac{f}{D} \bar{u} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad (2.06)$$

$$Y = -\frac{f}{D} \bar{v} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad (2.07)$$

Dit wordt duidelijk wanneer de onderstaande figuur wordt bestudeerd.

Figuur 2.02



$$\textcircled{1} = \sqrt{u^4 + v^4}$$

$$\textcircled{2} = u^2 + v^2$$

De resultante van u^2 en v^2 is niet gelijk aan $u^2 + v^2$.

. Wind

De invloed van de wind wordt in de berekeningen verwaarloosd.

Nu kunnen de vergelijkingen (2.1) t/m (2.3) verder uitgewerkt worden.

Met gebruikmaking van (2.04) t/m (2.07) wordt het volgende stelsel bewegingsvergelijkingen gevonden:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \Omega \bar{v} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \bar{u} \frac{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}}{c^2(h-z_0)} = 0 \quad (2.08)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \Omega \bar{u} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \bar{v} \frac{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}}{c^2(h-z_0)} = 0 \quad (2.09)$$

En voor de continuïteitsvergelijking kan worden afgeleid:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + (h - z_0) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial (h - z_0)}{\partial x} + (h - z_0) \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{v} \frac{\partial (h - z_0)}{\partial y} = 0 \quad (2.10)$$

De vergelijkingen 2.08, 2.09 en 2.10 vormen de basis voor de getijberekeningen en moeten in het programma Tides worden opgelost.

2.3

De oplossingsmethode van de lange-golfvergelijkingen in het programma Tides

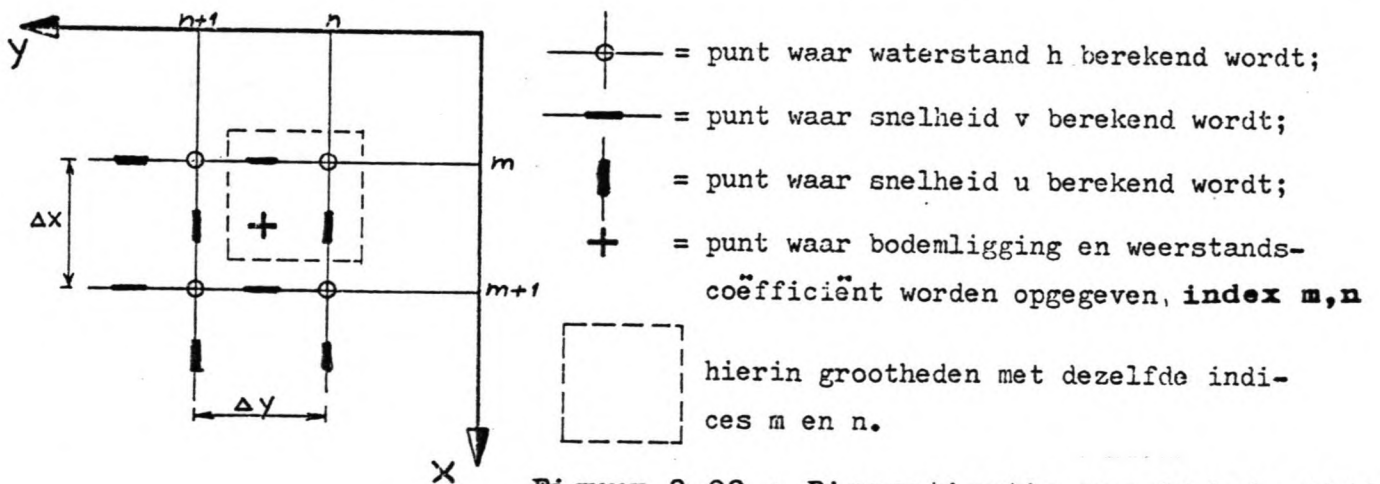
In de voor de berekening benodigde vergelijkingen, de continuïteitsvergelijking (2.16) en de bewegingsvergelijkingen voor 2 richtingen (2.08) en (2.09), komen partiële afgeleiden voor, die benaderd kunnen worden met differentiequotiënten.

Met behulp van deze differentiebenaderingen is het nu mogelijk om, uitgaande van bekende waarden van h , u en v , op verschillende tijdstippen en plaatsen, nieuwe waarden van h , u en v te berekenen.

De berekening wordt uitgevoerd door gebruik te maken van een impliciete methode, waarbij achtereenvolgens in afwisselende richting wordt gerekend, ofwel een "alternating direction implicit method". Hierbij worden om beurten nieuwe waarden van h en u en van h en v bepaald door het oplossen van impliciete vergelijkingen in x - resp. y -richting.

Bij de discretisatie wordt een in de ruimte en in de tijd versprongen schema gehanteerd.

Schema, waarbij de tijd buiten beschouwing is gelaten.

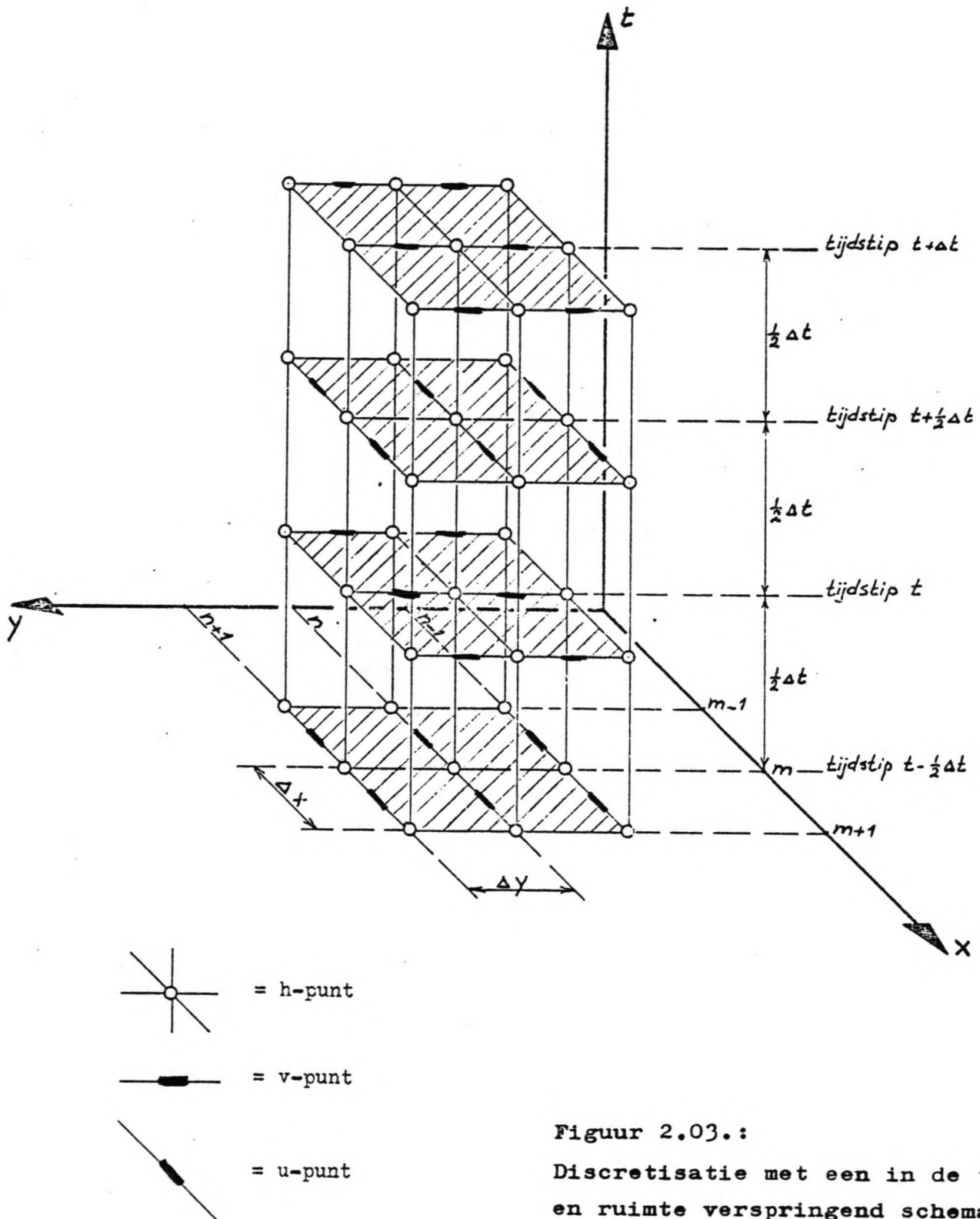


Figuur 2.02.: Discretisatie waarbij de tijd buiten beschouwing is gelaten.

Er geldt nu:

$$\begin{aligned}
 H(m, n) &= h(m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y) \\
 U(m, n) &= u\left[\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y\right] \\
 V(m, n) &= v\left[m \cdot \Delta x, \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta y\right] \\
 Z(m, n) &= z\left[\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta x, \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta y\right] \\
 FR(m, n) &= f\left[\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta x, \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta y\right]
 \end{aligned}$$

Schema, waarbij ook de tijd in beschouwing is genomen:



Figuur 2.03.:
Discretisatie met een in de tijd
en ruimte verspringend schema.

Op tijdstip t worden voor het gehele veld door impliciete berekening h en v bepaald, op tijdstip $t + \frac{1}{2}\Delta t$ idem voor h en u , enz.

De differentie-benadering van elk van de termen van de bewegingsvergelijking in x-richting (2.08) is als volgt gekozen (waarden met ' stellen nieuwe waarden voor, waarden zonder ' oude):

$$g \frac{\partial h}{\partial x} = g \frac{H'(m+1,n) - H'(m,n)}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{U'(m,n) - U(m,n)}{\Delta t}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = U(m,n) \left[\frac{U(m+1,n) - U(m-1,n)}{2 \cdot \Delta x} \right]$$

$$v \frac{\partial u}{\partial y} = v_4 \left[\frac{U(m,n+1) - U(m,n-1)}{2 \cdot \Delta y} \right]$$

$$\Omega v = \Omega v_4$$

$$f \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{D} = f \frac{U'(m,n) [U^2(m,n) + v_4^2]^{\frac{1}{2}}}{H(m,n) - Z(m,n)}$$

Hierin is:

$$H'(m,n) = h(m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, t + \frac{1}{2} \cdot \Delta t)$$

$$H(m,n) = h(m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, \Delta t)$$

$$U'(m,n) = u[(m + \frac{1}{2}) \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, t + \frac{1}{2} \cdot \Delta t]$$

$$U(m,n) = u[(m + \frac{1}{2}) \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, t - \frac{1}{2} \cdot \Delta t]$$

$$V(m,n) = v[m \cdot \Delta x, (n + \frac{1}{2}) \cdot \Delta y, \Delta t]$$

$$v_4 = \frac{1}{4} [V(m,n) + V(m,n-1) + V(m+1,n) + V(m+1,n-1)]$$

De term $\frac{\partial h}{\partial x}$ is voorgesteld door een differentiequotient op het niveau $t + \frac{1}{2} \Delta t$ ter wille van de stabiliteit. De termen $u \frac{\partial u}{\partial x}$ en $v \frac{\partial u}{\partial y}$ zijn voorgesteld door differenties op een ouder tijdstip, n.l. $t - \frac{1}{2} \Delta t$ en t . Weliswaar is dit niet gunstig voor de stabiliteit, maar deze termen zijn over het algemeen niet van grote betekenis (zie ook hoofdstuk 5.3).

Tijdens de berekeningsstap in x-richting moet de bewegingsvergelijking worden gecombineerd met de continuïteitsvergelijking (2.10) waarvan de termen volgens dezelfde principes worden gediscretiseerd:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{H'(m,n) - H(m,n)}{\frac{1}{2} \Delta t}$$

$$(h - z) \frac{\partial u}{\partial x} = [H'(m,n) - Z(m,n)] \frac{U'(m,n) - U'(m-1,n)}{\Delta x}$$

$$u \frac{\partial (h - z)}{\partial x} = U(m,n) \left[\frac{H'(m+1,n) - Z(m+1,n) - H'(m,n) + Z(m,n)}{\Delta x} \right]$$

$$(h - z) \frac{\partial v}{\partial y} = [H'(m,n) - Z(m,n)] \frac{V(m,n) - V(m,n-1)}{\Delta y}$$

$$v \frac{\partial (h - z)}{\partial y} = V(m,n) \left[\frac{H(m,n+1) - Z(m,n+1) - H(m,n) + Z(m,n)}{\Delta y} \right]$$

In de berekeningsslag in x-richting ten tijde $t + \frac{1}{2} \Delta t$ ontstaat aldus voor elke n een stelsel vergelijkingen, waarin per stap van punt (m,n) naar $(m+1,n)$ als onbekenden voorkomen $U'(m-1,n)$, $H'(m,n)$, $U'(m,n)$, $H'(m+1,n)$ Deze onbekenden worden opgelost, vanuit per rand berekende waarden voor H' of U' , m.b.v. de "double sweep" methode.

Dit wordt gedaan voor $n = 1, 2, \dots$, waarna t met $\frac{1}{2} \Delta t$ verhoogd wordt en hetzelfde proces wordt uitgevoerd in y-richting met $V'(m,n-1)$, $H'(m,n)$, $V'(m,n)$, $H'(m,n+1)$, als onbekenden; dit wordt gedaan voor $m = 1, 2, \dots$

De bewegingsvergelijking in y-richting (2.09) wordt op analoge wijze behandeld als die in x-richting:

$$\frac{\partial h}{\partial y} = \frac{H'(m,n+1) - H'(m,n)}{\Delta y}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{V' (m,n) - H' (m,n)}{\Delta t}$$

$$v \frac{\partial v}{\partial y} = V (m,n) \left[\frac{V (m,n+1) - V (m,n-1)}{2 \cdot \Delta y} \right]$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} = U_4 \left[\frac{V (m+1,n) - V (m-1,n)}{2 \cdot \Delta x} \right]$$

$$\Omega u = \Omega U_4$$

$$f \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{D} = f \frac{V' (m,n) [U_4^2 + V^2 (m,n)]^{\frac{1}{2}}}{H (m,n) - Z (m,n)}$$

Hierin is:

$$H' (m,n) = h (m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, t + \Delta t)$$

$$H (m,n) = h (m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y, t + \frac{1}{2} \Delta t)$$

$$V' (m,n) = v [m \cdot \Delta x, (n + \frac{1}{2}) \Delta y, t + \Delta t]$$

$$V (m,n) = v [m \cdot \Delta x, (n + \frac{1}{2}) \Delta y, t + \frac{1}{2} \Delta t]$$

$$U (m,n) = u [(m + \frac{1}{2}) \Delta x, n \cdot \Delta y, t + \frac{1}{2} \Delta t]$$

$$U_4 = 1/4 [U (m,n) + U (m-1,n) + U (m,n+1) + U (m-1, n+1)]$$

De termen van de continuïteitsvergelijking bij deze berekeningsstap in y-richting worden als volgt behandeld:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{H' (m,n) - H (m,n)}{\frac{1}{2} \Delta t}$$

$$(h - z) \frac{\partial u}{\partial x} = [H' (m,n) - Z (m,n)] \frac{U (m,n) - U (m-1,n)}{\Delta x}$$

$$u \frac{\partial (h - z)}{\partial x} = U (m,n) \left[\frac{H (m+1,n) - Z (m+1,n) - H (m,n) + Z (m,n)}{\Delta x} \right]$$

$$(h - z) \frac{\partial v}{\partial y} = [H' (m,n) - Z (m,n)] \frac{V' (m,n) - V' (m,n-1)}{\Delta y}$$

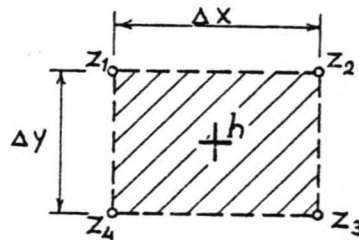
$$v \frac{\partial(h-z)}{\partial y} = V(m,n) \left[\frac{H'(m,n+1) - Z(m,n+1) - H'(m,n) + Z(m,n)}{\Delta y} \right]$$

Naast de hierboven geschetste algemene berekeningsgang kent het programma nog de behandeling van enkele bijzondere situaties in de bodem- en kust-configuratie.

Behandeling van stranden en droogvallende platen.

TIDES moet ook getijproblemen kunnen behandelen, waarbij gedeelten van het beschouwde gebied soms wel en soms niet onder water staan.

Bij de continuïteitsvergelijking speelt een belangrijke rol het bergend oppervlak behorend bij een h-punt. De verhoging van de waterstand in dit punt, vermenigvuldigd met het bergend oppervlak, is gelijk aan de som van de instromende minus de uitstromende debieten. Bij de berekening van het bergend oppervlak B wordt de h vergeleken met de vier omringende z-waarden (z = peil van de bodem). h-z is immers de momentane diepte.



Figuur 2.04.: Bovenaaanzicht.

Als $h >$ alle vier z-waarden, dan wordt gesteld $B = \Delta x \cdot \Delta y$.

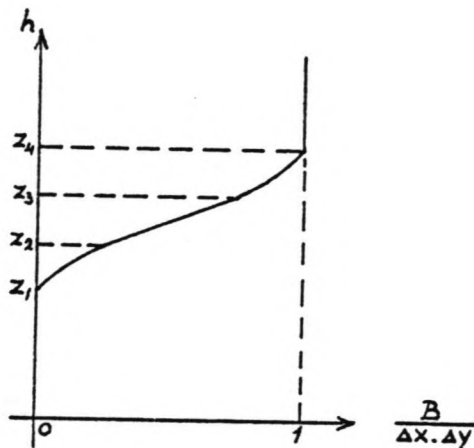
Als $h <$ alle vier z-waarden, dan is $B=0$.

Voor tussenliggende waarden van h wordt een formule voor B gebruikt waarbij een continue overgang wordt bewerkstelligd (zie voorbeeld in fig. 2.05).

De formule luidt:

$$B = \Delta x \cdot \Delta y \frac{\sum_{i=1}^4 G(h - z_i)}{\sum_{i=1}^4 |h - z_i|}$$

Hierin is G de volgende functie: $G(h-z_i) = h-z_i$, als $h-z_i > 0$
 $= 0$, als $h-z_i \leq 0$

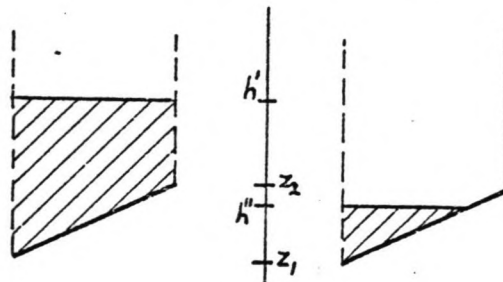
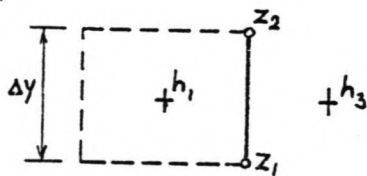


Figuur 2.05.:

Voorbeeld van het verloop van B als functie van h.

De continue overgang in B is gewenst om te vermijden, dat bij drooglopen schokken in het model worden geïntroduceerd.

Bij de bewegingsvergelijking speelt het doorstromingsprofiel tussen twee h-punten een belangrijke rol (zie fig. 2.06). In deze doorsneden worden de debieten berekend. Als voorbeeld wordt de stroom in x-richting bekeken..



Figuur 2.06.: Bovenaanzicht.

Figuur 2.07.: Verticale doorsnede.

In de doorsnede wordt voor h genomen: $h = \frac{1}{2} (h_1 + h_3)$.

Deze h wordt vergeleken met z_1 en z_2 (zie fig. 2.07). Als h groter is dan de beide z-waarden dan wordt voor het doorstromingsprofiel A genomen:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \Delta y \cdot (2h - z_1 - z_2)$$

en voor de hydraulische straal R:

$$R = \frac{1}{2} \cdot (2h - z_1 - z_2) .$$

Als h kleiner is dan de beide z-waarden, dan worden A en R beide gelijk aan nul gesteld.

In het tussenliggende gebied $z_1 < h < z_2$ wordt gesteld:

$$R = \frac{1}{2} (h - z_1)$$

$$A = 2 R^2 \cdot \Delta y / (z_2 - z_1)$$

Op deze manier wordt, afhankelijk van de waarden van h en z , beslist of een bepaald vakje van het mazennet op het land ligt of in het water, of gedeeltelijk onder water. Een strand-kustlijn kan hiermee dus goed worden benaderd, ondanks het rechthoekig mazennet.

Behandeling van ondoorlatende wanden.

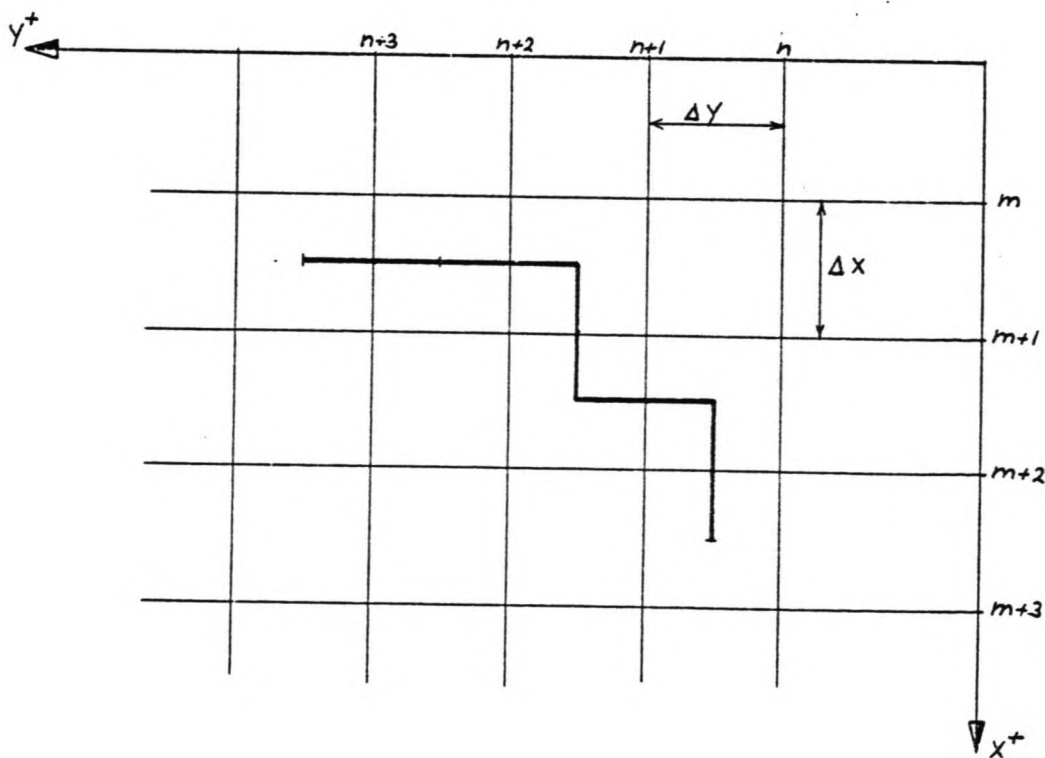
Ondoorlatende wanden (dammen e.d.) kunnen met TIDES worden verwerkt, als ze worden geschematiseerd tot trapjeslijnen.

Het programma kent n.l. de mogelijkheid om in bepaalde punten de watersnelheid een constante of variabele waarde in x - of y -richting te geven.

De snelheid loodrecht op een ondoorlatende wand is nul. Door in bepaalde punten u of v de waarde nul te geven, kan een wand worden geschematiseerd.

Voorbeeld:

Onderstaand schema is het resultaat van het nul stellen van $U(m+1, n+1)$, $U(m, n+2)$, $U(m, n+3)$, $V(m+1, n+1)$ en $V(m+2, n)$.



2.4

Algemene gegevens

Voor de wrijvingsterm in de vergelijking is een weerstandscoefficiënt f gebruikt. Deze coëfficiënt kan uitgedrukt worden in de zwaartekrachtversnelling g en de Chézywrijvingscoëfficiënt C :

$$f = g/C^2.$$

Voor C wordt een vaste waarde van 50 m /sec ingevoerd ($g = 9,81 \text{ m/sec}^2$). Aangezien de waarde van C in principe varieert met de waterdiepte wordt de invloed van de weerstandsterm in de vergelijking onderschat als de diepte gering is en overschat bij grote diepte. De mate waarin deze waarde voor C doorwerkt blijft echter gering.

Opm. Zoals in paragraaf 5.3 zal blijken is de invloed van de wrijvingstermen relatief gezien niet zo groot, zodat de invloed van variaties in de C -waarde gering zal zijn.

Hoofdstuk 3: Het basismodel
=====

- 3.1 Bepaling van het basismodel
- 3.2 Een beschouwing over de uitkomsten van het model

Het basismodel dient als uitgangspunt van de berekeningen. Dit model moet een dusdanig groot oppervlak bezitten dat op de randen, daar waar de randvoorwaarden aan het model worden opgedrongen, geen invloed van de voorgenomen verandering van de kustlijn merkbaar zal zijn.

Dit basismodel zal betrouwbare randvoorwaarden voor de afgeleide modellen moeten leveren, zodat het model uitvoerig zal moeten worden geijkt.

3.1

Bepaling van het basismodel

De ligging en de grootte van het model

De ligging en de grootte van het model worden door meerdere factoren bepaald. Deze zijn:

- de aanwezigheid van getijgegevens die als randvoorwaarden kunnen dienen;
- de uit te voeren ingreep, de slufteerloswal, mag het stromingsbeeld niet meer beïnvloeden op de randen van het model, aangezien de getijgegevens op de randen behoren bij de oorspronkelijke situatie zonder loswal;
- de oriëntatie van de huidige kustlijn en van de geplande ingreep;
- het aantal rasterpunten moet zoveel mogelijk worden beperkt in verband met de kosten verbonden aan de rekentijd van het programma. De maaswijdte kan dus niet te klein worden gekozen.

Rijkswaterstaat heeft in 1975 ten behoeve van de bepaling van de invloed van de Deltawerken een grootscheepse meetcampagne opgezet. Deze metingen dienden als randvoorwaarden en als ijking voor het Randdelta-II-model, een getijmodel in opzet vergelijkbaar met de hier toegepaste Tidesmodellen, bedoeld om het getij te kunnen voorspellen ten bate van de Deltawerken.

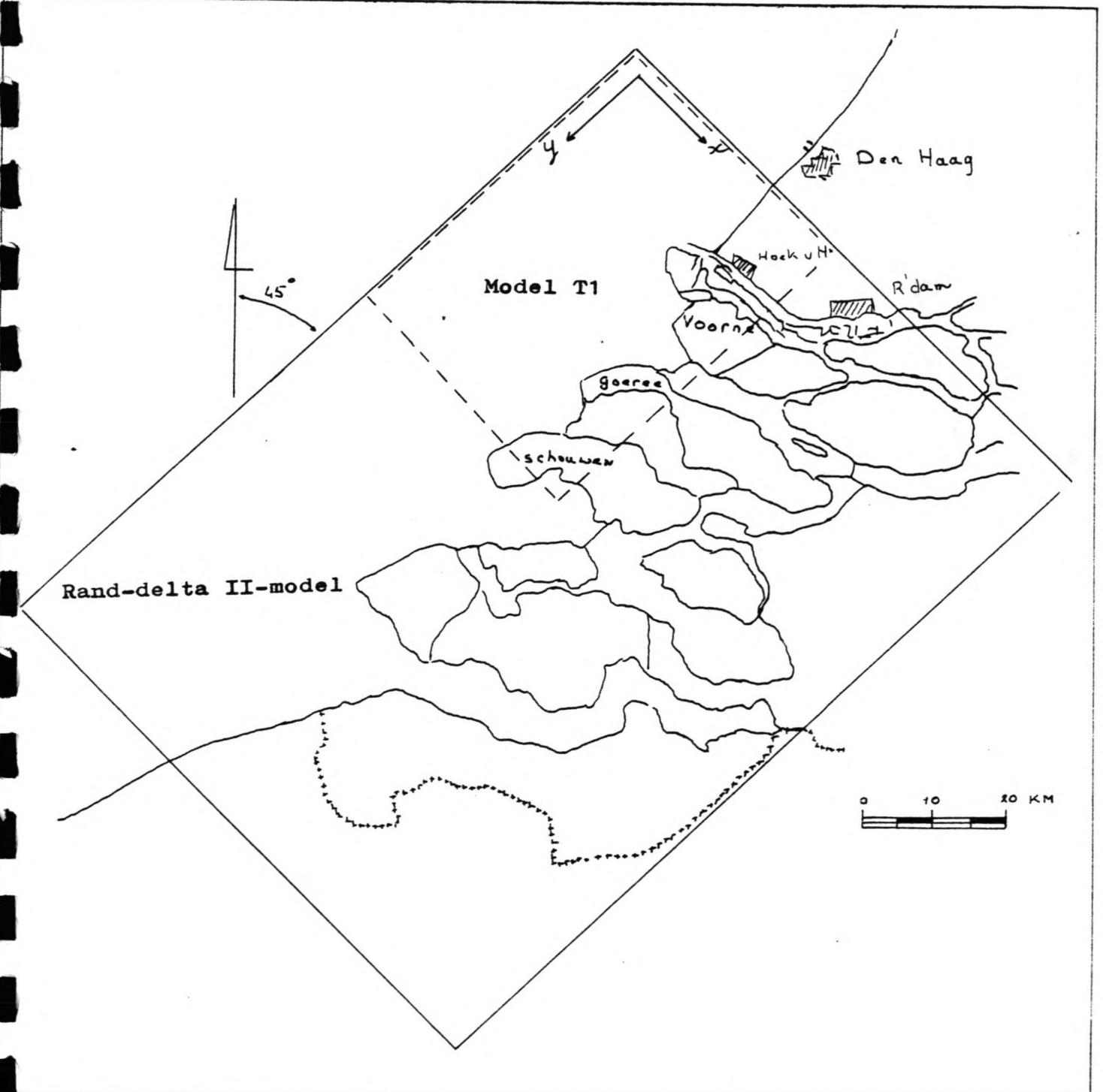
Zowel de randvoorwaarden als de uitkomsten van de berekening met dat Randdelta-II-model (R.D.-II-model) kunnen worden gebruikt om voor het basismodel de randvoorwaarden te leveren. Een tekening van het R.D.-II-model, figuur 3.01, geeft de ligging van dit model weer.

Burger [lit. 7] heeft, uitgaande van de afhankelijkheid van dit R.D.-II-model, een model opgezet voor het bepalen van het getij indien de aanleg van een zanddam aan de kust van Voorne (in zee-waartse richting zich uitstrekkend) zou worden gerealiseerd. Dit model Burger is voor het bepalen van het getij rond de slufteerloswal uitstekend te gebruiken. De slufteerloswal, een minder ingrijpende verandering van het huidige stroombeeld op dieper water veroorzakend dan de zanddam voor de Voornse kust, ligt centraal in dit model Burger. Veilig kan dus worden aangenomen dat het model van Burger als uitgangspunt kan dienen voor het basismodel T0.

Ter ondersteuning van deze aanname zijn de resultaten van het modelonderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium [lit. 8] aan te voeren waarin de gevolgen zijn onderzocht van de afsluiting van het Gat van de Hawk (een geul direct liggend onder de Maasvlakte: zie de inleiding). Uit de stroombeelden blijkt dat bij gemiddeld getij de aanleg van een dam door het Gat van de Hawk én over de Hinderplaat slechts aanwijsbare invloed heeft op een strook met een breedte van ± 2 km vanuit de kust zeewaarts en zich uitstrekkend in noordelijke richting tot het zuidelijk punt van de Zuiderdam, en in zuidelijke richting tot aan Goeree.

Dit model Burger doet geen geweld aan de overige factoren die de vorm van het model bepalen. De oriëntatie van het model is noord-oost/zuid-west en heeft diensgevolge een richting die uitstekend overeenkomt met de stromingsrichting langs de kust. Het aantal rekenpunten zal geen al te grote rekentijden teweeg brengen indien de maaswijdte vrij groot kan worden gekozen.

Figuur 3.0.1: ligging T1-model in het Randdelta-II-model
schaal 1:800.000



Het gekozen basismodel is weergegeven in figuur 3.02. Het behelst een gebied van $40,0 \times 54,4 \text{ km}^2$. Het punt (1,1), in figuur 3.1.2 aangegeven, heeft de volgende (Amersfoortse) coördinaten:

$x = -99.653,99$ en $y = +10.491,00$.

De_grootte_van_de_mazen

Het model van Rijkswaterstaat heeft een maaswijdte van 800 m. Het ligt voor de hand om voor dit T1-model ook een maaswijdte van 800 m of een veelvoud daarvan te hanteren. Rekening houdend met het beperkt aantal rekenpunten wordt een maaswijdte van 1.600 m het meest geschikt geacht. Er zijn dan 850 rekenpunten, zodat wordt voldaan aan de eis niet te veel rekenpunten te creëren.

De_diepteschematisatie

Het Randdelta-II-model van R.W.S. is opgezet in 1975, dus met een uit die tijd daterende diepteschematisatie. Vooral in de omgeving van de toekomstige slufferloswal is sinds dat jaar de bodemligging iets gewijzigd. Een aanpassing van de diepte ligt dus voor de hand.

Maar de in 1975 gemeten waterstanden die voor de getijberekening als randvoorwaarde dienen, zijn gemeten bij een bodemligging van 1975. Aanpassing van de bodem introduceert dus een fout.

Anderzijds is het van groot belang de snelheden rond de loswal zo goed mogelijk te voorspellen.

Daarom wordt gekozen voor een gedeeltelijke aanpassing met een geleidelijke overgang naar de toestand van 1975. Zo zal de invloed van de aanpassing gering blijven.

Een vergelijking tussen de toenmalige en de huidige bodemligging buiten het aangepaste gebied laat zien dat er niet al te grote verschillen zijn opgetreden (afgaand op onderstaande lodingskaarten). Er kan dus worden aangenomen dat, aangezien de diepte slechts over een beperkt gebied - ver van de randen van het model-behoeft te worden aangepast, de betrouwbaarheid van het model, wat dit aspect betreft, groot is.

Voor de nieuwe diepteschematisatie is gebruik gemaakt van lodingskaarten van R.W.S. (nrs. 80.71624, 80.71622 en 80.71627). De diepte en de grootte van het aangepaste gebied zijn in figuur 3.0.2 weergegeven. De dieptes zijn ingevoerd ten opzichte van het referentievlak (N.A.P.).

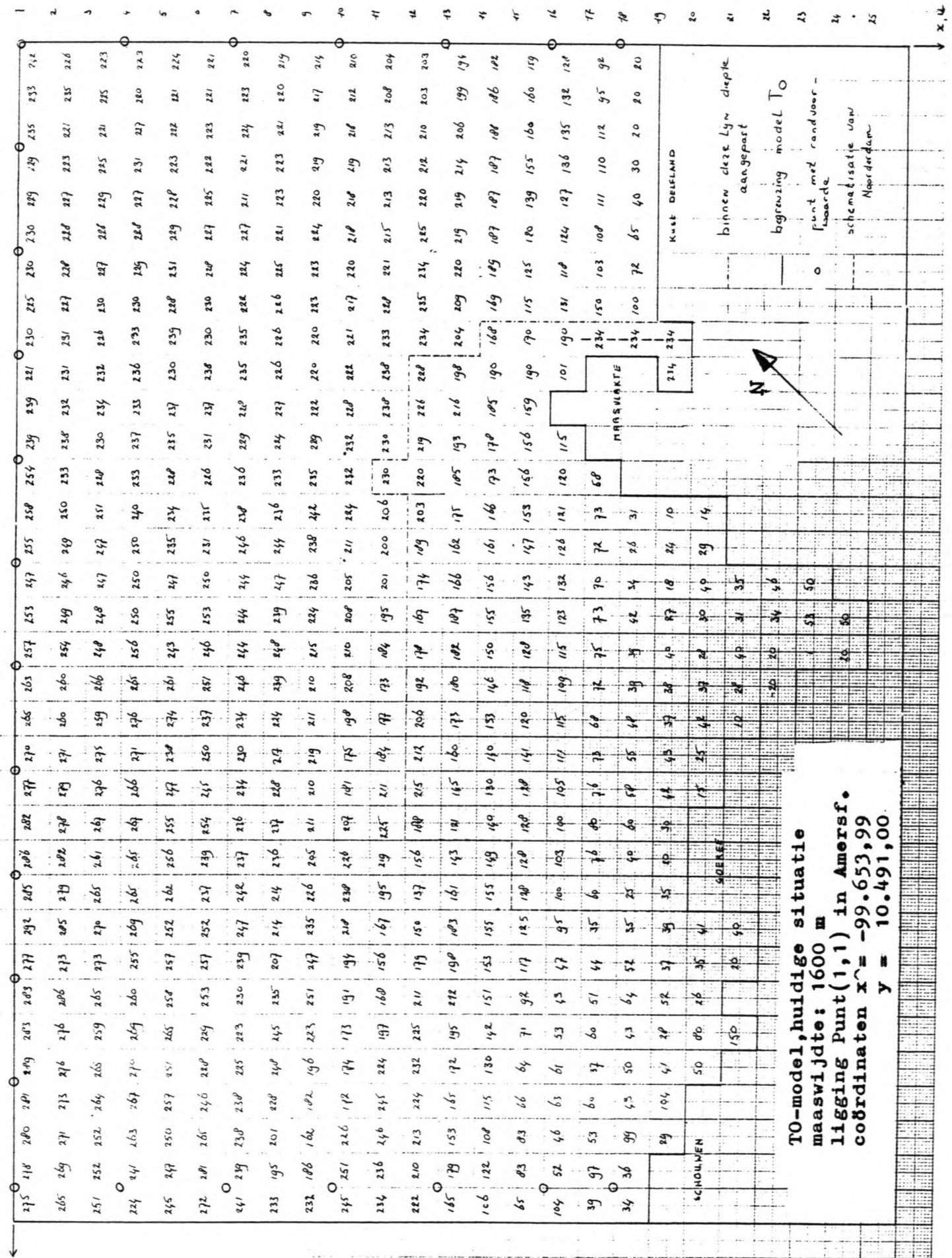
De_grootte_van_de_tijdstap

De grootte van de tijdstap wordt bepaald door het zogenaamde courantgetal:

$$c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta L}$$

c = voortplantingssnelheid van de golf
 Δt = de tijdstap
 ΔL = maaswijdte.

Figuur 3.0.2: T0-model



Omwille van de nauwkeurigheid mag deze parameter niet groter zijn dan ± 10 .

De voortplantingssnelheid van een lange golf kan worden benaderd met:

$$c = \sqrt{g \cdot D}$$

g = zwaartekrachtsversnelling
 D = waterdiepte.

Op diep water is de voortplantingssnelheid het grootst, zodat

$$c_{\max} = \sqrt{10.25} = 16.$$

$$\text{Dus } \Delta t < \frac{10 \cdot \Delta L}{C} = \frac{10 \cdot 1.600}{16} = 1.000 \text{ sec.}$$

De keus van de tijdstap kan alleen verantwoord worden gemaakt indien al in dit stadium wordt ingeschat welke maaswijdte en welke tijdstap er in de in te nesten modellen zullen (moeten) worden gehanteerd. Aangezien de tijdstap in een ingenest model steeds een veelvoud moet zijn van die van het voorgaand model, wordt daarmee de tijdstap in de ingeneste modellen reeds mede bepalend voor de tijdstap in het basismodel.

Om een zekere vergelijking met het model Burger te kunnen maken wordt gekozen voor $\Delta t = 900$ s, dus een tijdstap van 15 minuten. De getijperiode bedraagt zoals in het navolgende zal blijken 90.000 s, zodat er 100 tijdstappen van 15 min. zijn.

De randvoorwaarden

Zoals reeds is opgemerkt wordt gebruik gemaakt van waterstandsmetingen van Rijkswaterstaat, verricht in de periode van 1 t/m 5 september 1975. Uit deze metingen worden met behulp van onderstaande methode de invoergegevens voor het programma Tides bepaald.

Een getijkromme kan worden beschreven als de som van een middenstand en een aantal sinusvormige componenten:

$$h(t) = h_0 + \sum_1^n h_n \cdot \cos(\omega_n \cdot t - \phi_n)$$

$h(t)$ = de waterstand op tijdstip t
 h_0 = de middenstand
 h_n = de amplitude van de n -de sinusvormige component
 ω_n = hoeksnelheid van de n -de component
 t = tijd
 ϕ_n = fasehoek van de n -de component.

Deze middenstand en sinusvormige componenten zijn met behulp van een Fourieranalyse van de metingen te bepalen. Het resultaat van deze Fourieranalyse levert een aantal meer of minder belangrijke getijcomponenten op:

$$h(t) = \sum_{k=0}^{\infty} M_k = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \left[\cos \frac{2\pi kt}{T} + B_k \cdot \sin \frac{2\pi kt}{T} \right]$$

A_k, B_k = Fouriercomponenten
 M_k = k-de getijcomponent
 T = getijperiode.

Er is aangenomen dat de getijbeweging periodiek is met een periode van 25 uur (90.000 sec.) In werkelijkheid is het dubbeldaags getijd periodiek over 12 u 25 min, of 24 u 50 min (afgezien van dagelijkse ongelijkheden). De reden dat er desalniettemin wordt uitgegaan van 25 u is dat de berekeningen modeltechnisch worden vereenvoudigd. Er moet rekening worden gehouden, met - weliswaar kleine - faseverschillen, zeker indien de nauwkeurigheid dat vereist.

Uit het resultaat van de Fourieranalyse blijken de belangrijkste bijdragen aan het getij te worden geleverd door de enkeldaagse, de dubbeldaagse en de viermaal dagelijks optredende component en door de middenstand (dus M_0, M_1, M_2 en M_4).

In het programma Tides moeten de Fouriercomponenten worden ingevoerd, dus: (A_0, B_0) ; (A_1, B_1) ; (A_2, B_2) en (A_4, B_4) .

Rijkswaterstaat heeft uit de metingen echter direct de sinusvormige componenten bepaald in de vorm:

$$M_k = C_k \cdot \cos(k\omega t - \phi_k)$$

C_k = amplitude van k-de component
 ϕ_k = fasehoek, waarbij het minteken een gevolg is van goniometrie
 $\omega = 2\pi/T$ = hoeksnelheid.

De Fouriercomponenten kunnen dan weer uit de amplituden en fasehoeken worden bepaald:

$$A_k = C_k \cos \phi_k$$

$$B_k = C_k \sin \phi_k$$

De waarden voor C_k, ϕ_k, A_k en B_k worden weergegeven in de bijlagen 3.01 en 3.02.

De randvoorwaarden worden ingevoerd om de 4.800 m. In de tussenliggende roosterpunten van het 1.600 m-net worden randvoorwaarden ingevoerd verkregen uit lineaire interpolatie.

De beginvoorwaarde

Als beginvoorwaarde wordt gesteld dat op $T = 0$ op iedere plaats de waterstand gelijk is aan het referentieniveau (N.A.P.), behalve ter plaatse van de randen.

Dit brengt met zich mee dat er een zekere inspeeltijd in acht moet worden genomen om te bewerkstelligen dat in het model de juiste waterstanden zijn verkregen, dus totdat de oplossing onafhankelijk van de invloed van de beginvoorwaarde is geworden.

De_grootte_van_de_inspeeltijd

De tijd, benodigd voor het inspelen van het model, is door Burger [lit. 7] onderzocht. Een periode van het enkeldaagse getij van 25 uur bleek voldoende te zijn om de gewenste nauwkeurigheid te bereiken, dus een periode van 90.000 seconden. De tijdstap in Burgers model was 900 seconden.

De_randvoorwaarde_voor_de_Maasmond

In het model Burger wordt de invloed van de Maasmond niet verdisconteerd: de mond wordt als afgesloten beschouwd ter plaatse van de splitsingsdam. De snelheden blijven dientengevolge gering (geen uitstroming, geen bovenafvoer) en geven geen reëel beeld van het werkelijke verloop van de stroming nabij de mond.

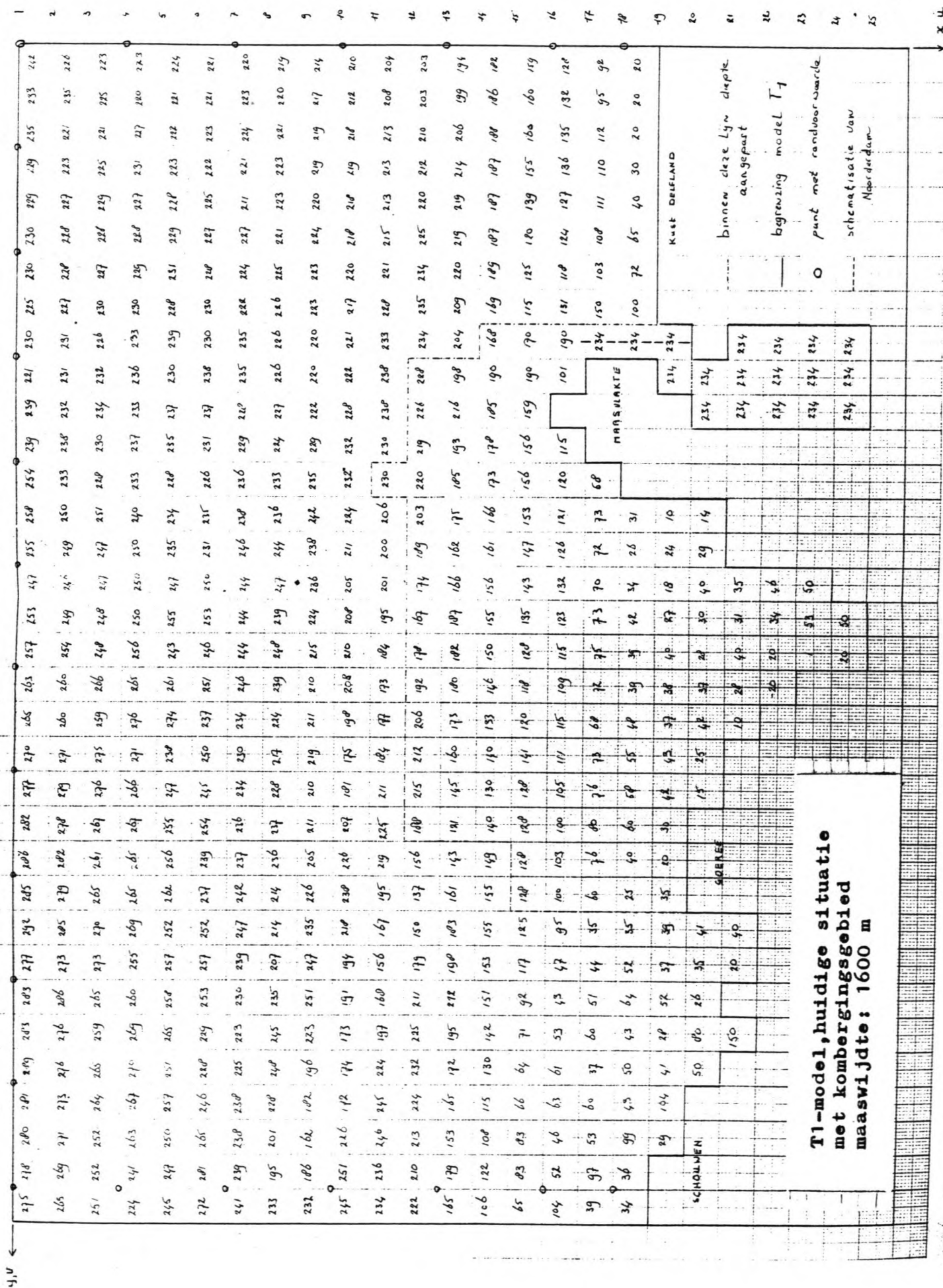
Gezien de ligging van de ingreep, nabij de Zuiderdam, is hier geprobeerd een betere weergave te geven van de invloed van de Maasmond en het achterliggende rivier- en havengebied.

Hoewel de invloed van de slufferloswal op het stroombeeld voor de mond gering zal zijn (gezien het modelonderzoek reeds eerder aangetoond) is de juiste weergave van het stroombeeld voor de Maasmond van groot belang. De rand van een volgend model (model van 400 m) zal namelijk nabij de Maasmond komen te liggen.

In een bijgevoegde appendix wordt de wijze waarop de invloed van de Maasmond in het model kan worden ingebracht uit de doeken gedaan.

Uiteindelijk wordt besloten het basismodel voor twee verschillende wijzen van invoeren van de Maasmond te laten doorrekenen. Voor de vergelijking met de schematisatie zoals Burger heeft toegepast is het noodzakelijk met eenzelfde schematisatie te rekenen (T0), daarnaast wordt een berekening verricht met een open Maasmond met daarachter een kombergingsoppervlak en met een opgedrongen bovenafvoer (T1).

In figuur 3.03 is dit T1-model schematisch weergegeven. De totstandkoming van dit model (de grootte van het oppervlak, de toetsing van de toepasbaarheid) wordt in de appendix beschreven. De resultaten van beide modellen worden in de appendix onder de loep genomen (vergelijking van de uitkomsten met de werkelijke situatie).



Keuze van de toe te passen schematisatie

In de appendix zijn de resultaten van de verschillende schematisaties, zoals gezegd, uitgebreid besproken. Daar blijkt dat de invoering van de Maasmond de uitkomsten niet wezenlijk verandert; alleen de stroming nabij de Maasmond verandert. De randvoorwaarden blijven dus geldig, aangezien er op de randen geen invloed is waar te nemen.

De keuze kan dan ook gedaan worden op grond van de weergave van het werkelijke stromingspatroon.

De meest nauwkeurige weergave kan worden bereikt met de methode zoals door Bruin is toegepast [lit. 4], waarbij het snelheidsverloop wordt weergegeven door een aantal sinuscomponenten met een bovenafvoer.

Wel moet dan nog worden onderzocht of bij toepassing van deze methode het verloop van de waterstand goed wordt weergegeven.

Toch wordt desalniettemin gekozen voor de methode waarbij het achterliggend gebied conform de werkelijke situatie wordt ingevoerd, dus model T1.

De reden hiervoor is gelegen in de voorkeur voor een aanpak die de fysische werkelijkheid meer zal benaderen.

Aangezien het getij nabij de mond goed wordt weergegeven, met name het verticale getij, is deze keuze gerechtvaardigd.

3.2

Een beschouwing over de uitkomsten van het basismodel T1

Burger [lit. 7] en Schaap [lit. 9] doen uitgebreid verslag van de door hen uitgevoerde ijking. Ten opzichte van hun modellen zijn er in het hier gebruikte model geen ingrijpende veranderingen aangebracht. Alleen de diepteschematisatie is aangepast (iets wat Burger overigens ook deed) en er is een gewijzigde schematisatie van de Maasmond ingebracht.

Aangezien het model Burger als leidraad heeft gediend bij de totstandkoming van het model T1 worden, waar mogelijk, zijn bevindingen aangehaald en verwerkt. Er is dan ook minder sprake van een ijking dan van een controle.

In het kort eerst de resultaten van de ijking van Burger.

Er kan gebruik gemaakt worden van een door Rijkswaterstaat uitgevoerde meetcyclus in augustus/september 1975 (waaruit ook de randvoorwaarde is gedestilleerd) in het Randdelta-II-model.

Burger vond de meest bijpassende meetperiode: van 20.30 uur op 1-09-1975 tot 21.30 uur op 2-09-1975. In tabel 3.04 is een overzicht gegeven van de gebruikte tijdsaanduidingen.

De meetpunten (aangegeven in bijlage 3.03) die ter beschikking staan zijn:

Tabel 3.04: Overzicht gehanteerde tijdschaal

Aanduiding in TIDES		Werkelijke tijd		Tijd t.o.v. h.w. (h.w. = hoog water)	
90.000	s	02-09-1975	01.30	uur	
93.600	-		02.30	-	
97.200	-		03.30	-	
100.800	-		04.30	-	
104.400	-		05.30	-	h.w. -6
108.000	-		06.30	-	h.w. -5
111.600	-		07.30	-	h.w. -4
115.200	-		08.30	-	h.w. -3
118.800	-		09.30	-	h.w. -2
122.400	-		10.30	-	h.w. -1
126.000	-		11.30	-	h.w.
129.600	-		12.30	-	h.w. +1
133.200	-		13.30	-	h.w. +2
136.800	-		14.30	-	h.w. +3
140.400	-		15.30	-	h.w. +4
144.000	-		16.30	-	h.w. +5
147.600	-		17.30	-	h.w. +6
151.200	-		18.30	-	h.w. +7
154.800	-		19.30	-	
158.400	-		20.30	-	
162.000	-		21.30	-	
		01-09-1975	20.30	-	
165.600	-		21.30	-	
169.200	-		22.30	-	
172.800	-		23.30	-	
176.400	-	02-09-1975	00.30	-	
180.000	s		01.30	uur	

Waterstandsmetingen:
Lichteiland Goeree;
G-paal;
B.G. II;
B.G. V;
H.A. I;
M.A. III.

Stroomsnelheden:
Euro I A;
B.G. II;
Schouwenbank-Noord;
meetpunt A;
meetpunt B;
meetpunt C.

Burger trok de volgende conclusies:

- . de waterstanden worden door het model goed weergegeven;
- . wat betreft de stroomsnelheden vallen er twee verschijnselen op:
 - het model heeft de neiging om de gemiddelde oriëntering van de snelheden te wijzigen. De berekende snelheden zijn aan de rechterkant van het model (noordoostelijk deel) over een hoek van ca. 10° rechtsom gedraaid en aan de linkerkant (zuidwestelijk deel) van het model over eenzelfde hoek linksom; Dit duidt erop dat de snelheden in x-richting groter worden berekend dan dat ze in werkelijkheid zijn.
 - het model heeft de neiging om de snelheden iets groter te berekenen (ca. 10%) dan de gemeten resultaten.

De controle

Ter controle zijn de berekende waarden uit dit T1-model vergeleken met de gemeten waarden.

De waterstanden zijn uitgezet voor Lichteiland Goeree, pt. (09, 25), H.A. I, pt. (18,18) en M.A. III, pt. (18,15) in bijlagen 3.04 t/m 3.06.

Er blijkt dat ook in dit T1-model de waterstanden goed worden weergegeven.

De snelheden zijn gecontroleerd voor B.G. II in het punt (14,33), en voor meetpunt G, pt. (13,4), getekend in bijlagen 3.07 en 3.08. Hieruit blijkt dat de conclusies van Burger ook voor dit model geldig zijn.

Blijkbaar dingen de invoering van de Maasmond en de bodemaanpassing niets af aan de betrouwbaarheid.

Het is dan ook gerechtvaardigd, blijkens het voorgaande, te veronderstellen dat in het T1-model de werkelijkheid redelijk goed wordt benaderd.

De slufferloswal is centraal in het model geprojecteerd. De richting van de stroom zal in dit gebied redelijk goed worden weergegeven. Wel moet bij grotere snelheden in x-richting de nodige voorzichtigheid bij het interpreteren worden betracht.

Hoofdstuk 4: De afgeleide modellen =====

- 4.1 De modellen T2, T3 en T4
- 4.2 De invoergegevens van de modellen
- 4.3 De controle van de afgeleide modellen

In dit hoofdstuk worden de van het basismodel T1 afgeleide modellen aan de orde gesteld.

Eerst het T2-model hetwelk identiek is aan het T1-model, maar waarin nu ook de ingreep (het slufferloswalproject) is ingevoerd. Om een meer nauwkeurige berekening van het stroombeeld te verkrijgen rond de loswal wordt uit het grote gebied een deelgebied genomen. In dit deelgebied kan de maaswijdte worden verkleind en de randvoorwaarde gedetailleerder worden ingevoerd. Deze modelverkleining wordt twee keer uitgevoerd:

maaswijdte van 1.600 m naar 800 m: het T3-model
en van 800 m naar 400 m: het T4-model.

4.1 De modellen

4.01 T2-model (figuur 4.01)

Het T2-model is identiek aan het T1-model met dien verstande dat nu de loswal in het model is ingevoerd. Dit model is vooral van nut als leverancier van de randvoorwaarden van een volgend model met kleinere maaswijdte.

Het model geeft bovendien het gewijzigde stroombeeld over een groot gebied weer, zodat inzicht kan worden verkregen in de grootte van het gebied waarin het stroombeeld verandert.

4.02 T3-model (figuur 4.02)

Eén van de doelstellingen is dat er onderzoek zal moeten worden gedaan naar de invloed van de slufferloswal op de omgeving. Daarom is voor het gedetailleerde model een belangrijke voorwaarde dat het deelgebied zo groot mogelijk moet zijn. Gekozen is voor een verkleining van een factor 2, dus een maaswijdte van 800 m, hetgeen ook de nauwkeurigheid ten goede komt. Het model kan een goede indruk geven van de wijzigingen in het stroombeeld, maar voor de berekeningen welke de morfologische consequenties aan het licht moeten brengen is de schematisatie nog veel te grof.

Het aantal rekenpunten bedraagt dan ca. 1.300 . De randen van het model moeten samenvallen met roosterlijnen van het 1.600 m-model, zodat de daar berekende waarden als randvoorwaarden kunnen dienen.

Het gekozen model heeft een noordoostgrens nabij Monster en een zuidwestgrens aan de noordpunt van Schouwen.

De minimale afstand van de zeewaartse N.W.-begrenzing tot het land bedraagt 12 mazen (9.600 m).

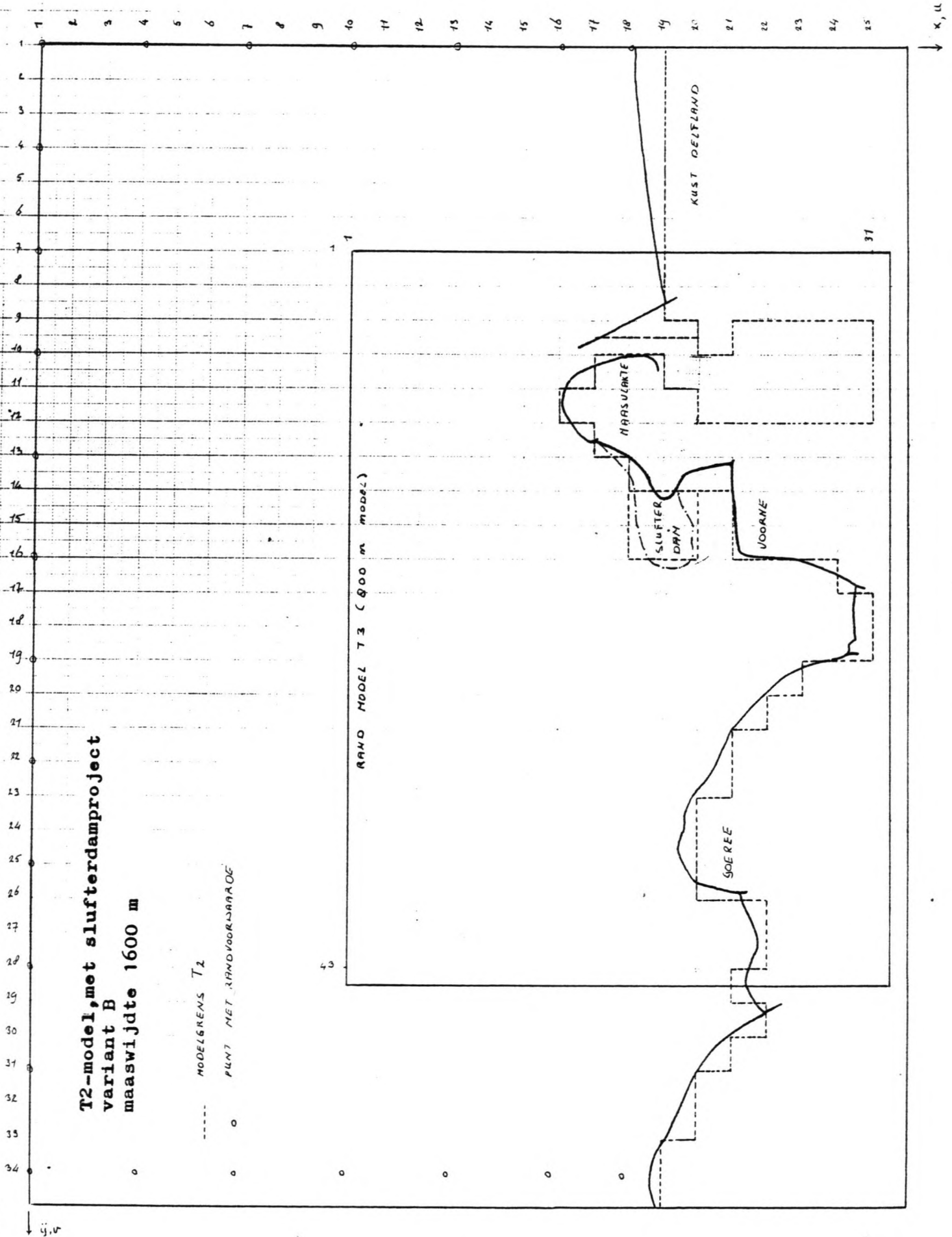
4.03 T4-model (figuur 4.03)

Dit model is hoofdzakelijk gericht op het verkrijgen van de getijgegevens rond de zuidpunt van de slufferloswal ten bate van de morfologische berekeningen. In dit model kan de schematisatie van de voor dit gebied zo invloedrijke geul echter niet nauwkeurig worden ingebracht. Toch wordt, gezien de kosten, een volgend model niet overwogen. Wel wordt er in het model het commando ingevoerd om gegevens weg te schrijven voor een eventueel gebruik als randvoorwaarde in een volgend model.

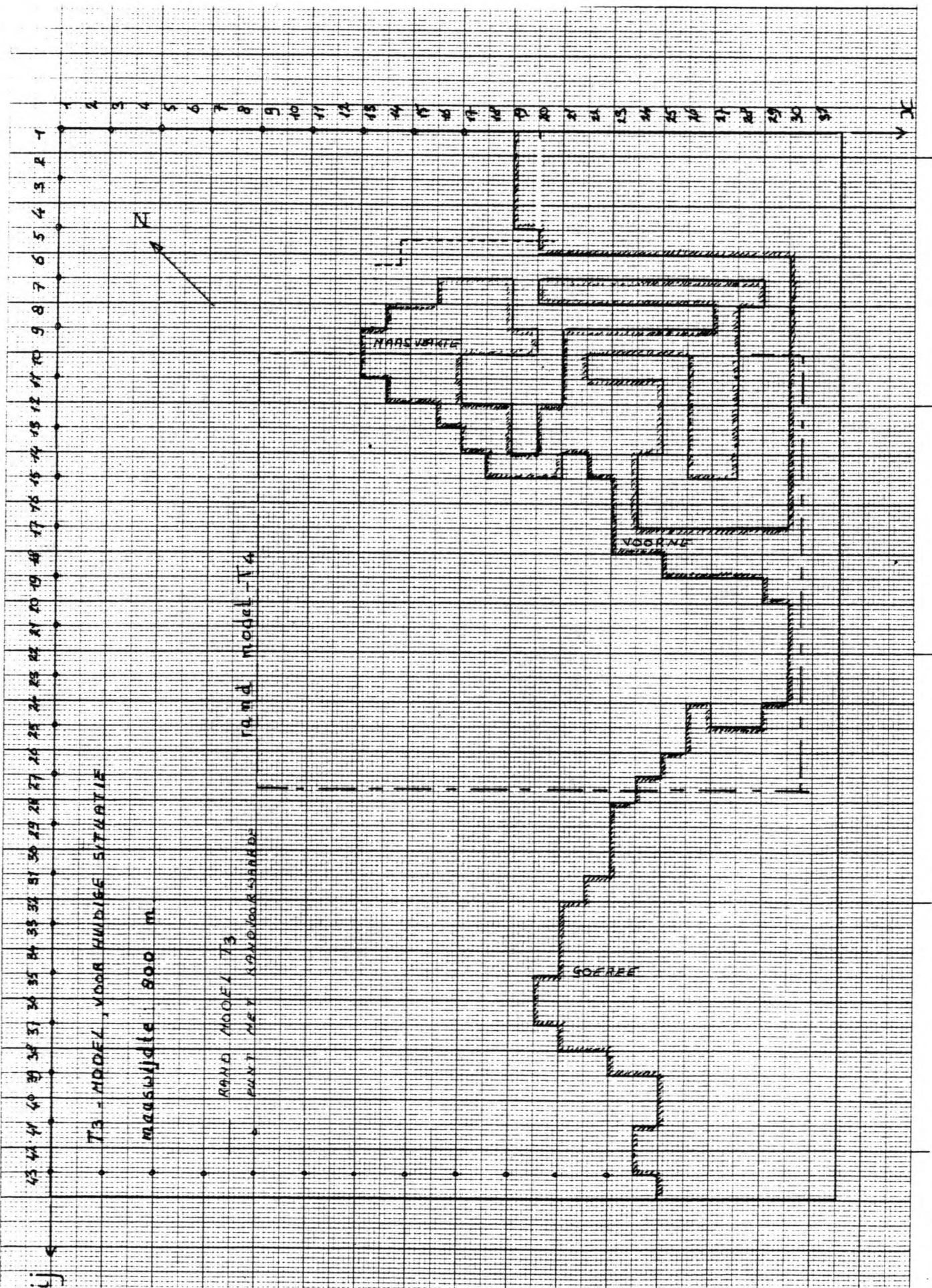
Een verkleining van 800 m naar 200 m van de maaswijdte lijkt dan meer voor de hand te liggen. Maar deze ingrijpende verkleining brengt met zich mee dat de randen erg dicht bij de Slufferloswal komen te liggen. Juist dicht bij de randen zijn de uitkomsten van het model minder betrouwbaar, hetgeen de nauwkeurigheid zeker niet ten goede zal komen.

Bovendien is het, zoals gezegd, wenselijk de modellen zo groot mogelijk te houden om het gewijzigde stroombeeld zo goed mogelijk in kaart te kunnen brengen.

Figuur 4.01: model T2, maaswijdte 1.600 (m), met slufter



Figuur 4.02: model T3, maaswijdte 800 (m), zonder slufter



Ook nu moeten de randen van dit model samenvallen met roosterlijnen van het T3-model.

De N.O.-grens ligt aan de zuidkant van de Zuiderdam, de Z.W.-grens ligt aan de noordkust van Goeree. De zeebegrenzing ligt 9 mazen van de Zuiderdam af, dus 3.600 m.

Het model bevat ongeveer 1.500 punten.

De schematisatie van de varianten (nulsituatie en de varianten A en B) voor de diverse modellen zijn in de bijlagen 4.01 tot en met 4.03 weergegeven.

4.2

De invoergegevens van de modellen

De diepteschematisatie

De diepten zijn afkomstig van lodingskaarten, vermeld in § 3.1. Ook hier is het N.A.P.-niveau als referentie voor de diepte gekozen.

De tijdstap

T2-model

Voor het 1.600 m-model, T2, wordt evenals het T1-model een tijdstap ingevoerd van 900 sec., zodat er 100 tijdstappen zijn in de periode van 25 uur.

T3-model

De tijdstap van het voorgaande model moet een veelvoud zijn van het volgend model, omdat de berekende waterstanden in het volgend model worden gebruikt als randvoorwaarde. Dit legt de keuze van de tijdstap in de afgeleide modellen volledig vast.

Het T3-model heeft een maaswijdte van 800 m. Weer wordt van het courantgetal $c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta L}$, die niet groter mag zijn dan ca. 10 gebruik gemaakt.

De maximale voortplantingssnelheid bedraagt $\sqrt{10.22} = 15$, zodat

$$\Delta t_{\max} = \frac{10 \cdot 800}{15} = 500 \text{ sec.}$$

Een tijdstip van 450 sec. is dan een goede keus.

N.B.

Later zal blijken dat de aanbevolen maximale waarde (10) voor het courantgetal nog aan de hoge kant is.

T4-model

Het T4-model heeft weer een iets kleinere maximale diepte. De maximale voortplantingssnelheid bedraagt $\sqrt{10.18} = 13 \text{ m/s.}$

$$\text{Dus: } \Delta t_{\max} = \frac{10 \cdot 400}{13} = 300 \text{ sec.}$$

Toch wordt voor een tijdstap van 450 sec. gekozen om de kosten nog in de hand te houden. Bij de bespreking van de resultaten zal blijken dat deze tijdstap nog klein genoeg is om de gewenste nauwkeurigheid geen geweld aan te doen.

De randvoorwaarde

T2-model

De randvoorwaarde van het T2-model is identiek aan die van het T1-model. Daarvoor wordt verwezen naar § 3.1.

T3-model

De op iedere tijdstap gevonden waarden van de waterstand na de inspeelperiode in het T2-model worden weggeschreven naar een achtergrondgeheugen. Deze waarden worden als voorwaarde gebruikt voor de T3-berekening.

Tussenliggende waarden, zowel wat betreft een tussenpunt in tijd als in plaats, worden lineair geïnterpoleerd.

T4-model

De randvoorwaarde is in dit geval afkomstig van de berekeningen van het T3-model. De waarden, om de 450 seconden berekend, worden na de inspeelperiode weggeschreven. Het T4-model kent dezelfde stapgrootte, zodat er in de tijd niet geïnterpoleerd hoeft te worden. Tussenliggende roosterpunten krijgen een waarde verkregen door lineaire interpolatie.

De beginvoorwaarde

Voor alle modellen geldt dat op het tijdstip $T = 0$, op het moment dat de berekening wordt gestart, de waterstand en de snelheid in het gehele model gelijk aan nul worden gesteld. Met uitzondering van de randen, waar de beginvoorwaarden voor de waterstand is ingevoerd.

De inspeeltijd

De inspeeltijd voor het T1-model is gesteld op 90.000 seconden dus een periode van 25 uur. Deze periode wordt ook in de overige modellen ingevoerd als inspeeltijd.

De invoering van de Maasmond

Zowel in het T2-model (immers identiek aan het T1-model) als in het T3-model is met behulp van een kombergingsbeschouwing het stroombeeld van de Maasmond nagebootst. Voor de invoering van de Maasmond wordt verwezen naar de appendix.

De Maasmond valt buiten de randen van het T4-model; invoering van de Maasmond is in dit model niet aan de orde.

4.3

De controle van de afgeleide modellen

De reeds beschreven controle van het T1-model (§ 3.2) is van belang voor de wijze waarop het model uit de randvoorwaarden een juist stroombeeld berekend. Hoewel is aangetoond dat het stroombeeld in dat basismodel als goed betrouwbaar kan worden bestempeld, en dus ook de randvoorwaarde voor het ingeneste 800 m-model, moet desalniettemin worden nagegaan of ook het 800-model betrouwbare resultaten levert.

Invoering van een kleinere maaswijdte en dientengevolge een kleinere tijdstap, en ook de schematisatie die in het model wordt gehanteerd, kunnen aanleiding zijn tot afwijkingen of tot een instabiel rekenproces. Dat geldt ook voor het 400 m-model. In dit verband kan er op worden gewezen dat persoonlijke ervaringen met het gebruik van het model Tides (in het kader van het vervolgonderzoek naar de consequenties van de aanleg van een slibdepot) tot de volgende aanbeveling heeft geleid. Wanneer het stroombeeld naar verwachting een wat meer ingewikkeld, gecompliceerd karakter zal vertonen is het raadzaam de in de handleiding voor Tides [lit. 3] genoemde maximale waarde voor het courantgetal ($c \cdot \Delta t / \Delta L$), nl. 10, zeker niet te overschrijden, maar liever nog een kleinere waarde aan te houden (± 6 à 7).

Er wordt een tweetal controles uitgevoerd.

De eerste voor de waarden van de waterstand van het T3-model (800 m) voor twee punten op de rand van het T4-model (400 m).

De punten zijn:

T3,0 (9,11) met T1,0 (14,12) en
T3,0 (11,10) met T1,0 (15,11)

N.B. De index 0 wijst op het model voor de huidige situatie.

Voor de plaats van deze punten wordt verwezen naar figuren 3.02 en 4.02.

Deze punten zijn gekozen omdat de waterstand in die punten wordt gebruikt als randvoorwaarde voor het T4-model. In bijlage 4.04 zijn de waterstanden van deze punten vergeleken met de overeenkomstige punten van het T1-model.

Het blijkt dat er nauwelijks verschil bestaat tussen de waarden voor de waterstanden van de beide modellen. De orde van grootte van de verschillen (max. 1 cm) ligt binnen de afrondingsfout.

Een tweede controle wordt uitgevoerd voor het T4-model. Op een plaats waar de uitkomsten van het getijmodel zullen worden gebruikt voor de zandtransportberekeningen worden de uitkomsten van het T3- en T4-model onderling vergeleken. Er zijn twee punten gekozen, op een diepte van ± 2 (m) en ± 4 (m) te weten:

T4,0 (25,19) met T3,0 (21,19), diepte 4 m en
T3,0 (18,19) met T4,0 (19,19) met een diepte van 2 m.

De waarden zijn vermeld in de bijlagen 4.05 en 4.06. De waarden voor de waterstand zijn bijna identiek voor beide modellen (maximaal 1 cm verschil). Veel belangrijker in dit verband zijn de waarden voor de snelheden. Daarom zijn ook de stroomrozen voor deze punten getekend, in bijlage 4.07.

Er blijkt uit genoemde bijlagen dat voor beide punten de snelheden in y-richting zeer goed overeenstemmen, maar de snelheden in x-richting van het punt op geringe diepte (2 m) wat grotere verschillen te zien geeft, terwijl voor het punt op diepte van 4 m weer een redelijke overeenstemming gevonden wordt.

De verschillen kunnen worden veroorzaakt door de niet-identieke bodemligging, maar ook door het rekenproces (de tijdstap, de schematisatie enz.).

Hoewel de controle summier is te noemen, kan desalniettemin worden verondersteld dat de afgeleide modellen betrouwbaar zijn.

Hoofdstuk 5: Resultaten van de berekeningen
=====

- 5.1 Uitvoer van de resultaten
- 5.2 Omrekening van doodtijresultaten naar gemiddeld-tij- en springtijomstandigheden
- 5.3 Invloed van de termen van de differentiaalvergelijkingen
- 5.4 Resultaten
- 5.5 Conclusies
- 5.6 De betrouwbaarheid van de resultaten
- 5.7 Nabeschouwing

Alvorens de resultaten van de getijberekeningen te beschrijven wordt eerst de wijze van de uitvoer van de resultaten van de berekeningen besproken.

Om de resultaten van de berekeningen te kunnen interpreteren voor andere getijomstandigheden dan doodtij wordt geanalyseerd met welke factoren de snelheden moeten worden vermenigvuldigd.

De resultaten worden uitvoerig besproken daar waar ze van belang zijn voor het verwezenlijken van de doelstelling, zoals in hoofdstuk 1 gedefiniëerd.

Tenslotte worden conclusies getrokken en wordt een nabeschouwing gegeven.

5.1

Uitvoer van de resultaten

De uitvoer van de berekeningsresultaten kan in het programma Tides op tweeërlei manieren worden verzorgd. De uitkomsten kunnen worden geprint, maar bovendien is het mogelijk plotjes te laten tekenen waarin de snelheid vectorieel is weergegeven.

ad 1. De printuitvoer

De printuitvoer geeft op ieder te kiezen tijdstip de waarden voor de waterstand en de snelheid in zowel x- als y-richting. Een printuitvoer is onontbeerlijk wanneer exacte resultaten verwerkt moeten worden.

ad 2. De plotuitvoer

Op een aantal naar keuze vastgestelde punten worden op te kiezen tijdstippen tekeningen van het model gemaakt waarin de snelheid vectorieel wordt uitgezet. Een plot geeft een goed beeld van het stromingspatroon op een bepaald tijdstip.

Van ieder model zijn zowel een print- als een plotuitvoer verzorgd. Dit lijkt overdreven, vooral in geval van de modellen T2 en T3. Om echter te kunnen voldoen aan de vraagstelling ook getijveranderingen van omringende gebieden te kunnen kwantificeren wordt dit toch zinvol geacht.

Van de resultaten van de eerste 90.000 seconden, de inspeeltijd, wordt geen uitvoer gegeven.

5.2

Omrekening van doodtijresultaten naar gemiddeld tij- en springtijomstandigheden

De uitkomsten van deze getijberekeningen zijn op basis van getijmetingen van 1 t/m 5 september 1975. Volgens de "Getijtafels voor de Nederlandse kust 1975" valt deze periode samen met een periode van doodtij volgend op de maanstand laatste kwartier (30-08-1975 om 00.20 uur). Voor dit doodtij was voorspeld voor Hoek van Holland ten opzichte van N.A.P.:

gemiddeld H.W.	+0,86 m;	
gemiddeld L.W.	-0,65 m;	
gemiddeld tijverschil		1,50 m.

Uit metingen (1-2 september 1975) wordt voor deze waarden gevonden (bijlage A.10):

H.W.	+0,68 m;	
L.W.	-0,71 m;	
tijverschil		1,39 m.

Er is dus sprake van een doodtijperiode. De in deze berekening gevonden waarden (bijlage A.10) zijn:

H.W.	+0,80 m;	
L.W.	-0,71 m;	
tijverschil		1,51 m.

De resultaten van deze berekeningen gelden dus voor een periode van dood tij. Een groter getijverschil zal gepaard gaan met grotere stroomsnelheden. Voor de berekening van zandtransporten is het van belang de stroomsnelheden eveneens te kennen voor omstandigheden als gemiddeld tij en springtij.

Daarom wordt gezocht naar een eenvoudige betrekking die uit de snelheden voor doottijomstandigheden de stroomsnelheden voor andere getijomstandigheden kan bepalen.

Deze betrekking wordt afgeleid met gebruikmaking van de twee basisvergelijkingen: de bewegingsvergelijking (de lange-golfvergelijking) en de continuïteitsvergelijking. Er kan slechts worden gezocht naar een benadering voor deze betrekking. Een juiste voorspelling van de snelheden voor een andere getij-amplitude kan alleen door oplossing van de volledige basisvergelijkingen in een model als TIDES worden verkregen.

De hierna volgende methode is afgeleid door Burger [lit. 7] en aangepast door Bruin [lit. 4].

Aangezien het zandtransport voornamelijk wordt bepaald door de maximale stroomsnelheden wordt uitgegaan van de basisvergelijkingen in de stroomrichting op het moment dat maximale stroming optreedt.

De continuïteitsvergelijking voor ééndimensionale stroming kan worden vereenvoudigd, door aan te nemen dat de diepte D constant is, zodat de vergelijking wordt:

$$\frac{\delta h}{\delta t} + D \frac{\delta u}{\delta x} = 0.$$

Wanneer wordt aangenomen dat bij vergroting van het tijverschil een evenredige vergroting van de h - t -kromme optreedt zonder vervorming en zonder faseverschuiving dan is $\frac{\delta h}{\delta t}$ evenredig met het tijverschil en $\frac{\delta u}{\delta x}$ met $u_{\max}$.

In figuur 5.01 zijn voor Hoek van Holland de getijkrommes voor dood en springtij en voor gemiddeld tij getekend om enig idee te krijgen van de juistheid van deze aanname. De stroomsnelheden zijn maximaal voor de tijdstippen HW -4 à -5 en HW à HW +1. Voor deze tijdstippen, en op deze plaats, blijkt de aanname redelijk goed.

Dus: maximale stroomsnelheid = constante * getijverschil.

Met behulp van dit gegeven kunnen de factoren worden bepaald waarna de snelheden voor dood tij moeten worden vermenigvuldigd om de snelheden bij gemiddeld tij of springtij te berekenen. Daartoe moet het getijverschil bij gemiddeld tij en springtij bekend zijn.

De gemiddelde getijkromme voor Hoek van Holland levert:

gemiddeld H.W.	+1,00 m;	
gemiddeld L.W.	-0,71 m;	
gemiddeld getijverschil		1,71 m.

En voor springtij (uit getijtafel 1975):

gemiddeld H.W.	+1,26 m;	
gemiddeld L.W.	-0,89 m;	
gemiddeld getijverschil		2,14 m.

De factoren zijn dan:

$$v_{\text{gem. tij}} = \frac{1,71}{1,51} \quad v_{\text{dood tij}} = 1,1 \quad v_{\text{dood tij}}$$

$$v_{\text{springtij}} = \frac{2,14}{1,51} \quad v_{\text{dood tij}} = 1,4 \quad v_{\text{dood tij}}$$

Uitgaande van de bewegingsvergelijking wordt een ander resultaat bereikt voor deze factoren. De afleiding daarvan is als volgt.

Wanneer we de bewegingsvergelijking in de stroomrichting, bijvoorbeeld de x-as, beschouwen en weer een tijdstip kiezen waarop de stroomsnelheden maximaal zijn kan deze vergelijking worden geschreven als:

$$u \frac{\delta u}{\delta x} + g \frac{\delta h}{\delta x} + g \frac{u|u|}{C \cdot D} = 0.$$

De stroomrichting is langs de x-as genomen, dus $v = 0$ en dientengevolge zijn ook de termen $v \frac{\delta u}{\delta y}$ en $\Omega \cdot v$ gelijk nul.

Aangezien een tijdstip is gekozen waarop de snelheden maximaal zijn kan de traagheidsterm $\frac{\delta u}{\delta t}$ gelijk nul gesteld worden.

De invloed van de convectieve term $u \frac{\delta u}{\delta x}$ is relatief gezien gering ten opzichte van de weerstand.

Dit blijkt uit de vergelijking van de invloed van de termen van de bewegingsvergelijking voor dieper water (zie § 5.3).

Dan wordt de bewegingsvergelijking simpel:

$$\frac{\delta h}{\delta x} + \frac{u|u|}{C^2 \cdot D} = 0.$$

Het getijverval over een bepaalde afstand Δx kan dus geschreven worden als:

$$h_1 - h_2 = \frac{u|u|}{C^2 \cdot D} \cdot \Delta x$$

waarbij h_1 de waterstand ter plaatse van x_1 en h_2 de waterstand ter plaatse van $x_2 = x_1 + \Delta x$ voorstelt.

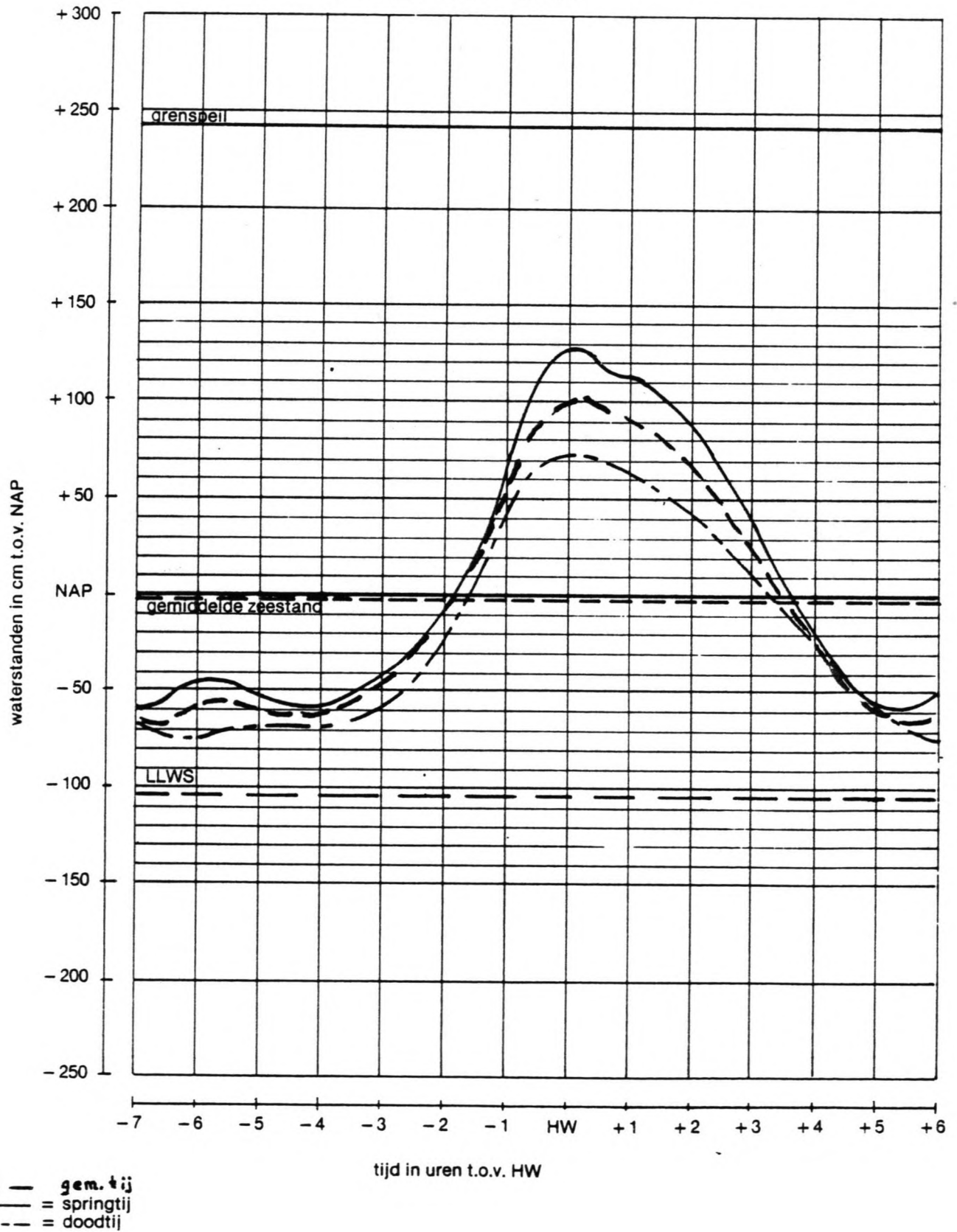
Ook nu nemen we aan dat bij vergroting van het getijverval een evenredige vergroting van de h-t-krommen optreedt. De waarde voor Δh is dan evenredig met het tijverschil. En dus is ook de waarde $u|u|$ evenredig met het tijverschil.

Dus: maximale stroomsnelheid = constante * getijverschil.

Figuur 5.01: getijkrommes voor Hoek van Holland

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM
Ingenieursbureau Havenwerken

bovenrijnafvoer 2000-2400 m³/s



De factoren zijn dus nu:

$$v_{\text{gem. tij}} = \sqrt{1,71/1,51} \cdot v_{\text{dood tij}} = 1,1 \cdot v_{\text{dood tij}}.$$

$$v_{\text{springtij}} = \sqrt{2,14/1,51} \cdot v_{\text{dood tij}} = 1,2 \cdot v_{\text{dood tij}}.$$

Een keuze voor één der methoden om de factor te bepalen is niet mogelijk zonder voor ieder punt de aannamen te controleren en in te schatten. Vooral de plaats en de diepte zijn zeer bepalend voor de waarde van de factor tussen de verschillende getij-amplitudes.

Daarom wordt gekozen voor de middenwaarde tussen de beide verkregen factoren:

$$v_{\text{gem. tij}} = \frac{1,1 + 1,2}{2} \cdot v_{\text{dood tij}} = 1,15 \cdot v_{\text{dood tij}}.$$

$$v_{\text{springtij}} = \frac{1,4 + 1,2}{2} \cdot v_{\text{dood tij}} = 1,3 \cdot v_{\text{dood tij}}.$$

Op dezelfde wijze kunnen de factoren op andere plaatsen worden bepaald. Voorwaarde is echter dat de getijverschillen bekend moeten zijn (naast stroomsnelheden behorend bij een getijsituatie met een bepaald, bekend, tijverschil).

Juist daar waar de stroomsnelheden absoluut bekend moeten zijn vanwege de te verrichten zandtransportberekeningen, namelijk ter plekke van de slufter zijn getijverschillen niet bekend.

Wel zijn ter plekke van de Haringvlietdam (Haringvliet-Buiten) de gegevens voorhanden om de factoren te berekenen.

De getijverschillen zijn hieronder opgetekend.

Voor gemiddeld dood tij (gegevens Hellevoetsluis):

gemiddeld H.W.	+1,00 m;	
gemiddeld L.W.	-0,80 m;	
gemiddeld getijverschil		1,80 m.

De in de berekening gevonden waarden zijn:

H.W.	+0,77 m;	
L.W.	-0,72 m;	
getijverschil		1,49 m.

Voor gemiddeld tij zijn aldaar de volgende waarden gemeten (gegevens Hellevoetsluis):

gemiddeld H.W.	+1,50 m;	
gemiddeld L.W.	-0,81 m;	
gemiddeld getijverschil		2,30 m.

En tenslotte voor springtij:

gemiddeld H.W.	+2,20 m;	
gemiddeld L.W.	-1,00 m;	
gemiddeld getijverschil		3,20 m.

De factoren zijn dan te berekenen. De uitkomst wordt direct gegeven:

$$v_{\text{gem. getij}} = 1,4 * v_{\text{dood tij.}}$$

$$v_{\text{springtij}} = 1,8 * v_{\text{dood tij.}}$$

Uit deze gegevens is, met het betrachten van de nodige voorzichtigheid, een aanname te doen voor de factoren nabij de slufterdam. Daar is voor de berekening met dood tij gevonden: gemiddeld getijverschil slufterdam = $\pm 1,49$ m.

Dit lijkt dus in dezelfde orde als voor Hoek van Holland en voor Haringvliet-Buiten is gevonden. Een voor de hand liggende benadering is dan voor de slufterloswaldam het gemiddelde van beide factoren te hanteren. Deze zijn:

$$v_{\text{gem. getij}} = 1,3 * v_{\text{dood tij.}}$$

$$v_{\text{springtij}} = 1,6 * v_{\text{dood tij.}}$$

In onderstaande tabel worden de gevonden factoren nog eens op een rijtje gezet.

Factor voor plaats	gemiddeld tij	springtij
Hoek van Holland	1,1	1,3
Omgeving slufterloswal	1,3	1,6
Haringvliet - buiten	1,4	1,8

Tabel: Factoren waarmee de stroomsnelheden optredend bij dood tij moeten worden vermenigvuldigd voor situatie van gemiddeld tij of springtij.

5.3

Invloed van de termen van de differentiaalvergelijkingen

De invloed van de verschillende termen van de bewegingsvergelijkingen en de continuïteitsvergelijking is door Burger [lit. 7] onderzocht. Hij koos daartoe twee punten. Een punt in volle zee met over een aanzienlijk gebied een gelijkmatig bodemprofiel met een diepte van ca. 22 m. De stroomlijnen zijn daar ter plaatse nagenoeg recht. Het andere punt daarentegen is gekozen ter plaatse van licht gekromde stroomlijnen op een diepte van ca. 16 m. De kromming van de stroomlijnen wordt veroorzaakt door de invloed van de golfbreker die op ca. 3 km afstand ligt.

De bewuste termen zijn door Burger bepaald door uitvoer te verzorgen om het halve uur voor h, u en u uit een Tides-berekening over een periode van 12 uur.

Het verloop in de tijd van h , u en v en de termen van de bewegings- en continuïteitsvergelijkingen zijn door Burger geschetst. Alleen de conclusies ten aanzien van de invloed van de afzonderlijke termen worden hieronder weergegeven. Daarbij worden de termen met elkaar vergeleken door ze uit te drukken als percentage van de tijdsafgeleide van de snelheid.

Deze conclusies zijn letterlijk overgenomen uit het rapport van Bruin (lit.4)

Punt T₀-(7,24) - rechte stroomlijnen.

Bewegingsvergelijking in y-richting ; N.O.→Z.W.; ≈ stroomrichting:

1. $\frac{\partial v}{\partial t}$ invloed belangrijk; door de keuze van het assenstelsel is $v > u$, maar met eenzelfde periodieke verloop, dus $\frac{\partial v}{\partial t} > \frac{\partial u}{\partial t}$ (ca. factor 2).
2. $u \frac{\partial v}{\partial x}$ zeer geringe invloed; ca. 2 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$; door combinatie van zeer kleine $\frac{\partial v}{\partial x}$ met vrij kleine u .
3. $v \frac{\partial v}{\partial y}$ invloed relatief klein, ca. 11 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
4. $-\Omega u$ doordat u veel kleiner is dan v , is de Coriolistterm hier minder groot dan voor de bewegingsvergelijking in x-richting; invloed toch nog aanzienlijk, ca. 30 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
5. $g \frac{\partial h}{\partial y}$ door de grotere snelheid in de y-richting is het verval hier ook groter dan in de x-richting; de term heeft een overheersende invloed op de bewegingsvergelijking; ca. 128 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
6. $f \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{D}$ ca. 64 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$; toch nog vrij belangrijke invloed door grootte van v .

Bewegingsvergelijking in x-richting ; N.W.→Z.O.:

1. $\frac{\partial u}{\partial t}$ invloed belangrijk; ca. 47 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
2. $u \frac{\partial u}{\partial x}$ invloed erg klein; stroomlijnen nagenoeg recht, dus $\frac{\partial u}{\partial x}$ erg klein; ca. 2 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
3. $v \frac{\partial u}{\partial y}$ relatief kleine invloed, ca. 10 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$; gevolg van kleine $\frac{\partial u}{\partial y}$.
4. Ωv de Coriolistterm speelt een belangrijke rol in de bewegingsvergelijking; ca. 174 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
5. $g \frac{\partial h}{\partial x}$ belangrijkste term in de bewegingsvergelijking, ca. 242 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$; de functie heeft een regelmatig verloop.
6. $f \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{D}$ de invloed van de weerstandsterm is niet groot, ca. 35 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$; dit is een gevolg van de, t.o.v. de golfhoogte, grote diepte van 22 m en de vrij kleine u .

Samenvattend kan worden geconcludeerd, dat behalve de termen 1. en 5. van de

bewegingsvergelijkingen, de termen 4. en 6. toch ook een vrij bepalende rol spelen. De zogenaamde convectieve termen 2. en 3. zijn, zoals te verwachten bij een min of meer rechtlijnig stroombeeld, relatief onbelangrijk voor de beschrijving van de waterbeweging.

Continuïteitsvergelijking

Bij de continuïteitsvergelijking kunnen de volgende opmerkingen geplaatst worden.

Geen der termen kan bij deze keuze van het assenstelsel worden verwaarloosd. De extreme waarden van de termen worden vergeleken en uitgedrukt in percentages van de grootste, n.l. $D \frac{\partial v}{\partial y}$.

1. $\frac{\partial h}{\partial t}$ ca. 32 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$.
2. $D \frac{\partial u}{\partial x}$ ca. 28 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$; verloop van $D \frac{\partial u}{\partial x}$ is vrijwel gelijkvormig met $\frac{\partial u}{\partial x}$, doordat $D (=h-z_0)$ slechts weinig fluctueert in de tijd.
3. $u \frac{\partial D}{\partial x} = u \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right)$; ca. 34 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$; de verandering van de bodemligging in x-richting $\frac{\partial z_0}{\partial x}$ is constant in de tijd; de verandering van de waterhoogte in de x-richting $\frac{\partial h}{\partial x}$ heeft hier altijd een waarde die klein is t.o.v. $\frac{\partial z_0}{\partial x}$; dus $\frac{\partial D}{\partial x}$ is vrijwel constant in de tijd; dit verklaart dat de kromme van $u \frac{\partial D}{\partial x}$ vrijwel gelijkvormig is met die van u .
4. $D \frac{\partial v}{\partial y}$ verloopt vrijwel gelijkvormig met $\frac{\partial v}{\partial y}$; dit is de term met de grootste extreme waarde.
5. $v \frac{\partial D}{\partial y}$ ca. 62 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$; omdat $\frac{\partial D}{\partial y}$ hier een vrijwel constante negatieve waarde heeft, is het verloop van $v \frac{\partial D}{\partial y}$ gelijkvormig aan de negatieve v-kromme.

Punt $T_1-(15,22)$ - gekromde stroomlijnen.

Voor punt $T_1-(15,22)$ met geringere diepte (16 m) en gekromde stroomlijnen valt waar te nemen, dat de convectieve termen $v \frac{\partial u}{\partial y}$ en $u \frac{\partial v}{\partial x}$, aanzienlijk groter zijn dan bij punt $T_0-(7,24)$.

De extreme waarden van de afzonderlijke termen uit de differentiaalvergelijkingen worden weer met elkaar vergeleken.

Bewegingsvergelijking in y-richting ; N.O.→Z.W.:

1. $\frac{\partial v}{\partial t}$ invloed belangrijk; ook hier $v > u$, dus $\frac{\partial v}{\partial t} > \frac{\partial u}{\partial t}$ (ca. factor 1,7).
2. $u \frac{\partial v}{\partial x}$ ca. 27 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
3. $v \frac{\partial v}{\partial y}$ ca. 9 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
4. $-\Omega u$ ca. 40 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
5. $g \frac{\partial h}{\partial y}$ ca. 137 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
6. $f \frac{v\sqrt{v^2+u^2}}{D}$ ca. 58 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.

Bewegingsvergelijking in x-richting ; N.W.→Z.O.:

1. $\frac{\partial u}{\partial t}$ invloed belangrijk; ca. 60 % van $\frac{\partial v}{\partial t}$.
2. $u \frac{\partial u}{\partial x}$ ca. 4 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
3. $v \frac{\partial u}{\partial y}$ ca. 30 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
4. Ωv ca. 113 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
5. $g \frac{\partial h}{\partial x}$ ca. 363 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.
6. $f \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{D}$ ca. 48 % van $\frac{\partial u}{\partial t}$.

Continuïteitsvergelijking

De extreme waarden van de termen worden vergeleken en uitgedrukt in percentages van de grootste, n.l. $D \frac{\partial v}{\partial y}$.

1. $\frac{\partial h}{\partial t}$ ca. 60 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$.
2. $D \frac{\partial u}{\partial x}$ ca. 64 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$.
3. $u \frac{\partial D}{\partial x}$ ca. 69 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$.
4. $D \frac{\partial v}{\partial y}$ grootste term.
5. $v \frac{\partial D}{\partial y}$ ca. 23 % van $D \frac{\partial v}{\partial y}$.

Bij dit stroombeeld met gekromde stroomlijnen hebben inderdaad de convectieve termen $v \frac{\partial u}{\partial y}$ en $u \frac{\partial v}{\partial x}$ uit de bewegingsvergelijkingen een aanzienlijke invloed en kunnen dus zeker niet verwaarloosd worden.

5.4

De resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn zoals beschreven beschikbaar als printuitvoer en bovendien zijn de snelheden door middel van plotjes aanschouwbaar gemaakt.

Het voert echter te ver de resultaten van alle modellen in beide uitvoermogelijkheden op te nemen. Aan de hand van het in hoofdstuk 1 gestelde doel van de getijberekeningen wordt volstaan met een slechts klein gedeelte van de beschikbare resultaten. De overige resultaten zijn toegevoegd aan het archief van de afdeling Ingenieursbureau Havenwerken (Studiebureau) van Gemeentewerken Rotterdam.

- . Gezien het belang van het verkrijgen van inzicht in hoeverre de aanleg van een slufterdamproject het getij beïnvloedt moet een indruk van het algemene stroombeeld voorhanden zijn. Daarom worden de plots toegevoegd van het T4-model. Daar waar de getijsituatie op essentiële plaatsen wordt beïnvloed moet de mate van beïnvloeding af te schatten zijn. Daar waar blijkt dat op essentiële plaatsen het getij niet verandert moet dat onomstotelijk worden vastgesteld.
- . Om het onderhoud aan de bedijking van het slufterproject te kunnen bepalen zijn de stroomsnelheden langs de dam van groot belang. De resultaten van deze snelheden zijn echter niet in dit verslag opgenomen gezien het buitengewoon groot aantal punten. De grootte van deze snelheden zijn vermeld in "Morfologische aspecten van het slufterdamproject" [lit. 10]. Wel wordt een indruk gegeven van het snelheidsverloop.

In onderstaande tabel zijn de opgenomen resultaten gerangschikt.

bijlagen

* Overzicht stromingspatronen geheel tij per uur weergegeven van $t = 100.800 \text{ sec}$ tot $t = 151.200 \text{ sec}$.	5.01 t/m 5.13
* Overzicht getijstroomsnelheden in zgn. Sluftergebied, voor huidige situatie 2 en voor varianten A en B	5.14 t/m 5.16
* Overzicht verandering in stroomsnelheden bij aanleg variant A of B voor:	
- Groene Punt van Voorne	5.17
- Gat van de Hawk/Hindergat	5.18
- Bokkegat	5.19
- Slijkgat	5.20
- Hinderplaat	5.21

5.4.1

Verandering van het stroombeeld in het algemeen

Een vergelijking van het algemene stroombeeld van de huidige situatie én het stroombeeld optredend in geval van één der drie varianten voor de slufterloswal levert de volgende kenmerkende veranderingen op (voor een overzicht van de gebruikte geografische aanduidingen is figuur 5.02 toegevoegd).

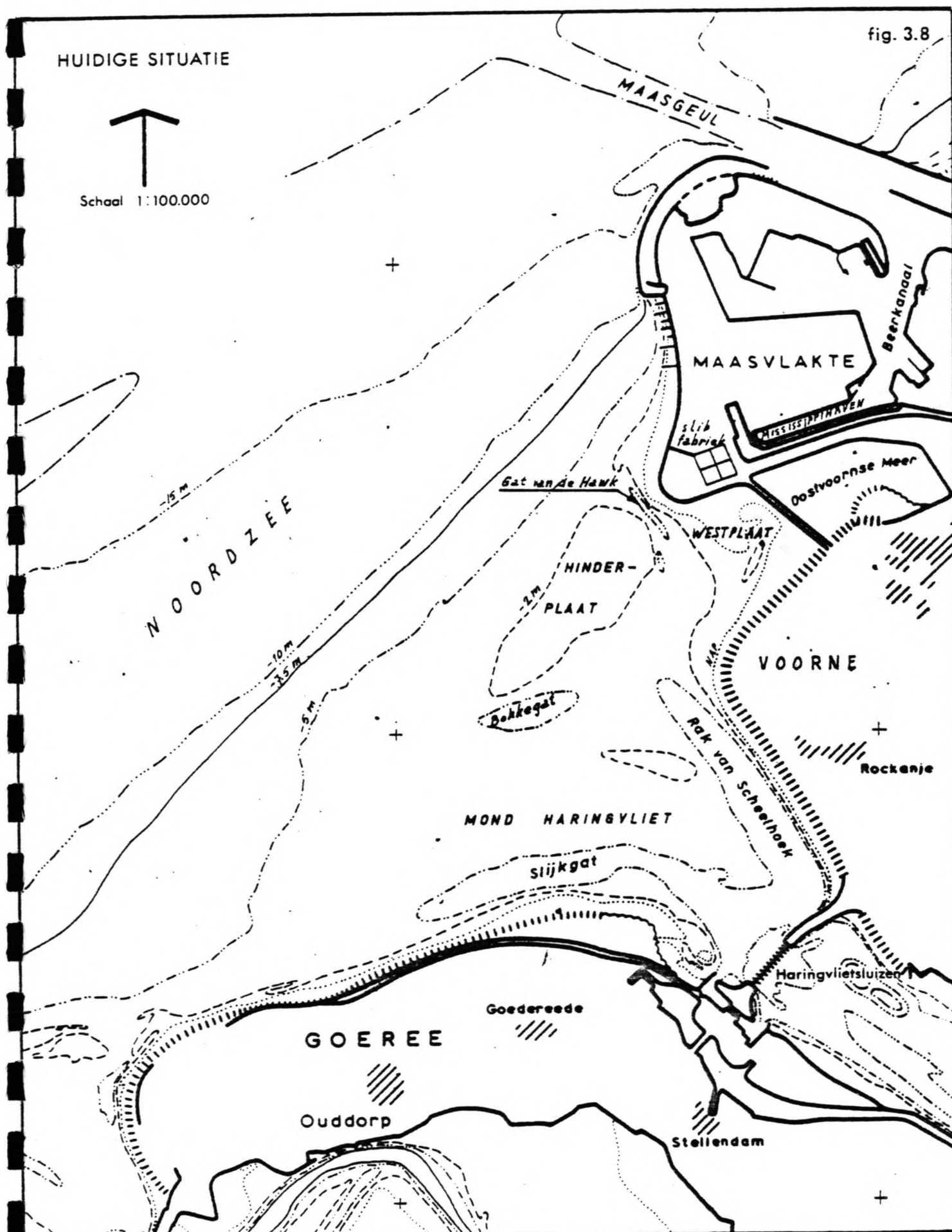
Per uur wordt een kort overzicht gegeven van het stroombeeld in de huidige situatie (aangeduid met -) en vervolgens worden de verschillen aangegeven met een situatie waarin de slufterloswal is opgenomen (aangeduid met .).

Een overzicht van het stroombeeld voor de huidige situatie en voor variant B is gegeven in de bijlagen 5.01 t/m 5.13.

In onderstaand overzicht zijn steeds de geulen gebruikt voor het aangeven van het stroombeeld. Bedacht moet worden dat bij eb de stroming inderdaad voornamelijk door de geulen plaats vindt. Bij vloed daarentegen is er ook sprake van stroming over de platen.

- 93.600 Waterstand Lichteiland Goeree (L.G.): N.A.P. -0,35 m
- Op zee is nu sprake van kentering. Uit de Haringvlietmond is uitstroming. Door alle geulen is er eveneens uitstroming. De stroming over de Hinderplaat, richting zee, is slechts gering. De richting van de stroming is in het gehele gebied westwaarts gericht.
 - . In het sluftergebied is ook uitstroming. Het stroombeeld is verder identiek.
- 97.200 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,65 m
- Stroming op zee komt nu weer op gang en is naar het zuidoosten gericht. Er is nog enige uitstroming uit de Haringvlietmond. Door het Bokkegat en het Slijkgat is sprake van uitstroming, door het Gat van de Hawk niet meer.
 - De stroming in het gehele gebied is iets meer naar het zuidwesten gericht.
 - . In het sluftergebied nog enige uitstroming en dientengevolge ook door het Hindergat nog uitstroming. Stroombeeld verder identiek.
- 100.800 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,70 m
- Door het Gat van de Hawk en ook door het Bokkegat nu instroming, door het Slijkgat uitstroming. Er ontstaat aldus een rondstroming.
 - Over de Hinderplaat is nauwelijks stroming. De stroming is in het algemeen in zuidwestelijke richting.
 - . In het sluftergebied nog nauwelijks stroming. Over het restant van de Hinderplaat enige stroming naar binnen (oostelijke richting). Verder is stroombeeld identiek.
- 104.400 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,65 m
- Het beeld is sterk gelijkend op dat van het voorafgaande uur. Stroming in de Haringvlietmond is nihil. De stroming op zee is sterk.
 - . Nu ook weinig stroming over het restant Hinderplaat. Stroombeeld is nagenoeg identiek.

- 108.000 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,60 m
- Ook dit beeld lijkt sterk op dat van de voorgaande twee uren.
 - . Identiek stroombeeld.
- 111.600 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,45 m
- Nog steeds instroming door het Gat van de Hawk en het Bokkegat. De rondgaande stroming is echter niet meer aanwezig. De stroming in het Slijkgat is nihil, evenals trouwens in de Haringvlietmond.
 - . Stroombeeld is identiek aan dat van huidige situatie.
- 115.200 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,25 m
- Stroming op zee neemt nu in sterkte af. De richting is bijna zuid. Door het Slijkgat is nu ook instroming, het mondingsgebied gaat opgevuld worden.
 - . Het nieuw ontstane sluftegebied wordt ook opgevuld, de snelheden door het Hindergat zijn dan ook in deze fase van het getij iets groter dan in het Gat van de Hawk, vooral in geval van variant B. De stroming over de Hinderplaat is nu, hoewel nog gering in grootte, iets sterker.
- 118.800 Waterstand L.G.: N.A.P. +0,20 m
- Op zee heeft een kentering plaatsgevonden; de stroming is nu in noordoostelijke richting. De instroming door het Slijkgat is nu sterk, de instroming door het Gat van de Hawk neemt af. Het gehele komoppervlak wordt opgevuld, dus zowel het mondingsgebied als het vroegere mondingsgebied van de Brielse Maas.
 - . De stroming door het Hindergat is nog sterk omdat het sluftegebied opgevuld moet worden. Verder hetzelfde stroombeeld.
- 122.400 Waterstand L.G.: N.A.P. +0,55 m
- Stroming op zee neemt toe. In het Gat van de Hawk is de ingaande stroming geheel gestopt en het water zal nu naar buiten gaan stromen. Er ontstaat nu wederom een rondgaande stroming: door het Slijkgat en het Bokkegat ingaande stroming, via mondingsgebied weer door het Gat van de Hawk uitgaande stroming. De instroming is echter nog sterker dan de uitstroming: er is nog steeds komopvulling.
 - . Door het Hindergat nog geringe instroming ten bate van opvulling van het sluftegebied. Van rondstroming is dan ook nog net geen sprake.
- 126.000 Waterstand L.G.: N.A.P. +0,70 m
- Forse stroomsnelheden op zee. De rondstroming is nu sterker. De instroming door het Slijkgat neemt echter af terwijl de uitstroming door het Gat van de Hawk beduidend toeneemt. Er is nu sprake van geringe komlediging. Door het Bokkegat is geen instroming meer.
 - . Het sluftegebied is opgevuld: door het Hindergat nu ook uitstroming met vergelijkbare snelheden als in huidige situatie. Verder is het stroombeeld identiek.



- 129.600 Waterstand L.G: N.A.P. +0,60 m
- Nu behoorlijke uitstroming door alle geulen en ook over de Hinderplaat, behalve door het Slijkgat waar de stroming nihil is. De stroming door het Gat van de Hawk is nu zeer sterk.
 - . Ook in deze situatie in bijna het gehele gebied uitstroming. In het Slijkgat is instroming ook gestopt: de stroomsnelheden zijn nihil. De stroming door het Hindergat is nog steeds sterker dan door het Gat van de Hawk. De stroming in het mondingsgebied (en bij variant B ook in het Hindergat) is wat meer naar het westen gericht, voornamelijk omdat er ook uit sluftegebied nu veel water stroomt.
- 133.200 Waterstand L.G.: N.A.P. +0,20 m
- Identiek beeld als in voorgaande uur met dien verstande dat er nu ook uitstroming door het Slijkgat plaatsvindt. Stroming op zee neemt in sterkte af.
 - . identiek beeld als in voorgaande uur
- 136.800 Waterstand L.G.: N.A.P. -0,30 m
- Kentering op zee. Beeld identiek aan dat van het eerste uur: 93.600 seconden.
 - . identiek beeld als in voorgaande uur

5.4.2 Veranderingen per deelgebied

. Het sluftegebied

In dit gebied zijn voornamelijk de grootte van de maximale snelheden van belang vanwege het gedrag van slib in dit gebied. In de bijlagen 5.14 t/m 5.16 zijn de maximale eb- en vloedstroomsnelheden voor gemiddelde stroomcondities weergegeven voor zowel de huidige situatie (variant 0) als voor de varianten A en B. Er zijn geen grote verschillen in maximale snelheid tussen opkomend en afgaand tij waarneembaar. Daarbij moet echter worden aangekend dat bij afgaand tij de grote stroomsnelheden zich concentreren in de geulen, wat in de toegepaste getijberekening als gevolg van de gevolgde rekenprocedure in mindere mate tot uitdrukking komt. De stroomsnelheden in de geulen kunnen bij afgaand tij dus iets groter zijn.

. De kust van Voorne

Het noordelijk gedeelte van deze kust, van de Groene Punt tot aan de Oostvoornse dam, zal in geval van aanleg van het slibdepot, minder worden aangevallen door stroom. Uit de stroomrozen voor de Groene Punt (waar de kust op dit moment achteruit gaat) blijkt vooral bij opkomend tij (stroming naar het noorden gericht) een behoorlijke vermindering van de stroomsnelheden: bijlage 5.17.

Voor het kustgedeelte ten zuiden van de Groene Punt zijn de veranderingen in het stroombeeld niet meetbaar.

. De kust van Goeree

Het stroombeeld verandert niet of nauwelijks ten gevolge van de aanleg van een slufferloswal.

. De geulen in het mondingsgebied van het Haringvliet

De functie van het Gat van de Hawk, een kortsluitgeul, in het hydraulisch systeem van het gebied moet grotendeels worden overgenomen door het nieuwe Hindergat. Voor het Hindergat is uitgegaan van een even groot doorstromingsprofiel.

In bijlage 5.18 blijkt dat de stroomsnelheden in het Gat van de Hawk en in het Hindergat in dezelfde orde van grootte zijn. Wel moet worden bedacht dat de weergave van de geulen in de modellen slechts schematisch is, vooral als gevolg van de grootte van de maaswijdte (400 m).

Het Rak van Scheelhoek zal in geval van aanleg van één der varianten als gevolg van een verminderde rondstroming minder grote stroomsnelheden te zien geven.

De stroomsnelheden in het Bokkegat blijken volgens de berekeningen niet ingrijpend te wijzigen. Bijlage 5.19 geeft de stroomrozen voor deze geul weer voor de huidige en de gewijzigde situatie.

Hetzelfde geldt voor het Slijkgat, zoals de stroomrozen (bijlage 5.20) laten zien.

. De Hinderplaat

Het stroombeeld over de Hinderplaat is goed zichtbaar in bijlagen 5.01 tot 5.13. Voor één punt op de plaat zijn ook de stroomrozen uitgezet in bijlage 5.21.

De grootte van de stroomsnelheden liggen in dezelfde orde van grootte.

. De kust ten noorden van de Zuiderdam

Vooraf nabij de toegangsgeul van het Rotterdamse havengebied moet komen vast te staan in hoeverre en in welke mate de aanleg van een loswal het stromingspatroon beïnvloedt. Sterke dwarsstroming is voor binnenkomende schepen hinderlijk, evenals aanzanding van de toegangsgeul.

Uit de getijberekeningen blijkt niet dat het stroombeeld ten noorden van de Zuiderdam zich zal wijzigen.

5.5

Conclusies ten aanzien van de invloed van het speciedepot op het getij

De getijbeweging wordt, indien wordt overgegaan tot de aanleg van één der varianten, slechts plaatselijk in het mondingsgebied verstoord. De invloed van de aanleg van één der varianten op het stroombeeld is ten noorden van de toegangsgeul tot het Rotterdams havengebied en ten zuiden van de kop van Goeree naar het zich laat aanzien niet meer merkbaar.

In het mondingsgebied veranderd het stroombeeld belangrijk.
De opmerkelijkste conclusies zijn:

- . de rondstroming, zoals die in de huidige situatie optreedt - bij vloed van Slijkgat via Rak van Scheelhoek en door Gat van de Hawk naar zee, en bij eb langs identieke weg maar in tegen-gestelde richting - treedt ook op bij aanleg van één van de varianten. De stroomsnelheden zullen echter iets kleiner zijn. Bovendien is het gebied waarover rondstroming plaats vindt kleiner. Vooral bij eb is de rondstroming beduidend minder van belang. Het gevolg is dat de stroming langs de kust van Voorne en door het Rak van Scheelhoek aanzienlijk in sterkte afneemt;
- . de rol van het Gat van de Hawk als kortsluitgeul wordt overgenomen bij een aangelegd slibdepot door het aan te leggen Hindergat. Het laat zich aanzien dat de stroomsnelheden door de nieuwe geul in dezelfde orde van grootte zullen zijn als nu zijn waar te nemen in het Gat van de Hawk.

5.6

De betrouwbaarheid van de resultaten

Om de betrouwbaarheid van de berekeningen te toetsen is alleen voor het T1-model een serie meetgegevens voorhanden. De vergelijking van de uitkomsten van het T1-model en deze meetgegevens is al in hoofdstuk 3 aan de orde geweest. Daar bleek dat de berekende grootheden in het T1-model een goede overeenkomst vertoonden met de gemeten waarde voor deze grootheden.

Hoewel bleek dat de berekende snelheden iets groter (tot ca. 10%) waren dan de gemeten snelheden, kan het T1-model als goed betrouwbaar worden gekwantificeerd.

Aangezien de overige modellen T2, T3 en T4 van dit model zijn afgeleid, mag worden verwacht dat ook deze modellen een aanvaardbare graad van betrouwbaarheid bezitten.

Het is niet juist te veronderstellen dat deze modellen een veel grotere betrouwbaarheid bezitten. De randvoorwaarden en bodemwrijving blijven immers ongewijzigd. Wel kunnen de bodemschematisatie en schematisatie van de kustlijn en de dammen worden verbeterd.

De waarde van de ingeneste modellen ligt echter vooral in het feit dat de grootheden meer in detail kunnen worden gegeven.

Zoals al door anderen gesignaleerd ([lit. 7, 9]) is de betrouwbaarheid nabij de randen van de modellen niet groot. Ook blijkt bij een meer ingewikkeld stroombeeld de nauwkeurigheid af te nemen, zoals blijkt bij de uitkomsten van het langgerekte kombergingsgebied in model T3, waar het snelheidspatroon nogal grillig verloopt.

5.7

Nabeschouwing

5.7.1

De waarde van het onderzoek

De waarde van het onderzoek is tweeledig. Het heeft de gewenste randvoorwaarden voor een zandtransportberekening ten bate van de zandbalans van de kust van de slufterloswal opgeleverd. Bovendien heeft het onderzoek de nodige kennis opgeleverd over hoe het stroombeeld wijzigt bij aanleg van een slufterloswal.

Voor wat het eerste betreft kan worden geconcludeerd dat een verdere verfijning van de berekeningen alleen zinvol zou zijn voor de voorspelling van de snelheden in de geul. De in dit onderzoek tot stand gekomen resultaten zijn daar nog te weinig gedetailleerd.

Voor de overige kustlijn zijn de resultaten nauwkeurig genoeg.

Wel moet daarbij rekening worden gehouden met de onzekerheid betreffende de grootte van de factor waarmee de voor doortijomstandigheden berekende resultaten moeten worden vermenigvuldigd (zie paragraaf 5.2) voor andere getijomstandigheden. De snelheden voor gemiddelde getijomstandigheden zijn dus slechts binnen zekere grenzen (± 20 à 30%) betrouwbaar.

De waarde van de voorspelling van het toekomstige stroombeeld, het tweede doel hier gesteld, is groot. Hoewel de vraag kan worden gesteld in hoeverre de verarming, die optreedt door een in werkelijkheid optredend driedimensionaal stroombeeld "plat te slaan" in een tweedimensionaal beeld, de voorspelling van een toekomstig stroombeeld geweld aandoet. Het verschijnsel zoet-zoutgelaagdheid komt in ieder geval niet tot uiting in dit onderzoek. Maar een verkleining van de maaswijdte lijkt niet dringend gewenst, behalve wanneer ook de grootte van de veranderingen moet worden gekwantificeerd.

Uit het onderzoek naar de realisatie van een goede weergave van de Maasmond in het model (weergegeven in de bijgevoegde appendix) kan worden geconcludeerd dat opdringing van een snelheidsvoorwaarde, zoals door Bruin [lit. 4] is gehanteerd vooralsnog de beste resultaten oplevert. Invoering van een kombergingsgebied, meer of minder geschematiseerd volgens de werkelijkheid, levert een goede weergave van de waterstanden en de snelheden in en voor de Maasmond. Alleen de optredende faseverschillen van ongeveer één à twee uren tussen de snelheidskromme met de in werkelijkheid optredende kromme zijn hinderlijk.

5.7.2

Aanbevelingen

Aanbevelingen voor nader onderzoek

- Overwogen kan worden de maaswijdte nog te verkleinen tot 200 meter. Vooral het stroombeeld in de geulen kan dan beter worden beoordeeld.

- Ook lijkt het zinvol eenzelfde model eens te testen voor een andere getijsituatie, bijvoorbeeld gemiddeld tij of hoog tij, om de in § 5.2 gevonden factoren voor omrekening te toetsen. Ook zouden dan de uitkomsten van het model moeten worden getoetst aan een meting.
- De schematisatie van de Maasvlakte kan worden verbeterd door ook deze als loodrechte wand te beschouwen in plaats van als een steile kust te benaderen.
- Een situatie waarbij een extreem hoge afvoer door de Haringvliet-sluizen voorkomt, leidt wellicht tot nuttige informatie over de stroomsnelheden in het Hindergat.
- Wellicht is het noodzakelijk te onderzoeken in hoeverre het gebruik van waterstanden als randvoorwaarden bij de meer verfijnde modellen (400 m-modellen) de beste resultaten oplevert. Bij kleinere modellen bestaat de mogelijkheid dat de tegenover elkaar liggende randen elkaar beïnvloeden, waardoor het stroombeeld niet meer geheel juist wordt weergegeven. Misschien moet dan worden overgegaan op snelheidsvoorwaarden op de randen evenwijdig aan de x-as, aangezien de snelheden in y-richting overheersend zijn. Met de waterstandsvoorwaarde op de y-as wordt dan het waterniveau geregeld.
- De schematisatie van het stroombeeld in de Maasmond met een methode zoals door Bruin is toegepast verdient de voorkeur, wanneer blijkt dat ook de waterstanden nabij de Maasmond goed worden gesimuleerd.

Aanbevelingen voor het gebruik van het programma Tides

Aangezien op dit moment wordt gewerkt aan een geheel vernieuwde versie van het getijmodel Tides is het onnodig aanbevelingen te doen die toch al in de nieuwe versie zijn verwerkt, of die niet meer ter zake doende zijn.

De volgende opmerkingen (ook al eerder in dit rapport geplaatst daar waar ter zake doende) kunnen echter nog van belang zijn:

- optimaliseren van de tijdstap kan veel rekentijd besparen. Schat voor alle modellen, zowel voor het basismodel als voor de afgeleide modellen, welke tijdstap (in relatie tot de maaswijdte en -diepte) moet worden gebruikt! En bepaal vervolgens een optimale keuze van de toe te passen tijdstappen in basis en afgeleide modellen;
- wanneer een model naar verwachting een wat meer ingewikkeld stroombeeld te zien zal geven (sterk gekromde stroomlijnen) is het aan te bevelen zowel maaswijdte als tijdstap niet te groot te kiezen. Een waarde voor de factor $c \cdot \Delta t / \Delta L$ van ongeveer 10, zoals in de handleiding van Booijs [lit. 3] wordt aanbevolen, is in die gevallen al af te raden.

Appendix A.: Invoering van de Maasmond in de modellen
=====

- A.1 Mogelijke methoden voor invoering van de Maasmond
- A.2 De kombergingsbeschouwing
- A.3 Invoering Maasmond in het T1-model door middel van komberging
- A.4 Controle op aanname komberging
- A.5 Toetsing van de uitkomsten van de 1.600 m modellen (T0 en T1)
- A.6 Invloed randvoorwaarde op het model
- A.7 Invoering van Maasmond in T3-model door middel van komberging
- A.8 De toetsing van de uitkomsten van het T3-model
- A.9 Vergelijking van het stroombeeld van de Maasmond in het
T1- en het T3-model
- A.10 *Conclusies*

A.1 Mogelijke methoden voor de invoering van de Maasmond

Binnen het programma Tides zijn meerdere methodes beschikbaar om de invloed van de Maasmond tot zijn recht te doen komen.

De volgende mogelijkheden komen in aanmerking:

- invoeren van een randvoorwaarde voor de snelheid;
- invoeren van een randvoorwaarde voor de waterstand;
- genereren van een juist stromingsbeeld door middel van het schematiseren van het achterliggend gebied als een kombergingsgebied.

Deze mogelijkheden worden, naast het model Burger waarin de Maasmond als afgesloten wordt beschouwd, in het navolgende besproken.

A.1.1 Model Burger, T0

In dit model is een sterk vereenvoudigde weergave gemaakt door de Maasmond nabij de splitsingsdam als afgesloten te beschouwen. Er is geen rekening gehouden met de bovenafvoer. Het model T0 is getekend in figuur 3.02.

A.1.2 Invoeren van een randvoorwaarde voor de snelheid

Het programma Tides kent een drietal mogelijkheden voor het opdringen van een snelheidsvoorwaarde:

- opdringen van een in de tijd constante snelheid;
- opleggen van een snelheid per roosterpunt en per tijdstip door middel van afzonderlijk invoeren per dataset;
- inbrengen van een periodiek snelheidsverloop.

Gezien de periodiciteit van het stroombeeld ligt de laatste mogelijkheid het meest voor de hand.

Bruin [lit. 4] heeft deze methode gevolgd ten bate van zijn model dat ten doel had het getij te voorspellen bij aanleg van een slibbergingslocatie ten noorden van de Noorderdam.

Gemeten waarden voor debieten in de Nieuwe Waterweg bij gemiddeld tij in combinatie met een kombergingsbeschouwing voor het Euro-poortgebied bij maximaal verhang levert een snelheidsverdeling in de tijd. De bovenafvoer in zijn berekening bedraagt 1.350 (m³/sec.)

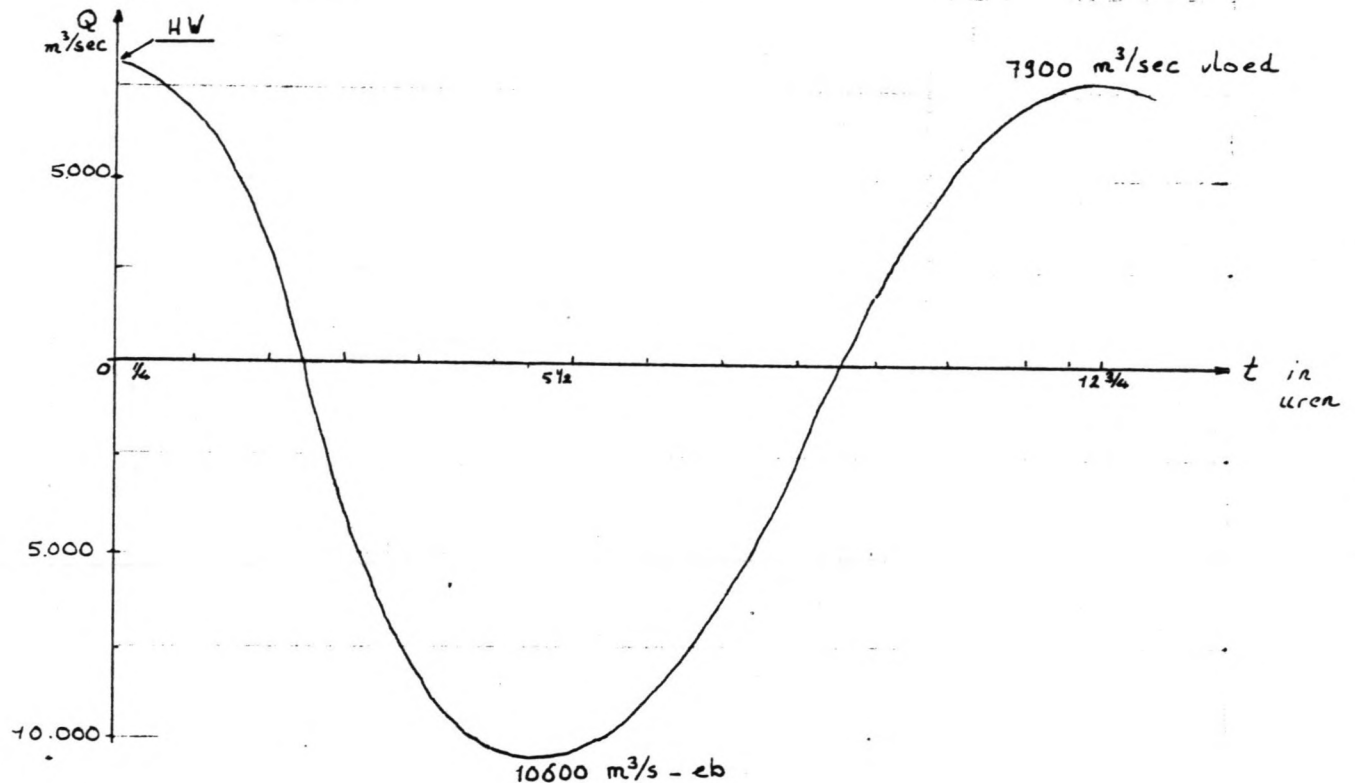
Figuur A.01 geeft het verloop van het debiet, zoals dat wordt ingevoerd in het model Bruin, weer. De ingevoerde snelheid is:

$$v_n(t) = -0,0844 + 0,2978 \cos \omega t - 0,4956 \sin \omega t \quad (\text{m/sec}).$$

De bovenstaande methode biedt het voordeel dat het in de werkelijkheid optredende debiet exact kan worden weergegeven in het model. Wel moet er dan nog op worden gelet dat het ingevoerde debiet ook de grootte en de richting van de snelheid goed weergeeft in de mond van de rivier.

Deze methode zou nog kunnen worden verbeterd door het verloop van het debiet bij een dood-tijsituatie te achterhalen en dat als uitgangspunt voor de snelheidsvoorwaarde te gebruiken.

Figuur A.01: debieten Maasmond zoals door Bruin is ingevoerd



A.1.3

Invoeren van een randvoorwaarde voor de waterstand

Wanneer er in de Maasmond metingen of gegevens van het verticaal getij bekend zijn, kunnen deze als randvoorwaarde worden opgedrongen aan het model.

Echter, het opdringen van de juiste waterstand houdt nog geenszins in, dat dan de snelheden goed worden weergegeven in de mond. Want bij die waterstand hoort juist de gehele natuurlijke expositie, dus een open Nieuwe Waterweg. Deze methode biedt dus weinig uitkomst en is in feite nauwelijks verschillend van de methode zoals door Burger toegepast aangezien de waterstand in dat model in de Maasmond redelijk goed wordt berekend.

A.1.4

Genereren van het stromingsbeeld door middel van het schematiseren van het achterliggend gebied

Door het haven- en rivierengebied waarheidsgetrouw of geschematiseerd in het model in te brengen zal ook een juiste weergave van het stroombeeld moeten ontstaan.

De moeilijkheid is echter, dat het model Tides een rekenmodel is gebaseerd op vereenvoudigingen en schematische oplossingsvergelijkingen. Het stroombeeld in de Maasmond en het achterliggend gebied is echter voornamelijk ééndimensionaal in het horizontale vlak met als tweede dimensie de variaties van de snelheid over de diepte. Het is de vraag of het werkelijk optredend stroombeeld door het model goed weergegeven kan worden.

Een tweede moeilijkheid is dat de maaswijdte, 1.600 m, nogal groot is. De Maasmond en het achterliggend gebied hebben bijna overal een kleinere breedte.

Beter én eenvoudiger is een schematisch oppervlak voor het achterliggend gebied te kiezen, dat door een goede keuze van de grootte van de oppervlak de stroomsnelheden zo goed mogelijk weergeeft. De grootte van dat oppervlak is alleen iteratief te bepalen, wat echter hoge kosten (rekentijd) met zich mee zal brengen.

Er kan echter wellicht een forse besparing op deze kosten worden gerealiseerd indien wordt aangenomen dat het achterliggend gebied kan worden beschouwd als een kombergingsoppervlak. Met behulp van de kombergingsvergelijking kan de grootte van het representatieve oppervlak worden berekend. Dit berekend oppervlak kan dienen als beginschatting en moet zo nodig worden bijgesteld.

Deze methode wordt in de volgende paragrafen nader uitgewerkt. Het voordeel van deze methode is dat het werkelijk optredend fysisch gebeuren goed wordt weergegeven.

Eerst wordt een kombergingsoppervlak berekend en vervolgens wordt getoetst in hoeverre het rivieren- en havengebied inderdaad als kombergingsoppervlak kan worden beschouwd.

Vervolgens worden de uitkomsten van de methode van Burger (T0-model) en het T1-model, met kombergingsoppervlak, vergeleken.

A.2

De kombergingsbeschouwing

Uitgaande van de één-dimensionale continuïteitsvergelijking voor een waterloop [lit. 6] kan, door deze vergelijking over deze waterloop te integreren, een aanzienlijk vereenvoudigde vergelijking voor het verloop van het stroombeeld in de waterloop, in dit geval de Maasmond, worden verkregen.

Beschouw de continuïteitsvergelijking:

$$B \frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = 0 \quad (A.1)$$

Deze kan over een vak tussen de punten $x = x_1$ en $x = x_2$ worden geïntegreerd naar x . Het resultaat is:

$$x_1 \int^{x_2} \left[B \frac{\delta h}{\delta t} \cdot dx \right] = - x_1 \int^{x_2} \left[\frac{\delta Q}{\delta x} \cdot dx \right] \quad (A.2)$$

of:

$$\left(\int_{x_1}^{x_2} B \cdot h \cdot dx \right) = - \left(Q_2 - Q_1 \right) = - \Delta Q \quad (A.3)$$

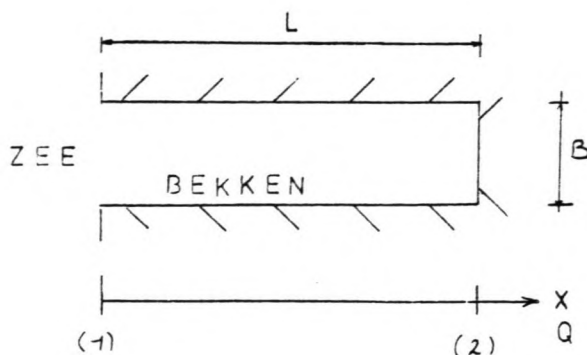
Het linkerlid van deze vergelijking is een tijdsafgeleide van de grootte $B \cdot h$ en in het rechterdeel staat het verschil in afvoer tussen de punten x_1 en x_2 . Door voor het linkerlid een goede benadering te vinden kan de onbekende afvoer in een bepaald punt (x_1 of x_2) worden afgeleid uit de bekende afvoer in het andere punt.

Veronderstellend dat het achter de Maasmond liggend rivier- en havengebied kan worden opgevat als een bekken dat relatief kort is ten opzichte van de golflengte kan worden gesteld dat het waterstandsverloop in x_1 en x_2 vrijwel identiek is.

$$\text{Of: } \frac{\delta h}{\delta x} \approx 0$$

Dit gaat alleen op als $L \ll \lambda$, waarbij L de lengte van het bekken is en λ de golflengte. De looptijd van de golf T door het bekken moet dus klein zijn ten opzichte van de golfperiode τ .

In onderstaande figuur is het bekken schematisch weergegeven en wordt de tekenafpraak vastgelegd.



Voor de wand $x = L$ geldt dat daar de stroming ten gevolge van het getij nul is. Wel wordt er een bovenafvoer $Q(L,t)$ aanwezig geacht. Dan wordt de bovenstaande vergelijking (A.2):

$$\int_{x_1}^L \frac{\delta Q}{\delta x} \cdot dx = - B \frac{dh}{dt} \cdot \int_{x_1}^L dx \quad (A.4)$$

Deze vergelijking uitwerken geeft:

$$Q(x,t) = B \frac{dh(t)}{dt} \cdot (L - x) + Q(L,t) \quad (A.5)$$

N.B.: de bovenafvoer is negatief.

Aangezien de bovenafvoer hier als een constante in de tijd kan worden gezien kan deze bovenafvoer ook later worden gesuperponeerd.

Dus:

$$Q(x,t) = - B \cdot \frac{dh(t)}{dt} \cdot (L - x) = v(x,t) \cdot A_s(x,t) \quad (A.6)$$

met: $A_s(x,t)$ = stroomvoerend oppervlak

Als op een plaats $v(x,t)$, $A_s(x,t)$ en dh/dt bekend zijn, kan een representatief oppervlak worden bepaald dat de stroming in de Maasmond goed weergeeft.

Wanneer in de Maasmond simultaanmetingen van de waterstand én de snelheid voorhanden zijn kan het kombergingsoppervlak worden bepaald. Dit oppervlak zal ook in het model Tides onder andere getijomstandigheden de snelheid goed moeten weergeven.

Door één stap verder te gaan kan de methode aanzienlijk worden verbeterd. De in het voorgaande afgeleide kombergingsbeschouwing kan nog verder worden uitgebreid door niet één oppervlak maar meerdere oppervlakken te kiezen waarbij voor elk oppervlak geldt dat de gradiënt $\delta h / \delta x$ (de waterstand is dan op ieder tijdstip in dat oppervlak overal identiek) te verwaarlozen is. In § A7 wordt dit nader uitgewerkt.

A.3

Invoering Maasmond in het T1-model door middel van komberging

Voor dit model wordt eerst een simpele aanpak toegepast; meer om de invloed van de methode op het stroombeeld in te schatten dan om een exact stroombeeld te genereren.

Er wordt uitgegaan van de aanname dat het rivieren- en havengebied is te simuleren door een vierkante kom.

De benodigde waterstand- en snelheidswaarden zijn niet voorhanden uit prototypemetingen.

Daarom wordt een modelmeting van het Waterloopkundig Laboratorium Delft gebruikt, uitgevoerd in het Rijnmondmodel M1418 [lit. 11]. Het modelgetij gebaseerd op de situatie van 28-08-1974, blijkt wat betreft waterstandskromme, goed overeen te stemmen met de situatie van 12 september 1975, de datum waarop de berekeningen met het model Tides zijn gebaseerd.

Dan moet eerst de in dit model opgelegde bovenafvoerkromme uit de gemeten snelheden worden gestedilleerd.
Tijdens de modelmeting van het W.L. van 28-08-1974 werd een bovenafvoer opgedrongen die in de Maasmond een afvoer geeft behorende bij een debiet te Lobith van 2.200 m³/sec.
Tijdens de Randdelta-II-metingen (15 september 1975) trad bij Lobith een debiet op van 2.515 m³/sec (op 28 augustus tot 3 september 1975). Deze afvoeren zijn vergelijkbaar in grootte.

Uit afvoergegevens Noordelijk Deltabekken [lit. 12] blijkt dat deze bovenafvoer bij Lobith als volgt kan worden vertaald naar een afvoer in de Maasmond.

		Door	Door	Door
Afvoer Rijn	Afvoer Maas	Haringvlietsluizen	Nwe Waterweg	Hartelkanaal
2.515	50	580	1.525	10

afvoeren in m³/s

Deze berekening is gegrondvest op het voorgeschreven lozingsprogramma N.L.P. 1970 (Normaal Lozingsprogramma 1970). In de bijlagen A.01 en A.02 worden respectievelijk een schematisch overzicht van het Noordelijk Deltagebied en een grafiek van het afvoerprogramma als functie van het Rijnaftervoer gegeven.
Hieruit valt op identieke wijze te concluderen:

		Door	Door
Afvoer Rijn		Nwe Waterweg	Hartelkanaal
2.200		1.500	10

afvoeren in m³/s

De stroomsnelheid in de Maasmond (het doorstroomprofiel bedraagt ca. 19.000 m²) als gevolg van de bovenafvoer bedraagt dan:

$$1.510/19.000 = 0,08 \text{ m/sec.}$$

Deze snelheid moet dus worden verdisconteerd in de gemeten waarden van de modelmeting.
In bijlage A.03 worden de in de modelmeting gevonden snelheden weergegeven. Bedacht moet worden dat deze snelheden zijn afgeleid uit stokdrijvermetingen waarbij de afgelegde afstand van de drijver een in het prototype gemiddelde snelheid van de bovenste 15 m vertegenwoordigt en kunnen dernalve niet als bijzonder betrouwbaar worden gekenschetst.

Wel zijn er meer betrouwbare gegevens beschikbaar op een plaats midden in de Maasmond. Om het debiet te simuleren is het echter beter de snelheid te destilleren uit metingen over de gehele mond. De betrouwbare meting in de as kan worden benut als de uitkomsten van het Tidesmodel moeten worden getoetst.

Het kombergingsoppervlak wordt voor enkele verschillende tijdstippen (dus voor verschillende waarden van dh/dt) berekend. Voor de waarde dh/dt wordt de waterstand ter plaatse van Hoek van Holland gebruikt; er wordt gesteld dat $dh/dt \approx \Delta h / \Delta t$, over $\Delta t = 1.800$ sec.

De resultaten van deze berekeningen zijn opgetekend in bijlage A.04. De uitkomsten van de grootte van het oppervlak zijn per tijdstip zeer verschillend. Dit is een gevolg van de grote verschillen die optreden in de gradiënt dh/dt . De extreme waarden voor dh/dt zijn in ieder geval geen goede maatstaf, aangezien er op deze tijdstippen ook grote faseverschillen in de kom zullen optreden.

Gezien de grove maaswijdte, de minder nauwkeurige basissnelheid gemeten in de mond en gezien het minder grote belang van een juiste weergave in dit grove T1-model wordt eerst een eenvoudige schematisatie van de kom ingevoerd.

De schematisatie, zoals is weergegeven in figuur 3.03, past in het bestaande model: $3 \times 5 = 15$ vakken van $1.600 \times 1.600 \text{ m}^2$.

Wanneer deze grootte en schematisatie van de kom niet mochten voldoen, zal de grootte van de kom moeten worden aangepast. Gezien de rekentijd en de kosten die daaraan zijn verbonden zal dit echter, indien mogelijk het liefst achterwege worden gelaten. In het volgend model (T3) kan de schematisatie zo nodig nauwkeuriger worden uitgevoerd.

Maar eerst wordt een controle uitgevoerd op de aanname dat het stroomgebied achter de Maasmond door een kombergingsoppervlak kan worden weergegeven.

A.4

Controle op aanname komberging

De toepassing van een kombergingsbeschouwing houdt impliciet in dat de aanname wordt gedaan dat de waterstand op een willekeurig tijdstip overal dezelfde waarde moet hebben. Ofwel dat de gradiënt dh/dt over de afstand x overal dezelfde waarde heeft. Een controle hierop is dus noodzakelijk. Bovendien levert de controle inzicht in het stroombeeld van het rivier- en havengebied. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van een simultaanmeting op 22 juni 1974 uitgevoerd door Rijkswaterstaat. Op verschillende plaatsen zijn het horizontaal en het verticaal getij gemeten.

In figuur A.02 zijn de gemeten waterstanden te Hoek van Holland, Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam weergegeven.

De stroomsnelheden zijn gemeten te Hoek van Holland, in de Nieuwe Waterweg bij kmr. 1029 en halverwege tussen Hoek van Holland en Rotterdam bij kmr. 1015. Er is gemeten in drie punten. Deze punten zijn in het dwarsprofiel ingetekend in bijlagen A.05 en A.06. Uit deze metingen moet het debiet worden bepaald.

De afvoer bij Lobith, op 20 juni 1974, bedroeg $1.678 \text{ m}^3/\text{sec}$. Bij Normaal Lozingsprogramma 1970 [lit. 12] bedraagt de bovenafvoer dan bijna $1.500 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Zoals gezegd zijn metingen van stroomsnelheden voorhanden in slechts drie punten, waaruit het totale debiet door het dwarsprofiel moet worden bepaald.

De volgende aanname wordt daartoe gedaan: voor de oevers (daar waar de bodem nog niet de maximale diepte heeft bereikt) bedraagt de snelheid gemiddeld 75% van de gemiddelde snelheid in het diepe gedeelte.

Deze aanname wordt aannemelijk gemaakt in bijlage A.07, waar een dwarsprofiel voor de Nieuwe Maas (bij de Botlek) met de snelheidsverdeling is weergegeven.

De berekening van de debieten is in tabelvorm uitgevoerd in de bijlagen A.08 en A.09. Voor de waterstand in kilometerraai 1015 wordt het gemiddelde tussen Maassluis (kmr. 1020) en Vlaardingen (kmr. 1012) aangehouden.

De debieten worden dan berekend uit:

$$Q_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^3 (\bar{u}_i \cdot f_i \cdot \text{Opp}_i) \quad , \quad (\text{A.7})$$

waarbij $\bar{u}_i$ = gemeten snelheid (gemiddeld over de verticaal)
 f_i = de factor welke de plaats van de raai i in het dwarsprofiel aangeeft
 Opp_i = het oppervlak van het dwarsprofiel waarvoor raai i geldt.

Uit figuur A.02 blijkt dat er tussen Hoek van Holland en Rotterdam een faseverschil optreedt van ongeveer vijf kwartier. De hoogwaterstand is in Hoek van Holland ongeveer 10 cm lager, de laagwaterstand 15 cm lager dan in Rotterdam.

De grootste verschillen in waterstand tussen Hoek van Holland en Rotterdam bedragen ongeveer 60 à 70 cm. Het verhang is dan dus wel erg groot over de river.

De benadering, het rivieren- en havengebied als kombergingsgebied te beschouwen, is dus principieel niet juist. De lengte van de kom is duidelijk te groot ten opzichte van de golflengte.

Wil de kombergingsbeschouwing opgaan moet het rivier- en havengebied noodzakelijkerwijs worden opgesplitst in meerdere delen waarvoor de voorwaarde (geen verschil in waterstand) wel opgaat.

Een andere karakteristiek verschijnsel voor een kombergingsgebied is het verloop in fase van het horizontaal en het verticaal getij. Op het tijdstip dat de gradiënt $\delta h / \delta t$ klein is zal de snelheid eveneens zeer gering zijn; is daarentegen de gradiënt $\delta h / \delta t$ maximaal zal ook de snelheid maximaal behoren te zijn. Uit de reeds aangehaalde metingen, weergegeven in figuur A.01, blijkt dat, wanneer de fase voor het verticaal en horizontaal getij worden vergeleken, er geenszins sprake is van bovengenoemd verschijnsel. Ten tijde van maximale gradiënt blijkt de snelheid nihil te zijn en bij minimale gradiënt treden maximale snelheden op.

Er behoeft dus geen enkele illusie te bestaan: het rivier- en havengebied kan niet worden aangemerkt als een kombergingsgebied. Het hydraulisch systeem is veel ingewikkelder. Aan de berekeningen met de kombergingsbeschouwing mag dan ook niet meer waarde worden gehecht dan het geven van een eerste beginschatting voor de grootte van het te schematiseren haven- en rivierengebied.

Bovenstaande conclusie leidt niet tot het verlaten van de ingeslagen weg. De kombergingsbeschouwing is alleen gebruikt om tot een redelijke schatting van het oppervlak in het T1-model te geraken.

In het programma Tides wordt geen kombergingsbeschouwing toegepast; de niet-vereenvoudigde vergelijkingen worden opgelost. Alleen de uitkomsten van het programma Tides zijn dus relevant voor het verkrijgen van een indruk in hoeverre het schematiseren van het achterliggend gebied gerechtvaardigd is.

A.5

Toetsing van de uitkomsten van de 1.600 m-modellen (T0 en T1)

Als ijkingsgegevens zijn helaas geen metingen voornanden die vallen in dezelfde periode als waarin de overige randvoorwaarden zijn bepaald.

Althans niet voor de stroomsnelheden. Wel is de waterstand voor Hoek van Holland bekend tussen 1 en 5 september 1975. Ter vergelijking wordt weer de periode van 20.30 uur op 1-09-1975 tot 21.30 uur op 2-09-1975 gebruikt.

Om ook de stroomsnelheden te kunnen toetsen moet weer worden gezocht naar gegevens onder vergelijkbare omstandigheden.

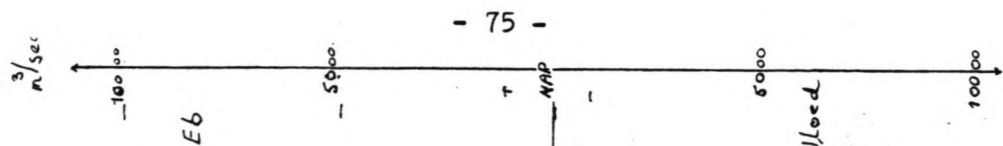
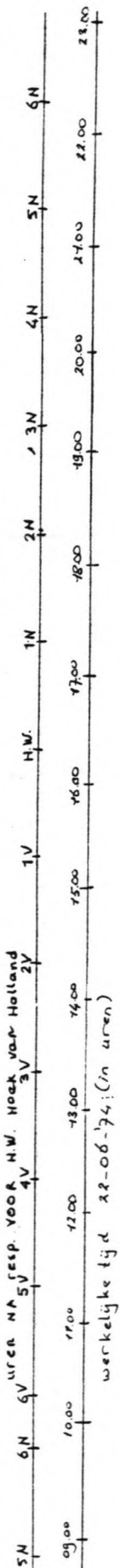
De afgeleide stroomsnelheden uit de modelmetingen (§ A.3) kunnen ter vergelijking worden gebruikt.

Ook de door Bruin [lit. 4] afgeleide stroomsnelheden kunnen ter vergelijking worden aangehaald.

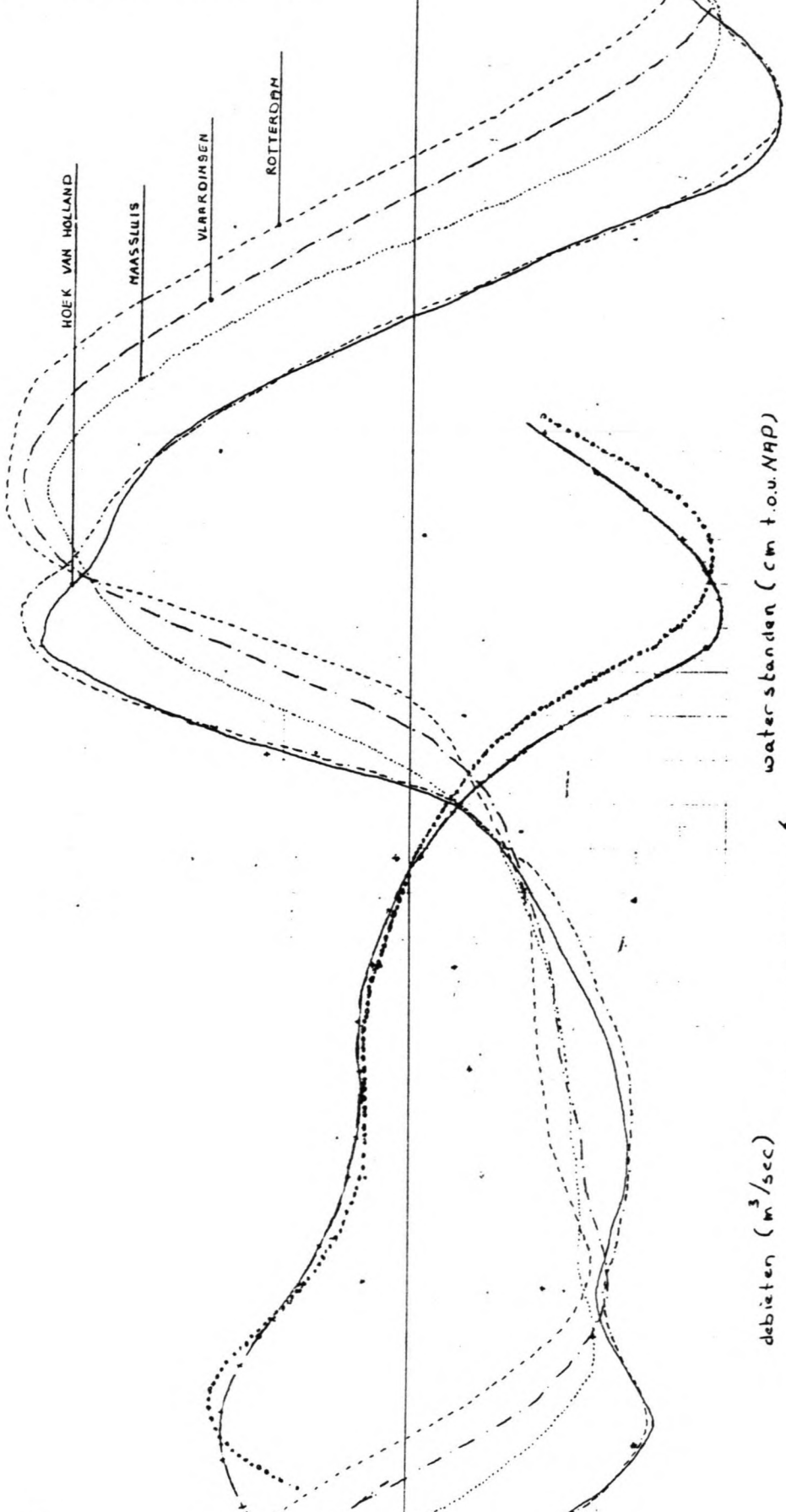
De waterstanden

In bijlage A.10 worden de waterstanden te Hoek van Holland vergeleken. Als vergelijkingspunt van het model is gekozen voor pt(20,10).

Er blijkt een redelijke overeenstemming te zijn, zowel wat betreft de fase als de grootte van de berekende waterstand, met de gemeten waarden. Dat geldt voor zowel het T0-model (volgens Burger) als voor het T1-model.



Figuur A.02:
Overzicht getij-beeld
in Nieuwe Waterweg



waterstanden (cm t.o.u. NAP)

- golfmeetpaal W.A. - I
- Hoek van Holland
- Maassluis
- Vlaardingen
- Rotterdam

debieten (m³/sec)

- geneten waarde in raai kmr. 1015
- +— geneten waarde in raai kmr. 1019

Geneten krommen voor horizontaal
en vertikaal getij d.d. 22-06-1974

De stroomsnelheden

In figuur A.03 zijn de volgende snelheidskrommen weergegeven:

1. snelheid gebaseerd op het gemiddeld debiet door het stroomvoerende oppervlak van de Maasmond zoals door Bruin is ingevoerd;
2. snelheid zoals deze is berekend in het programma Tides gemiddeld over de diepte in de as van de mond;
3. snelheid zoals is gemeten in het modelgetij 28-08-1974 door het W.L. gemiddeld over 0 tot 15 m in de as van de mond.

Tevens zijn de waterstandskrommen toegevoegd (voor geval 1. de gemiddelde waterstand) om de fase te kunnen vergelijken. Uit deze figuur blijkt dat het T1-model de grootte van de snelheid goed weergeeft, in tegenstelling tot het T0-model. Wel is er sprake van een faseverschil. In het model T1 loopt de snelheid ongeveer twee uur voor in fase. De maximale snelheden treden op als de gradiënt $\delta h / \delta t$ groot is, hetgeen ook kan worden verwacht voor een kombergingsgebied.

Gezien de uitkomsten kan worden geconcludeerd dat de toegepaste schematisatie een wezenlijke verbetering is. Het is niet noodzakelijk voor dit model (T1) de schematisatie van het oppervlak nog te optimaliseren; in het T3-model wordt de methode verfijnd.

A.6

Invloed randvoorwaarde op het model

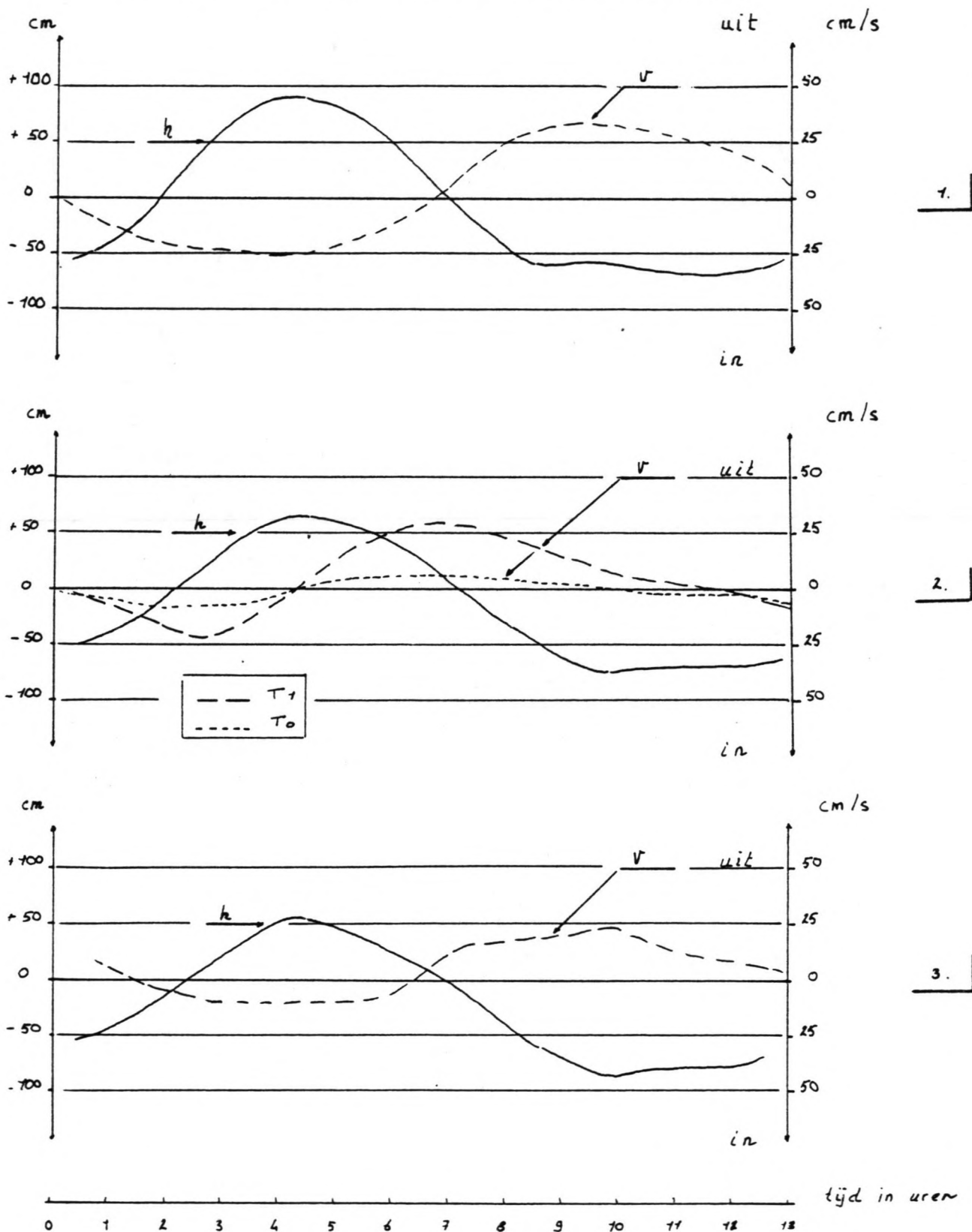
Het doorrekenen van een getij-situatie zonder (T0) en met een (geschematiseerd) haven- en rivierengebied (T1) biedt de mogelijkheid de invloed van het invoeren van het haven- en rivierengebied (te beschouwen als het invoeren van een randvoorwaarde van de Maasmond) in te schatten. Het is alleszins nuttig te beoordelen tot waar de invloed van de stroming door de Maasmond op het getij reikt. Dit is vooral van belang voor de keuze van de randen van het in te nesten T3-model (800 m). Wanneer blijkt dat op deze randen het stroombeeld, en dan met name de waterstand (deze dient als randvoorwaarde voor het T3-model) wordt beïnvloed, moet ook de invoering van de Maasmond in het T1-model zo nauwkeurig mogelijk geschieden.

Maar ook op de plaats van de ingreep, (de Slufterloswal), is het nodig te onderkennen hoe groot de invloed is, mede in verband met het inschatten van de gewenste nauwkeurigheid.

Voor de plaats van de ingreep, het slibdepot, is als vergelijkingspunt genomen het punt MA III (18,15), waar door Rijkswaterstaat in de periode 1/5 september 1975 waterstandsmetingen zijn verricht. In bijlage A.11 zijn de waterstanden van de modellen T0 en T1 en de meting weergegeven. In de bijlage A.12 zijn de stroomsnelheden vergeleken.

De berekende waterstanden blijken geen verschillen op te leveren (slechts op één tijdstip 1 cm verschil). Ook de snelheden zijn nagenoeg gelijk. De conclusie is dat de invoering van de Maasmond op de plaats van de ingreep geen invloed heeft gehad.

Figuur A.03: snelheden en waterstanden in Maasmond



1. snelheid zoals ingevoerd door Bruin
2. berekende snelheden met TIDES modellen T_0 en T_1
3. gemeten snelheden model WL 28-08-1974

Op de plaats van de randen van het in te nesten model T3 (getest zijn de punten (14,17) en (10,19)) zijn voor het T0- en het T1-model ook nauwelijks verschillen te zien. De bijlagen A.13 en A.14 geven de waarden voor H, u en v.

Ook hier kan worden geconcludeerd dat de keuze van de randvoorwaarde geen invloed heeft.

Wanneer echter naar een volgend model, T4 - 400 (m)-, wordt gekeken is duidelijk dat een goede weergave in het 800 (m)-model, dat als basis voor het model van 400 (m) dient, wel degelijk van belang is. Daarom is het T1-model een duidelijke verbetering.

Voor alle zekerheid dient ook te worden gecontroleerd of er door de invoering van de Maasmond sprake is van beïnvloeding van de waterstanden direct nabij de randen van het 1.600 (m)-model. Nergens blijkt ter plaatse van de rand de waterstand te zijn gewijzigd.

A.7

Invoering van Maasmond in T3-model

In dit T3-model met een 800 m-net is een goede weergave van het stroombeeld van groot belang omdat de rand van het 400 m-model dicht in de nabijheid van de Maasmond ligt. De kleinere maasbreedte biedt ook meer mogelijkheden om het rivier- en havengebied beter te simuleren.

De kombergingsvergelijking

Het totale komoppervlak wordt nu opgesplitst in meerdere delen, waarbij er van wordt uitgegaan dat voor ieder deel de kombergingsbeschouwing kan worden toegepast. De splitsing wordt voornamelijk bepaald door de voorhanden zijnde meetgegevens.

De delen zijn:

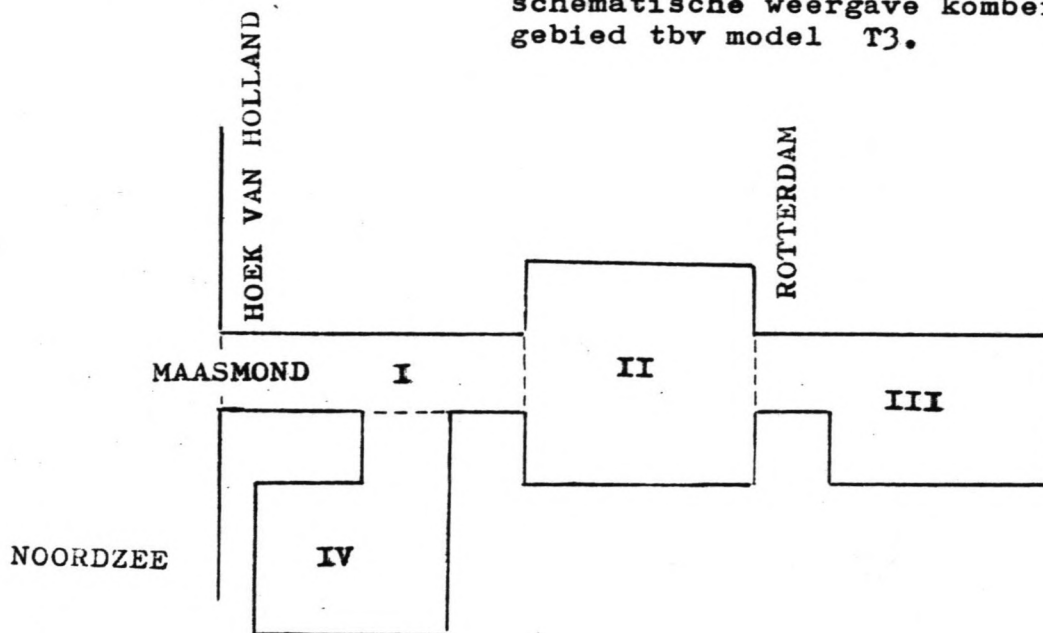
- I Maasmond (tussen zeemonding en de splitsingsdam);
- II Nieuwe Waterweg tussen Hoek van Holland en Maassluis;
- III gebied stroomopwaarts van Maassluis;
- IV Europoortgebied.

Voor de kombergingsbeschouwing wordt dezelfde vergelijking gebruikt als in § 5.2 is afgeleid:

$$\int_{x_1}^{x_2} B \frac{\delta h}{\delta t} \cdot dx = - \int_{x_1}^{x_2} \frac{\delta Q}{\delta x} \cdot dx \quad (A.2)$$

Uit de berekeningen voor het T1-model bleek dat de grootte van het bekken redelijk goed was gekozen. Die grootte biedt een houvast voor de nieuwe schematisatie, in onderstaande figuur weergegeven.

schematische weergave kombergings-
gebied tbv model T3.



Wanneer weer wordt verondersteld dat op ieder tijdstip geldt dat voor elk deel de waterstand op iedere plaats hetzelfde is, ofwel dat $\delta h / \delta t$ overal dezelfde waarde heeft, kan de bovenstaande vergelijking weer worden vereenvoudigd tot:

$$Q_1(x, t) = B \cdot \frac{dh}{dt} (x_1 - x_{1-1}) + Q_0 \quad (A.8)$$

De vergelijking voor de snelheid in de mond kan nu worden opgesteld, want:

$$- Q(x_2, t) = - F_{III} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{III} \quad (A.9)$$

$$Q(x_2, t) - Q(x_1, t) = - F_{II} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{II} \quad (A.10)$$

Zodat:

$$Q(x_1, t) = Q(x_2, t) + F_{II} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{II} = F_{III} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{III} + F_{II} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{II} \quad (A.11)$$

Bovendien kan voor gebied IV, het Europaortgebied, een zelfde kombergingsvergelijking worden opgesteld:

$$Q(x_4, t) = - F_{IV} \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_{IV} \quad (A.12)$$

en tenslotte voor de Maasmond:

$$Q(x_4, t) + Q(x_1, t) - Q(x_0, t) = - F_I \left\{ \frac{\delta h(t)}{\delta t} \right\}_I \quad (A.13)$$

Invoeren van $Q(x_4, t)$ en $Q(x_1, t)$ in deze bovenstaande vergelijking geeft tenslotte:

$$Q(0, t) = + F_I \left\{ \frac{\delta h}{\delta t} \right\}_I + F_{IV} \left\{ \frac{\delta h}{\delta t} \right\}_{IV} + F_{III} \left\{ \frac{\delta h}{\delta t} \right\}_{III} + F_{II} \left\{ \frac{\delta h}{\delta t} \right\}_{II} \quad (A.14)$$

Opmerkingen:

- * in deze vergelijking wordt F als symbool voor de momentane waarde van de komoppervlakte gebruikt;
- * de bovenafvoer is in deze vergelijking nog niet ingebracht, wat echter een simpele handeling is;
- * omdat het kombergingsoppervlak van de Maasmond verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de andere oppervlakken wordt deze niet in beschouwing genomen.

Als onbekenden in deze vergelijking blijven dan over de kombergingsoppervlakken F_{II} , F_{III} en F_{IV} , de gradiënten van de waterstand in de tijd en het debiet in de Maasmond.

Voor dat debiet $Q(x_0, t)$ wordt weer de waarneming van het getijmodel d.d. 28-08-1974 van het W.L. gebruikt. En de afgeleide van de waterstand naar de tijd $\delta h / \delta t$ kan worden verkregen uit metingen d.d. 12-09-1975 respectievelijk te Maassluis voor kom III, te Hoek van Holland voor kom II en een meting in het Beerkanaal (verkregen uit "Getijmetingen Doorgangslicht", peilschalen september 1975 [lit. 13]) voor kom IV.

De vergelijking is oplosbaar wanneer slechts één variabele in de vergelijking voorkomt, dus wanneer twee van de drie oppervlakken worden vastgelegd. F_{IV} en F_{II} worden vastgelegd, voor kom F_{III} wordt een representatieve oppervlakte berekend. Dit omdat de grootte van de oppervlakken F_{II} en F_{IV} redelijk goed zijn af te schatten.

F_{II} : de lengte van de Nieuwe Waterweg van Hoek van Holland tot Maassluis bedraagt 12 km, de breedte varieert tussen de 500 en 700 m. Het oppervlak is dus ongeveer 11 mazen ($11 \times 800 \times 800 = 7,04 \cdot 10^6 \text{ m}^2$).

F_{III} : de totale oppervlakte is op ongeveer $12 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ geschat. Het aantal mazen bedraagt dan 20.

De bepaling van het komoppervlak

De berekening geschiedt in tabelvorm, zie bijlage A.15. De gebruikte waterstandskrommen zijn getekend in bijlage A.16.

De berekening laat zien dat de momentane grootte van het oppervlak van kom F_{III}, afhankelijk van het tijdstip, sterk wisselend moet zijn.

Enkele extreme waarden worden veroorzaakt door de zeer kleine gradiënten van de waterstanden. Deze extremen kunnen buiten beschouwing blijven.

De andere hoge waarden komen voort uit grote afvoeren op dat moment.

Wanneer er een gemiddelde waarde wordt berekend over de reële uitkomsten en bij verwaarlozing van de dam voorkomende hoogste en laagste waarde, wordt als bergingsoppervlak gevonden 40 mazen ($40 \times 800 \times 800 = 25,6 \cdot 10^6 \text{ m}^2$).

Met enige moeite is dit oppervlak in het model in te passen.

Wanneer er rekening wordt gehouden met de geringe komberging van de Maasmond (6 hele vakken) wordt het totaal aantal 34 vakken. In figuur 4.02 is het komoppervlak zoals dat in het T3-model is ingevoerd getekend.

De in te voeren diepte

Het programma Tides werkt echter niet met een kombergingsvergelijking maar met de niet-vereenvoudigde continuïteits- en bewegingsvergelijkingen. Dus ook het stroomvoerend oppervlak is van belang. De dieptes zoals zijn ingevoerd:

de Maasmond	: 16,0 m;
Hoek van Holland tot Maassluis	: 12,5 m;
Maassluis e.v.	: 12,0 m;
ingang Beerkanaal	: 16,0 m;
Europoortgebied	: 20,0 m.

De bovenafvoer

Ten einde de bovenafvoer ($1.500 \text{ m}^3/\text{sec}$) goed weer te geven wordt in de punten (22,10) en (22,11) een snelheidsvoorwaarde opgedrongen. De grootte van deze snelheid bedraagt $0,25 \text{ m/sec}$.

A.8

De toetsing van de uitkomsten van het T3-model

De resultaten, zoals worden verkregen met het Tides-model wanneer bovenstaande schematisatie wordt toegepast, moeten worden getoetst aan de in werkelijkheid optredende getijstroming. Van belang is ook in hoeverre de waterstand in het model berekend, overeenstemt met de in situ te meten waterstanden. De juiste weergave van de stroomsnelheden is met name van belang voor de interpretatie van het te verwachten stroombeeld in geval van aanleg van één der varianten. Een goede weergave van de waterstand is vooral van belang om een betrouwbare randvoorwaarde te genereren voor het ingeneste model.

De uitkomsten van de berekeningen met het Tidesmodel worden eerst vergeleken met de als basis voor de berekening van het kombergingsoppervlak dienende modelgetij van 28-08-1974.

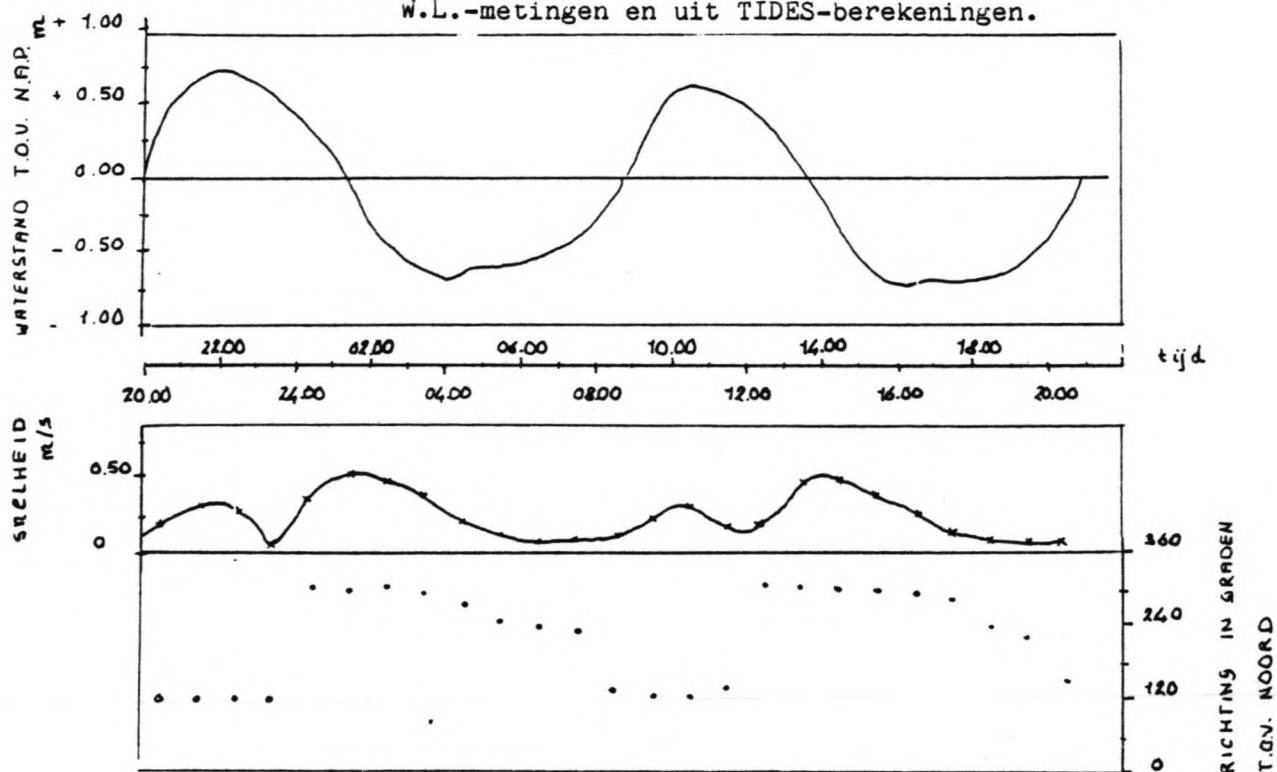
Vooropgesteld moet worden dat een exacte vergelijking niet te maken is, omdat de waterstandskrommen niet geheel overeenkomen. De vergelijking levert desalniettemin een bevredigend resultaat, zoals figuur A.04 aantoont. In deze figuur zijn zowel de snelheid, in de as van de mond gemiddeld over de diepte, de waterstand als de richting van de snelheid getekend.

De waterstandskromme die geconstrueerd kan worden met behulp van de uitkomsten van het Tidesmodel blijkt inderdaad een iets groter verschil tussen H.W. en L.W. op te leveren, dan bij het modelgetij.

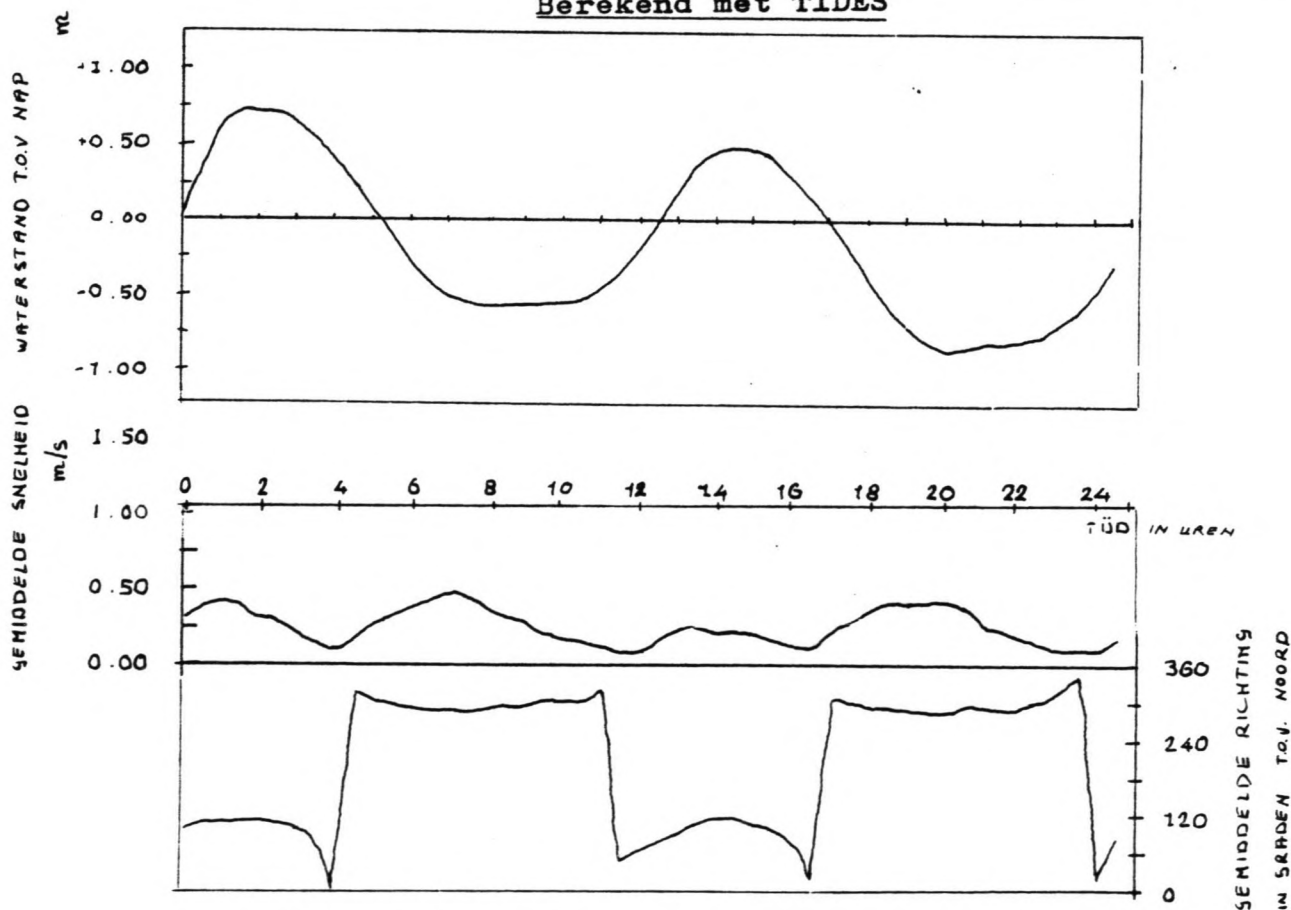
Wanneer de snelheidskrommen worden vergeleken blijkt de grootte van de snelheid goed te worden weergegeven. De snelheid in het Tidesmodel blijkt iets groter te zijn, hetgeen ook voor de hand ligt gezien het iets groter waterstandsverschil. Wel is er (nog steeds) sprake van een faseverschil van ongeveer een uur.

Voor de volledigheid is de richting van de snelheid ook vergeleken. Bedacht moet worden dat de richting in het model Tides mede bepaald wordt door de oriëntatie van de Maasmond in het rooster. Er blijkt een redelijke overeenstemming te bestaan. Opvallend is het dat de hoek tijdens eb in het Tidesmodel iets afneemt, iets wat in het W.L.-model niet is waargenomen.

Figuur A.04: snelheden en stroom-richting in de Maasmond: uit W.L.-metingen en uit TIDES-berekeningen.



Berekend met TIDES



Gemeten in WL-model 28-08-1974

Opvallend is ook dat bij instroming de hoek van de stromingsrichting na eerst de minimale waarde te hebben bereikt weer enigszins toeneemt en na hoogwater weer afneemt tot een minimale waarde. Dit doet zich niet voor in het TIDES-model, bij instroming is de stromingsrichting constant. Het faseverschil komt ook nu naar voren.

Deze toetsing kan zonder meer tot tevredenheid stemmen. Alleen het faseverschil is hinderlijk omdat snelheden op zee niet in overeenstemming zijn met het stroombeeld in de mond. Vooral bij hogere snelheden kan dit enige vervorming geven.

Ook de weergave van de grootte van het debiet wordt getoetst. Daartoe zijn de in het Tidesmodel berekende debieten uitgezet in figuur A.05. Helaas zijn geen betere debietmetingen voorhanden dan die welke zijn gebaseerd op de meting met de stokdrijvers.

Daarom wordt tevens een vergelijking getrokken met de door Bruin [lit. 4] gehanteerde debieten. Deze debieten, zoals reeds aangehaald gebaseerd op metingen van 04-09-1975, kunnen worden beschouwd als behorend bij een gemiddeld-tijsituatie. De bovenafvoer is nagenoeg identiek.

Bruin vond een bovenafvoer van $1.350 \text{ m}^3/\text{sec}$. De in het T3-model ingevoerde bovenafvoer (zie A.3) bedraagt $1.300 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Wanneer we een identieke procedure doorlopen als voor de snelheden rond de loswaldam is voorgesteld (zie § 5.2) bedraagt de vermenigvuldigingsfactor voor de omrekening van dood tij naar springtij nu 1,1. De maximale debieten zijn dan voor het T3-model:

$$Q_{in} = 1,1 \times 8.500 = 9.400 \text{ m}^3;$$

$$Q_{uit} = 1,1 \times 6.300 = 6.900 \text{ m}^3.$$

Er blijkt dus een goede overeenkomst te bestaan. Ook nu komt echter weer een faseverschil aan het licht: ongeveer 2 uur (figuur A.05).

A.9

Vergelijking van het stroombeeld van de Maasmond in het T1- en het T3-model

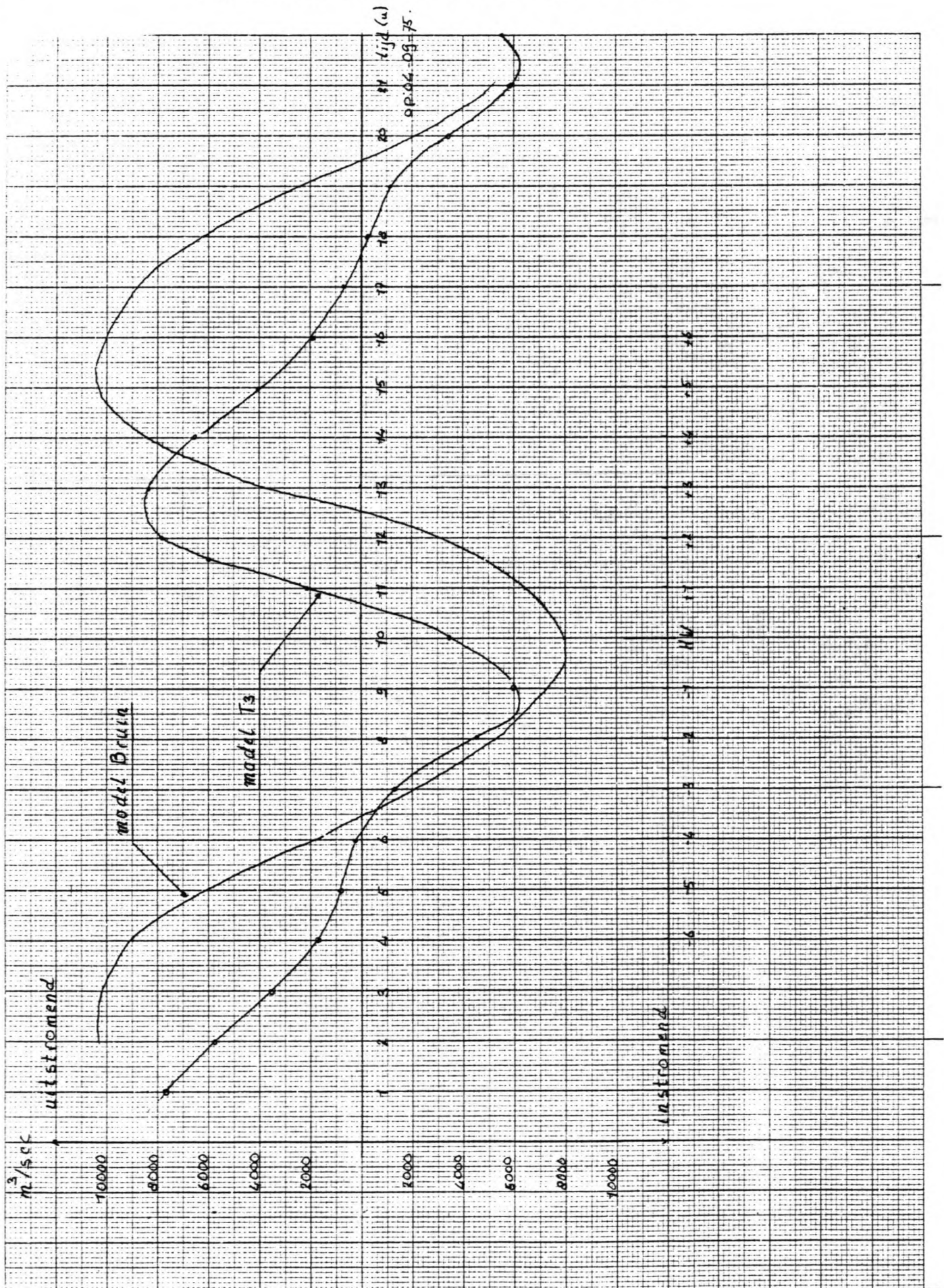
Achtereenvolgens worden de uitkomsten voor enkele essentiële hydraulische variabelen vergeleken. Helaas zijn de uitkomsten van het T1-model slechts per interval van twee uur bekend (hetgeen een gevolg is van de uitvoer van het model, welke op 2 uur is gesteld om de hoeveelheid uitvoertekst te beperken). Er moet daarom de nodige voorzichtigheid worden betracht bij het trekken van conclusies.

- De waterstand voor Hoek van Holland

In bijlage A.17 zijn zowel de werkelijke gemeten waarden als de in de modellen berekende waarden weergegeven.

Er blijkt een duidelijke overeenstemming in de berekende waarden van de waterstand in beide modellen.

Figuur A.05: berekend debiet in de Maasmond.



- De snelheid in de as van de Maasmond

Hoewel de verschillen niet groot zijn, is toch een zekere verbetering in de weergave van de grootte van de snelheid in de as te bespeuren bij het gebruik van het T3-model: figuur A.06. Het resultaat is echter wat teleurstellend: er is nog steeds duidelijk sprake van een faseverschil (ongeveer even groot als optredend in het geval van model T1) met de gemeten toestand.

- Het debiet door de Maasmond

Op grond van de resultaten kan worden geconcludeerd, zoals figuur A.07 laat zien, dat de maximale debieten in het algemeen in het T3-model wat groter (orde van 10 à 20%) zijn. Helaas zijn geen vergelijkbare debietmetingen voorhanden, zodat geen oordeel kan worden geveld over de juistheid van de weergave van de grootte van het debiet. De fase van het debiet is in beide gevallen identiek.

- De richting van de snelheid in de Maasmond

Het is niet nuttig de richting van de snelheid in de mond te vergelijken: de richting is opgedrongen door de keuze van het assenstelsel en de keuze van de schematisatie.

- Het stroombeeld in het geschematiseerde komgebied

Zoals bekend wordt verondersteld is in model T1 het rivier- en havengebied door een vierkante kom weergegeven; in het T3-model daarentegen is getracht de werkelijke expositie na te bootsen.

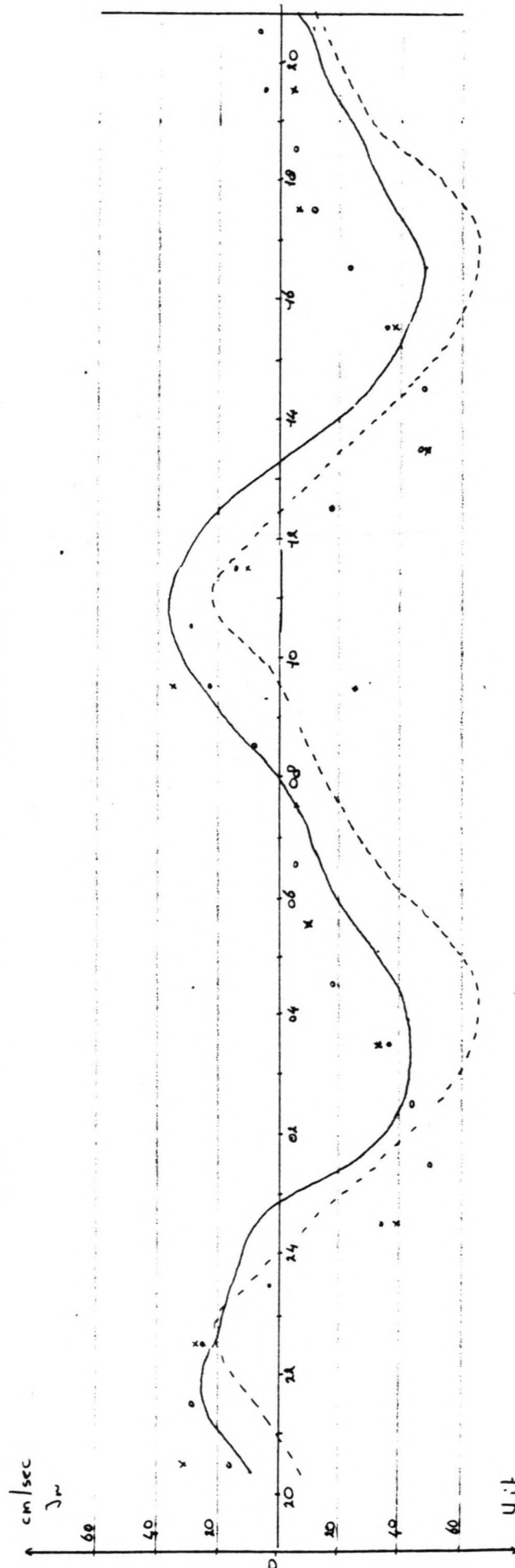
- De waterstanden

In bijlage A.18 zijn op de as van de beide komoppervlakken de waterstanden op 7 tijdstippen vastgelegd. Hieruit blijkt dat de waterstand in het komgebied van het T1-model op ieder tijdstip ongeveer overal gelijk is. Er zijn slechts geringe afwijkingen te constateren. Voor het komgebied in model T3 zijn de afwijkingen groter hetgeen ook te verwachten is voor dit langgerekte gebied. Ten tijde van hoog water en de vier uren daarna blijkt achter in de kom de waterstand veel hoger te zijn dan bij de mond van de kom.

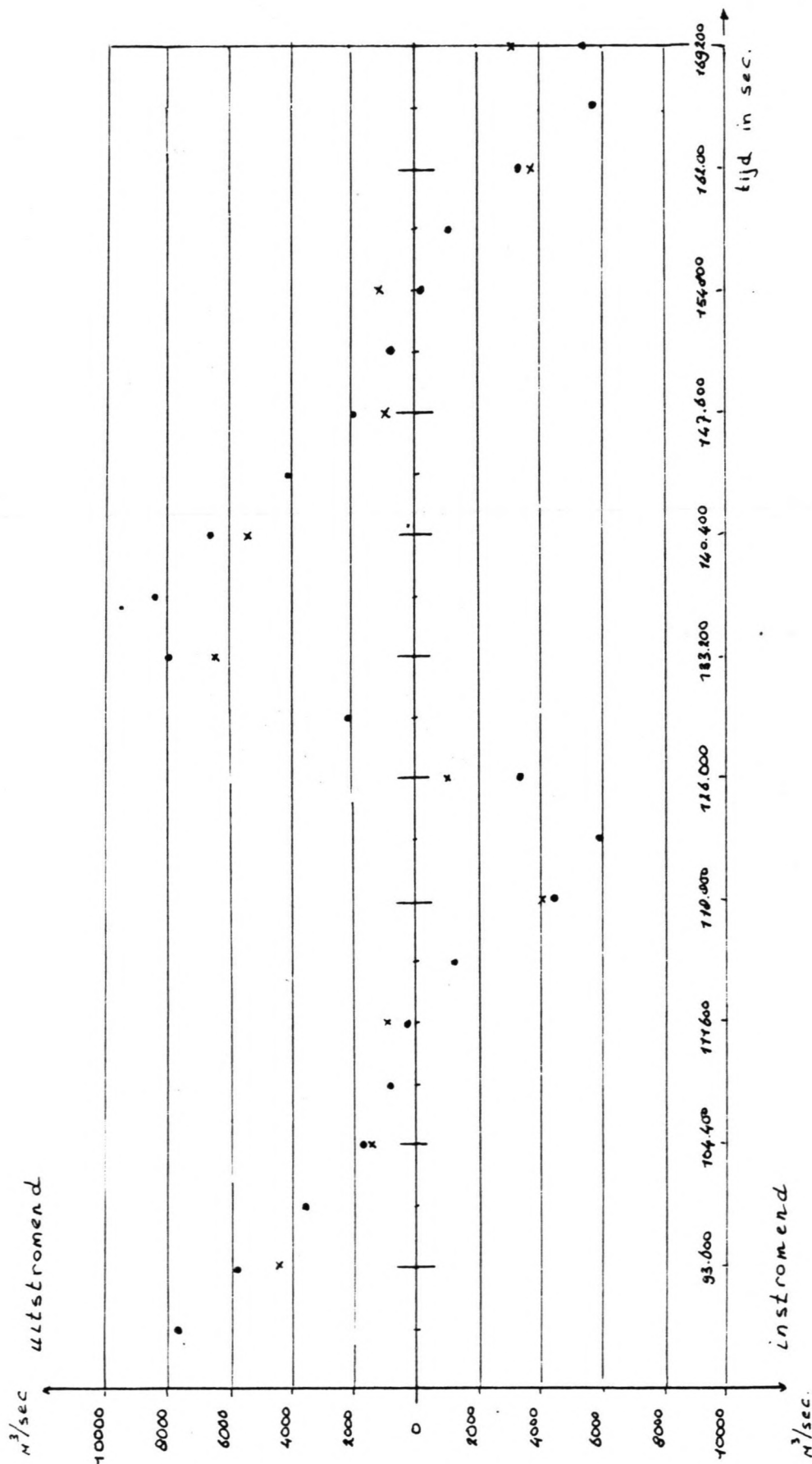
Het tijdstip van hoogwater en van laagwater treedt achterin de kom ongeveer een uur later op dan voorin bij Hoek van Holland. Ook is de gemiddelde waterstand bij hoogwater groter dan voorin de kom, de waterstanden bij laagwater zijn ongeveer identiek, zoals uit onderstaande tabel A.08 blijkt.

Figuur A.06: snelheden in de as van de Maasmond.

° berekende snelheid in as van Maasmond model T3
 x " " " " " T1
 --- gemeten waarde wl-model gemiddeld over breedte Maasmond
 — " " " in as van maasmond



Figuur A.07: vergelijking debieten Maasmond voor model T1 en T3.



Tabel A.08

Waterstanden in kombergingsgebied van T3-model, vóór respectievelijk achterin de kom (voorin wil zeggen nabij de mond, achterin wil zeggen uiterst landwaarts daarvan):

<u>tijdstip:</u>	<u>voorin:</u>	<u>achterin:</u>
118.800	-12	-29
122.400	+35	+20
126.000 (HW)	+65	+77
129.600	+75	+105
133.200	+40	+78
136.800	-25	+25
140.400	-53	-18
144.000	-72	-55
147.600	-76	-77
151.200	-74	-78

De bijlagen A.19 en A.20 geven respectievelijk een overzicht van de in werkelijkheid optredende hoog- en laagwaterstanden op diverse plaatsen in het hier geschematiseerde rivier- en havengebied, én van de gemiddelde tijdsverschillen voor plaatsen langs het traject Hoek van Holland - Krimpen a/d Lek.

Het in voorgaande geschetst beeld optredend in de kom van model T3 blijkt redelijk in overeenstemming met de werkelijkheid. Alleen het verschil in laagwater tussen Hoek van Holland en achterin de kom (waar het gemiddeld laagwater dichterbij het N.A.P.-niveau moet liggen) komt in het model T3 niet aan het licht.

Gezien de te verwachten afwijkingen optredend als gevolg van het in Tides gehanteerde rekenproces, en gezien de sterke schematisatie, is een verdergaande analyse in dit kader niet zinnig.

De waterstand in de vierkante kom is ook in de andere richting, loodrecht op de richting van in- en uitstroming, op ieder tijdstip gelijk: er is geen verhang.

. De stroomsnelheden

Het stroombeeld in de vierkante kom (T1-model) is erg regelmatig. De snelheden in de kom zijn klein en er is nauwelijks sprake van stroming in de richting loodrecht op de richting van in- en uitstroming. Blijkbaar is de invloed van het Coriolis-effect in de relatief smalle kom (4.800 m) te gering. Uit de vergelijking van de invloed van de termen (par. 5.3) blijkt ook dat de Coriolis-term voor de bewegingsvergelijking in y-richting (vgl. 2.08) vrij gering is.

De stroomsnelheden in de kom van het T3-model zijn groter (het doorstroomprofiel is veel kleiner). Het stroombeeld is erg onregelmatig, met grote afwijkingen.

Blijkbaar is de gehanteerde schematisatie te rechtlijnig met te scherpe richtingsveranderingen. Bovendien is het beeld sterk één-dimensionaal, wat grote afwijkingen blijkt te veroorzaken bij een oplossingsmethode voor een twee-dimensionaal stromingspatroon zoals TIDES.

Een vergelijking van snelheden voor model T1 en T3 heeft dan ook weinig zin. De debieten bij de mond zijn al in het voorgaande vergeleken.

A.10

Conclusies

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- invoering van de Maasmond door een representatief oppervlak achter de mond te schakelen blijkt goede resultaten te geven. Zowel de waterstanden als de grootte van de snelheden worden goed weergegeven. Wel blijkt dat de snelheid niet geheel in fase is met de waterstand; de snelheidskromme kent een faseverschil van één à twee uren.

Voor onderhavige berekeningen is het geconstateerde faseverschil niet direct van belang. De waterstand wordt goed gesimuleerd en juist de waterstand wordt gebruikt als randvoorwaarde voor het T3-model. Wanneer echter de weergave van de stroomsnelheden om welke reden dan ook van groot belang is kan wellicht beter een snelheidswaarde worden opgelegd zoals door Bruin [lit. 4] is uitgevoerd. Wel moet dan zekerheid worden verkregen omtrent de weergave van de waterstand nabij de Maasmond.

Referenties

1. - Slufterdamproject (Interimrapportage) -
Hoofden deelrapporten, waarin opgenomen:
Morfologische consequenties van de realisering van het Slufterdam-
project.
Vorbereidingsgroep Slufterdamproject; Rijkswaterstaat, gemeente
Rotterdam, openbaar lichaam Rijnmond, augustus 1982
2. - Onderzoek bergingsmogelijkheden en voorlopig ontwerp Slufterloswal -
MKO-projectgroep "Speciebergings op en aan zee", 1980
3. - Gebruikersgids voor het programma TIDES -
N. Booij, vakgroep Vloeistofmechanica van de afdeling Civiele
Techniek van de T.H. Delft
4. - Twee-dimensionale getijberekening t.b.v. het ontwerp van een slib-
bergingsreservoir, gecombineerd met jachthaven voor de kust van
Hoek van Holland -
J.J. Bruin, afstudeerdeelontwerp Vakgroep Vloeistofmechanica, T.H.
Delft, 1980
5. - Aspects of a computational model for a long period waterwave -
propagation -
J.J.P. Leendertse, Santa Monica, Rand Corporation,
Proefschrift T.H. Delft, 1967
6. - Lange Golven -, delen I en II
C. Verspuy en M. de Vries
Afd. Civiele Techniek, T.H. Delft, 1977
7. - Een twee-dimensionale getijberekening betreffende de aanleg van een
zanddam t.b.v. de overslag van L.N.G. voor de kust van
Voorne-Putten -
A.M. Burger, afstudeerdeelontwerp Vloeistofmechanica,
T.H. Delft, 1979
8. - Afsluiting Gat van de Hawk -, delen 1 t/m 4-
Modelonderzoek M 1242
Waterloopkundig Laboratorium, 1974
9. - Een twee-dimensionale getij-berekening ter bepaling van de gevolgen
van de aanleg van een zanddam in de Noordzee ten behoeve van de
aanlanding van LNG en LPG -
D.M.A. Schaap, afstudeerdeelontwerp vakgroep Vloeistofmechanica
T.H. Delft, 1980.
10. - Morfologische aspecten van het Slufterdamproject -
S.J. Poel, afstudeerverslag vakgroep Kust - Waterbouwkunde,
T.H. Delft, 1984
11. - Aanvullend onderzoek extreme omstandigheden eindsituatie Europoort -
Modelonderzoek M 1418, dln. 1 t/m 4
Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1977

12. - Afvoergegevens noordelijk Deltabekken -
Rijkswaterstaat, nota nr. 11-003.03, dir. Waterhuishouding en
Waterbeweging, district zuidwest, 1976
13. - Getijmeting Doorgangslicht -
Peilschalen september 1975
Scheurhaven, Beerkanaal, 8e Petroleumhaven, Mississippihaven
Gemeentewerken Rotterdam, afd. I-7, 1975
14. - Tidal computations in rivers and coastal waters -
J.J. Dronkers
North-Holland Publ. Cie., Amsterdam, 1964

BIJLAGEN

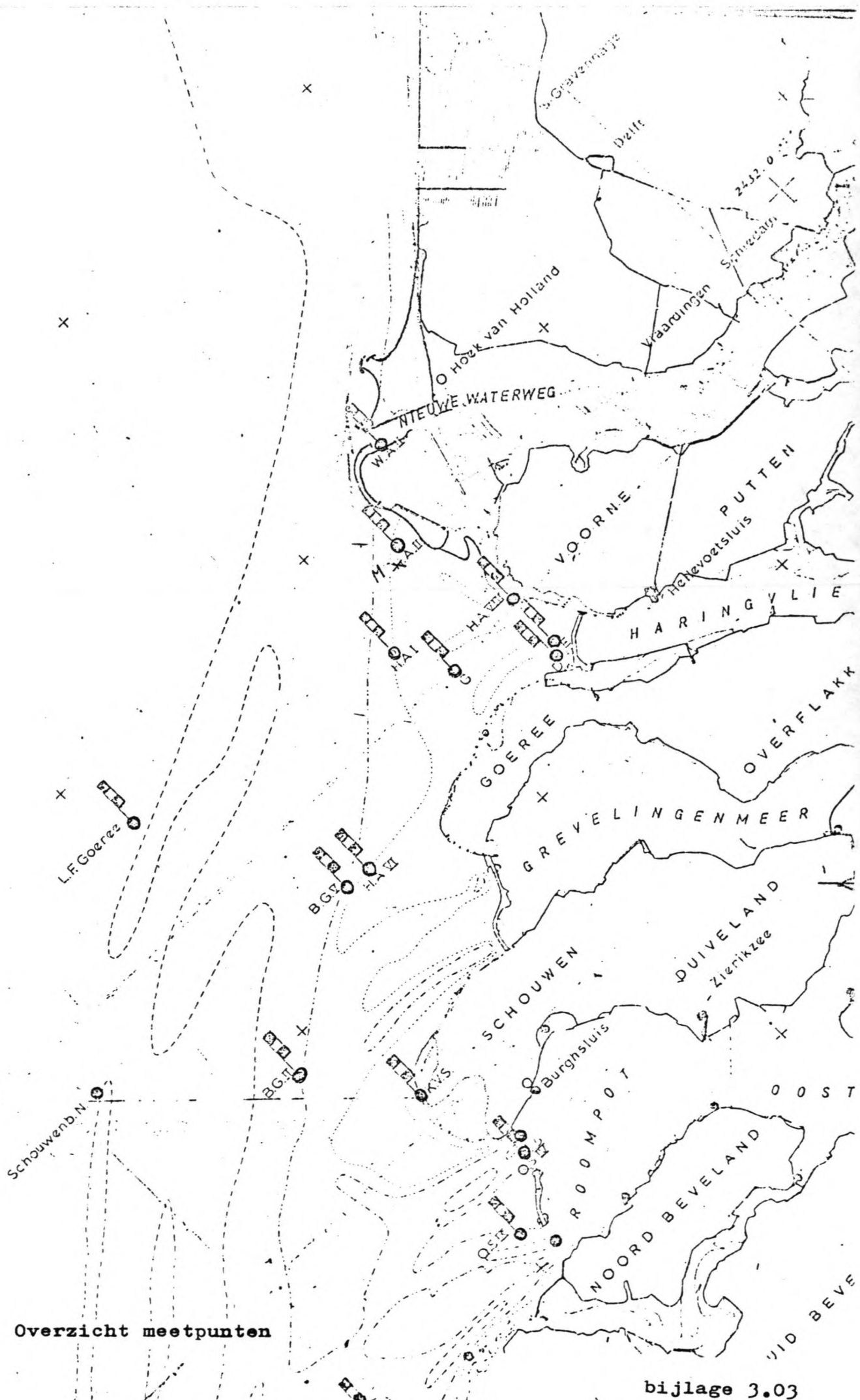
(x, y)	M_0 $T = \infty$	M_1 $T = 25 \mu$		M_2 $T = 12,5 \mu$		M_4 $T = 6,25 \mu$	
	C_0	C_1	ψ_1	C_2	ψ_2	C_4	ψ_4
1, 1	- 12	8	353	54	309	14	239
4, 1	- 12	8	353	57	310	15	240
7, 1	- 13	8	353	60	311	16	242
10, 1	- 13	9	353	63	312	16	243
13, 1	- 14	9	352	66	312	17	244
16, 1	- 14	9	351	70	312	17	245
18, 1	- 15	9	350	72	311	18	245
1, 4	- 12	8	355	55	306	14	237
1, 7	- 12	9	355	57	303	14	235
1, 10	- 12	9	356	58	299	13	233
1, 13	- 12	9	355	60	295	13	231
1, 16	- 12	9	355	61	292	12	229
1, 19	- 12	9	353	63	288	12	227
1, 22	- 12	10	350	65	285	12	224
1, 25	- 12	10	347	67	283	12	221
1, 28	- 13	10	348	70	280	11	217
1, 31	- 13	10	351	74	277	11	212
1, 34	- 14	10	353	79	274	10	207
4, 34	- 14	10	352	82	276	11	208
7, 34	- 14	11	351	82	277	11	209
10, 34	- 15	11	349	92	279	12	209
13, 34	- 16	11	349	96	280	12	209
16, 34	- 16	11	348	99	282	13	209
18, 34	- 17	11	348	101	283	13	208

Randvoorwaarde basismodel
in Harmonische Komponenten

$$A_k = c_k \cos \varphi_k \quad , \quad B_k = c_k \sin \varphi_k$$

(x, y)	A ₀	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₄	B ₄
1, 1	- 0,12	0,079	- 0,0097	0,340	- 0,420	- 0,072	- 0,120
4, 1	- 0,12	0,079	- 0,0097	0,366	- 0,437	- 0,075	- 0,130
7, 1	- 0,13	0,079	- 0,0097	0,394	- 0,453	- 0,075	- 0,141
10, 1	- 0,13	0,089	- 0,0109	0,421	- 0,468	- 0,073	- 0,143
13, 1	- 0,14	0,089	- 0,0125	0,442	- 0,490	- 0,076	- 0,153
16, 1	- 0,14	0,089	- 0,0141	0,468	- 0,520	- 0,072	- 0,154
18, 1	- 0,15	0,089	- 0,0156	0,472	- 0,543	- 0,076	- 0,163
1, 4	- 0,12	0,080	- 0,0070	0,323	- 0,445	- 0,076	- 0,117
1, 7	- 0,12	0,090	- 0,0078	0,370	- 0,478	- 0,080	- 0,115
1, 10	- 0,12	0,090	- 0,0063	0,281	- 0,507	- 0,078	- 0,104
1, 13	- 0,12	0,090	- 0,0078	0,254	- 0,544	- 0,082	- 0,101
1, 16	- 0,12	0,090	- 0,0078	0,228	- 0,566	- 0,079	- 0,091
1, 19	- 0,12	0,089	- 0,0109	0,195	- 0,599	- 0,082	- 0,088
1, 22	- 0,12	0,098	- 0,0174	0,168	- 0,628	- 0,086	- 0,083
1, 25	- 0,12	0,097	- 0,0225	0,151	- 0,653	- 0,091	- 0,079
1, 28	- 0,13	0,098	- 0,0208	0,122	- 0,689	- 0,088	- 0,066
1, 31	- 0,13	0,099	- 0,0156	0,090	- 0,734	- 0,093	- 0,058
1, 34	- 0,14	0,099	- 0,0122	0,055	- 0,788	- 0,089	- 0,045
4, 34	- 0,14	0,099	- 0,0139	0,086	- 0,815	- 0,097	- 0,052
7, 34	- 0,14	0,109	- 0,0172	0,100	- 0,814	- 0,096	- 0,053
10, 34	- 0,15	0,108	- 0,0210	0,144	- 0,809	- 0,105	- 0,058
13, 34	- 0,16	0,108	- 0,0210	0,166	- 0,845	- 0,105	- 0,058
16, 34	- 0,16	0,108	- 0,0299	0,206	- 0,968	- 0,114	- 0,064
18, 34	- 0,17	0,108	- 0,0299	0,227	- 0,984	- 0,115	- 0,064

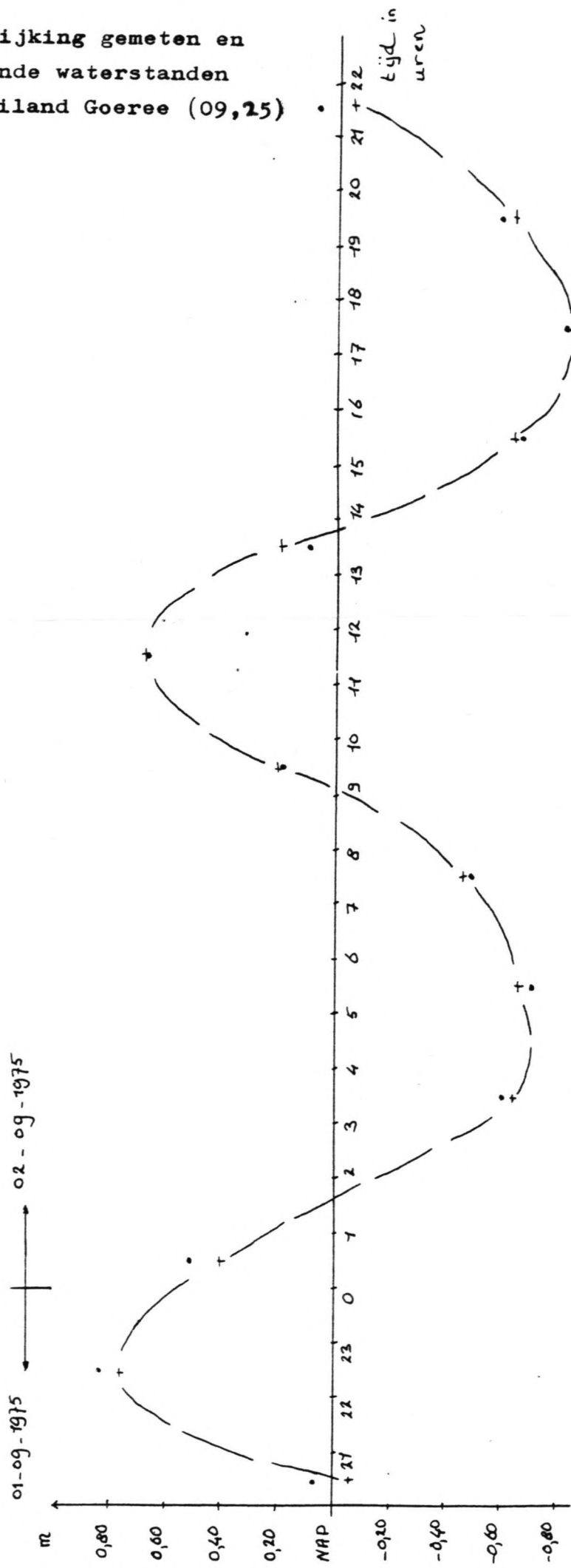
Randvoorwaarde basismodel
in Fourier-Komponenten



Overzicht meetpunten

Lichteiland Goeree (9,25), vergelijking berekende en gemeten waterstanden

Vergelijking gemeten en berekende waterstanden lichteiland Goeree (09,25)

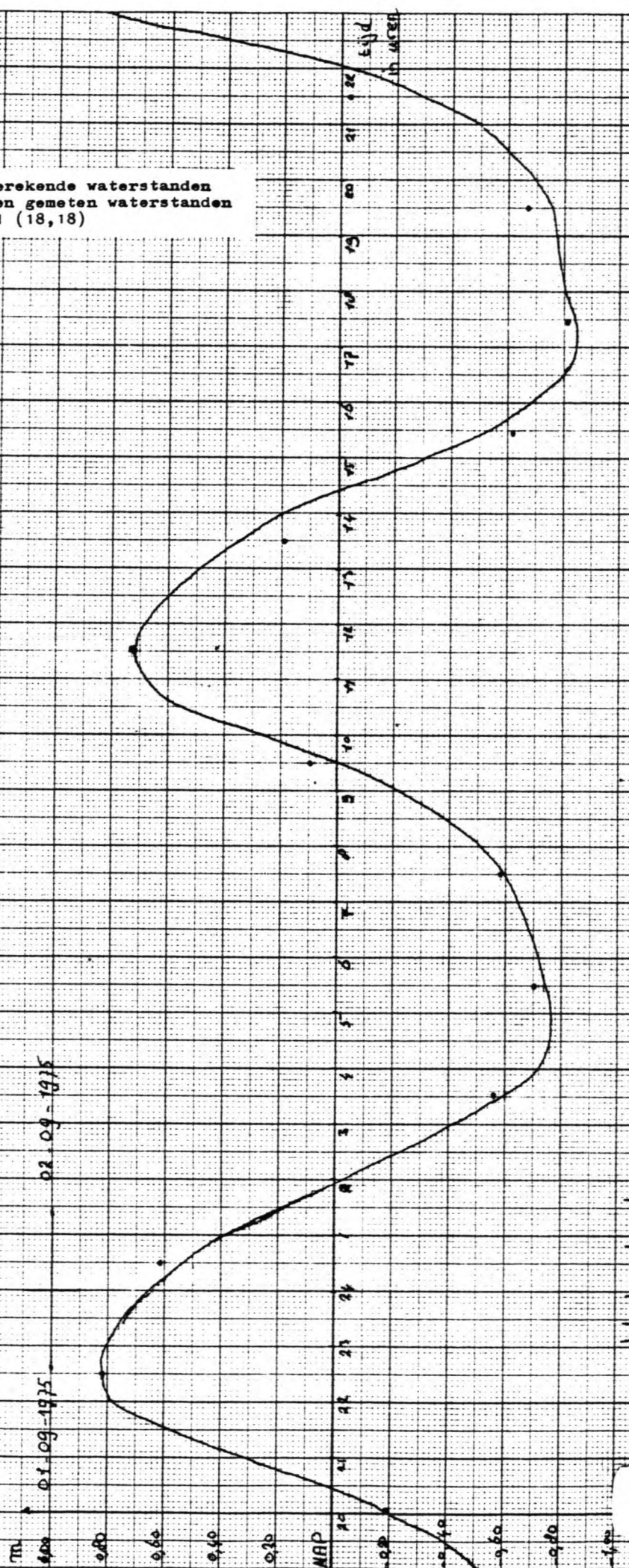


Waterstanden

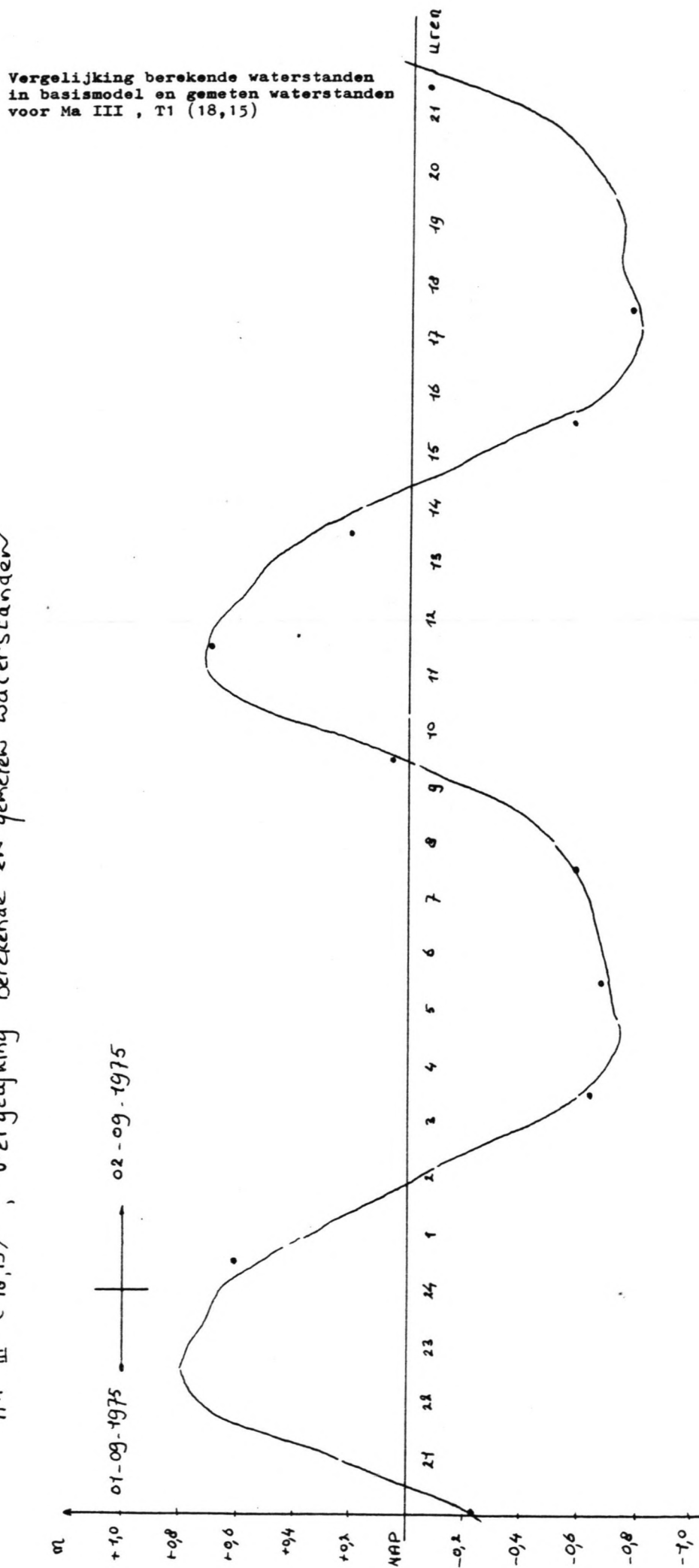
+ gemeten R.W.S.
• berekend T.H.

Vergelijking berekende waterstanden
in basismodel en gemeten waterstanden
voor H.A. I, T1 (18,18)

H.A. I (18,18), vergelijking berekende en gemeten waterstanden



HA III (18,15) ; vergelijking berekende en gemeten waterstanden

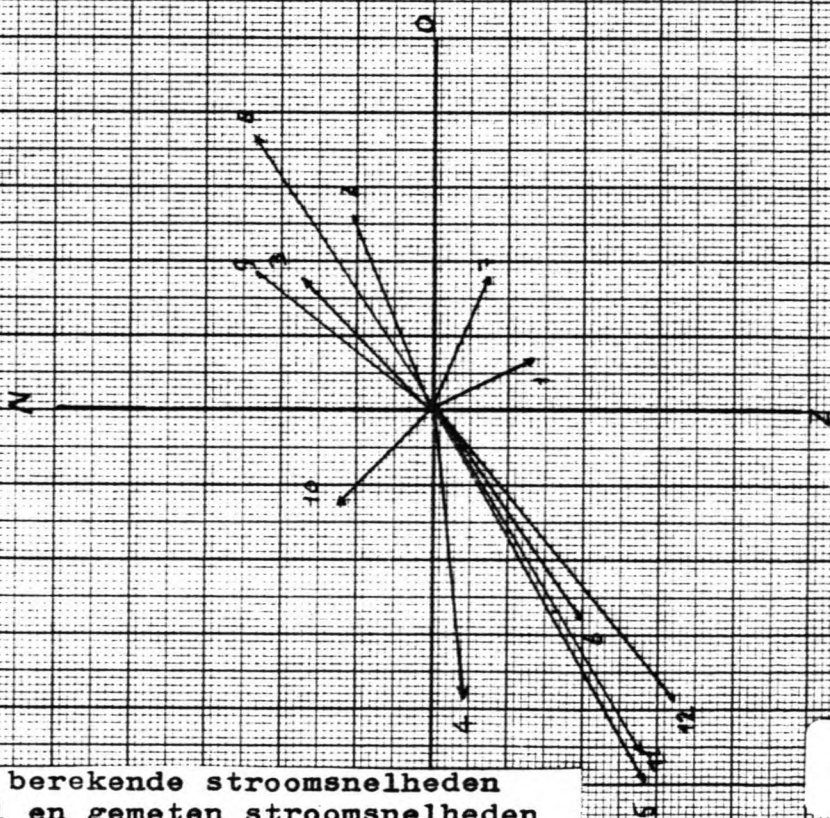


— gemeten waterstand RWS

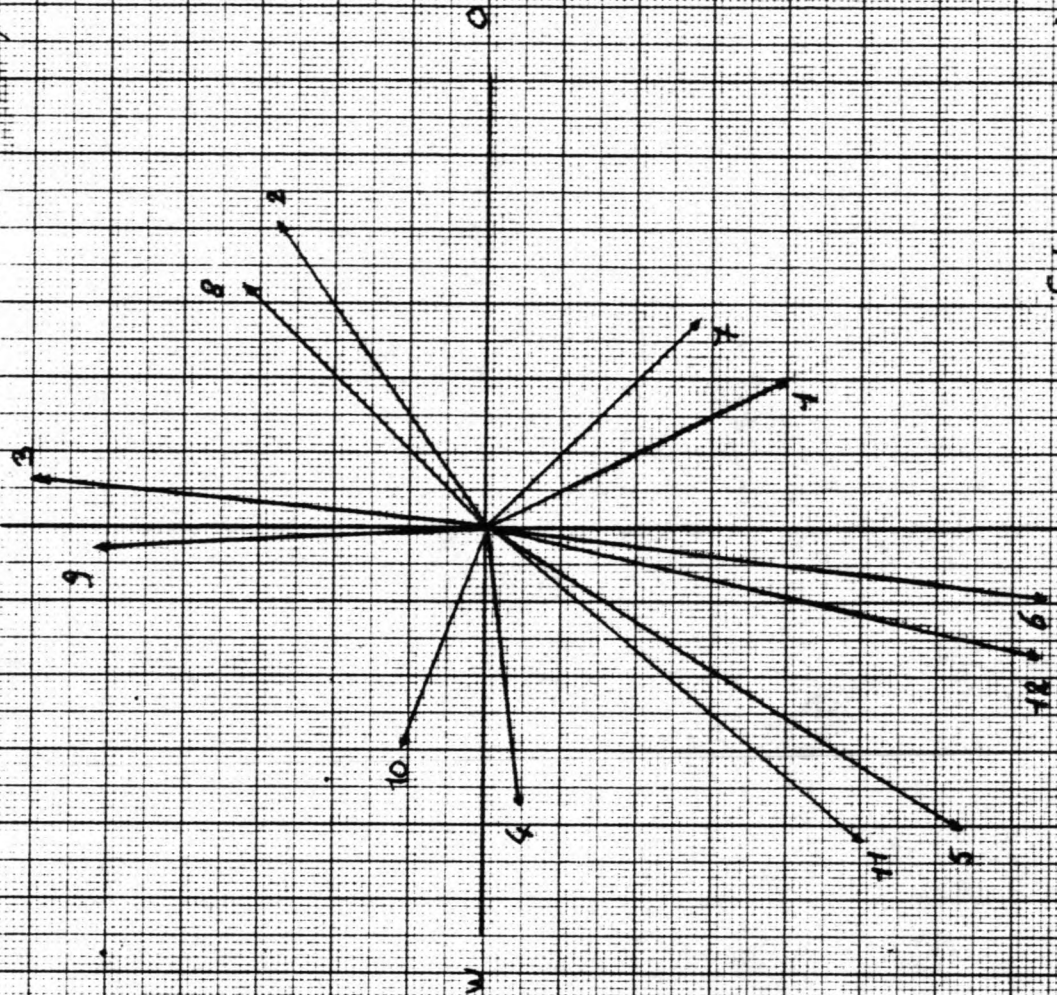
• berekende waterstand T1

B.G. II (14,33)

Rechtstreekse natuurmeting



Rechtstreekse
T_{1,8} berekening
met bouwfout



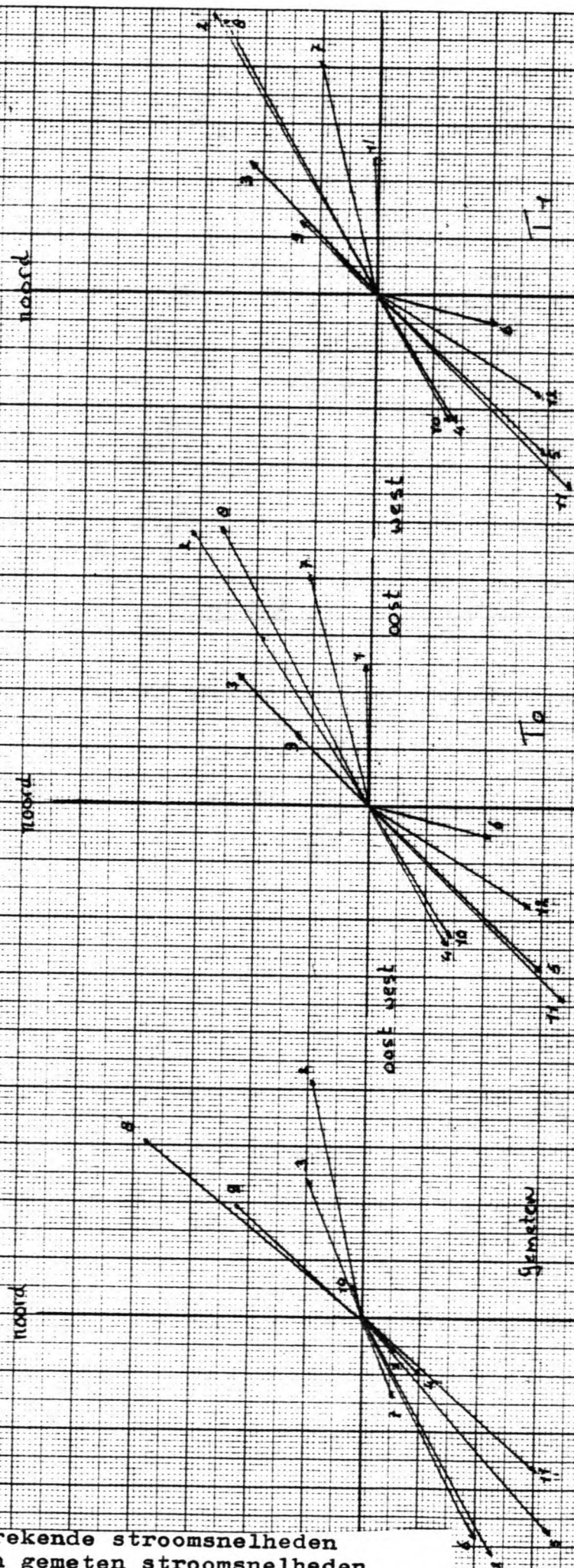
Stroomsnelheden
schaal: 1cm = 0.1 m/s

Vergelijking berekende stroomsnelheden
in basismodel en gemeten stroomsnelheden
voor B.G.II, T₁(14,33) schaal 1cm $\hat{=}$ 19cm/sec

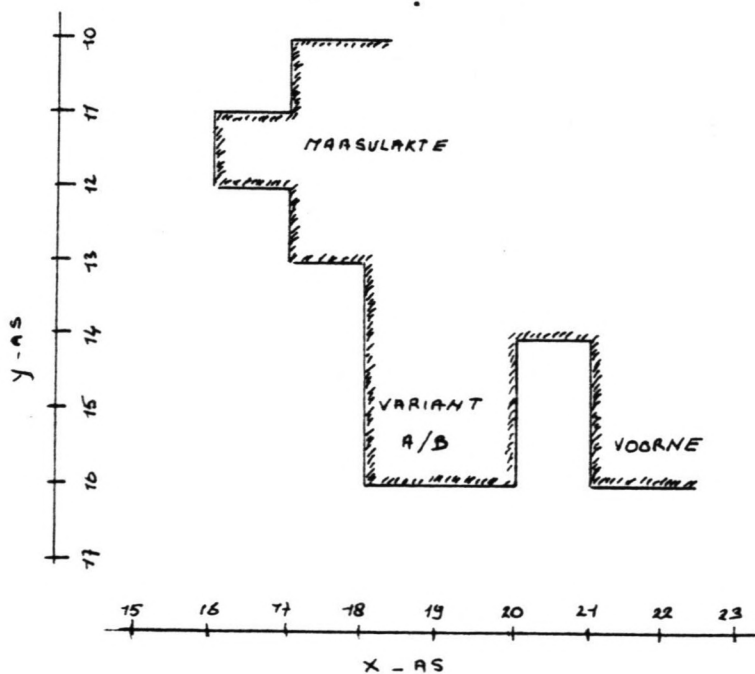
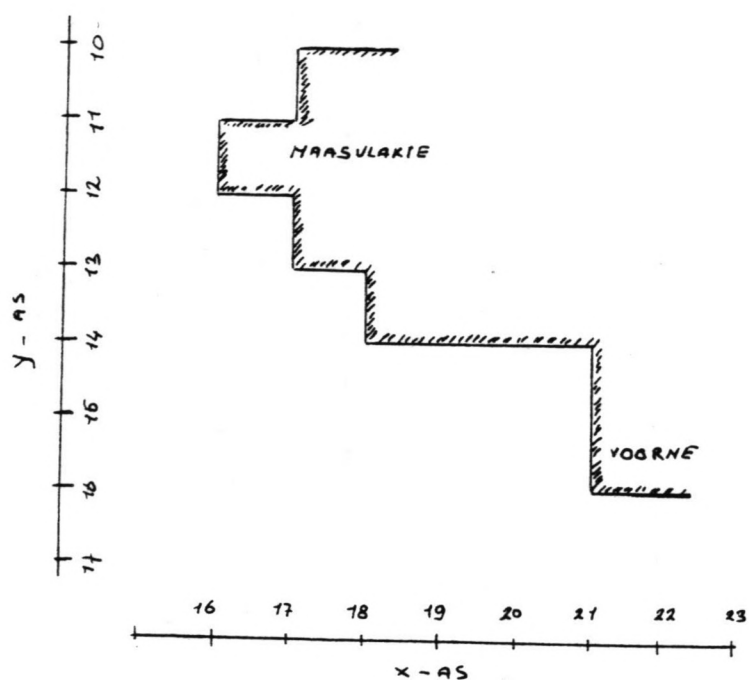
bijlage 3.07

Meetpunt C, (13,4) vergelijking gemeten en berekende stroomsnelheden

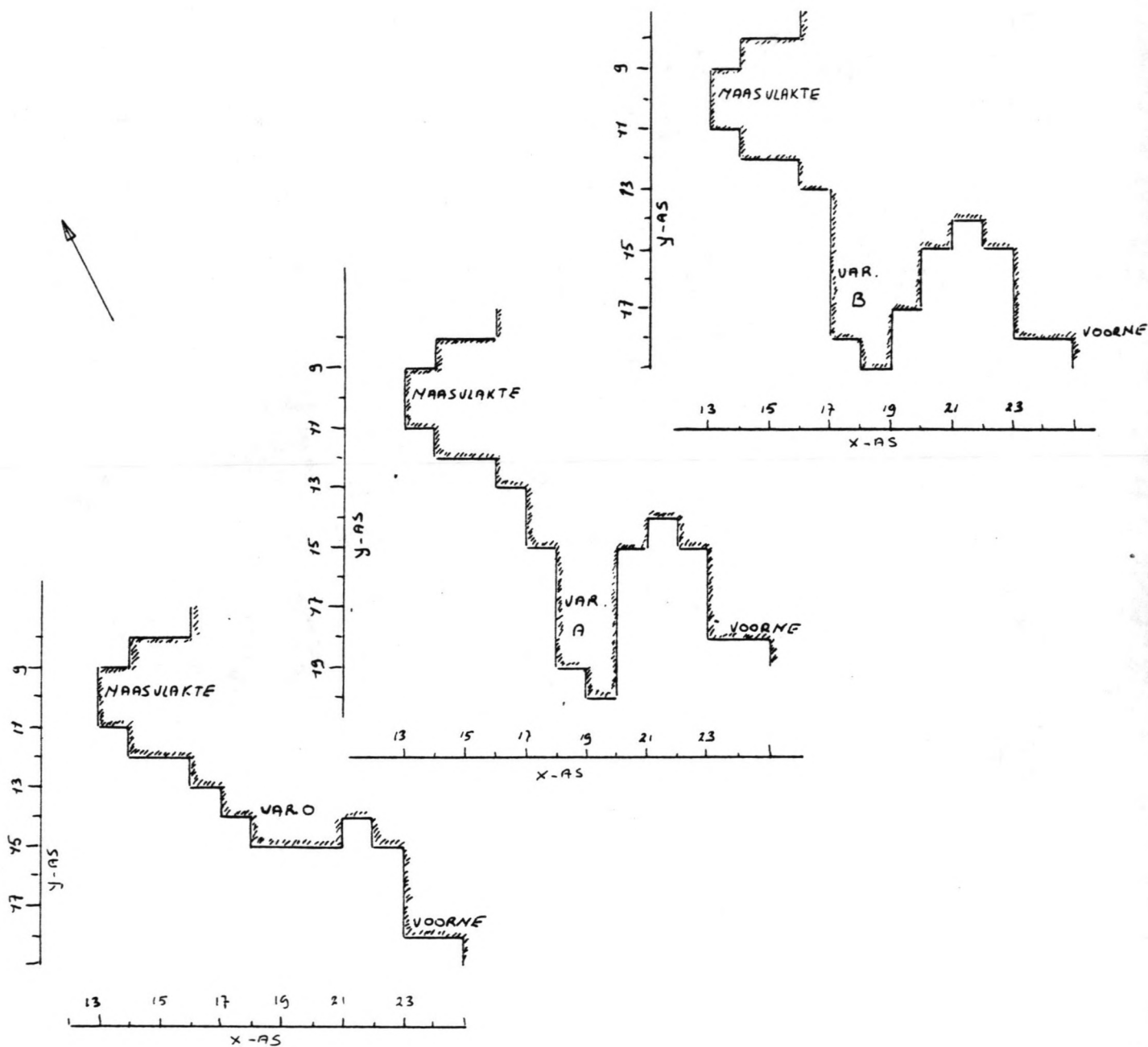
schaal 1 cm $\hat{=}$ 10 cm/sec.



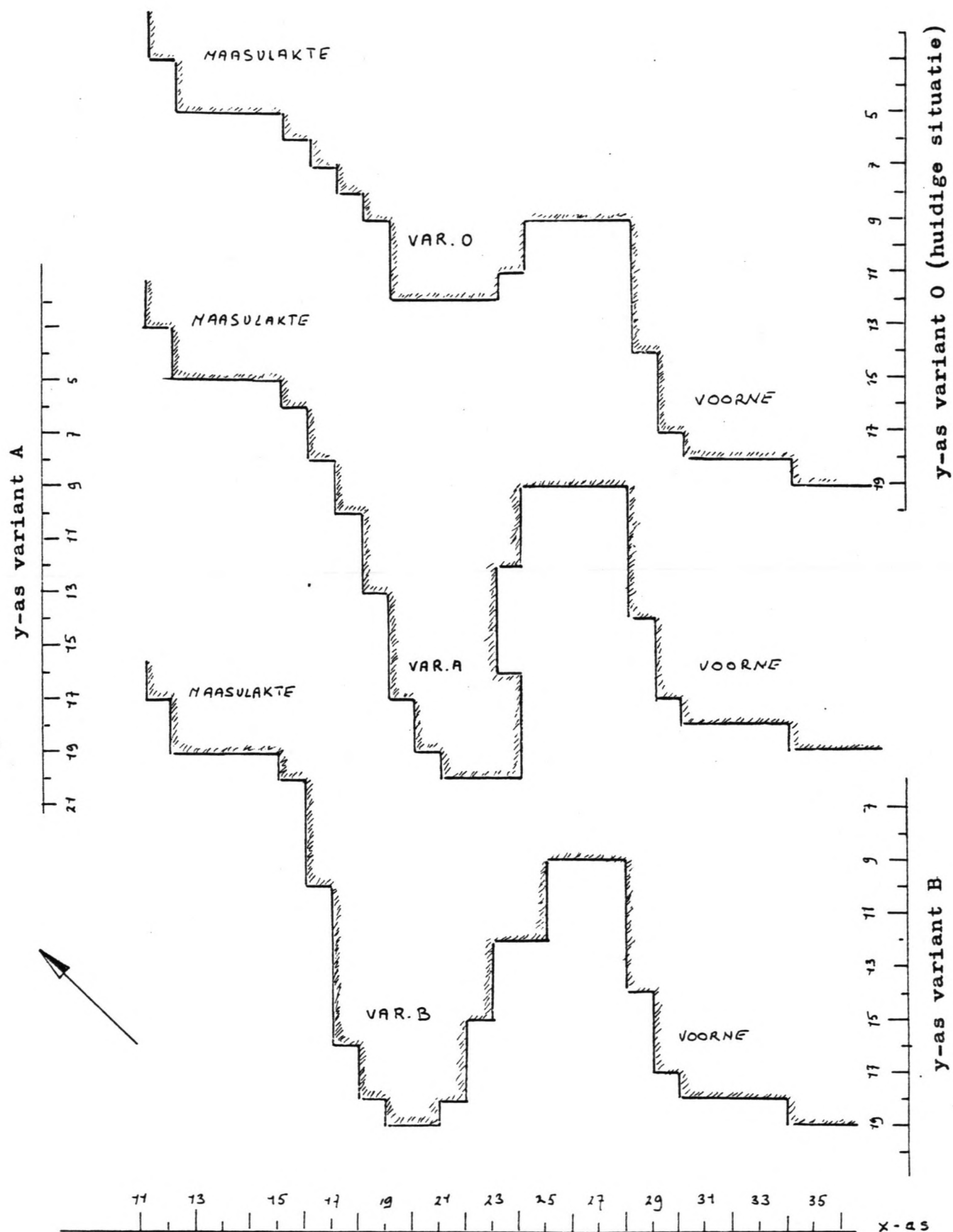
Gemeten



Schematisatie van de varianten
in model T2



Schematisatie van de varianten
in model T3



Schematisatie van de varianten
in model T4

Vergelijking waterstanden op rand van T₄-model voor uitkomsten T₁ en T₃; waterstanden in cm t.o.v. NAP.

tijd	punt T ₃ (9,11), T ₁ (14,12)		punt T ₃ (11,10), T ₁ (15,11)	
93.600	- 20		- 19	
97.200	- 47	- 47	- 47	- 47
100.800	- 59		- 60	
104.400	- 63	- 63	- 64	- 64
108.000	- 64		- 65	
111.600	- 58	- 59	- 59	- 60
115.200	- 38		- 39	
118.800	0	0	0	0
122.400	41		40	
126.000	64	64	64	65
129.600	57		58	
133.200	23	23	24	24
136.800	- 19		- 18	
140.400	- 53	- 52	- 53	- 53
144.000	- 69		- 70	
147.600	- 72	- 73	- 73	- 74
151.200	- 70		- 71	
154.800	- 64	- 65	- 65	- 66
158.400	- 47		- 48	
162.000	- 13	- 13	- 13	- 13
165.600	33		32	
169.200	70	71	70	71
172.800	81		82	
176.400	61	62	62	62
180.000	20		21	

Vergelijking berekende waterstanden in T₁ en T₃ model ter plaatse van de rand van T₄ model

Vergelijking waterstand en snelheden voor zelfde punt in twee modellen berekend; H in cm tov NAP, u en v in cm/sec.

punt $T_{3,0}(21,19)$ en punt $T_{4,0}(25,19)$.

tijdstip	H_{T3}	H_{T4}	U_{T3}	U_{T4}	V_{T3}	V_{T4}	
g3600	-24	-23	-5	-6	7	8	
	-55	-55	1	-1	10	10	diepte $T_{3,0}(21,19)$
	-69	-69	6	2	11	11	$y \times$ 20 21 22
	-72	-72	7	3	9	10	18 30 36 30
	-70	-70	6	3	6	7	19 30 41 42
	-62	-62	5	3	2	3	20 28 41 32
	-36	-36	5	3	-4	-5	
	7	7	4	2	-9	-11	
	51	52	-1	-3	-12	-15	diepte $T_{4,0}(25,19)$
	73	74	-10	-10	-13	-15	$y \times$ 24 25 26
	63	63	-14	-13	-9	-9	18 42 41 40
	24	25	-12	-11	-1	0	19 43 45 47
	-22	-21	-7	-7	6	7	20 42 40 40
	-59	-59	-1	-2	10	10	
	-80	-80	5	1	11	11	
	-84	-84	7	3	8	9	
	-79	-79	6	3	6	7	
	-70	-69	5	3	3	4	
	-48	-48	5	3	-2	-2	
	-7	-7	5	3	-8	-10	
	43	43	1	0	-11	-14	
	82	83	-7	-8	-14	-17	
	91	91	-13	-13	-13	-15	
	66	66	-15	-14	-7	-7	
780.000	20	21	-11	-11	1	2	

Vergelijking berekende waterstanden en stroomsnelheden voor een zelfde punt in model $T3(21,19)$ en model $T4(25,19)$

Vergelijking berekende waterstanden en
stroomsnelheden voor een zelfde punt
in model T3(18,19) en model T4(19,19)

Vergelyking waterstanden en snelheden voor zelfde punt in twee
modellen berekend; H in cm t.o.v. NAP, u en v in cm/sec.

punt T3,0 (18,19) en punt T4,0 (19,19)

tijdstip	H _{T3}	H _{T4}	U _{T3}	U _{T4}	V _{T3}	V _{T4}
93600	-26	-26	-17	-2	7	5
	-54	-54	0	4	16	14
	-66	-65	6	6	21	19
	-68	-68	9	7	22	20
	-67	-67	9	7	19	18
	-58	-58	11	7	14	13
	-34	-33	15	8	4	3
	7	7	14	8	-8	-10
	50	50	4	-7	-18	-19
	71	71	-9	-14	-20	-19
	59	59	-27	-20	-14	-13
	20	20	-22	-16	-5	-4
	-25	-25	-14	-5	5	3
	-60	-59	-4	3	15	12
	-77	-76	4	6	20	19
	-79	-79	9	7	23	21
	-75	-75	10	7	21	20
	-66	-66	11	7	17	16
	-45	-45	14	8	9	8
	-6	-6	16	10	-3	-4
	43	43	11	4	-16	-18
	80	80	-2	-9	-22	-22
	88	87	-16	-20	-20	-19
	62	62	-24	-22	-12	-11
	17	17	-21	-14	-2	-2

diepte T3,0(18,19)

y \ x	17	18	19
18	42	10	15
19	44	20	12
20	47	27	5

diepte T4,0(19,19)

y \ x	18	19	20
18	38	15	5
19	38	28	5
20	38	33	10

180.000

bijlage 4.06

vergelijking stroomsnelheden
 berekend in een zelfde punt
 in het T3 en het T4 model

LIJST

- 1 = 93600
- 2 = 104800
- 3 = 108000
- 4 = 115200
- 5 = 122400
- 6 = 129600

SNELHEID 55000

0 5 10 15 cm/s

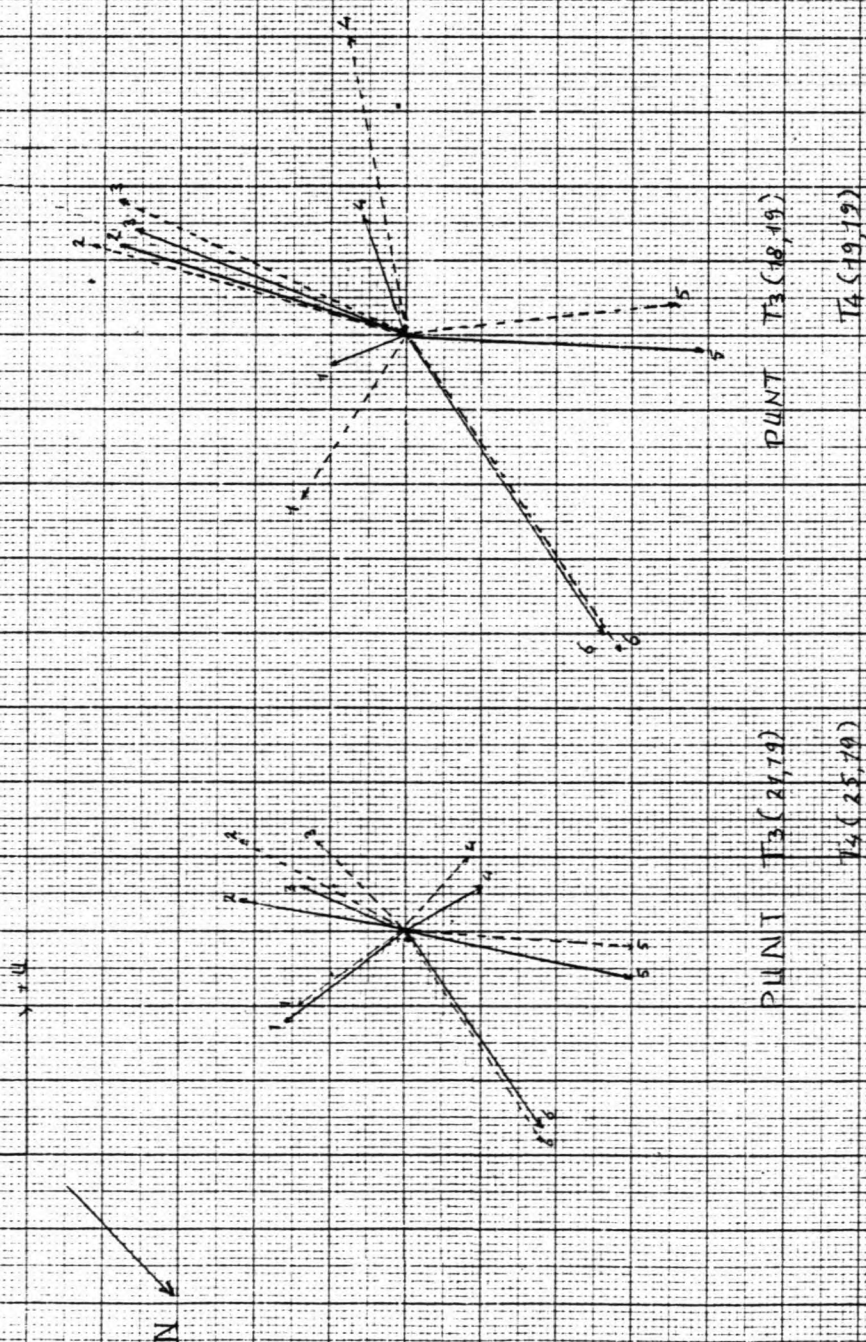
BEREKEND IN MODEL T3

BEREKEND IN MODEL T4

VERGELIJKING SNELHEIDEN BEREKEND

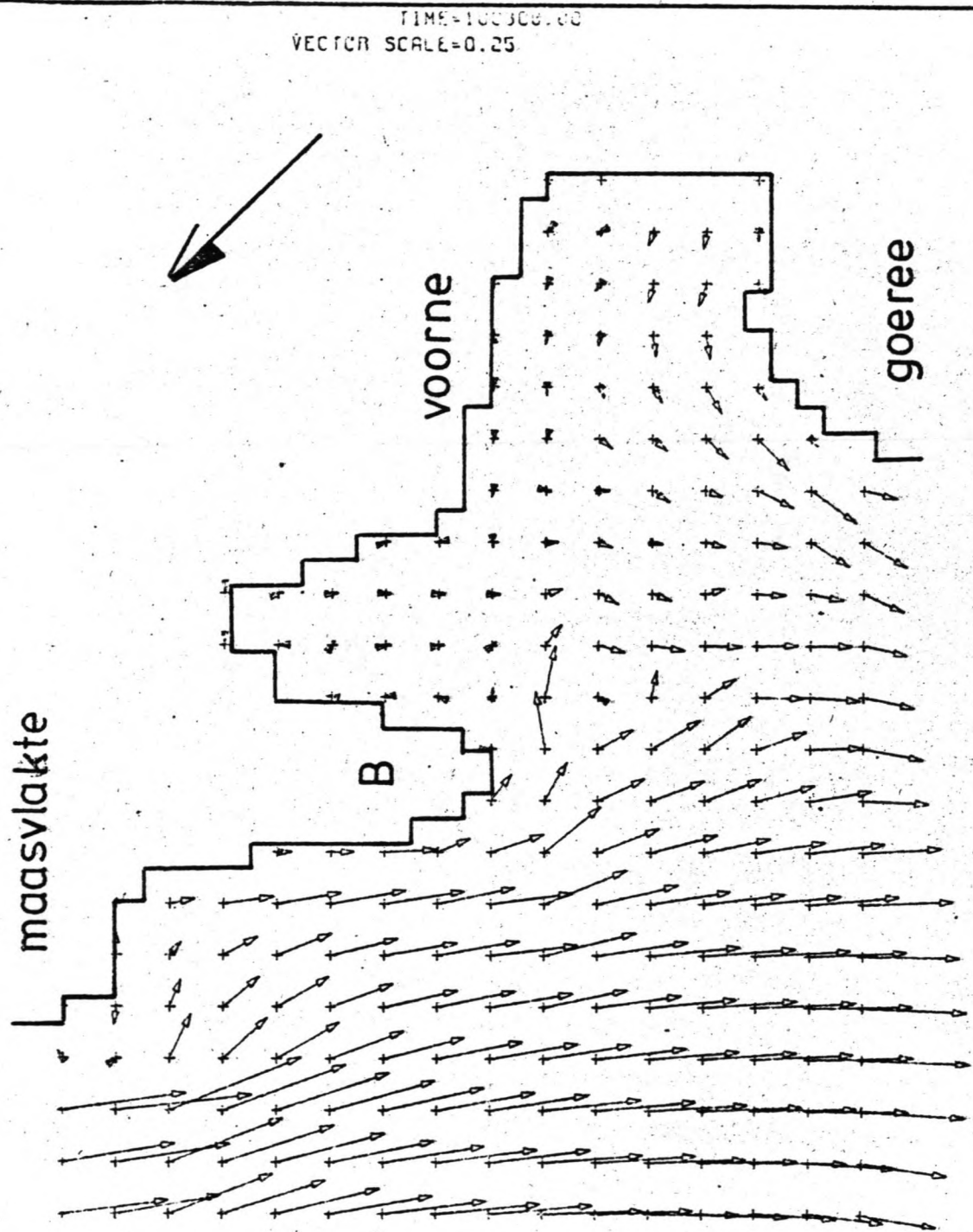
IN TWEE VERSCHILLENDE MODELEN

AL T3 EN T4-MODEL



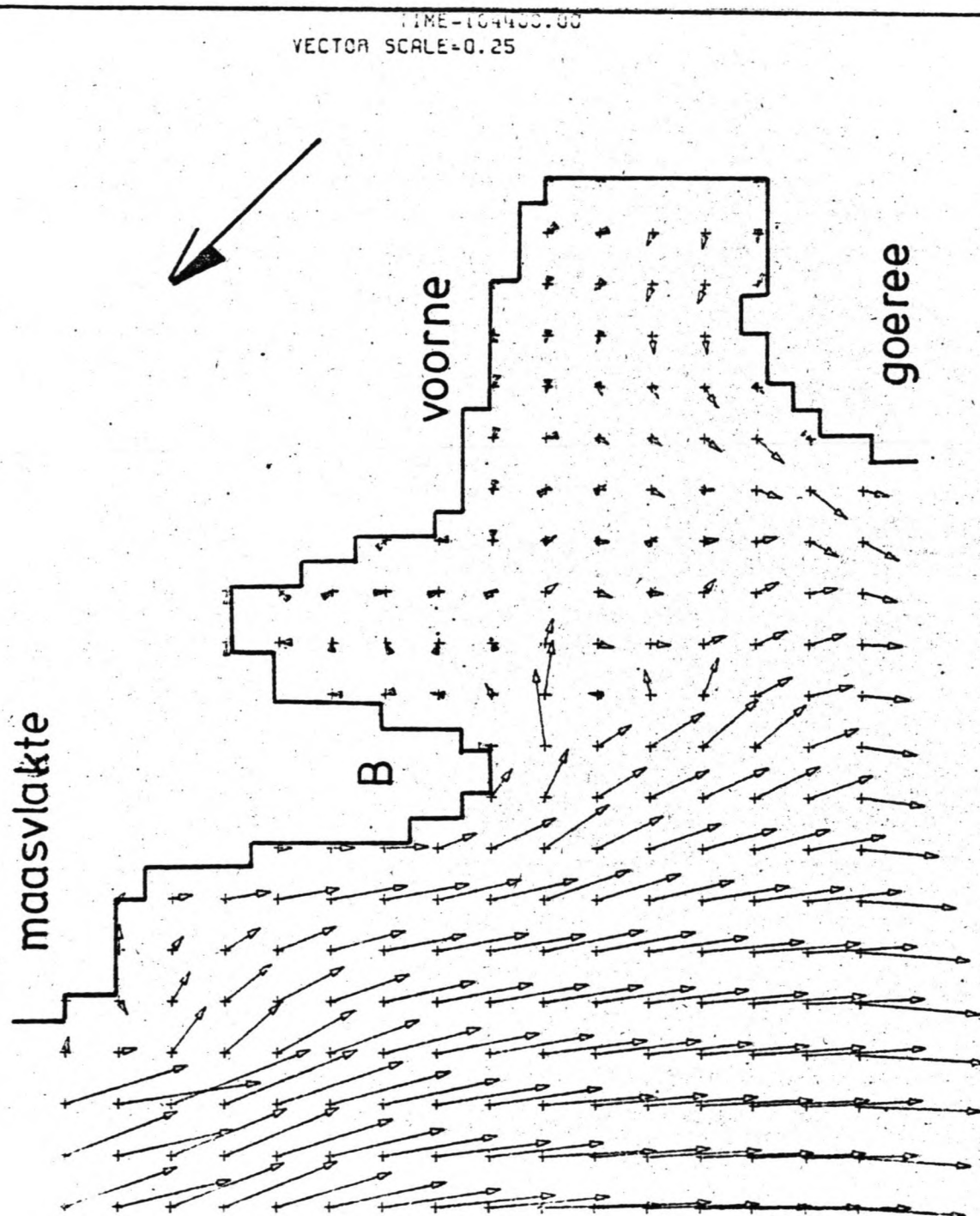
Stroomsnelheden model
HW-6 t=104.400sec

variant B



Stroomsnelheden model
HW-5 t=108.000sec

variant B



Stroomsnelheden model
HW-4 t=111.600sec

TIME-159000.00
VECTOR SCALE-0.25

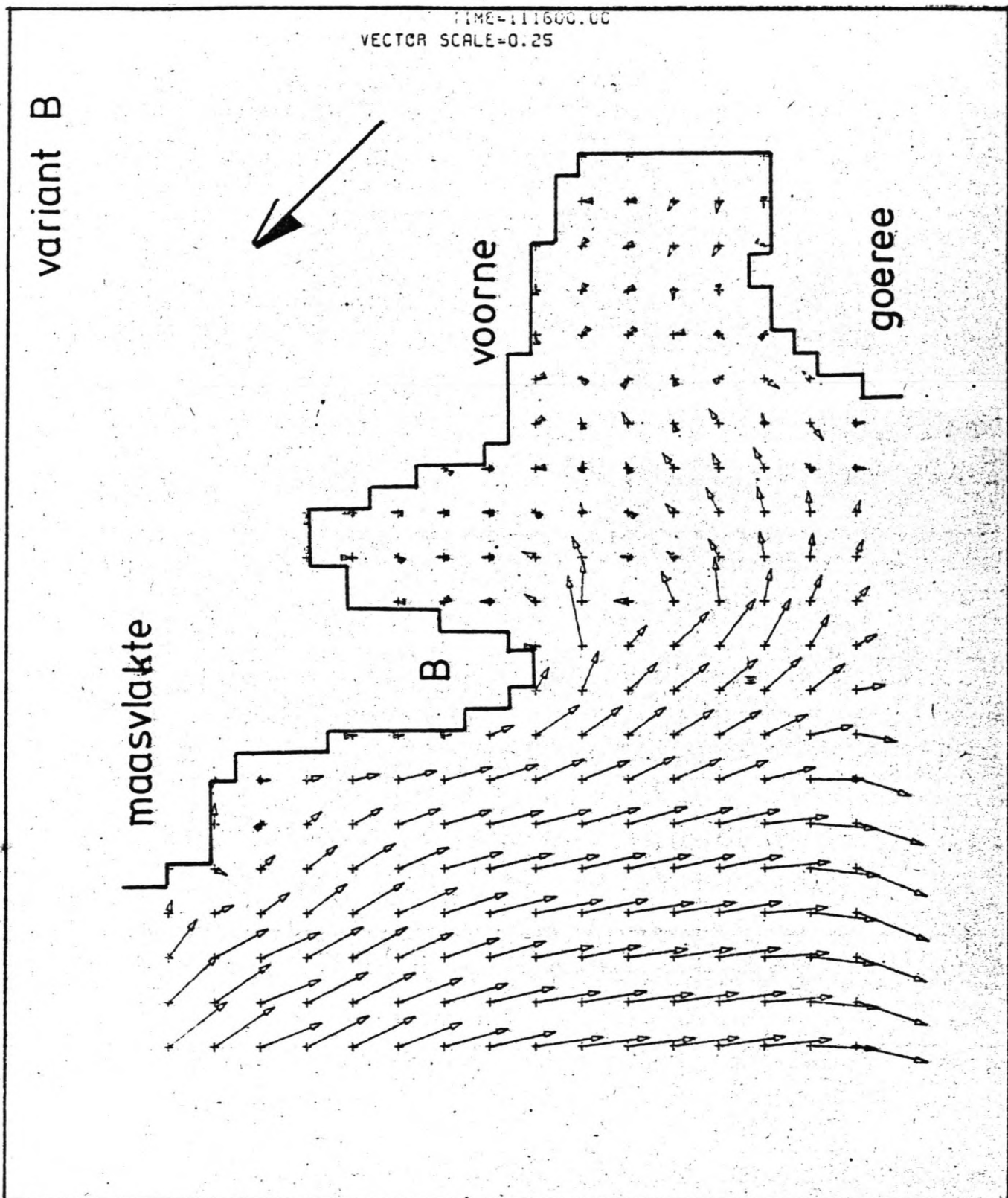
variant B

maasvlakte

voorne

goeree

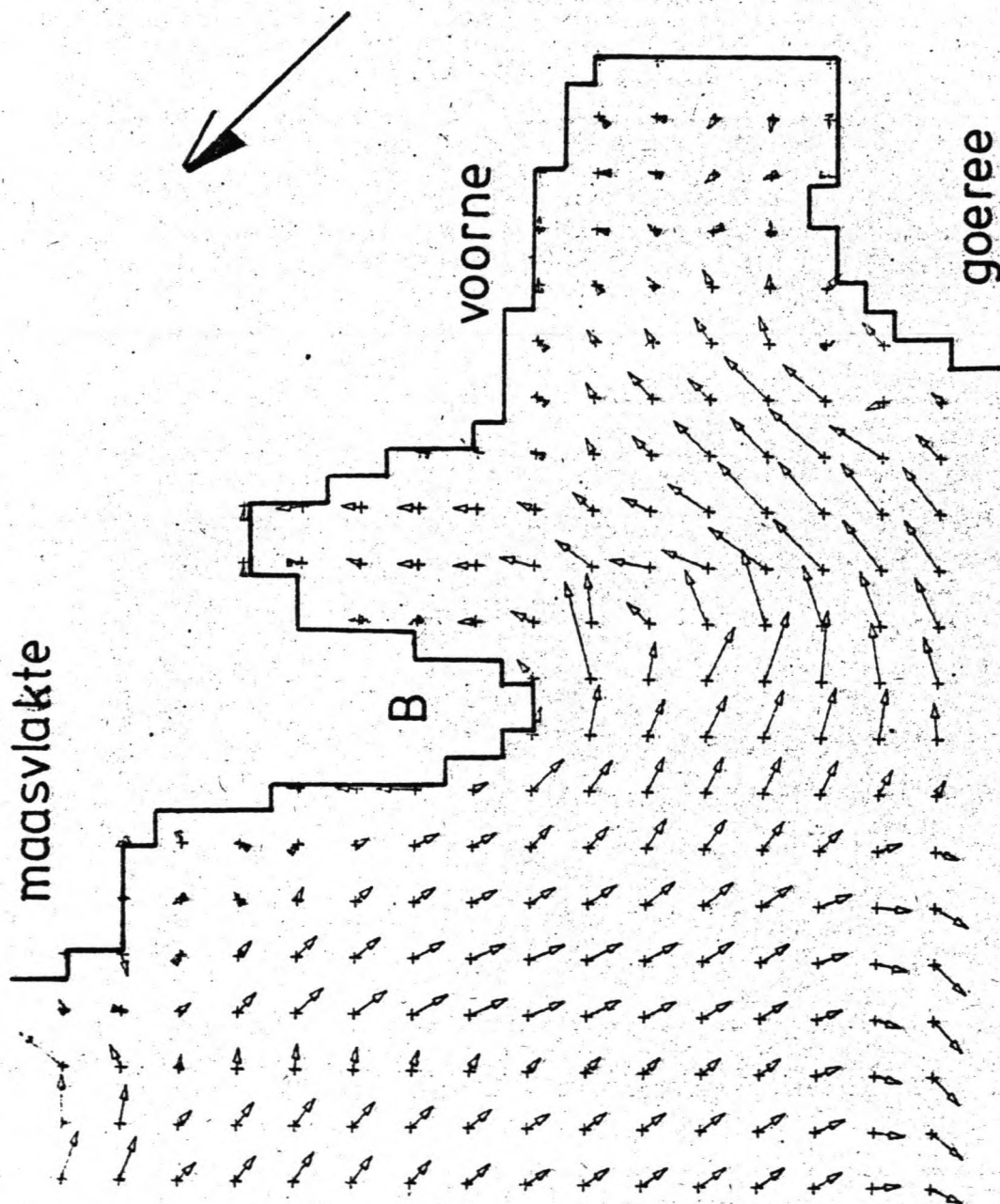
Stroomsnelheden model
HV-3 t=115.200sec



Stroomsnelheden model
HV-2 t=118.800sec

TIME=118200.00
VECTOR SCALE=0.25

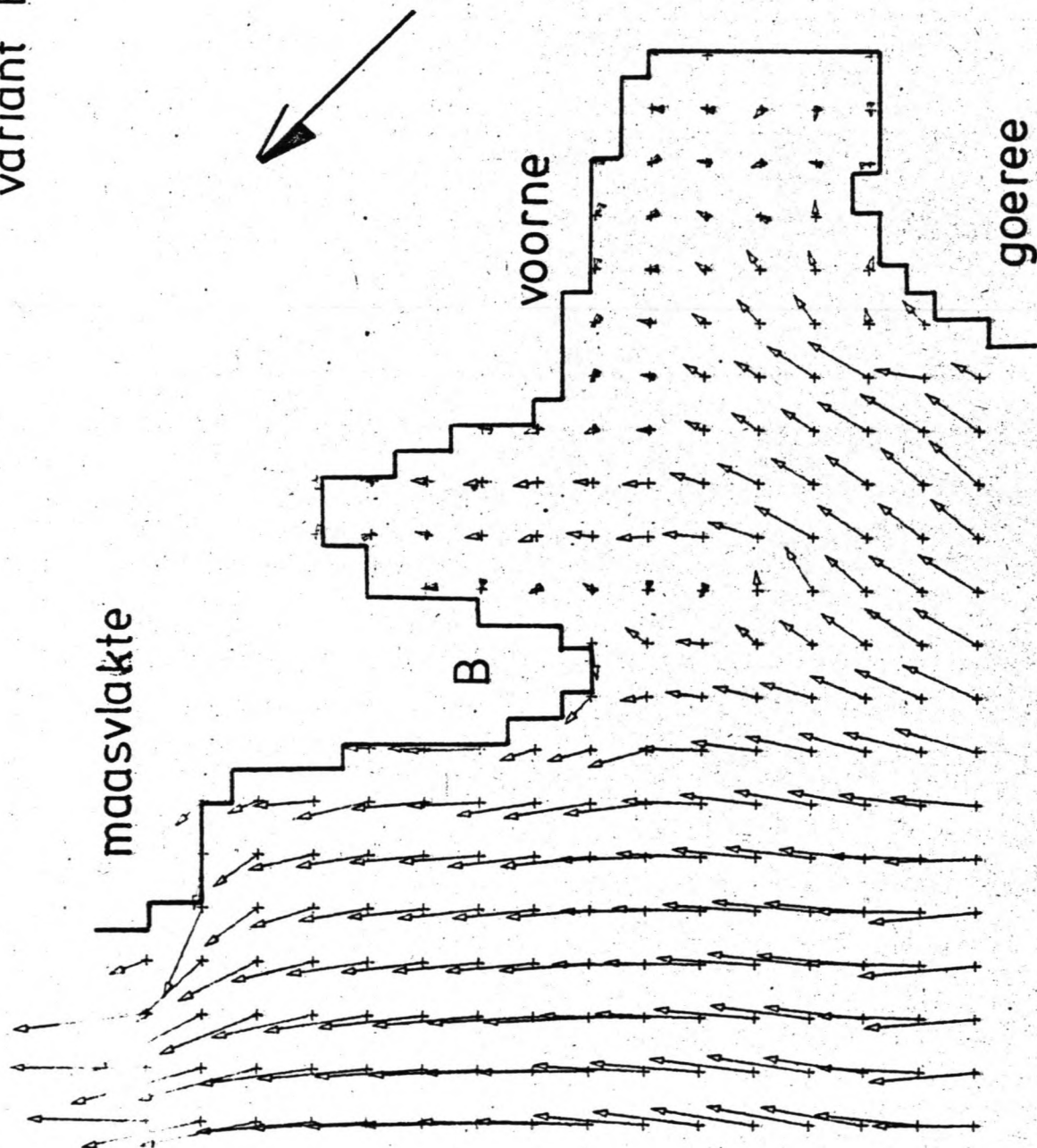
variant B



Stroomsnelheden model
HW-1 t=122.400sec

TIME=122400.00
VECTOR SCALE=0.25

variant B

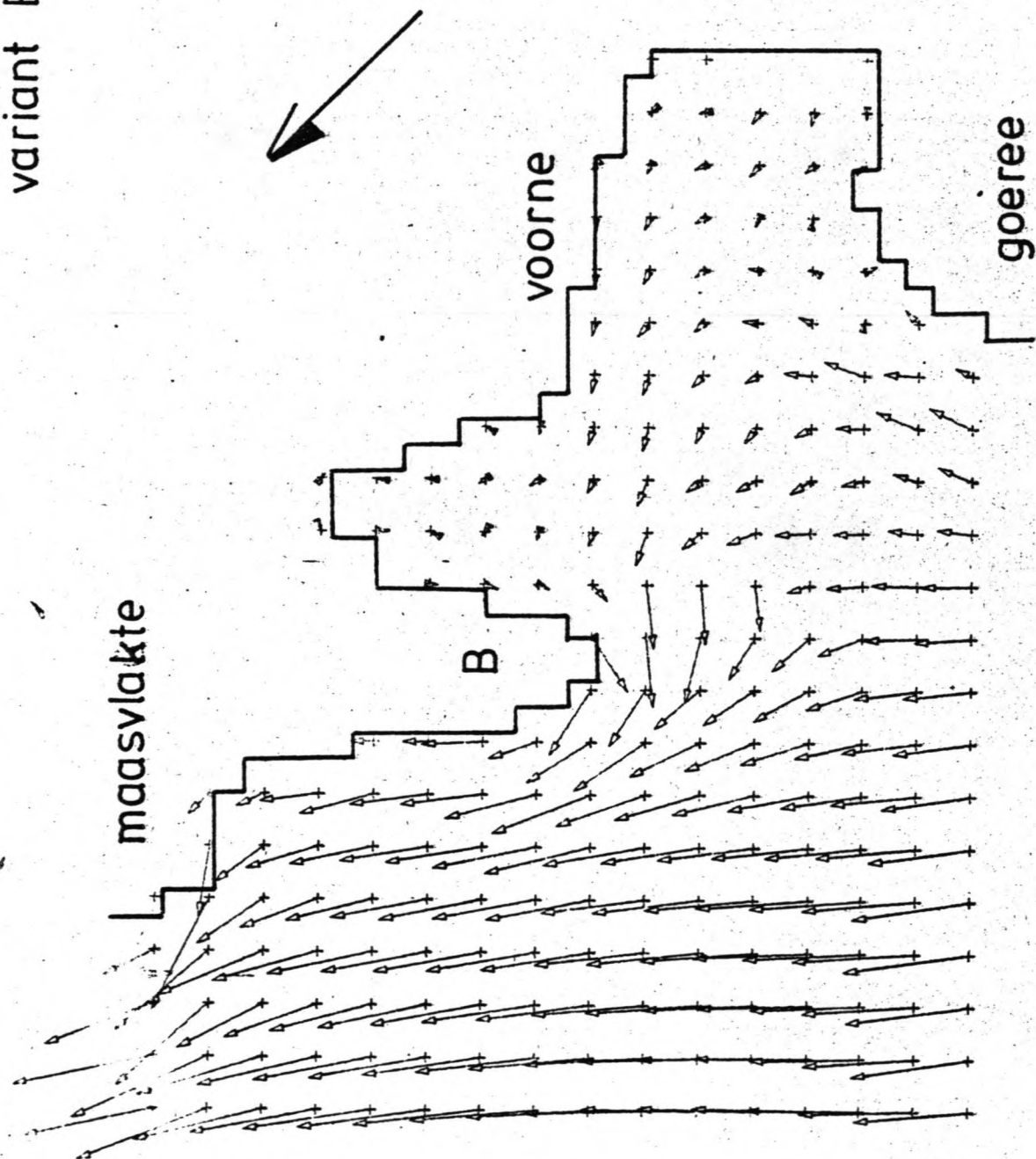


T-Axis 400

Stroomsnelheden model
HW t=126.000sec

TIME=126000.00
VECTOR SCALE=0.25

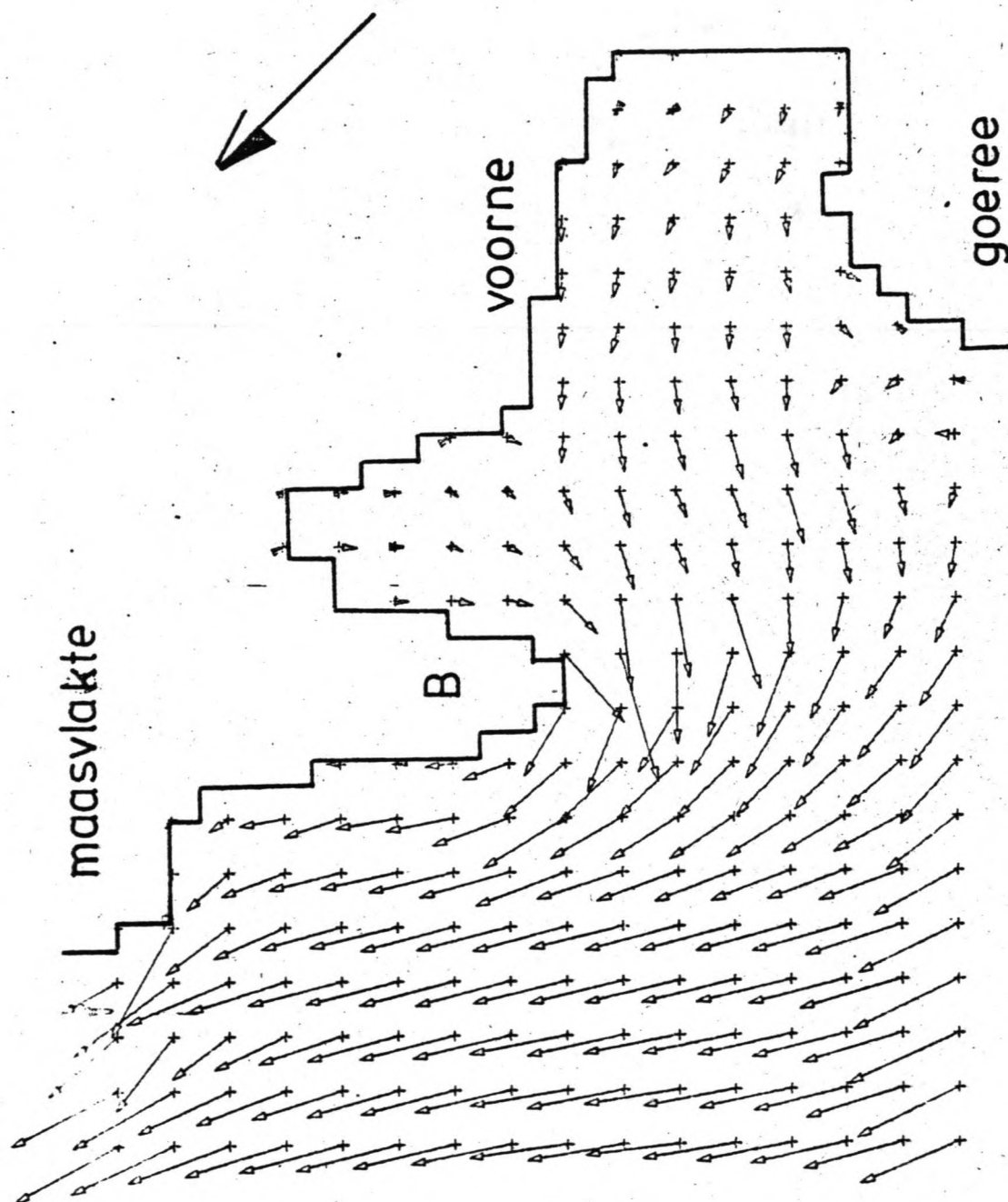
variant B



Stroomsnelheden model
HW+1 t=129.600sec

TIME=129.600.00
VECTOR SCALE=0.25

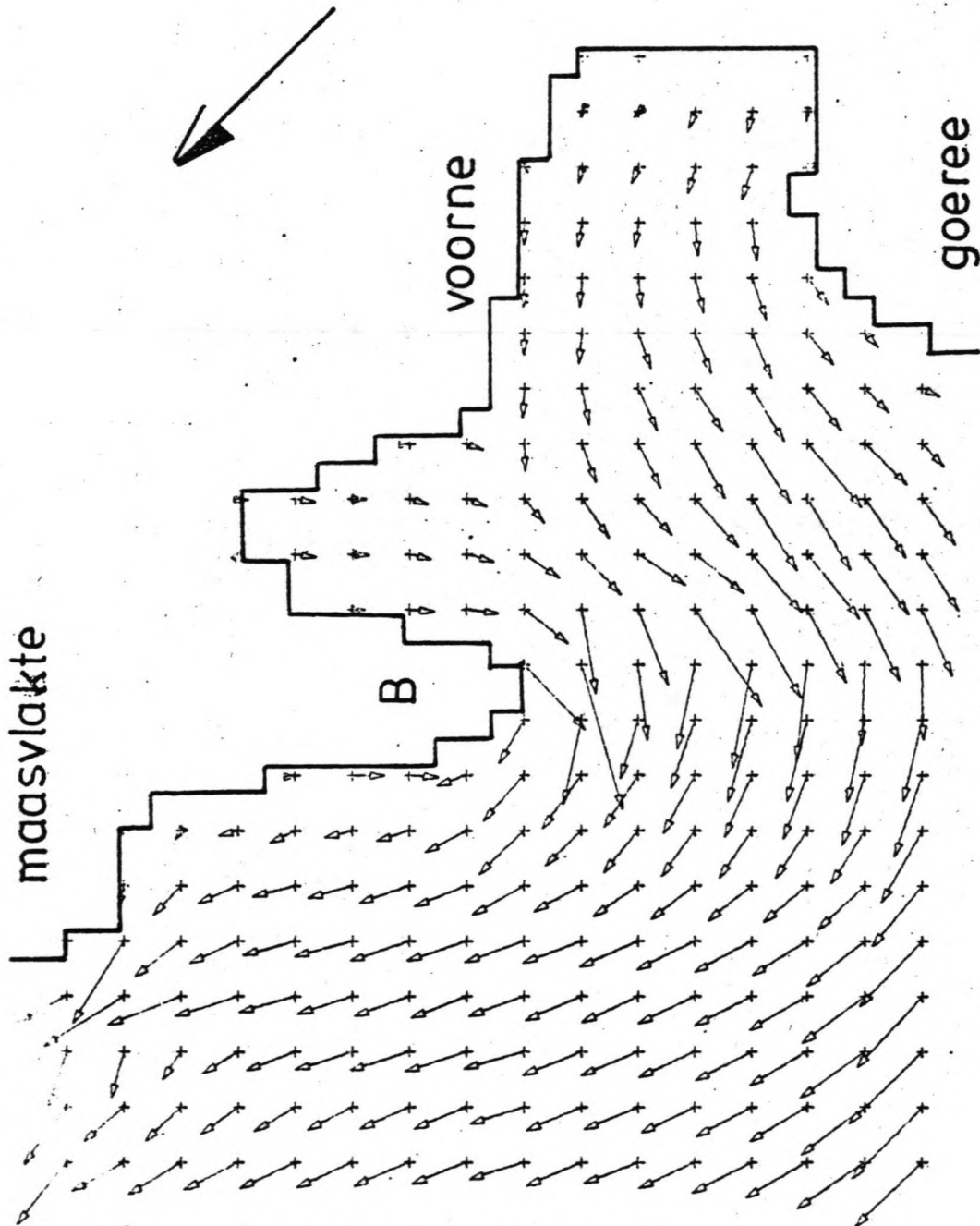
variant B



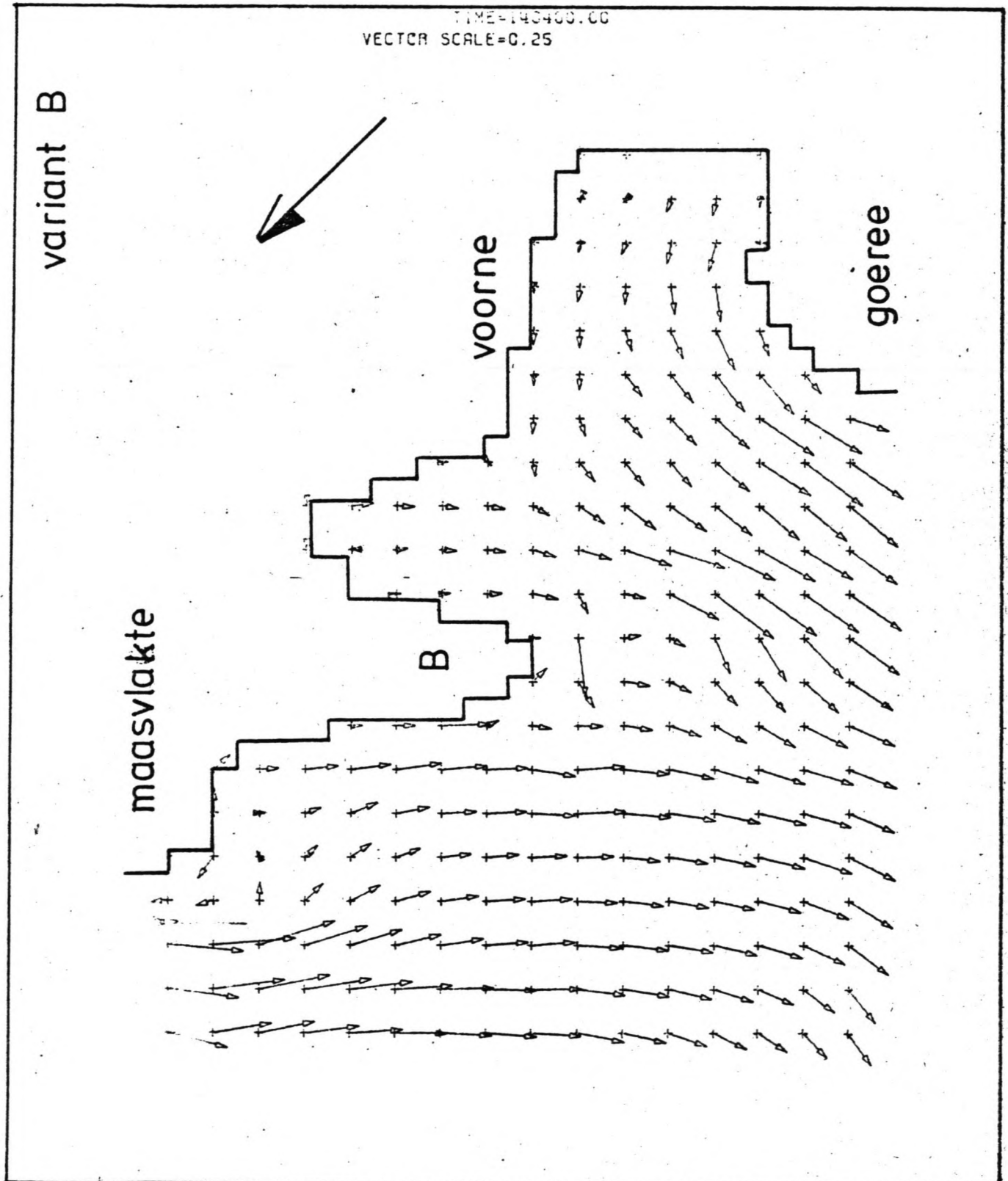
Stroomsnelheden model
HW+2 t=133.200sec

TIME=133200.00
VECTOR SCALE=0.25

variant B



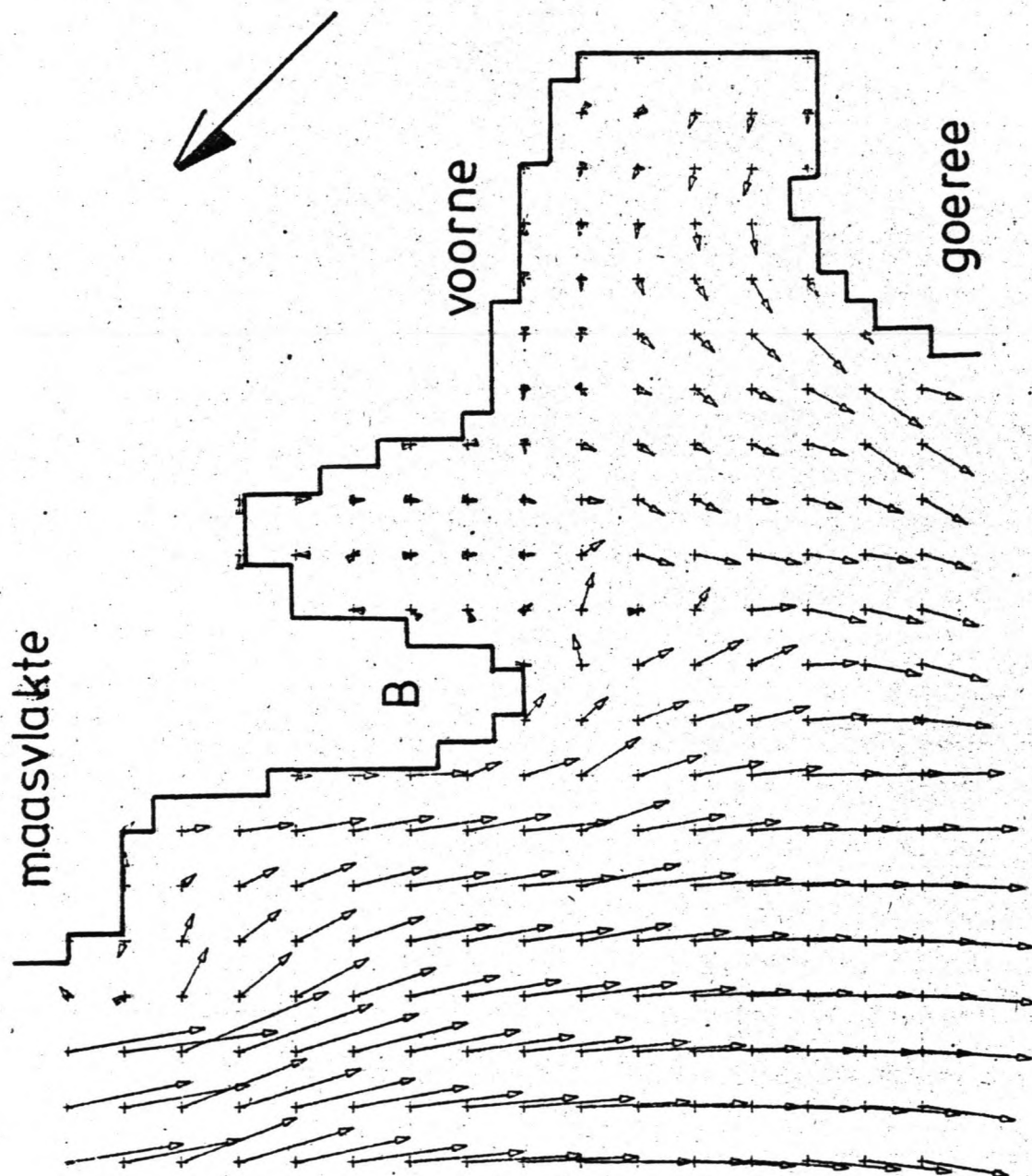
Stroomsnelheden model
HW+3 t=136.800sec



Stroomsnelheden model
HW+4 t=140.400sec

TIME=144000.00
VECTOR SCALE=0.25

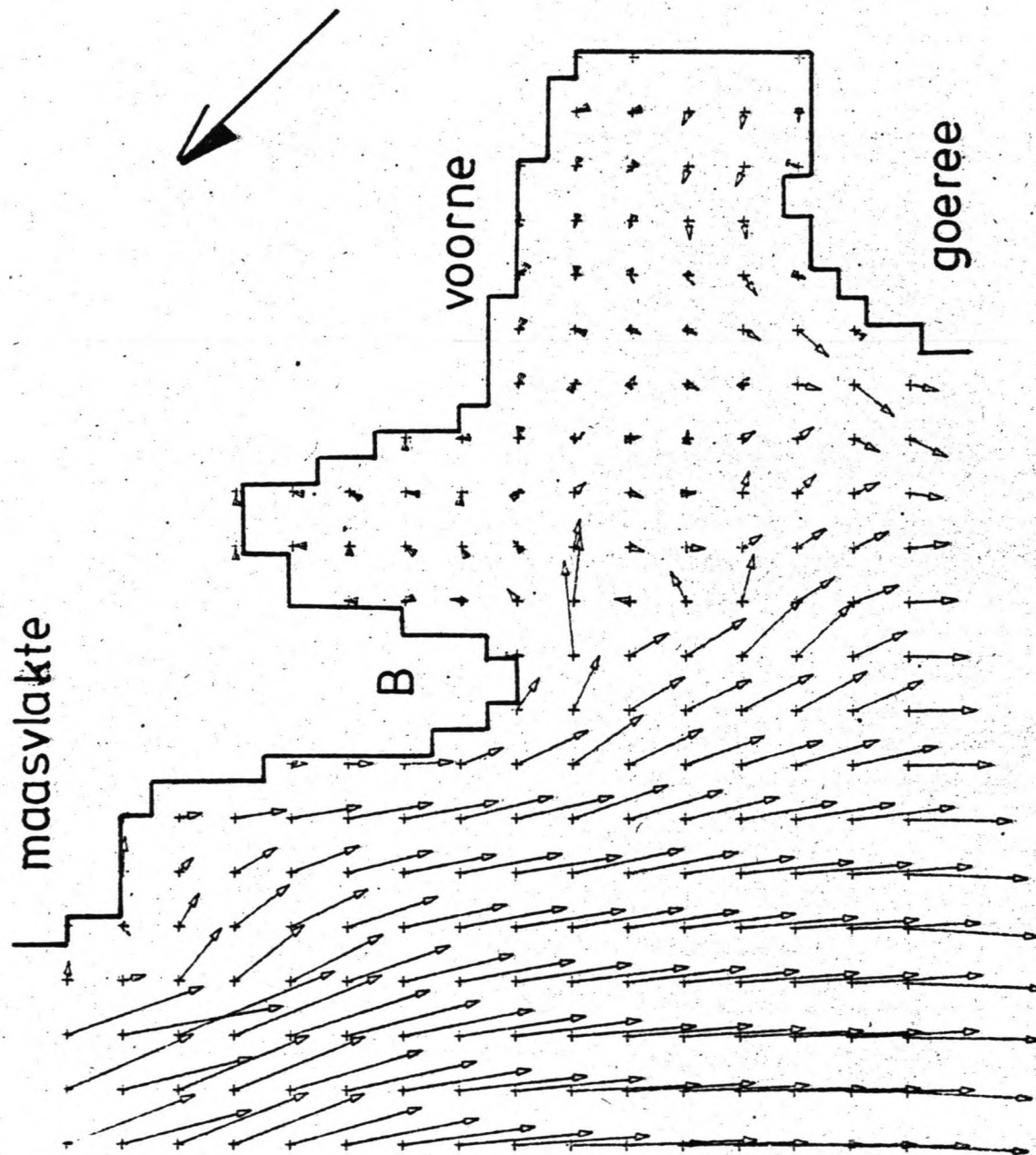
variant B



Stroomsnelheden model
HW+5 t=144.000sec

TIME=147600.00
VECTOR SCALE=0.25

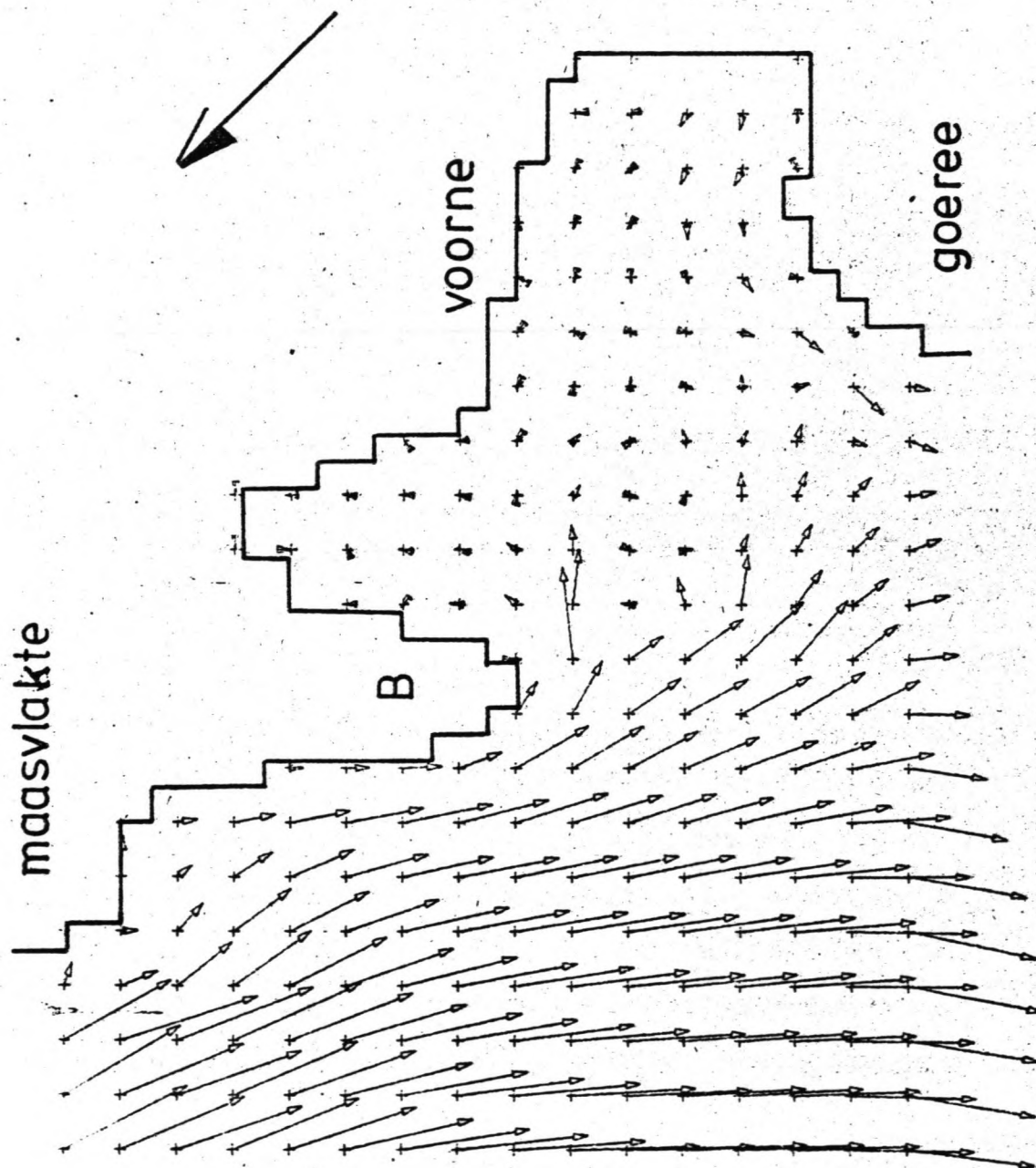
variant B

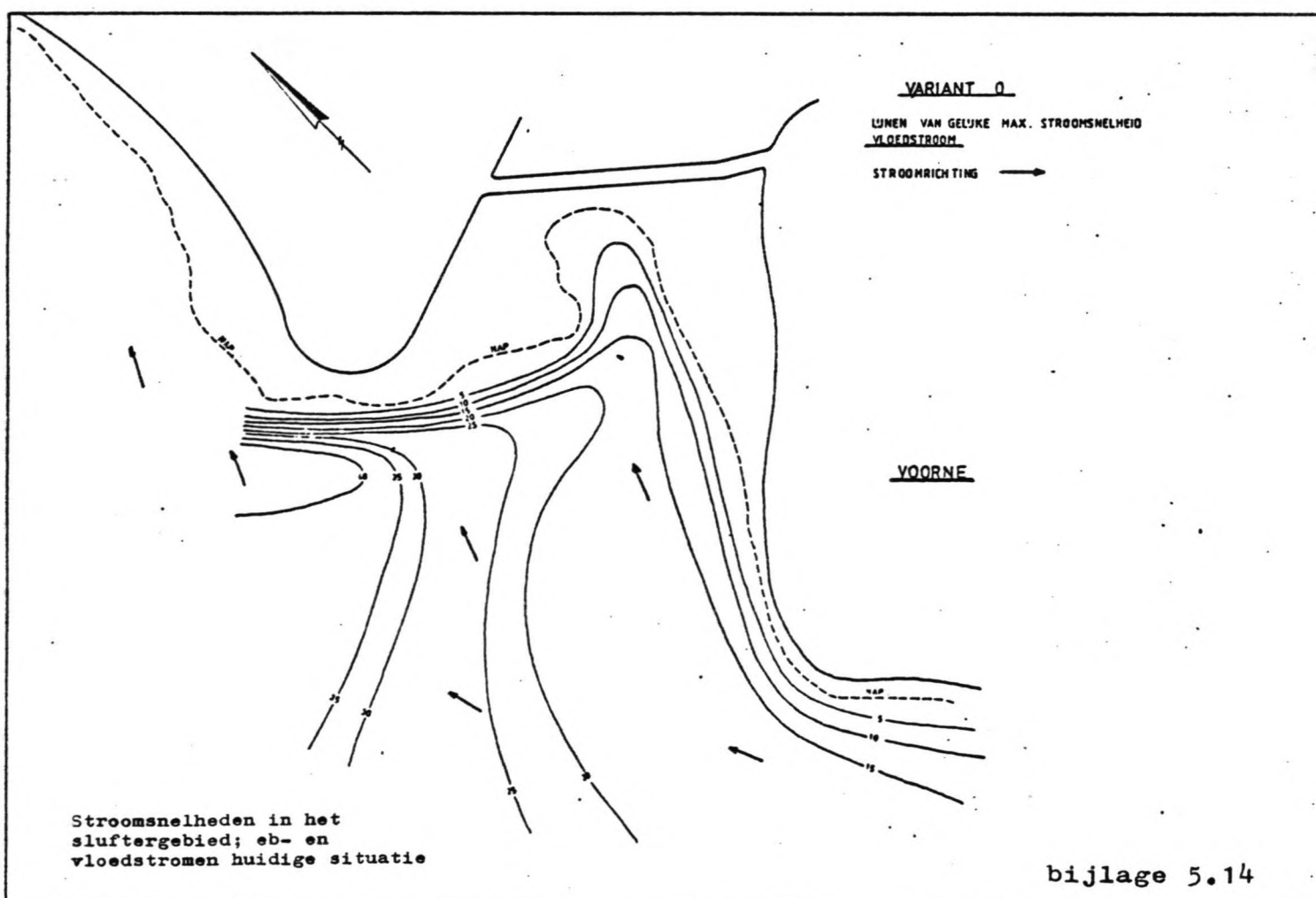
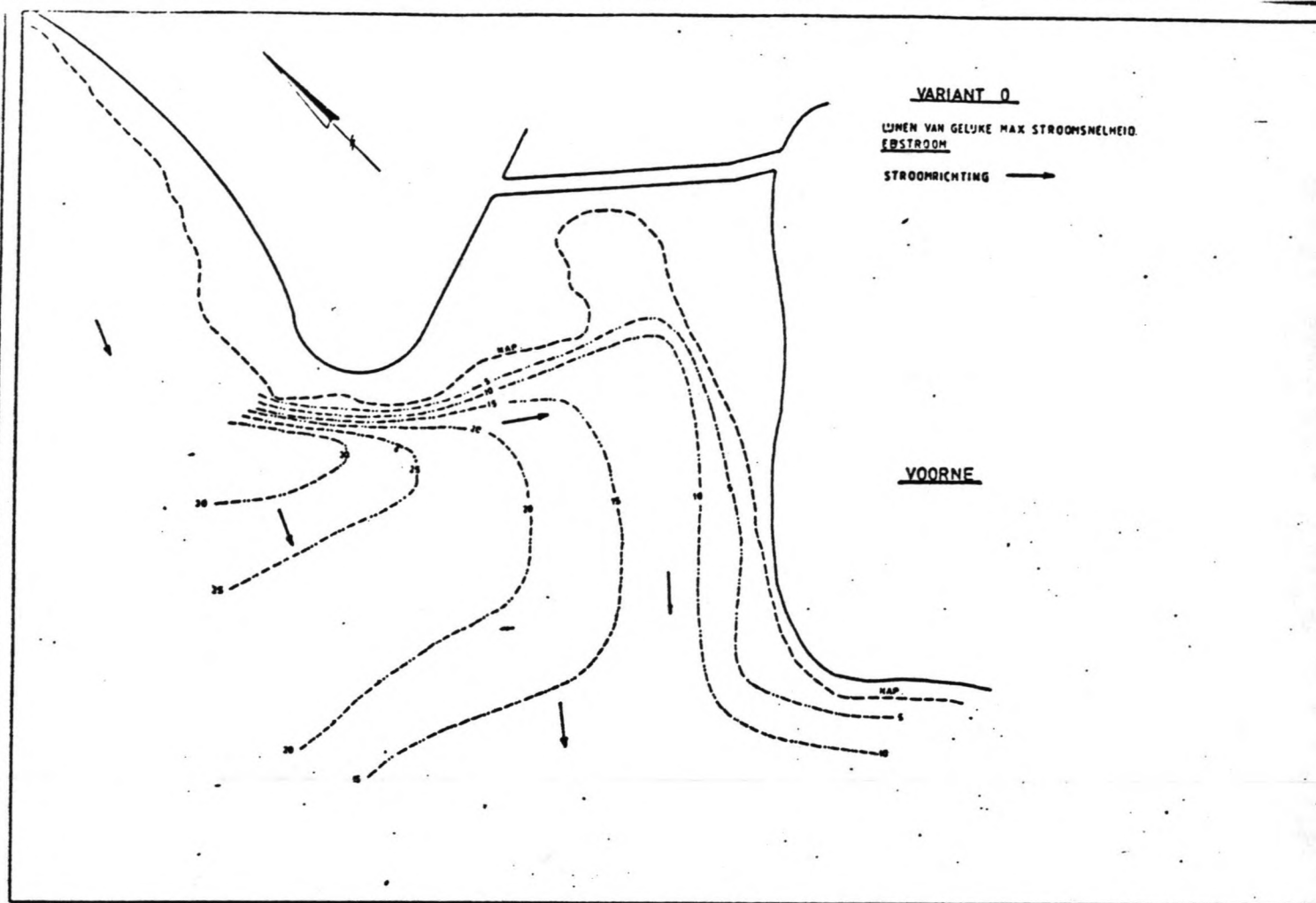


Stroomsnelheden model
HW+6 t=147.600sec

TIME=131400.00
VECT31 SCALE=0.25

variant B





VARIANT A

LIJNEN VAN GELIJKE MAX. STROOMSNEELHEID
EBSTROOM
STROOMRICHTING →

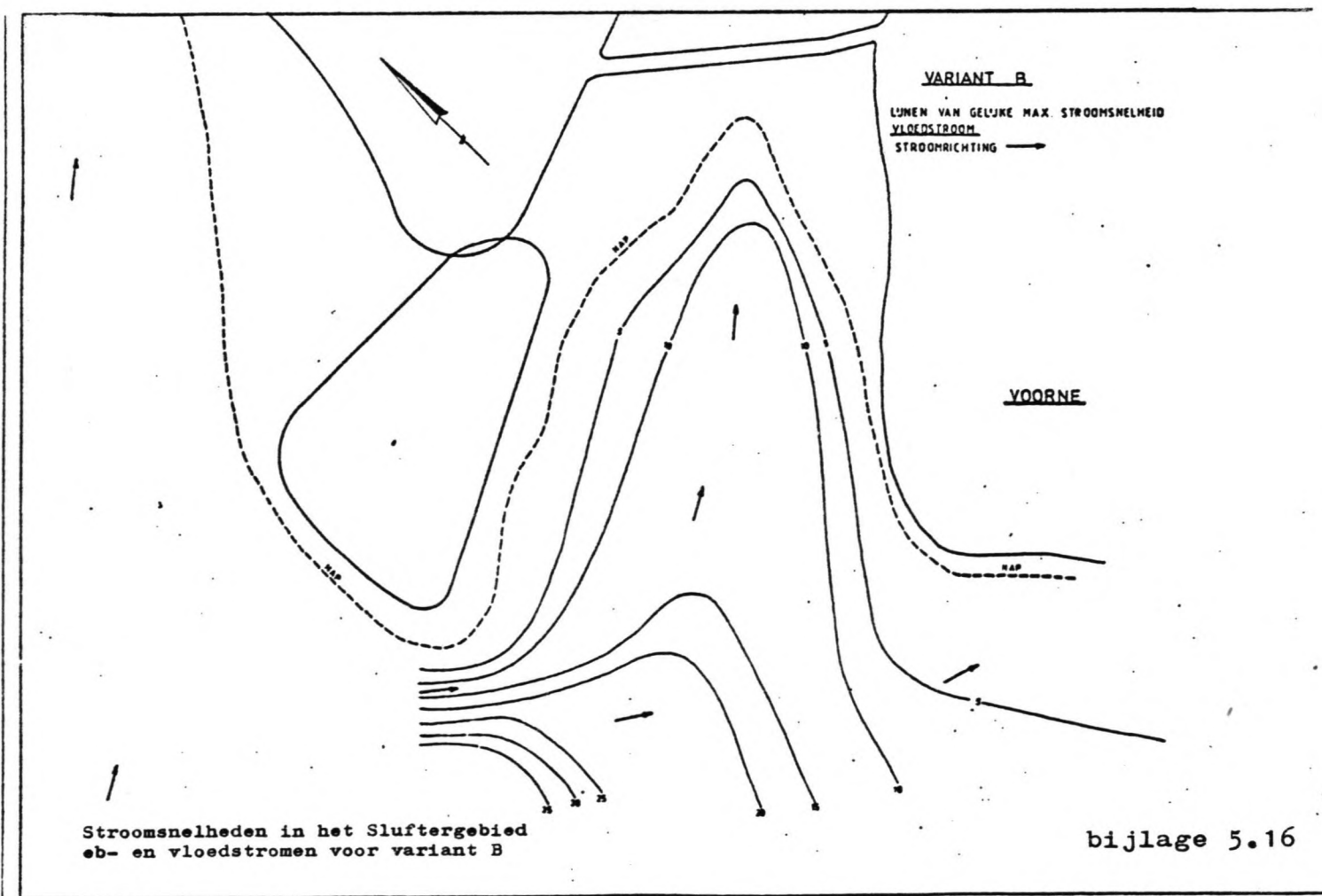
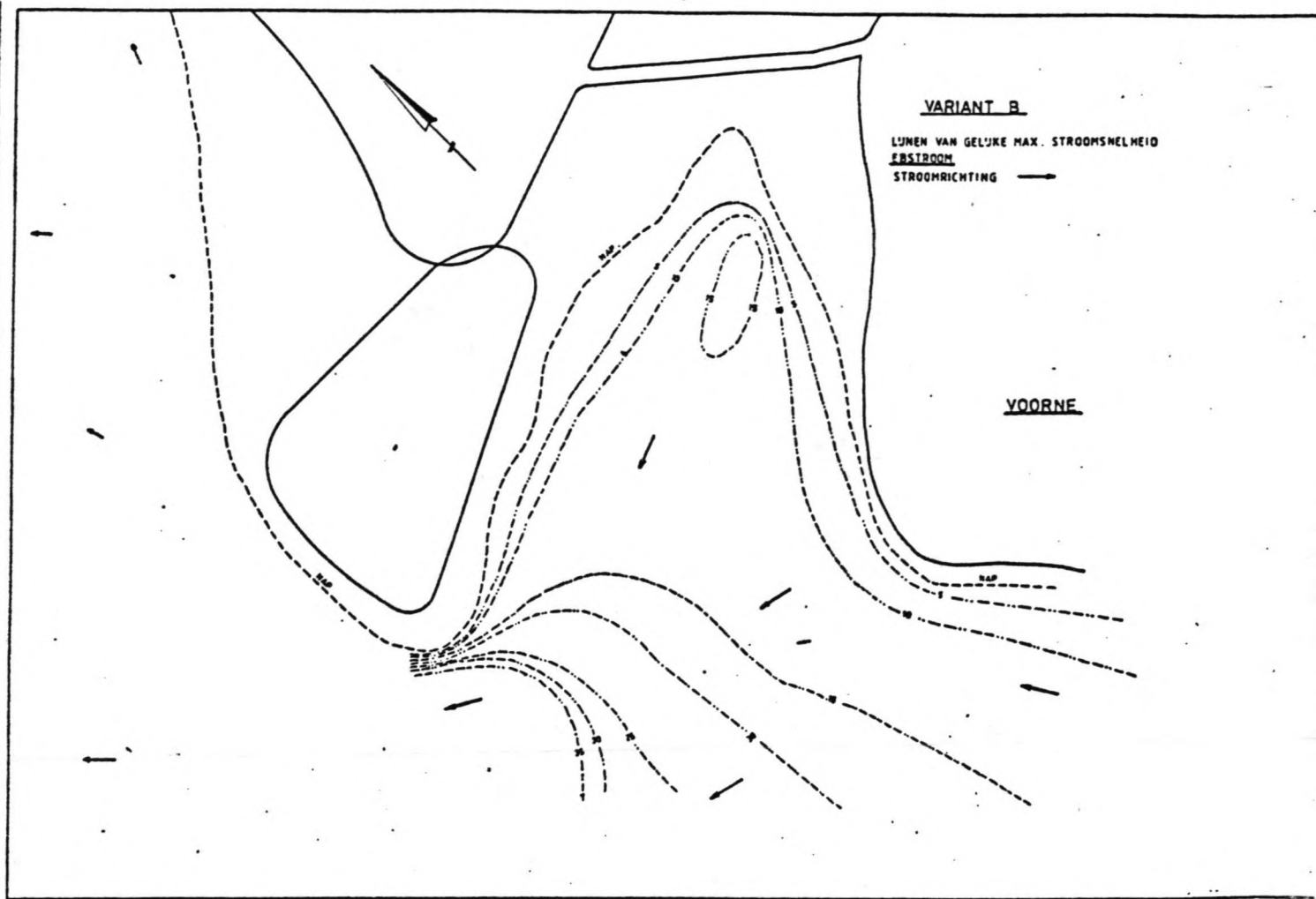
VOORNE

VARIANT A

LIJNEN VAN GELIJKE MAX. STROOMSNEELHEID
VLOEDSTROOM
STROOMRICHTING →

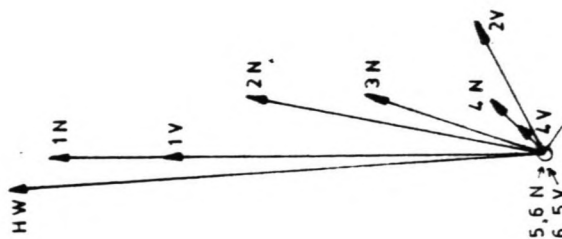
VOORNE

Stroomsnelheden in het
sluftergebied; eb- en
vloedstroom variant A

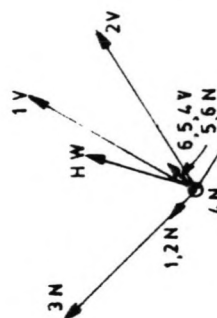


Stroomsnelheden voor Groene Punt van Voorne
berekend in modellen T4,0 T4,A en T4,B

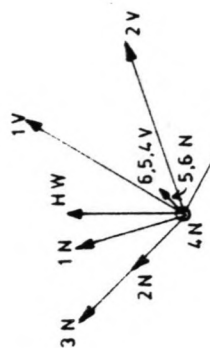
VAR. 0



VAR. A



VAR. B

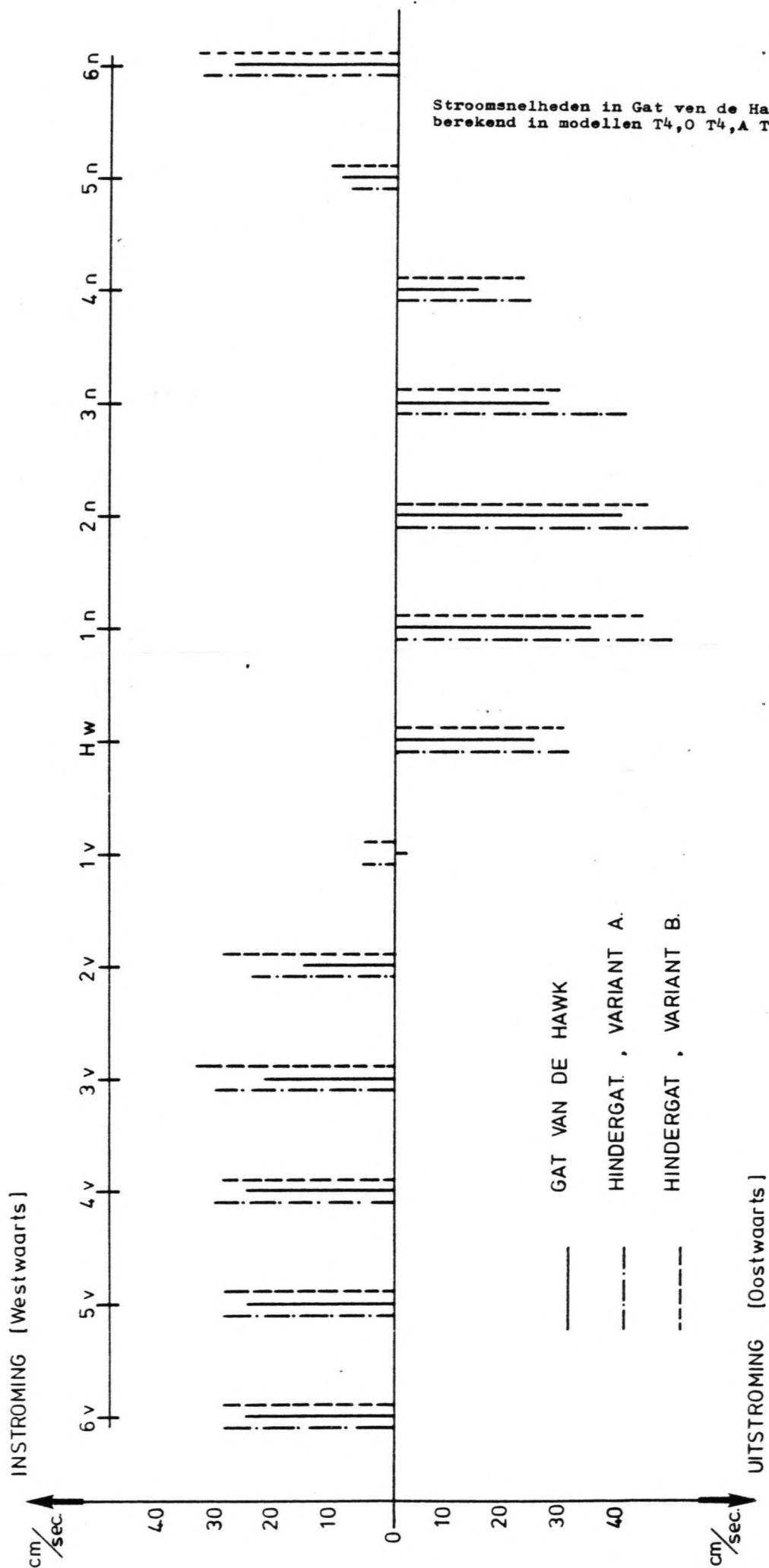


2 N = 2 uur na HW. (gem. getij)

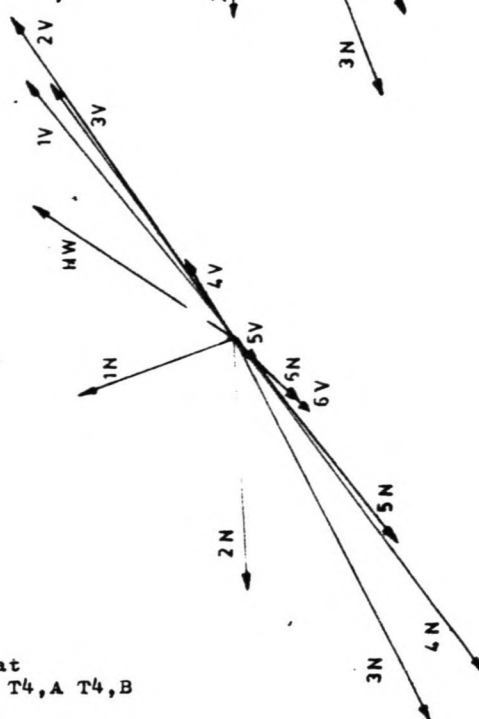
3 V = 3 uur voor HW. — " —



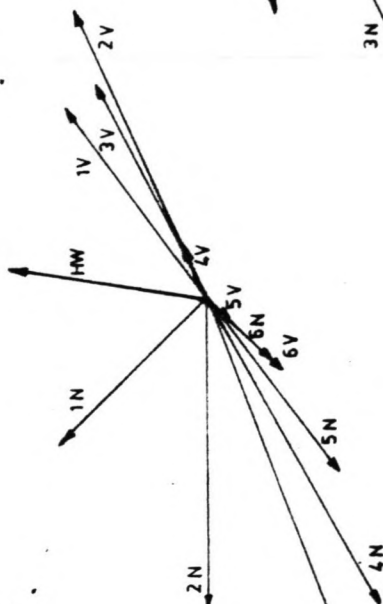
STROOMROZEN GROENE PUNT van VOORNE (diepte NAP. - 1.00 m.)



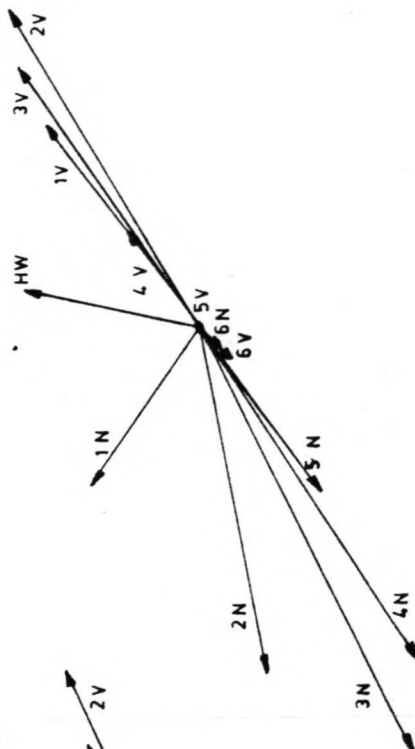
VAR. 0



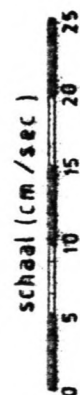
VAR. A



VAR. B



2N = 2 uur na HW. (gem. getij)
3V = 3 uur voor HW. — " —

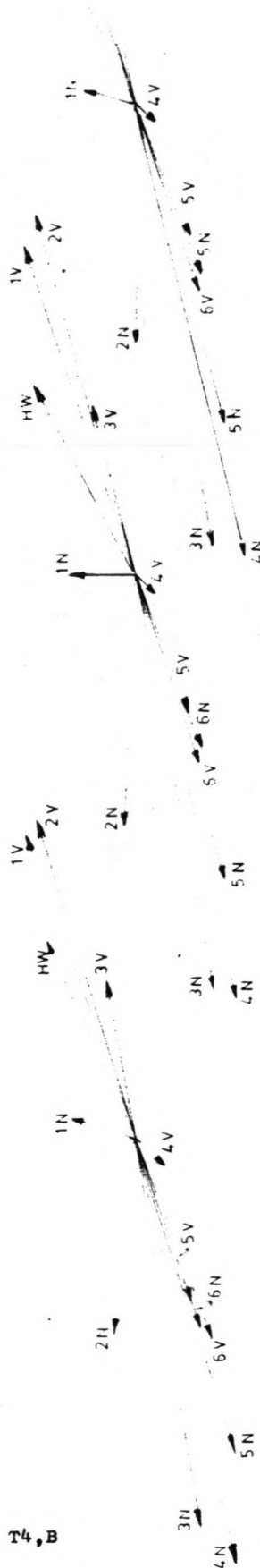


STROOMROZEN BOKKEGAT (diepte NAP. - 5.00 m.)

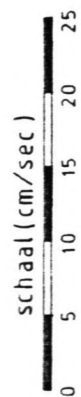
VAR 0

VAR A

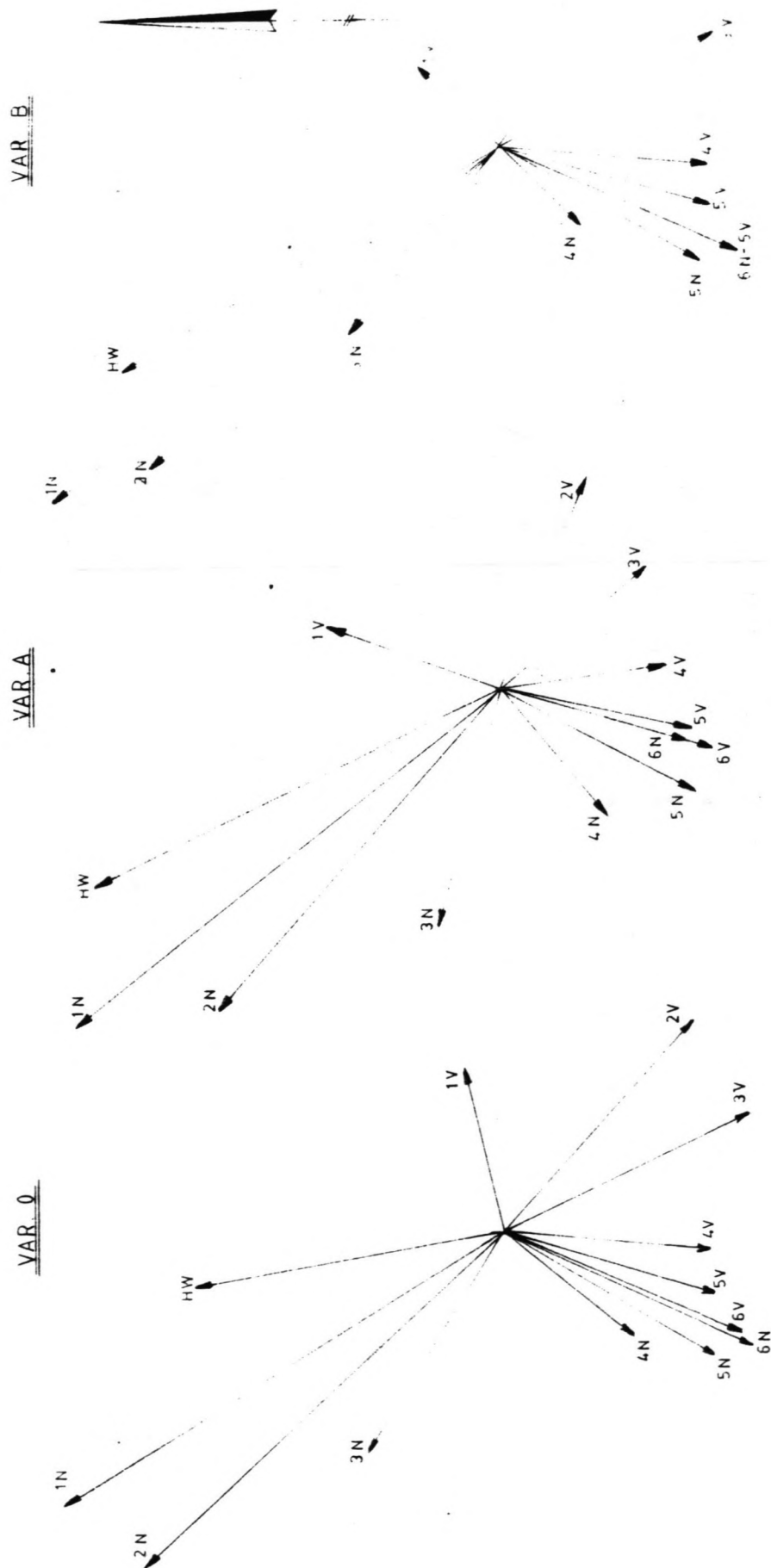
VAR B



2 N = 2 uur na HW. (gem. gerij)
3 V = 3 uur voor HW. —, —



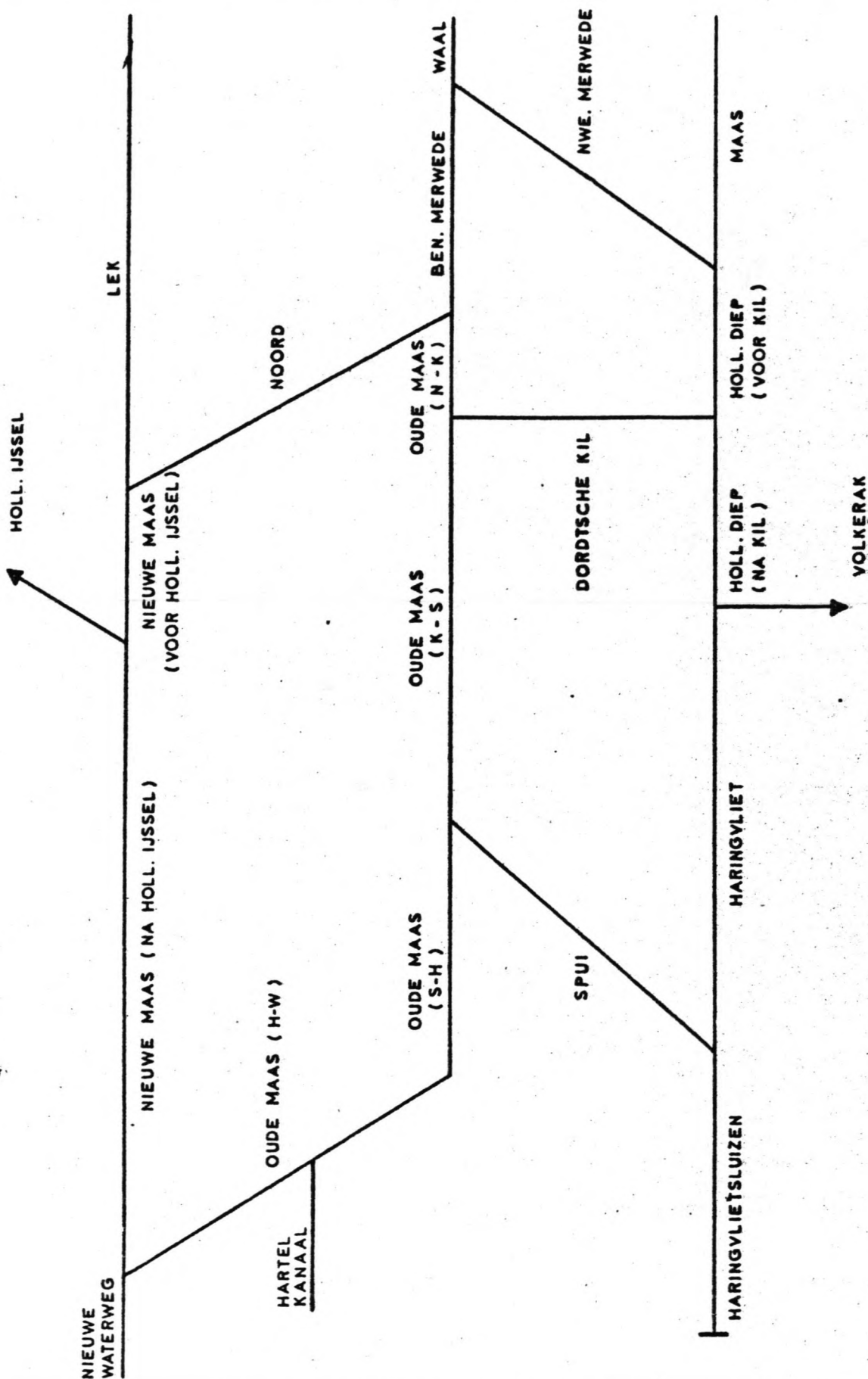
STROOMROZEN SLJKGAT (diepte NAP. - 5.50 m.)



2 N = 2 uur na HW. (gem. getij)
3 V = 3 uur voor HW. ———

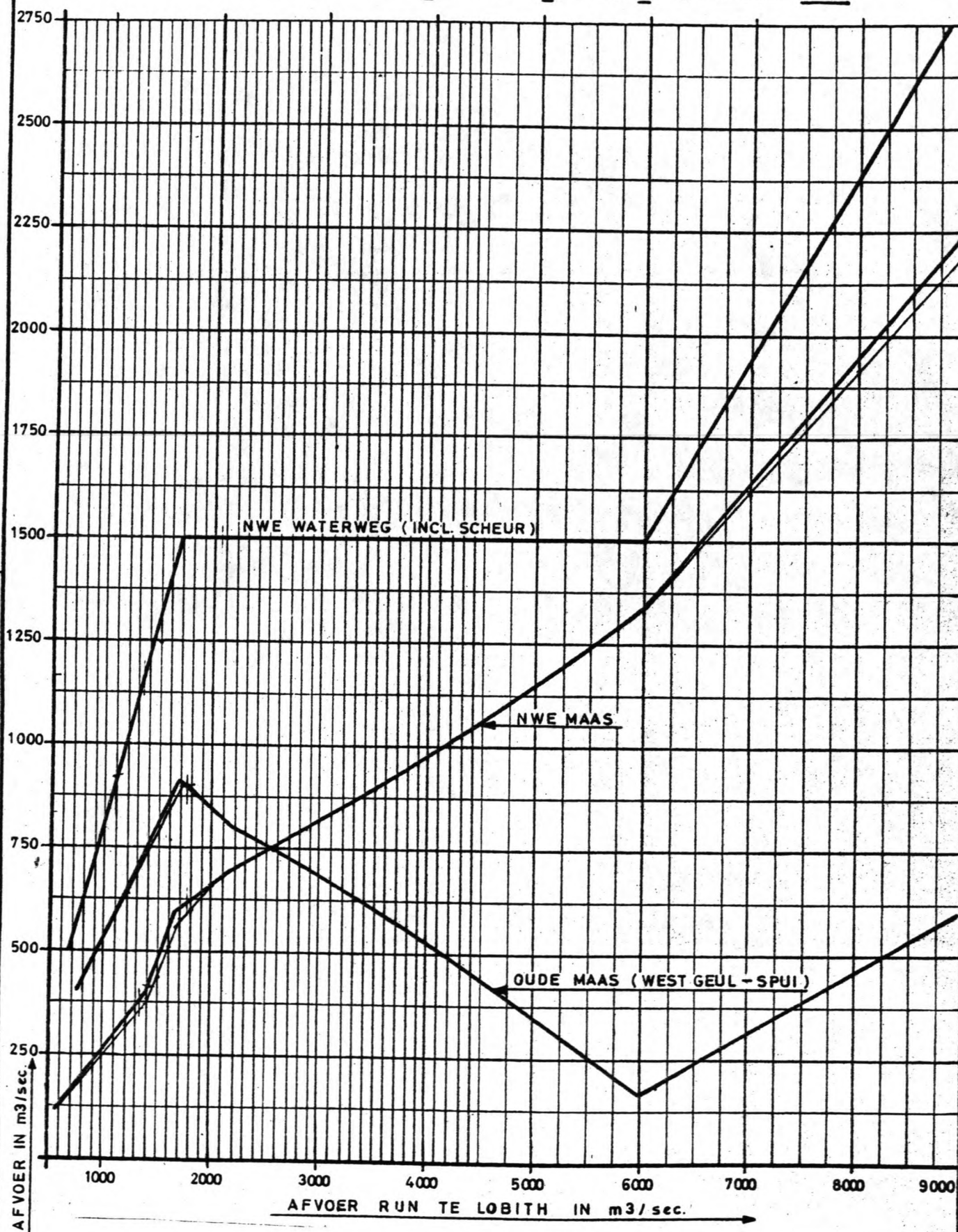
STROOMROZEN HINDERPLAAT (diepte NAP. - 1.20 m.)

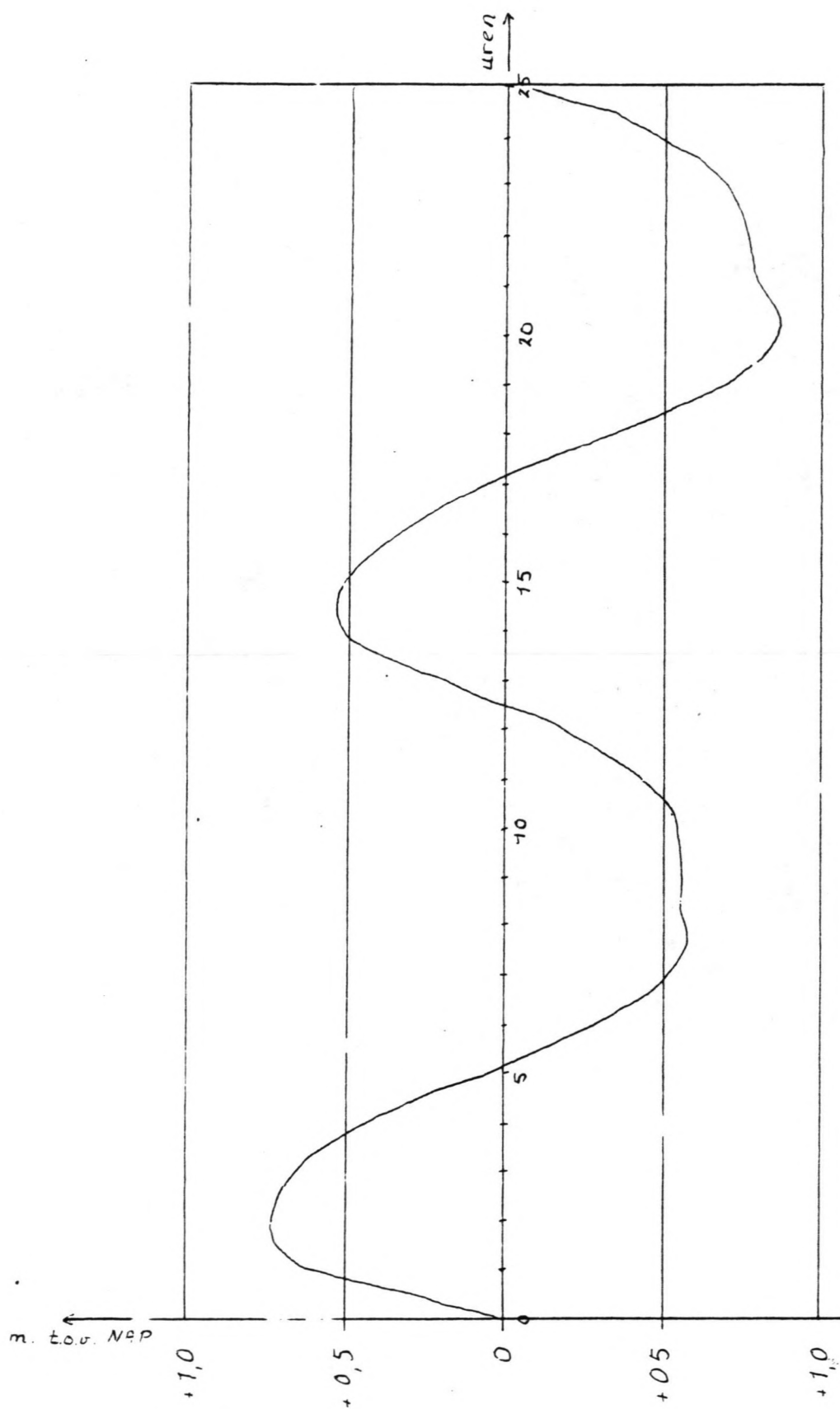
schaal (cm / sec)
0 5 10 15 20 25



SCHEMATISCH OVERZICHT NOORDELIJK DELTAGEBIED

N.L.P. -'70 = normaal lozingsprogramma 1970





vertikaal getij te Hoek van Holland

modelmetingen, W.L. 28-08-1974

(uit W.L. rapport M1418)

Vertikaal getij te Hoek van Holland,
uit model metingen W.L. voor 28-08-74
(W.L. rapport M1418)

lijdstip uur	gemeten snelheid m/sec	bovenafvoer m/sec	getij snelheid m/sec	$\Delta h / \Delta t$ m/sec	h m	kombegingsopp. m ²	vakken
1 - HW	+ 0,15	- 0,08	+ 0,22	0,12 10^{-3}	+ 0,6	35 10^6	13
2 + HW	- 0,24	- 0,08	- 0,16	0,08 10^{-3}	+ 0,4	56 10^6	21
5 + HW	- 0,66	- 0,08	- 0,58	0,05 10^{-3}	- 0,5	200 10^6	78
9 + HW	- 0,16	- 0,08	- 0,08	0,11 10^{-3}	- 0,4	13 10^6	5

Maasmond :

breedte = 4400 (m)

diepte = 77 (m)

Formules :

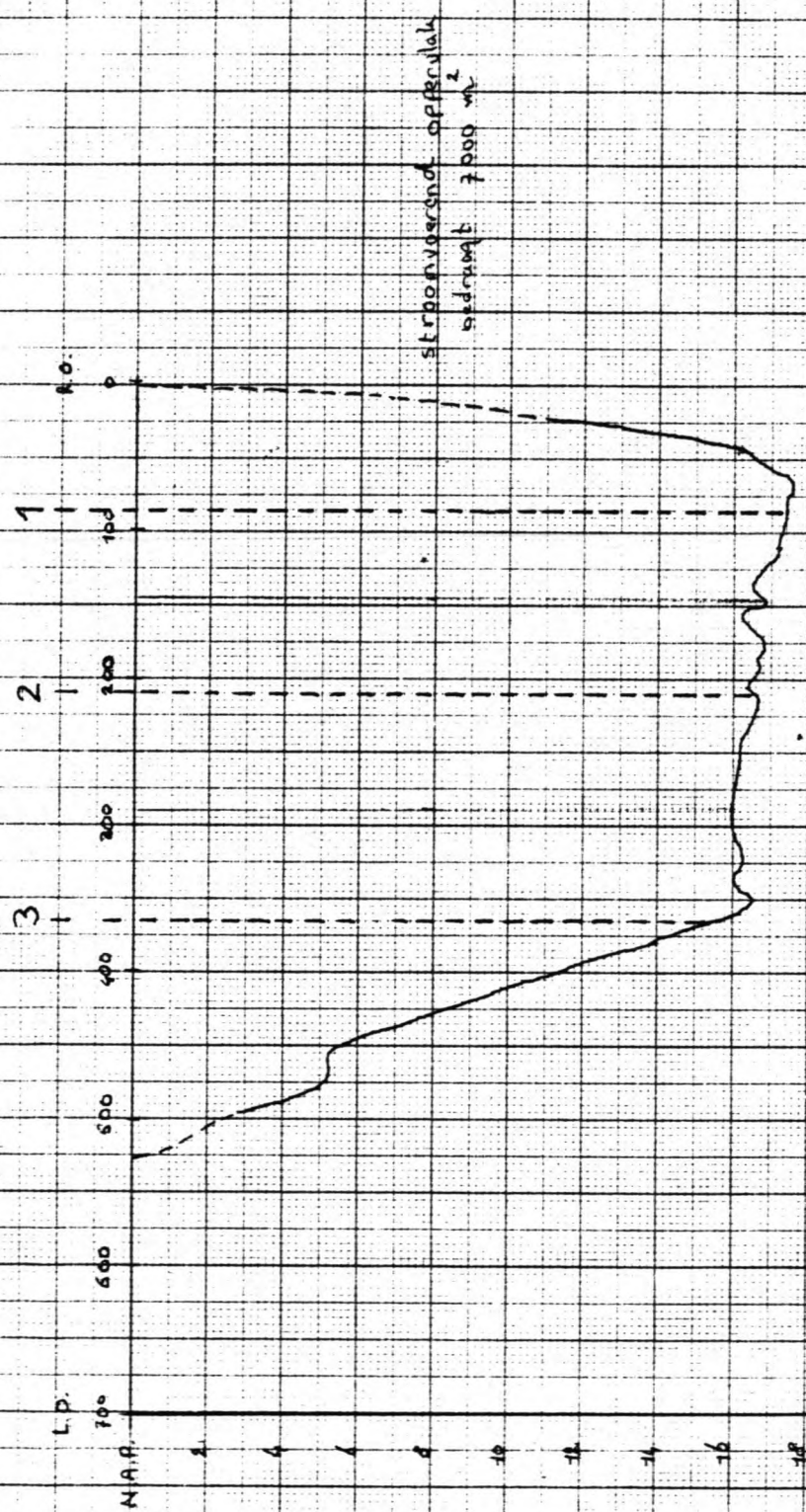
$$v(t) \cdot a(t) \cdot B_s = -B \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot (1 - x)$$

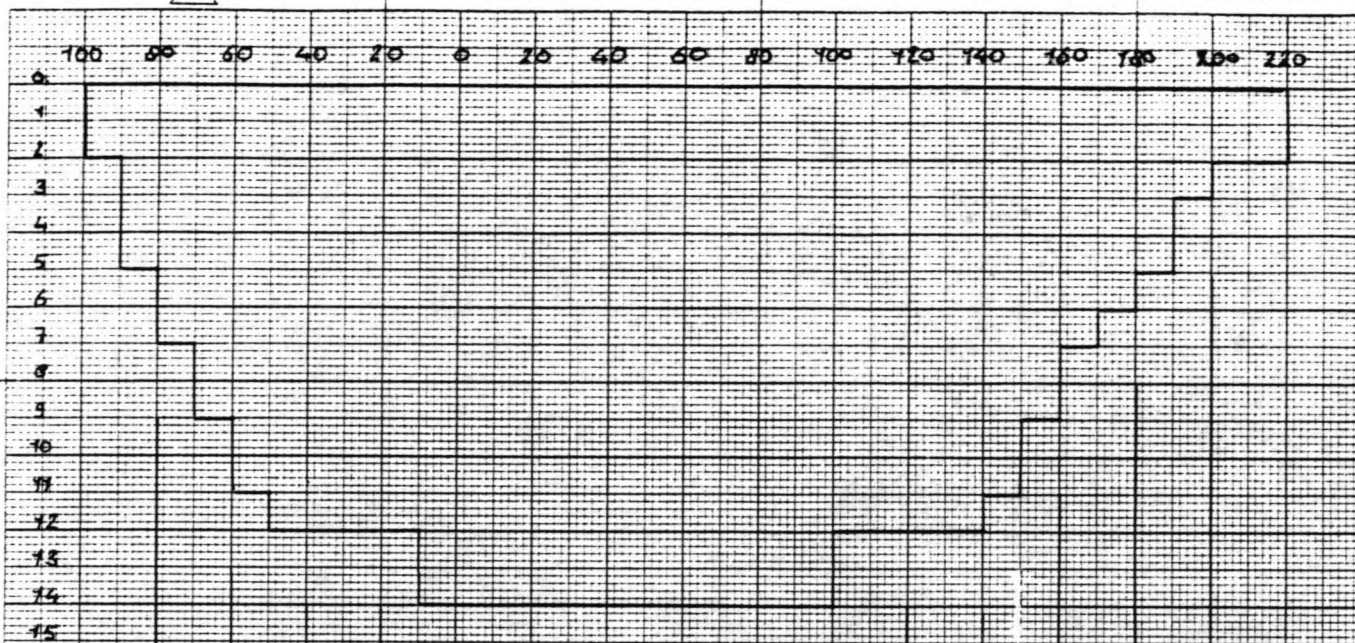
$$\text{of } B \cdot x = v(t) \cdot a(t) \cdot B_s / \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)$$

Vak

$$\text{Oppervlak} = 1600 \times 1600 = 2,56 \cdot 10^6 \text{ (m}^2\text{)}$$

Doorstroomprofiel
kmr 1029





0,34 0,40 0,37 0,45 0,52 0,46 0,51 0,62 0,64 0,67 0,59 0,51 0,49 0,36 0,21

A

0,39

0,57

0,43

B

75

100

70

C

A = (over de hoogte) gemiddelde snelheid in de raak in m/sec

B = gemiddelde snelheid van oever en van diepe deel in m/sec

C = gemiddelde snelheid van deze delen uitgedrukt in procenten van het diepe deel.

Snelheidsverdeling over het dwarsprofiel

(Nieuwe Maas nabij Botlek)

tijdsp. uur	raai 1			raai 2			raai 3			Q_{tot} m^3/s	$Q_{tot} - Q_{b.o.}$ m^3/s			
	$\bar{u}_1$ cm/sec	Opp.vl. m^2	$f_1 \cdot Q_1$ m^3/s	$\bar{u}_2$ cm/s	Opp.vl. m^2	$f_2 \cdot Q_2$ m^3/s	$\bar{u}_3$ cm/s	Opp.vl. m^2	$f_3 \cdot Q_3$ m^3/s					
4 N 10,4	-65	3000	0,7	-1360	-70	2050	1	-1430	-72	1650	0,8	-950	-3740	-2240
5 N 0,1	-127	2900		-2580	-120	2000	.	-2400	-112	1600		-7430	-6470	-4970
6 N 0,5	-105	2750		-2020	-115	1950		-2240	-708	1550		-1340	-5600	-4700
6 V 0,5	-75	2750		-1440	-92	1950		-7790	-90	1550		-1120	-4350	-2050
5 V 0,5	-52	2750		-1000	-55	1950		-7070	-50	1550		-620	-2690	-1190
4 V 0,4	-57	2000		-980	-60	1950		-7770	-57	1550		-630	-2790	-1290
3 V 0,4	-37	2000		-720	-51	1950		-990	-45	1550		-560	-2270	-770
2 V 0,3	-22	2000		-430	-31	1950		-600	-28	1550		-350	-7300	+420
1 V 0	+12	2900		+240	+70	2000		+200	+10	1600		+130	+570	+2070
HW 10,6	+83	3700		+1000	+705	2050		+2750	+705	1650		+1390	+5340	+6040
1 N 19,8	+110	3700		+2430	+725	2100		+2630	+727	1700		+17730	+6790	+0290
2 N 10,8	+43	3150	0,7	+950	+75	2100	1	+1570	+40	1700	0,8	+540	+3060	+4560

Berekening debieten uit
snelheidsmetingen Nieuwe
Waterweg, kmr. 1015

Oppervlakte t.o.v. NAP: raai 1 2900 m^2
2 2000 m^2
3 1600 m^2

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^3 [\bar{u}_i \cdot Opp.vl. \cdot f_i]$$

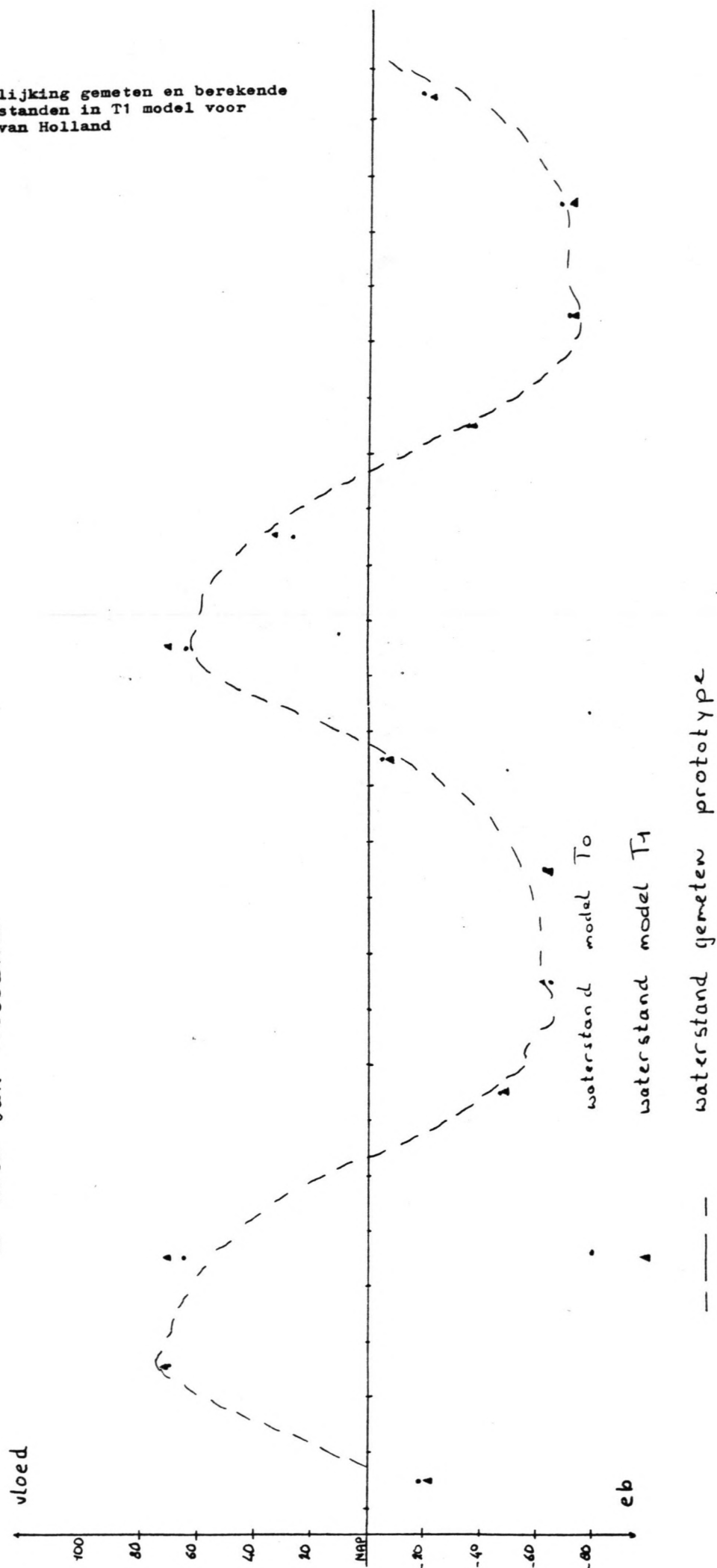
$Q_{b.a.}$ = bovenafvoer = 1500 $m^3/sec.$

f = faktor waarmee de snelheid
moet worden vermenigvuldigd

Berekening debieten uit snelheids-
metingen. Nieuwe Maas kmr. 1015.

Vergelijking gemeten en berekende waterstanden
te Hoek van Holland 01/02 sept. 1975

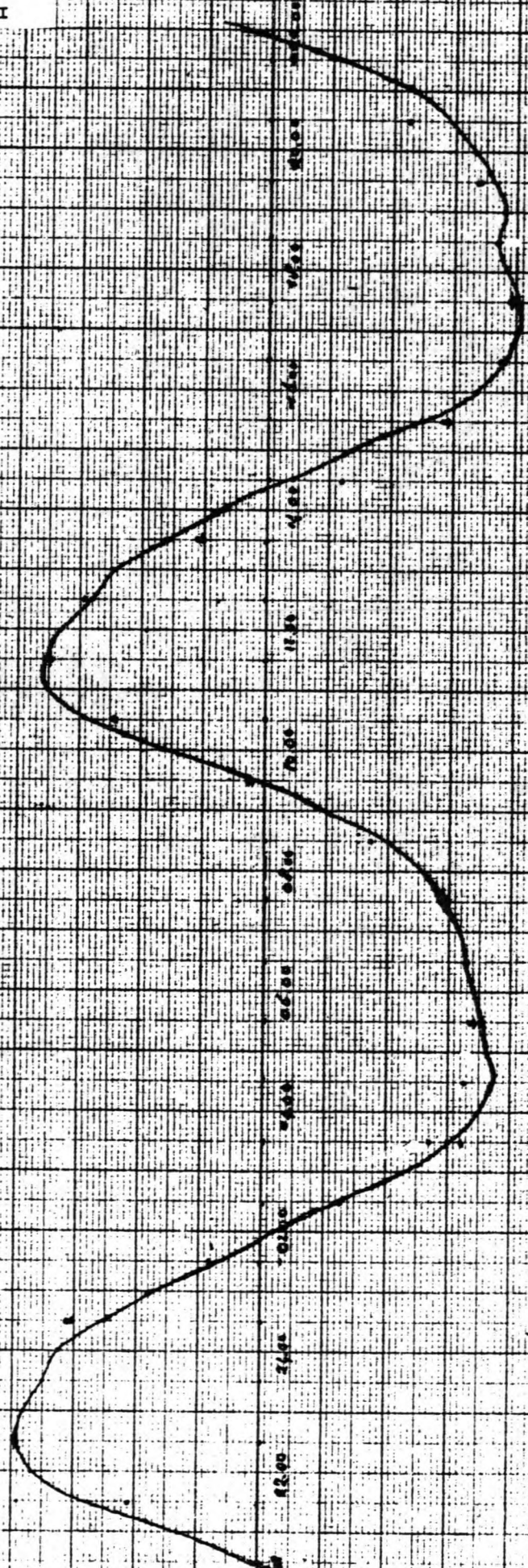
Vergelijking gemeten en berekende
waterstanden in T1 model voor
Hoek van Holland



Vergelijking waterstanden uit
metingen en berekend in
T1 en T3 model voor MAIII

MA III (18.5)

+1.00
+0.80
+0.60
+0.40
+0.20
NAP
0.00
-0.20
-0.40
-0.60
-0.80
-1.00

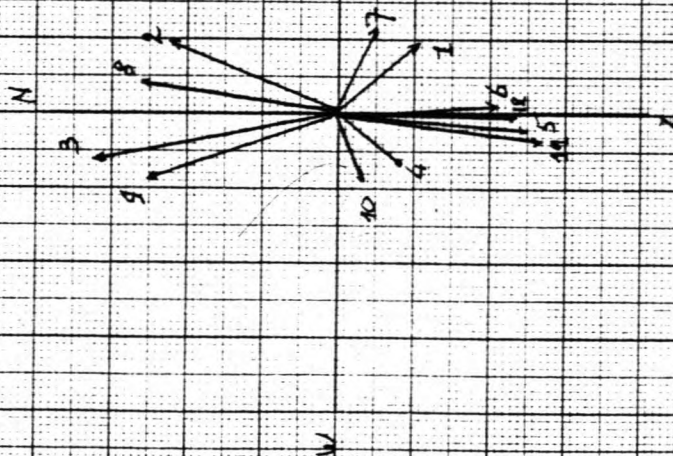


— gemeten waterstand (RWS) 1-2 nov '75
 . berekende waterstand met T1 en T3
 . berekende waterstand met T3

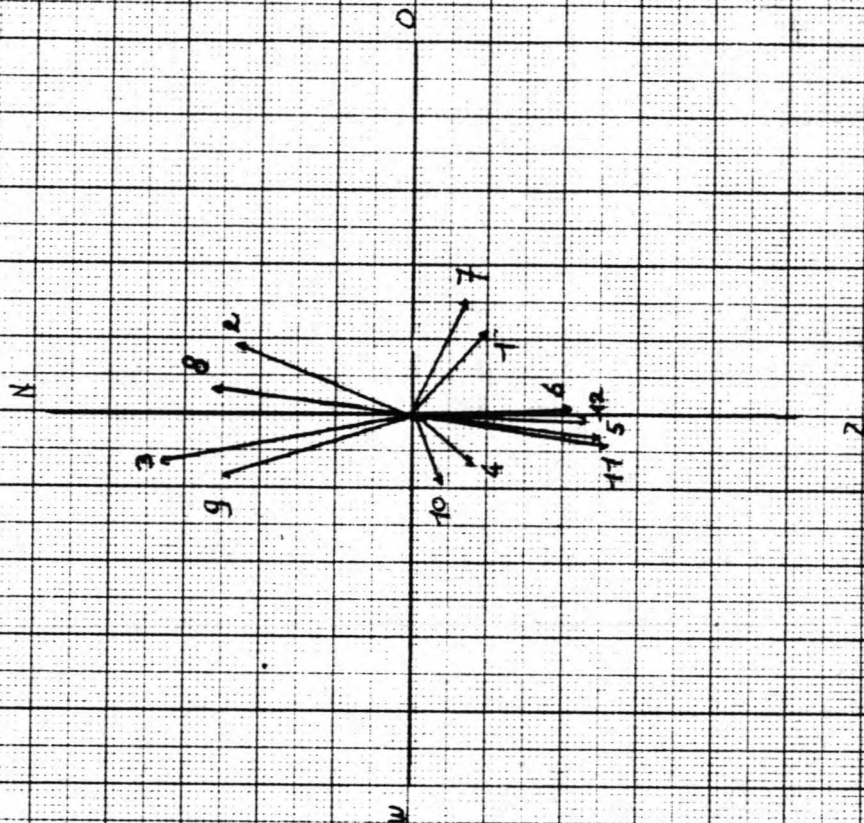
Waterstanden

MA III (18, ± 5)

Resultaat T₁ berekening



Resultaat T_{1, B} berekening
met bovenafvoer



Stroomsnelheden
schaal: 1 cm = 0,1 m/s

vergelijking waterstanden 14, 0 en 0
in punt (14,7), op een rechte gelegen.

		T ₁ , 2			T ₁ , 3		
		H	u	c	H	u	c
1	162.000	-27	9	-16	-27	10	-16
2	169.200	64	13	-52	64	13	-51
3	176.400	64	2	-29	64	2	-30
4	97.200	-41	-5	29	-41	-5	27
5	104.400	-60	-1	39	-60	-1	39
6	111.600	-62	3	18	-62	3	17
7	118.800	-8	14	-32	-9	14	-39
8	126.000	61	12	-48	61	12	-47
9	133.200	28	0	-15	28	0	-16
10	140.400	-46	-6	29	-46	-6	27
11	147.600	-68	-4	46	-67	-4	45
12	154.800	-66	0	31	-66	0	30

Vergelijking waterstanden en stroomsnelheden voor punt (10,19), op een rand gelegen

	T ₀				T ₁			
	H	u	v		H	u	v	
1	162.000	-2	16	-6	-2	16	-7	
2	169.200	75	9	-49	75	9	-49	
3	176.400	55	-6	-35	55	-7	-35	
4	183.600	-53	-5	24	-53	-6	24	
5	190.800	-65	7	49	-65	7	49	
6	198.000	-52	8	33	-52	8	33	
7	205.200	9	16	-16	9	17	-16	
8	212.400	64	4	-42	64	4	-42	
9	219.600	15	-11	-18	15	-11	-18	
10	226.800	-59	-9	22	-59	-9	22	
11	234.000	-76	0	51	-76	0	51	
12	241.200	-60	6	40	-60	6	40	

lyclup	l_{III}	l_{II}	F_{II}	$l_{II} F_{II} / l_{III}$	F_{II}	$l_{II} F_{II} / l_{III}$	$Q(0)$	$Q(0)$	$Q(0) / l_{III}$	F_{III}
	(0)	(1)	(2)	$(3) \times (4) / (1) = (7)$	(5)	$(6) \times (7) = (8)$	(9)	$(10) \times (9) = (11)$	$(12) \times (11) = (13)$	$(14) \times (13) = (15)$
-5	+11	+10	7,04	6,40	+10	12,8	-0,30	15,4	-367	305
-6	+28	+28	7,04	7,04	+17	12,8	-0,20	15,5	-80	69
-7	+39	+61	7,04	11,04	+61	12,8	-0,10	15,6	-51	40
-8	+105	+135	7,04	8,88	+128	12,8	0	15,9	+42	17
-9	+123	+100	7,04	5,28	+139	12,8	+0,45	16,4	+33	14
NW	+72	+20	7,04	2,00	+11	12,8	+0,18	16,6	+68	64
17	+17	-27	7,04	-11,20	-33	12,8	-0,04	16,5	+42	78
12	-61	-85	7,04	-9,60	-77	12,8	-0,12	16,4	-15	12
13	-89	-94	7,04	-7,64	-105	12,8	-0,34	16,1	-57	34
14	100	-117	7,04	-8,24	-105	12,8	-0,60	15,7	-98	76
15	89	-56	7,04	-4,40	-50	12,8	-0,66	15,6	-122	110

(9) $d = l_{II} + z$

nu uitbreidde wordt H. Holland genomen
da ga depte is 175 dm R model
breedte is 1200 (m) Dan $Z = 1,69$ (m)
8 = breedte breed Dan is R model 1200 (m)

dan worden onder met rekenen,
wanneer de kleine gradient in L

NB Q gehanteerde op land:

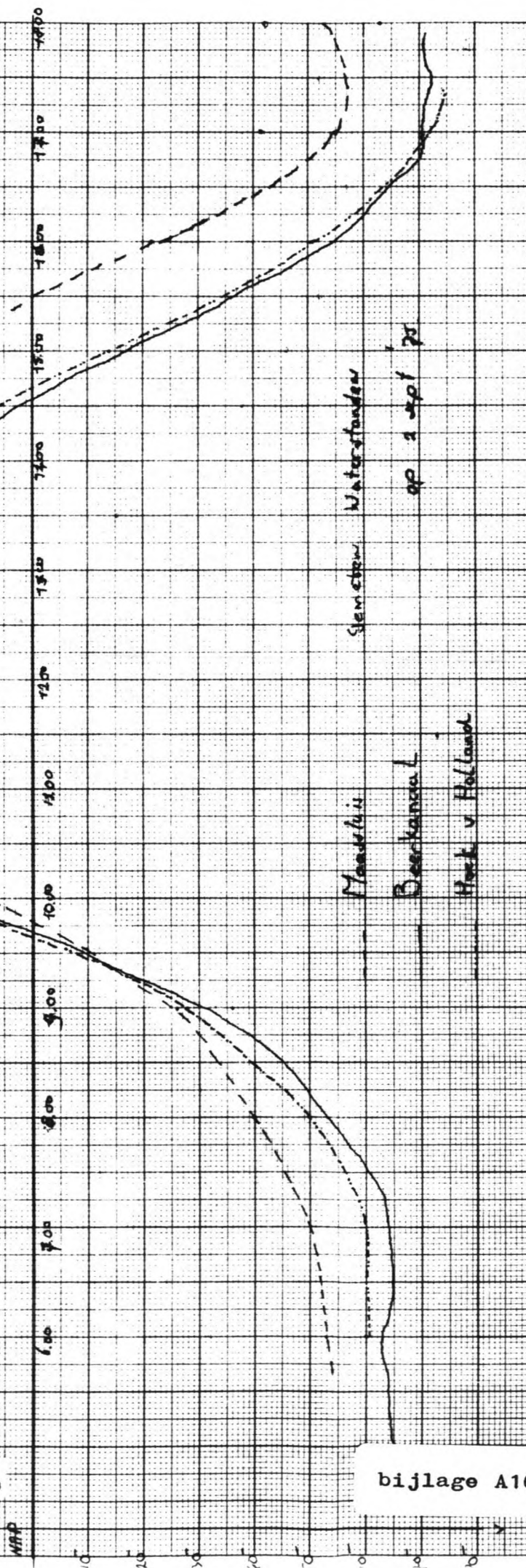
$$Q(x,y) = F_{III} + F_{II} l_{II} + F_{II} l_{II} + \frac{Q(x,y)}{l_{III}} - \frac{F_{II} l_{II}}{l_{III}}$$

bijlage A15

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
NAP

h in cm t.o.v. NAP

Gemeten waterstanden, dd 02-09-1975, voor
Hoek van Holland, Beerkanaal en Maassluis



bijlage A16

Vergelijking gemeten en in model T3
berekende waterstanden voor Hoek
van Holland

- ▲ waterstand berekend in model T1
- × waterstand berekend in model T3
- gemeten waterstand

waterstand in
cm tov. NAP

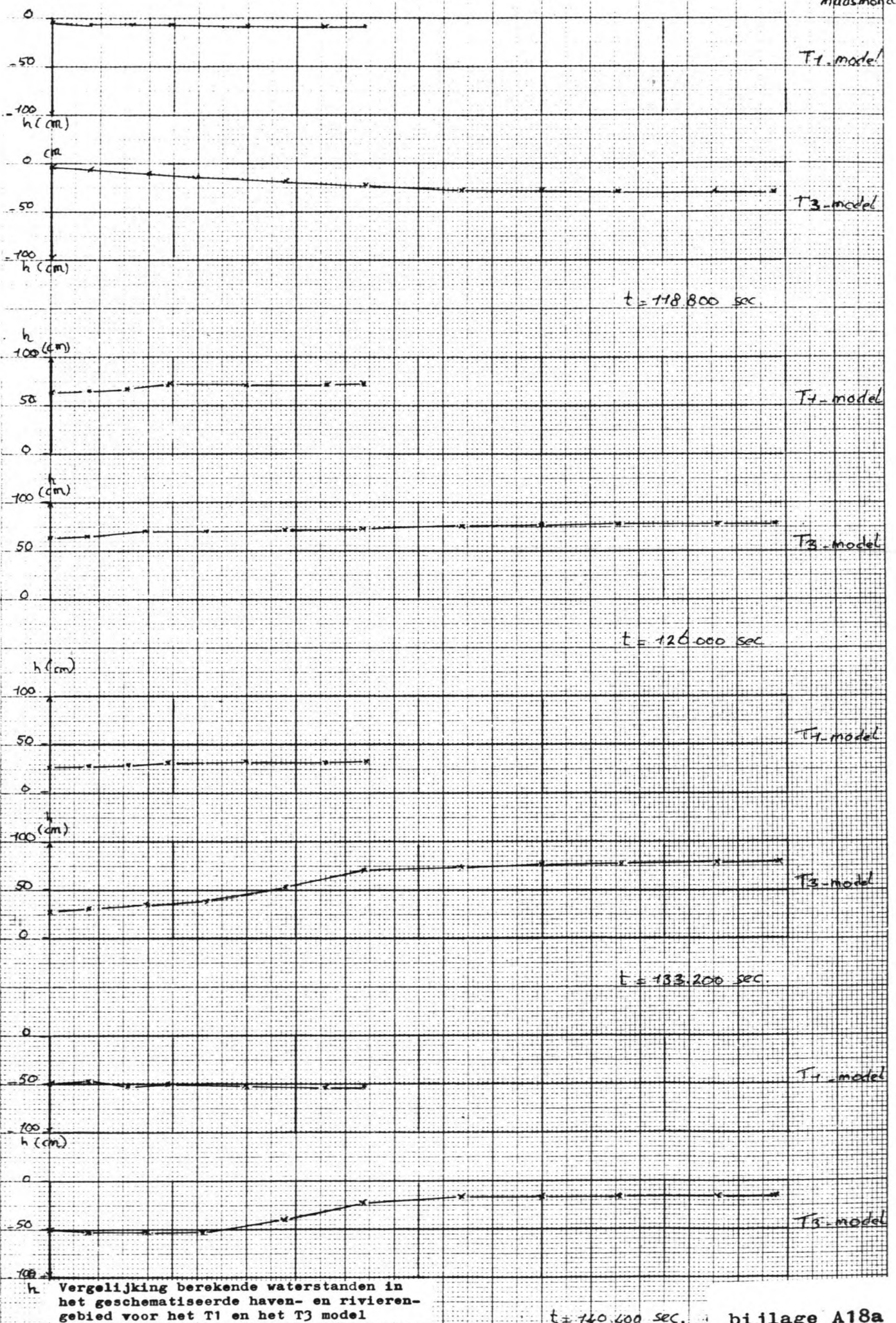
tijd :

bijlage A17

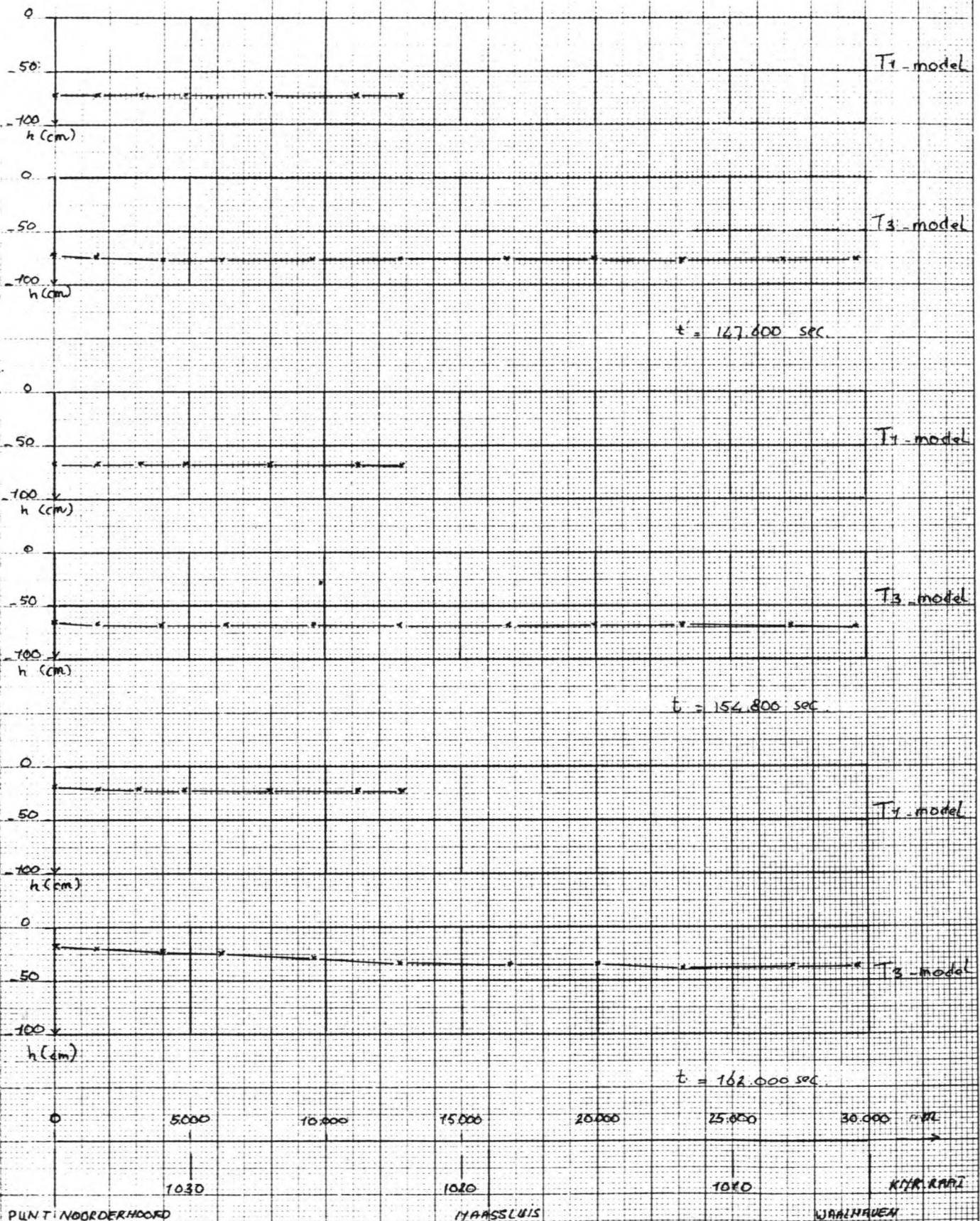
MAASMOND

MAASSLUIS

WAALHAVEN

m uit
maasmond

t = 140.400 sec. bijlage A18a



Vergelijking berekende waterstanden in
T1 en T3 model ter plaatse van de rand
van T4 model

bijlage A18b

**Gemiddelde hoogwater- en laagwaterstanden
voor een zestal stations**

Grenspeil: het peil dat gemiddeld eens per
twee jaar wordt bereikt of
overschreden.
LLWS: laag-laagwaterspring is het
meerjarig gemiddelde van het
laagste spring-laagwater van elke
maand.

**Hoogwater- en laagwaterstanden in cm t.o.v. NAP
basisperiode 1971 ... 1975**

kmr:	station:	Bovenrijn afvoer te Lobith					
		1000-1400 m³/s		2000-2400 m³/s		1000-2400 m³/s	
		H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	Grenspeil	LLWS
1030	Hoek van Holland Nwe Waterweg	+ 104	- 71	+ 104	- 66	+ 242	- 103
1019	Maassluis Nwe Waterweg	+ 101	- 59	+ 105	- 56	+ 230	- 100
1012	Vlaardingen Nwe Maas	+ 109	- 59	+ 114	- 52	+ 240	- 100
1000	Rotterdam Nwe Maas	+ 117	- 53	+ 120	- 45	+ 235	- 95
989	Krimpen a/d Lek	+ 105	- 34	+ 113	- 17	+ 250	-
1003	Spijkenisse Oude Maas	+ 101	- 49	+ 106	- 43	+ 245	- 95

Dagelijkse ongelijkheid: gemiddelde waarde bij H.W. en L.W. 15 cm.

**Tabel voor gemiddelde tijdsverschillen met het plaatselijk
Hoog- en Laagwater in minuten t.o.v. Hoek van Holland**

Minuten later dan Laagwater te Hoek van Holland												
Rotterdamse Waterweg	Hoek v. holland k.m.r. 1030	k m.r. 1025	k.m.r. 1020	Maassluis k.m.r. 1019	k.m.r. 1015	spl.punt O.Maas k.m.r. 1013	Vlaardingen k.m.r. 1012	k.m.r. 1010	Eemhaven k.m.r. 1007.6	Waalhaven k.m.r. 1004.7	Rotterdam k.m.r. 1000	Krimpen a/d Lek k.m.r. 989
Hoek v. Holland k.m.r. 1030		21	39	42	54	60	62	67	74	81	94	138
k.m.r. 1025	30		18	21	33	39	41	46	53	60	73	117
k.m.r. 1020	60	30		3	15	21	23	28	41	43	46	99
Maassluis k.m.r. 1019	74	44	14		12	18	20	25	32	39	52	96
k.m.r. 1015	74	44	14	0		6	8	13	20	27	40	84
spl.punt O.Maas k.m.r. 1013	75	45	15	1	1		2	7	14	21	34	78
Vlaardingen k.m.r. 1012	76	46	17	2	2	1		5	12	19	32	76
k.m.r. 1010	77	47	17	3	3	2	1		7	14	27	71
Eemhaven k.m.r. 1007.6	80	50	20	6	6	5	4	3		7	20	64
Waalhaven k.m.r. 1004.7	82	52	22	8	8	7	6	5	2		13	57
Rotterdam k.m.r. 1000	85	55	25	11	11	10	9	8	5	3		44
Krimpen a/d Lek k.m.r. 989	119	89	59	45	45	44	43	42	39	37	34	
Minuten later dan Hoogwater te Hoek van Holland												

Geldend bij normaal lozingsprogramma Haringvlietsluizen en bovenrijnafvoer
van 1700-6000 m³/s

TRAJECT HOEK VAN HOLLAND – KRIMPEN A/D LEK

