

REPRODUCTIE ZOUTTOESTAND

GETIJRIVIEREN

I - A

VOORONDERZOEK

ONTWERP GETIJGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 896-IA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

reproductie zouttoestand getijrivieren

deel I

Vooronderzoek

A: Ontwerp Getijgoot

Rapport M896-I-A

december 1973

INHOUD

NOTATIES

REFERENTIES

Blz.

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

1 Inleiding	1
2 Probleemstelling	2
3 Ontwerpgegevens	6
3.1 Vertikaal zeegetij	6
3.2 Dichtheid zeewater	7
3.3 Opperwaterafvoer	7
3.4 Geometrie	8
3.4.1 Diepte	8
3.4.2 Breedte	10
3.4.3 Havens	11
4 Schaalkeuze	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Basisschalen	13
5 Lengte getijgoot	14
6 Dimensionering zee	16
6.1 Algemeen	16
6.2 Regeling zeerand	16
7 Instelling bovenstroomse rand	21
8 Getijberekeningen	23
8.1 Homogene getijberekening	23
8.2 Bepaling stapgrootte in tijd en afstand bij de homogene getijberekening	25
9 Bepaling afmetingen reservoirs en pompen	27
9.1 Algemene beschouwing	27
9.2 Te beschouwen ontwerpgrootheden	27
9.2.1 Zeereservoir	27
9.2.2 Pompen zeerand	28
9.2.3 Overstort over de regelklep zeerand	29
9.2.4 Reservoir bovenstroomse rand (rivier- reservoir)	29
9.2.5 Pompen rivierrand	30

INHOUD (vervolg)

9.3 Afmetingen reservoirs en pompen	30
10 Samenvatting	31

APPENDIX I 32

Gegevens Rotterdamse Waterweg voor de situatie
1964 per kilometerraai (TABEL VII)

APPENDIX II 36

Komberging Rotterdamse Waterweg (TABEL VIII t/m XI)

APPENDIX III 43

Gegevens ter bepaling van de lengte van de getijgoot
(par. 5)

- opslingerfactor

- fasedraaiing

(TABEL XII t/m XV)

APPENDIX IV 48

Gegevens ten behoeve van de dimensionering van reservoirs
en pompen. (zie ook deel B, getijberekeningen, par. 2)

APPENDIX V 54

Bepaling ($Q_{\text{zoet}}^{\text{max}}$) in mond getijgoot.

FIGUREN

NOTATIES

a_0	getijamplitude van een sinusvormig getij (getijverschil is $2a_0$)
c	voortplantingssnelheid getijgolf
g	zwaartekrachtsversnelling
h	waterstand
$h_0(t)$	ingestelde verticale getijbeweging op de zeerand van de getijgoot
kmr.	kilometerraai
n_l	horizontale schaal (lengte schaal) *)
n_h	vertikale schaal
n_u	snelheidsschaal
n_t	tijdschaal
\bar{s}	zoutconcentratie gemiddeld over de doorsnede (1-dimensionaal)
s_0	zoutconcentratie zeewater (referentie waarde)
$t; \Delta t$	tijd; tijdstap
u	snelheidscomponent in x-richting
w	middenstandsverhoging
$x; \Delta x$	lengte coördinaat; stapgrootte in x-richting
A	doorsnede ($A=B.h$) (zie par. 8)
B	breedte getijgoot (gemeten in model of prototype).
C	Chézy-coëfficiënt
D	dieptemaat (gemeten in model of prototype), gemiddelde waterdiepte, middenstand (constant in de tijd)
F	oppervlakte dwarsdoorsnede van de rivier
$F_{N.A.P.}$	oppervlakte dwarsdoorsnede van de rivier, gemeten onder N.A.P.
$\bar{F}_{N.A.P.}$	gemiddelde oppervlakte dwarsdoorsnede onder N.A.P. over een bepaald traject van de rivier.
H	met de tijd variabele waterstand, gemeten t.o.v. de middenstand D.
H.W.	hoog water
L_s	stoffelijke of werkelijke lengte getijgoot
L, L_{math}	lengte fictieve prototype goot (par. 5)
L_R	resonantie lengte fictieve prototype goot.
L.W.	laag water
O_i	kombergend oppervlak, gemeten over het betreffende traject i
Q	debiet
*) schaal betekent: prototype maat gedeeld door modelmaat.	

NOTATIES (vervolg)

- \bar{Q}_L constant zoetwaterdebiet (rivierafvoer) in getijgoot in te stellen aan de bovenstroomse rand $x = L_S$
- $Q_L^*(t)$ variabel in te stellen getijdebiet aan de bovenstroomse rand van de getijgoot.
- $Q_L(t)$ $Q_L(t) = Q_L^*(t) + \bar{Q}_L$
- Q_{zoet} totale zoetwaterdebiet, dat het zeebassin van de getijgoot instroomt.
- Q_Z debiet mond getijgoot + debiet, nodig voor verticale getijbeweging in het zeebassin van de getijgoot (appendix III, zie ook deel B, par. 2).
- $Q_{overstort}$ debiet, dat over de klep van de zeerand in het naast het zeebassin gelegen reservoir stort.
- $Q_{G.Z.}$ maatgevend getijdebiet in de mond van de goot.
- $Q_{S.Z.}$ maatgevend debiet bij een middenstandsverhoging betrokken op het zeebassin en de goot tot $x = L_S$ (zie par. 9.2)
- $Q_{S.29}$ maatgevend debiet bij een middenstandsverhoging, betrokken op de (fictieve prototype) goot van $x = L_S$ tot L_{math} . (zie par. 9.2)
- $Q_{G.29}$ maatgevend debiet aan de bovenstroomse rand van de getijgoot.
- Q_{29} debiet in station 29 van de homogene getijberekening (= debiet rivierstrand getijgoot)(zie deel B, par. 2)
- Q_{riool} debiet dat bij de getijgoot naar het riool wordt afgevoerd.
- Q_{pekel} debiet aan pekelwater, dat aan de zeerand van de getijgoot wordt geïnjecteerd.
- Q_{BR} bovenafvoer (opperwaterafvoer) van de Rijn gemeten bij Lobith
- $Q_{N.M.}$ bovenafvoer (opperwaterafvoer) van de Nieuwe Maas
- $Q_{O.M.}$ bovenafvoer (opperwaterafvoer) van de Oude Maas
- $Q_{W.W.}$ bovenafvoer (opperwaterafvoer) van de Nieuwe Waterweg
- R hydraulische straal
- T getijperiode
- U zoetwatersnelheid t.g.v. de bovenafvoer (opperwaterafvoer)
- $V_{G.Z.}$ volume water, dat t.g.v. het verticale getij aan de zeerand de goot in-, dan wel uitstroomt.
- $V_{S.Z.}$ volume, nodig voor een middenstandsverhoging in het zeebassin en in de getijgoot tot aan de rivierstrand ($x = L_S$)
- $V_{S.29}$ volume, dat de goot instroomt en zorgt voor een middenstandsverhoging in het gedeelte van de fictieve prototype goot, dat buiten de getijgoot valt: $x = L_S$ tot L_{math} .
- $V_{G.29}$ volume, benodigd voor het getijdebiet $Q_L^*(t)$, dat aan de bovenstroomse

NOTATIES (vervolg)

rand van de getijgoot wordt ingesteld.

λ golflengte

ρ dichtheid

ρ zee dichtheid zeewater

$\Delta\rho$ dichtheidsverschil tussen zee- en rivierwater

REFERENTIES

1. "Water-, zout- en sedimentbeweging in het Noordelijk Bekken van het Deltagebied". Richtlijnen voor Onderzoek, Rijkswaterstaat - Gemeentewerken Rotterdam - Waterloopkundig Laboratorium, augustus 1967.
2. Rijkswaterstaat, Onderzoekingen betreffende de opzet van het deltaplan en de gevolgen van de werken, Rapport deltacommissie, deel 5, Staatsdrukkerij - en uitgeverijbedrijf - 's-Gravenhage, januari 1961.
3. Rijkswaterstaat, Studiedienst, Waterloopkundige afdeling, Rapport 2, 1953, bijlage 6B, tek.nr. 53.127.
4. Stigter, C., Dichtheidsmeting in het Deltamodel M600, intern verslag, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, oktober 1967.
5. Waterloopkundig Laboratorium, Verslag studiereis U.S.A. 1966, intern rapport Waterloopkundig Laboratorium, Delft, oktober 1966.

LIJST VAN TABELLEN

blz.

I	Optredende middenstandsverhogingen te Hoek van Holland en hun overschrijdingskans.	6
II	Verdeling opperwaterafvoer.	7
III	Frequentie-verdeling opperwaterafvoer	8
IV	Gemiddelde diepten Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas	9
V	Meetstations langs de Rotterdamse Waterweg	25
VI	Vergelijking van de meetstations op de Rotterdamse Waterweg met de meetstations in de getijgoot	26
VII	Gegevens Rotterdamse Waterweg voor de situatie van 1964 per kmr.	33
VIII	Kombergend oppervlak Rotterdamse Waterweg	37
IX	Verloop getijdebiet in de Rotterdamse Waterweg	40
X	Verloop zoetwaterdebiet in de Rotterdamse Waterweg	41
XI	Bepaling kombergende oppervlakte getijgoot	42
XII	Resultaten 2 ^e homogene getijberekening: Opslingerfactor	44
XIII	Resultaten 2 ^e homogene getijberekening: ∇ asedraaiing	45
XIV	Proefomstandigheden beschouwde proeven van het deltamodel M600	46
XV	Resultaten proeven in het Deltamodel M600	47

LIJST VAN FIGUREN

1. Schematisatie van een profiel van de Rotterdamse Waterweg.
2. Bepaling diepte getijgoot op basis van de looptijd van een getijgolf.
3. Bepaling breedte van de getijgoot.
4. Invloed havens op kombergende oppervlakte O_i in de Rotterdamse Waterweg.
5. Kombergende breedte getijgoot.
6. Vergelijking opslingerfactor: resultaten 2^e homogene getijberekening met proeven deltamodel M600.
7. Vergelijking fasedraaiing: resultaten 2^e homogene getijberekening met proeven deltamodel M600.
8. Beweging zoetwaterbel op zee voor de mond van de Nieuwe Waterweg.
9. Schematische weergave zeerand regeling.
10. Schematisatie zoutconcentratie en getijbeweging gemeten bij Hoek van Holland
11. Dimensionering zeereservoir m.b.v. homogene getijberekeningen.
12. Dimensionering rivierreservoir m.b.v. homogene getijberekeningen.
13. Dimensionering zeepomp m.b.v. homogene getijberekeningen.
14. Dimensionering rivierpomp m.b.v. homogene getijberekeningen.

VOORONDERZOEK GETIJGOOT

1 Inleiding

Om inzicht in de menging tussen zout en zoet water en het daarmee in een riviermond gepaard gaande stroombeeld te verkrijgen, e.e.a. gecombineerd met een getijbeweging, heeft de Waterloopkundige Afdeling van de Delta-dienst, Rijkswaterstaat, aan het Waterloopkundig Laboratorium in briefnr. 6698, d.d. 10.8.1966 opdracht gegeven tot het doen van modelonderzoek met dichtheidsstromen in een getijgoot. Het onderzoek zou van fundamentele aard zijn.

Bij het verstrekken van de opdracht werd verder gesteld, dat het onderzoek in eerste instantie zodanig moest worden opgezet, dat de resultaten als ondersteuning gebruikt konden worden voor het onderzoek in het getijmodel Rijnmond (M900). (ref. 1). Dit deel van de opdracht bepaalde in grote mate de keuze van de uitgangspunten voor het ontwerp van de getijgoot, evenals de bij het vooronderzoek te beschouwen schalen.

Bij een in zee uitmondende rivier, zoals de Rotterdamse Waterweg, dringt zout water vanuit zee de rivier binnen. De afstand, waarover het zout een dergelijke getijrivier binnendringt, hangt af van de geometrie van de rivier, de oppervlakteafvoer en het dichtheidsverschil tussen zee- en rivierwater. Op grond hiervan mag alleen dan verwacht worden, dat in een getijgoot voor het getijmodel Rijnmond, c.q. voor de Rotterdamse Waterweg toepasbare resultaten kunnen worden verkregen, als het verloop van het horizontale en het verticale getij in de goot overeenstemmen met de getijbewegingen in de Waterweg. Voor het ontwerp van een getijgoot, die aan deze voorwaarden voldeed, was het nodig getijberekeningen uit te voeren. Een uitvoerige beschrijving van de uitgevoerde berekeningen wordt in het tweede deel van dit verslag gegeven (M896-I-B).

In dit eerste deel van het verslag "Vooronderzoek" worden de gegevens verstrekt en de overwegingen gegeven, die de basis vormden voor het uiteindelijke ontwerp van de getijgoot.

Het beschreven vooronderzoek is in 1966 en 1967 uitgevoerd door ir. C. Stigter. Het verslag is op basis van zijn aantekeningen geschreven door ir. A. van Mazijk.

2 Probleemstelling

Daar de resultaten van het getijgoot onderzoek in eerste instantie moeten dienen als ondersteuning van het onderzoek in het getijmodel Rijnmond, is het uitgangspunt voor het ontwerp van de getijgoot, dat in deze goot de Rotterdamse Waterweg onder sterk geschematiseerde omstandigheden moet kunnen worden gereproduceerd. Hierbij doet zich direct het probleem voor, dat de Waterweg van kmr. 1030 - ca. kmr. 1015 wel te vergelijken is met een horizontale goot met een uniform dwarsprofiel, maar dat meer landinwaarts de rivier versmalt, zich splitst in een Oude en een Nieuwe Maas, vele havens en een oplopende bodem heeft, terwijl een goot over z'n gehele lengte uniform is qua afmetingen.

Tengevolge van de rivierversmalling, het bodemverhang en de weerstand, dempt het getij op den duur uit. Doordat de goot niet versmalt, geen bodemverhang en een betrekkelijk geringe weerstand heeft, zal een zeer grote lengte voor de goot nodig zijn om het getij uit te doen dempen. Er zal dus een goot met een gesloten einde moeten worden ontworpen, zodanig lang, dat de stromings-toestand in de mond van de goot zo goed mogelijk overeenkomt met die van de Waterweg en wel met name wat betreft het traject van kmr. 1030 - 1015 en in wat mindere mate het traject van kmr. 1015 - Krimpen, tesamen het gebied waar het zoutindringingsmechanisme optreedt. De aldus vereiste lengte van de goot zal naar verwachting te groot zijn. Derhalve zal de goot ergens "afgekapt" moeten worden en voorzien moeten worden van zodanige randvoorwaarden, dat de stromingstoestand in de mond van de goot gelijk blijft aan die bij de volle lengte.

Om in het bovenstaande meer inzicht te verkrijgen en daarmee ook in het ontwerpen van de goot zullen de volgende punten nader moeten worden onderzocht:

- welke karakteristiek heeft de goot als functie van de gekozen gootlengte (zie deel B, Fig. 5 en 6).
- welke gootlengte moet men kiezen om een goede overeenstemming te krijgen van de getijbeweging in de mond van de goot met die in de Rotterdamse Waterweg (zie par. 5).
- hoe zien de randvoorwaarden van de goot eruit (zeezijde en rivierzijde). (zie par. 3.1 en par. 5 en 7)

Om deze punten nader te kunnen onderzoeken is een homogene getijberekening opgezet (voor de beschrijving hiervan zie deel B, par. 2), waarbij wordt uitgegaan van een horizontale goot met een uniform dwarsprofiel. De randvoorwaarden bij deze berekeningen zijn: aan de rivierzijde een constante rivierafvoer en aan de zeezijde (mond van de goot) een harmonische getijbeweging.

Het bij de berekeningen te hanteren dwarsprofiel is rechthoekig gekozen. Daarbij doet zich echter het probleem voor: welke breedte en diepte afmetingen moeten gekozen worden, opdat de goot zo goed mogelijk de Waterweg benadert. Dit vanwege het feit dat bij de interpretatie van de gootproeven de stap naar het model M900 zo klein mogelijk moet zijn (zie opdracht). Daarnaast is dit noodzakelijk om zo nauwkeurig mogelijk een "prototype" voor de goot vast te kunnen stellen, zijnde de tot goot geschematiseerde Rotterdamse Waterweg (fictieve prototype goot).

Bij het vaststellen van de breedte B en de diepte D moet gelet worden op het volgende:

- De diepte D is van belang in verband met de voortplantingssnelheid (\sqrt{gD}) van de getijgolf over het traject Hoek van Holland - Krimpen. Dit betekent dat de grootte \sqrt{gD} over het beschouwde traject op de Rotterdamse Waterweg en in de getijgoot gemiddeld met elkaar moeten overeenkomen.
- De breedte B is van belang in verband met de continuïteit. Een eenmaal in "Hoek van Holland" ingesteld debiet moet niet alleen verder de goot in, in faseverloop overeenstemmen met de Waterweg (zie eis: \sqrt{gD}), maar ook in absolute grootte. Daarvoor is het nodig, dat de kombergende oppervlakte in het gebied tussen laagwater en hoogwater in de goot goed wordt weergegeven. Dit betekent dat de oppervlakte van de havens mede in beschouwing moet worden genomen.

De breedte B is tevens van belang in verband met de eis, dat de doorsnede van de goot F_{goot} overeen moet komen met de doorsnede van de rivier F_{waterweg} . Hierbij spelen de havens echter geen rol.

Verder moet men zich realiseren, dat niet zonder meer alleen het traject Hoek van Holland - Krimpen beschouwd kan worden maar in feite alleen Hoek van Holland - Westgeul als aan een schematisatie van de Rotterdamse Waterweg tot een goot gedacht wordt.

Immers na de Westgeul splitst de "goot" zich in Nieuwe en Oude Maas. De vraag doet zich nu voor, of we het prototype als een gespleten goot mogen beschouwen. Worden bijv. de getijden van Krimpen en Puttershoek beschouwd (even ver van het splitsingspunt af), dan zijn deze vrijwel gelijk. Daarnaast blijkt het zoetwaterdebiet bij Puttershoek samen met het zoetwaterdebiet bij Kralingse Veer ongeveer gelijk te zijn aan het zoetwaterdebiet bij Maassluis. In het kader van het profiel onderzoek zullen dus 3 secties beschouwd moeten worden:

- kmr. 1032 - 1014 Waterweg
- kmr. 1014 - 988 Nieuwe Maas
- kmr. 1007 - 983 Oude Maas

Tot slot de probleemstelling aangaande de zee, waarin de getijgoot uit zal moeten monden. Op de vraag, wat de functie van deze zee moet zijn, kan het volgende gesteld worden. Op de eerste plaats zal de zee zelf niet in het getijgoot onderzoek worden betrokken, maar zal alleen fungeren als "diffusie en bergingsbassin" om in de mond van de goot ("Hoek van Holland") de juiste randvoorwaarden te verkrijgen t.a.v. snelheden, waterstanden en dichtheden. De zee is bij de getijgoot dus in feite een "randvoorwaardenfabriek".

In verband met de reproductie van de randvoorwaarden d.m.v. deze "fabriek", doet de vraag zich voor hoe deze randvoorwaarden in het prototype tot stand komen. Gesteld kan worden, dat de randvoorwaarden voor een zeer groot deel bepaald worden door de karakteristieken van de rivier (topografie, weerstand e.d.), de rivierafvoer, de verticale getijbeweging op zee en het zeezoutgehalte. Daarnaast kunnen factoren als de diffusie en de horizontale getijstroming op zee een rol spelen. Hoe groot de invloed van deze laatstgenoemde factoren is, is moeilijk te zeggen. We kunnen dit probleem omzeilen en de zee een voldoende grote afmeting geven en hopen, dat door middel van de berging en de diffusie in deze zee redelijke randvoorwaarden worden verkregen. Met andere woorden wat voor randvoorwaarde t.a.v. de dichtheid $\rho = f(y, t)$ wordt verkregen, moet worden afgewacht. (In feite de aanvankelijke gedachtegang met betrekking tot de zee van de getijgoot en ook van het gootonderzoek in Vicksburg (ref. 5)). Toch zal meer aandacht aan de zee moeten worden besteed. In Vicksburg is nl. gebleken, dat de resultaten in de goot zelf behoorlijk afhankelijk kunnen zijn van het mengmechanisme op zee. De vraag doet zich derhalve voor, op welke wijze we de zee in de hand moeten hebben.

In de allereerste plaats is het getijgootonderzoek gericht op de Waterweg, met andere woorden er moet zo met de modelzee gemanipuleerd kunnen worden, dat "Noordzee condities" gereproduceerd kunnen worden voor zover ze van invloed zijn op de randvoorwaarden bij Hoek van Holland. Daartoe zal in eerste instantie gekeken moeten worden naar de zout-zoet-beweging op de Noordzee zelf. Hieruit zullen aanwijzingen kunnen volgen met betrekking tot de methode van regelen.

Daarnaast moet het mogelijk zijn om in een later stadium van het getijgootonderzoek wateminder op de Waterweg gericht onderzoek te doen en zullen derhalve ook andere dan Noordzee condities ingesteld moeten kunnen worden.

3 Ontwerpgegevens

In het volgende worden de diverse ontwerpgegevens, die als basis gediend hebben voor de dimensionering van de getijgoot in het kort weergegeven.

3.1 Vertikaal zeegetij

Voor de bepaling van het in de mond van de getijgoot (d.i. de geschematiseerde uitmonding van een getijrivier in zee) in te stellen getij, is uitgegaan van het vertikale getij te Hoek van Holland. Daarbij kan men onderscheid maken tussen:

- a. normaal tij met een gemiddeld getijverschil tussen H.W. en L.W. van ca. 1,60 m.
- b. spring tij met een gemiddeld getijverschil tussen H.W. en L.W. van ca. 2,00 m.
- c. doodtij met een gemiddeld getijverschil tussen H.W. en L.W. van ca. 1,20 m.

(gegevens ontleend aan de getijtafel voor Nederland van 1964 voor Hoek van Holland, maand januari).

Naast de drie genoemde getij-typen zijn er stormvloed, die met een middenstandsverhoging (stormeffect) gepaard gaan.

Gegevens over de grootte van het stormeffect (w) zijn in onderstaande tabel (TABEL I) samengevat. De gegevens zijn ontleend aan ref. 2.

TABEL I

aantal malen overschreden per jaar	H.W. te Hoek van Holland (m)	w *) (m)
100	+ 1,20	+ 0,20
10	+ 1,70	+ 0,70
1	+ 2,30	+ 1,30
0,1	+ 2,90	+ 1,90
0,01	+ 3,50	+ 2,50
0,001	+ 4,30	+ 3,30
0,0001	+ 5,00	+ 4,00

*) z.o.z.

*) Om uit deze tabel een indruk van w te verkrijgen, is men ervan uitgegaan dat de stormvloed opgebouwd is uit een springtij met een H.W. te Hoek van Holland van + 1,00 m en een middenstandsverhoging.

Voor het ontwerp van de getijgoot zijn, wat betreft de middenstandsverhoging w de volgende waarden beschouwd:

$$w = 0$$

$$w = 2,00 \text{ m}$$

$$w = 4,00 \text{ m}$$

3.2 Dichtheid zeewater

Voor de dichtheid van het zoute water in de zee van de getijgoot (zie par. 6) wordt uitgegaan van de maximale waarde van de dichtheid die optreedt in de mond van de Rotterdamse Waterweg. Deze is circa 1022 kg/m^3 . In de goot moet dienovereenkomstig een dichtheidsverschil $\Delta\rho$ tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater van circa 22 kg/m^3 kunnen worden ingesteld.

3.3 Opperwaterafvoer

Voor het bepalen van de opperwaterafvoer van de getijgoot, zijn de in tabel II en III verzamelde gegevens beschouwd.

TABEL II Verdeling opperwaterafvoer

Q_{BR} (m^3/s)	$Q_{N.M.}$ (m^3/s)	$Q_{O.M.}$ (m^3/s)	$Q_{W.W.}$ (m^3/s)
640	260	140	400
984	345	170	515
1300	425	190	615
2200	645	260	905
2200	610	290	900 1)
3500	1000	400	1400 1)
5000	1450	500	1950 1)
4370	1365	485	1850 2)
9400	2700	1050	3750 2)
16000	4050	1450	5500 2)

1) ontleend aan referentie 3.

2) ontleend aan proeven uitgevoerd in het model M600 van het Waterloopkundig Laboratorium.

In bovenstaande tabel is: Q_{BR} : oppervaterafvoer te Lobith
 $Q_{N.M.}$: oppervaterafvoer Nieuwe Maas
 $Q_{O.M.}$: oppervaterafvoer Oude Maas
 $Q_{W.W.}$: oppervaterafvoer Nieuwe Waterweg

TABEL III

Frequentieverdeling oppervaterafvoer (zie ref. 2, blz. 159)

Q_{BR} (m^3/s)	aantal malen overschreden per jaar
2700	100
5200	10
8000	1
9400	0,4
11700	0,1
16000	0,01

Voor het ontwerp van de getijgoot zijn de volgende afvoeren als uitgangspunt genomen: $Q_{BR} \approx 985 \text{ m}^3/s$

$Q_{BR} \approx 2300 \text{ m}^3/s$ (gemiddelde afvoer)

$Q_{BR} \approx 5000 \text{ m}^3/s$ (10 maal/jaar)

$Q_{BR} \approx 10000 \text{ m}^3/s$ (0,3 maal/jaar)

3.4 Geometrie

3.4.1 Diepte

Voor het bepalen van de over de gehele lengte van de goot constante breedte B en de eveneens over de gehele lengte constante diepte D van de getijgoot is gebruik gemaakt van de in tabel IV vermelde gegevens over de geometrie van de Rotterdamse Waterweg.

TABEL IV

Nieuwe Waterweg	kmr. 1032 - 1020	$\bar{D} = 15,40$ m
Nieuwe Waterweg	kmr. 1020 - 1014	$\bar{D} = 14,70$ m
Nieuwe Maas	kmr. 1014 - 1005	$\bar{D} = 12,70$ m
Nieuwe Maas	kmr. 1005 - 997	$\bar{D} = 12,30$ m
Nieuwe Maas	kmr. 997 - 990	$\bar{D} = 9,50$ m
Oude Maas	kmr. 1007 - 993	$\bar{D} = 8,80$ m
Oude Maas	kmr. 993 - 983	$\bar{D} = 8,70$ m

waarbij \bar{D} de gemiddelde waarde is van de locale diepte D , over het beschouwde traject. De locale diepte D is hierbij bepaald door het stroomvoerend profiel te delen door de breedte op een niveau N.A.P. - 5,50 m. (Fig. 1)

Voor een schematisatie van de in tabel IV gegeven diepten tot één waarde: de ontwerpdiepte voor de getijgoot, wordt uitgegaan van de looptijd van de getijgolf (\sqrt{gD}). Hierbij wordt gesteld, dat de som van de looptijden over de resp. trajecten volgens tabel IV gelijk moet zijn aan de looptijd over het totale traject van kmr. 1032 - 990, terwijl de diepte een constante waarde heeft.

In formulevorm:
$$\sum \left(\frac{\Delta x_i}{\sqrt{g\bar{D}_i}} \right) = \frac{\sum \Delta x_i}{\sqrt{g\bar{D}}}$$

Waarin Δx_i : lengte van het beschouwde traject met een diepte \bar{D}_i in de Rotterdamse Waterweg.

\bar{D}_i : gemiddelde diepte over het betreffende traject in de Rotterdamse Waterweg.

\bar{D} : diepte, aan te houden voor de te ontwerpen goot.

Bovenstaande berekening, uitgevoerd op basis van de gegevens uit tabel IV, welke gelden voor de situatie in de Rotterdamse Waterweg in 1964, resulteert in $\bar{D} = 13,80$ m. Eenzelfde bewerking op basis van lodingen 1956 levert $\bar{D} = 12,50$ m. Voor uitgebreide gegevens wordt verwezen naar de tabel in appendix I (zie ook figuur 2).

3.4.2 Breedte

Bij de vaststelling van de breedte van de getijgoot, moet getracht worden aan de volgende eisen te voldoen: (zie par. 2)

- a. het kombergend oppervlak in de getijgoot moet in overeenstemming zijn met dat van de Waterweg in het gebied tussen L.W. en H.W. inclusief de oppervlakte van de havens.
- b. het stroomvoerend dwarsprofiel ($B \times \bar{D}$) van de goot moet in overeenstemming zijn met dat van de Rotterdamse Waterweg.

Aan deze eisen kan niet tegelijk worden voldaan, zodat naar een compromis moet worden gezocht.

Om zo goed mogelijk bij de Waterweg aan te sluiten, is bij de bepaling van de breedte van de goot in eerste instantie uitgegaan van de doorsnede onder N.A.P. van de diverse meetraaien van de Waterweg (zie tabel appendix I) : $F_{N.A.P.}$. Via een gemiddelde bepaling van $F_{N.A.P.}$ voor de Nieuwe Waterweg tussen kmr. 1030 en 1014, resp. Nieuwe Maas tussen kmr. 1014 en 996, kunnen met behulp van de gevonden diepte $\bar{D} = 13,80$ m de resp. breedten worden bepaald. Deze zijn resp. voor de Waterweg circa 430 m en voor de Nieuwe Maas circa 333 m. Daar de verhouding van deze breedten :

$$\frac{B_{N.M.}}{B_{W.W.}} = 0,77 ,$$

terwijl de bovenafvoeren van Waterweg en Nieuwe Maas zich verhouden als

$$\frac{Q_{N.M.}}{Q_{W.W.}} = 0,71$$

is voor de getijgoot als ontwerpbreedte 430 m aangehouden. Bovendien blijkt uit de lodingen van 1964 (zie tabel VII appendix I) dat het gemiddelde profiel onder N.A.P. voor

de Nieuwe Waterweg (kmr. 1030 - 1014)	$\approx 6000 \text{ m}^2$
de Nieuwe Maas (kmr. 1013 - 990)	$\approx 4125 \text{ m}^2$
de Oude Maas (kmr. 1007 - 976)	$\approx 1960 \text{ m}^2$

inhoudt, dat de doorsnede van de Nieuwe Waterweg bij benadering gelijk is aan de som van de doorsneden van Nieuwe en Oude Maas, terwijl de verhouding van de doorsnede Nieuwe Maas/Waterweg eveneens orde 0,7 bedraagt.

3.4.3 Havens

In par. 3.4.2 is de breedte B van de goot zodanig vastgesteld, dat de snelheid van het zoetwaterdebiet (bovenafvoer) in de goot gemiddeld op schaal wordt weergegeven, m.a.w. $F_{N.A.P.}$ is op schaal. Bekijken we anderzijds de getijsnelheid langs de Rotterdamse Waterweg, dan moet gesteld worden, dat deze afhangt van de geborgen hoeveelheid water, dus van de kombergende oppervlakte en de plaatselijke waterstandsverandering. Het is duidelijk dat het verloop van de getijsnelheid langs de Waterweg het sterkst variëert, daar, waar de kombergend oppervlakte het grootst is en dus de grootste kombergende debieten optreden. Dit is wanneer dus de kombergende oppervlakte $\times \frac{dh}{dt}$ (variatie van de waterstand met de tijd) het grootst is. Daar aangenomen mag worden, dat de grootte van de kombergende oppervlakte gedurende de getijperiode nauwelijks verandert, treden de grootste kombergende debieten op, wanneer $\frac{dh}{dt}$ het grootst is.

Voor het bepalen van de benodigde komberging in de getijgoot teneinde een goede reproductie van de getijsnelheden in de goot te krijgen is uitgegaan van metingen in het getijmodel M600. Beschouwd is proef T1010, waarbij $\frac{dh}{dt}$ maximaal is op $t = 1$ uur (vloed) en $t = 6$ uur (eb). In tabel IX, appendix II, is voor de voornoemde tijdstippen het verloop van het getijdebiet gegeven, uitgaande van gemeten debieten bij Maassluis (kvr. 1018,5) en Kralingse Veer (kvr. 995,8) en de kombergende inhoud (=kombergend opp. $\times \frac{dh}{dt}$). Indien verder het dwarsprofiel bekend is, kan het verloop van de getijsnelheid in de rivier worden bepaald. We stellen nu, dat voor een goede reproductie van de getijsnelheid moet gelden:

$$\frac{v_{\text{getij}}}{v_{\text{zoet}}} \quad \text{in model en prototype gelijk,}$$

waarbij v_{getij} : getijsnelheid

v_{zoet} : snelheid t.g.v. de bovenafvoer.

$$\text{Anders geschreven} \quad \left(\frac{v_{\text{getij}}}{v_{\text{zoet}}} \right)_{W.W.} = \left(\frac{v_{\text{getij}}}{v_{\text{zoetwater}}} \right)_{\text{goot}}$$

$$\text{of} \quad (v_{\text{getij}})_{\text{goot}} = \frac{(v_{\text{zoet}})_{\text{goot}}}{(v_{\text{zoet}})_{W.W.}} \times (v_{\text{getij}})_{W.W.}$$

waarbij index W.W. : grootheid heeft betrekking op de Rotterdamse Waterweg.
index goot : grootheid heeft betrekking op de getijgoot.

In tabel X van appendix II is het verloop van $(v_{\text{zoet}})_{\text{W.W.}}$ gegeven, uitgaande van een bovenafvoer $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ langs de Waterweg en een $Q_{\text{N.M.}} = 0,7 \times 6000 = 4200 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie par. 3.4.2). De zoetwatersnelheid in de goot is constant en bedraagt bij $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1,04 \text{ m/s}$. ($F_{\text{N.A.P.}} = 13,50 \times 430 \text{ m}^2$)

N.B. Het gestelde debiet is qua grootte fictief. Met behulp van deze gegevens is de verhouding $(v_{\text{zoet}})_{\text{goot}} / (v_{\text{zoet}})_{\text{W.W.}}$ en daarmee $(v_{\text{getij}})_{\text{goot}}$ bepaald. Hieruit kan vervolgens de benodigde kombergende oppervlakte worden berekend. E.e.a. is weergegeven in tabel XI (appendix II) en Fig. 5.

Vanwege de gecompliceerdheid zijn de havens in eerste instantie bij het uiteindelijke ontwerp van de getijgoot buiten beschouwing gebleven.

4 Schaalkeuze

4.1 Algemeen

Door de in de getijgoot ingestelde waterdiepte te vergelijken met de maatgevende waterdiepte in het prototype (bijv. Rotterdamse Waterweg) kan per proef aan de getijgoot een verticale schaal worden toegekend:

$$n_h = \frac{\text{gemiddelde diepte prototype}}{\text{diepte getijgoot}}$$

Door de in de getijgoot ingestelde getijperiode te vergelijken met die in het prototype kan per proef aan de getijgoot een tijdschaal worden toegekend. Dit maakt het mogelijk om met de schaalregel van Froude per proef aan de getijgoot ook een horizontale schaal toe te kennen.

$$n_l = n_u \cdot n_t = n_h^{\frac{1}{2}} \cdot n_t$$

waarin n_l = horizontale schaal
 n_u = snelheidsschaal
 n_t = tijdschaal

Door bij de getijregeling van de getijgoot de periode van het getij instelbaar te doen zijn, is de mogelijkheid geopend eenzelfde situatie op verschillende verticale en horizontale schalen te onderzoeken.

4.2 Basisschalen

Voor het ontwerp van de goot wordt uitgegaan van een verticale schaal (prototype maat gedeeld door modelmaat) $n_h = 64$ en een horizontale schaal $n_l = 640$. Deze schalen worden eveneens bij het getijmodel Rijnmond (M900) gehanteerd. De keuze van de schalen van M900 is gebaseerd op een dichtheidsmeting in het Deltamodel M600 en literatuuronderzoek (ref. 4).

De schaalkeuze is verder geverifieerd aan de hand van de ervaring bij de W.E.S.-goot in Vicksburg (ref. 5).

De informatie verkregen bij ref. 4 is overigens verwerkt in ref. 1, in samenspraak met Rijkswaterstaat en Gemeentewerken Rotterdam.

5 Lengte getijgoot

Voor een zo goed mogelijke reproductie van de zoutverdeling in de Rotterdamse Waterweg in de getijgoot, is het vereist, dat de debieten per eenheid van breedte als functie van de afstand tot de mond en als functie van de tijd in de getijgoot zoveel mogelijk gelijk moeten zijn aan die in de Rotterdamse Waterweg in het gebied van de zoutindringing. (kml. 1030 - 1015 en het traject van kml. 1015 - Krimpen, zie par. 2).

Er zal dus een goot ontworpen moeten worden zodanig lang, dat de stromings-toestand in het bovengenoemde gebied zo goed mogelijk overeenkomt met die in de Rotterdamse Waterweg.

Voor de bepaling van deze lengte (L) wordt uitgegaan van een zgn. "fictieve prototype goot", d.w.z. men beschouwt een rivier met een overeenkomstig dwarsprofiel als de getijgoot, met inachtneming van de horizontale en verticale schalen. De bovenstroomse rand van deze goot bevindt zich op de nader te bepalen afstand L van de mond. Deze L wordt de fictieve of mathematische gootlengte genoemd en in het vervolg aangeduid met L_{math} . Aan de mond van de fictieve prototype goot wordt de waterstand als functie van de tijd, gemeten bij Hoek van Holland als randvoorwaarde gedacht, terwijl aan de bovenstroomse rand een constant debiet \bar{Q}_L , gelijk aan de oppervlakerafvoer van de Rotterdamse Waterweg als randvoorwaarde geldt.

Met behulp van getijberekeningen, uitgevoerd voor deze fictieve prototype goot met bovengenoemde randvoorwaarden, kan door variatie van de lengte bepaald worden voor welke L_{math} een optimale reproductie van waterstanden en debieten in het gebied van de zoutindringing wordt verkregen. De getijberekeningen zijn gebaseerd op de lange golftheorie met verwaarlozing van de dichtheidsverschillen (par. 8.1).

Doorgaans wordt de L_{math} uitgedrukt in de resonantielengte L_R , die gedefiniëerd wordt door:

$$L_R = \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{4} \cdot T \cdot c = \frac{1}{4} T \sqrt{gD}$$

waarin L_R : resonantielengte
 λ : golflengte
 T : getijperiode
 c : voortplantingssnelheid getijgolf
 D : waterdiepte

Bij de bepaling van de gootlengte wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de 2^e homogene getijberekening (zie deel B, par 2; voor een overzicht van de uitgevoerde berekeningen wordt verwezen naar deel B, tabel I). Deze resultaten worden vervolgens vergeleken met de resultaten van proeven, uitgevoerd in het Deltamodel M600, die in dit geval beschouwd worden als de prototype gegevens, om te komen tot een optimale keuze van L_{math} .

Bij deze vergelijkingen zijn achtereenvolgens beschouwd:

- de opslingerfactor in de goot (verschil tussen H.W. en L.W. in een bepaald station, bijv. Maassluis ten opzichte van het verschil in H.W. en L.W. in de mond van de goot).
- de fasedraaiing tussen waterstand en debiet (tijdsverschil bijv. tussen H.W. gelet op de waterstand en H.W.K. gelet op het getij debiet = totale debiet minus bovenafvoer).

In appendix III zijn de resultaten weergegeven. In de Fig. 6 en 7 is nagegaan bij welke L/L_R ($L = L_{\text{math}}$) een optimale overeenkomst optreedt met de proefresultaten van het Deltamodel M600. Het blijkt dat voor normale omstandigheden qua verticale getij en bovenafvoer een optimale reproductie wordt gevonden voor $L/L_R = 0,8 \text{ à } 0,9$. (In Fig. 6 en 7 zijn normale gemiddelde omstandigheden beschouwd). Bij meer extreme omstandigheden wat betreft getijverschil (stormvloed : springtij met middenstandsverhoging), blijkt de optimale reproductie verkregen te worden bij $L/L_R \approx 1$.

6 Dimensionering zee

6.1 Algemeen

Aan het ene uiteinde van de getijgoot, dat te vergelijken is met de uitmonding van de Nieuwe Waterweg in zee moeten de juiste randvoorwaarden wat betreft waterstand, dichtheid en snelheid als functie van de tijd kunnen worden ingesteld, teneinde in de goot een goede reproductie van de zoutverdeling van de Nieuwe Waterweg te mogen verwachten. De randvoorwaarden bij Hoek van Holland worden bepaald door de rivierafvoer, het verticale getij, het zoutgehalte van het zeewater, de diffusie en horizontale getijstroom op zee. Bij een analyse van de zout-zoet-beweging op zee blijkt, dat een sterke noord-zuid-getijstrooming voor de kust reeds direct buiten de pieren van Hoek van Holland de door het uitstromende rivierwater gevormde zoetwaterbel meeneemt, waardoor dit zoete rivierwater een heen en weer gaande beweging, parallel aan de kust met een resulterende beweging noordwaarts gaat beschrijven (Fig. 8). De afstand waarover de zoetwaterdeeltjes heen en weer bewegen is ongeveer 10 km, terwijl de resulterende beweging noordwaarts overeenkomt met een verplaatsing van ongeveer 2 km per getijperiode. Daarnaast treedt er ook diffusie op in de richting van de as van de rivier. Uitgaande van deze verschijnselen zou de getijgoot in een zee moeten uitmonden, waarin diffusie loodrecht op de kust gesimuleerd kan worden, naast een kuststroom met een resulterend transport. Tegelijk moet men met deze modelzee de juiste randvoorwaarden in de mond van de goot kunnen instellen wat betreft $h(t)$, $u(y,t)$ en $\rho(y,t)$. Daar enerzijds volledige prototype gegevens betreffende de randvoorwaarden ontbreken en anderzijds een bovengenoemde randregeling zeer gecompliceerd is, heeft men zich bij het ontwerp van de modelzee (ook wel zeebassin genoemd) van de getijgoot zodanig beperkt, dat slechts een vertikaal getij $h(t)$ en een constante dichtheid (ρ_{zee}) als randvoorwaarden kunnen worden ingesteld.

6.2 Regeling zeerand (Fig. 9)

De verticale getijbeweging in het zeebassin wordt geregeld op waterstand met behulp van een beweegbare overstortende klep. Het over de klep stromende water kan opgevangen worden in een naast het zeebassin gelegen reservoir van waaruit het water weer terug in het zeebassin kan worden gepompt.

Naar het zeebassin stroomt een constant zoetwaterdebiet \bar{Q}_L (de rivierafvoer). Het water, dat over de regelklep in het reservoir stort, zal als gevolg van dit zoetwaterdebiet een lagere dichtheid hebben, dan het oorspronkelijk ingepompte zoute water. Daar dit water met lagere dichtheid vervolgens weer in het zeebassin wordt gepompt, zal dus als gevolg van de rivierafvoer de dichtheid van het water in het zeebassin met de tijd afnemen. Daar echter aan de zeerand van de getijgoot een constante dichtheid wordt gewenst, zal bijv. in de leiding tussen het reservoir en het zeebassin pekewater met een dichtheid van 1200 kg/m^3 moeten worden geïnjecteerd, en wel zodanig dat het in het zeebassin ingepompte zoute water een gewenste en constante dichtheid heeft.

Aan het systeem (goot, zeebassin en reservoir) wordt gezien het bovenstaande een constant debiet \bar{Q}_L en een hoeveelheid pekewater Q_{pekel} toegevoerd. Om te voorkomen dat hierdoor een accumulatie in het reservoir optreedt moet er water naar het riool worden afgevoerd (Q_{riool}).

De grootte van Q_{pekel} en Q_{riool} kan nu als volgt worden afgeschat:

$$\begin{array}{llll} \text{Stel: dichtheid pekewater} & \rho_{\text{pekel}} & \approx & 1200 \text{ kg/m}^3 \\ \text{dichtheid water in} & & & \\ \text{het zeebassin} & \rho_{\text{zee}} & \approx & 1025 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

dan moet het pekewaterdebiet zijn:

$$Q_{\text{pekel}} \approx \frac{1}{8} \bar{Q}_L$$

$$\text{zodat } Q_{\text{riool}} \approx \frac{1}{8} \bar{Q}_L$$

Op deze manier kan het maximale en minimale pekewaterdebiet worden bepaald uitgaande van extreme proefomstandigheden.

Stel bijvoorbeeld, dat het maximale debiet door de Waterweg is :

$$Q_{\text{W.W.}} = 0,4 \times 10.000 \text{ m}^3/\text{sec} = 4000 \text{ m}^3/\text{s}.$$

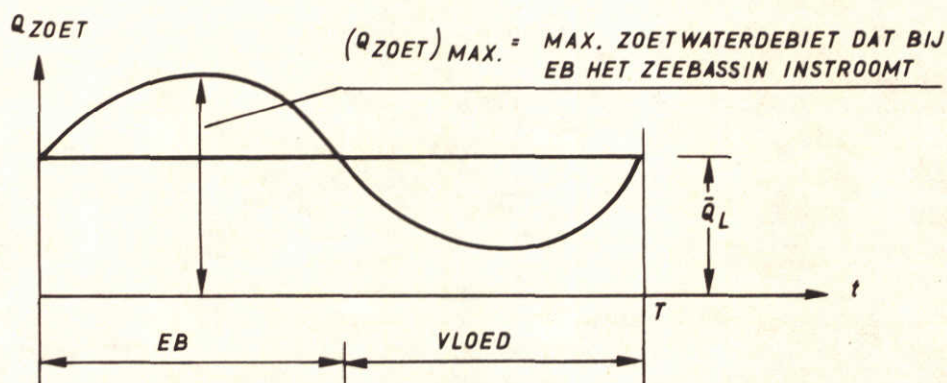
$$\text{(bij } Q_{\text{BR}} \text{ (te Lobith) = } 10.000 \text{ m}^3/\text{sec}),$$

dan is \bar{Q}_L in de goot bij de basisschalen $n_1/n_h = 640/64$ (par. 4.2) gelijk aan circa 12 l/sec. , zodat naar boven afgerond: $Q_{\text{pekel}} \approx 2 \text{ l/sec.}$

Bij een minimale bovenafvoer van $Q_{W.W.} = 0,4 \times 800 \approx 300 \text{ m}^3/\text{s}$

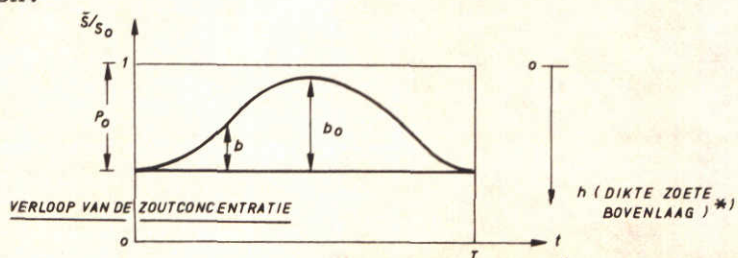
vindt men $Q_{\text{pekkel}} \approx 0,15 \text{ l}/\text{sec}$.

De hoeveelheid zoetwater (Q_{zoet} , zie onderstaande schets), die de zee instroomt, is gemiddeld over de getijperiode gelijk aan de bovenafvoer \bar{Q}_L . Als gevolg van de getijbeweging echter varieert deze hoeveelheid gedurende de getijperiode en wel zodanig, dat tijdens de vloedperiode de hoeveelheid zoetwater, die het zeebassin uitstroomt kleiner is dan de over de getijperiode gemiddelde waarde, en tijdens de ebperiode groter.



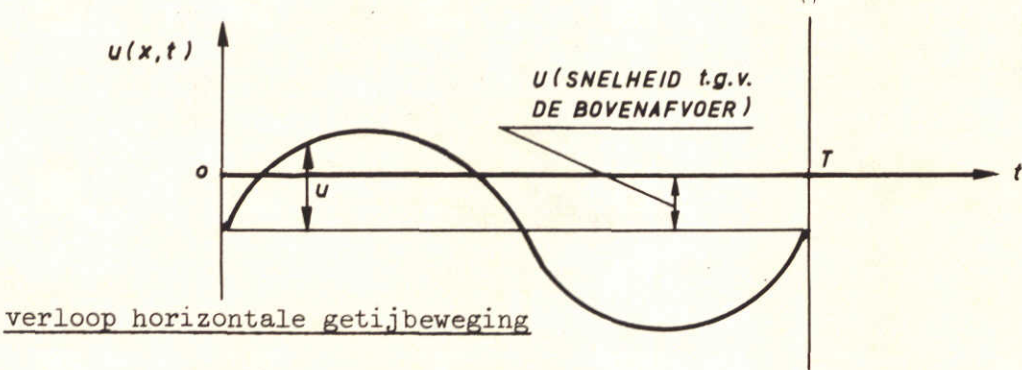
Dit betekent, dat gedurende de ebperiode meer zoetwater over de regelklep van het zeebassin in het reservoir stroomt en gedurende de vloed minder dan \bar{Q}_L . Het pekkelwaterdebiet Q_{pekkel} moet dus op het maximaal optredende zoetwaterdebiet $(Q_{\text{zoet}})_{\text{max.}}$ gedimensioneerd worden, terwijl de totaal benodigde hoeveelheid pekkelwater per getijperiode gedimensioneerd kan worden, uitgaande van het constante debiet \bar{Q}_L .

Voor de bepaling van $(Q_{\text{zoet}})_{\text{max.}}$ wordt uitgegaan van het verloop van de zoutconcentratie zoals deze globaal is gemeten in de mond van de Rotterdamse Waterweg en het horizontale getij. (Fig. 10) In bijgaande schetsen is dit geschematiseerd weergegeven.



*) Z.O.Z.

* Het verloop van de gemiddelde zoutconcentratie (\bar{s}/s_0) kan ook gezien worden als het verloop van een (fictieve) zoete bovenlaag, terwijl de onderlaag volledig zout is (daarvoor geldt dan $\bar{s}/s_0 = 1$).



Het zoetwaterdebiet dat het zeebassin instroomt, wordt gegeven door (voor de breedte van de Rotterdamse Waterweg wordt 430 m aangehouden)

$$Q_{zoet} = 430 (u - U) (p_0 - b) \quad (6.2.1)$$

Stelt men, dat de horizontale getijbeweging door een sinus mag worden benaderd

$$u = u_0 \sin \frac{2\pi t}{T} \quad (6.2.2)$$

en b geschreven mag worden als

$$b = b_0 \sin^n \left(\frac{\pi t}{T} \right) \quad (6.2.3)$$

dan wordt vergelijking (6.2.1)

$$Q_{zoet} = 430 \left(u_0 \sin \frac{2\pi t}{T} - U \right) \left(p_0 - b_0 \sin^n \left(\frac{\pi t}{T} \right) \right).$$

Voor bovenafvoeren Q_{BR} (bij Lobith gemeten) van 984, 2380 en 4370 m³/s en bij springtij (getijverschil 1,80 m) is $(Q_{zoet})_{max}$ bepaald en vergeleken met de bijbehorende bovenafvoer door de Rotterdamse Waterweg \bar{Q}_L . Het blijkt dat deze zich verhouden als $\frac{(Q_{zoet})_{max.}}{\bar{Q}_L} \approx 3$, zodat

uitgaande van een $Q_{BR} = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (maximum) waarbij $\bar{Q}_L \approx 12 \text{ l/s}$ (model)

het bijbehorende pekewaterdebiet bedraagt:

$$Q_{\text{pekkel}} = \frac{1}{8} (Q_{\text{zoet}})_{\text{max.}} = \frac{1}{8} \cdot 3 \cdot \bar{Q}_L \approx 5 \text{ l/s.}$$

De regelinstallatie moet voor Q_{pekkel} dus op minstens 5 l/s gedimensioneerd worden.

In appendix V is een uitwerking gegeven van de bepaling van $(Q_{\text{zoet}})_{\text{max.}} / \bar{Q}_L$ voor $Q_{\text{BR}} = 2380 \text{ m}^3/\text{s}$. Daarbij is voor n de waarde 2 aangehouden.

7 Instelling bovenstroomse rand

Aan het uiteinde van de goot, dat vergeleken kan worden met een bovenstrooms gelegen punt van de Rotterdamse Waterweg, kan een constant zoetwaterdebiet ingesteld worden. Dit debiet is de naar het model vertaalde opperwaterafvoer van de Rotterdamse Waterweg, waarvan de ontwerpgegevens in par. 3.3 vermeld zijn, aangeduid met \bar{Q}_L .

Zoals gesteld in par. 2 zal naar verwachting de gootlengte L (of $L_{\text{math.}}$) benodigd voor een goede reproductie van de Rotterdamse Waterweg op schaal te groot zijn om te kunnen bouwen. Gaan we uit van

$$L/L_R = 0,9 \quad (\text{zie par. 5})$$

$$\text{en} \quad L_R = 130.000 \text{ m}$$

$$(T = 12 \text{ u.} 25 \text{ min en } D = 13,80 \text{ m})$$

dan vindt men $L = L_{\text{math.}} = 117.000 \text{ m}$. Indien de stoffelijke lengte L_s van de getijgoot (model) circa 100 m is (zie verslag M896-II), dan is dit bij een lengteschaal van 640 circa 64.000 m, waarmee $L_s < L_{\text{math.}}$. Om nu in de mond van de getijgoot een getijbeweging te kunnen instellen, die overeenkomt met de getijbeweging in de beschouwde fictieve prototype goot, zal de zgn. bovenstroomse rand van de getijgoot zodanig moeten worden ingericht dat naast het constante debiet \bar{Q}_L , ook een variabel debiet $Q_L^*(t)$ ingesteld kan worden. Met behulp van de in par. 5 reeds genoemde homogene getijberekeningen kan dit in te stellen getijdebiet $Q_L^*(t)$, optredende in een punt van de fictieve prototype goot, dat op schaal overeenkomt met het stoffelijke einde van de getijgoot (= bovenstroomse rand), worden bepaald. Indien \bar{Q}_L en $Q_L^*(t)$ onafhankelijk van elkaar te regelen zijn, is het mogelijk om naast een willekeurige opperwaterafvoer \bar{Q}_L een willekeurige horizontale getijbeweging $Q_L^*(t)$ aan de bovenstroomse rand van de getijgoot in te stellen. Bij een zuiver periodiek getij bijvoorbeeld ziet de instelling van het debiet aan de bovenstroomse rand $Q_L(t)$ er dan als volgt uit:

$$Q_L(t) = Q_L^*(t) + \bar{Q}_L,$$

terwijl vanwege de periodiciteit geldt:

$$\int_T Q_L^*(t) dt = 0 ,$$

waarin T de getijperiode is. Bij een dergelijke debietregeling is het mogelijk om bij een periodieke getijbeweging driftverschijnselen te voorkomen.

Voor een verdere dimensionering en ontwerp van de bovenstroomse rand met betrekking tot $Q_L^*(t)$ is uitgegaan van uitgevoerde homogene getijberekeningen bij maatgevende omstandigheden. (zie par. 5 en 8). De resultaten zijn verzameld in appendix IV (zie par. 9).

8 Getijberekeningen

Daar enerzijds in deel B van dit verslag de getijberekeningen uitvoerig worden toegelicht en anderzijds de homogene getijberekening gebruikt wordt voor het bepalen van de randinstelling van de bovenstroomse rand van de getijgoot (par. 5), zal in deze paragraaf slechts in het kort worden ingegaan op de homogene getijberekening. Daarnaast zullen gegevens betreffende het prototype worden gegeven, die mede bepalend zijn geweest voor de stapgrootte in plaats en tijd bij de getijberekening.

8.1 Homogene getijberekening

Daar gebleken is, dat het zout geen, dan wel nagenoeg geen invloed heeft op de getijdebieten (zie deel B, par. 3 van dit verslag), kan voor het bepalen van de L_{math} , waarbij een optimale reproductie van de getijbeweging wordt verkregen, gebruik gemaakt worden van de homogene getijberekening.

Deze getijberekening, één-dimensionaal uitgevoerd, is gebaseerd op de volgende twee vergelijkingen:

a) bewegingsvergelijking

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\bar{u} |\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (8.1.1)$$

waarin \bar{u} : gem. snelheid over de doorsnede als functie van x en t .

h : waterstand als functie van x en t

C : Chézy-coëfficiënt

R : hydraulische straal

g : zwaartekrachtsversnelling

t : tijd

x : horizontale coördinaat.

b) continuïteitsvergelijking

$$\frac{\partial \bar{u} h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (8.1.2)$$

Drukt men \bar{u} uit in het debiet Q , dan worden de vergelijkingen (8.1.1) en (8.1.2) door substitutie van $\bar{u} = Q/(B \cdot h)$:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q}{h} \frac{\partial h}{\partial t} + (gA - \frac{Q^2 B}{A^2}) \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 A R} = 0 \quad (8.1.3)$$

en $B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (8.1.4)$

waarin A: $A = B \cdot h$

B: breedte

Q: debiet als functie van x en t

De vergelijkingen zijn als volgt nog vereenvoudigd. Schrijft men vergelijking (8.1.1) als

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + g \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{u}^2}{2g} + h \right) + g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (8.1.5)$$

dan kan gesteld worden, dat

$$\frac{\bar{u}^2}{2g} \ll h,$$

zodat vergelijking (8.1.5) wordt

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (8.1.6)$$

Drukt men verder \bar{u} in Q uit en geldt $B \gg h$, zodat $R \approx h$, dan wordt vergelijking (8.1.6), (zie ook vgl. 8.1.3)

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gBh^2} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{C^2 A^2 h} = 0 \quad (8.1.7)$$

Splitst men nu h in een in de tijd variabele waterstand H en een middenstand D , dan wordt vgl. (8.1.7):

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gB \cdot (D+H)} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gB(D+H)^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{C^2 B^2 (H+D)^3} = 0 \quad (8.1.8)$$

en voor vgl. (8.1.4)

$$B. \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (8.1.9)$$

Voor het uitvoeren van de homogene getijberekening worden de vlg.(8.1.8) en (8.1.9) gehanteerd. (zie verder deel B, par. 2).

8.2 Bepaling stapgrootte in tijd en afstand bij de homogene getijberekening

De getijperiode is, uitgaande van het prototype, vastgesteld op 12 uur en 25 minuten, zijnde de duur van één getij. Dit is in seconden: $T = 44.700$ sec. De periode T is in 300 stappen Δt verdeeld, elk met een duur van 149 sec.

In verband met de stabiliteitseis van de getijberekening moet de stapgrootte in x-richting zodanig gekozen worden, dat geldt:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} > \sqrt{gD} \quad (8.2.1)$$

Om anderzijds een snelle vergelijking mogelijk te maken van de met de homogene getijberekening bepaalde waterstanden en debieten met de in het prototype gemeten waarden, is het gewenst, dat de stapgrootte Δx zodanig groot is, dat de meetstations in het prototype op afstanden van Hoek van Holland liggen, die veelvoudig zijn van Δx . In verband hiermee worden in onderstaande tabel V de belangrijke meetstations langs de Rotterdamse Waterweg gegeven.

TABEL V: Meetstations langs de Rotterdamse Waterweg

peilschaal	Hoek van Holland	kmr. 1030,76
"	Maassluis	kmr. 1018,52
"	Krimpen	kmr. 988,65
"	Puttershoek	kmr. 989,9
debietmeting	Maassluis	kmr. 1018,52
"	Kralingse Veer	≈ kmr. 995,8

Stelt nu $\Delta x = 2340$ m, - een afstand, die tevens omgerekend naar de model-schaal geldt als de afstand tussen de meetpunten in de getijgoot, dan kan men de volgende vergelijking maken tussen de meetpunten in de getijgoot (omgerekend naar prototypemaat) en de in tabel V genoemde meetstations langs de Rotterdamse Waterweg.

TABEL VI

Meetstations getijgoot			Meetstations Rotterdamse Waterweg		
station	afstand tot mond in proto-maat (m)	afstand ¹⁾ t.o.v. station 1 (m)	station	kmr.	afstand t.o.v. Hoek v.Holland (m)
stat. 1	2.340	0	Hoek v.Holland	1030,76	0
stat. 6	14.040	11.700	Maassluis	1018,52	12.240
stat.13	30.420	28.080	Rotterdam	999,50	31.260
stat.16	37.440	35.100	Kral.Veer	995,80	34.960
stat.19	44.460	42.120	Krimpen	988,65	42.110

1) Bij de homogene getijberekening komt station 1 overeen met de mond van de getijgoot, c.q. met Hoek van Holland in het prototype.

Verder blijkt de gestelde waarde van 2340 m voor Δx aan de eis, geformuleerd in vgl. (8.2.1) te voldoen.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2340}{149} = 15,7 \text{ m/s} > \sqrt{gD} = \sqrt{9,81 \times 13,80} = 11,6 \text{ m/s}$$

9 Bepaling afmetingen reservoirs en pompen

9.1 Algemene beschouwing

Aan de zeerland wordt een verticale getijbeweging ingesteld. Als gevolg daarvan stroomt bij vloed water vanuit het zeebassin de goot in en bij eb in omgekeerde richting. Dit betekent, dat gedurende de vloedperiode extra water vanuit het zeereservoir (par. 6.2) in het zeebassin moet worden gepompt, terwijl gedurende de ebperiode extra water over de regelklep in het zeereservoir terug stroomt. Het zeereservoir moet zodanig worden gedimensioneerd, dat het het water, nodig voor de aldus optredende getijbeweging kan bergen.

Aan de bovenstroomse rand van de getijgoot wordt een horizontale getijbeweging geregeld door het inbrengen en onttrekken van water ($Q_L^*(t)$, zie par. 7). Voor deze regeling moet eveneens een reservoir worden ontworpen die de hoeveelheid water nodig voor deze debiet-regeling kan bergen.

Vormen de zeerland (zeebassin en zeereservoir), de goot zelf en het te ontwerpen reservoir aan de bovenstroomse rand één geheel, het model genaamd, dan wordt aan dit model van buitenaf het oppervlaktwaterdebiet \bar{Q}_L en een hoeveelheid pekelwater Q_{pekel} (zie par. 6.2) toegevoegd. Om te voorkomen, dat de hoeveelheid water in het model toeneemt als gevolg van deze toevoegingen, moet men uit het model een zeker debiet naar het riool afvoeren (Q_{riool}) en wel zodanig, dat geldt:

$$Q_{\text{riool}} = \bar{Q}_L + Q_{\text{pekel}} \quad (9.1.1)$$

9.2 Te beschouwen ontwerpgrontheden

9.2.1 Zeereservoir

Het zeereservoir moet de volgende hoeveelheden water kunnen bergen:

- volume, benodigd voor het getijdebiet, dat de goot in- en uitstroomt en dat, wat betreft de grootte, afhankelijk is van het ingestelde verticale getij aan de zeerland: $V_{G.Z.}$

- volume, benodigd om in de getijgoot een middenstandsverhoging w te kunnen realiseren. Daar bij de bepaling van de randcondities in de getijgoot in wezen uitgegaan wordt van de fictieve prototype goot, moet het volume nodig voor de middenstandsverhoging betrokken worden op de L_{math} . Het benodigde volume wordt aangeduid met: $V_{S.Z.} + V_{S.29}$

waarin $V_{S.Z.}$: volume, nodig voor de middenstandsverhoging in het zeebassin en in de getijgoot tot aan de rivierstrand ($x = L_s$).

$V_{S.29}$: volume, dat de goot instroomt en zorgt voor een middenstandsverhoging in dat gedeelte van de fictieve prototype goot, dat buiten de getijgoot valt: $x = L_s$ tot L_{math} . In wezen wordt $V_{S.29}$ aan de bovenstroomse rand van de getijgoot onttrokken.

- een zekere reserve aan water, die een goede werking van de pompen moet waarborgen.

Samenvattend moet de inhoud van het zeereservoir gedimensioneerd worden op

$$V_Z = V_{G.Z.} + V_{S.Z.} + V_{S.29} + \text{reserve} \quad (9.2.1.1)$$

9.2.2 Pompen zeerand

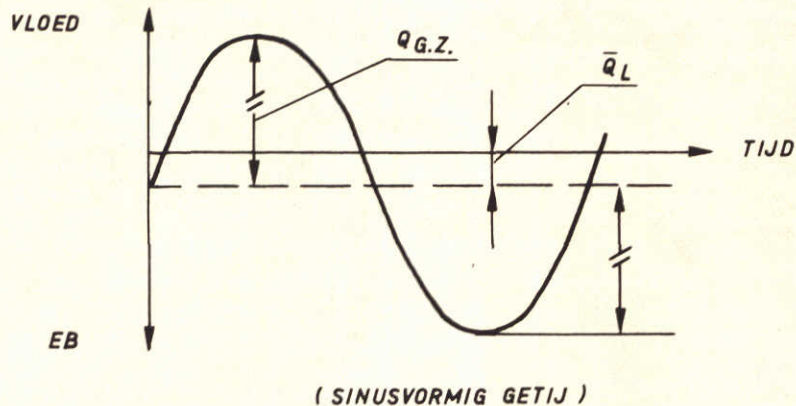
De pompen aan de zeerand, die het water uit het zeereservoir naar het zeebassin pompen, worden gedimensioneerd op de maatgevende debieten, welke optreden als een gevolg van de verticale getijbeweging aan de zeerand ($Q_{G.Z.}$) en de stormvloed ($Q_{S.Z.} + Q_{S.29}$). Daarnaast moet vanwege een goede waterstandregeling een minimale overstort over de regelklep gewaarborgd zijn ($Q_{\text{min.Overstort}}$).

Samenvattend moet de gezamenlijke capaciteit van de aanvoerpompen naar het zeebassin gedimensioneerd worden op:

$$Q_{\text{aanv.zee}} = Q_{G.Z.} + Q_{S.Z.} + Q_{S.29} + Q_{\text{min.Overstort}}$$

Bij een periodiek getij kan het in de mond van de getijgoot optredende horizontale getij opgebouwd worden gedacht uit een met de tijd variërend debiet $Q^*(t)$, dat gesommeerd over de getijperiode nul is en de oppervlaktewaterafvoer \bar{Q}_L (zie ook par. 7).

Voor $Q_{G.Z.}$ wordt nu de maximale waarde van $Q^*(t)$ genomen tijdens de vloedperiode



9.2.3 Overstort over de regelklep zeerand

De maximale afvoer over de regelklep aan de zeerand wordt door de resp. maatgevende debieten gegeven:

- het pompdebiet Q_{pomp}
- het getijdebiet $Q_{G.Z.}$ (maximale getijdebiet in de mond van de goot tijdens de ebperiode uitgaande van $Q^*(t)$, zie par. 9.2.2).
- het debiet als gevolg van het weer afnemen van de middenstandsverhoging $Q_{S.Z.} + Q_{S.29}$.
- de opperwaterafvoer \bar{Q}_L .

De totale afvoer over de regelklep wordt dan:

$$Q_{afvoer\ zee} = Q_{pomp} + Q_{G.Z.} + Q_{S.Z.} + Q_{S.29} + \bar{Q}_L$$

Daar Q_{pomp} gelijk is aan $Q_{aanv.zee}$ uit par. 9.2.2 kan men ook schrijven:

$$Q_{afvoer\ zee} = 2Q_{G.Z.} + 2Q_{S.Z.} + 2Q_{S.29} + \bar{Q}_L + Q_{min.Overstort.}$$

9.2.4 Reservoir bovenstroomse rand (rivierreservoir)

Het rivierreservoir moet de volgende hoeveelheden water kunnen bergen:

- volume, benodigd voor het getijdebiet $Q_L^*(t)$: $V_{G.29}$
- volume, benodigd voor een middenstandsverhoging over dat gedeelte van de fictieve prototype goot, dat in de getijgoot niet wordt weergegeven ($x = L_s$ tot $x = L_{math.}$), zie par. 9.2.1.: $V_{S.29}$

- een zekere reserve aan water, die een goede werking van de pompen moet waarborgen.

Samenvattend moet de inhoud van het rivierreservoir gedimensioneerd worden op:

$$V_R = V_{G.29} + V_{S.29} + \text{reserve}$$

9.2.5 Pompen rivierrand

De pompen, die het water uit het rivierreservoir naar de getijgoot moeten pompen en omgekeerd, worden gedimensioneerd op de maatgevende debieten tengevolge van

- het horizontale getij $Q_L^*(t)$: $Q_{G.29}$ (zie de definitie van $Q_{G.Z.}$, par. 9.2.2)
- de middenstandsverhoging (stormvloed): $Q_{S.29}$

De gezamenlijke capaciteit van de pompen moet dus bedragen (zowel voor de aanvoer als de afvoer)

$$Q_{\text{aanv.rivier}} = Q_{\text{afvoer rivier}} = Q_{G.29} + Q_{S.29}$$

9.3 Afmetingen reservoirs en pompen

In appendix IV zijn tabellarisch voor diverse getijomstandigheden de voor de dimensionering van reservoirs en pompen, benodigde grootheden weergegeven.

Eén en ander resulteert in de volgende afmetingen en capaciteiten.

- zeereservoir : 19 à 25 m³
- rivierreservoir : 12 m³
- pompcapaciteit zeerand : 1 pomp van 75 l/s en
1 pomp van 40 l/s
- pompcapaciteit bovenstroomse rand : 1 pomp van 40 l/s

10 Samenvatting

Uitgaande van gegevens betreffende de Rotterdamse Waterweg is een ontwerp gemaakt voor een getijgoot, waarin de menging tussen zout en zoet water, zoals die in de mond van een getijrivier optreedt, nader kan worden onderzocht.

De goot is aan het benedenstroomse einde verbonden met een zeebassin, dat fungeert als een zgn. "randvoorwaardenfabriek" en dat slechts tot doel heeft de gewenste randinstelling te krijgen in de mond van de goot. Met deze randregeling kan een vertikaal getij $h_0(t)$ worden opgedrukt, terwijl het daarnaast mogelijk is een gewenste dichtheid van het water in te stellen, die gedurende de proef constant wordt gehouden.

Indien men een bepaalde getijbeweging in de getijgoot wil reproduceren, wordt met behulp van homogene getijberekeningen bepaald, welke lengte een zgn. fictieve prototype goot (waarvan de getijgoot een schaalmodel is) moet hebben om een optimale reproductie te verkrijgen. Bij deze homogene getijberekening is de randvoorwaarde van de zeerand gelijk aan het vertikale getij, dat in het prototype is gemeten, dan wel ingesteld wordt in het zeebassin van de getijgoot, terwijl de bovenstroomse randvoorwaarde gevormd wordt door een constant debiet, dat overeenkomt met de bovenafvoer van de beschouwde rivier. Daar de bij deze berekeningen gevonden lengte doorgaans op schaal groter is dan de stoffelijke lengte van de getijgoot is de bovenstroomse rand van de goot zodanig ingericht, dat naast een constant zoetwaterdebiet (bovenafvoer) een getijdebiet kan worden ingesteld. Dit in te stellen getijdebiet wordt daarbij bepaald uit de homogene getijberekening.

De basisschalen voor het getijgootonderzoek zijn gelijk aan die van het getijmodel "Rijnmond" (M900): horizontale schaal $n_1 = 640$ en verticale schaal $n_h = 64$.

APPENDIX I

Gegevens Rotterdamse Waterweg voor de situatie 1964
per kilometerraai. (TABEL VII)

TABEL VII

kmr.	D_i (m)	$\sqrt{D_i}$	$\sum \sqrt{D_i}$ i	$F_{N.A.P.}^i$ (m^2)	$\Sigma F_{N.A.P.}^i$ (m^2)	$B_{-5,50}^i$ (m)	$\Sigma B_{-5,50}^i$ i (m)
Nieuwe Waterweg							
1032-31	15,35	3,92	3,92	8505	8505	515	515
1031-30	16,25	4,03	7,95	9013	17158	480	995
1030-29	16,26	4,03	11,98	6989	24507	420	1415
1029-28	15,25	3,91	15,89	5880	30387	380	1795
1028-27	15,70	3,96	19,85	6430	36817	376	2171
1027-26	15,10	3,89	23,74	6334	43151	378	2549
1026-25	14,35	3,79	27,53	6389	49540	396	2945
1025-24	14,60	3,83	31,36	5974	55514	367	3312
1024-23	15,48	3,94	35,30	5684	61198	345	3657
1023-22	14,60	3,83	39,13	5402	66600	347	4004
1022-21	14,45	3,80	42,93	5629	72229	343	4347
1021-20	15,44	3,93	46,86	5879	78100	333	4680
1020-19	14,50	3,82	50,68	5496	83604	335	5015
1019-18	15,00	3,88	54,56	5764	89368	333	5348
1018-17	15,08	3,89	58,45	5528	94896	334	5682
1017-16	14,30	3,78	62,23	5411	100307	356	6038
1016-15	13,70	3,71	65,94	5418	105725	367	6405
1015-14	13,50	3,68	69,62	5651	111376	366	6771

D_i : Diepte per kmr.

$F_{N.A.P.}^i$: Doorsnede onder N.A.P. per kmr.

$B_{-5,50}^i$: Breedte op N.A.P. - 5,50m per kmr.

TABEL VII (vervolg)

kmr.	D_i (m)	$\sqrt{D_i}$	$\sum_i \sqrt{D_i}$	$F_{N.A.P.}^i$ (m ²)	$\sum_i F_{N.A.P.}^i$ (m ²)	$B_{-5,50}^i$ (m)	$\sum_i B_{-5,50}^i$ (m)
Nieuwe Maas							
1014-13	12,15	3,51	3,51	4865	4865	378	378
1013-12	12,70	3,57	7,08	4866	9731	400	778
1012-11	12,40	3,53	10,61	5585	15316	431	1209
1011-10	11,70	3,43	14,04	5056	20372	425	1634
1010-09	12,20	3,50	17,54	5334	25706	421	2055
1009-08	11,90	3,45	21,08	4892	30598	398	2453
1008-07	13,05	3,61	24,69	5230	35828	392	2845
1007-06	13,10	3,62	28,31	5199	41027	394	3239
1006-05	13,36	3,66	31,97	5363	46390	405	3644
1005-04	12,00	3,47	35,44	4648	51038	379	4023
1004-03	12,00	3,47	38,91	4548	55586	375	4398
1003-02	11,46	3,39	42,30	4281	59867	374	4772
1002-01	11,90	3,45	45,75	4330	64197	348	5120
1001-00	11,80	3,44	49,19	3648	67845	287	5407
1000-99	12,50	3,54	52,73	3524	71369	264	5671
999-98	10,80	3,29	56,02	3470	74839	304	5975
998-97	10,45	3,24	59,26	4124	78963	371	6346
997-96	11,00	3,32	62,58	3908	82871	350	6696
996-95	11,00	3,32	65,90	3630	86501	313	7009
995-94	10,30	3,22	69,12	3122	89623	293	3302
994-93	7,60	2,76	71,88	3217	92840	386	7688
993-92	10,25	3,21	75,09	2798	95638	274	7962
992-91	9,80	3,14	78,23	2306	97944	223	8185
991-90	10,50	3,24	81,47	2260	100204	204	8389

TABEL VII (vervolg)

kmr.	D_i (m)	$\sqrt{D_i}$	$\sum_i \sqrt{D_i}$	$F_{N.A.P.}^i$ (m ²)	$\sum_i F_{N.A.P.}^i$ (m ²)	$B_{-4,00}^i$ (m)	$\sum_i B_{-4,00}^i$ (m)
Oude Maas							
1007-06	9,85	3,14	3,14	2000	2000	204	204
1006-05	8,40	2,91	6,05	2060	4060	230	434
1005-04	8,30	2,88	8,93	2200	6260	250	684
1004-03	8,55	2,93	11,86	2240	8500	256	940
1003-02	9,85	3,14	15,00	2360	10860	230	1170
1002-01	8,60	2,94	17,94	2020	12880	222	1392
1001-00	8,30	2,88	20,32	1910	14790	214	1606
1000-99	9,00	3,00	23,82	1940	16730	206	1812
999-98	9,25	3,04	26,86	1930	18660	198	2010
998-97	10,00	3,17	30,03	1840	20500	170	2180
997-96	9,20	3,04	33,07	1790	22290	176	2356
996-95	8,10	2,85	35,92	2020	24310	228	2584
995-94	8,50	2,92	38,84	2330	26640	260	2844
994-93	8,15	2,86	41,70	2330	28970	274	3118
993-92	8,05	2,84	44,54	2300	31270	262	3380
992-91	9,30	3,05	47,59	2110	33380	220	3600
991-90	8,20	2,87	50,46	1870	35250	212	3812
990-89	9,00	3,00	53,46	2220	37470	240	4052
989-88	8,70	2,95	56,41	2270	39740	250	4302
988-87	8,80	2,97	59,38	1830	41570	194	4496
987-86	9,40	3,07	62,45	1680	43250	180	4676
986-85	8,75	2,96	65,41	1690	44940	176	4852
985-84	8,45	2,91	68,32	1800	46740	206	5058
984-83	8,05	2,84	71,16	1860	48600	214	5272
983-82	8,90	2,99	74,15	1570	50170	168	5440
982-81	9,95	3,16	77,31	1350	51520	130	5570

APPENDIX II

Komberging Rotterdamse Waterweg

TABEL VIII (zie Figuur 4)

Kombergende oppervlakte Rotterdamse Waterweg

kmr.	lengte x breedte = O_i ($10^6 \cdot m^2$)	$\sum_i O_i$ incl. havens ($10^6 \cdot m^2$)	$\sum_i O_i$ excl. havens ($10^6 \cdot m^2$)	opp. haven
1032,76-1030,15	2,055	2,055	2,055	
1030,15-1027,55	1,337	3,392	3,392	
1027,55-1024,00	2,167	5,559	5,559	
1024,00-1020,68	1,732	7,291	7,291	
1020,68-1016,87	2,089	9,380	9,380	
1016,87-1013,95	1,531	10,911	10,911	
<u>1013,95:</u> Botlekhaven		13,898	10,911	2,987
1013,95-1013,63	0,168	14,066	11,079	
1013,63-1011,45	1,080	15,146	12,159	
<u>1011,45:</u> 1 ^e Petr.haven		15,626	12,159	0,480
1011,45-1010,40	0,520	16,146	12,679	
<u>1010,40:</u> Kon.Wilhelm.haven		16,256	12,679	0,110
1010,40-1009,45	0,470	16,726	13,149	
<u>1009,45:</u> Vulcaanhaven+ 2 ^e Petr.haven		17,446	13,149	0,720
1009,45-1008,60	0,420	17,866	13,569	
<u>1008,60:</u> Wilton haven		18,066	13,569	0,200
1008,60-1008,02	0,290	18,356	13,859	
1008,02-1007,50	0,297	18,653	14,156	

TABEL VIII (vervolg)

kmr.	lengte x breedte = O_i (10^6 m ²)	ΣO i i incl. havens (10^6 m ²)	ΣO i i excl. havens (10^6 m ²)	opp. havens
<u>1007,50:</u> Eemsh. + Wilhelmina haven		20,553	14,156	1,900
1007,50-1006,20	0,730	21,283	14,886	
<u>1006,20:</u> Merwehaven		21,628	14,886	0,345
1006,20-1005,30	0,510	22,138	15,396	
<u>1005,3:</u> Lek + IJsselhaven		22,288	15,396	0,150
1005,3-1004,75	0,310	22,598	15,706	
<u>1004,75:</u> Waalhaven		25,508	15,706	2,910
1004,75-1004,0	0,430	25,938	16,136	
<u>1004,0:</u> Schiehaven		26,018	16,136	0,080
1004,0-1003,5	0,280	26,298	16,416	
1003,5-1002,7	0,357	26,655	16,773	
<u>1002,7:</u> St.Jobs- en Parkhaven		26,775	16,773	0,120
1002,7-1002,4	0,134	26,909	16,907	
<u>1002,4:</u> Maashaven		27,494	16,907	0,585
1002,4-1001,5	0,401	27,895	17,308	

TABEL VIII (vervolg)

kmr.	lengte x breedte = O_i ($10^6 \cdot m^2$)	ΣO i i incl. havens ($10^6 \cdot m^2$)	ΣO i i excl. havens ($10^6 \cdot m^2$)	opp. haven
<u>1001,5:</u> Rijnhaven		28,135	17,308	0,240
1001,5-1000,80 1000,8-1000,40	0,311 0,243	28,446 28,689	17,619 17,862	
<u>1000,40:</u> Spoorweghaven + Binnenhaven		28,839	17,862	0,150
1000,4-999,27 999,27-994,89	0,687 1,956	29,526 31,482	18,549 20,505	

TABEL IX

Verloop getijdebiet in de Rotterdamse Waterweg

kmr.	kombergend opp. = 0_i (10^6 m^2)	dh/dt (10^{-4} m/s)	$-0_i \times \frac{dh}{dt}$ (m^3/s)	$Q_{W.W.}$ ¹⁾ (m^3/s)
t = 1 uur (vloed)				
<u>1030,15</u> -1018,5	6,433	+1,4	-901	+4750
<u>1018,5</u> -1013,95	2,423	+1,18	-286	+3850 ²⁾
<u>1013,95</u> -1013,65	3,155	+1,18	-372	+3564
<u>Oude Maas</u>				+3192
1013,65- <u>1010,4</u>	2,134	+1,18	-252	+2386
1010,4- <u>1007,5</u>	2,453	+1,19	-292	+2094
Eemhaven	1,900	+1,20	-228	+1866
1007,5- <u>1004,75</u>	2,045	+1,21	-247	+1619
Waalhaven	2,910	+1,22	-355	+1264
1004,75- <u>1000,8</u>	2,935	+1,25	-367	+897
1000,8- <u>995,8</u>	2,630	+1,32	-347	+550 ²⁾
t = 6 uur (eb)				
<u>1030,15</u> -1018,5	6,433	-1,12	+720	-6220
<u>1018,50</u> -1013,95	2,423	-1,26	+316	-5500 ²⁾
<u>1013,95</u> -1013,65	3,155	-1,27	+401	-5184
<u>Oude Maas</u>				-4783
1013,65- <u>1010,4</u>	2,134	-1,28	+273	-3361
1010,40- <u>1007,5</u>	2,453	-1,29	+317	-3044
Eemhaven	1,900	-1,29	+245	-2799
1007,5- <u>1004,75</u>	2,045	-1,29	+264	-2535
Waalhaven	2,910	-1,29	+375	-2160
1004,75- <u>1000,8</u>	2,935	-1,29	+379	-1781
1000,8- <u>995,8</u>	2,630	-1,26	+331	-1450 ²⁾

1) Het gegeven debiet behoort bij de onderstreepte kmr.

2) Omlijnde getallen zijn ontleend aan proef T1010, onderzoek M600.

TABEL X

Verloop zoetwaterdebiet in de Rotterdamse Waterweg

traject	kmr.	$Q_{W.W.}^{1)}$ (m^3/s)	$F_{N.A.P.}$ Rotterdamse Waterweg (m^2)	$(v_{zoet})_{W.W.}$ (m/s)
<u>Nieuwe</u>	1028,5	6000	5880	1,02
<u>Waterweg</u>	1026,5	"	6334	0,95
	1024,5	"	5974	1,00
Lodingen	1022,5	"	5402	1,11
1964	1020,5	"	5879	1,02
	1018,5	"	5764	1,04
	1016,5	"	5411	1,11
	1014,5	"	5651	1,06
	1012,5	4200	4550	0,93
	1010,5	"	5150	0,82
	1008,5	"	4950	0,85
<u>Nieuwe</u>	1006,5	"	5100	0,82
<u>Maas</u>	1004,5	"	4650	0,90
	1002,5	"	4350	0,97
Lodingen	1000,5	"	3550	1,18
1956	998,5	"	3450	1,22
	996,5	"	4100	1,03
	994,5	"	3200	1,31
	992,5	"	2750	1,53
	990,5	"	2350	1,79

1) $Q_{W.W.} = 6000 \text{ m}^3/s$ (fictieve waarde)

$Q_{N.M.} \approx 0,7 \times Q_{W.W.}$ (zie par. 3.4.2.)

index N.M. : grootheid heeft betrekking op de Nieuwe Maas

index W.W. : grootheid heeft betrekking op de Nieuwe Waterweg

De bijgehorende zoetwatersnelheid in de goot is $(v_{zoet})_{goot} = \frac{6000}{13,5 \times 430}$
 $\approx 1,04 \text{ m/s}$ (zie par. 3.4.3.)

TABEL XI

Bepaling kombergende oppervlakte getijgoot.

(verkregen m.b.v. de gegevens van de tabellen IX en X, zie par. 3.4.3).

kmr.	v_{getij} (goot) (m/s)	Δv_{getij} (m/s)	ΔQ_{getij} (m ³ /s)	$\frac{dh}{dt}$ (10 ⁻⁴ m/s)	O_i (kom- berg. opp.) (10 ⁶ m ²)	ΣO_i (10 ⁶ m ²)
1 uur (vloed)						
<u>1028</u>	0,800	0,108	665	1,35	4,928	4,928
1028- <u>1020</u>	0,692	0,052	315	1,20	2,624	7,552
1020- <u>1016</u>	0,640	0,027	162	1,18	1,372	8,924
1016- <u>1012</u>	0,613	0,078	464	1,19	3,900	12,824
1012- <u>1008</u>	0,535	0,240	1419	1,21	11,720	24,594
1008- <u>1004</u>	0,295	0,100	588	1,25	4,700	29,244
1004- <u>1000</u>	0,195	0,045	263	1,32	1,992	31,236
1000- <u>996</u>	0,150					
6 uur (eb)						
<u>1028</u>	1,056	0,083	490	1,14	4,296	4,296
1028- <u>1020</u>	0,973	0,061	365	1,24	2,944	7,240
1020- <u>1016</u>	0,912	0,052	314	1,27	2,476	9,716
1016- <u>1012</u>	0,860	0,098	594	1,28	4,640	14,356
1012- <u>1008</u>	0,762	0,249	1520	1,29	11,780	26,136
1008- <u>1004</u>	0,513	0,100	613	1,29	4,752	30,888
1004- <u>1000</u>	0,413	0,048	296	1,26	2,356	33,244
1000- <u>996</u>	0,365					

APPENDIX III

Gegevens ter bepaling van de lengte van
de getijgoot (par. 5)

- opslingerfactor
- fasedraaiing

TABEL XII

Resultaten 2^e homogene getijberekening.

(zie voor randcondities deel B, tabel I)

Opslingerfactor: verschil tussen H.W. en L.W. in het beschouwde station
t.o.v. het verschil tussen H.W. en L.W. in de mond
(station 1).

ber.nr.	opslingerfactor voor		
	station 6 (≈ Maassluis)	station 14 (≈ Rotterdam)	station 19 (≈ Krimpen)
1	1,123	1,320	1,417
2	1,090	1,290	1,408
3	1,007	1,170	1,260
4	0,879	0,970	1,060
5	0,825	0,775	0,838
9	1,129	1,323	1,420
10	1,080	1,299	1,430
11	0,886	0,972	1,060
12	1,101	1,281	1,370
13	1,080	1,258	1,363
14	0,864	0,915	1,009
15	1,010	1,070	1,118
16	0,952	0,983	1,034
17	0,852	0,723	0,705
21	1,109	1,290	1,381
22	1,052	1,217	1,342
23	0,854	0,900	0,970

TABEL XIII

Resultaten 2^e homogene getijberekening.

(zie voor randcondities deel B, tabel I)

Fasedraaiing: verschil in tijd tussen H.W. (waterstand) en H.W.K. (debiet) uitgedrukt in graden (debiet = getijdebiet = totale debiet minus bovenafvoer) (1 getijperiode = 360°)

Ber.nr.	Fase draaiing	
	station 6 ≈ Maassluis	tussen waterst. stat. 19 (Krimpen) en debiet stat. 16 (Kralingse Veer)
1	- 1°	0°
2	-21°	-4°
3	-27°	-15°
4	-44°	-12°
5	-73°	-14°
9	- 6°	- 5°
10	-23°	0°
11	-46°	-16°
12	-17°	- 2°
13	-19°	-12°
14	-53°	- 5°
15	-12°	0°
16	-26°	- 3°
17	-55°	-20°
21	-12°	- 1°
22	-21°	- 3°
23	-53°	-15°

TABEL XIV

Proefomstandigheden, beschouwde proeven van het Deltamodel M600

Gemiddeld getij te Hoek van Holland van 1951 met een getijverschil van circa 1,70 m.

Proefnr.	Q_{BR}	$Q_{W.W.}$
1010	640 m ³ /s	608 m ³ /s
1011	984	512
1013	2200	1088
1014	4370	1824

TABEL XV

Resultaten proeven in het Deltamodel M600

(voor omstandigheden, zie TABEL XIV)

Proefnr.	Maassluis	Krimpen
1. <u>Opslingerfactor</u> t.o.v. Hoek van Holland (voor def. opslingerfactor zie tabel XII)		
1010	0,91	1,02
1011	0,89	1,03
1013	0,89	1,02
1014	0,91	1,05
2. <u>Fasedraaiing</u> (voor def. zie tabel XIII)		
1010	40,6°	
1011	46,4°	
1013	31,9°	
1014	34,8°	

APPENDIX IV

Gegevens ten behoeve van de dimensionering
van reservoirs en pompen. (Zie ook deel B,
getijberekeningen, par. 2)

Dimensionering zeereservoir

1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12
a_0	\bar{Q}_L	w	L/LP	<p>$V_{G.Z.} = \frac{\text{GEARCEERD GEBIED}}{2}$</p> <p>$L_{MATH} = L$</p> <p>$L_S$</p> <p>$V_{S.Z.} = w \times \dots$</p>		$V_{G.Z.}$	$V_{S.Z.}$	$V_{S.29}$	$V_{Z.K.}$			
0,8	-949	0	0,77					115,0	-	-	115	4,6
1,0	-949	0	0,77			136	-	-	136	5,4	5,2	3,2
1,0	-949	+2	0,77			150	99,0	30	279	11,2	10,6	6,6
1,0	-949	+4	0,9			170	198	90	458	18,3	17,5	10,9
(1,0)	(-949)	(+4)	(1,24)			155,0	198	164	517	20,7	19,7	12,3
				(zie Fig. 11)		Volume zeereservoir 19,8 25 m						

Toelichting:

kolom 1: beschouwde amplitude zeegetij (m)

" 2: oppervlatafvoer (m^3/s)

" 3: middenstandsverhoging (m)

" 4: lengte fictieve prototype goot t.o.v. de resonantielengte $L_R = \frac{1}{4} \cdot TVGD$ (T=44700 sec; D = 13,80 m)

" 5: toelichting bij de te bepalen

volumina: breedte goot: 430 m (profjo)
 afmetingen zee 8 x 6,5 m
 (model) voor schalen 640/64

Q_z : debiet mond getijgoot + debiet nodig voor vert.getij zeebassin. (deel B, par. 2)

kolom 6: getijvolume $V_{G.Z.}$ in $10^6 m^3$ (zie Fig. 11 en par. 9.2.1)

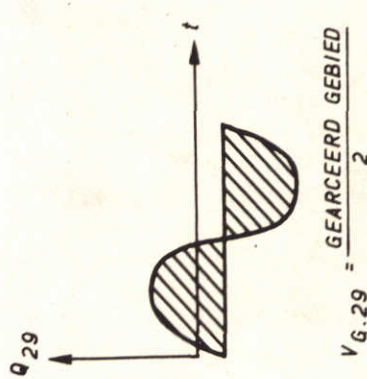
" 7: stormvloed volume in $10^6 m^3$ voor zeebassin n L_S

" 8: stormvloed volume in $10^6 m^3$ voor gootgedeelte tussen L_S en L_{math} .

" 9: $V_{Z.K} = V_{G.Z} + V_{S.Z} + V_{S.29}$.

kolom 10,11,12: Volumina in m^3 bij de resp. schalen. n_1/n_h .

Dimensionering rivierreservoir

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a_c	\bar{Q}_L	w	L/LR	 <p>$V_{G.29} = \frac{\text{GEARCEERD GEBIED}}{2}$</p>	$V_{G.29}$	$V_{S.29}$	$V_{R.K}$	500/100	640/64	750/75
0,8	-949	0	0,9		49	-	49	2,0	1,9	1,2
1,0	-949	0	0,9		55	-	55	2,2	2,1	1,3
1,0	-949	+2	1,0		74	55	129	5,2	4,9	3,1
1,0	-949	+4	1,0		80	110	190	7,6	7,2	4,5
1) ¹⁾ (1,0)	(-949)	(+4)	(1,24)		85	164	249	10,0	9,5	5,9
1) ¹⁾ (1,0)	(-949)	(+4)	(1,5)		75	223	298	11,9	11,4	7,1

Volume rivierreservoir
12 m³

Toelichting: kolom 1 t/m 4 (zie dimensionering zeereservoir)

kolom 6: getijvolume $V_{G.29}$ in 10⁶ m³
(zie Fig. 12 en par. 9.2.4.)

" 5: Toelichting bij de bepaling van het getijvolume

Q_{29} : debiet rivierrand getijgoot (zie ook
deel B, par. 2.5)

" 7: stormvloedvolume in 10⁶ m³ (zie kolom 8
van dimensionering zeereservoir)

" 8: $V_{R.K} = V_{G.29} + V_{S.29}$

kolom 9,10,11: Volumina in m³ bij de resp. schalen n_1/n_h .

1) zie Fig. 12

Dimensionering zee pomp

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a_0	\bar{Q}_L	w	L/L _R		$Q_{G.Z.}$	$Q_{S.Z.}$	$Q_{S.29}$	$Q_{overst.}$	Q_{pomp}			
0,8	-949	0	0,77		8.200	-	-	12.050	20.250	500/100	640/64	750/75
1,0	-949	0	0,77		9.800	-	-	12.050	21.850	40,5	61,8	41,6
1,0	-949	+2	1,00		10.400	≈ 5000	≈ 2800	12.050	30.250	43,7	66,7	44,9
1,0	-949	+4	1,00		12.000	≈ 5000	≈ 2800	12.050	31.850	60,5	92,3	62,1
(1,0)	(-949)	(+4)	(1,24)	11.000	≈ 5000	≈ 4200	12.050	32.250	63,7	97,2	65,4	
										64,5	98,4	66,2

Toelichting:

kolom 1 t/m 4 (zie dim. zeereservoir)

kolom 5: Toelichting bepaling debiet;

$$\frac{dw}{dt} = 10^{-4} \text{ m/s}$$

kolom 6: maatgevend getijddebiet $Q_{G.Z.}$ (m^3/s)

kolom 7,8: maatgevende stormvloeddebieten (m^3/s)

kolom 9: min. overstort debiet regelklep (m^3/s)

$$Q_{overstort} = k \cdot B_{klep} H^{3/2} \left(= m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g \cdot B \cdot H^{3/2}} \right)$$

$$= 2 \cdot 6,5 \cdot (0,02) (\text{modelmaat}) = 2 \times 6,5 \times 640 \times (64 \times 0,02)^{3/2} = 12.050 \text{ m}^3/\text{s prototypemaat}$$

1 pomp van 75 l/s + 1 pomp van 40 l/s
=====

kolom 10: $Q_{pomp} = Q_{G.Z.} + Q_{S.Z.} + Q_{S.29} + Q_{overstort}$ in m^3/s

kolom 11,12,13: debieten in l/s bij de resp. schalen n_1/n_h

Dimensionering rivierpomp

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
α_0	\bar{Q}_L	w	L/I _R	Q_{29}	$Q_{G.29}$	$Q_{S.29}$	Q_{pomp}	500/ 100	640/ 64	750/ 75	
0,8	-949	0	0,9		3500	-	3500	7	10,7	7,2	
1,0	-949	0	0,9		4000	-	4000	8	12,2	8,2	
1,0	-949	+2	1,0		5000	≈ 2800	≈ 2800	7800	15,6	23,8	16,0
1,0	-949	+4	1,0		5500	≈ 2800	≈ 2800	8300	16,6	25,3	17,0
1) (1,0)	(-949)	(+4)	(1,24)		5400	≈ 4200	≈ 4200	9600	19,2	29,3	19,7
1) (1,0)	(-949)	(+4)	(1,5)	4500	≈ 5570	≈ 5570	10070	20,2	30,7	20,7	

1 pomp van 40 l/s
=====

Toelichting:

kolom 1 t/m 4: zie dimensionering zeereservoir

kolom 5: Toeïchting bepaling debiet; $\frac{dw}{dt} = 10^{-4}$ m/s

kolom 6: maatgevend getijddebiet $Q_{G.29}$ (m³/s)

kolom 7: maatgevend stormvloeddebiet $Q_{S.29}$ (m³/s)

kolom 8: $Q_{pomp} = Q_{G.29} + Q_{S.29}$

kolom 9, 10 en 11: debieten in l/s bij

de resp. schalen n_l/nh

1) zie extrapolatie Fig. 14

De maximale afvoer over de zeeklep bedraagt:

$$\begin{aligned} Q_{\text{afvoer}} &= 2Q_{G.Z.} + 2Q_{S.Z.} + 2Q_{S.29} + \bar{Q}_L + Q_{\text{min. overst.}} \\ &= 2 \times 12.000 + 2 \times 5000 + 2 \times 2800 + 950 + 12.050 \\ &= 52600 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 640/64 \text{ schalen} \end{aligned}$$

→

160 l/s

bij $a_0 = 1,0 \text{ m}$

$$\bar{Q}_L = -949 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w = +4 \text{ m.}$$

$$L/L_R = 1,0$$

APPENDIX V (ad. par. 6.2)

Bepaling (Q_{zoet})_{max.} in mond getijgoot (Fig. 10)

Beschouwde omstandigheden:

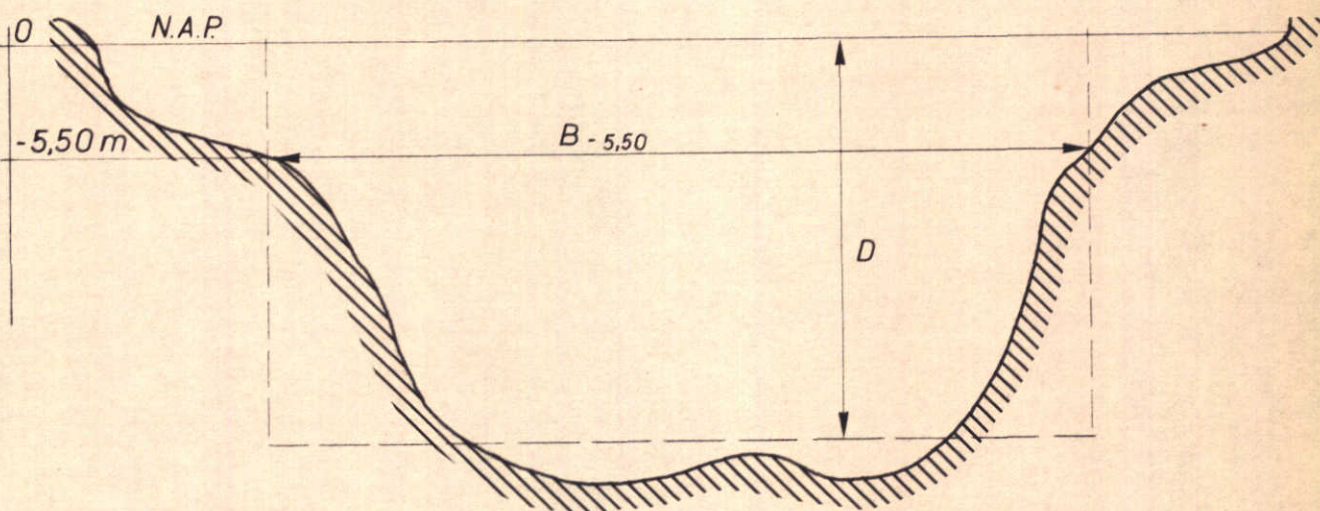
springtij - getijamplitude = 0,90 m
waterdiepte 13,00 m
breedte 430 m
 Q_{BR} (Lobith) 2380 m³/s → $\bar{Q}_L \approx 1000$ m³/s
 $p_0 = b_0 = 9$ m; $u_0 = 1,13$ m/s en $U = 0,17$ m/s

Voor de bepaling van (Q_{zoet})_{max.} wordt gebruik gemaakt van onderstaande formule:

$$Q_{zoet} = 430 \left(u_0 \sin \frac{2\pi t}{T} - U \right) \left(p_0 - b_0 \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) \right)$$

Het maximale zoetwaterdebiet blijkt op te treden voor $t \approx \frac{5}{6} T$.

Q_{zoet} is dan gelijk aan $- 3350$ m³/s, waarmee $Q_{zoet}/\bar{Q}_L \approx 3$.



$$D = \frac{\text{OPPERVLAKTE STROOMVOERENDE GEUL}}{B_{-5,50}}$$

$B_{-5,50}$ = BREEDTE OP EEN DIEPTE N.A.P. - 5,50 m

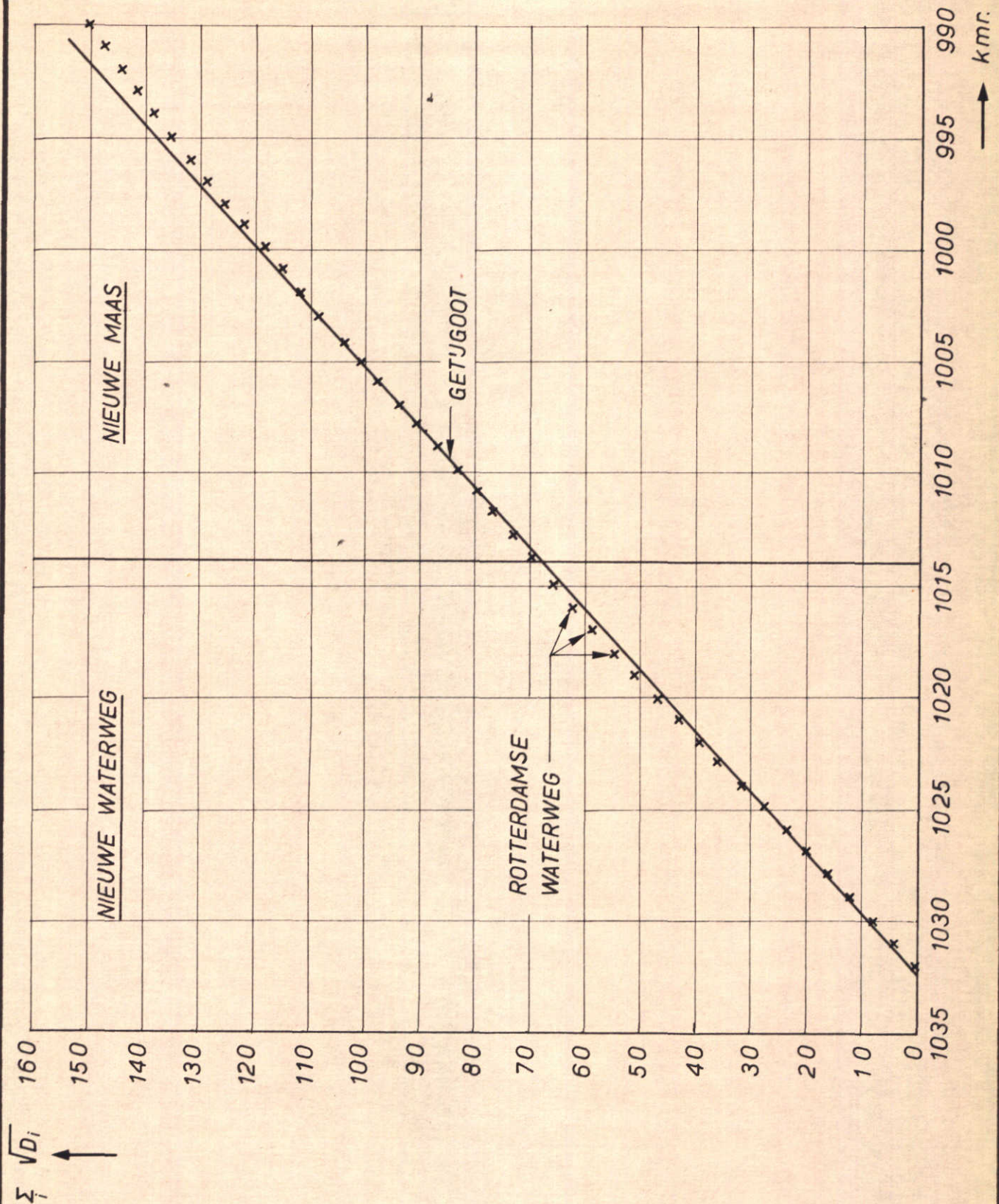
SCHEMATISATIE VAN EEN PROFIEL VAN DE
ROTTERDAMSE WATERWEG

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2038 FIG. 1



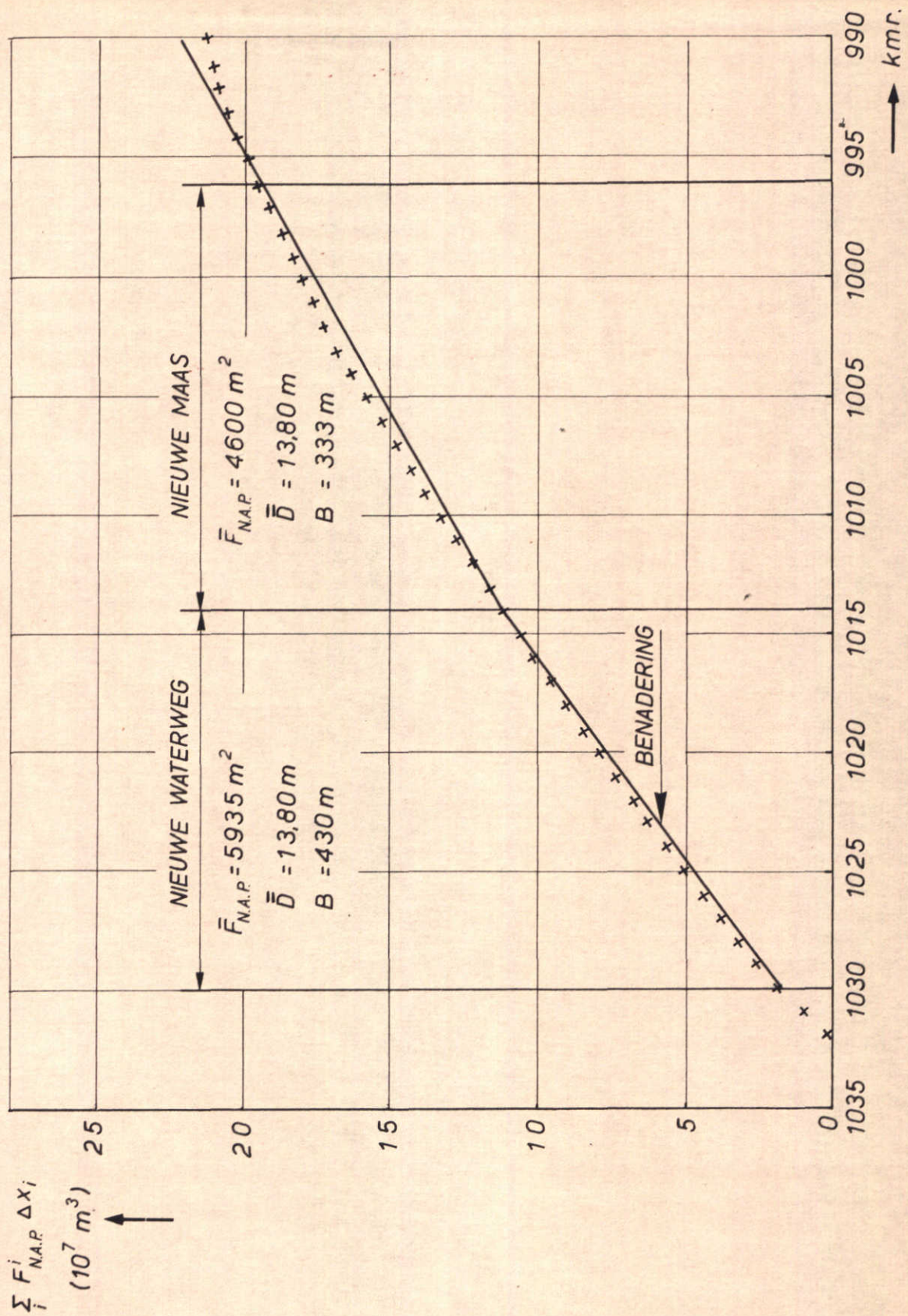
BEPALING DIEPTE GETJGROOT OP BASIS VAN
DE LOOPTJD VAN EEN GETJGOLF

GEGEVENS
WATERWEG 1964

R.R.
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2039 FIG. 2



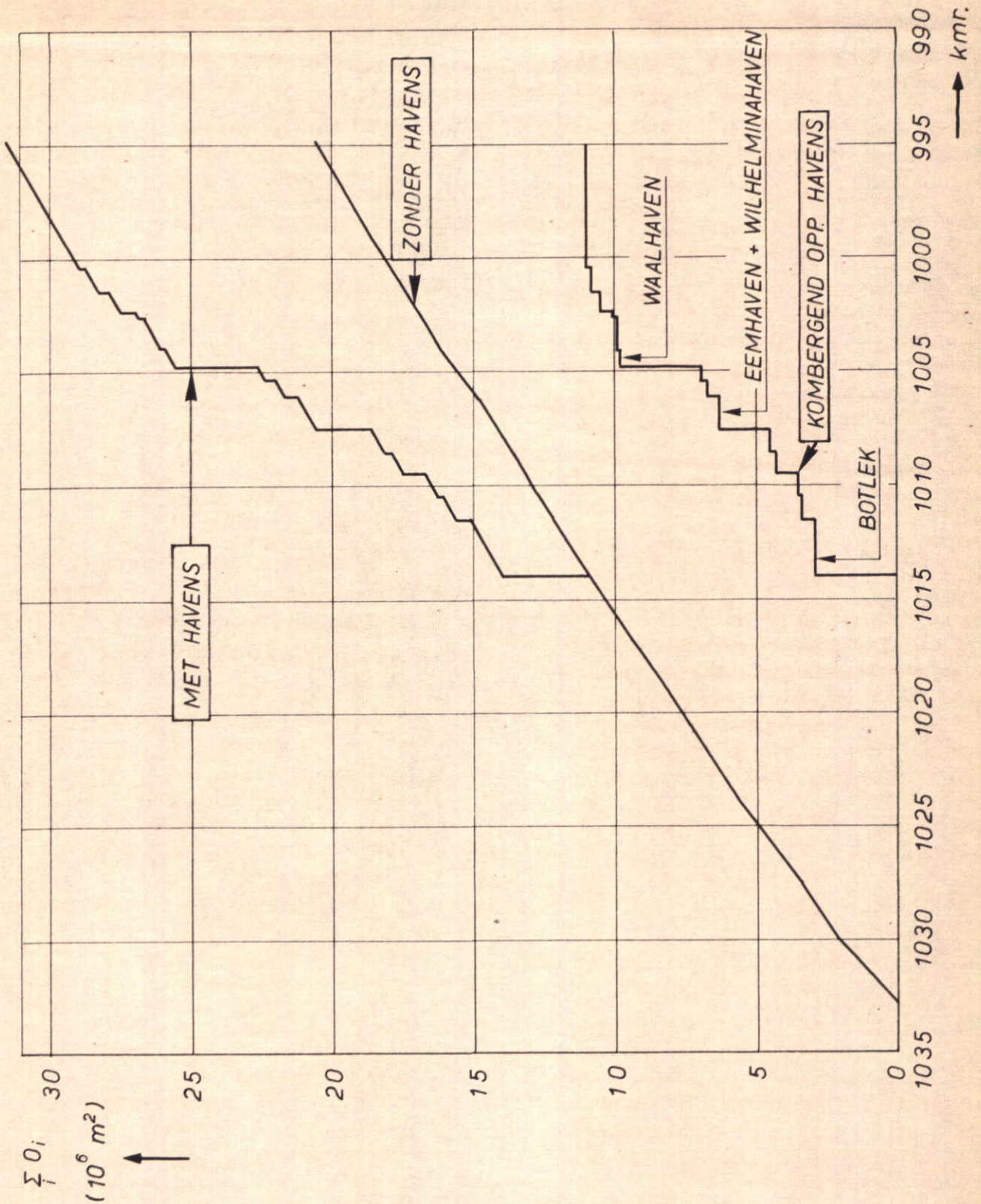
BEPALING BREEDTE VAN DE GETJGOOT

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2040 FIG. 3



INVLOED HAVENS OP KOMBERGENDE OPPERVLAKTE
 O_i IN DE ROTTERDAMSE WATERWEG

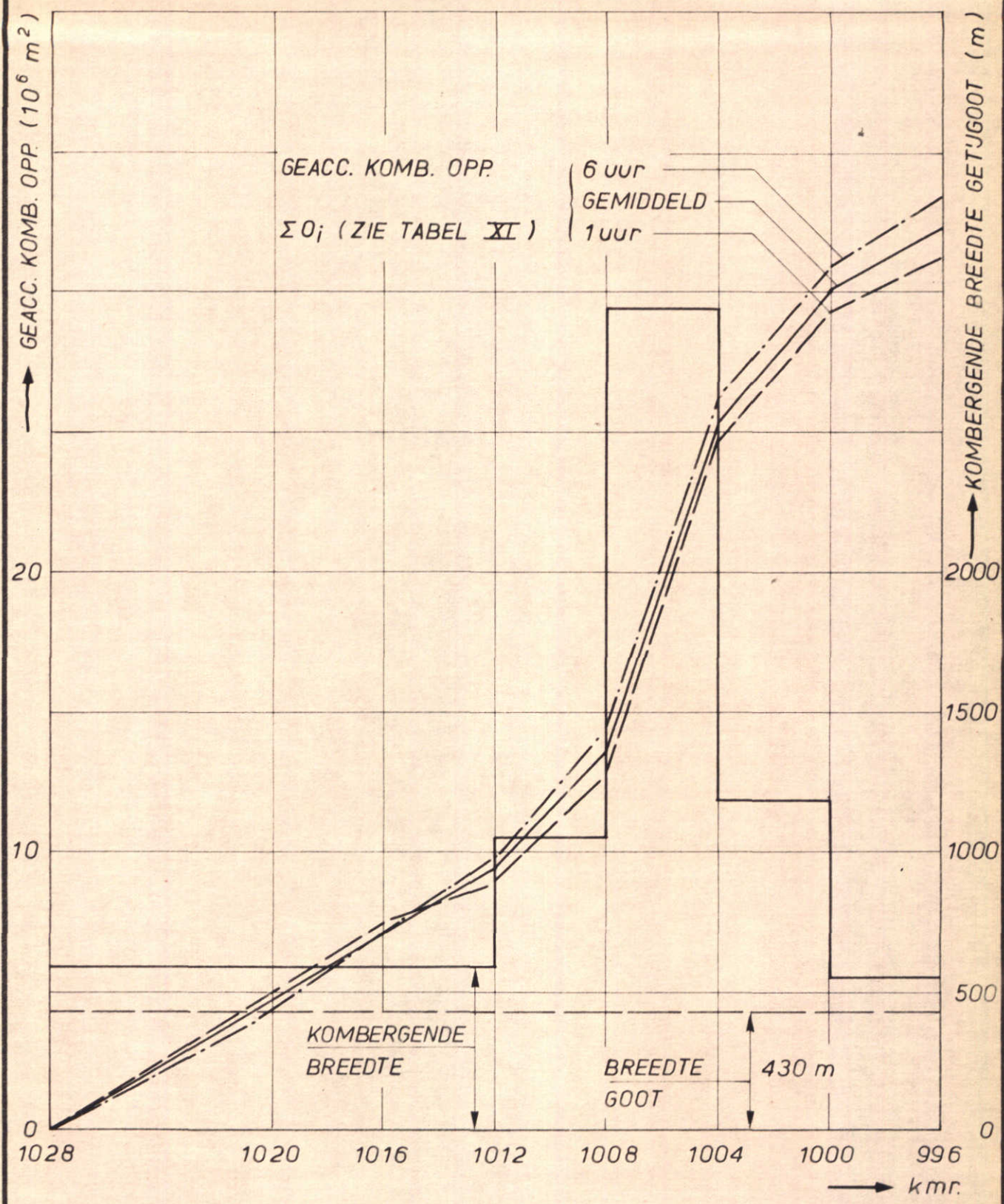
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2041

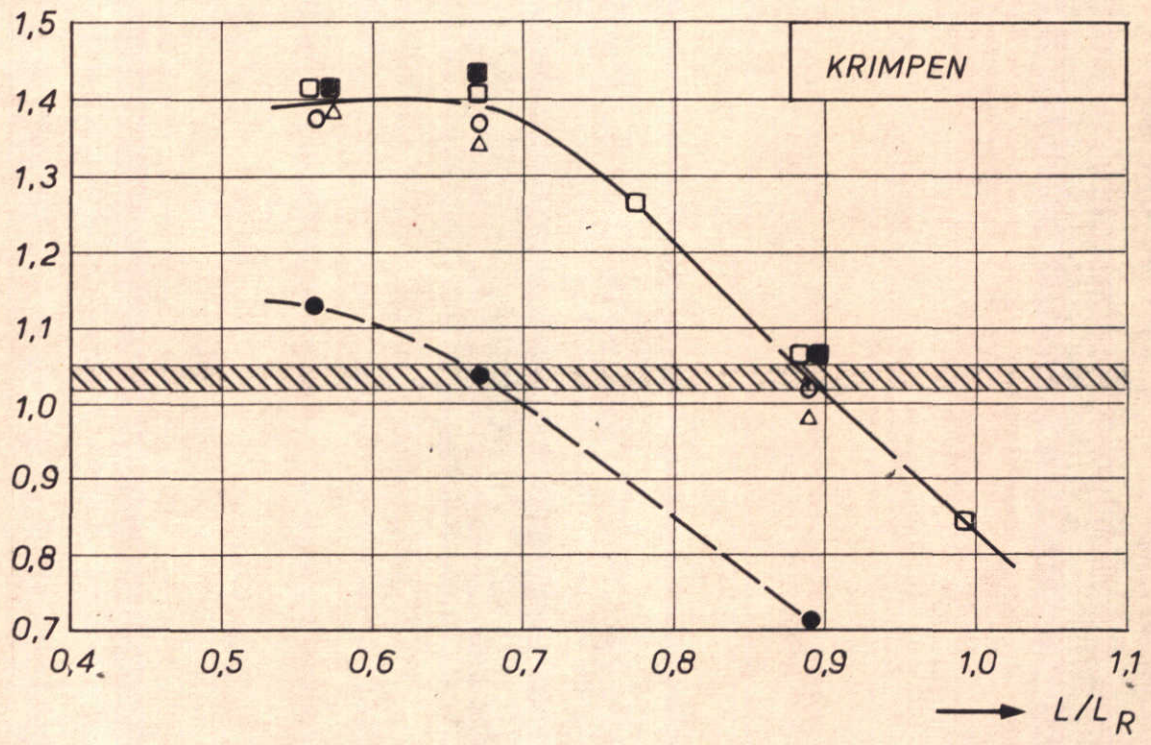
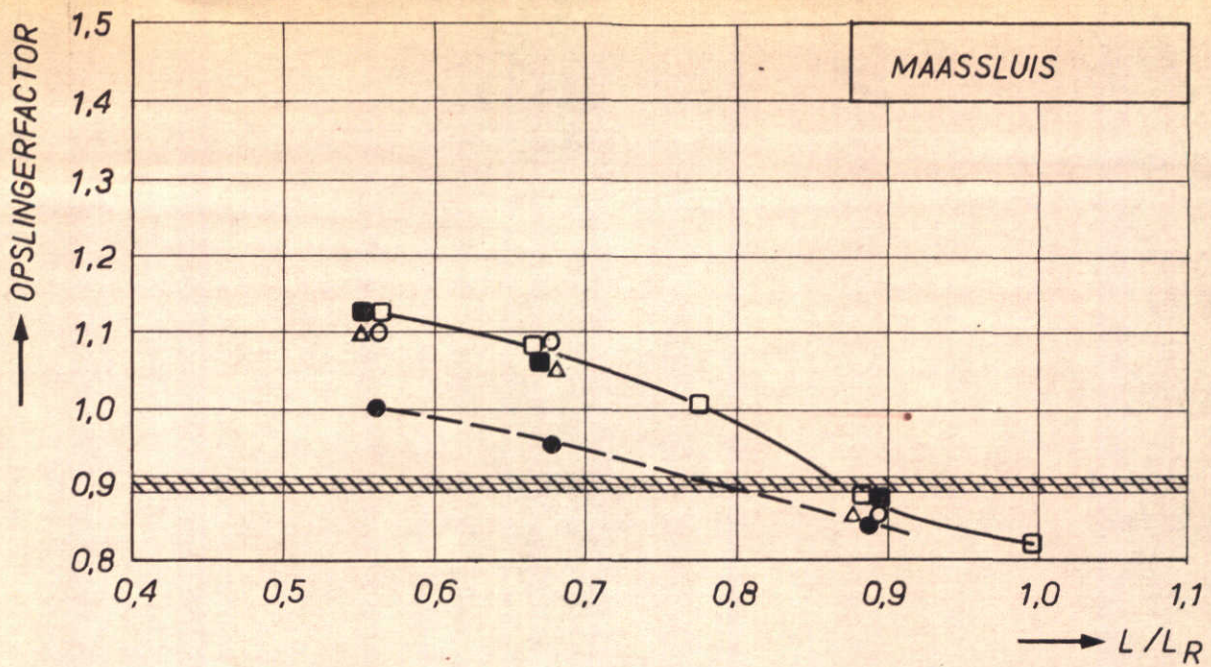
FIG. 4




KOMBERGENDE BREEDTE GETJGOOT

R.R.

A4



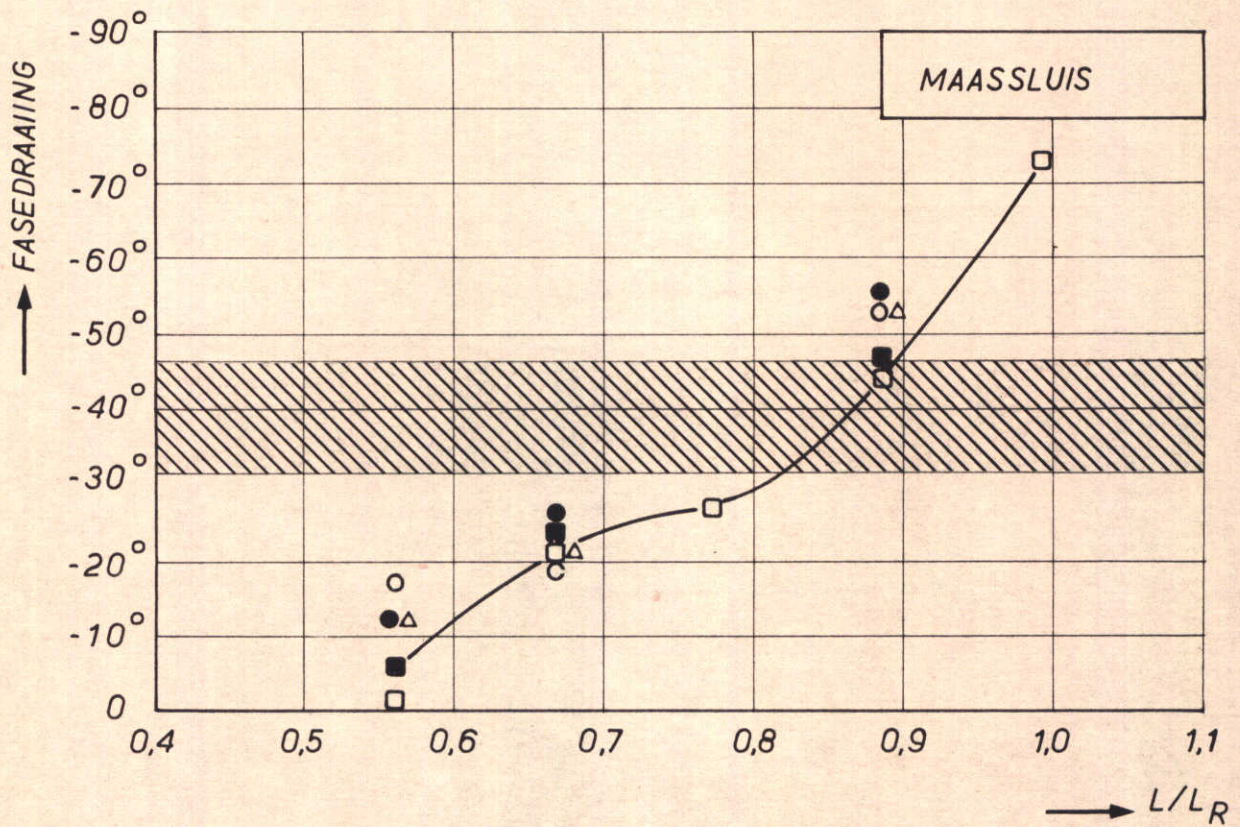
LEGENDA

	GETJVERSCHIL	BOVENAFVOER	BER. NR. HOM. GETJBER.	 GEBIED WAARBINNEN DE RESULTATEN LIG- GEN VAN DE PROEVEN VAN M.600 (TABEL XV) BOVENAFVOER: 512-1824 m ³ /s
□	160 m	- 949 m ³ /s	1- 5	
■	"	- 475 "	9-11	
○	"	- 1899 "	12-14	
●	"	- 3798 "	15-17	
△	2,00 m	- 949 "	21-23	


VERGELJING OPSLINGERFACTOR:
RESULTATEN 2° HOMOGENE GETJBEREKENING
MET PROEVEN DELTAMODEL M.600.

R.R.

A4



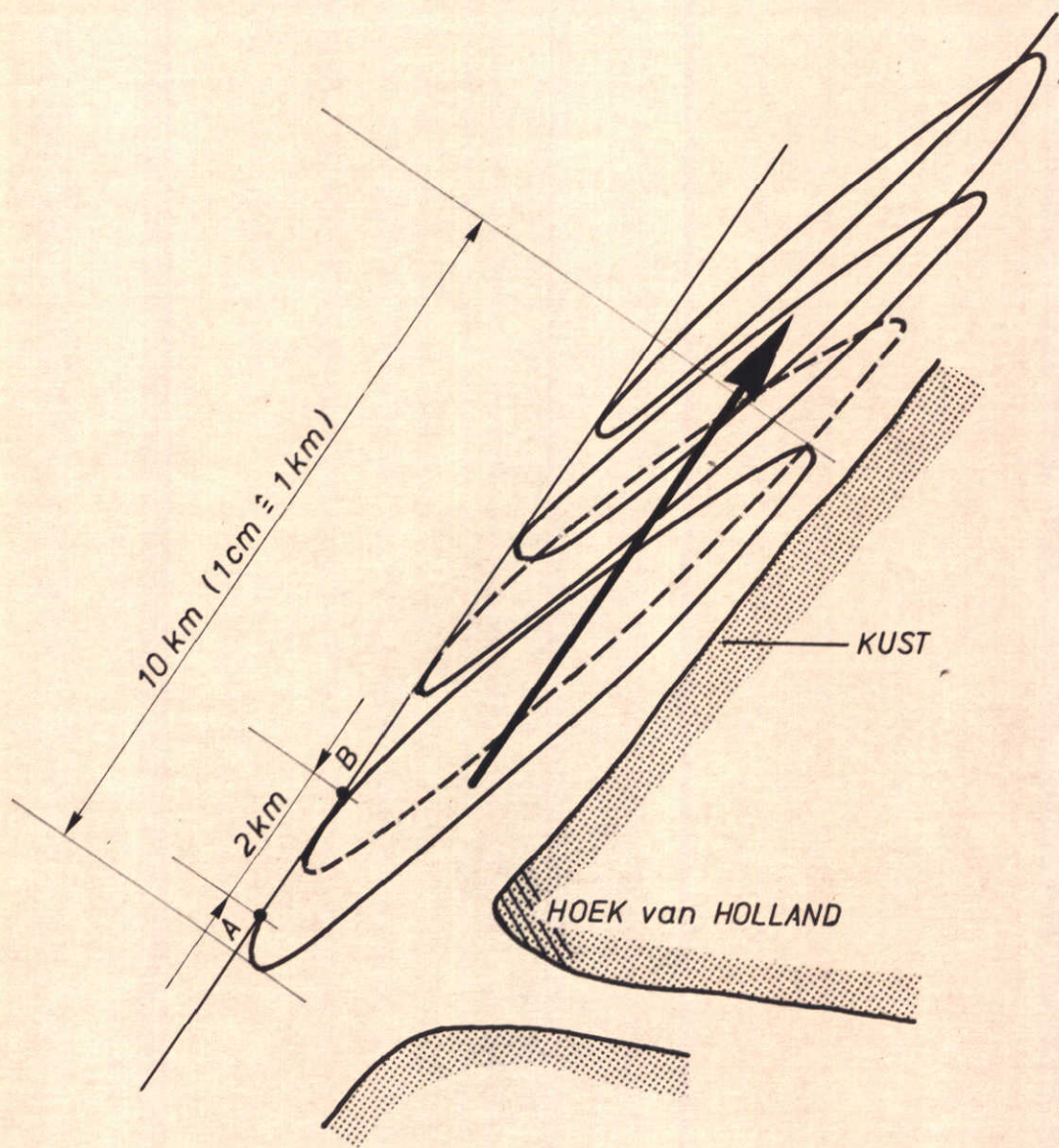
LEGENDA

	GETJVERSCHIL	BOVENAFVOER	BER. NR. HOM.GETJBER.	 GEBIED, WAARBINNEN DE RESULTATEN LIG- GEN VAN DE PROEVEN VAN M.600 (TABEL XV) BOVENAFVOER: 512 - 1824 m ³ /s
□	1,60 m	- 949 m ³ /s	1- 5	
■	"	- 475 "	9-11	
○	"	- 1899 "	12-14	
●	"	- 3798 "	15-17	
△	2,00 m	- 949 "	21-23	

VERGELJING FASEDRAAIING :
RESULTATEN 2^e HOMOGENE GETJBEREKENINGEN
MET PROEVEN DELTAMODEL M.600.

R.R.

A4



PUNT A SCHUIFT MET DE GETJBEWEGING
HEEN EN WEER MET EEN RESULTERENDE
BEWEGING NAAR HET NOORDEN → PUNT B

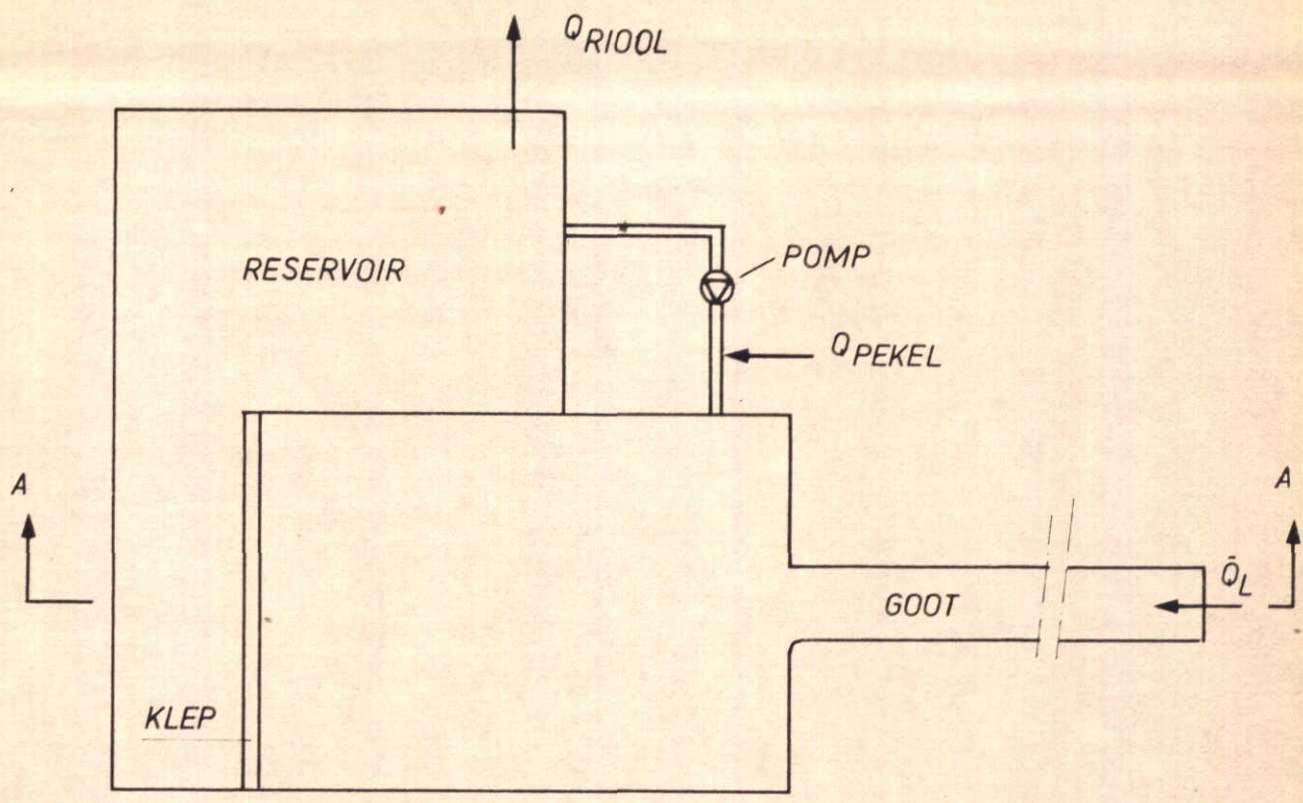
BEWEGING ZOETWATERBEL OP ZEE, VOOR DE
MOND VAN DE NIEUWE WATERWEG.

R.R.

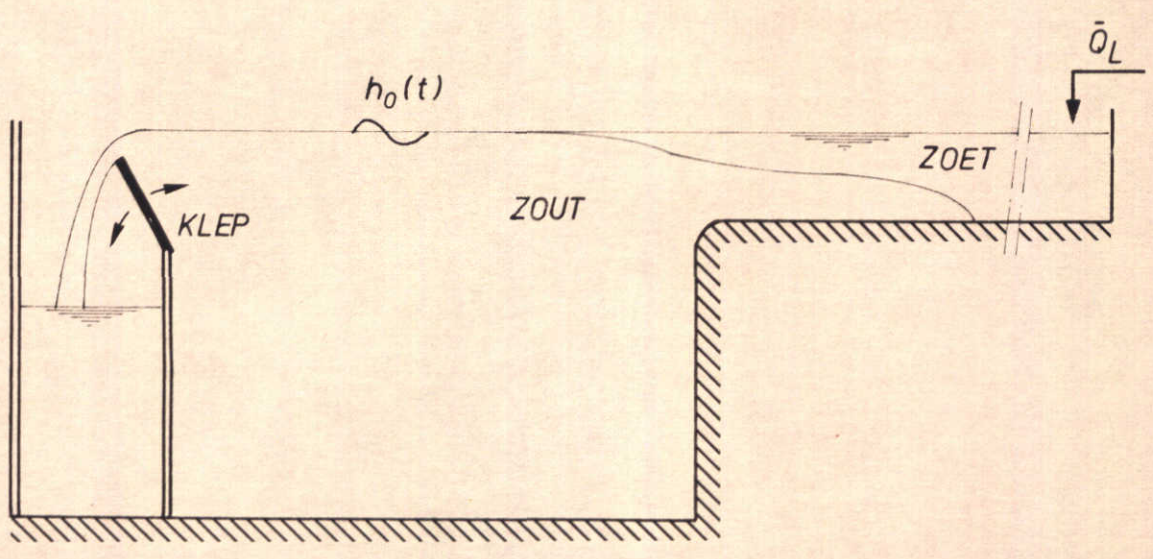
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2045 FIG. 8



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

SCHEMATISCHE WEERGAVE ZEERAND REGELING

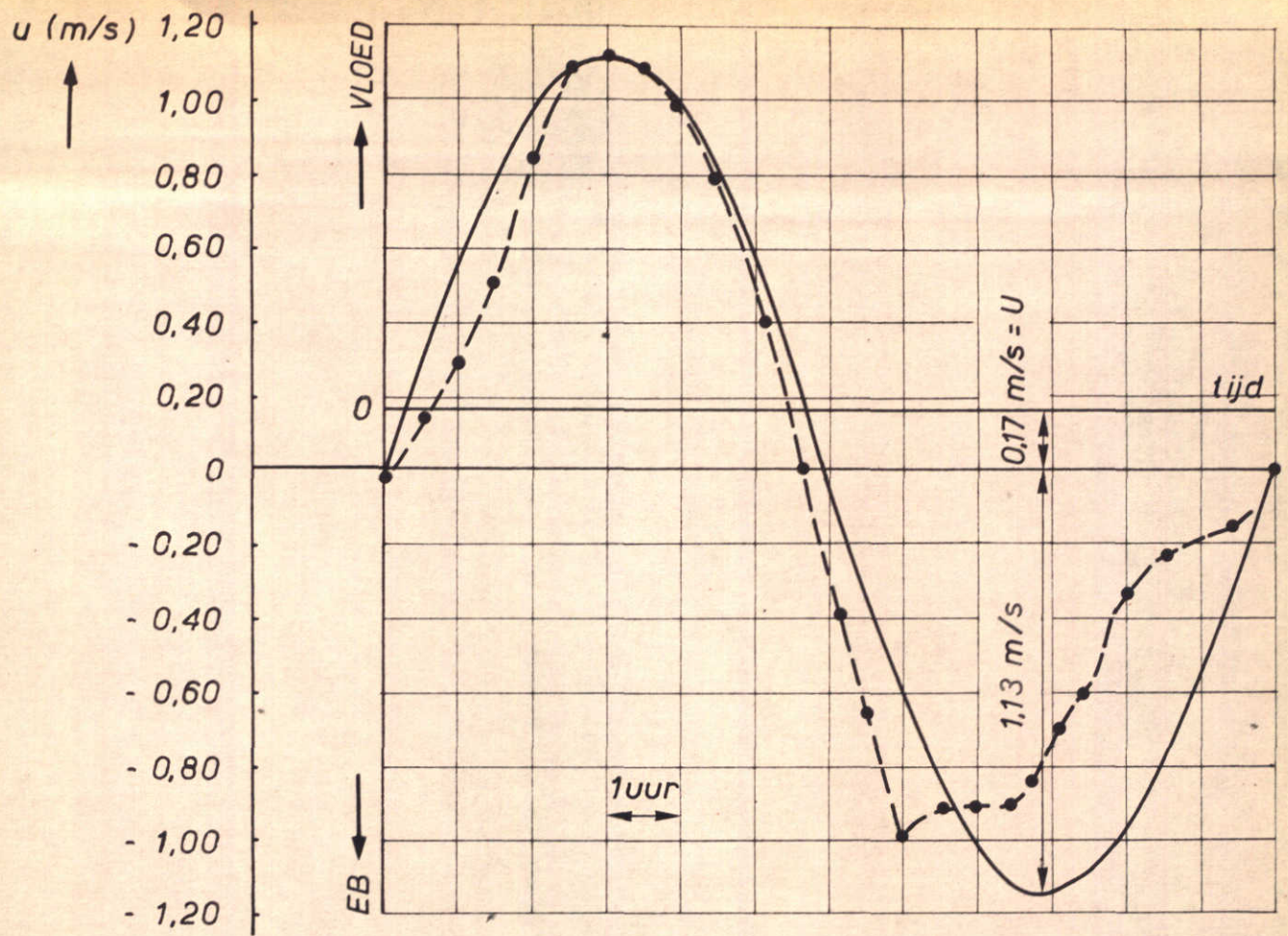
R.R.

A4

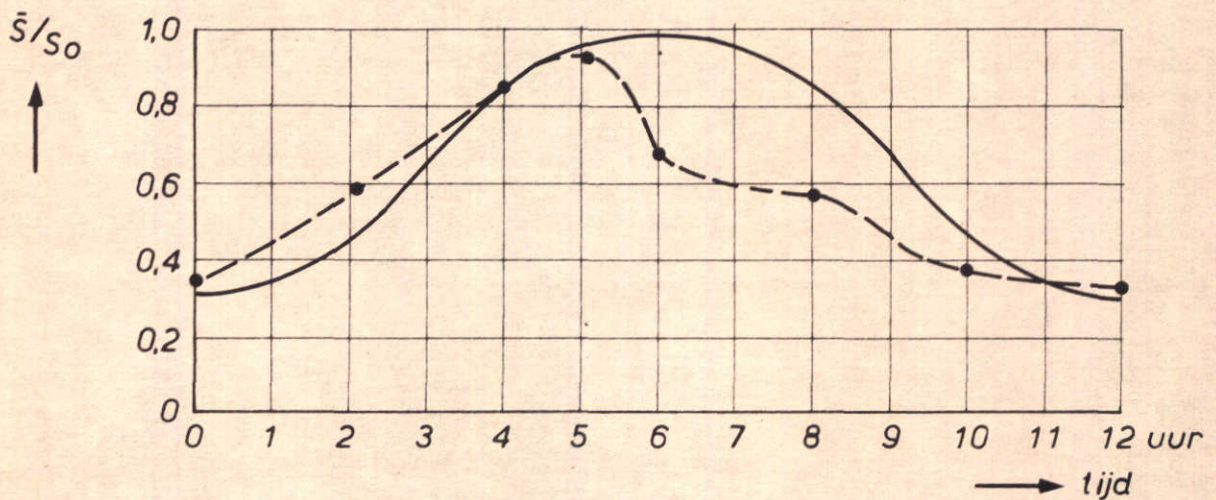
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2046

FIG. 9



SNELHEIDSVERLOOP BIJ HOEK van HOLLAND



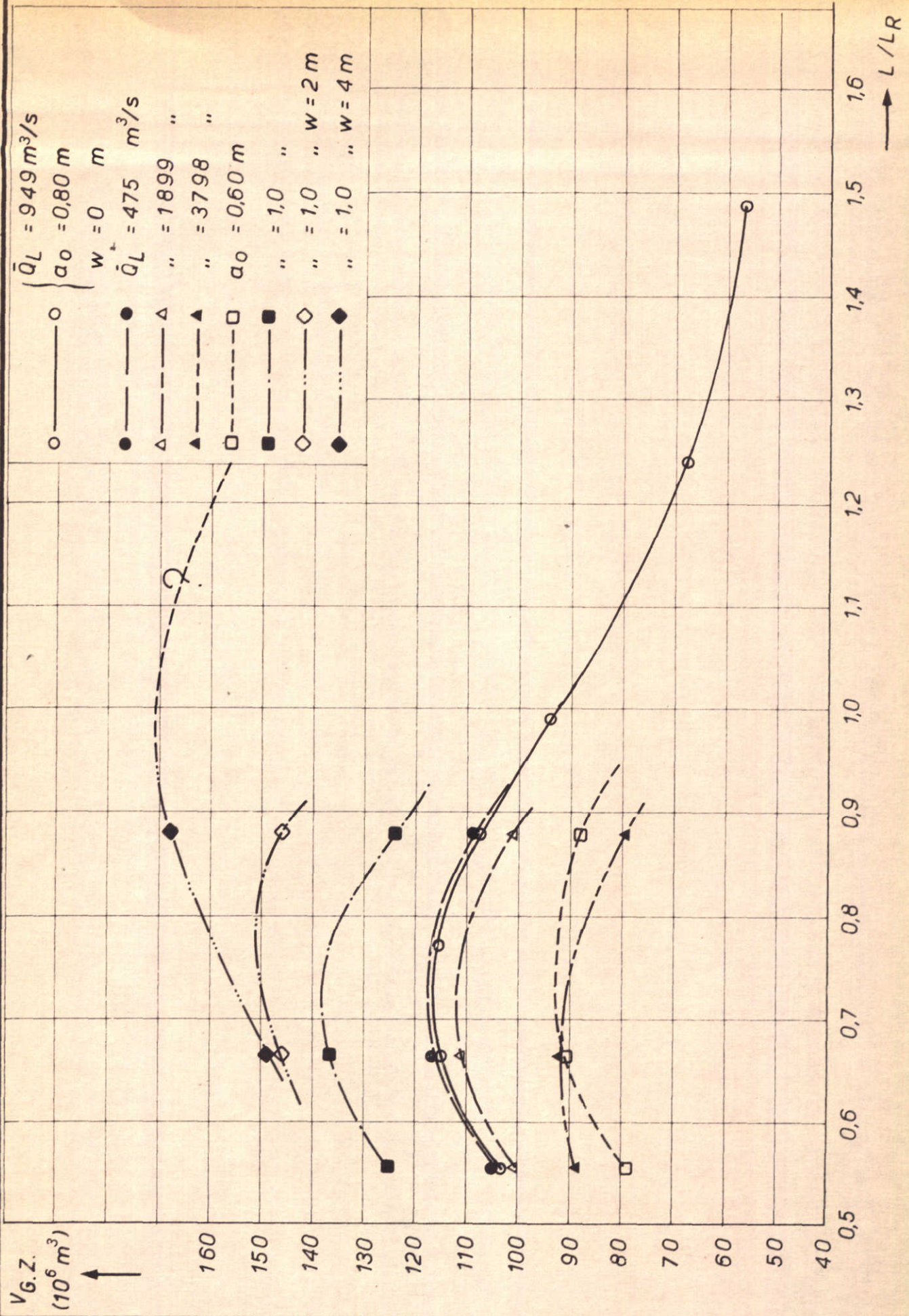
VERLOOP GEMIDDELTE ZOUTCONCENTRATIE BIJ HOEK van HOLLAND

SCHEMATISATIE ZOUTCONCENTRATIE EN GETJBEWEGING
GEMETEN BIJ HOEK van HOLLAND

—	GESCHEMATISEERD	R.R.
-●-	R'DAMSE WATERW.	A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2047 FIG. 10

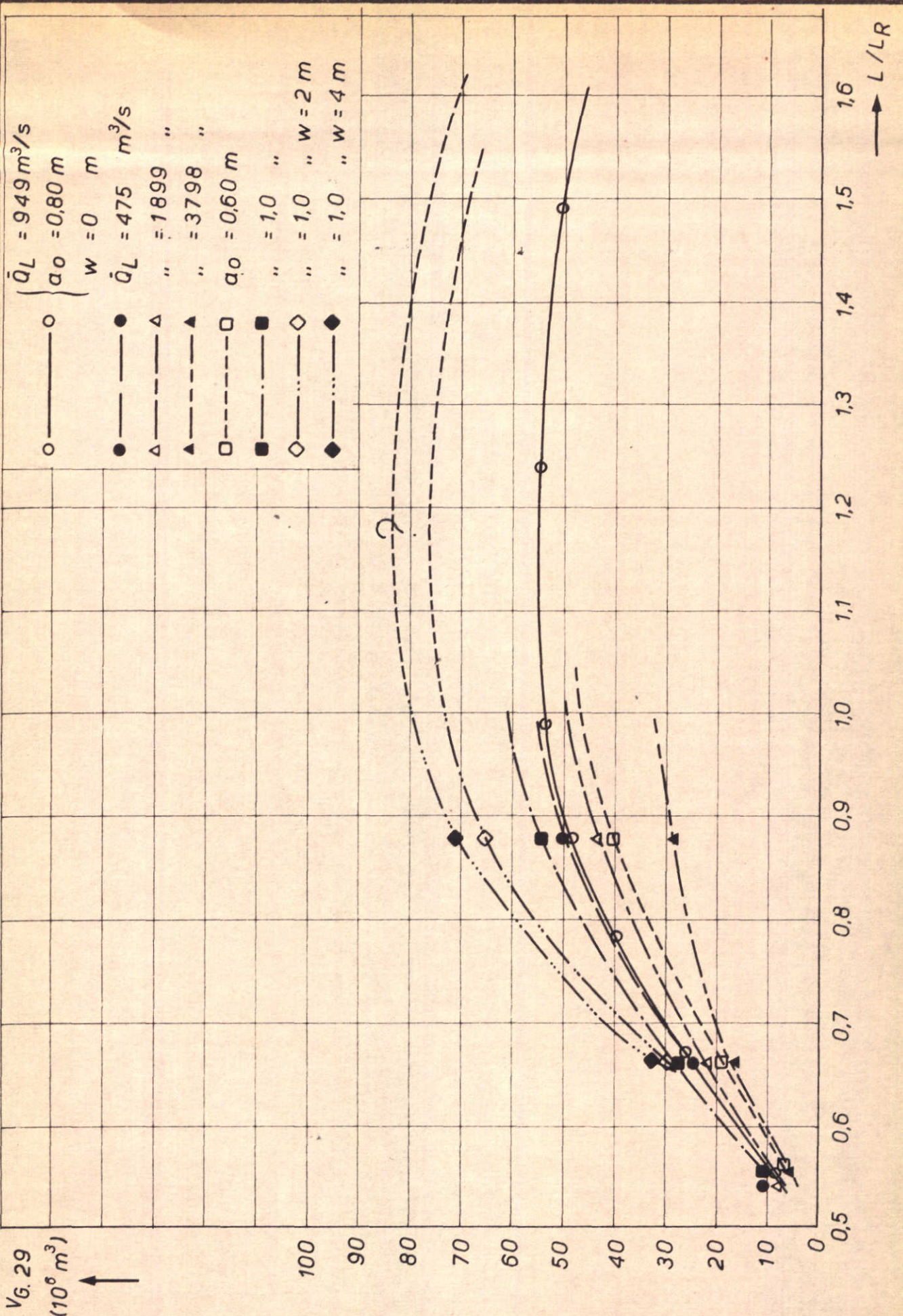


DIMENSIONERING ZEERESERVOIR m.b.v.
 HOMOGENE GETJBEREKENINGEN

R.R.
 A4

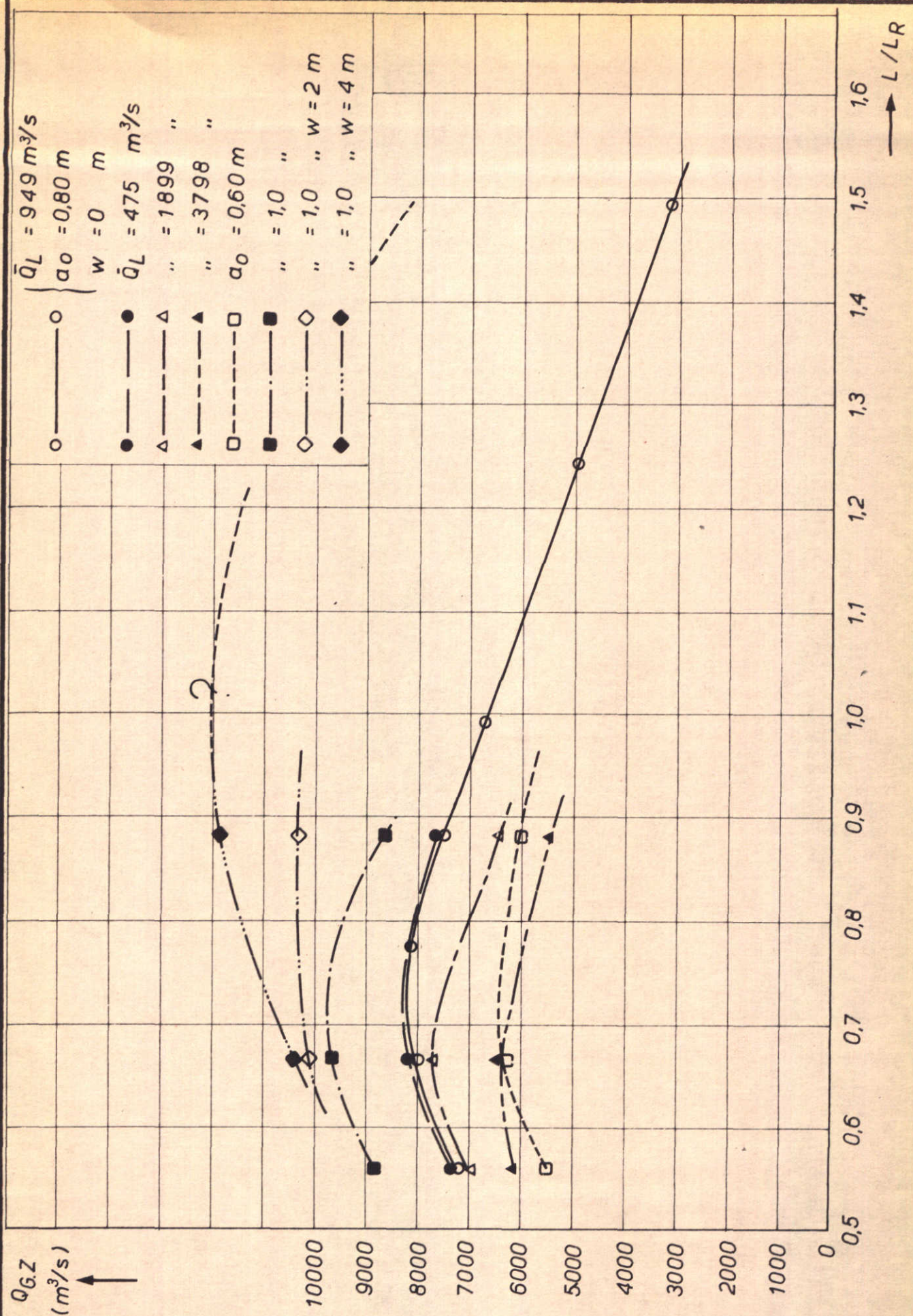
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2048 FIG. 11



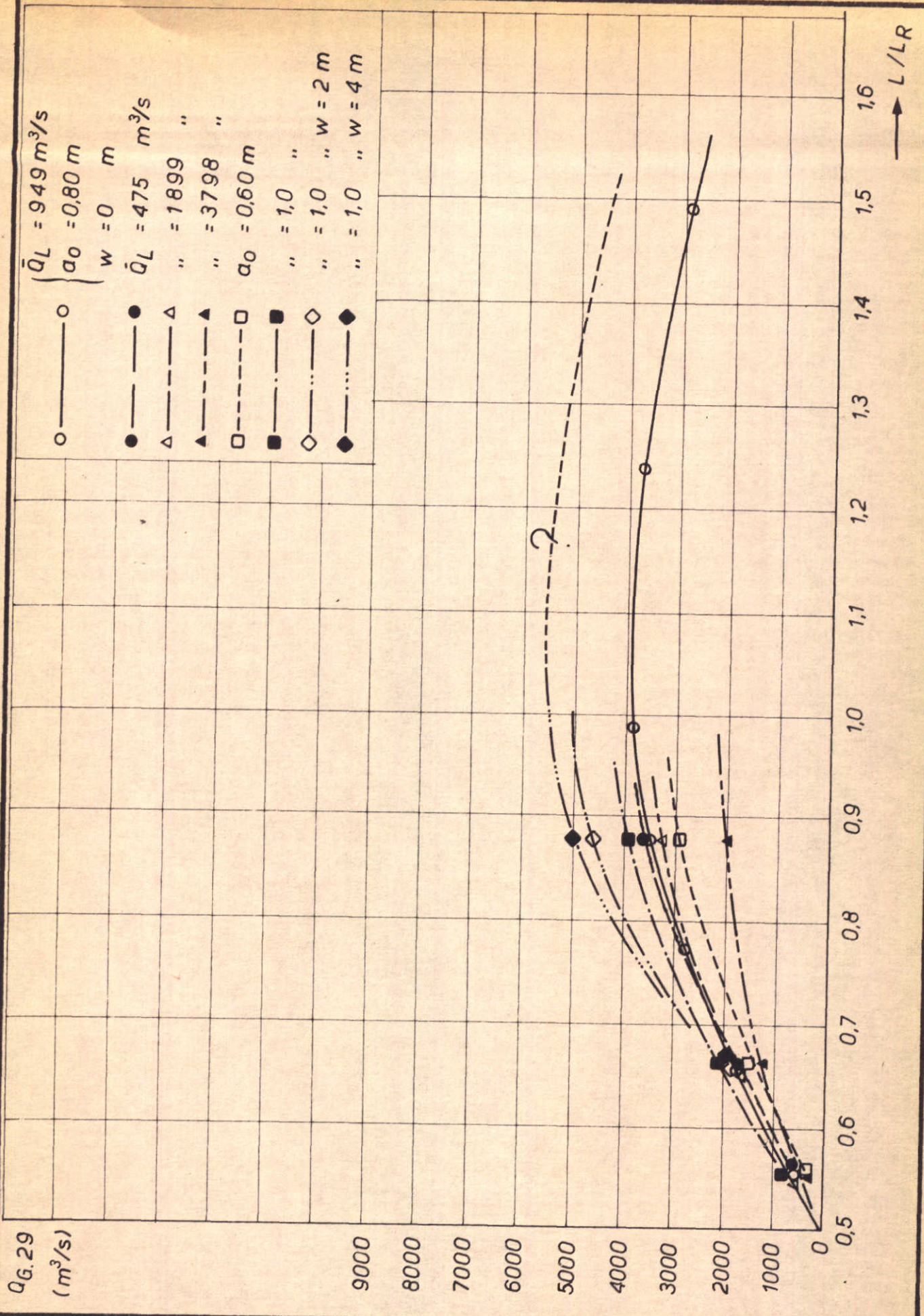
DIMENSIONERING RIVIERRESERVOIR m.b.v.
 HOMOGENE GETJBEREKENINGEN

R.R.
 A4



DIMENSIONERING ZEEPOMP m.b.v.
 HOMOGENE GETJBEREKENINGEN

R.R.
 A4



DIMENSIONERING RIVIERPOMP m. b. v.
 HOMOGENE GETJBEREKENINGEN

R.R.
 A4

