



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

reststroom onderzoek in Oosterschelde-getijmodel

verslag modelonderzoek

M 1777

april 1982

reststroom onderzoek in Oosterschelde-getijmodel

verslag modelonderzoek

M 1777

april 1982

INHOUD

Lijst van symbolen

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

blz.

<u>1</u>	<u>Inleiding.....</u>	<u>1</u>
2	<u>Theorie van de reststromen.....</u>	3
2.1	Definities.....	3
2.2	Oorzaken van reststroming.....	5
2.2.1	Rivierafvoer.....	5
2.2.2	Dichtheidseffekten.....	5
2.2.3	Coriolis-effekt.....	6
2.2.4	Meteorologische effecten.....	6
2.2.5	Getijreststromen.....	6
2.2.5.1	Getijreststromen in de Noordzee.....	6
2.2.5.2	Getijreststromen in estuaria.....	7
2.2.5.3	Voorbeelden van topografisch bepaalde getijreststromen.....	8
<u>3</u>	<u>Beschrijving onderzoek in getijmodel.....</u>	<u>12</u>
3.1	Beschrijving getijmodel en opzet metingen.....	12
3.2	Resultaten van het onderzoek.....	13
3.2.1	Vertikale getijbeweging.....	13
3.2.2	Horizontale getijbeweging.....	13
3.2.3	Nauwkeurigheid metingen.....	16
<u>4</u>	<u>Interpretatie van de model reststroombetalingen.....</u>	<u>18</u>
4.1	Restdebieten $\tilde{Q}(x)$	18
4.2	Reststroombetaling $\tilde{q}(x,y)$	20
4.3	Het 3-dimensionale karakter van de reststroming.....	21
4.4	Stokesdrift.....	23

INHOUD (vervolg)

	blz.
<u>5</u>	<u>Beschrijving prototype reststroombetingen.....</u> 24
5.1	Algemeen..... 24
5.2	Veertiendaagse reststroombetingen in de mond van de Ooster- schelde..... 24
5.3	Dertien-uursmeting in de noordoostelijke tak van de Ooster- schelde..... 25
5.4	Dertien-uursmetingen in de raaien R60/61 en R83..... 26
5.5	Konklusies..... 27
<u>6</u>	<u>Reststroomberekeningen.....</u> 28
<u>7</u>	<u>Samenvatting, konklusies en aanbevelingen.....</u> 30
7.1	Samenvatting en konklusies..... 30
7.2	Aanbevelingen..... 31

REFERENTIES

TABELLEN

FIGUREN

Lijst van symbolen

Symbool	Omschrijving	Dimensie
A	oppervlakte dwarsdoorsnede	m^2
B	breedte	m
c_b	koëfficiënt voor bodemwrijving	-
G	getij-overschot	m^3
h	lokale diepte t.o.v. horizontaal referentievlak	m
Q	debiet	$m^3 s^{-1}$
\tilde{Q}	restdebiet per geul	$m^3 s^{-1}$
\tilde{Q}_e	restdebiet over deel van de geul waar eb domineert	$m^3 s^{-1}$
\tilde{Q}_v	restdebiet over deel van de geul waar vloed domineert	$m^3 s^{-1}$
Q_{max}	extreme debietwaarde per getijperiode	$m^3 s^{-1}$
Q_N	norm voor restdebiet	$m^3 s^{-1}$
q	debiet per eenheid van breedte	$m^2 s^{-1}$
q_{\perp}	debiet per eenheid van breedte in x-richting	$m^2 s^{-1}$
$q_{//}$	debiet per eenheid van breedte in y-richting	$m^2 s^{-1}$
\tilde{q}	getijgemiddeld debiet per eenheid van breedte	$m^2 s^{-1}$
R	krommingsstraal van een bocht	m
S	Stokesdrift	$m^2 s^{-1}$
T	getijperiode	s
t	tijd	s
u	snelheid in horizontale richting	ms^{-1}
U	over diepte gemiddelde snelheid	ms^{-1}
\tilde{u}	getijgemiddelde snelheid	ms^{-1}
u_{\perp}	snelheid in x-richting	ms^{-1}
$u_{//}$	snelheid in y-richting	ms^{-1}
u_E	Eulerse reststroomsnelheid	ms^{-1}
u_L	resttransportsnelheid	ms^{-1}
\bar{u}	maximale getijsnelheid (gemiddeld over diepte)	ms^{-1}
x	koördinaat in lengterichting van geul	m
y	koördinaat in dwarsrichting	m
z	vertikale koördinaat	m
ξ	afstand wateroppervlak tot referentieniveau	m
ϕ	hoek die \tilde{u} met x-as maakt	o

vloedvolume: totaal volume dat in de vloedperiode landinwaarts stroomt

ebvolume : totaal volume dat in de ebperiode zeewaarts stroomt

~ : middeling over getijperiode

Lijst van figuren

1. Getijreststroming in een netwerkstelsel
2. Faseverschil horizontaal en vertikaal getij
3. Dynamika van de getijreststroming bij bocht in oeverlijn
4. Stroomlijnen bij eb- en vloedstroming, resulterend debiet t.p.v. vernauwde doorstroomopening in geul
5. Stroming over plaatgebied bij eb en vloed
6. Overzicht meetraaien en meetpunten
- 7-19. Dwarsprofielen
- 20-33. Waterstanden
- 34-44. Debieten
- 45-68. Snelheid- en reststroomverdeling
69. Getijgemiddelde debieten (per eenheid van breedte)
70. Getijgemiddelde snelheden nabij wateroppervlak
71. Getijgemiddelde snelheden nabij bodem
72. $\tilde{Q}(x)$ -verdeling in Oosterschelde getijmodel
73. $\int \tilde{q}(x) dy$ -verdeling in Oosterschelde getijmodel
74. Rest-circulatiepatronen
75. Verdeling van reststroming u_{\perp} over dwarsdoorsnede in raai R85
- 76-82. Reststroming in dwarsrichting
- 83-84. Restdebietverdeling en Stokesdrift-verdeling
85. Dwarsdoorsneden van de sluitgaten in de mond van de Oosterschelde en posities van Flachsee-stroommeters bij de meting van 20-12-1977 tot 2-1-1978
86. Resultaten reststroommeting mond Oosterschelde in model en prototype
87. Overzicht meetvertikalen 13-uursmeting Keeten-Volkerak en vertikaal getij Bruinisse van 16-8-1977
88. Resultaten reststroommeting Keeten-Volkerak in model en prototype
89. Getij-overschot in raai 60/61; prototypemeting
90. Getij-overschot in raai 83; prototypemeting
91. Berekende reststroomverdeling volgens WAQUA-oost

Lijst van tabellen

1. Overzicht koördinaten van begin- en eindpunten van de meetraaien
2. Overzicht maximum debiet en reststroomdebiet
3. Overzicht maximum debiet en reststroomdebiet per doorsnede
4. Overzicht reproductie

1 Inleiding

In een breed estuarium als de Oosterschelde met zijn geulen en plaatgebieden verplaatsen de waterpakketjes zich ten gevolge van de getijbeweging niet alleen heen en weer gedurende een getijperiode, doch is er tevens een netto verplaatsing per getijperiode aanwezig. Een dergelijke netto verplaatsing van een waterpakketje wordt op kleine schaal veroorzaakt door turbulentie, die in samenwerking met de aanwezige snelheidsgradiënten in de getijstroming aanleiding geeft tot een grote dispersie. Daarnaast zijn er veelal grote circulatiestromen in een dergelijk type estuarium aanwezig, die een grootschalige netto verplaatsing van waterpakketjes per getijperiode en een daarmee gepaard gaande grote dispersie kunnen leveren. Voor het verkrijgen van meer inzicht in de verspreiding van stof in de Oosterschelde is het daarom belangrijk ook de reststroomverdeling in de Oosterschelde te kennen.

Van Veen (1952) heeft reeds aangegeven dat er ook in de Oosterschelde eb- en vloedscharen onderscheiden kunnen worden. In een ebschaar is de hoeveelheid water die door de geul (schaar) in de ebperiode naar zee stroomt (ebvolume) groter dan de hoeveelheid water die door dezelfde geul gedurende de vloedperiode landinwaarts stroomt (vloedvolume), zodat er resulterend per getijperiode een reststroom naar zee bestaat. Vaak is uit de morfologie van een estuarium te herkennen of een geul een eb- dan wel een vloedschaar is. Volgens Van Veen is een ebschaar in het algemeen ondiep aan zijn zeewaartse uiteinde, terwijl een vloedschaar juist ondiep is aan zijn landinwaartse uiteinde.

Uit een voorgaand onderzoek in het Oosterschelde getijmodel (WL, 1980) blijkt dat de restdebieten per geul in het algemeen niet erg nauwkeurig bepaald kunnen worden, omdat deze resulteren uit de aftrekking van twee veelal bijna even grote integralen (eb- en vloedvolume). Wel is daarbij gevonden dat de reststroom sterk kan variëren in breedterichting en dat lokaal deze snelheid wel in vele gevallen voldoende nauwkeurig te meten is. Deze variaties wijzen op het bestaan van grootschalige restcirculaties die de verspreiding van stof aanzienlijk kunnen beïnvloeden (WL, 1980). Het beeld van de reststroomverdeling in het Oosterschelde getijmodel, dat uit het eerder vermelde onderzoek volgt, is echter verre van compleet omdat er ten eerste niet gedurende een gesloten getijperiode snelheidsmetingen zijn uitgevoerd en ten tweede de onderlinge afstand van de meetraaien in de orde van 10 km lag.

Het in dit rapport beschreven onderzoek naar de reststroomverdeling in de Oosterschelde past als onderdeel in een breder opgezet onderzoek met als doelstelling het verkrijgen van meer inzicht in de verspreidingsmechanismen in de Oosterschelde.

De doelstelling van het onderzoek naar de reststroomverdeling in de Oosterschelde is:

- het geven van een kwalitatief en kwantitatief beeld van het restcirculatiepatroon in het Oosterschelde getijmodel (in de huidige situatie). Daarbij moet vooral ook aandacht besteed worden aan de modelaspecten ten aanzien van reststroombetaling
- het vergelijken van de in het getijmodel gemeten reststroomverdeling met de uit natuurmetingen bepaalde reststroomverdeling
- het vergelijken van de in het getijmodel gemeten reststroomverdeling met de uit het 2D-(horizontaal), numerieke Oosterscheldemodel WAQUA-Oost berekende verdeling.

In dit verslag komt in hoofdstuk 2 de theorie van de reststroming aan de orde. In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving van de in het Oosterschelde getijmodel uitgevoerde metingen gegeven, waarbij tevens de belangrijkste meetresultaten gegeven worden. In hoofdstuk 4 wordt de interpretatie van deze meetresultaten gegeven, waarbij vooral ook getracht is de grootschalige restcirculaties weer te geven. Dit in het getijmodel gemeten reststroombeeld wordt in hoofdstuk 5 vergeleken met de reststroombetalingen in de Oosterschelde zelf en in hoofdstuk 6 met het door het numerieke model WAQUA-Oost berekend reststroombeeld. In hoofdstuk 7 tenslotte wordt een samenvatting van het onderzoek samen met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen gegeven.

Het onderzoek is in opdracht van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Delta-dienst van Rijkswaterstaat uitgevoerd omstreeks de jaarwisseling 1980/81. De leiding bij het onderzoek in het getijmodel had ing. G. Hartsuiker, die tevens het verslag van de metingen (hfdst. 2) verzorgde. De interpretatie van de meetresultaten en de vergelijking met prototype en WAQUA is uitgevoerd door drs. M. Karelse, die tevens de verslaggeving daarvan en de samenstelling van het totale verslag verzorgde.

2 Theorie van de reststromen

2.1 Definities

Er zijn diverse definities van reststromen mogelijk afhankelijk van het feit of men met een meebewegend (Lagrangeaans) of stilstaand (Eulers) assenstelsel werkt en afhankelijk van het al dan niet en de methode van middelen over de vertikaal.

In een 3D-snelheidsveld is de Eulerse snelheid $u(x,y,z,t)$ de horizontale snelheid (vector), die optreedt in een vast punt (x,y,z) als functie van de tijd t . Integratie van deze lokale snelheid over de getijperiode T levert een 3D-reststroomsnelheid op.

$$\tilde{u}(x,y,z) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(x,y,z,t) dt \quad (2.1)$$

waarbij \sim boven een grootheid duidt op een middeling over de getijperiode.

In transportbeschouwingen wordt veelal met over de diepte geïntegreerde grootheden gewerkt. Integratie van de Eulerse snelheid over de diepte levert het lokale Eulerse transport

$$q(x,y,t) = -h \int_{-h}^{\xi} u(x,y,z,t) dz \quad (2.2)$$

waarin h : de lokale diepte ten opzichte van horizontaal referentievlak

ξ : het waterniveau boven dit referentievlak.

Door middeling over de getijperiode volgt uit (2.2) het over de vertikaal geïntegreerde rest-massatransport

$$\tilde{q}(x,y) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} q(x,y,t) dt \quad (2.3)$$

Vaak wordt dit debiet per eenheid van breedte weer omgerekend naar een snelheid, hetgeen verwarring oplevert omdat er 2 verschillende reststroomsnelheden ontstaan:

a. De Eulerse 2D-transportnelheid kan als volgt gedefinieerd worden

$$U(x,y,t) = \frac{q(x,y,t)}{h+\xi} \quad (2.4)$$

en hieruit volgt dan weer de zogenaamde Eulerse 2D-reststroomsnelheid

$$u_E(x,y) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} U(x,y,t) dt \quad (2.5)$$

b. Uit (2.3) is direkt de zogenaamde 2D-resttransportnelheid u_L af te leiden

$$u_L(x,y) = \tilde{q}/h \quad (2.6)$$

Deze lokale Eulerse snelheid wordt in sommige literatuur (b.v. Schonfeld, 1977) als een Lagrange restsnelheid beschouwd, hetgeen formeel onjuist is (Alfrink/Vreugdenhil, 1981).

Uit (2.3) t/m (2.6) volgt het verband tussen beide restsnelheden u_E en u_L :

$$u_L = u_E + \frac{\widetilde{U\xi}}{h} \quad (2.7)$$

Het verschil tussen de restsnelheden u_L en u_E is een term die in de literatuur (b.v. Schönfeld, 1977) veelal kortweg Stokesdrift genoemd wordt. Deze term is een maat voor het massatransport ten gevolge van de korrelatie tussen horizontale en verticale getijbeweging (zie vergelijking (2.7)). In een lopende getijgolf is deze korrelatie groot, terwijl in een staande getijgolf de horizontale en verticale getijbeweging bijna 90° uit fase kunnen zijn, zodat de Stokesdrift daar erg klein kan worden.

In simpele transportberekeningen wordt gewerkt met over de dwarsdoorsnede geïntegreerde grootheden. In een dergelijke 1D-beschouwing is het totale debiet door een geuldoorsnede:

$$Q(x,t) = \frac{1}{A} \iint_A u(x,y,z,t) dzdy \quad (2.8)$$

met A : oppervlakte dwarsdoorsnede.

Middelen over de getijperiode levert het zogenaamde restdebiet \tilde{Q}

$$\tilde{Q}(x) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} Q(x,t) dt \quad (2.9)$$

In het vervolg van dit rapport wordt de reststroomverdeling voornamelijk bestudeerd aan de hand van

- het restmassatransport $\tilde{q}(x,y)$ voor de verdeling in breedterichting
- het restdebiet $\tilde{Q}(x)$ voor de indeling in eb- en vloedscharen.

Daarnaast wordt enige informatie over de 3D-restsnelheidsverdeling $\tilde{u}(x,y,t)$ gegeven. Naast het restmassatransport $\tilde{q}(x,y)$ zal ook de grootte van de Stokes-drift aangeduid worden.

2.2 Oorzaken van reststroming

In de Oosterschelde wordt de waterbeweging gedomineerd door een samenspel van de drijvende kracht te weten het verticale getij op zee en de geometrie van de Oosterschelde met zijn geulen en plaatgebieden. De horizontale getijkomponent is gewoonlijk veel groter dan de reststroom die men krijgt door middelen over de getijperiode. Als oorzaken van de reststroming in de Oosterschelde kunnen genoemd worden:

2.2.1 Rivierafvoer

Gemiddeld over een lange periode (orde maand) is de afvoer van zoet water via de Brabantse riviertjes de Volkeraksluizen en de Kreekraksluis onder normale omstandigheden (zonder geforceerd spuien bij het Volkerak) kleiner dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie Dronkers, 1980). Deze waarde valt in het niet in vergelijking met de getijdebieten in de Oosterschelde (amplitude horizontale getij door SVKO is $10^5 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit betekent dat de reststroming ten gevolge van de rivierafvoer op het Oosterschelde-bekken nauwelijks waarneembaar zal zijn, doch ook op de noordoostelijke tak op zich van minimaal belang zal zijn. In combinatie met de reststroming ten gevolge van dichtheidseffekten kan de rivierafvoer wel van belang zijn op de noordoostelijke tak (zie 2.2.2).

2.2.2 Dichtheidseffekten

Het dichtheidsverschil tussen zeewater en rivierwater levert in de Oosterschelde een longitudinale dichtheidsgradiënt. Deze gradiënt impliceert een longitudinale drukgradiënt, die toeneemt met toenemende afstand tot het wateroppervlak. Deze gradiënt levert in de eerste plaats de zogenaamde verticale gravitatiecirculatie op: een landinwaartse reststroom nabij de bodem en een

zeewaartse nabij het wateroppervlak. Omdat de over de diepte gemiddelde drukgradiënt ongeveer evenredig is met de lokale diepte treedt er daarnaast in brede estuaria ook een dwarsgravitatie-circulatie op: een landinwaartse reststroom in de diepste delen en een zeewaartse reststroom in de ondiepere delen. In het Oosterschelde-bekken zelf is de longitudinale dichtheidsgradiënt zodanig klein dat er geen merkbare $\Delta\rho$ -effecten te verwachten zijn (zie Dronkers, 1980).

Op de noordoostelijke tak van de Oosterschelde is de dichtheidsgradiënt daarentegen een orde groter en zal dit effect in de restsnelheidsvertikalen zichtbaar zijn.

2.2.3 Coriolis-effekt

In (WL, 1980) is op grond van modelmetingen aangegeven dat de invloed van de aardrotatie op de waterbeweging in de Oosterschelde waarschijnlijk verwaarloosbaar klein is. In de resttransportverdeling $\tilde{q}(x,y)$ in een geul is dit effect nog juist te herkennen (circulatie tegen klok in), doch in de restdebietverdeling in het netwerk van geulen is geen significante invloed van het Coriolis-effekt gevonden.

2.2.4 Meteorologische effecten

Ten gevolge van wind kan er in een estuarium een aanzienlijke reststroming ontstaan:

- door een middenstandsverandering op zee (b.v. stormopzet) kan er een middenstandsverschil tussen zee- en rivierrand op gaan treden, hetgeen een reststroming impliceert
- door wind die over een wateroppervlak blaast stroomt het water aan het oppervlak mee in de windrichting en vindt er een retourstroming in de diepere delen plaats. Door de geometrie van een getijgebied kan er een ingewikkeld 3D-circulatiepatroon ontstaan (zie b.v. Fischer, 1979). De grootte van deze reststroming kan volgens Alfrink (1981) liggen in de orde van 10 cm/s.

2.2.5 Getijreststromen

2.2.5.1 Getijreststromen in de Noordzee

De vorm van de kustlijnen en in mindere mate de onregelmatigheden in de bodem-

topografie van de Noordzee leveren ten gevolge van de werking van weerstands- en Corioliskrachten inhomogeniteiten in het snelheidsveld van de getijstromen op. De niet-lineaire waterbeweging onder invloed van het getij levert in dit zeegebied daardoor een belangrijke aandrijvende kracht (tidal stress) voor de getijreststroming op (b.v. Alfrink/Vreugdenhil, 1981). In een zeegebied met vlakke bodem worden deze krachten naast de meteorologische krachten als de belangrijkste oorzaak voor het optreden van reststromen gezien. Als orde van grootte wordt voor de zuidelijke Noordzee 10 cm/s aangegeven.

2.2.5.2 Getijreststromen in estuaria

Brede estuaria als de Oosterschelde hebben veelal onregelmatige oeverlijnen en bodemtopografie. De oscillerende getijstroming over en langs deze onregelmatigheden vertoont een niet-homogene snelheidsverdeling. Er treden gebieden op waar de ebstroming domineert en andere gebieden waar de vloedstroming domineert. Van brede estuaria die bestaan uit een stelsel van geulen gescheiden door plaatgebieden is bekend dat er eb- en vloedscharen te onderscheiden zijn (ebschaar is geul waar het ebvolume groter is dan het vloedvolume), zie b.v. Van Veen (1952), Fischer (1979) en Mc Dowell (1977). Van Veen (1952) vermeldt dat veelal aan de morfologie van een geul te zien is of de geul door de eb- dan wel door vloedstroming gedomineerd wordt. Een ebschaar heeft namelijk een ondiepte aan zijn zeewaartse einde terwijl een vloedschaar juist een ondiepte aan zijn landinwaartse einde heeft. Van Straaten (1952) beschrijft dat ook aan de vorm van de zandribbels te zien is of er sprake is van een eb- dan wel een vloedschaar. In deze publikaties wordt de samenhang tussen reststroombeeld en bodemmorfolgie aangegeven.

Zimmerman (1978 en 1981) heeft de dynamika van de topografisch bepaalde getijreststromen en de samenhang met de morfologie van de bodem en de kustlijn beschreven in de vorm van vorticititeitsoverdracht. Hij beschrijft dat deze door de (niet-lineair) interactie van de getijstroming en de onregelmatige geometrie opgewekte reststroming veelal optreden in de vorm van restcirculatie of "restwervel" stromen.

Fischer (1979) noemt dit reststroming ten gevolge van "tidal pumping". De energie, die in het getij aanwezig is, wordt gedeeltelijk gebruikt om deze reststroming aan te drijven.

2.2.5.3 Voorbeelden van topografisch bepaalde getijreststromen

In het hiernavolgende wordt aan de hand van enkele voorbeelden de samenhang tussen geometrie en reststroombeeld nader aangeduid:

a. Getijreststroming in een netwerkstelsel

Fischer (1979) geeft hiervan een voorbeeld. In de Montezuma Slough (zie fig. 1) ontstaat ten gevolge van het in de knooppunten aanwezige faseverschil in het vertikaal getij van ongeveer 1 uur, een vloedstroom bij een relatief hoge waterstand en een ebstroom bij een relatief lagere waterstand. De weerstand werkt daardoor de ebstroming sterker tegen dan de vloedstroming: de getijreststroming is landinwaarts gericht.

Van de Kreeke (1981) heeft een studie van de reststroming in de Eendracht gemaakt. Hij onderscheidt daarbij 3 mechanismen, die een reststroming opleveren. De hogere middenstand op het Krammer levert een reststroom naar de kom van de Oosterschelde toe op. Deze reststroming wordt tegengewerkt door de reststroom ten gevolge van de longitudinale dichtheidsgradiënt, die naar het Krammer toe gericht is en door de getijreststroom ten gevolge van de niet-lineaire interactie van de verschillende getijkomponenten. Het resultaat is een restdebiet in de richting van het Krammer (op 16 en 17 augustus 1977 was dit $30 \pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$).

b. Getijreststroming in een geul

De variatie van de getijreststroming over de breedte van een geul is in een recht deel te verklaren uit de verschillende invloed van de weerstandskracht in vloed- en eb fase, terwijl in een bocht de centrifugale kracht een hoofdrol speelt.

In de mond van de Oosterschelde vindt de hoogwaterkentering (HWK) ongeveer een uur na HW plaats en de LWK een uur na LW. Dit betekent dat de over de vloedperiode gemiddelde waterstand hoger is dan de over de ebperiode gemiddelde waterstand (zie fig. 2). Het resultaat is dat de weerstand van de bodem op de stroming in de vloedperiode relatief kleiner is dan in de ebperiode.

Deze redenering gaat voor de gehele dwarsdoorsnede op, doch het verschil tussen de weerstand in de vloed- en ebperiode is het grootste in de ondiepere delen van de geul:

in de ondiepere delen domineert de vloed terwijl op grond van de continuïteit in de diepere delen van de geul de eb dan moet domineren. (Dit in tegenstelling met reststromen t.g.v. dichtheidseffekten.)

De dynamika van de getijreststroming in een bocht is uitgebreid behandeld door Zimmerman (1981) in de vorm van vorticititeitsoverdracht, terwijl Dronkers en Zimmerman (1981) een verklaring in de vorm van het krachterspel gegeven hebben voor deze zogenaamde "headland eddy". De getijstroming ondervindt in de bocht in de oeverlijn een centrifugale kracht, die in evenwicht wordt gehouden door een drukgradiënt ten gevolge van het optredende dwarsverhang (zie fig. 3). Dit laatste betekent dat het waterniveau in de buitenbocht hoger is dan in de binnenbocht gedurende het gehele getij. Landinwaarts en zeewaarts van deze bocht is er geen dwarsverhang aanwezig. Uit de restdrukverdeling langs de kust valt aldus op te maken dat er aan weerszijden van de bocht 2 circulatiecellen ontstaan volgens figuur 3.

Uit de rest-impulsbalansvergelijkingen in radiale en langsricting hebben Dronkers en Zimmerman (1981) afgeleid dat

$$\tilde{u} = \frac{\pi}{8} \frac{h}{c_b} \frac{b}{R^2}$$

waarin h : waterdiepte

b : breedte

R : krommingsstraal van de bocht

c_b : koëfficiënt van bodemwrijving.

Als karakteristieke waarden voor de getijstroming om de bocht bij Colijnsplaat in de Oosterschelde zijn

h = 20 m

b = 3000 m en dit levert $\tilde{u} \sim 0,10 \text{ ms}^{-1}$

R = 6000 m

$c_b = 0,005$

In het onderzoek M 1603 (WL, 1980) is gevonden dat de getijreststroming in het Oosterschelde getijmodel in de breedterichting sterk kan variëren. In hoofdstuk 4 wordt hierop verder ingegaan.

c. Getijreststroming in een baai/dode zone

Door de niet-lineaire interactie van de getijstroming met de oevergeometrie van een estuarium kunnen ook reststroomcirculaties ontstaan.

Yanagi (1976) heeft in een simpel hydraulisch model van een baai (vierkante bak 5 * 5 m, 0,1 m diep) het reststroombeeld geanalyseerd dat bepaald wordt

door de oevergeometrie. Sugimoto (1976) voert naast hydraulische experimenten ook numerieke berekeningen uit met een reststroommodel om de relatie oevergeometrie/reststroombeeld te onderzoeken.

Zimmerman (1981) laat zien hoe in een rechthoekige baai de wandwrijving zorgt voor een verandering van de vorticititeit met de plaats, waardoor er een rest-circulatiestroming ontstaat in de baai.

d. Getijreststroming aan weerszijden van een vernauwde instroomopening

Als voorbeeld geldt de straalstroming achter de vernauwde openingen in de SVKO (zie WL, 1980). In de vloedfase ontstaat er aan de landwaartse zijde van de SVKO-opening een straalstroming met aan de rand van de straal een stroomscheiding tussen hoofdstroom (straal) en neerstroom. In de ebfase stroomt er van alle zijden water naar de SVKO-opening, zodat het in figuur 4 geschetste reststroombeeld ontstaat.

Fischer (1979) vermeldt ook een dergelijk reststroombeeld bij een zogenaamde getij-inlaat.

e. Getijreststroming in de nabijheid van plaatgebieden of zandbanken

Heathershaw e.a. (1980) geven metingen van de reststroming in de nabijheid van grote zandbanken bij de Engelse kust, die ook iets zeggen over de 3D-reststroming: zij vonden indicaties dat er secundaire circulatiestromen van orde-grootte 5 cm/s in de nabijheid van de banken aanwezig zijn.

Zimmerman (1981) verklaart de getijreststroming in de nabijheid van zandbanken met zijn vorticititeitstheorie en vindt dat de Coriolis-kracht een wervelcirculatie rond de zandbank met de klok mee geeft, terwijl de bodemwrijvingskracht een circulatiestroming heeft waarvan de circulatierichting afhangt van de richting waarin de getijstroming over de zandbank loopt.

Op de bij LWK droogvallende plaatgebieden valt veelal een dominantie van de ebstroming te beredeneren. Neem als voorbeeld een plaat die aan weerszijden begrensd is door een geul, waarbij ook enkele vloedscharen op de plaat aanwezig zijn (zie fig. 5).

Als deze plaat pas aan het eind van de vloedperiode onder water loopt dan geschiedt dit onderlopen niet in hoofdzaak volgens de richting van de grootste drukgradiënt doch meer vanuit de geulen (traagheid van stromend water) zie figuur 5a..

Na HWK echter is de impulsie van het water nul en gaat in eerste instantie het

van de plaat afstromen van het water wel in de richting van de grootste drukgradiënt, d.w.z. de voorkeursrichting is dan wel naar zee toe. Resultierend per getijperiode betekent dit dat er een duidelijke tendens zal bestaan dat eb domineert op een plaatgebied.

Op grond van de in rapport M 1603 (WL, 1980) vermelde resultaten van de reststroombepalingen in het Oosterschelde getijmodel mag de konklusie getrokken worden dat in de Oosterschelde de topografisch bepaalde getijreststromen erg belangrijk zijn.

3 Beschrijving onderzoek in getijmodel

3.1 Beschrijving getijmodel en opzet metingen

Het onderzoek is uitgevoerd in het getijmodel van de Oosterschelde (zie fig. 6). Een beschrijving van dit model wordt gegeven in [19].

Het getijmodel van de Oosterschelde heeft samengetrokken schalen (horizontale schaal $n_L = 400$, verticale schaal $n_V = 100$). De bodem is vast en gebaseerd op peilingen van 1967. Een groot gedeelte van de bodem is in de loop van de tijd aangepast in verband met opgetreden bodemveranderingen. De bodemaanpassingen zijn globaal als volgt uitgevoerd:

- gebied Keeten-Mastgat-Zijpe volgens peilingen van 1973
- gebied omgeving Philipsdam volgens peilingen van 1977
- gebied Roompot-Westgat en Schaar van Roggenplaat volgens peilingen van 1975
- gebied Vuilbaard-Oosterschelde tot Wemeldinge volgens peilingen van 1976
- gebied omgeving Oosterscheldedam volgens een voorspelde bodemligging van 1982 (door RWS geleverd).

Het Schelde-Rijnkanaal en de bijbehorende speciebergingen zijn ingebouwd volgens bestektekeningen. De stand van zaken (in het model) bij de verschillende dammen was tijdens het onderzoek als volgt:

- bij de Oosterscheldedam (stormvloedkering) zijn de damvakken aangebracht, in de sluitgaten zijn cametten en damkoppen aanwezig en zijn geen pijlers geplaatst
- bij de Philipsdam is het sluizencomplex aanwezig en zijn de sluitgaten Krammer en Slaak niet afgesloten
- bij de Oesterdam zijn het werkeiland en damvakken aanwezig en zijn de sluitgaten Tholense Gat en Marolle Gat niet afgesloten
- bij de Markiezaatskade zijn damvakken aanwezig en is het sluitgat (breedte 800 m) niet afgesloten.

De codering van de bovenomschreven situatie in het getijmodel is toestand T 345.

De horizontale en verticale getijbeweging bij genoemde toestand is vastgelegd door enerzijds in een groot aantal raaien (40) verspreid over het kombergingsgebied van de Oosterschelde stroomsnelheden en -richtingen te meten en anderzijds door in een aantal meetpunten (22) het waterstandsverloop te meten. In figuur 6 wordt de ligging van de meetraaien en meetpunten gegeven, terwijl in

tabel 1 de koördinaten (ten opzichte van Amersfoort) van begin- en eindpunt van de meetraaien zijn gegeven.

De figuren 7 tot en met 19 geven de dwarsprofielen van de meetraaien.

De stroomsnelheden en -richtingen en de waterstanden zijn gemeten tussen 6.00 en 18.20 uur (prototypetijd). Aan de hand van deze metingen zijn onder andere de volgende grootheden berekend:

- $h(x,t)$ waterstand (m)
- $u(x,y,z,t)$ stroomsnelheid in het meetpunt (x,y,z) (m/s)
- $\bar{u}(x,y,t)$ gemiddelde stroomsnelheid in de vertikaal (x,y) in de richting van de stroom (m/s)
- $q(x,y,t)$ debiet per eenheid van breedte in de vertikaal (x,y) , loodrecht op de meetraai (m²/s)
- $Q(x,t)$ totaal debiet in een meetraai (m³/s)
- $\tilde{u}(x,y,z)$ getijgemiddelde stroomsnelheid in het meetpunt (x,y,z) (m/s)
- $\tilde{q}(x,y)$ getijgemiddelde debiet per eenheid van breedte in de vertikaal (x,y) , loodrecht op de meetraai (\tilde{q}_{\perp}) en evenwijdig aan de meetraai ($\tilde{q}_{//}$) (m²/s)
- $\tilde{Q}(x)$ getijgemiddelde totaal debiet in een meetraai (m³/s)

De getijgemiddelde grootheden zijn als volgt gedefinieerd:

$$\tilde{u}(x,y,z) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(x,y,z,t) dt$$

Bovendien is met behulp van de berekende waarden van $\tilde{q}_{\perp}(x,y)$ en $\tilde{q}_{//}(x,y)$ een getijgemiddelde richting van $\tilde{q}(x,y)$ berekend volgens:

$$\tilde{\phi}(x,y) = \arctg\left(\frac{\tilde{q}_{\perp}(x,y)}{\tilde{q}_{//}(x,y)}\right) \quad (o)$$

Bij het onderzoek is als instelgetij het slotgemiddelde getij 1971.0 gebruikt. Dit getij is cyclisch gemaakt over een periode van 24.40 uur en bestaat uit twee identieke getijden. Voor dit instelgetij waren geen kleppenprogramma's aanwezig en daarom moest voorafgaand aan het eigenlijke onderzoek een getij-instelprocedure worden gevolgd. Hierbij zijn kleppenprogramma's gemaakt waarmee de getijbeweging in het model een zo goed mogelijke reproductie geeft van de getijbeweging in het prototype (kontrole aan de hand van prototypegegevens voor het slotgemiddelde getij van de verticale getijbeweging in 11 meetpun-

ten). De Coriolis-tollen zijn bij het onderzoek niet in bedrijf geweest. Bij eerder verrichte onderzoek (M 1603) is gebleken dat bij het niet opwekken van het Coriolis-effekt in het model geen duidelijk afwijkende horizontale en verticale getijbeweging zal ontstaan.

3.2 Resultaten van het onderzoek

3.2.1 Vertikale getijbeweging

De figuren 20 tot en met 30 geven voor een aantal meetpunten (zie fig. 6 voor de ligging) de waterstanden in het model en in het prototype (slotgemiddelde). Aan de hand van deze figuren kan de getij-instelling worden beoordeeld (de getij-instelling is uitgevoerd aan de hand van de meetpunten Vlietepolder en Burghsluis; zie respectievelijk fig. 20 en 25). Hieruit blijkt, dat in de meetpunten in de mond van de Oosterschelde een goede reproductie van zowel het getijverschil als van de fase van het getij is bereikt. In de meetpunten langs de zuidelijke tak (Colijnsplaat tot Razernijpolder) is de reproductie redelijk tot goed: het getijverschil in het model is gelijk tot iets groter dan in het prototype, terwijl het getij in het model in fase iets later tot iets vroeger is dan in het prototype. In de meetpunten langs de noordelijke tak (Zierikzee tot Rak-Zuid) is de reproductie redelijk: het getijverschil in het model is over het algemeen groter (variërend van 0,05 m tot 0,20 m), terwijl het getij in het model iets later tot iets vroeger is dan in het prototype.

Samenvattend kan worden gezegd, dat een redelijke tot goede reproductie van het prototype (slotgemiddelde) getij is bereikt. Alleen door meer ingrijpende maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanpassen van de bodemruwheid, kan mogelijk een betere reproductie van vooral de noordelijke tak worden bereikt. Deze aanpassingen zijn in het kader van het onderhavige onderzoek niet nodig geacht.

De figuren 31 tot en met 33 geven voor de overige meetpunten, waarvan geen prototypegegevens beschikbaar waren, het verloop van de waterstanden gedurende het getij.

3.2.2 Horizontale getijbeweging

De figuren 34 tot en met 44 geven de debieten gedurende het getij voor alle meettraaien. Per figuur is een aantal meettraaien gepresenteerd, welke over het algemeen langs één geul liggen. In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de

optredende maximum eb- en vloeddebieten ($Q(x,t)$) en de berekende waarden van het reststroomdebiet ($\tilde{Q}(x)$). Tabel 3 geeft de maximum eb- en vloeddebieten en het reststroomdebiet voor verschillende doorsneden (eventueel meerdere geulen) gerangschikt naar plaats (vanaf stormvloedkering naar het oosten).

Uit de figuren en tabellen blijkt, dat over het algemeen de waarde van de debieten voldoet aan het verwachtingspatroon, namelijk gaande langs een geul of geulen (naar binnen toe) afname van de debieten als gevolg van de afname van het kombergingsgebied van de bewuste geul of geulen.

Gelet op de reststroomdebieten voor een bepaalde doorsnede (zie tabel 3) blijkt dat het reststroomdebiet nog aanzienlijke waarden kan bereiken, alhoewel theoretisch het reststroomdebiet nul moet zijn. De nauwkeurigheid hiervan wordt bepaald door enerzijds de nauwkeurigheid in de metingen en anderzijds door het niet volledig kunnen doormeten van bepaalde meetraaien (in verband met de afmetingen van het meetinstrument kan op plaatsen ondieper dan NAP -5,0 à -6,0 m niet worden gemeten).

De figuren 45 tot en met 64 geven voor alle meetraaien de snelheids- en reststroomverdeling langs een raai. Voor de stroomsnelheid (\bar{u}) is de gemeten waarde in de richting van de stroom gegeven, terwijl voor het reststroomdebiet de komponent loodrecht op de raai is gegeven (\tilde{q}_{\perp}). In de figuren is tevens de richting van het reststroomdebiet gepresenteerd. Deze richting is bepaald aan de hand van de berekende waarden van \tilde{q}_{\perp} en $\tilde{q}_{//}$.

Uit de figuren blijkt dat de snelheidsverdeling over het algemeen een vrij gelijkmatig verloop langs de raai heeft (uitgezonderd Raai 59 ter plaatse van meetpunt op 1150 m; zie fig. 59). De reststroomverdeling heeft in een aantal raaien een erg grillig verloop.

In de figuren 69 t/m 71 wordt een overzicht van de reststroomverdeling in het Oosterschelde getijmodel gegeven:

figuur 69: overzicht van de getijgemiddelde debieten $\tilde{q}(x,y)$

figuur 70: overzicht van de getijgemiddelde snelheidsverdeling $\tilde{u}(x,y)$ in het bovenste meetpunt

figuur 71: overzicht van de getijgemiddelde snelheidsverdeling $\tilde{u}(x,y)$ in het onderste meetpunt.

Alvorens er wordt ingegaan op de resultaten van de metingen (zie hfdst. 4: interpretatie) zal in de volgende paragraaf de nauwkeurigheid van de metingen worden behandeld.

3.2.3 Nauwkeurigheid metingen

Voordat er verder wordt ingegaan op de resultaten van de proeven zal eerst de "waarde" van de metingen worden toegelicht. Hierbij is een aantal aspecten van belang, zoals: nauwkeurigheid in de reproductie van een getij, nauwkeurigheid in de metingen van de horizontale en verticale getijbeweging en nauwkeurigheid in de afgeleide grootheden (reststroomdebiet en -richting).

De nauwkeurigheid in de reproductie van een getij is direkt gekoppeld aan de manier van getij-opwekking. In het getijmodel van de Oosterschelde vindt de getij-opwekking plaats door middel van een regeling op waterstand. Hierbij worden voor elke klep geprogrammeerde waterstanden vergeleken met bij de klep optredende waterstanden. De nauwkeurigheid in het meten van de optredende waterstanden bedraagt ca. 2 cm (prototype). Aangezien de klepreakties op gekonstateerde verschillen tussen geprogrammeerde en optredende waterstanden volkomen reproduceerbaar is, bedraagt dientengevolge de nauwkeurigheid in de reproductie van een getij ook ca. 2 cm.

De nauwkeurigheid in de metingen van de horizontale getijbeweging valt uiteen in twee aspecten, namelijk stroomsnelheid en stroomrichting. De stroomsnelheid kan worden gemeten met een nauwkeurigheid van ca. 5 cm/s (prototype), terwijl de nauwkeurigheid in het meten van de richtingen ca. 5° bedraagt. De nauwkeurigheid in de debieten wordt bepaald door de combinatie van stroomsnelheid en -richting, aangezien hierbij de ontbondene van de stroomsnelheid loodrecht op de meetraai van belang is. Bij vrijwel alle meetraaien wijkt de aanstroomrichting minder dan 20° af van de loodrechte aanstroming en dientengevolge bedraagt het aandeel van de stroomrichting in de nauwkeurigheid van de debieten maximaal 2 à 3%. Door de gekombineerde invloed bedraagt bij de onderzochte situatie de nauwkeurigheid van de debieten bij maximum stroomomstandigheden 4 à 6% in de raaien welke in de omgeving van de stormvloedkering liggen en 8 à 10% in de raaien, welke aan het einde van het kombergingsgebied liggen.

De nauwkeurigheid in de berekende waarden van het reststroomdebiet is moeilijk in te schatten, aangezien het hierbij gaat om het verschil van twee grote getallen, namelijk het (in de tijd) gesommeerde vloeddebiet en het gesommeerde ebdebiet. Ook de nauwkeurigheid van de reststroomrichting is nauwelijks te bepalen omdat deze richting wordt berekend aan de hand van het reststroomdebiet (uit de komponent loodrecht op en evenwijdig aan de raai).

Voor het verkrijgen van inzicht in met name de nauwkeurigheid van reststroomdebiet en -richting zijn in een aantal raaien reproductiemetingen verricht volgens onderstaand schema:

- R10 : 2 volledige metingen en 1 meting met een afwijkende ligging van de meetpunten (accent op de gradiënt)
- R30 : 3 volledige metingen
- R40 : 1 volledige meting
- R60 : 1 volledige meting.

In de figuren 65 tot en met 68 worden van de 4 genoemde raaien de snelheids- en reststroomverdeling gegeven van alle uitgevoerde metingen.

Bovendien zijn in een groot aantal meetpunten kontrolemetingen uitgevoerd, omdat de resultaten een afwijkend beeld vertoonden ten opzichte van de naastgelegen meetpunten (afwijking in hetzij stroomsnelheid, reststroomdebiet of reststroomrichting). Een gedeelte van de kontrolemetingen kan als reproductiemeting worden gekenmerkt, aangezien er geen aantoonbare fouten in de 1e meting naar voren zijn gekomen. Tabel 4 geeft een overzicht van de reproductie in de afzonderlijke meetpunten. In de tabel zijn de waarden gegeven van maximum ebsnelheid, maximum vloodsnelheid, reststroomdebiet en reststroomrichting).

Uit de figuren en de tabel blijkt, dat gelet op de stroomsnelheden de nauwkeurigheid in de reproductie gemiddeld 0,05 m/s bedraagt. Voor het reststroomdebiet en de reststroomrichting bedraagt de nauwkeurigheid in de reproductie respektievelijk ca. 0,20 m²/s en ca. 15° (gemiddeld).

Er bestaat de tendens dat bij grotere waarden van het reststroomdebiet de nauwkeurigheid van de reststroomrichting groter is. In onderstaand schema is aangegeven welke relatie er globaal tussen de beide grootheden bestaat.

waarde van \tilde{q}	nauwkeurigheid in $\tilde{\phi}$
ca. 2,0 m ² /s	ca. 10°
ca. 1,0 m ² /s	ca. 20°
ca. 0,5 m ² /s	ca. 30°

4 Interpretatie van de model reststroombetingen

In het Oosterschelde getijmodel is alleen het reststroombeeld ten gevolge van de topografisch bepaalde getijreststroming onderzocht. In het model was namelijk niet aanwezig:

- rivierafvoer
- dichtheidsverschil
- windinvloed
- Coriolis-invloed.

Bij vergelijking van de modelmetingen met prototypemetingen moet het bovenstaande in het oog gehouden worden. Vooral op de noordoostelijke tak van de Oosterschelde kan de invloed van dichtheidsverschillen merkbaar zijn in de reststroomverdeling. Daarnaast kan de wind een versturende faktor bij vergelijking van natuur- en modelmetingen zijn (als de natuurmeting slechts gedurende een korte meettijd (13 uursmeting) heeft plaatsgevonden).

4.1 Restdebieten $\tilde{Q}(x)$

Het restdebiet per geul \tilde{Q} wordt verkregen door de met een beperkte nauwkeurigheid bepaalde eb- en vloedvolumen van de geul, die nagenoeg even groot zijn, van elkaar af te trekken. Dit verschil is in het algemeen ten opzichte van de getijvolumen dermate klein dat de onzekerheid in de uitkomst groot is. Een idee over de nauwkeurigheid van de uitkomsten is te verkrijgen door naast het restdebiet per geul ook het restdebiet over een totale Oosterschelde-doorsnede te berekenen. In tabel 3 zijn de resultaten daarvan gegeven, waarbij echter niet het restdebiet over de plaatgebieden in rekening gebracht is.

Theoretisch moet het restdebiet door de doorsneden ten westen van Stavenisse R57/58/59 t/m R10/30/40 en door de doorsneden in het Volkerak R72 t/m R74 nul zijn omdat het getijmodel zonder rivierafvoer stroomde. Vanwege de schatting van de reststroming in het Rijn-Scheldekanaal van $30 \pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ naar het noorden toe (bepaald via verplaatsing van drijvertjes in een getijperiode) zou voor de doorsneden R60/61 t/m R88/R89 $+30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ het resultaat moeten zijn, terwijl voor de doorsneden R62 t/m R75 $-30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ het theoretisch resultaat zou moeten zijn.

In enkele doorsneden, zoals in de SVKO (R10/30/40) en in het Zijpe (R77) bestaat de gehele doorsnede slechts uit geulgebieden, zoals vooral deze doorsnede een goed beeld van de nauwkeurigheid in \tilde{Q} opleveren. Als totaal beeld volgt uit tabel 3 dat een reële schatting van de nauwkeurigheid in de bepaling

van \tilde{Q} lijkt $Q_N = 0,01 Q_{\max}$. Hierbij wordt Q_{\max} bepaald als gemiddelde van het maximale vloed- en ebdebiet. Neemt men Q_N nu als norm aan om te beoordelen of de uitkomsten van de restdebieten significant zijn dan geldt:

- $\tilde{Q}/Q_N < 1$: geen significant restdebiet
 - $\tilde{Q}/Q_N > 1$: wel significant restdebiet
- en hoe groter \tilde{Q}/Q_N des te meer betekenis heeft het bepaalde restdebiet.

In tabel 2 en 3 is op deze manier een beoordeling van de reststroombepaling gegeven.

Met deze norm als maat volgt uit tabel 3 als tendens dat over de plaatgebieden de reststroming naar zee gericht is. Dit betekent dat als tendens de vloedstroom domineert in de geulgebieden en de ebstream op de plaatgebieden. Vooral op het traject van R60/61 t/m R88/89 is bovenstaande tendens duidelijk aanwezig. In paragraaf 2.2.5.3 is onder punt e een verklaring voor deze ebdominantie gegeven.

In figuur 72 zijn voor die dwarsdoorsneden, waar een significante \tilde{Q} bepaald is, deze waarden uitgezet.

Daaruit blijkt dat

- de Roompot bij de raaien R10 en R21 een vloodschaar is
- de Schaar van Colijnsplaat (R25, R52 en R55) een vloodschaar is
- de Vuilbaard (R26) een ebschaar is
- de Schaar van Roggenplaat (R30, R22 en R27) een ebschaar is
- in de Hammen geen significante vloed- of ebdominantie gevonden wordt
- het Brabantse Vaarwater (R58, R61 en R64) een vloodschaar is
- in de geul langs de Bevelandse kust ten noorden van de Zandkreek het totaal restdebiet zeewaarts stroomt en ten oosten van de Zandkreek juist weer landinwaarts.

Op grond van deze $\tilde{Q}(x)$ -verdeling in het netwerk van geulen lijken de volgende grootschalige circulaties aanwezig:

- circulatiestroming Schaar van Colijnsplaat-Zierikzee raai-Vuilbaard (circulatie linksom)
- circulatiestroming Zuidelijke Roompot-Schaar van Colijnsplaat-Zierikzeeraai-Schaar van Roggenplaat-zee (circulatie linksom)
- circulatiestroming Brabants Vaarwater-Zuidelijke geul om de Galge- en Vondelingsplaat heen (rechtsom).

In de hiernavolgende paragraaf zal dit circulatiebeeld verder uitgediept

worden.

4.2 Reststroomverdeling $\tilde{q}(x,y)$

In de voorgaande paragraaf is de totale hoeveelheid water, die resulterend per getijperiode door een geul-dwarsdoorsnede als geheel passeert, bestudeerd. In de meeste geulen is de reststroom echter niet uniform in dwarsrichting verdeeld. In de figuren 45 t/m 64 wordt daarom de reststroomverdeling $\tilde{q}(x,y)$ getoond, terwijl in figuur 69 het totale overzicht gegeven wordt.

In paragraaf 2.2.6 is onder punt b geschetst dat in een rechte geul de tendens waarneembaar moet zijn dat in de diepere delen de eb domineert, terwijl in de ondiepere delen de vloed domineert. Deze tendens is in vele meetraaien waarneembaar (b.v. in raaien R10, R30, R40, R26 enz.), doch wordt in diverse meetraaien gedomineerd door een restcirculatiestroming ten gevolge van andere mechanismen.

Om de restcirculatiestroming per geul duidelijker zichtbaar te maken is er per geuldoorsnede geïntegreerd over dat deel van de doorsnede (BC) waar de eb domineert (levert \tilde{Q}_e) en daarnaast ook over het resterend deel van de doorsnede (CA) waar de vloed domineert (levert \tilde{Q}_v):

$$\tilde{Q}_e = \int_c^B \tilde{q} \, dy$$

$$\tilde{Q}_v = \int_A^c \tilde{q} \, dy$$

Het resultaat van deze integraties wordt getoond in figuur 73 en vormt een detaillering van het in figuur 72 reeds geschetste beeld.

Aan weerszijden van de bocht in de oeverlijn bij Colijnsplaat blijkt overeenkomstig de zogenaamde "headland eddy" uit paragraaf 2.2.5.3 punt b de reststrooming langs de oever aan weerszijden naar de bocht toe gericht te zijn.

Uit deze reststroomverdeling in de geulen (fig. 73) kan een beeld gevormd worden van de mogelijke vorm van de grootschalige restcirculatiecellen in het Oosterschelde getijmodel. In figuur 74 zijn deze mogelijke grootschalige circulaties weergegeven, waarbij als extra informatie de ebdominantie op de plaatgebieden gebruikt is. De in de vorige paragraaf reeds genoemde circulatiestromen zijn in deze figuur opgenomen zij het dat de circulatiestroming via het Brabants Vaarwater gesplitst is in twee circulatiecellen: een links- en een rechtsom draaiende circulatiestroming.

Aan weerszijden van de bocht in de oeverlijn bij Colijnsplaat zijn de "headland eddies" te herkennen. Ook uit de richting van de reststroming in diverse raaien is deze belangrijke restcirculatie duidelijk herkenbaar:

- noordelijke reststroom in raai R55 (fig. 52)
- zuidelijke reststroom in grootste deel van raai R21 (fig. 45)
- zuidelijke reststroom in grootste deel van raai R63 (fig. 53).

Ook uit de ondiepte in langsrichting, die ter plaatse van raai R55 optreedt, is een dergelijke reststroming te herkennen.

In de Schaar van de Roggenplaat blijkt dat de reststroom van de Roggenplaat naar de geul toe gericht is, zie raaien R30, R22, R27 en R53.

De circulatiecellen ter hoogte van de raaien R60, R61 zijn getekend aannemend dat over de plaatgebieden de ebstroming domineert. Een dergelijk beeld wordt bevestigd door enkele visuele experimenten uit het M 1804-onderzoek (WL, 1981). Uit de gemeten richting van \tilde{q} in de raaien R58, R61 en R64 en de genoemde visuele experimenten is wel de tendens waarneembaar dat de oriëntatie van de cellen meer gedraaid moet worden.

Ook de circulatiestroming in de kom van de Oosterschelde wordt visueel ondersteund met een experiment uit het M 1804-onderzoek.

In de noordoostelijke tak wordt een aantal kleinschalige circulatiestromingen aangegeven.

De in figuur 74 aangegeven circulaties zijn slechts bedoeld om een idee te geven van de aanwezige grootschalige circulatiecellen in de Oosterschelde. Doordat er slechts in op diskrete afstanden van elkaar gelegen meetraaien gemeten is, konden alleen de grootschalige circulaties getekend worden.

4.3 Het 3-dimensionale karakter van de reststroming

Een indruk van het drie-dimensionale beeld van de reststroming wordt verkregen bij vergelijking van het overzicht van de getijgemiddelde snelheden aan het oppervlak (fig. 70) en aan de bodem (fig. 71).

In eerste benadering is de reststroomverdeling redelijk tweedimensionaal: $\tilde{q}(x,y)$ geeft een redelijk beeld van de reststroomverdeling. Bij een nauwkeuriger beschouwing blijkt dat er vooral in de diepe geulen belangrijke variaties over de vertikaal te kunnen optreden, die duiden op de aanwezigheid van secundaire restcirculaties in de dwarsdoorsnede.

De reststroomsnelheidskomponent loodrecht op de meetraai $\tilde{u}_{\perp}(x,y,z)$ blijkt in het algemeen niet sterk over de vertikaal te variëren, zodat uit $\tilde{q}_{\perp}(x,y)$ deze verdeling goed te benaderen is (via deling door waterdiepte d). Een uitzondering hierop vormt raai R85 (fig. 75) waar in de langsrichting een uitwisselingsnelheidsprofiel aanwezig is met aan de bodem (op 40 m diepte) restsnelheden van orde 20 cm/s landinwaarts en aan het wateroppervlak restsnelheden u van orde 10 cm/s naar zee toe. Een mogelijke oorzaak hiervan is dat het diepe Thoolse gat omgeven is door een groot platengebied dat voornamelijk vanuit de bovenlaag tijdens vloed gevoed wordt. Door zijdelingse afvloeiing wordt in de vloedfase de vloedstroom in de bovenlaag in de geulrichting verzwakt terwijl deze in het diepste deel van de stroming niet aangetast wordt.

De reststroomsnelheidskomponent evenwijdig aan de meetraai $\tilde{u}_{//}(x,y,z)$ kan wel in belangrijke mate variëren in de vertikale richting. Als voorbeeld zijn in de meetraaien langs de Bevelandse oever de gemeten $\tilde{u}_{//}(x,y,z)$ verdelingen weergegeven in de figuren 76 t/m 82. In raai R10 kunnen op grond van deze snelheidsvertikaaltjes 2 secundaire restcirculatiestromen onderscheiden worden. In raai R21 (fig. 77) blijkt de reststroom behalve nabij de bodem in het diepste deel overal naar de Bevelandse kust gericht te zijn. De secundaire stroming in het diepste deel van de geul stemt overeen met de bodemligging: aan de bodem is deze gericht naar het ondiepere deel. Ook in raai 52 is de secundaire stroming $u_{//}$ aanzienlijk en aan de bodem ook weer gericht naar het ondiepere gedeelte toe. In raai 55 is er op een afstand > 500 m van de kust een sterke dwarsreststroming naar het noorden toe, zoals ook in de voorgaande paragraaf reeds vermeld is. Ook in raai 57 (fig. 80) is de reststroom $u_{//}$ van de kust af gericht, doch tevens is een zwakke circulatiestroming te onderscheiden die aan de bodem juist naar het diepste deel toe stroomt. In raai 60 is er nabij de bodem ook een circulatiestroming te onderscheiden doch deze loopt wel in de juiste richting. Hetzelfde geldt voor de grote circulatiestroming in raai 63 (fig. 82).

De waargenomen secundaire restcirculaties in vooral de diepere delen van de geulen zijn een gevolg van de aanwezige restdwarsstromen in het bovenste deel van de stroming en de circulatierichting sluit dan ook aan bij de netto reststroming in het bovenste deel van de dwarsdoorsnede.

4.4 Stokesdrift

In paragraaf 2.1 is aangegeven dat de resttransportsnelheid $u_L = \tilde{q}/h$ de som is van de Eulerse transportsnelheid u_E en van de zogenaamde Stokesdrift. Deze Stokesdrift is in dit verband het per getijperiode gemiddelde resttransport dat door de getijgolf meegevoerd wordt. Dit transport is gelijk aan de correlatie tussen horizontaal en vertikaal getij. In deze paragraaf wordt nagegaan aan de hand van enkele meetresultaten hoe groot de bijdrage van de Stokesdrift $\widetilde{U \xi}$ aan het resttransport \tilde{q} is.

Stel dat zowel het horizontaal als ook het vertikaal getij sinusvormig zijn met amplituden van u_0 respektievelijk h_0 dan is de Stokesdrift gelijk aan

$$S = \frac{1}{2} h_0 u_0 \cos \phi$$

waarin ϕ het faseverschil tussen horizontaal en vertikaal getij is.

Dit betekent dat als het faseverschil 90° is (d.w.z. HW en HWK vallen samen en ook LW en LWK vallen samen) de Stokesdrift nul wordt.

Het is bekend uit de literatuur (Van Veen, 1952) dat in riviermonden en zeegaten de kenteringen ongeveer 1 uur na hoog- en laagwater plaatsvinden. Ook in de Oosterschelde ijlt de stroom ongeveer een uur na op het vertikaal getij (traagheidseffekt).

Dit betekent dat de over de vloedperiode gemiddelde waterstand groter is dan de over de ebperiode gemiddelde waterstand, d.w.z. de correlatie tussen vertikaal en horizontaal getij is positief en de Stokesdrift dus ook.

In de figuren 83 en 84 is de Stokesdrift $\widetilde{U \xi}$ tezamen met \tilde{q} uitgezet als functie van de dwarskoördinaat voor een zevental meetraaien.

Daaruit blijkt dat

- de Stokesdrift nagenoeg overal positief is
- de variatie van de Stokesdrift in de dwarsrichting klein is in vergelijking met de variatie in $\tilde{q}(y)$
- voor die plaatsen waar \tilde{q} groot is, de bijdrage van de Stokesdrift aan \tilde{q} klein is.

Uit deze resultaten volgt duidelijk dat op diverse plaatsen waar de reststroming belangrijk is het belangrijkste aandrijvende mechanisme niet de Stokesdrift is.

5 Beschrijving prototype reststroombetingen

5.1 Algemeen

In de Oosterschelde zelf zijn diverse malen snelheidsmetingen gedurende een lange meetperiode (> 12,5 uur) uitgevoerd; hieruit is via middeling over één of meerdere getijperioden een indruk te verkrijgen over de reststroomverdeling in de meetraaien. Voor een zo goed mogelijke reststroombepaling is een meting gedurende een gehele spring/doodtijcyclus nodig. Uit een dergelijke meting volgt ook de grootte van de variatie van de reststroming gedurende deze cyclus. Daarnaast kan de windinvloed, die gedurende een korte tijd aanwezig was, beter afgeschat worden. Wordt er daarentegen slechts gedurende één getij (13-uursmeting) gemeten dan wordt de uitkomst van de reststroombepaling beïnvloed door

- het niet cyclisch zijn van het getij (dagelijkse ongelijkheid)
- meteorologische omstandigheden.

Uit de 13-uursmetingen is wellicht wel een kwalitatief beeld over de verdeling van de reststroom in dwarsrichting te verkrijgen.

In het hiernavolgende is een drietal prototypemetingen en de bijbehorende meetresultaten beschreven. Bij vergelijking van deze prototyperesultaten met de modelresultaten (in hfdst. 3) moeten de onderlinge systematische verschillen goed in het oog gehouden worden. Ten aanzien van de 13-uursmeting zijn hiervoor reeds de mogelijke onderlinge verschillen aangeduid. Daarnaast is vooral bij vergelijking van de reststroomverdeling op de noordoostelijke tak van de Oosterschelde van belang dat in het model geen dichtheidsinvloed aanwezig is.

5.2 Veertiendaagse reststroombetingen in de mond van de Oosterschelde

Op het tracé van de toekomstige SVKO zijn op halve diepte op meerdere plaatsen in de dwarsraaien (zie fig. 85) de snelheden gedurende een periode van 14 dagen gemeten met zg. Flachsee-stroommeters. Uit deze snelheidsregistraties zijn, rekening houdend met de waterstand, door middeling over deze 14 daagse periode de restdebieten per eenheid van breedte in elke meetvertikaal bepaald. In figuur 86 is met behulp van deze 2 metingen het resultaat getoond via $\tilde{q}(y)$ -profielen. In deze figuur is ook het resultaat van de modelmeting getoond. In de Roompot domineert de vloedstroom aan de randen van de geul (ondiepere

delen) terwijl de ebstroom in het midden (diepste deel) domineert. Dit beeld stemt wat vorm van de $\tilde{q}(y)$ -verdeling betreft redelijk overeen met de modelmeting. Kwantitatief lijken beide verdelingen over orde $2 \text{ m}^2/\text{s}$ ten opzichte van elkaar verschoven te zijn: Volgens de modelmeting is de Roompot als geheel een vloedschaar, terwijl dit laatste uit de prototypemetingen niet duidelijk blijkt.

In de Schaar van Roggenplaat domineert in het zuidelijk deel van de geul de eb, terwijl in het noordelijk deel de vloedstroom iets domineert. In het hydraulisch model is gedurende de hoofdgetijperiode een andere reststroomverdeling gevonden met het grootste reststroomdebiet in het midden van de geul (zie fig. 86). Zowel uit prototype- als modelmeting volgt dat de Schaar van Roggenplaat een ebschaar is.

In de Hammen blijkt juist een reststroombeeld aanwezig te zijn tegengesteld aan dat in de Schaar van Roggenplaat: in het zuidelijk deel van de geul domineert de vloed duidelijk terwijl in het noordelijk deel een lichte tendens waargenomen wordt dat eb dominant is. Een zelfde beeld volgt ook uit de modelmeting (fig. 86) alhoewel in het model het domineren van de eb in het noordelijk deel duidelijker is.

In de prototypemetingen is in vergelijking met de modelmetingen slechts globaal de dwarsverdeling gemeten:

metingen in kleiner aantal vertikalen en in slechts één meetpunt per vertikaal.

Het systematische verschil in vorm, dat in de Hammen en in de Schaar van Roggenplaat waargenomen wordt, is mogelijk ook een gevolg van de variatie van de reststroom gedurende een spring-doodtijcyclus en van een resterende meteorologische invloed over de gehele periode van veertien dagen (b.v. overwegende N.O. wind). Uit de prototypemetingen kan over het één en ander meer duidelijkheid verkregen worden, doch op dit moment is deze informatie nog niet beschikbaar.

5.3 Dertien-uursmeting in de noordoostelijke tak van de Oosterschelde

Tijdens de natuurmetingen van 16 en 17 augustus 1977 is op het traject Volkerak-Zijpe-Keeten gedurende 13 uur in een groot aantal meetvertikalen (zie fig. 87) de snelheid gemeten in verscheidene punten per vertikaal (Dronkers, 1981). Het getij op de genoemde meetdagen kan worden gekarakteriseerd als een spring-

tij. De getijcoëfficiënten van het getij op 16 augustus zijn voor eb 1,11 en voor vloed 1,08. Voor het getij op 17 augustus zijn deze waarden respectievelijk 1,13 en 1,13. De resultaten van de metingen zijn wat betreft de reststroomverdeling $\tilde{q}(y)$ uitgezet in figuur 88 tezamen met de in het hydraulisch model bepaalde reststroomverdeling.

De grootschalige circulatie rond het werkeiland tussen Krammer en Slaak blijkt zowel in model als prototype kwalitatief hetzelfde te zijn (met de klok mee, zie raai 8). In de Krammer zelf is het beeld in raai 8 tegengesteld, doch past het wel in het totaal beeld: door de bochtwerking in de Krammer steken de grootste vloed- en ebstroming de geul over. Oostwaarts van raai 8 is er circulatiereststroming met de klok mee en westwaarts van raai 8 een circulatiestroming tegen de klok in, gesuperponeerd op de grootschalige circulatie om het werkeiland heen.

In raai 6 is de overeenkomst tussen model en prototype kwalitatief goed.

Op het Keeten past de in raai 13 gemeten verdeling niet bij de gemeten modelverdelingen in de omringende modelraaien. Dit zou eventueel kunnen wijzen op sterke variatie van de reststroming in lengterichting.

In raai 15 is er sprake van enige overeenstemming tussen prototype- en modelverdeling van het restdebiet.

5.4 Dertien-uursmetingen in de raaien R60/61 en R83

Van de 13-uursmeting in de raaien R60/61 en raai R83 (fig. 89 en 90) zijn momenteel slechts de geïntegreerde restdebieten over een deel van de dwarsdoorsnede bekend. In de vorm van zogenaamde getij-overschotten wordt in deze figuren het resultaat weergegeven.

Voor de raaien R60/61 (Kats-Stavenisse) is hieronder het resultaat voor de 2 geulen en 2 plaatgebieden nogmaals weergegeven samen met het modelresultaat:

gebied	G in 10^6 m^3	
	proto	model
zuidelijke geul	-36	-16
Vondeling/Galgeplaat	- 4	
Brabants Vaarwater	+ 5	+39,5
Dortsmansplaat	+ 1	
Totaal	-34	+23,5

In figuur 48 is te zien dat in de modelmeting aan de Bevelandse zijde van de zuidelijke geul een groot eboverschot aanwezig is ($-79 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), terwijl in het oostelijk deel van de geul er een vloedoverschot aanwezig is ($+63 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Het totale getij-overschot per geul moet als er sprake is van een cyclische getijperiode kleiner zijn dan 10^6 m^3 . Dat de bovenstaande waarden veel groter dan dit maximum zijn duidt erop dat de metingen onnauwkeurig zijn (2 grote getallen aftrekken) kwalitatief is een lichte overeenkomst aanwezig:

Brabants Vaarwater is vloodschaar
zuidelijke geul is ebschaar.

Voor raai 83 is hieronder het resultaat voor 3 delen van de dwarsdoorsnede weergegeven (zie figuur 90)

gebied	G in 10^6 m^3	
	proto	model
zuidelijk deel geul	+50	+63
noordelijk deel geul	-64	-53
Dortsman	+ 0,02	+ 0,65
	-14	+10,5

Kwalitatief komt de dwarsverdeling in model- en prototypemeting goed overeen.

5.5 Konklusies

Uit de vergelijking van prototype- en model-reststroomverdeling valt alleen een zekere kwalitatieve overeenkomst tussen beide te konstateren. Kwantitatief kunnen er grote afwijkingen optreden die een gevolg zijn van enerzijds de onnauwkeurigheid van de reststroombepaling en anderzijds mogelijk ook van de variabiliteit van de reststroomverdeling in ruimte en tijd.

6 Reststroomberekeningen

Met het zogenaamde submodel Oost van het Randdelta II-model (Leendertse e.a. 1980) zijn reststroomberekeningen voor de Oosterschelde uitgevoerd. De randkondities en modelparameters zijn daarbij zodanig ingesteld dat het numerieke model het verticale getij 1961.0 zo goed mogelijk weergeeft. Dit betekent dat het zinvol is de berekende reststroomverdeling met de in het hydraulisch model gemeten reststroomverdeling te vergelijken.

Het numerieke model heeft als groot voordeel boven prototypemetingen en metingen in het hydraulisch model dat het een compleet beeld levert van de reststroomcirculaties in de Oosterschelde. Zoals Dronkers e.a. (1980) reeds melden komen er nogal kleinschalige circulatiecellen diameter ($1\frac{1}{2}$ à 2 km) in het estuarium voor volgens het numerieke model (de benedengrens voor de diameter van een berekende circulatiecel is ≈ 1000 m vanwege de gekozen maaswijdte (800 m) van het rekennet). Dit impliceert dat de reststroomverdeling in een dwarsdoorsnede niet uniform hoeft te zijn en ook in de lengterichting sterk kan veranderen. In twee dicht bijeen gelegen raaien kan de reststroomverdeling sterk verschillend zijn.

Leendertse (1981) heeft een gevoeligheidsonderzoek met het numerieke model naar de invloed van de advectione termen in de impulsvergelijkingen op o.a. de berekende reststroomverdeling uitgevoerd. In dit onderzoek vergeleek hij de reststroomverdelingen van een berekening zonder de advectionetermen met 3 berekeningen met een onderlinge verschillende modellering van deze advectionetermen. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- de circulatiestromen in de berekening zonder advectione is veel kleiner dan in de berekeningen met advectione
- de 3 advectioneberekeningen geven in grote trekken hetzelfde reststroombeeld weer terwijl de berekening zonder advectione op veel plaatsen een heel ander reststroombeeld aangeeft
- de tendens is duidelijk aanwezig dat met de advectione erbij het aantal kleinschalige circulaties (1 à 2 km diameter) toeneemt.

De hoofdkonklusie is dat de interactie van de niet-lineaire getijstroming met de onregelmatige geometrie (via de advectione termen in de impulsvergelijkingen) het belangrijkste aandrijfmechanisme voor de reststroming is.

In figuur 91 wordt de berekende reststroomverdeling $\tilde{q}(x,y)$ (met advectioneterm) in de Oosterschelde weergegeven. Bij vergelijking met de in het Oosterschelde-

model gemeten reststroomverdeling (fig. 73 en 74) blijkt in de eerste plaats dat de berekende verdeling veel meer een totaal beeld geeft en dat er veel meer kleine circulaties (straal orde 2 km) te herkennen zijn dan uit de metingen (vanwege onderlinge afstand van de meetraaien van ≈ 3 km) volgen. Hoe de reststroomverdeling op de plaatgebieden is volgt ook niet uit het numerieke model.

Naast overeenkomst in de gemeten en berekende circulatiepatronen zijn er ook belangrijke verschillen te zien. Overeenkomstig is de grootschalige circulatiestroming om de ondiepte van de Vuilbaard heen:

- de circulatiestroming Schaar van Colijnsplaat-raai Zierikzee-Vuilbaard
- de circulatiestroming Roompot-Schaar van Colijnsplaat-raai Zierikzee-Schaar van Roggenplaat-zee.

De zogenaamde "headland eddy" bij Colijnsplaat wordt ook ten oosten van de bocht in de oeverlijn aangetroffen, doch in plaats van één grote circulatiestroming worden er door het numerieke model 2 met de klok meedraaiende circulaties berekend.

In de noordelijke geul aan weerszijden van de Zierikzee-raai (R56) worden door het numerieke model erg grote reststromen gesimuleerd, die niet in het getijmodel gevonden zijn. De richting van de grote berekende reststroming in de Zierikzee-raai (zuidelijk) is tegengesteld aan de grote gemeten reststroming (vergelijk de figuren 69 en 91). Nader onderzoek via meer metingen in de noordelijke geul nabij Zierikzee is gewenst.

De grootschalige circulatiestroming in de kom van de Oosterschelde en de circulatiepatronen tussen Zandkreek en Yerseke vertonen in numeriek en hydraulisch model redelijke overeenkomsten.

Op het traject Keeten-Zijpe zijn de berekende circulatiecellen kleiner van afmetingen dan de in figuur 74 weergegeven cellen en daardoor moeilijk vergelijkbaar.

7 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

7.1 Samenvatting en konklusies

In een breed estuarium als de Oosterschelde met zijn geulen en plaatgebieden is er niet alleen sprake van een grote horizontale getijbeweging, die waterpakketjes gedurende een getijperiode heen en weer verplaatst, doch zijn er daarnaast grootschalige circulatiestromen aanwezig, die een netto verplaatsing per getijperiode opleveren.

Deze zogenaamde restcirculaties kunnen aanleiding geven tot een grote dispersie in het getijgebied en zijn als zodanig belangrijk bij studies naar de waterkwaliteit van de Oosterschelde.

In het in dit rapport vermelde onderzoek is nader ingegaan op deze restcirculaties in de Oosterschelde. Uit voorgaand onderzoek in het Oosterschelde getijmodel was reeds bekend dat de topografisch bepaalde getijreststroming in de Oosterschelde erg belangrijk is. Lokaal (in de noordoostelijke tak van de Oosterschelde) kan de reststroming ten gevolge van dichtheidsverschillen (gravitatiecirculatie) belangrijk zijn en tijdelijk kunnen ook meteorologische invloeden aanzienlijke reststromen opleveren.

In het Oosterschelde getijmodel zijn de topografisch bepaalde getijreststromen bestudeerd door in een veertigtal meetraaien in de geulen de restsnelheidsverdeling $\tilde{u}(x,y,z,t)$ te meten. In het algemeen blijkt de reststroomverdeling loodrecht op de meetraaien goed weergegeven te worden door de 2-dimensionale resttransport grootte $\tilde{q}(x,y)$ (zie fig. 69). De component in de langsrichting van de meetraaien blijkt echter veelal een meer 3-dimensionaal karakter te hebben: aan bodem en oppervlak is in veel gevallen de stroomrichting tegengesteld (fig. 70 en 71). Uit de verdeling van de resttransportgrootte is een beeld gevormd van de belangrijkste grootschalige (vanwege onderlinge afstand meetraaien van 3 km) restcirculaties in het geulenstelsel. Dit beeld wordt in figuur 74 weergegeven.

Dit uit metingen in het getijmodel bepaalde reststroombeeld in het geulenstelsel is vergeleken met enkele uit snelheidsmetingen in de Oosterschelde zelf bepaalde reststromen. Hieruit volgt slechts een kwalitatieve overeenkomst tussen natuurmeting en modelmeting. Kwantitatief kunnen er grote afwijkingen optreden, die enerzijds een gevolg zijn van de onnauwkeurigheid van de reststroombepaling en anderzijds mogelijk ook wijzen op de variabiliteit van de reststroomverdeling in ruimte en tijd.

De door het numerieke model WAQUA-Oost berekende reststroomverdeling geeft een, op de plaatgebieden na, volledig beeld van de reststroomverdeling in het geulensstelsel. Over het algemeen is er een bevredigende overeenstemming met de uit de metingen bepaalde restcirculaties, alhoewel het numerieke model meer kleine circulaties (met straal ≈ 2 km) weergeeft dan uit de meting volgt. Echter in de noordelijke geul bij Zierikzee is de reststroomverdeling in het numerieke model en in het getijmodel sterk verschillend, alhoewel de berekende en gemeten reststromen groot zijn.

7.2 Aanbevelingen

Het berekende reststroombeeld toont grote reststromen in de noordelijke geul bij Zierikzee, die ter plaatse van meetraai 56 tegengesteld gericht zijn aan de gemeten, grote reststroming in het getijmodel (vergelijk fig. 69 en 91). Om dit verschil nader te analyseren is het gewenst in de noordelijke geul van het getijmodel enkele extra meetraaien te bemonsteren: één ten westen van raai 56 en twee ten oosten ervan, tussen R56 en R59 in (zie fig. 6).

Zowel uit de metingen in het getijmodel als ook uit de berekeningen met het numerieke model volgt geen informatie over het reststroombeeld op de plaatgebieden in de Oosterschelde, terwijl uit experimenten met momentane kleurstofinjeکتie (zie M 1804, WL 1981) toch bekend is dat er een belangrijke reststroming over de platen heen aanwezig kan zijn.

Aanvullend onderzoek in het getijmodel met kleurstof of oppervlaktedrijvertjes zal het reststroombeeld compleet maken en geeft een indruk over het belang van de plaatgebieden voor de dispersie.

Momenteel is het goed mogelijk om in het getijmodel (UV-lichtinstallatie aanwezig) een geloosde vlek kleurstof of een geloosde vlek oppervlaktedrijvertjes gedurende één getij na lozing fotografisch te volgen om aldus een beeld te krijgen van het Lagrangeaanse reststroomveld. Dit beeld kan aangeven in hoeverre de in dit onderzoek gemeten restcirculaties ook in de banen van waterpakketjes terug te vinden zijn. Uit M 1603-onderzoek (WL, 1980) is bekend dat dit wat de grote circulaties betreft wel het geval is. Omdat de horizontale getijbeweging groot is ten opzichte van de restcirculatiecellen zal het in het algemeen moeilijk zijn om uit het Lagrangeaanse reststroomveld het Eulersveld af te leiden.

REFERENTIES

- 1 ALFRINK, B.J., Inventarisatie van twee-dimensionale horizontaal getijgemiddelde wiskundige modellen
rapport R 1469 deel 1, 1980
- 2 ALFRINK, B.J. and VREUGDENHIL, C.B., "Residual currents; analysis of mechanisms and model types"
Delft Hydraulics Laboratory, report R 1469-II, 1981
- 3 CHARLTON, J.A., MCNICOLL, W. and WEST, J.R., "Tidal and fresh water induced circulation in the Tay estuary"
Proceedings Royal Soc. of Edinburgh 75, par. 1/2 (pp. 1-23), 1975
- 4 DRONKERS, J., "Kwalitatieve interpretatie van zoutmetingen in de Oosterschelde bij konstante zoetwateraanvoer op het Volkerak"
Rijkswaterstaat, nota DDWT-80, 1980
- 5 DRONKERS, J., "De berekening van transportprocessen in een getijsysteem in de zout- en stroomsnelheidsmeting van 1977 in het Volkerak"
Rijkswaterstaat, rapport DDWT, verschijnt in 1982
- 6 DRONKERS, J., OS, A.G. van and LEENDERTSE, J.J., "Predictive salinity modeling of the Oosterschelde with hydraulic and mathematical models"
Contribution to Intern. Symp. on Predictive Abilities of Surface Waterflow and transport models, Berkeley, USA, 1980
- 7 DRONKERS, J. and ZIMMERMAN, J.T.F., "Some principles of mixing in tidal lagoons"
Invited lecture at the "Intern. Sym,p. on Coastal Lagoons", Bordeaux, 1981
- 8 FISCHER, H.B., et al., "Mixing in Inland and Coastal Waters"
Acad. Press, 1979
- 9 HEATHERSHAW, A.D. and HAMMOND, F.D.C., "Secondary circulations near sand banks and in coastal embayments"
Deutsch hydrogr. Z33, H4, pp. 135-150, 1980

REFERENTIES (vervolg)

- 10 KREEKE, J. van de, "Residual flow in a sea level canal; the Eendracht, Netherlands"
Technical report FR 81-3, Rosenstiel school
- 11 LEENDERTSE, J.J., LANGERAK, A. and RAS, M.A.M. de, "Two dimensional tidal models for the Delta Works"
contribution to the Symposium of Predictive ability of surface water flow and transport models, Berkeley, 1980
- 12 LEENDERTSE, J.J., Influence of the advective term approximation on computed tidal propagation and circulation
Randcorporation, 1981
- 13 McDOWELL, D.M. and O'CONNOR, B.A., "Hydraulic behaviour of estuaries"
Macmillan, 1977
- 14 Rijkswaterstaat, "Waterbeweging en menging in het zuidelijk gedeelte van de Noordzee"
eindverslag MLTP-4, 1980
- 15 SCHÖNFELD, J.C., "Reststromen"
appendix in "Texel 1974", Rijkswaterstaat/KNMI, 1977
- 16 STRAATEN, L.M.J.U. van, "Giant ripples in tidal channels"
Kon. Ned. Aardrijksk. Genootsch. 67, 1950, pp. 336-341
- 17 SUGIMOTO, T., "Effect of boundary geometries on tidal currents and tidal mixing"
J. Oceanogr. Soc. Japan, 31, 1-14, 1975
- 18 VEEN, J. van, "Eb- en vloodschaarsystemen in de nederlandse getijwateren"
Kon. Ned. Aardrijksk. Genootsch. 67, 1950, pp. 305-335

REFERENTIES (vervolg)

- 19 Waterloopkundig Laboratorium, Afluiting Oosterschelde, getijmodel Zuidelijk Bekken en detailmodel sluitgaten, ontwerp en bouw modellen Rapport M 1000/M 1001, deel I
- 20 Waterloopkundig Laboratorium, "Onderzoek naar de verspreidingsmechanismen in de Oosterschelde"
Rapport M 1603 (deel I continue lozingen, deel II momentlozingen), 1980
- 21 YANAGI, T., Fundamental study on the tidal residual circulation (I)
J. Oceanogr. Soc. Japan, 32, 199-208, 1976
- 22 ZIMMERMAN, J.T.F., Topographic generation of residual circulation by oscillatory (tidal) currents
Geophys. Astrophys. Fluid Dyn., 11, pp. 35-47, 1978
- 23 ZIMMERMAN, J.T.F., "Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies"
Nature 290, pp. 549-555, 1981

Raai	Beginpunt		Eindpunt		Raai	Beginpunt		Eindpunt	
	-x	-y	-x	-y		-x	-y	-x	-y
10	118.185	60.829	117.877	58.000	62	95.900	61.450	96.200	58.850
30	115.847	55.813	115.165	54.514	63	101.350	67.000	99.240	65.659
40	115.156	54.478	115.183	52.768	64	99.240	65.659	96.006	63.600
21	113.500	60.800	113.500	57.800	67	92.800	60.300	93.850	58.000
22	113.100	56.700	112.800	54.800	68	90.000	58.800	91.200	57.400
23	111.500	52.800	112.800	51.600	69	88.265	55.794	89.148	55.324
25	109.400	60.000	109.400	58.000	72	74.020	56.480	74.500	54.470
26	109.400	58.000	110.300	56.500	73	76.050	57.600	76.700	54.880
27	110.300	56.500	110.300	55.000	74	79.780	57.970	78.250	54.500
28	108.400	52.100	108.000	51.200	75	82.500	57.500	80.300	53.050
52	107.300	60.100	106.800	57.800	76	84.780	56.540	82.490	52.270
53	106.800	57.800	106.800	54.600	77	86.000	55.580	85.750	52.400
54	106.800	54.600	103.900	54.600	78	87.370	55.100	87.650	52.650
55	105.600	60.800	103.960	58.530	82	98.100	69.000	95.300	64.200
56	103.960	58.530	103.000	57.200	83	94.900	70.360	94.250	65.740
57	104.500	62.500	101.500	61.000	85	92.600	72.100	90.700	69.050
58	101.500	61.000	99.300	60.600	86	92.300	73.350	89.000	72.000
59	99.300	60.600	98.600	59.000	87	89.000	72.000	87.750	69.500
60	103.621	64.132	100.376	63.531	88	87.000	76.500	85.676	72.432
61	100.376	63.531	97.244	62.950	89	85.676	72.432	84.550	70.050

Tabel 1 Overzicht koördinaten van begin- en eindpunten (ten opzichte van Amersfoort) van de meetraaien

Raai	Q_{\max} (m ³ /s)		\tilde{Q} (m ³ /s)	\tilde{Q}/\tilde{Q}_N	Raai	Q_{\max} (m ³ /s)		\tilde{Q} (m ³ /s)	\tilde{Q}/\tilde{Q}_N
	eb	vloed				eb	vloed		
10	-46587	50938	1591	3,26	62	-19378	18601	105	<1
30	-20438	18473	-969	-4,98	63	-26799	29030	398	1,43
40	-19294	21028	76	<1	64	- 6492	8110	522	7,15
21	-47342	50945	1754	3,57	67	-18266	17013	-90	<1
22	-20343	18905	-542	-2,77	68	-16052	14049	-146	<1
23	-15749	15843	129	<1	69	-14325	13314	-58	<1
25	-31723	37290	2240	6,49	72	- 2270	2331	21	<1
26	-14766	13992	-1004	-6,98	73	- 4962	5384	67	1,30
27	-14705	13621	-494	-3,49	74	- 4493	5004	170	3,58
28	-12083	11631	63	<1	75	- 6784	7725	268	3,69
52	-27324	32937	2168	7,20	76	- 9928	9988	-15	<1
53	-30514	28789	-1929	-6,51	77	-11791	11307	17	<1
54	- 5778	3990	-472	-9,65	78	-12503	13015	121	<1
55	-30380	32099	504	1,62	82	-30397	35265	491	1,50
56	-35647	37170	-500	1,37	83	-26688	32618	644	2,25
57	-32197	34651	-203	<1	85	-24157	29751	396	1,47
58	- 8219	8760	191	2,25	86	- 1539	1845	-21	1,23
59	-22451	22132	-183	<1	87	-14972	20273	1198	6,81
60	-32415	33615	-358	-1,08	88	- 6141	6052	-396	6,49
61	- 6196	8941	882	11,65	89	- 3071	4870	390	9,82

Tabel 2 Overzicht maximum debiet en reststroomdebiet

Raai(en)	Q_{max} (m ³ /s)		\tilde{Q} (m ³ /s)	\tilde{Q}/Q_N
	eb	vloed		
10+30+40	-86319	90439	689	<1
21+22+23	-83434	85693	1341	1,59
25+26+27+28	-73277	76534	805	1,07
52+53+54	-63616	65716	-233	<1
55+56	-66027	69269	4	<1
57+58+59	-62867	65543	-195	<1
60+61	-38611	42556	524	1,29
63+64	-33291	37140	920	2,61
82	-30397	35265	491	1,50
83	-26688	32618	644	2,18
85	-24157	29751	396	1,47
86+87	-16511	22118	1177	6,10
88+89	- 9212	10922	-6	<1
62	-19378	18601	105	<1
67	-18266	17013	-90	<1
68	-16052	14049	-146	<1
69	-14325	13314	-58	<1
78	-12503	13015	121	<1
77	-11791	11307	17	<1
76	- 9928	9988	-15	<1
75	- 6784	7725	268	3,70
74	- 4493	5004	170	3,58
73	- 4962	5384	67	1,30
72	- 2270	2331	21	<1

Tabel 3 Overzicht maximum debiet en reststroomdebiet per doorsnede (gerangschikt naar plaats)

Raai	Afstand tot nulpunt (m)	Meting 1				Meting 2			
		\bar{u}_{\max} (m/s)		\tilde{q}	$\tilde{\phi}$	\bar{u}_{\max} (m/s)		\tilde{q}	
		eb	vloed	(m ² /s)	(°)	eb	vloed	(m ² /s)	(°)
21	700	-1,07	1,03	-0,22	348	-1,09	1,05	0,10	6
23	500	-0,72	0,97	1,48	97	-0,66	0,92	1,37	101
23	700	-0,91	0,96	0,62	98	-0,84	0,92	0,50	104
26	500	-0,60	0,63	-0,21	303	-0,63	0,59	-0,48	304
26	1300	-0,91	0,59	-1,94	266	-0,82	0,56	-1,72	269
27	400	-0,94	0,65	-0,34	227	0,99	0,67	-0,47	248
55	700	-1,45	1,28	-0,26	199	-1,47	1,30	-0,05	184
56	700	-0,98	1,00	-0,74	255	-0,90	0,99	-1,20	283
58	1600	-1,05	1,04	0,24	167	-0,93	0,94	-0,06	183
63	900	-0,75	0,80	0,92	71	-0,77	0,82	0,86	58
63	1100	-0,86	0,78	0,41	21	-0,87	0,86	0,32	22
75	2250	-0,63	0,68	0,10	19	-0,63	0,70	0,33	86
76	3000	-0,62	0,51	-0,01	360	-0,56	0,50	0,23	49
82	3100	-0,59	0,83	0,82	83	-0,64	0,84	0,41	116
83	1000	-0,67	0,90	0,86	41	-0,68	0,87	1,06	108
87	2350	-0,70	0,86	1,47	108	0,70	0,86	1,57	87

Tabel 4 Overzicht reproductie

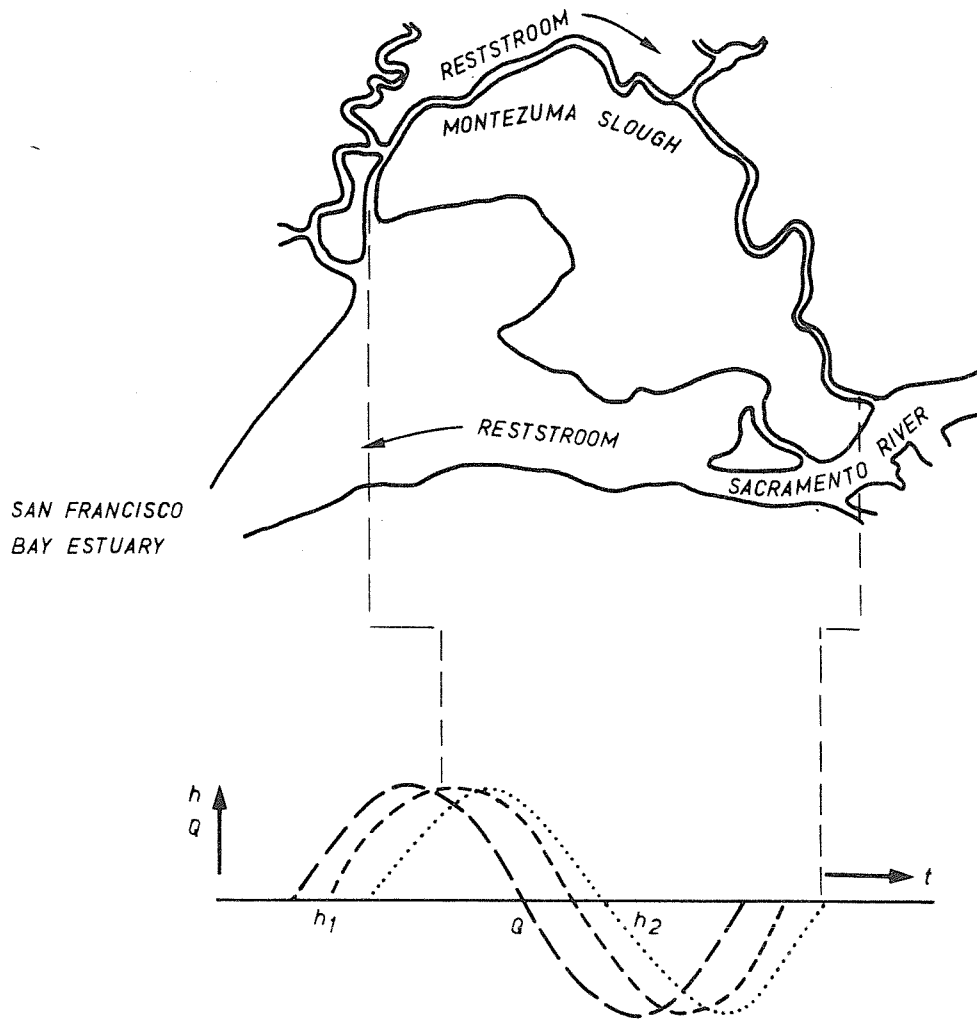


FIG. 1

GETIJ-RESTSTROMING IN EEN NETWERKSTELSEL

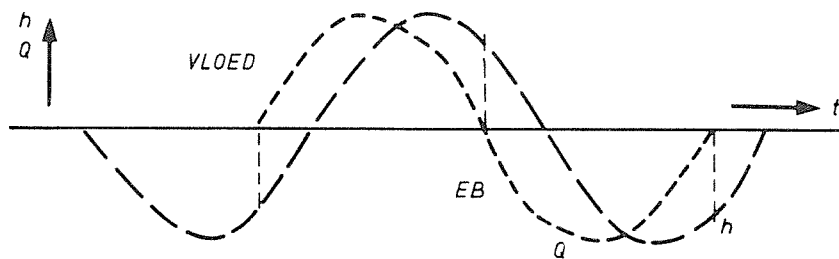
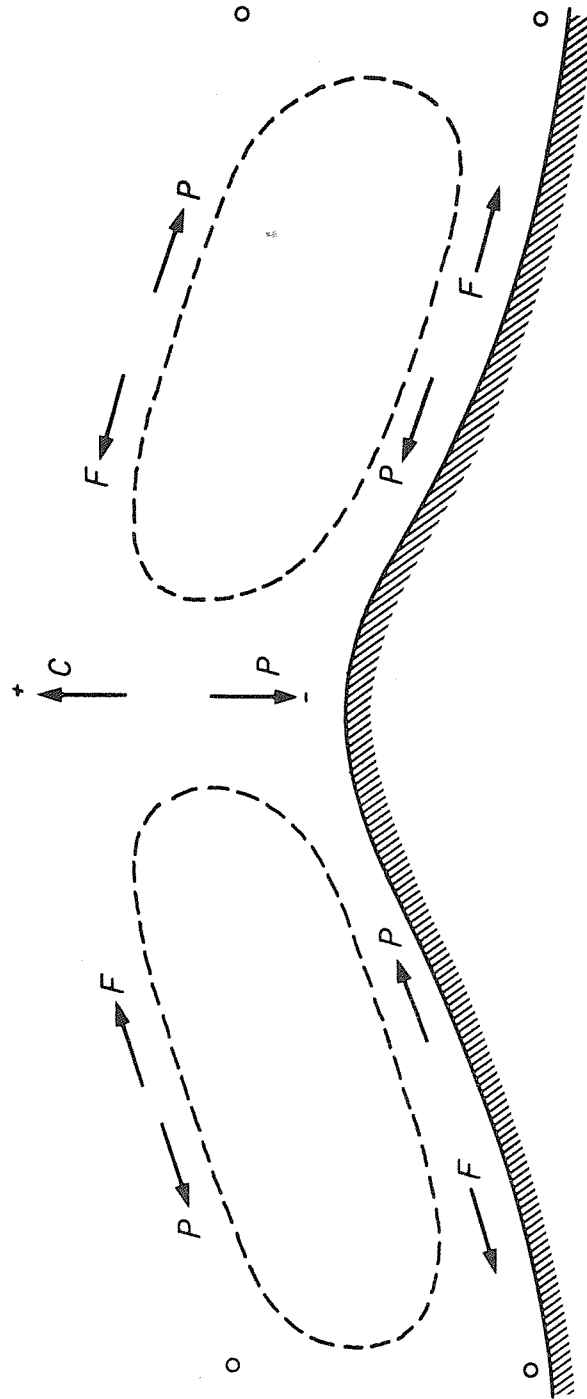


FIG. 2

FASEVERSCHIL HORIZONTALAAL EN VERTIKAAL GETIJ

		R.R.
		A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1777 - 1001	FIG. 1, 2

C CENTRIFUGALE KRACHT
 F WRIJVINGSKRACHT
 P DRUKKRACHT



DYNAMIKA VAN GETIJRESTSTROMING
 BIJ BOCHT IN OEVERLIJN

R.R.

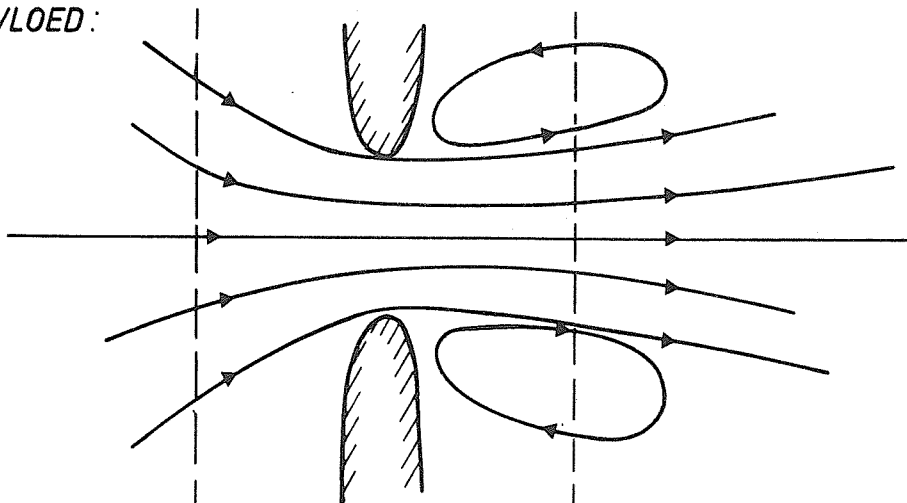
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

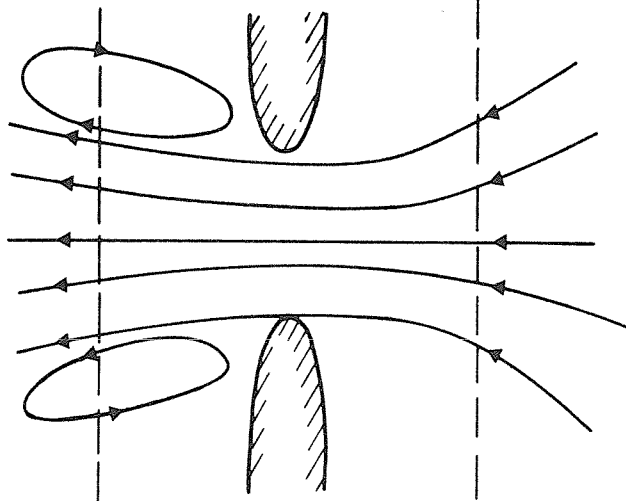
M 1777 - 1003

FIG. 3

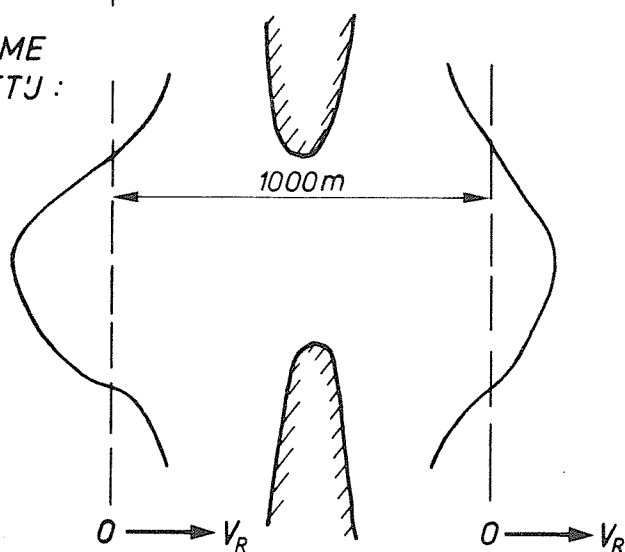
VLOED:



EB:



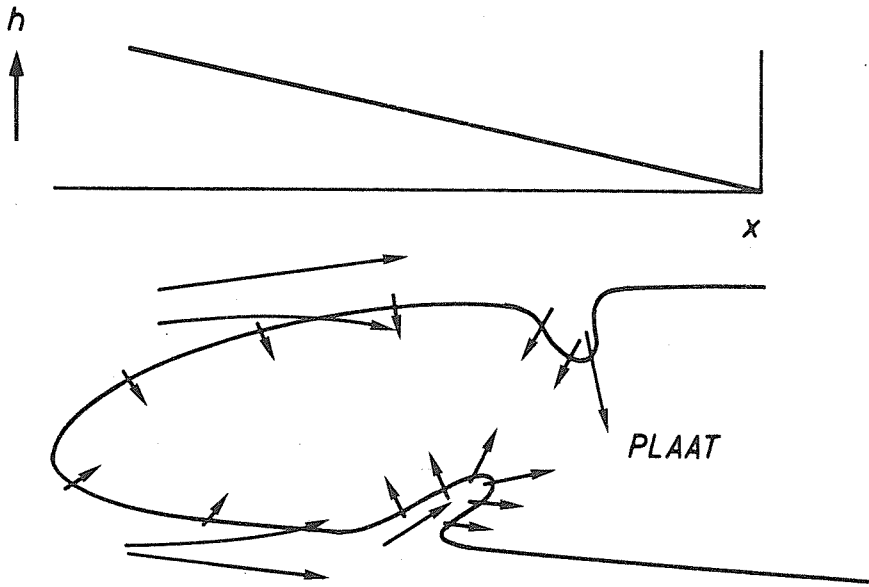
RESULTEREND VOLUME
PER GETJ:



STROOMLIJNEN BIJ EB- EN VLOEDSTROMING :
RESULTEREND DEBIET TER PLAATSE VAN
VERNAUWDE DOORSTROOMOPENING IN GEUL

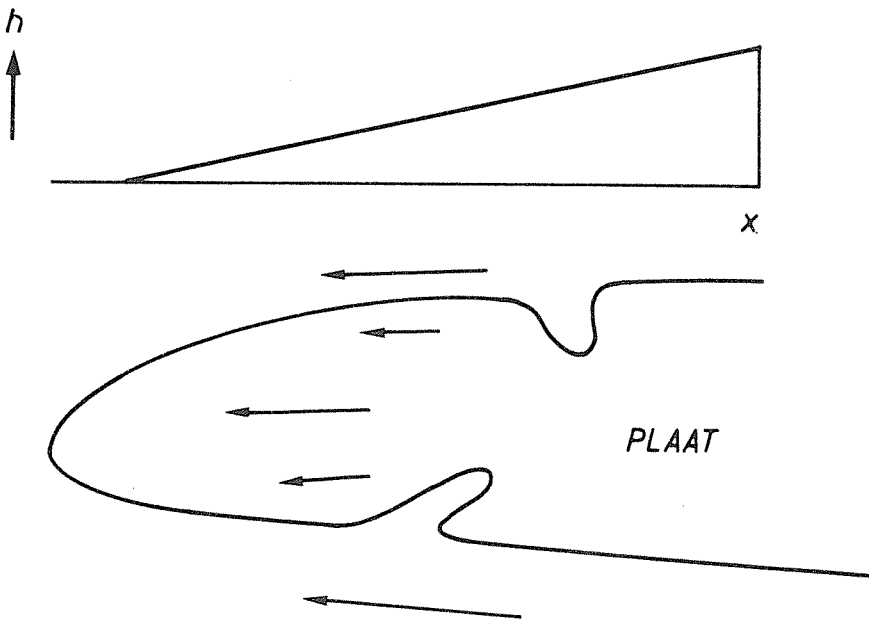
JB

A4



VLOED

A



EB

B

STROMING OVER PLAATGEBIED BIJ VLOED EN EB

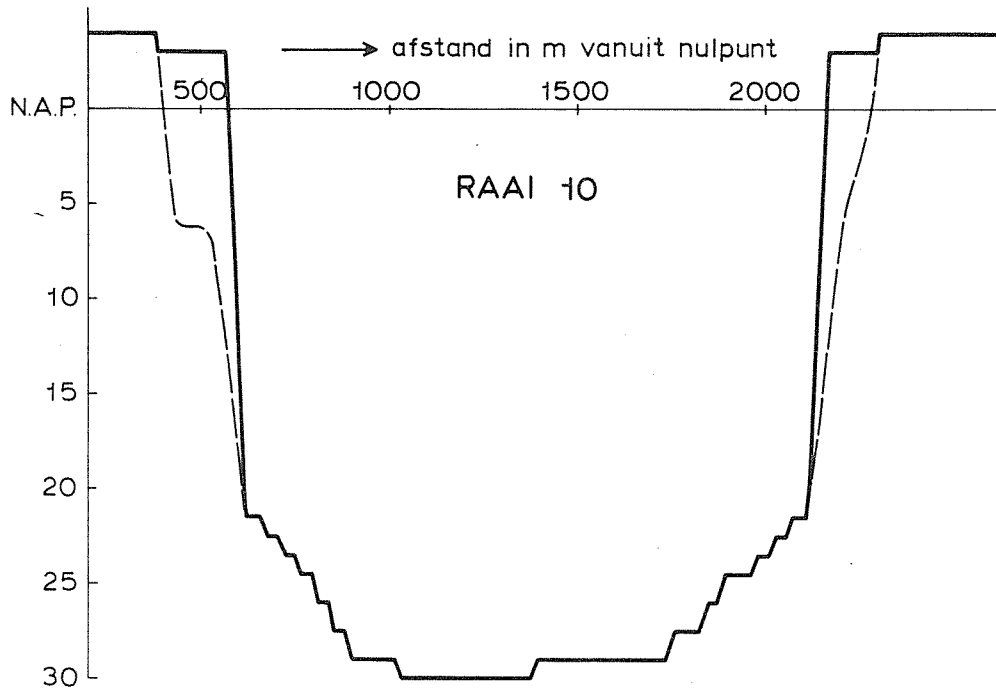
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1005

FIG. 5



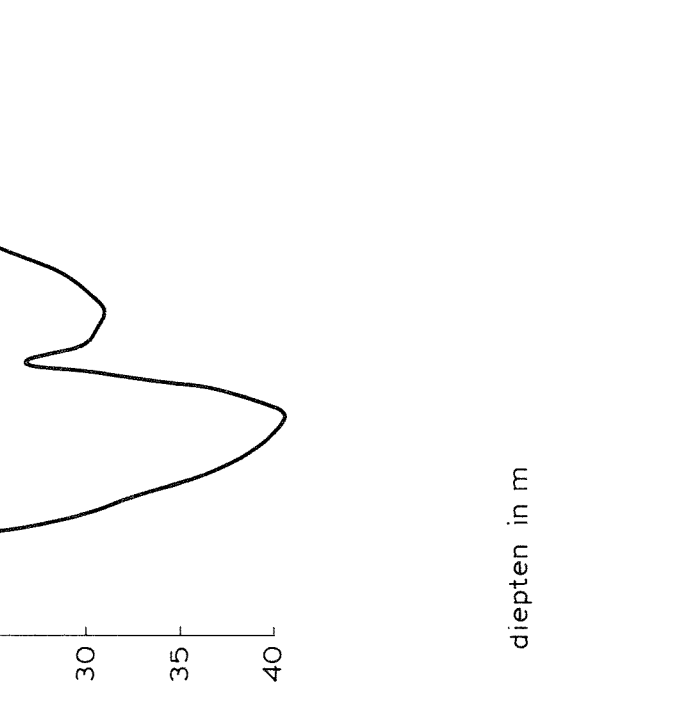
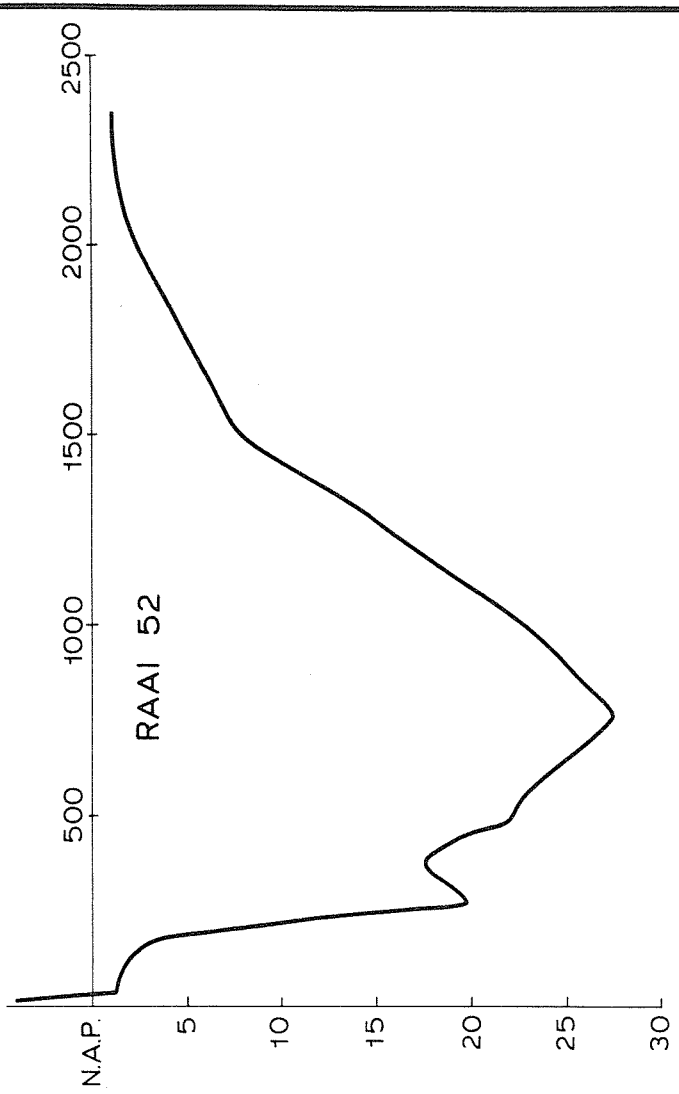
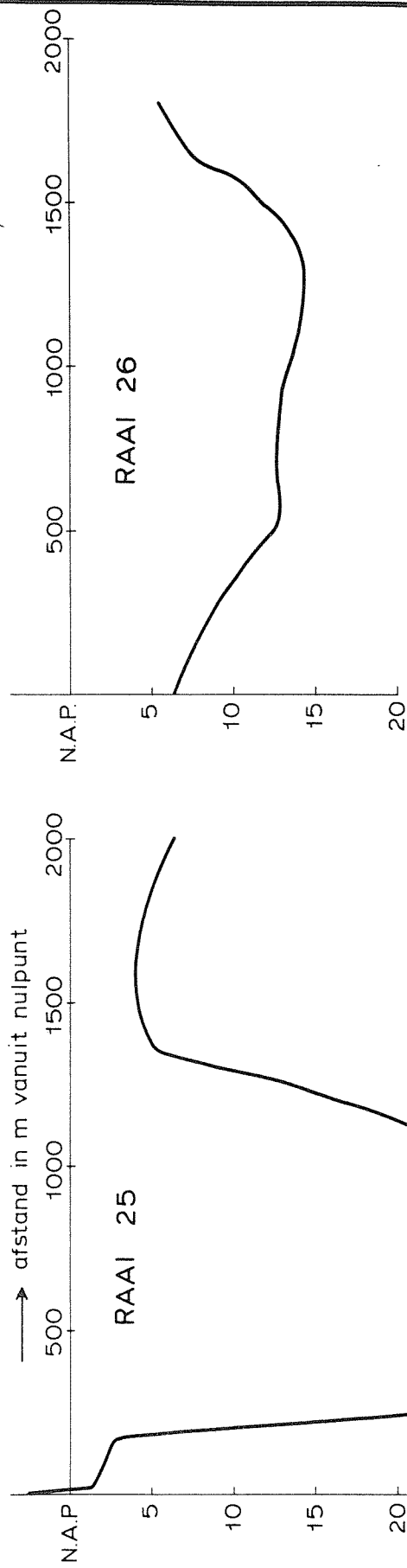
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 7



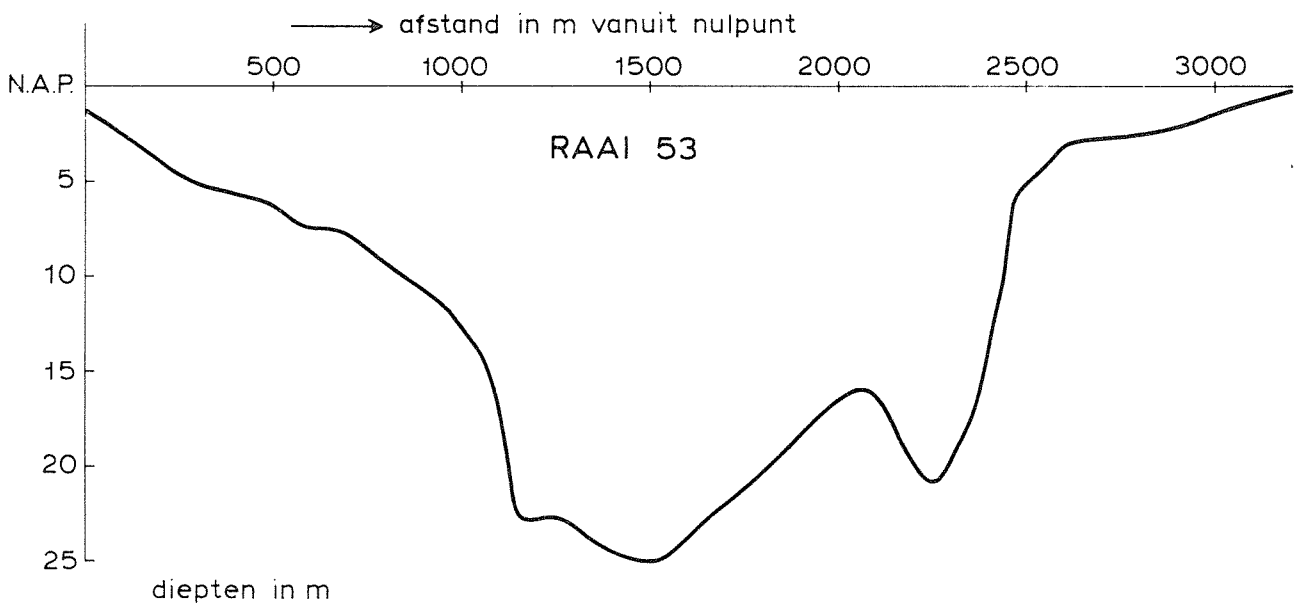
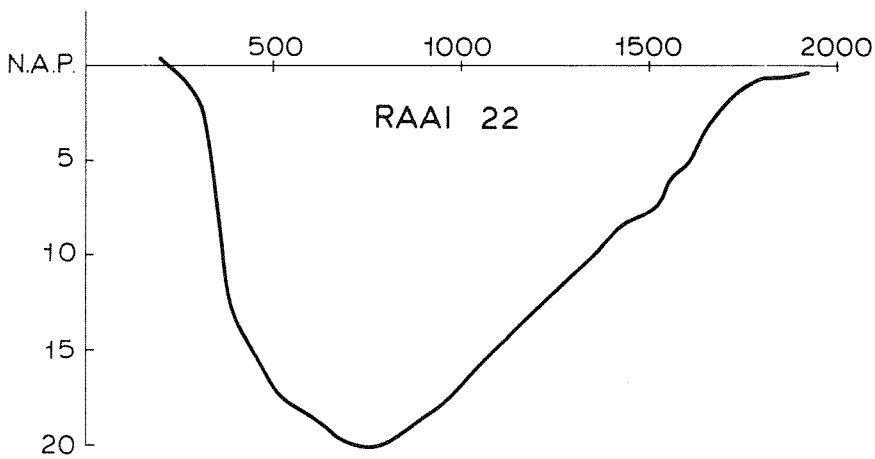
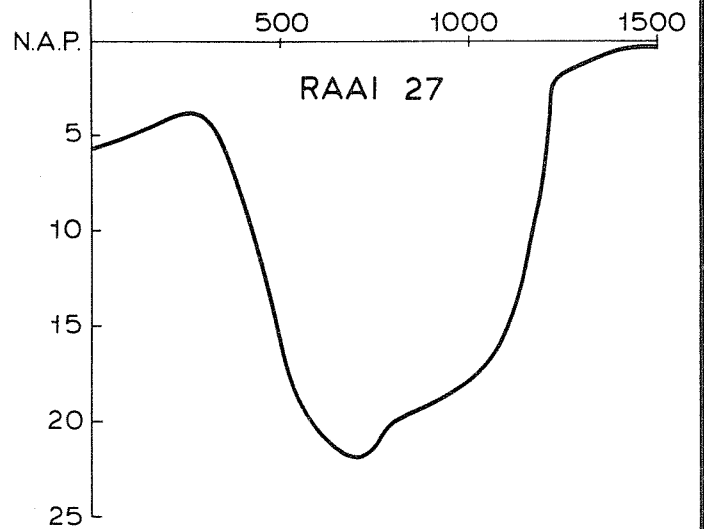
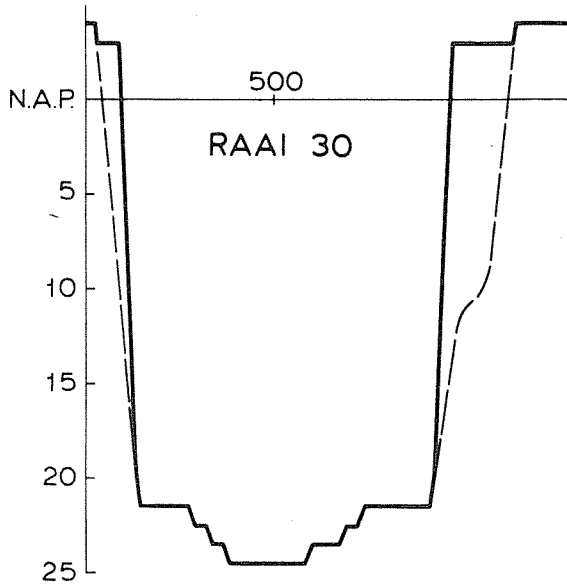
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

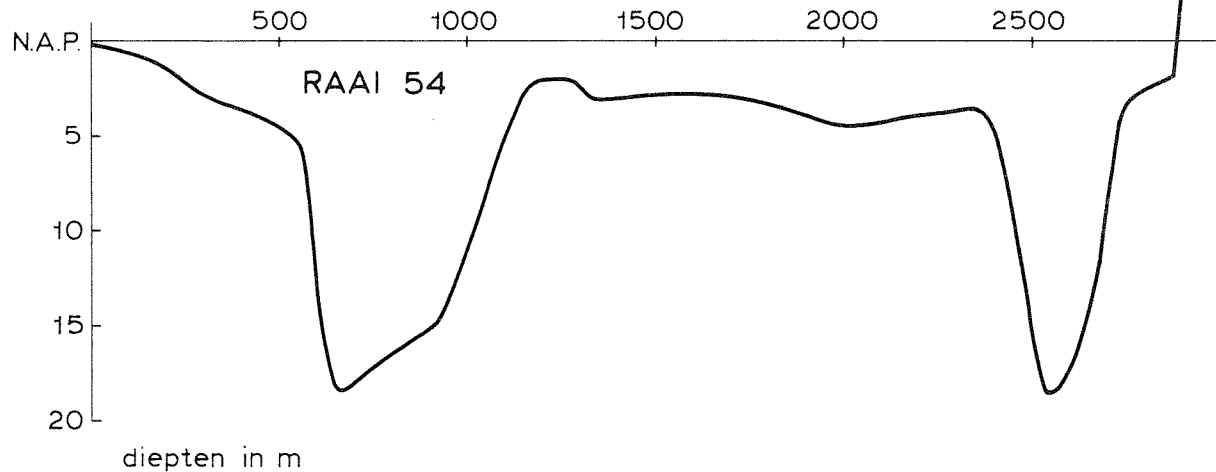
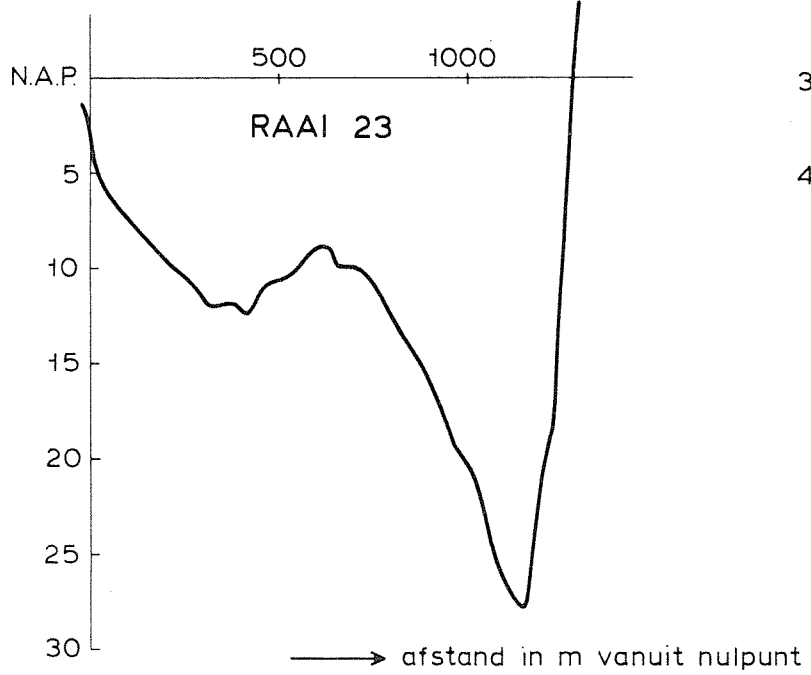
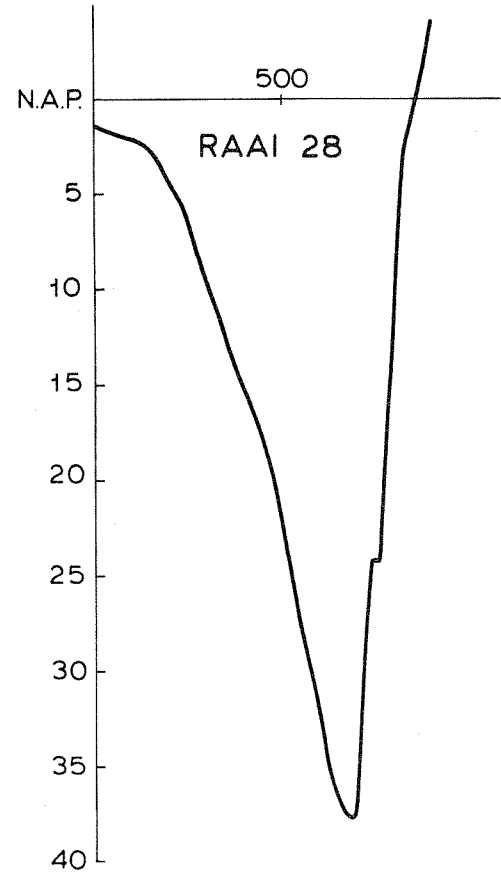
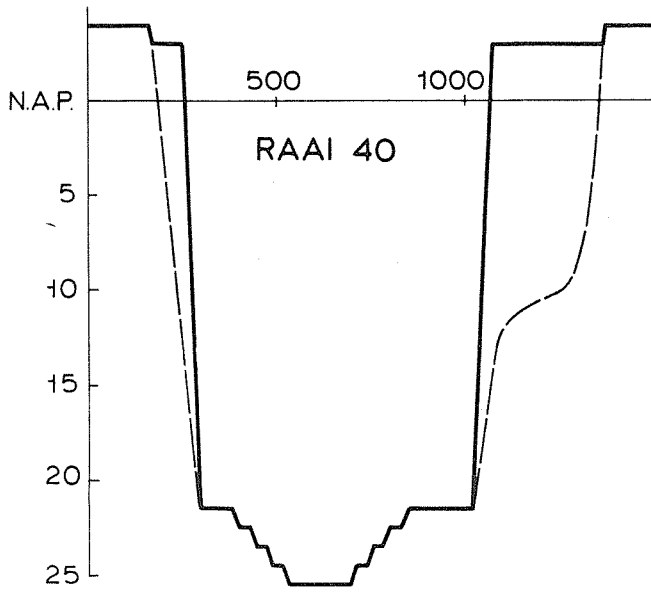
M 1777

FIG. 8



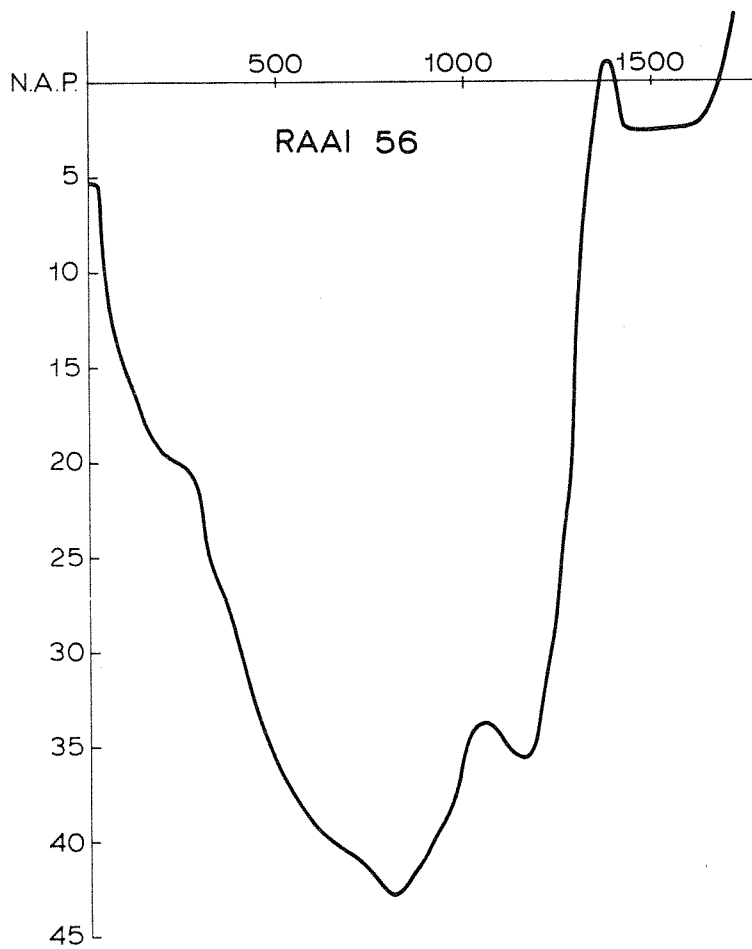
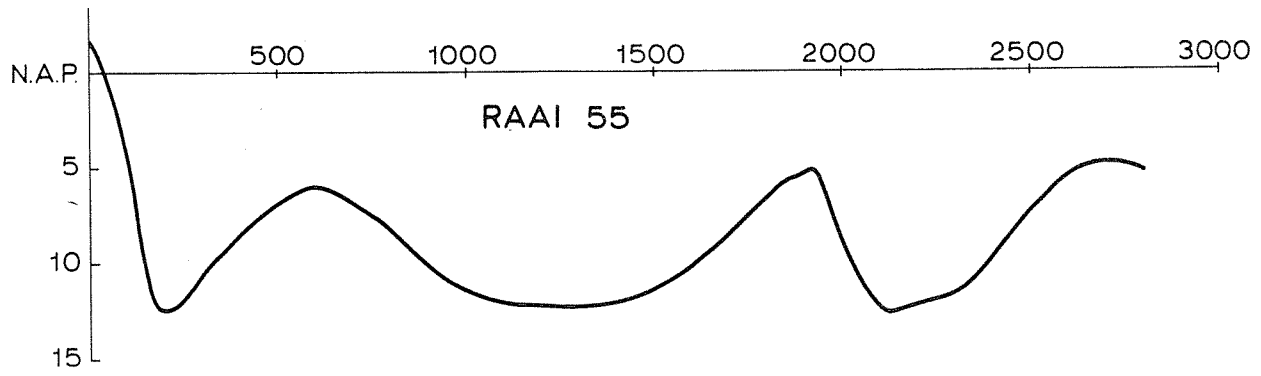
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

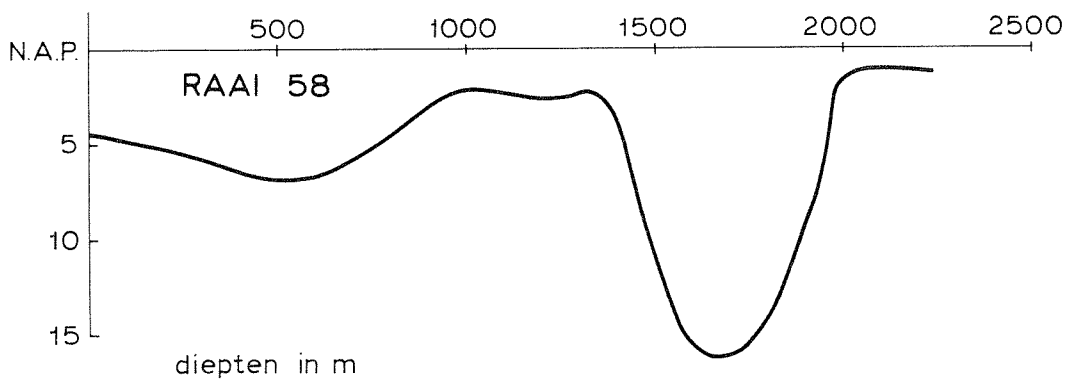


DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



→ afstand in m vanuit nulpunt



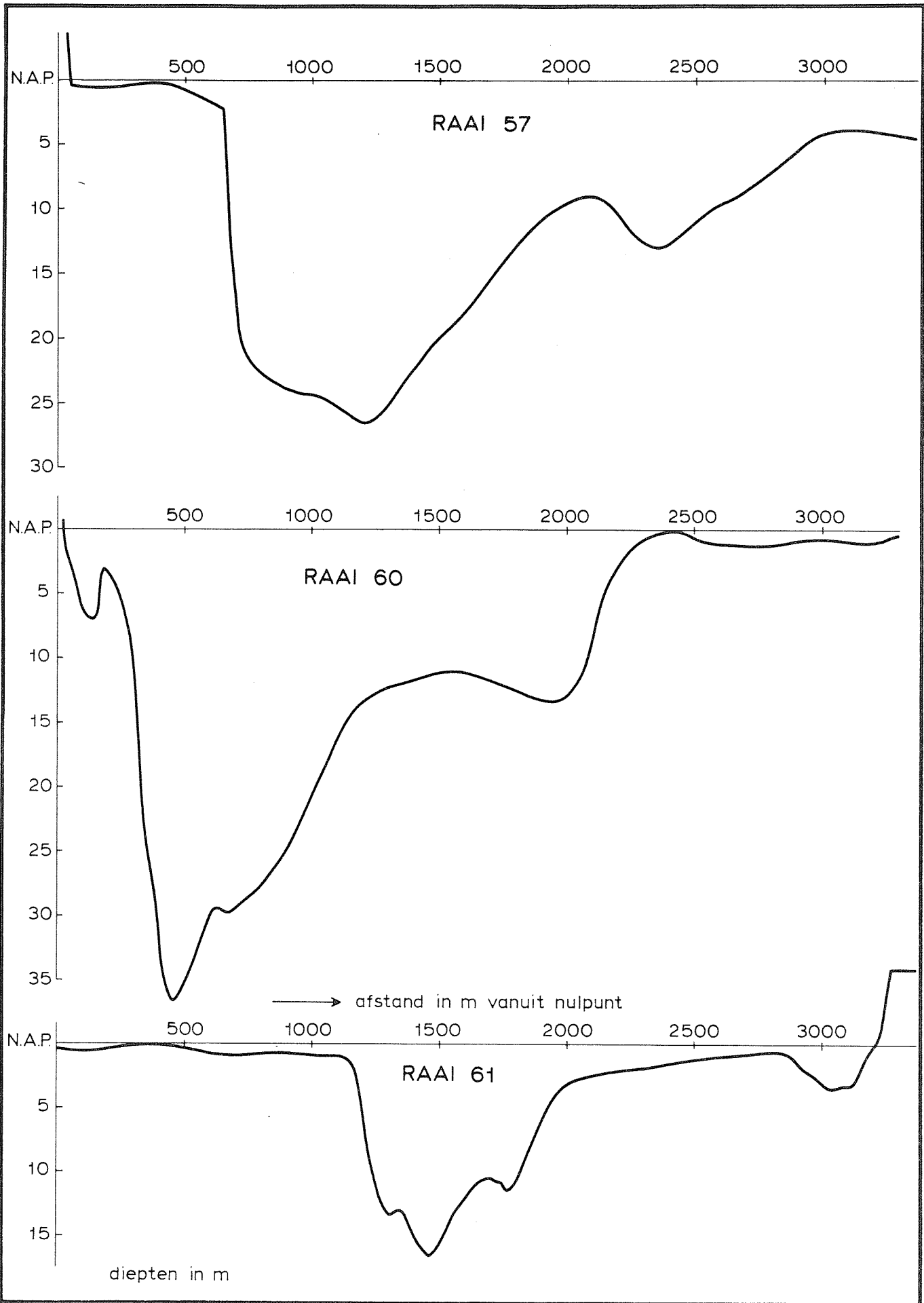
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

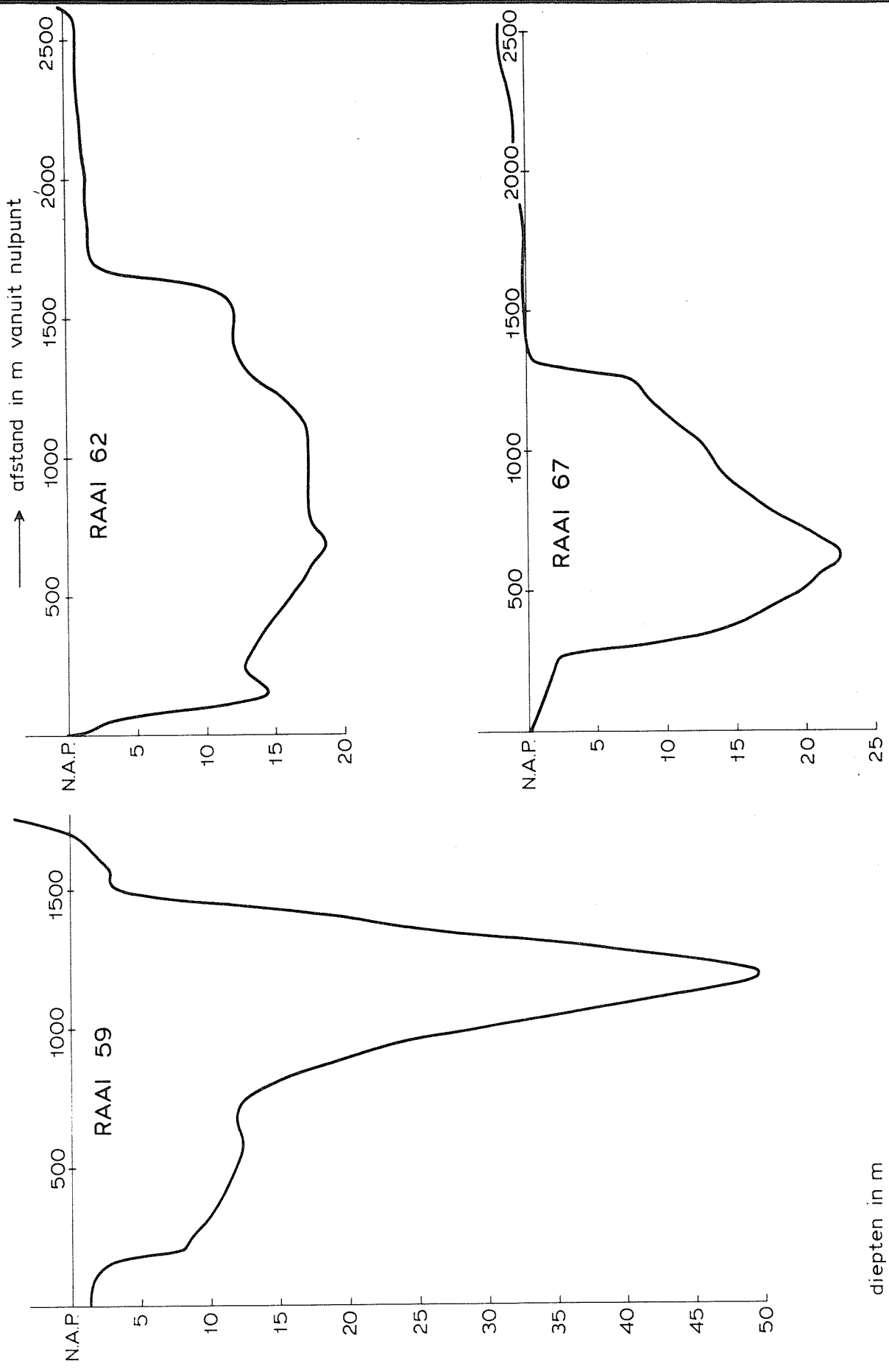
M 1777

FIG. 11



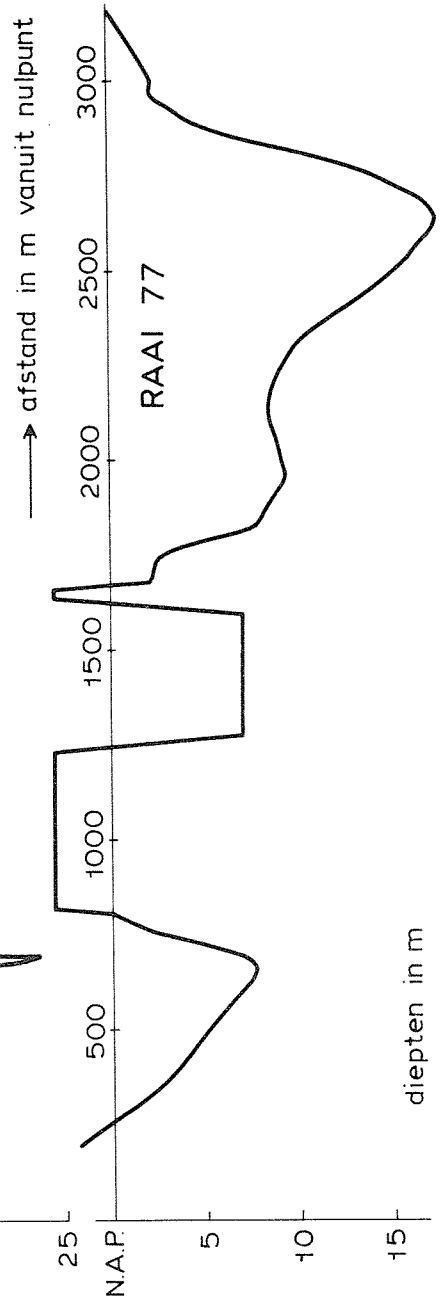
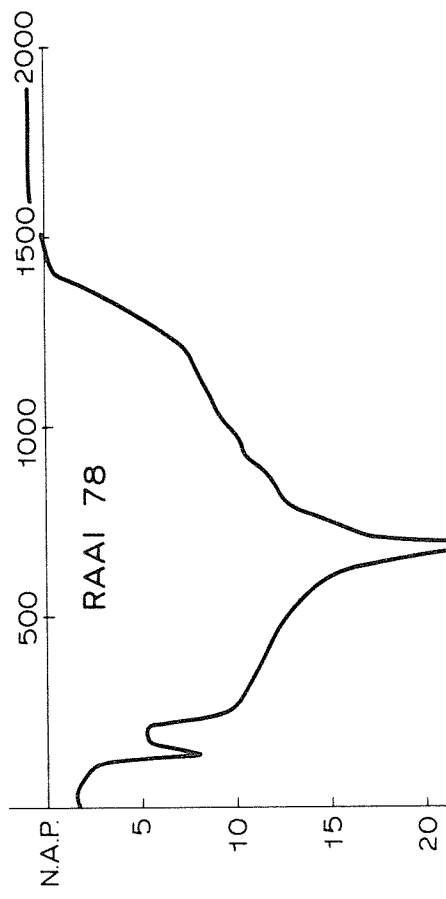
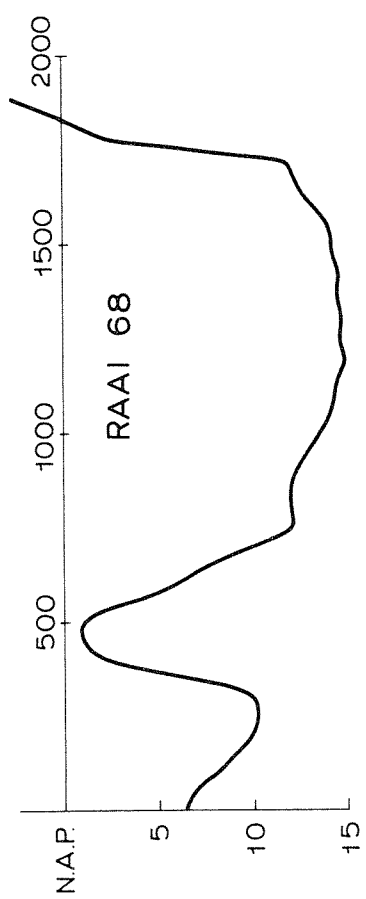
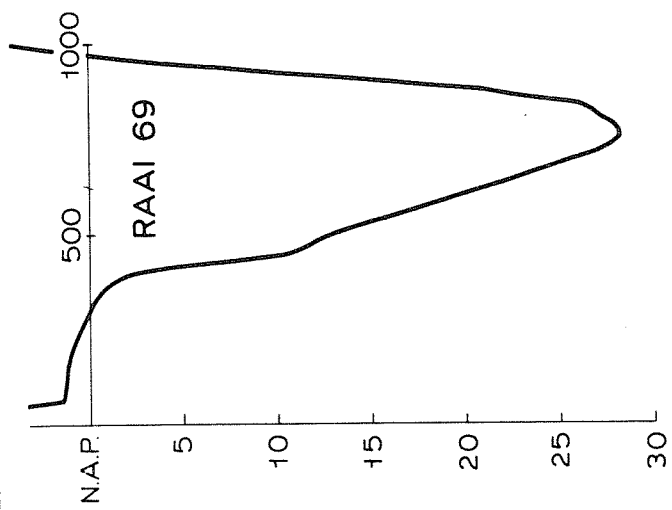
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



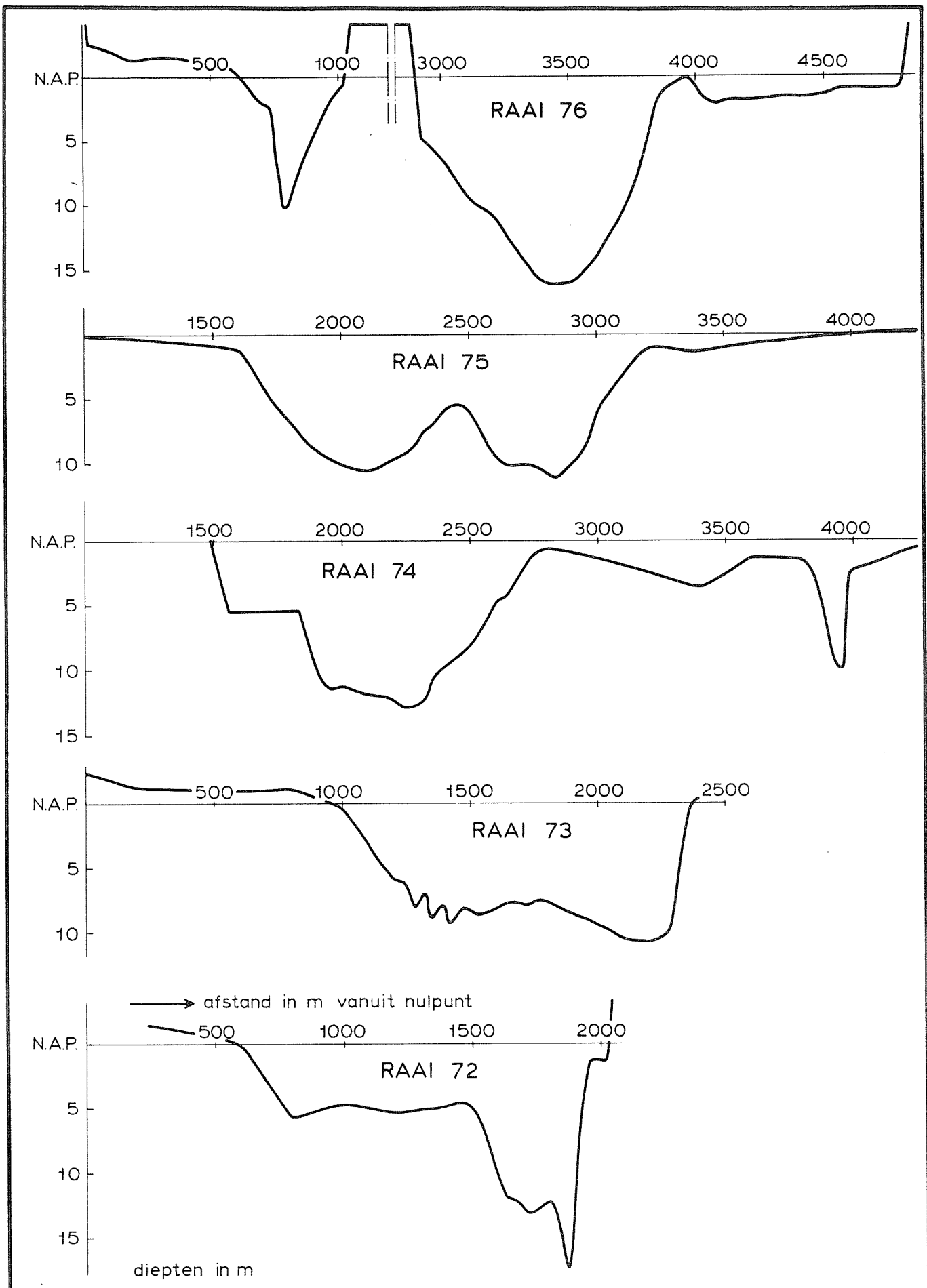
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
 diepteschaal 1 : 400



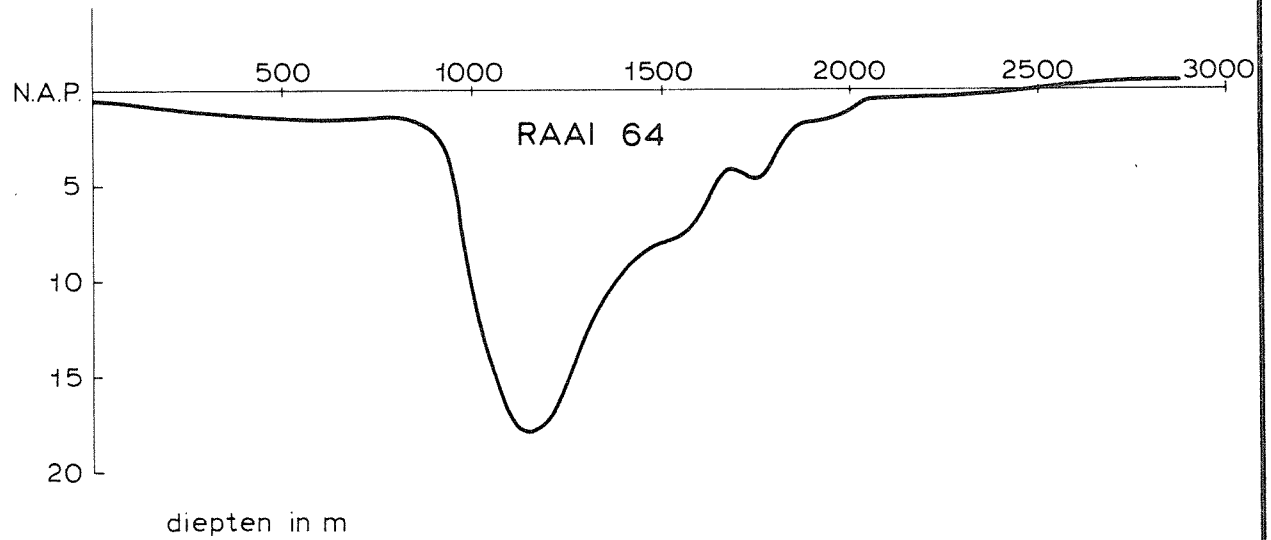
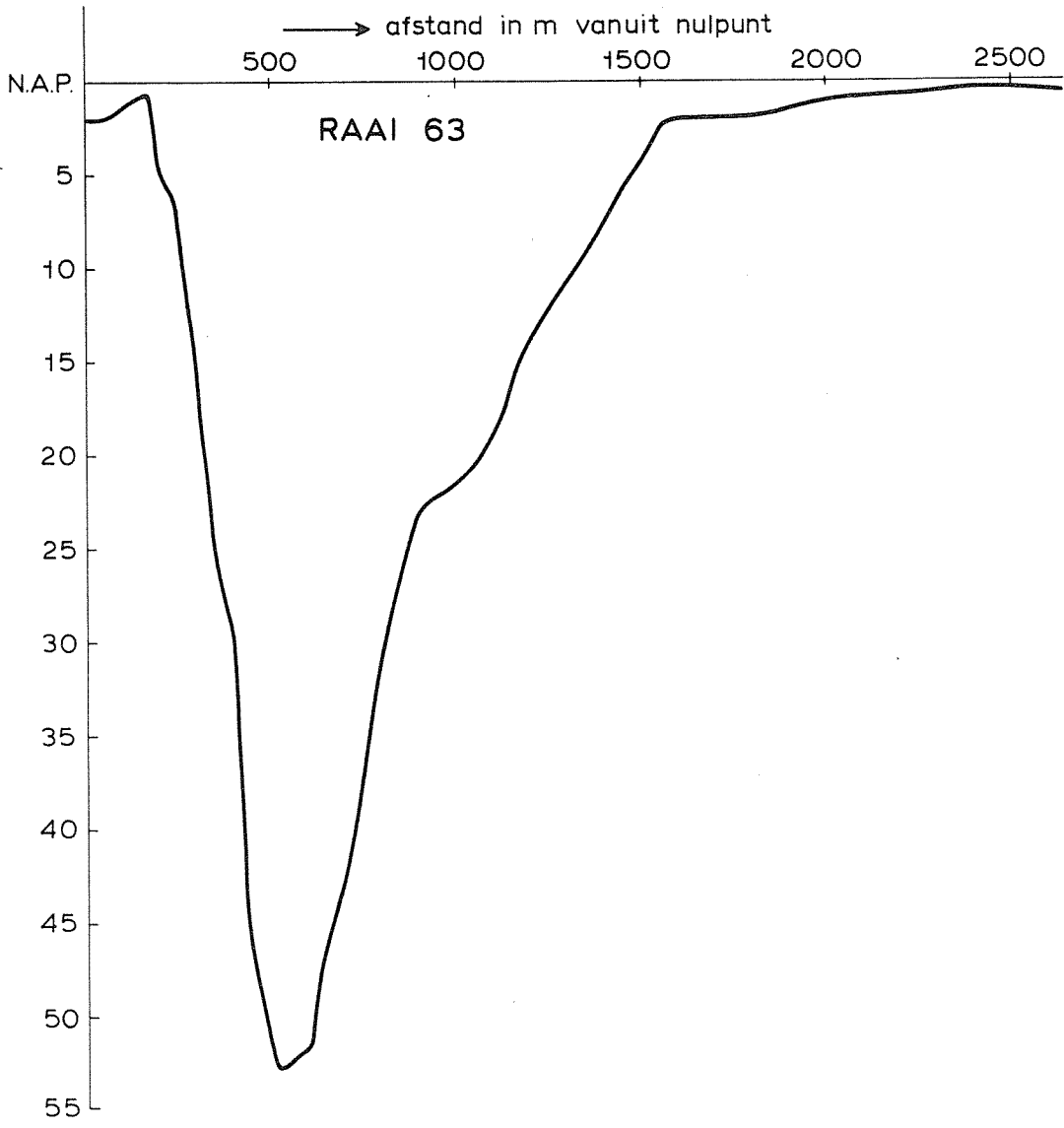
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



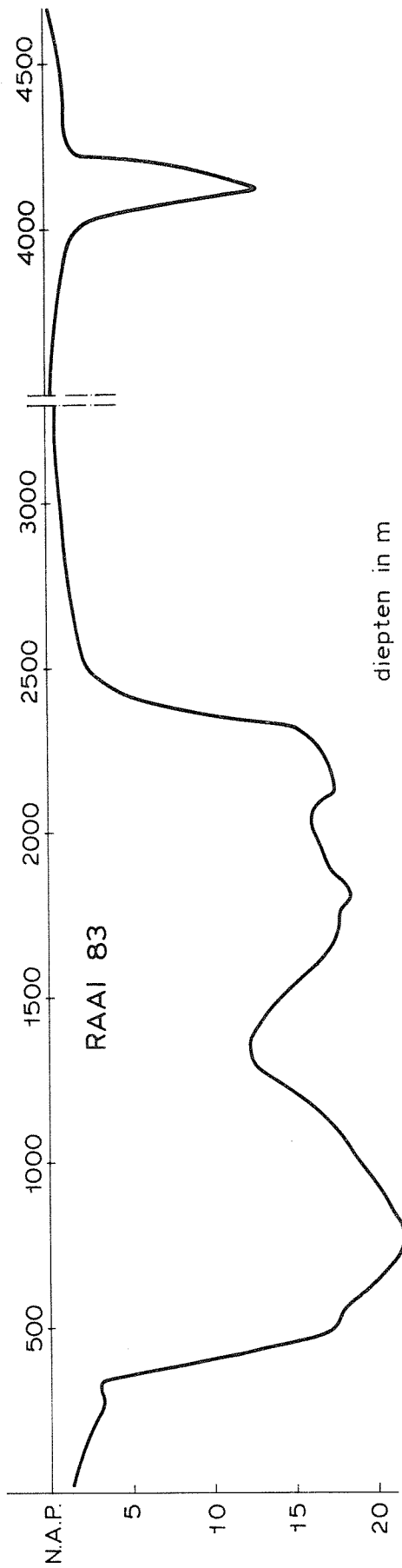
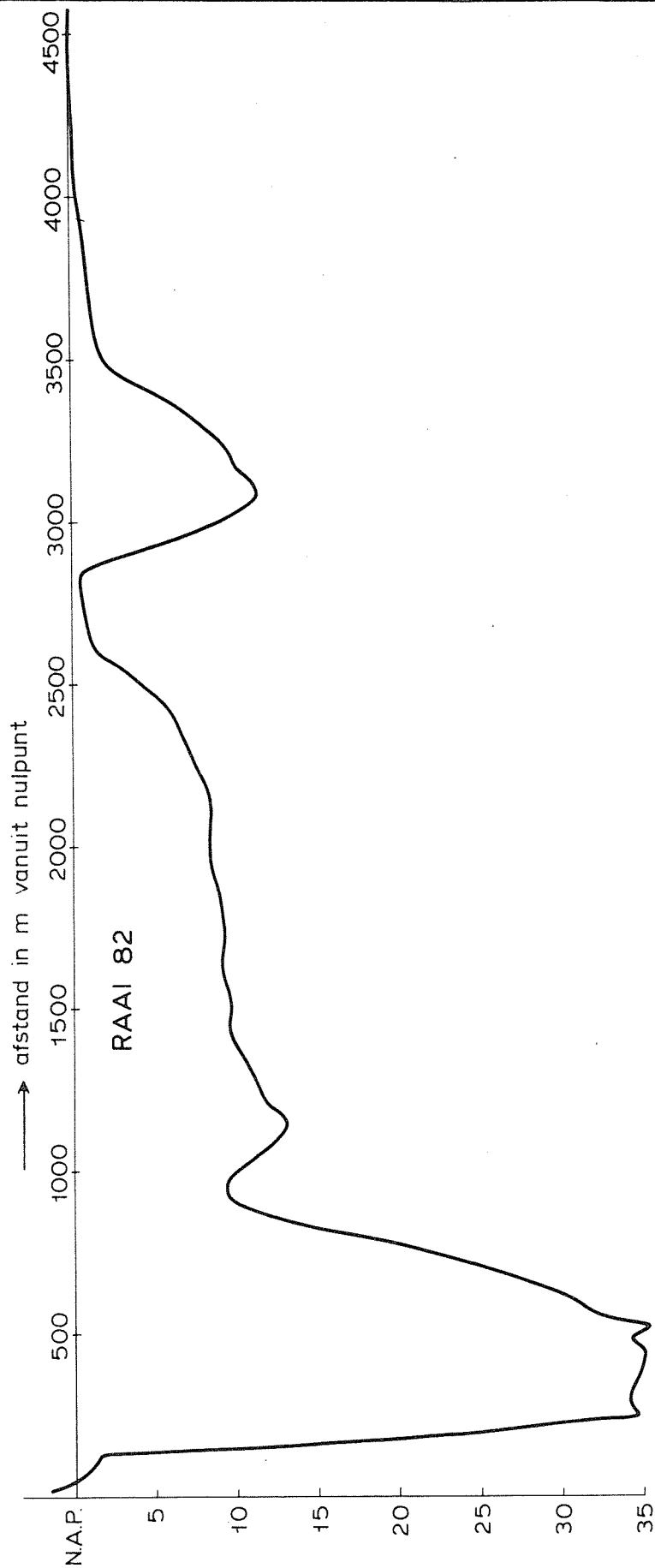
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



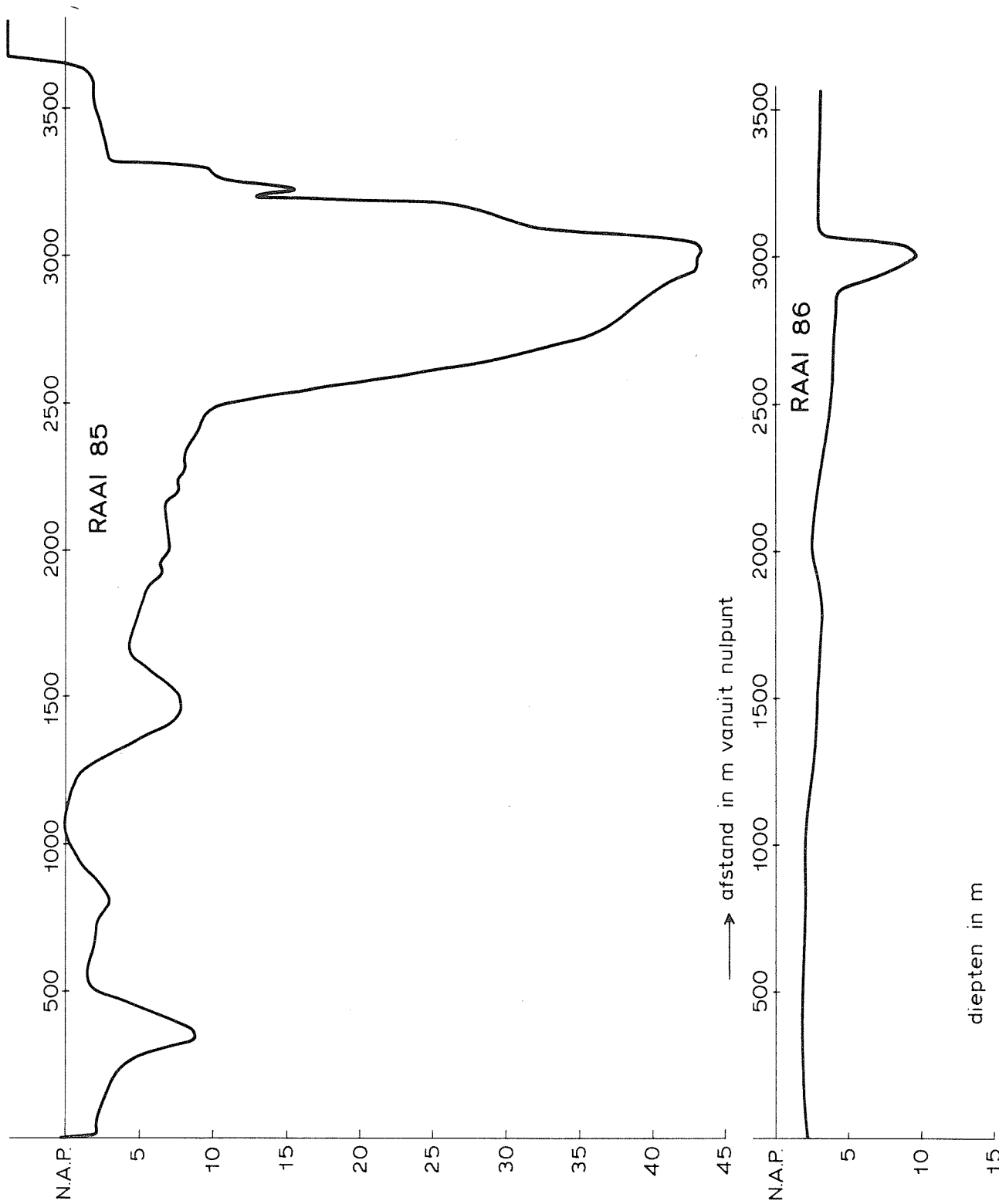
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 17



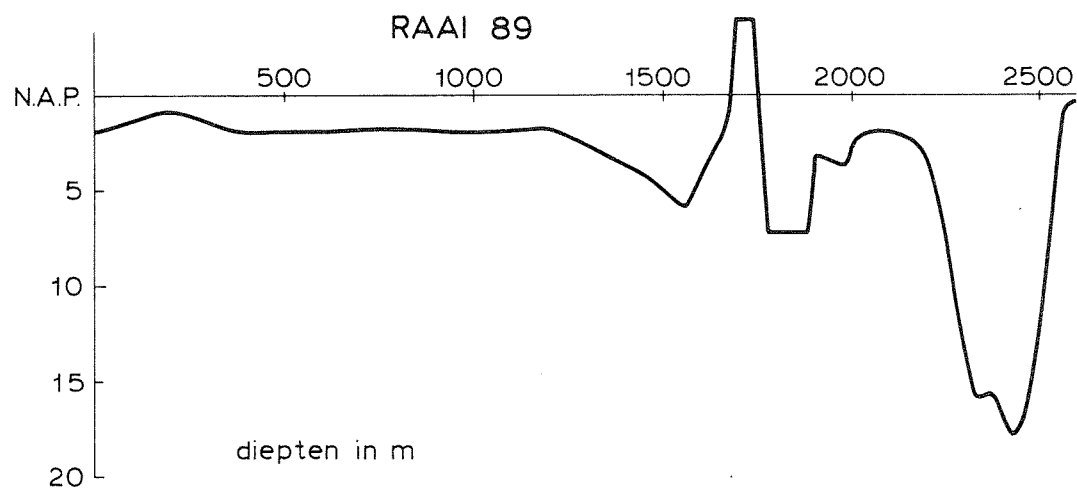
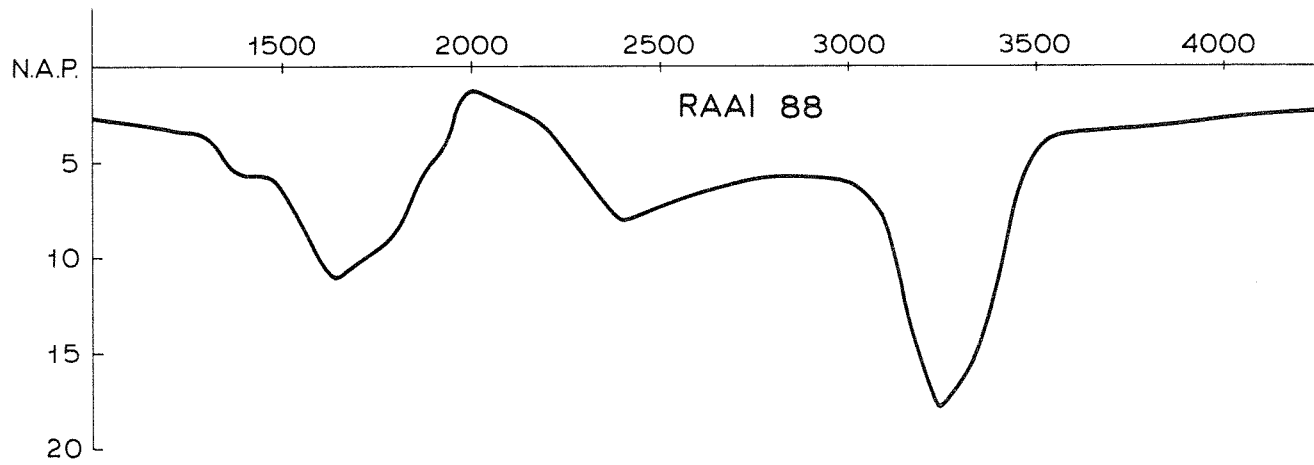
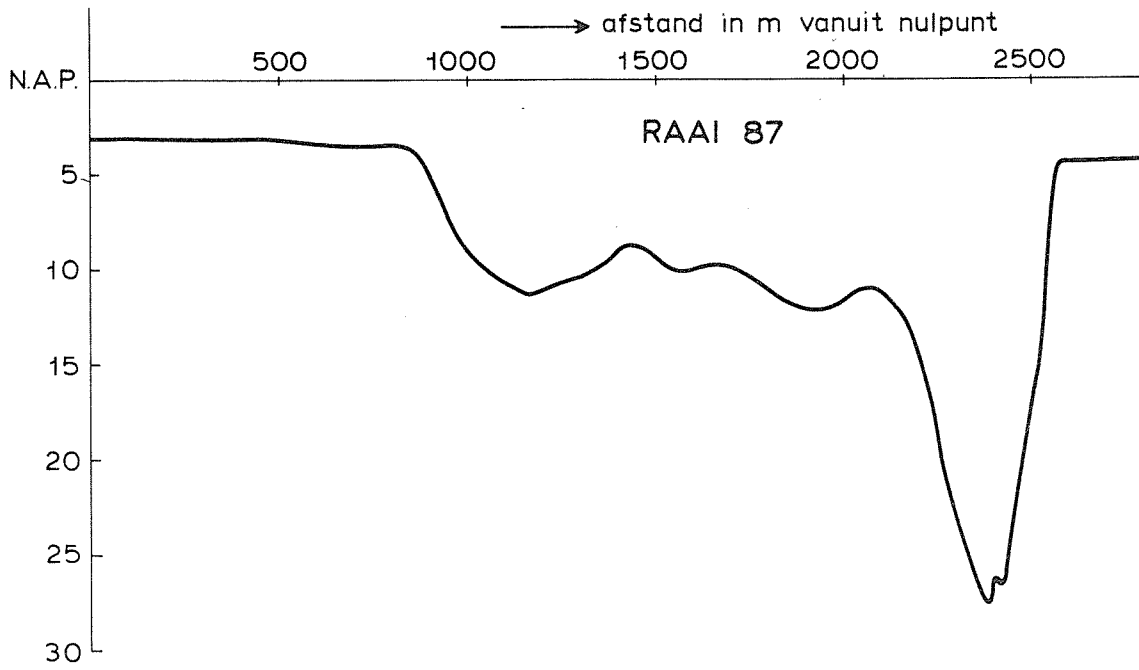
DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

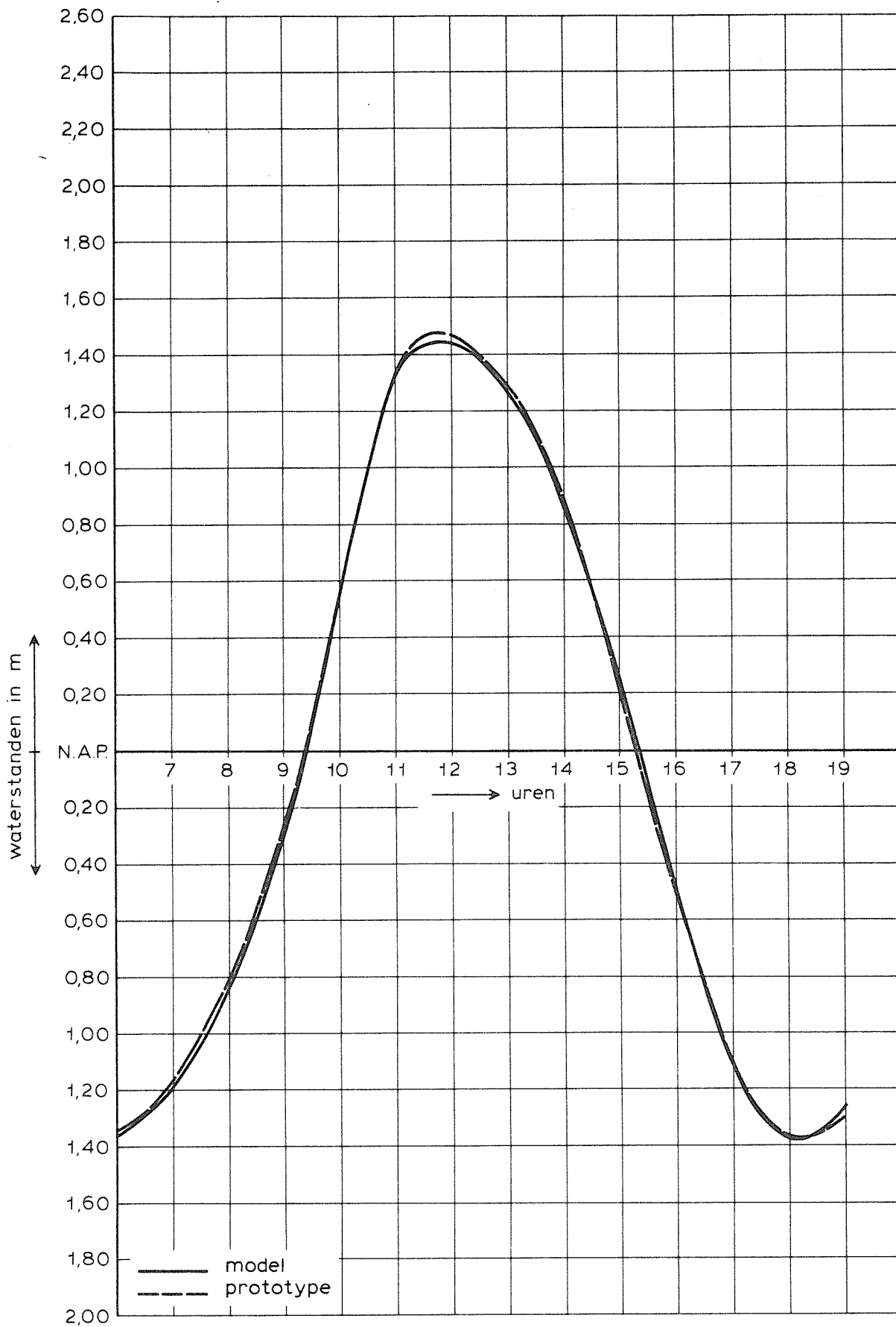
M 1777

FIG. 18



DWARSPROFIELEN

lengteschaal 1 : 20.000
diepteschaal 1 : 400



WATERSTANDEN

T 345

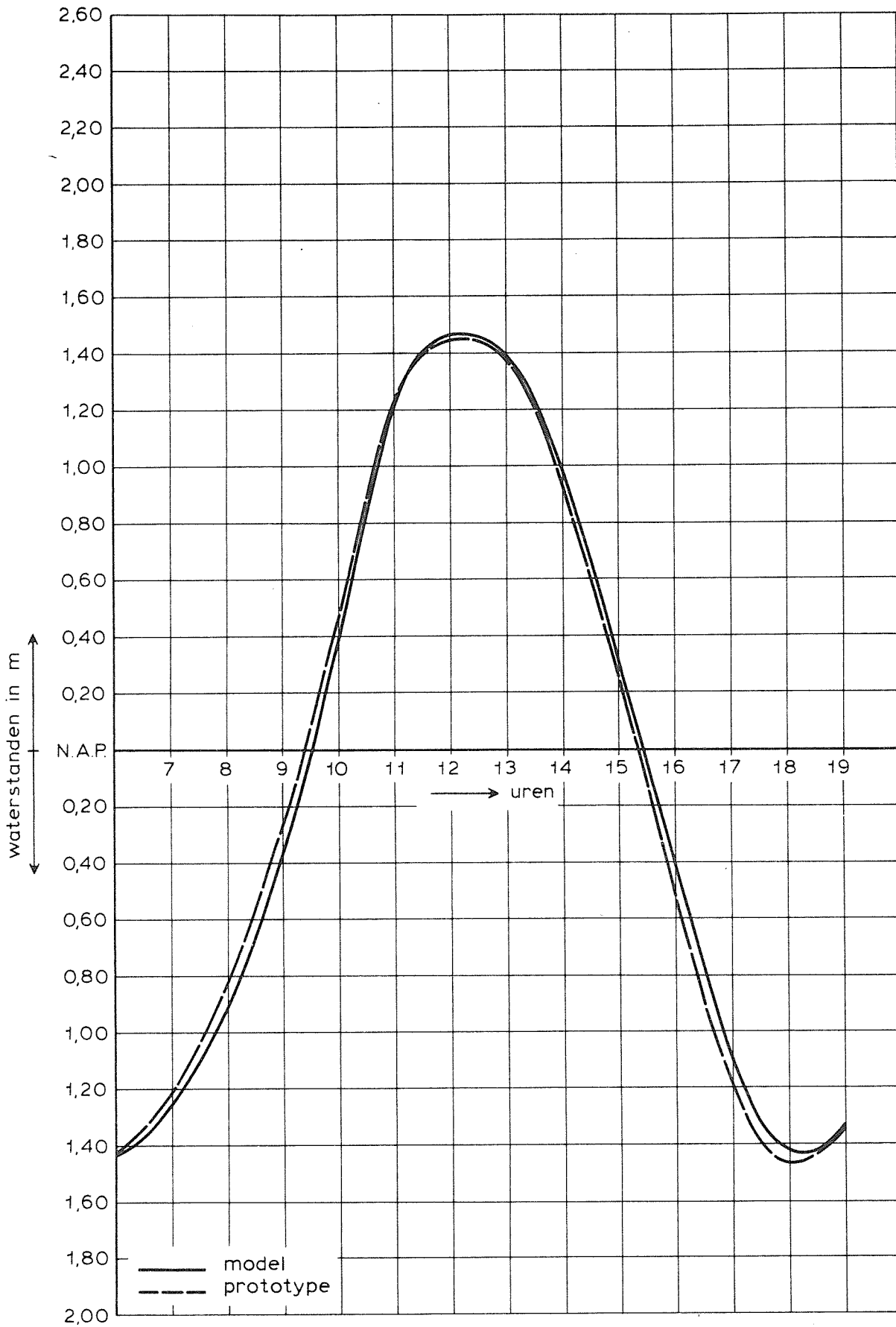
1971.0

Vlietepolder

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 20



WATERSTANDEN

T 345

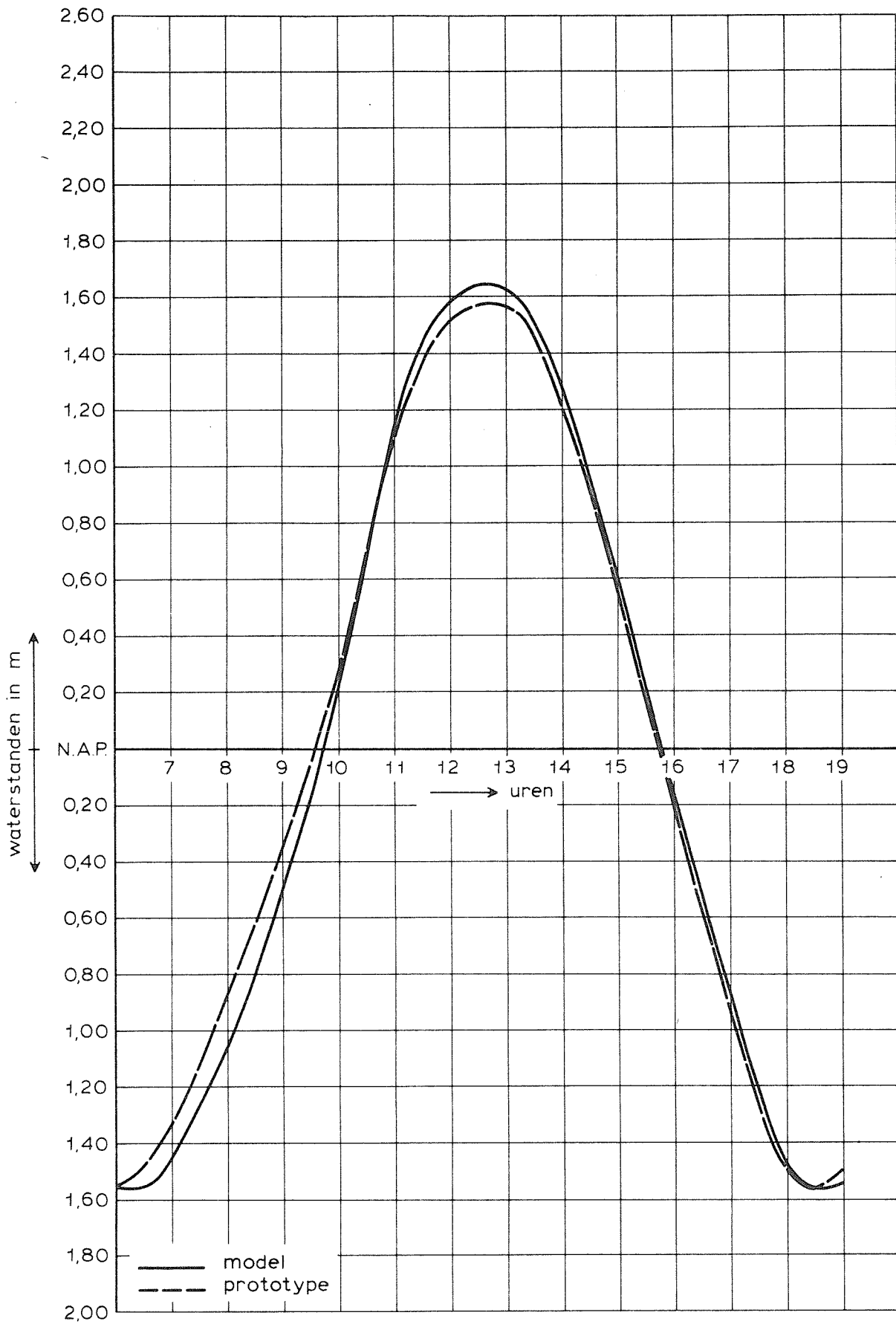
1971.0

Colijnsplaat

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 21



WATERSTANDEN

T 345

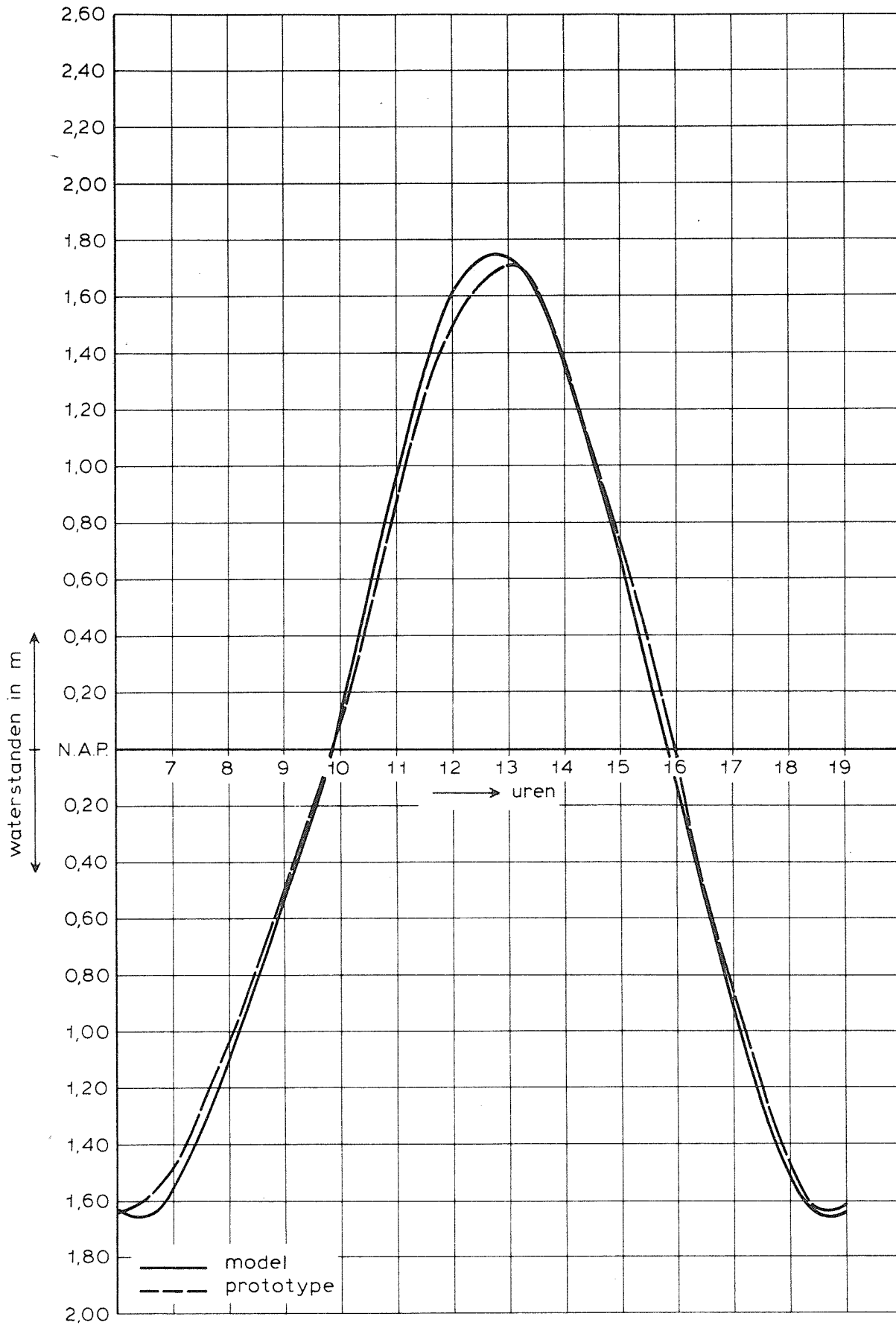
1971.0

Kats

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 22



WATERSTANDEN

T 345

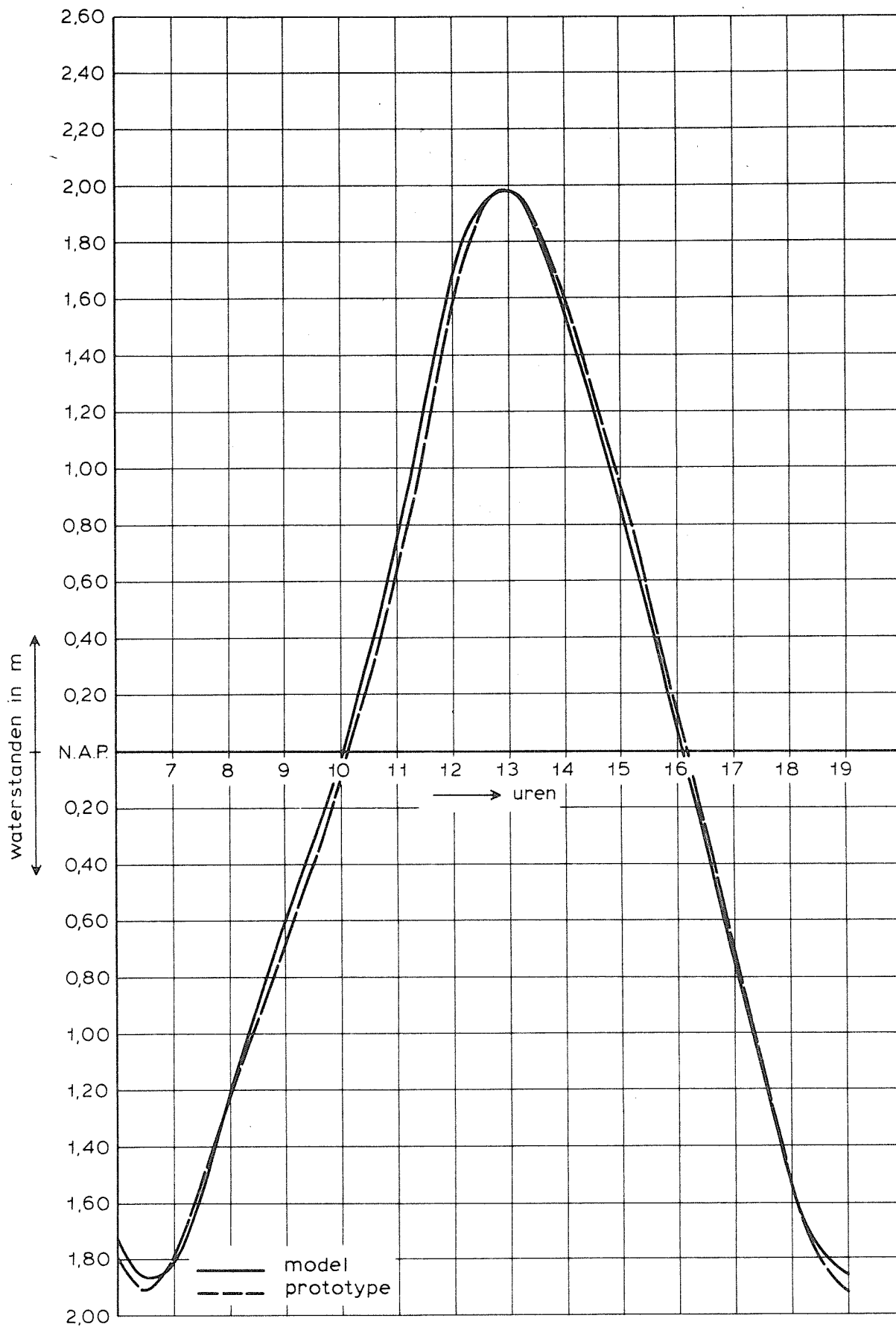
1971.0

Wemeldinge

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 23



WATERSTANDEN

T 345

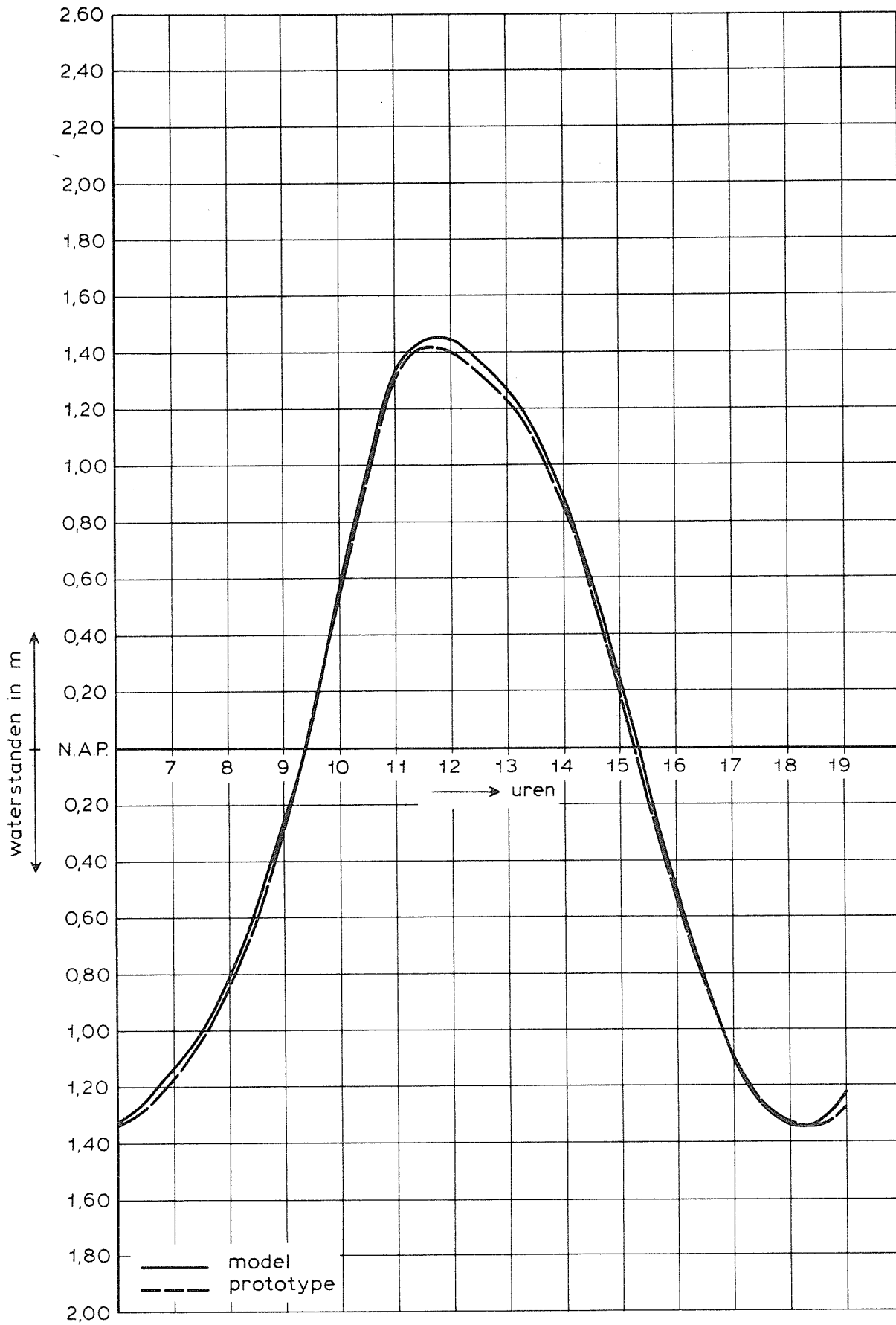
1971.0

Razernijpolder

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 24



WATERSTANDEN

T 345

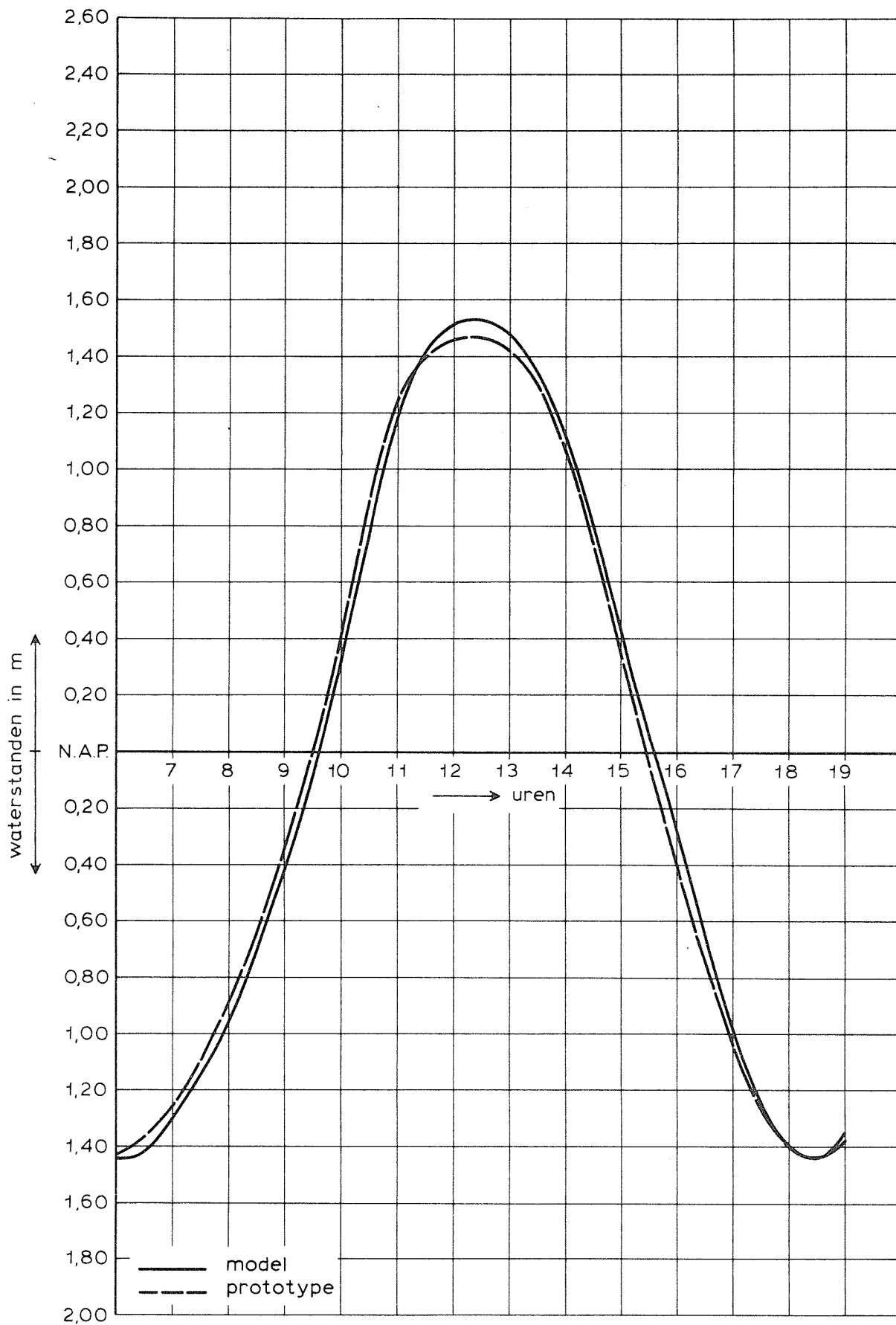
1971.0

Burghsluis

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 25



WATERSTANDEN

T 345

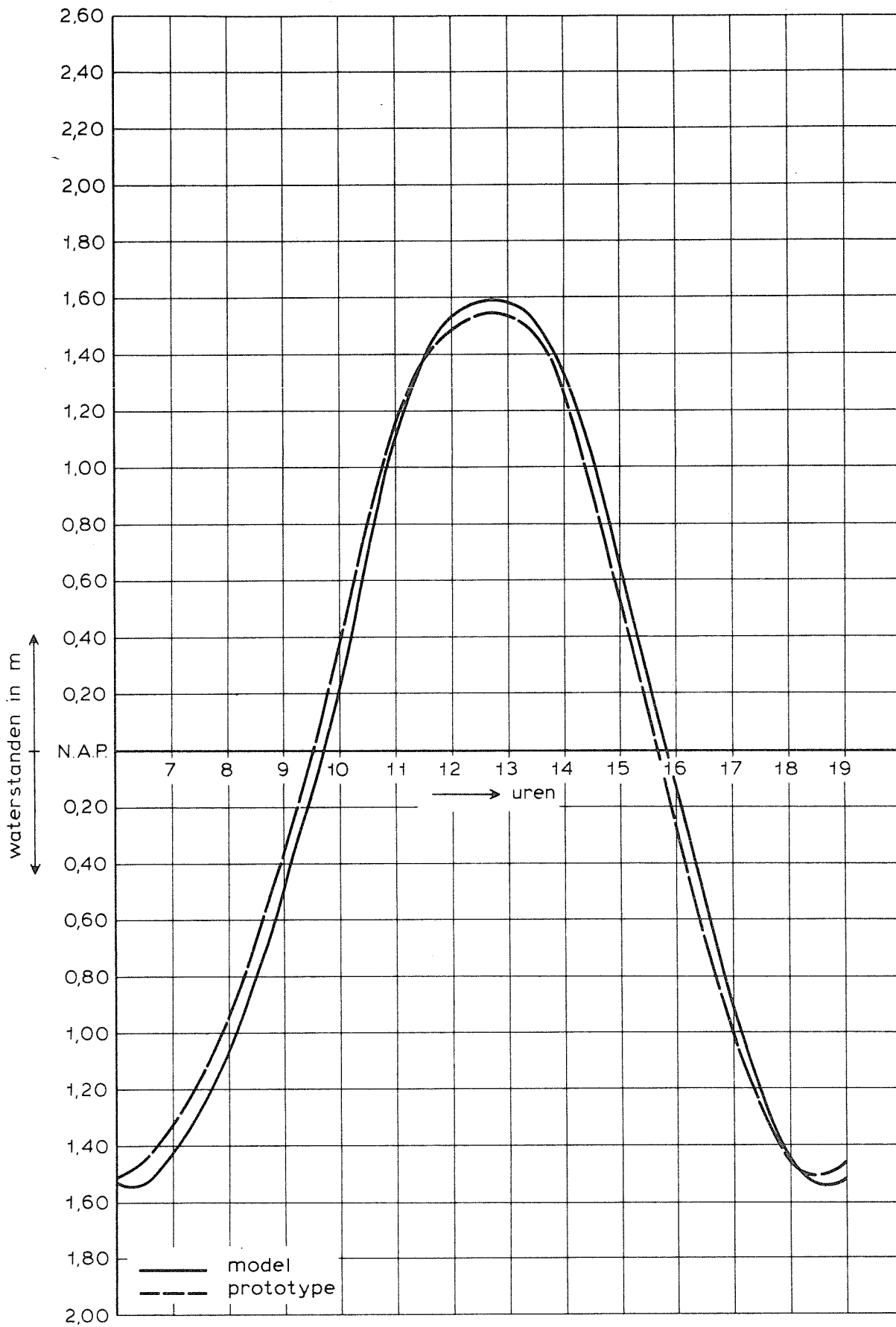
1971.0

Zierikzee

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 26



WATERSTANDEN

T 345

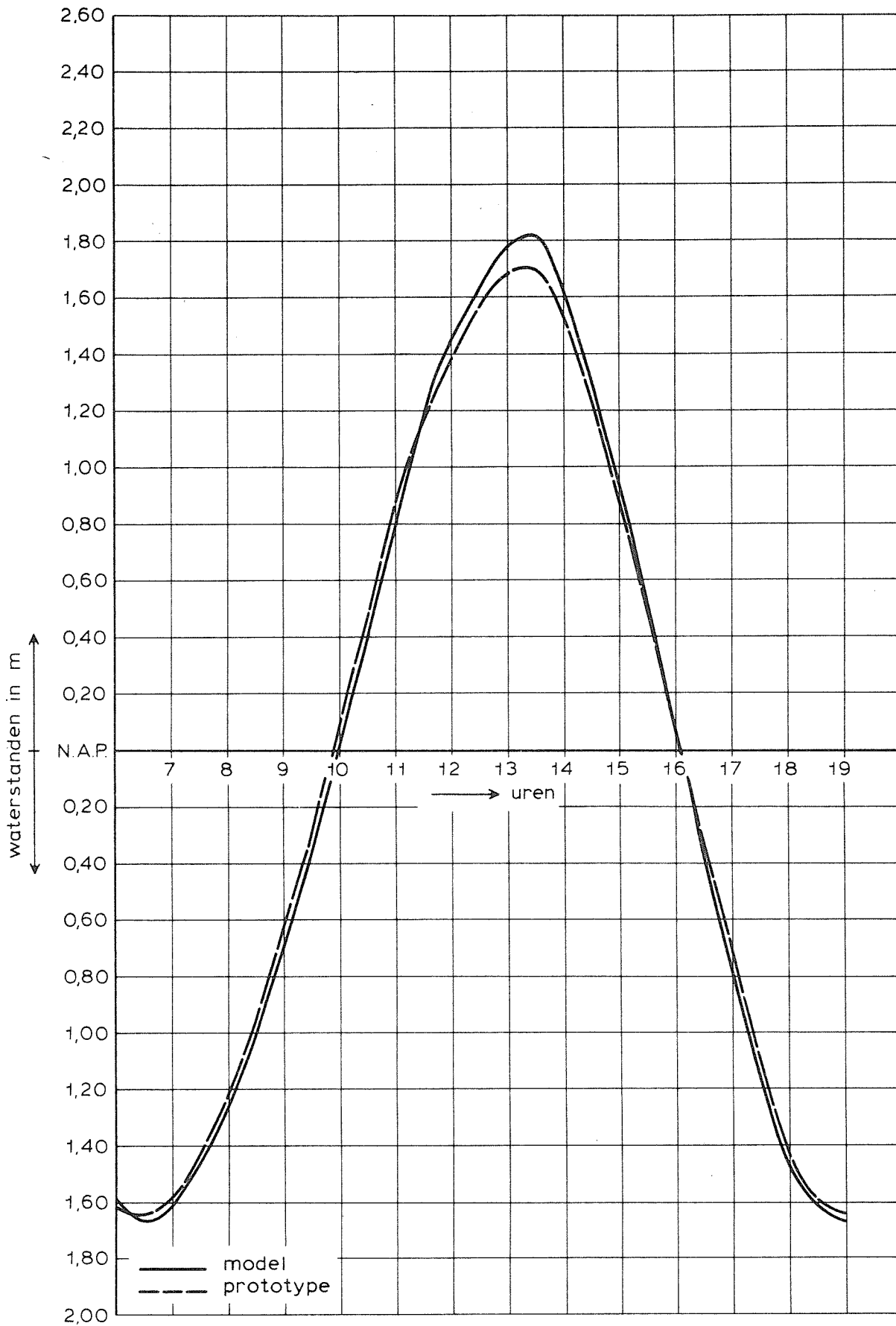
1971.0

Stavenisse

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 27



WATERSTANDEN

T 345

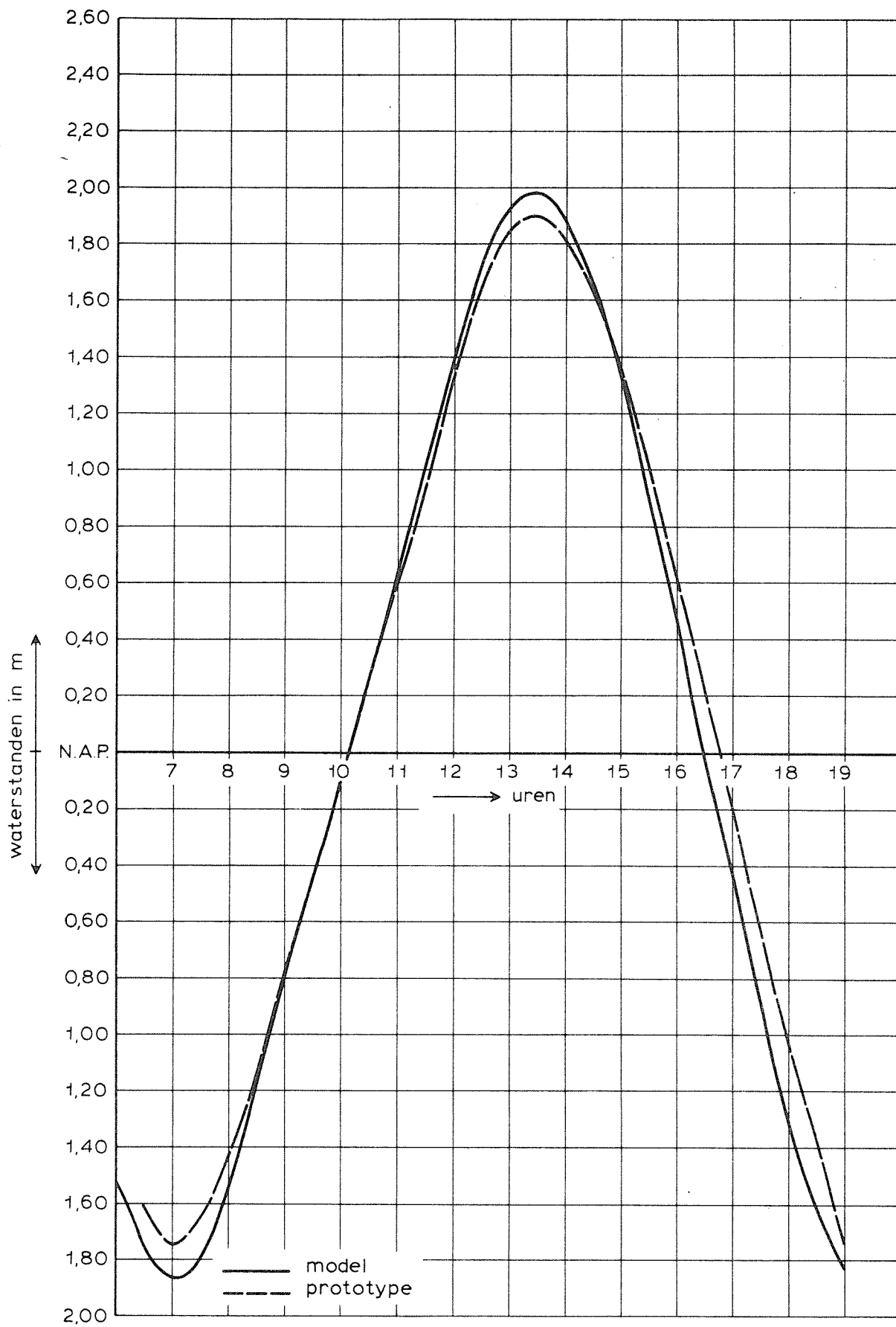
1971.0

Bruinisse

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 28



WATERSTANDEN

T 345

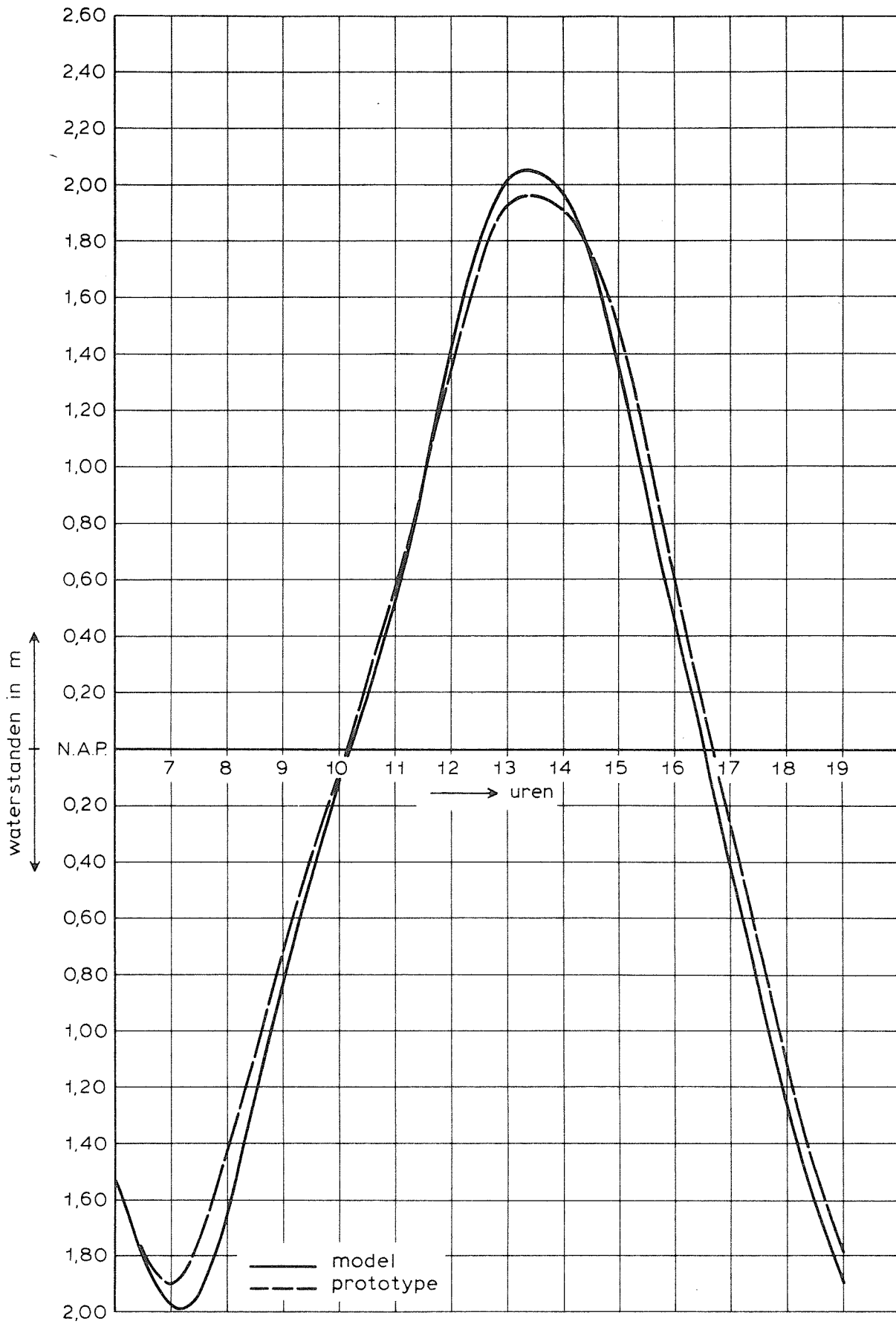
1971.0

Steenbergse Sas

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 29



WATERSTANDEN

T 345

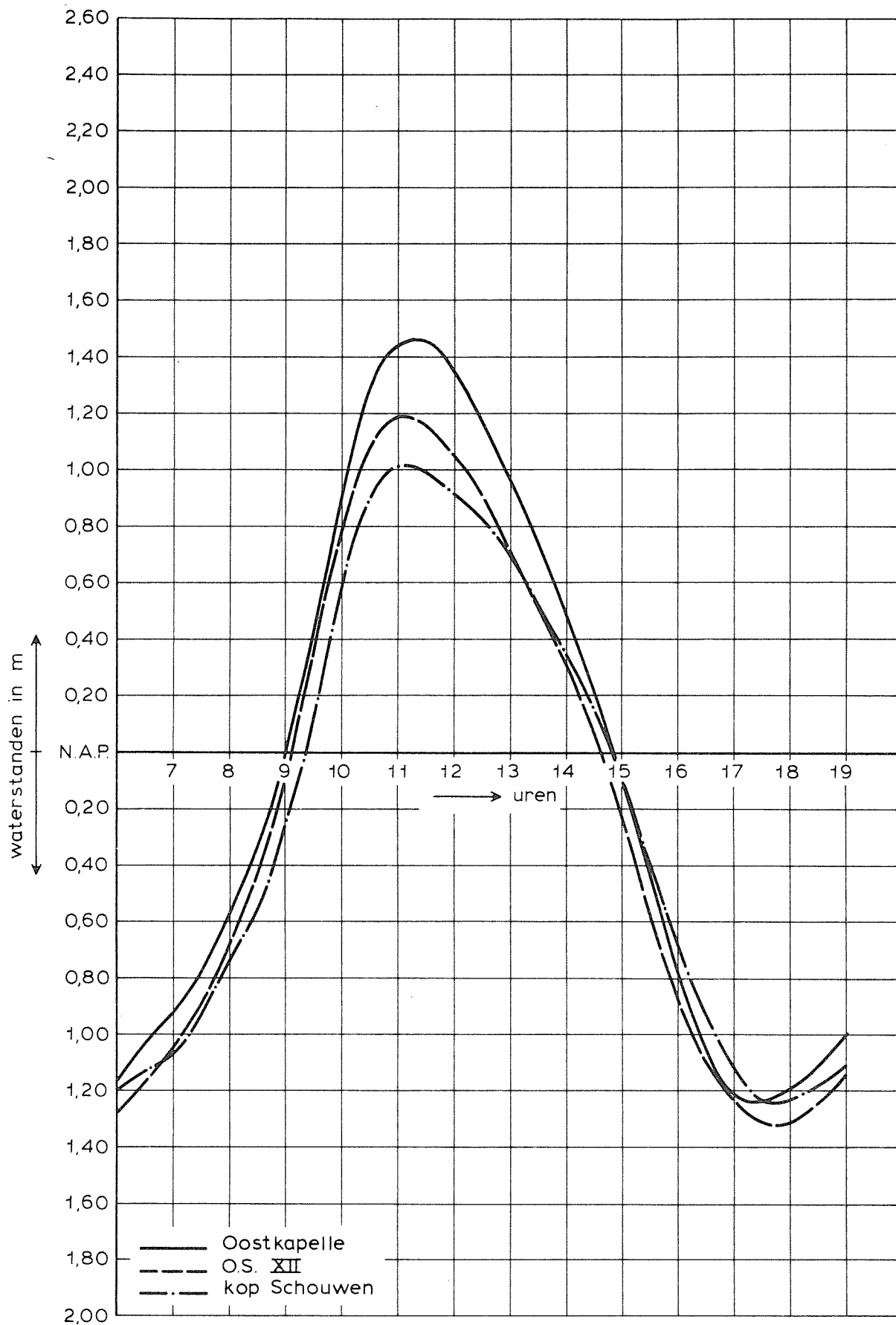
1971.0

Rak Zuid

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 30



WATERSTANDEN

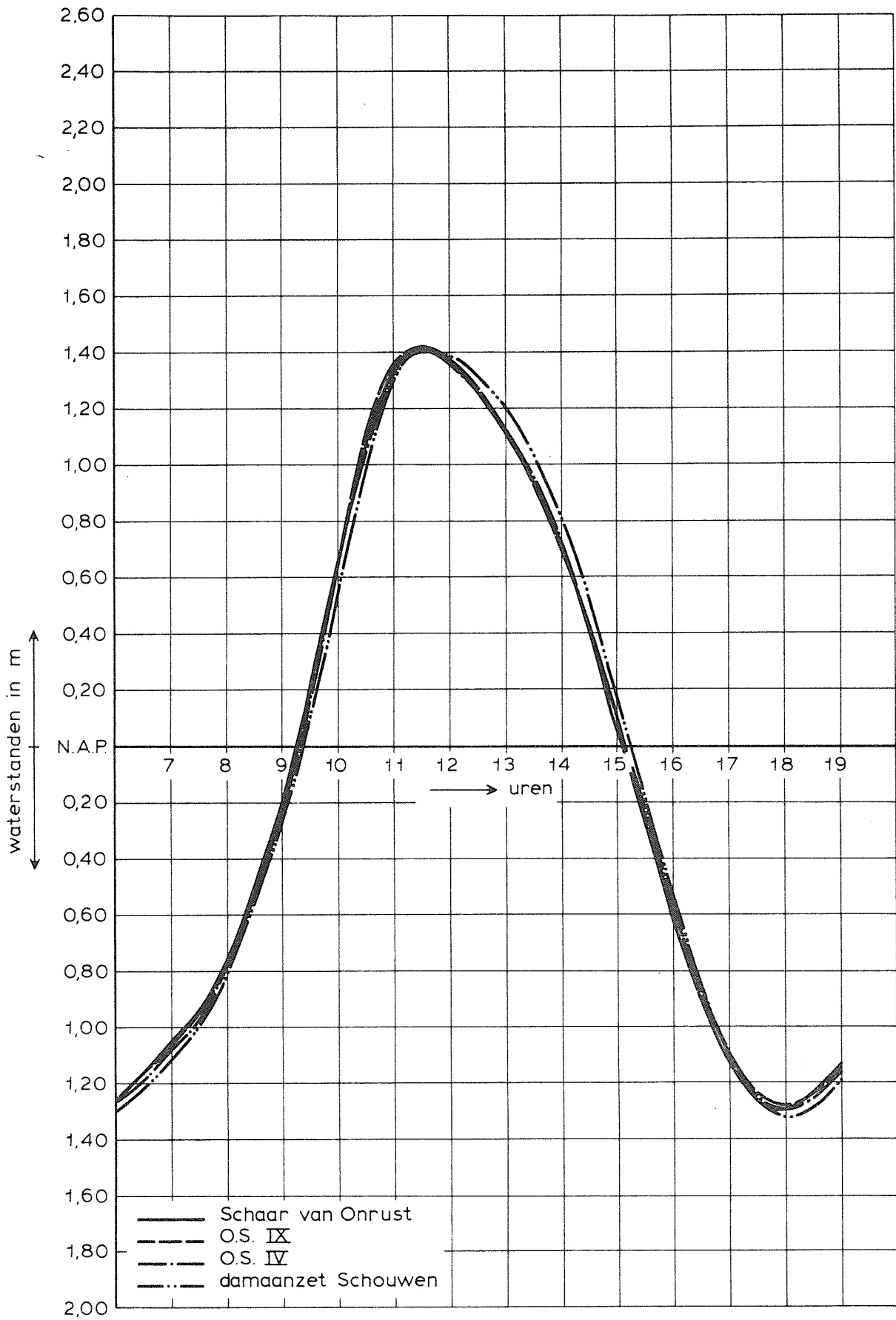
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 31



WATERSTANDEN

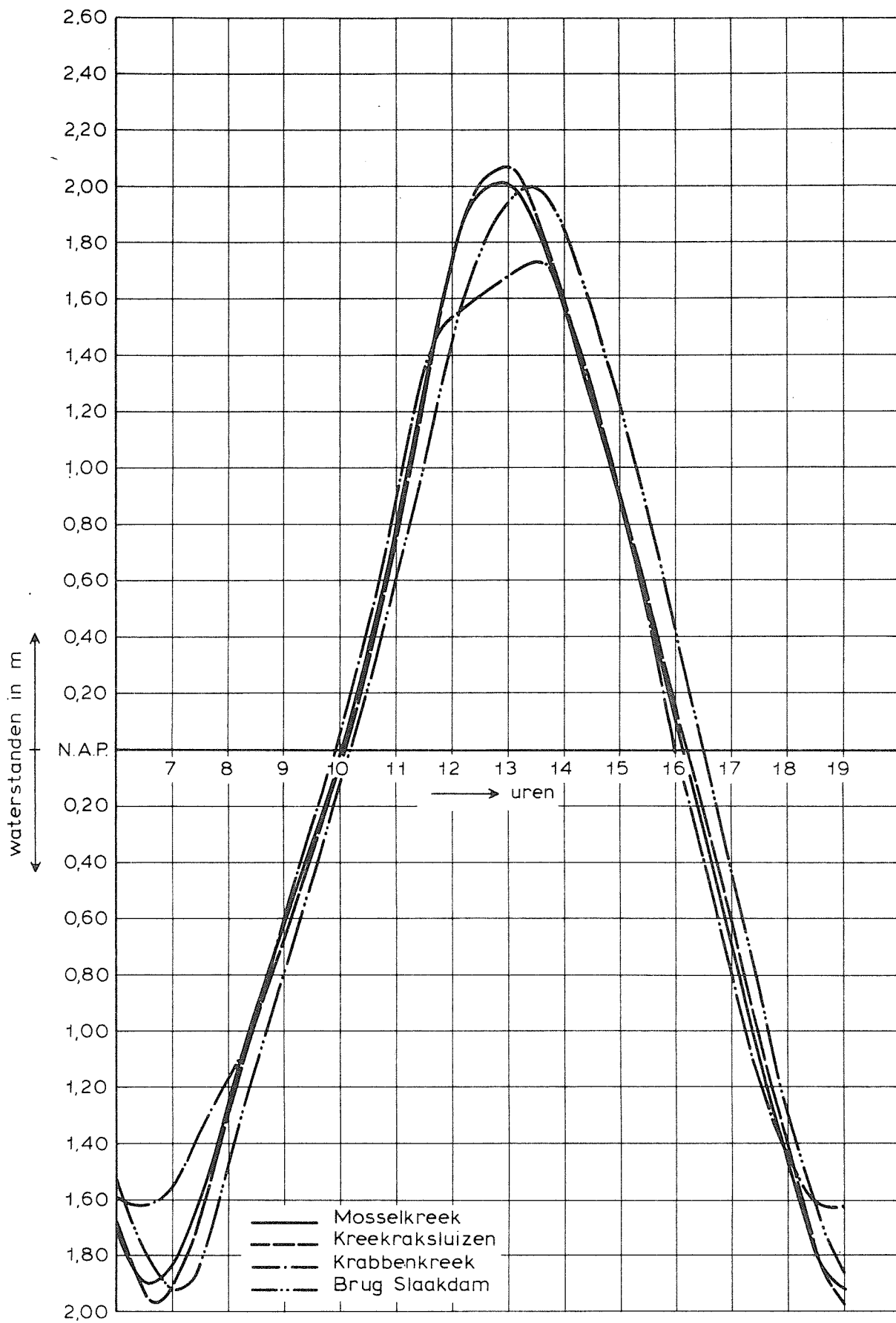
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 32



WATERSTANDEN

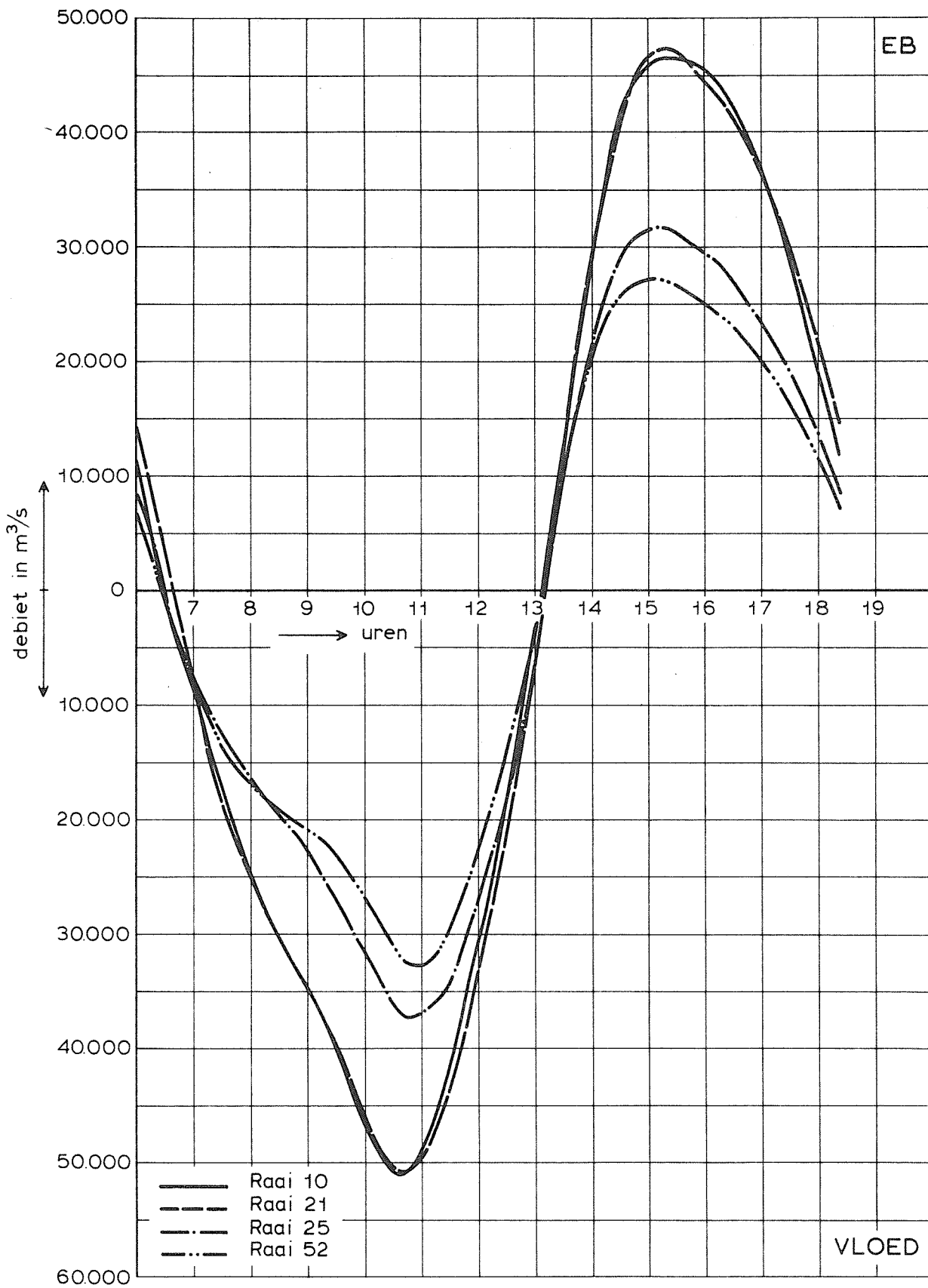
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 33



DEBIETEN

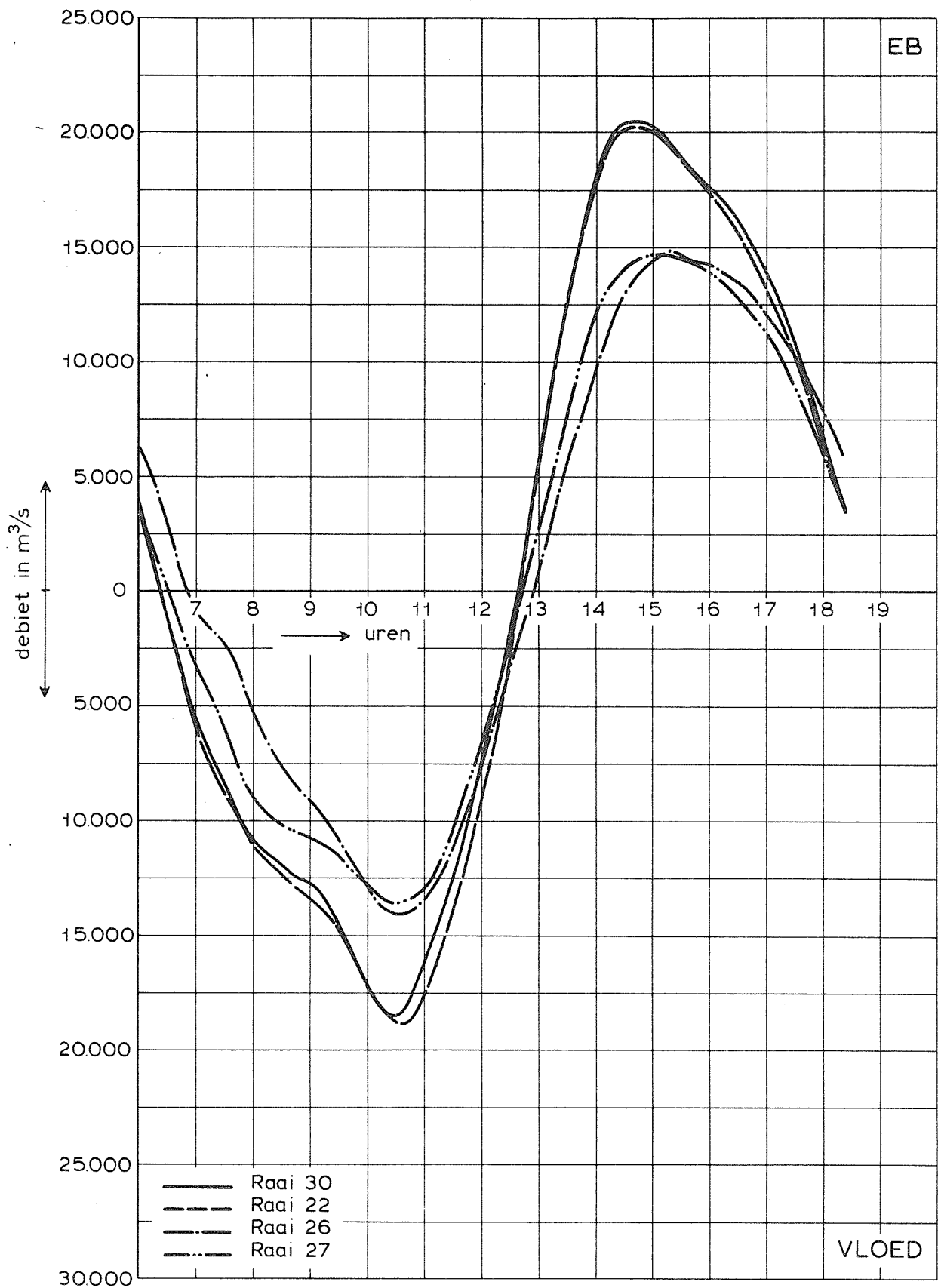
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 34



DEBIETEN

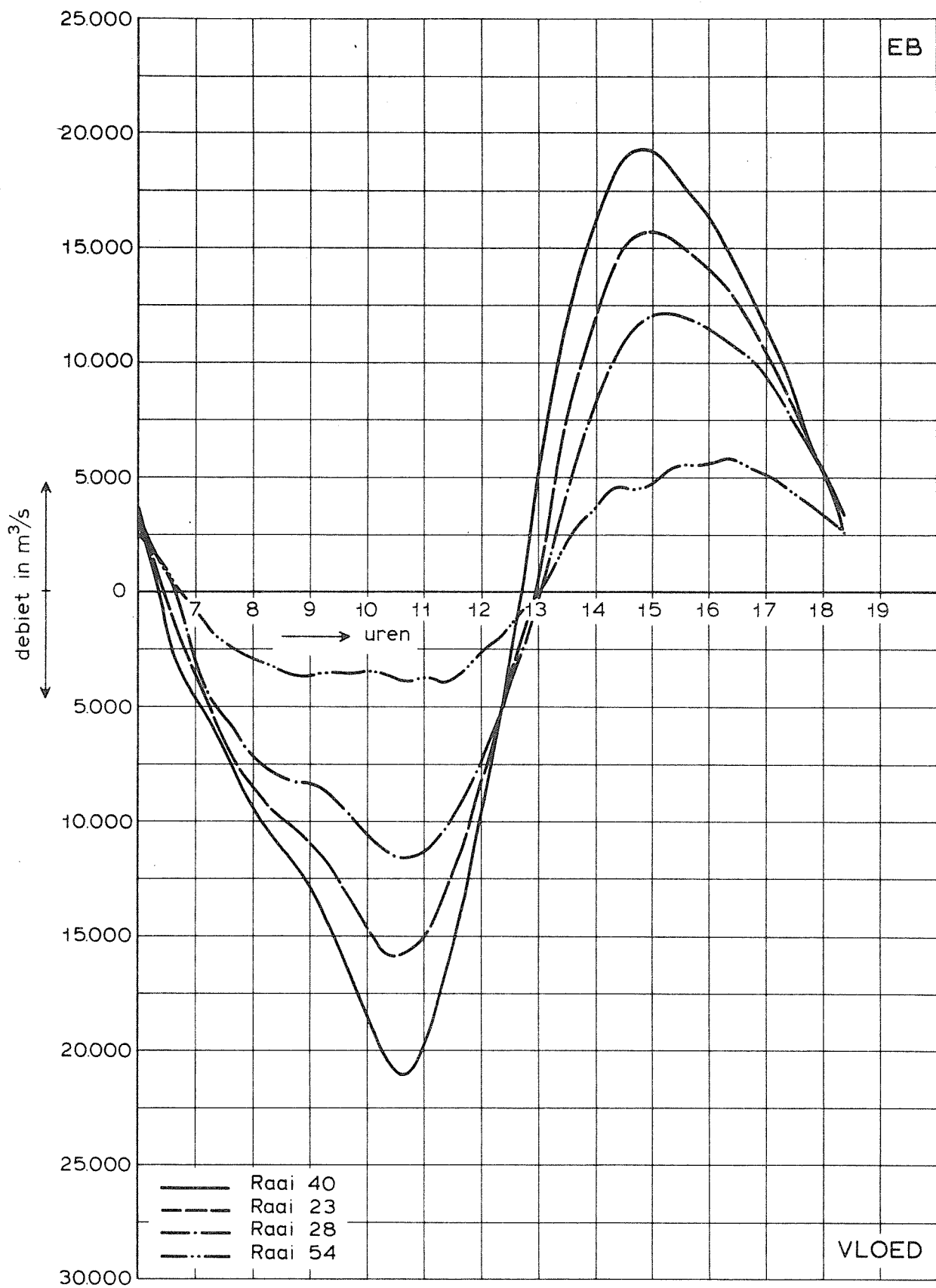
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 35



DEBIETEN

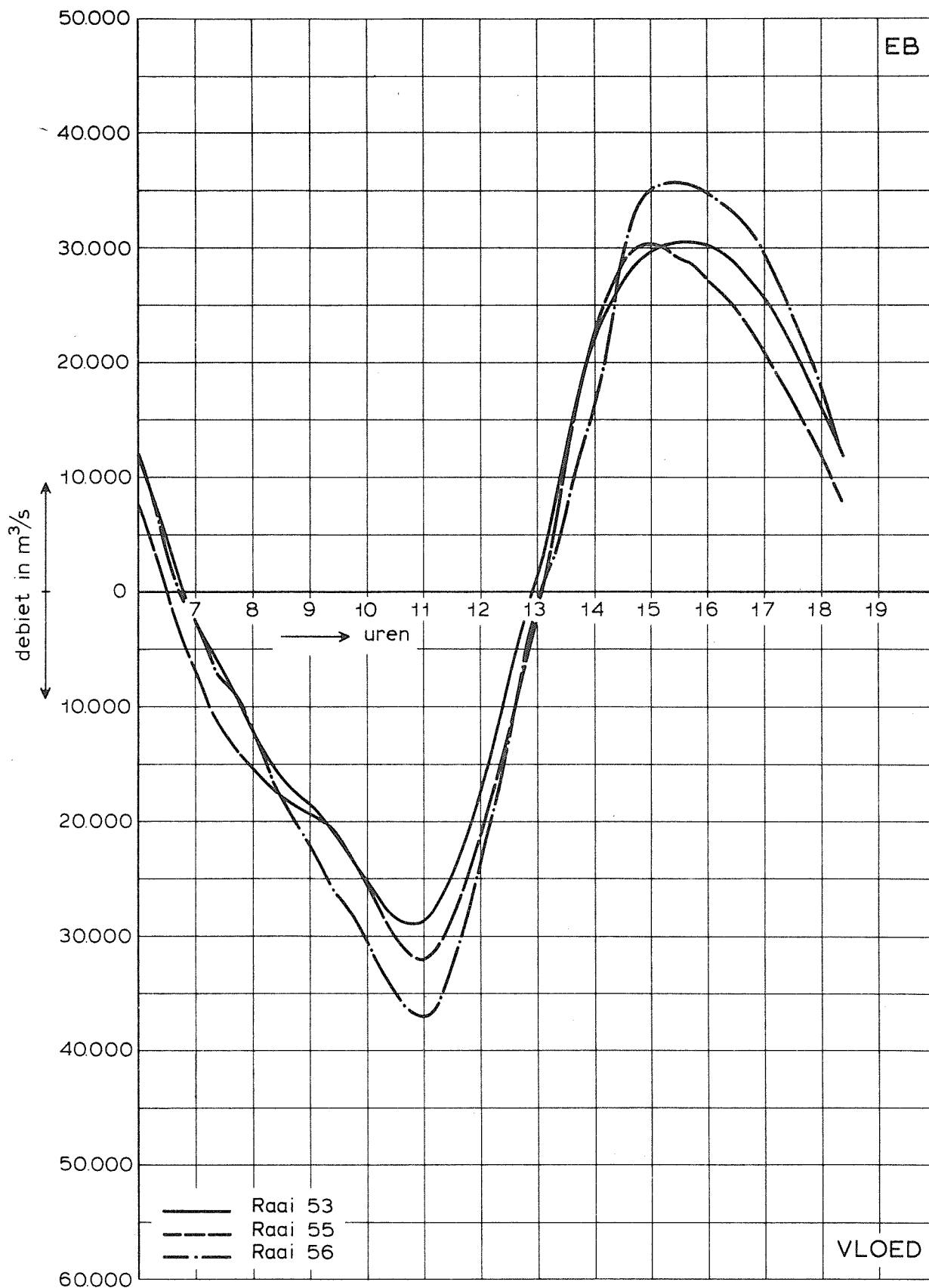
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 36



DEBIETEN

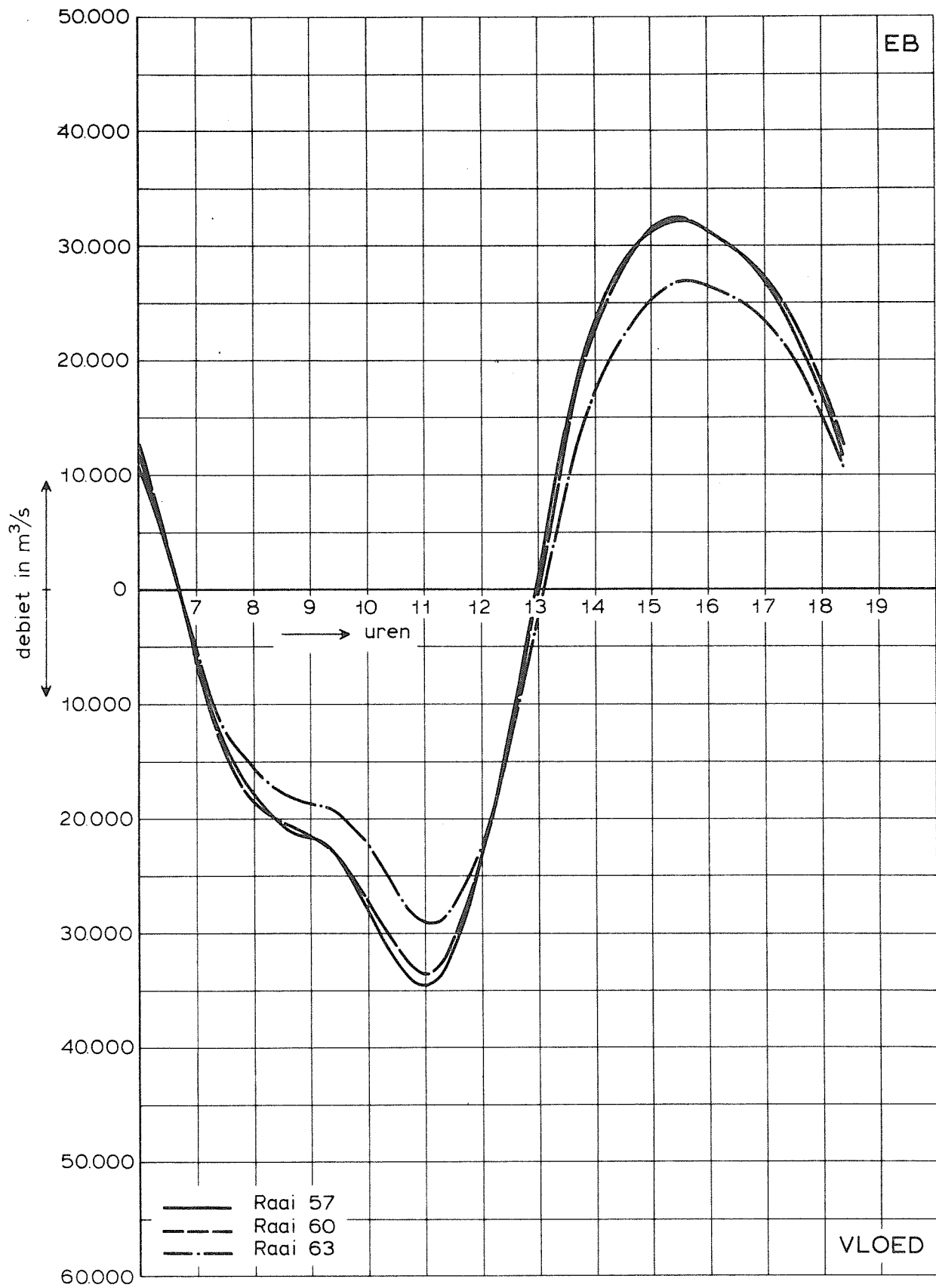
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 37



DEBIETEN

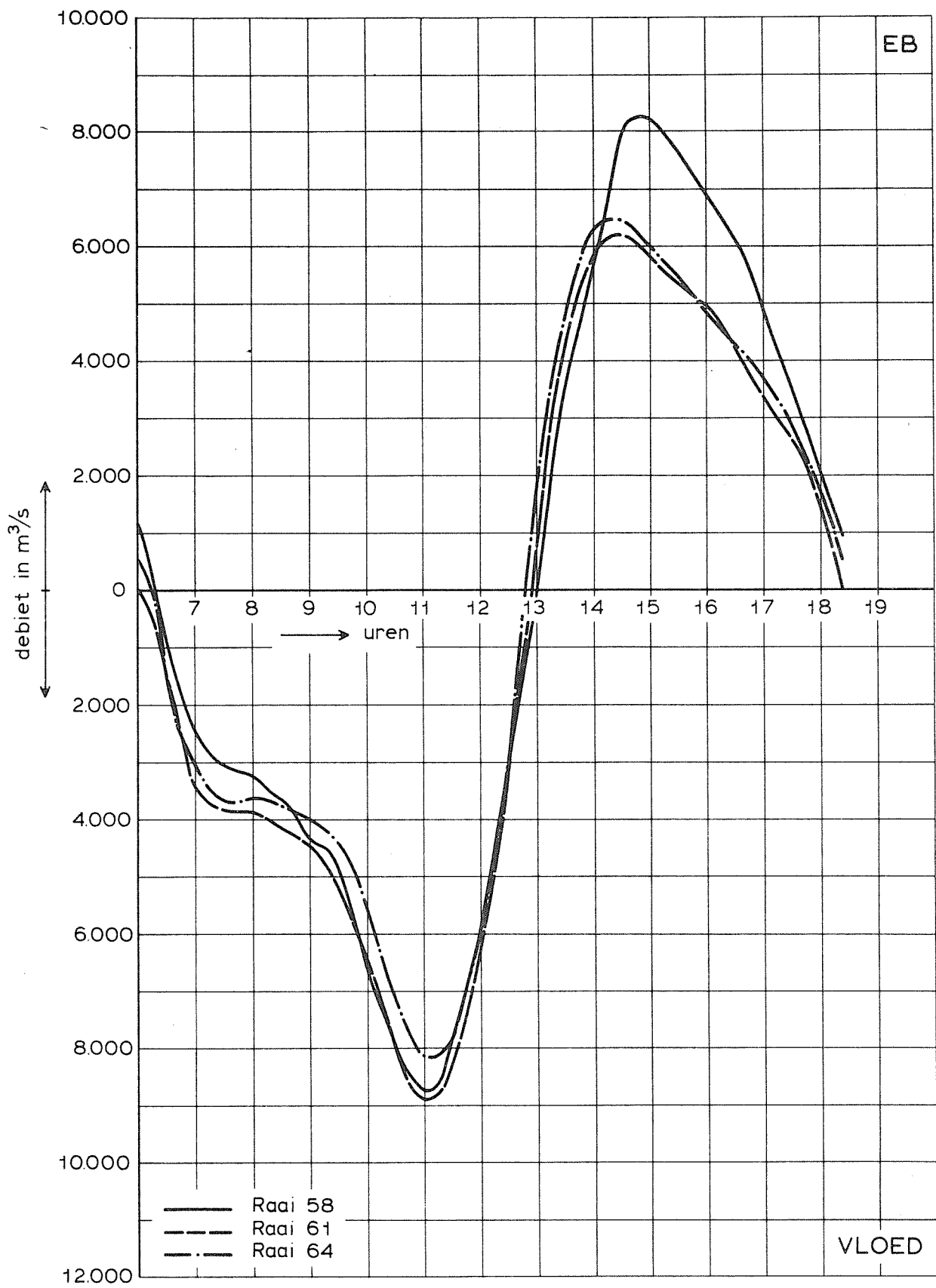
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 38



DEBIETEN

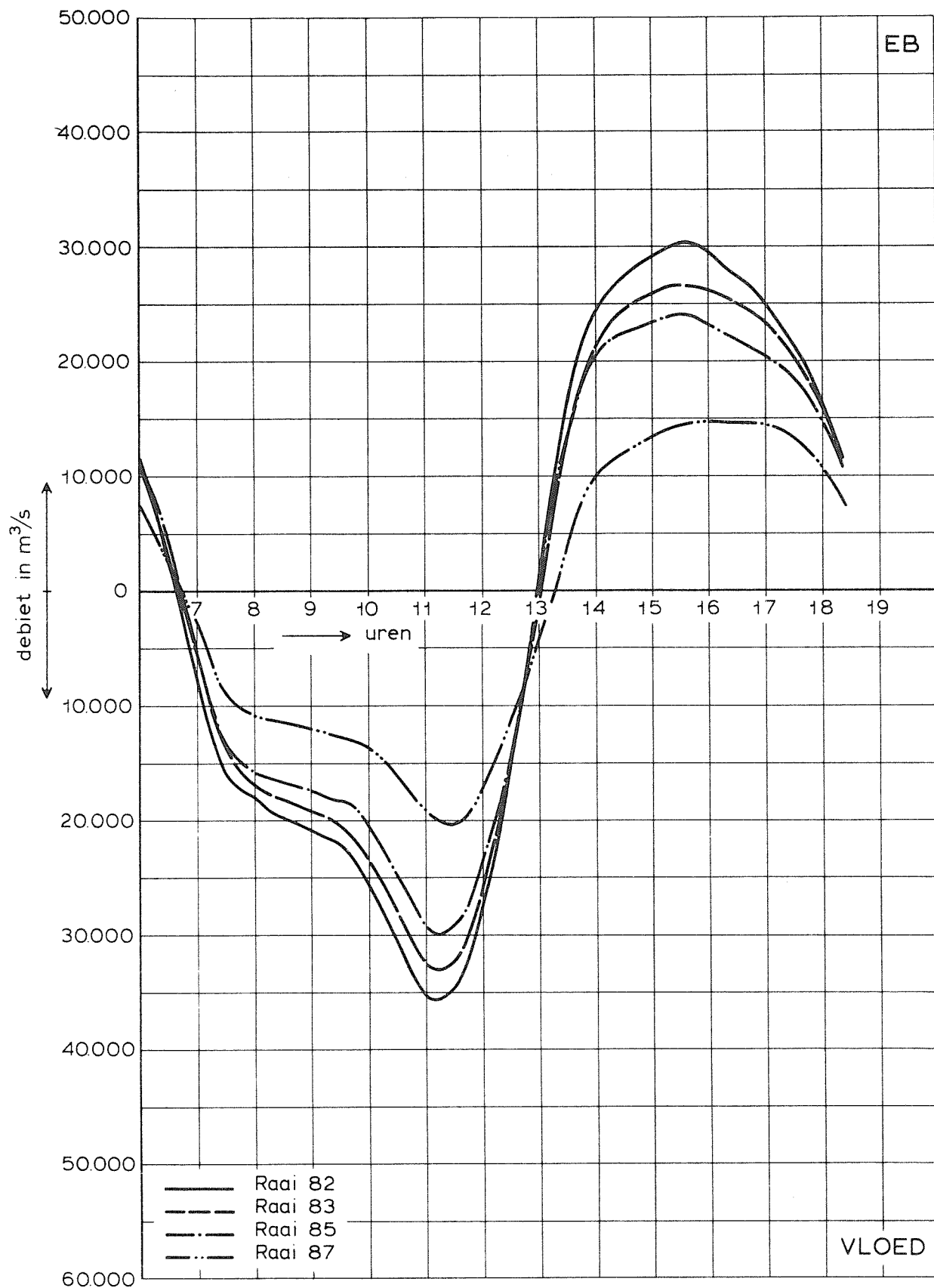
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 39



DEBIETEN

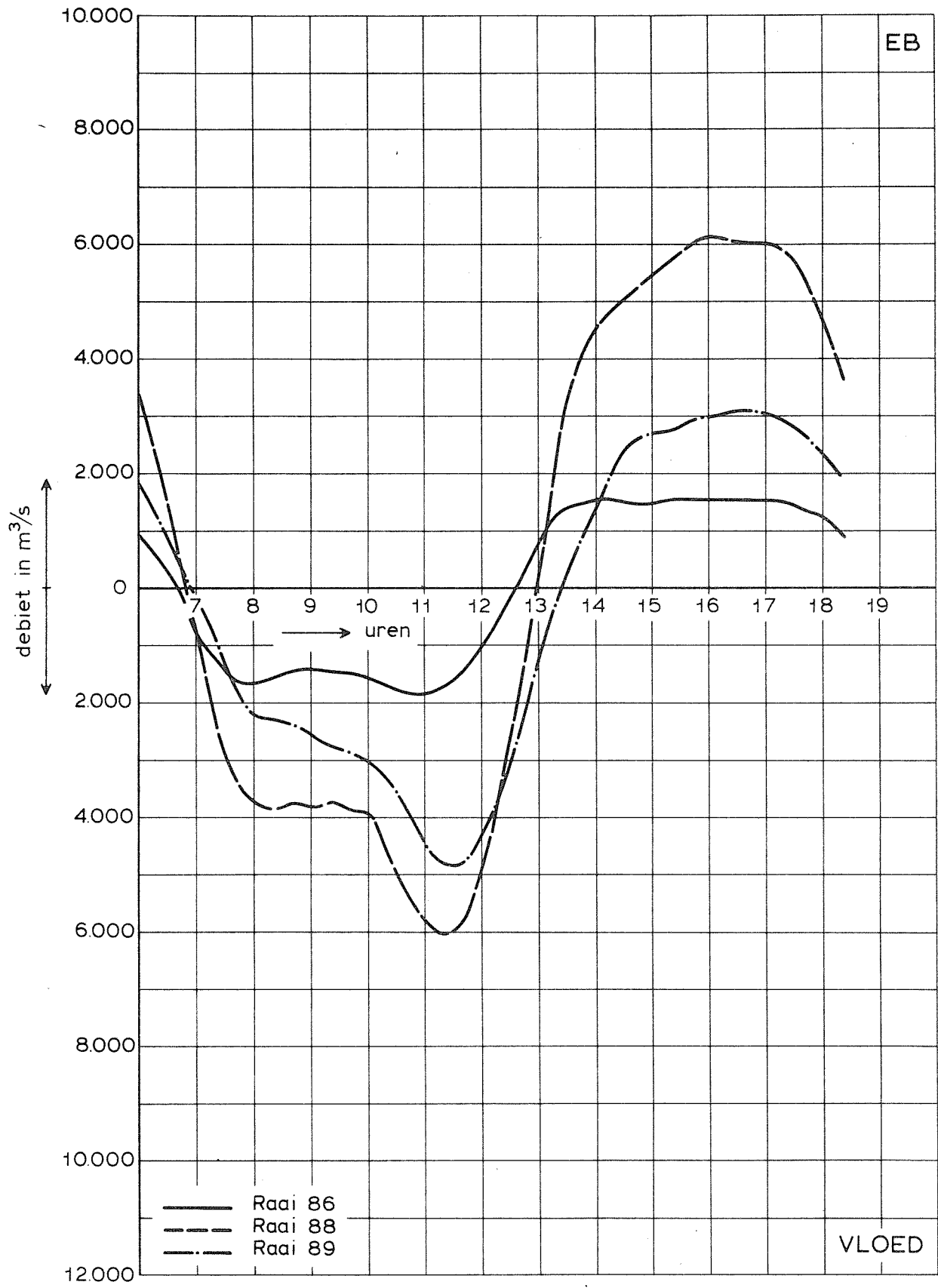
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 40



DEBIETEN

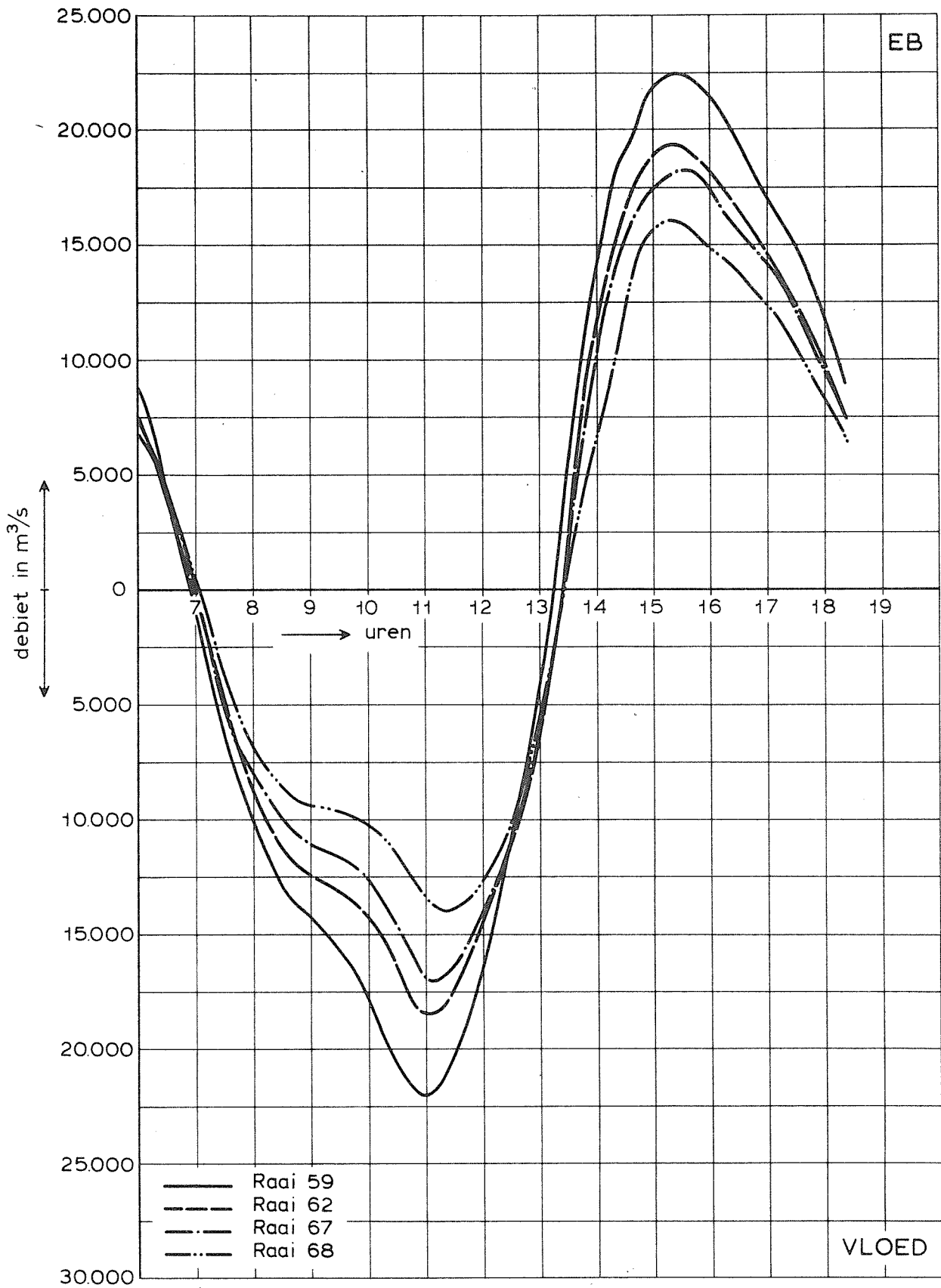
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 41



DEBIETEN

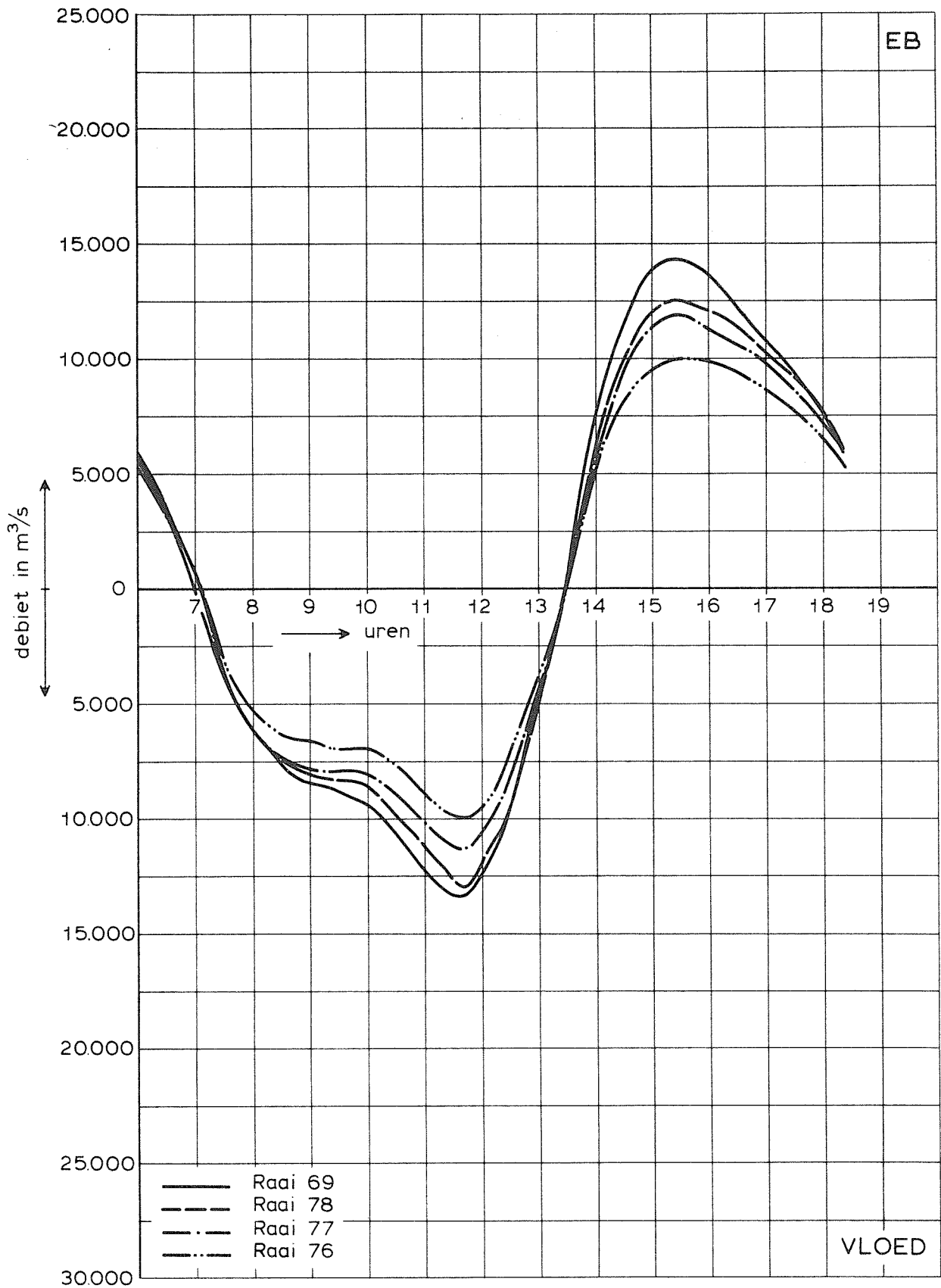
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 42



DEBIETEN

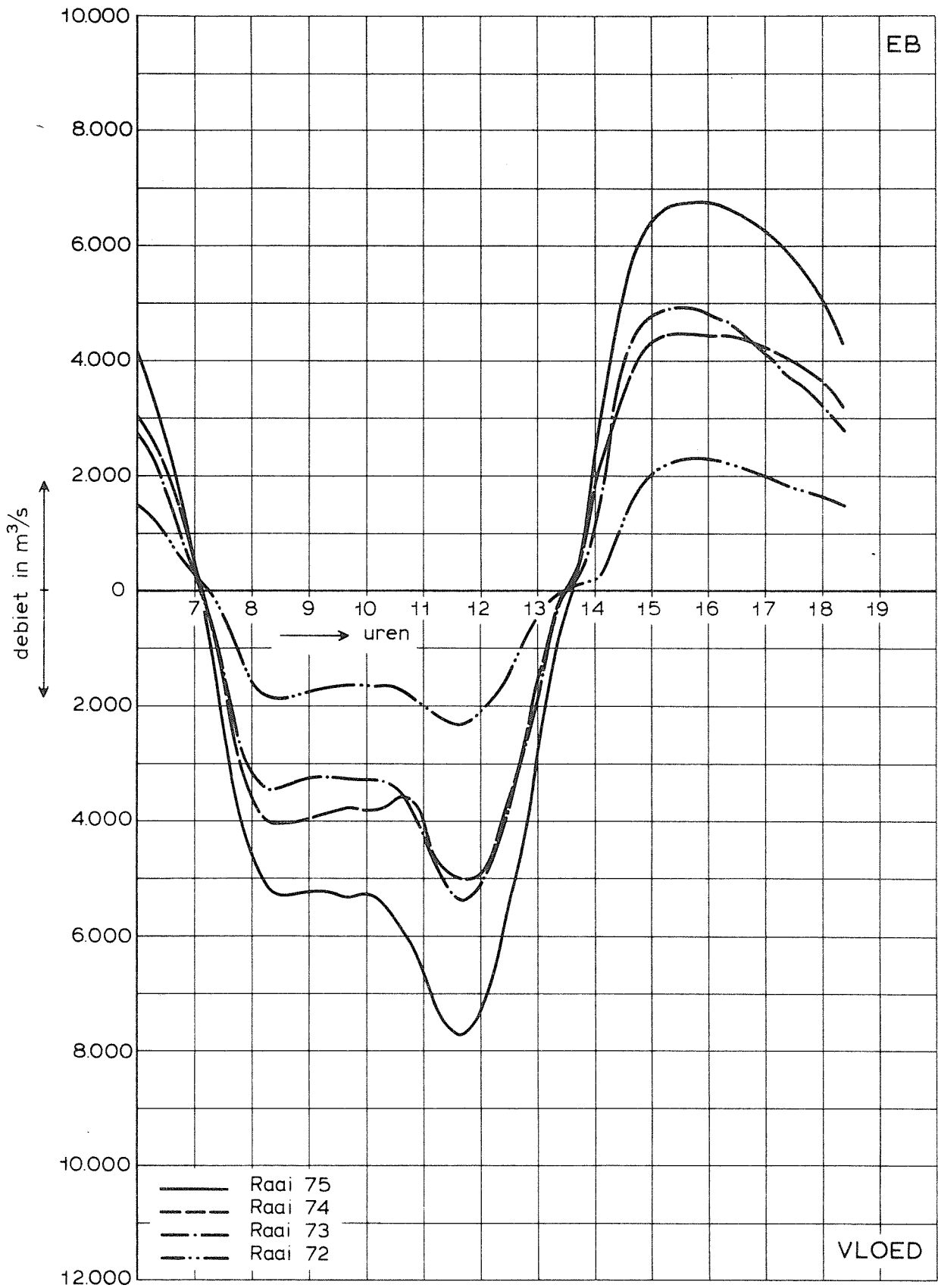
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 43



DEBIETEN

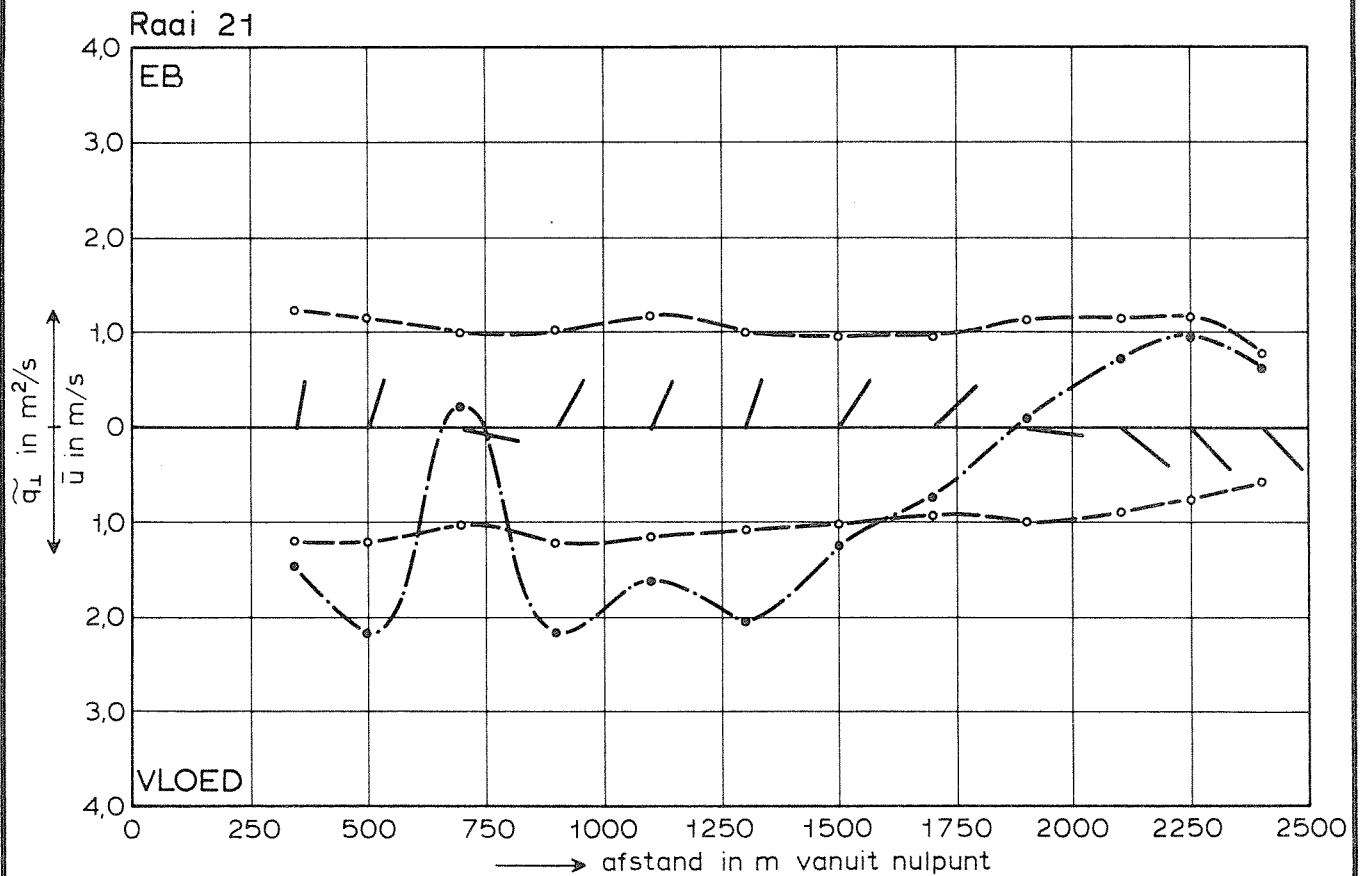
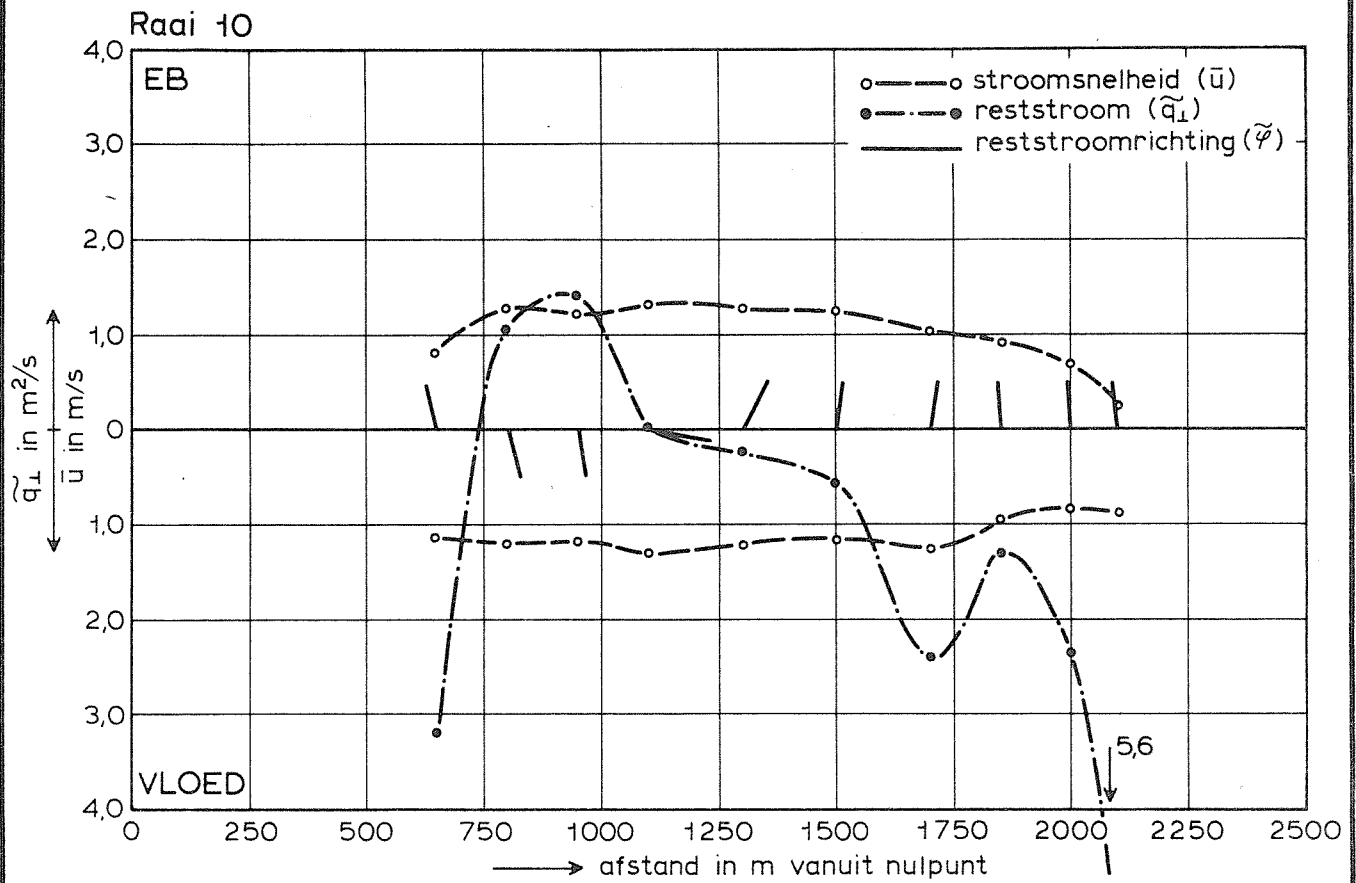
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 4 4



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

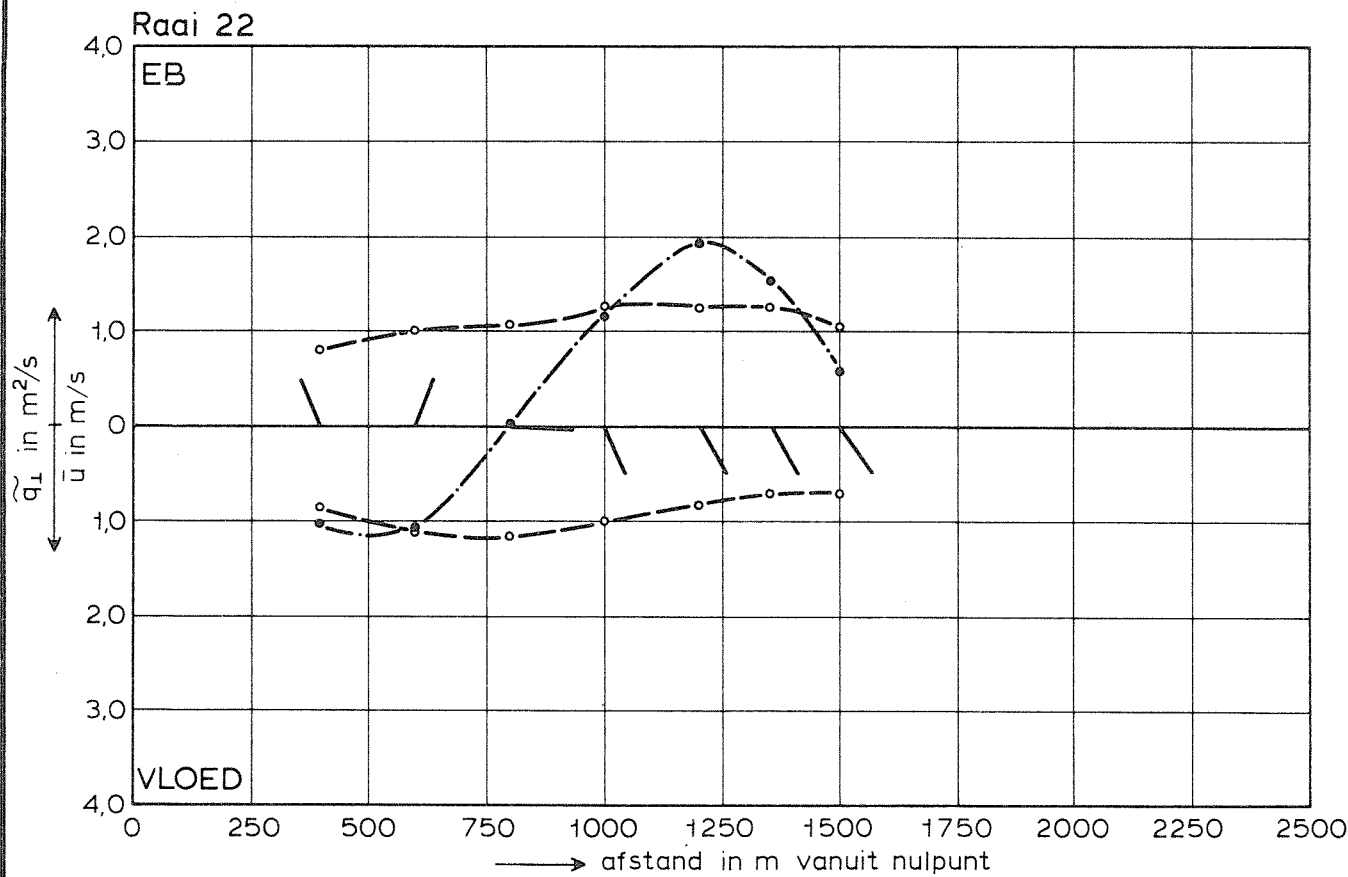
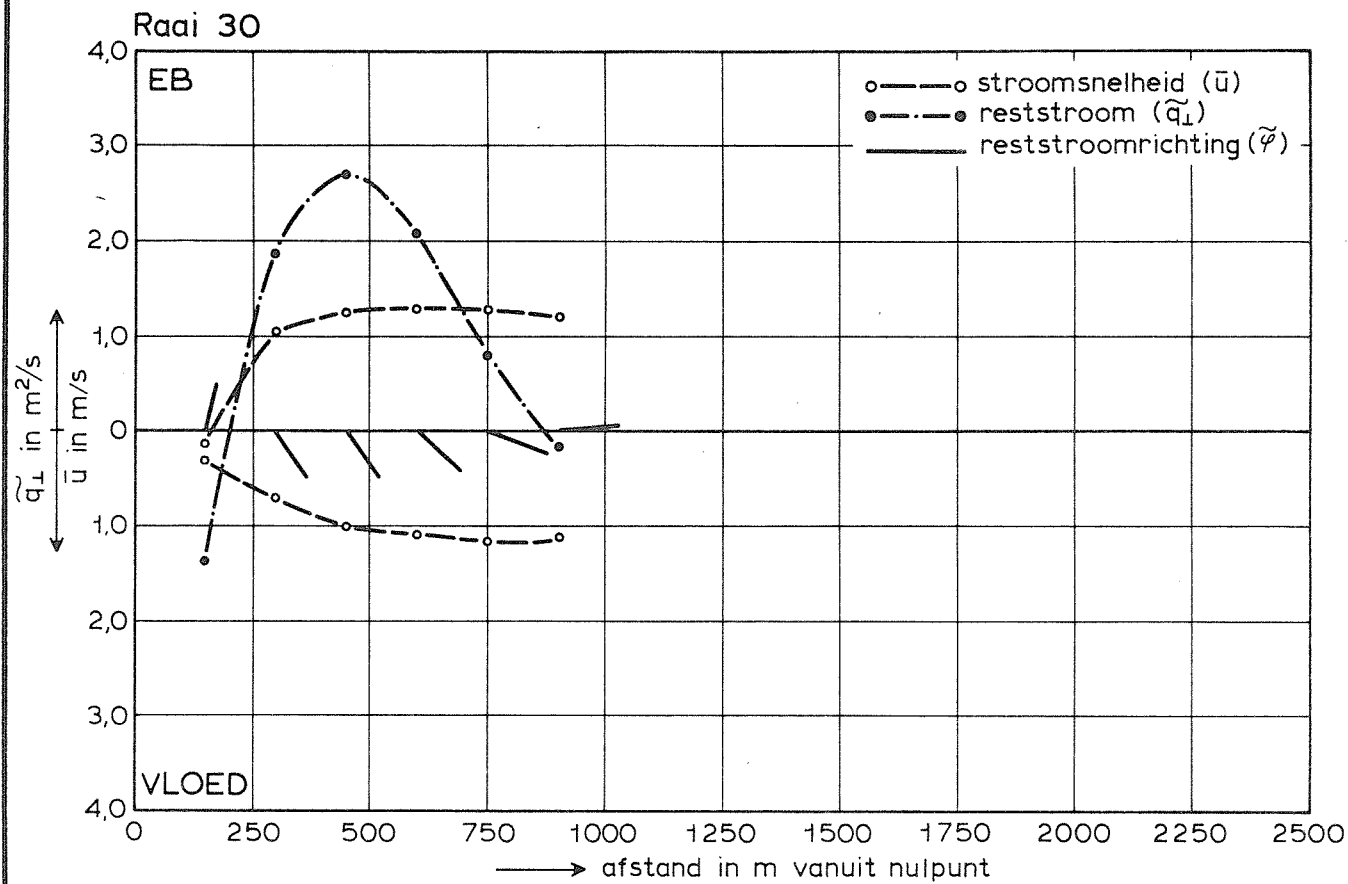
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 45



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

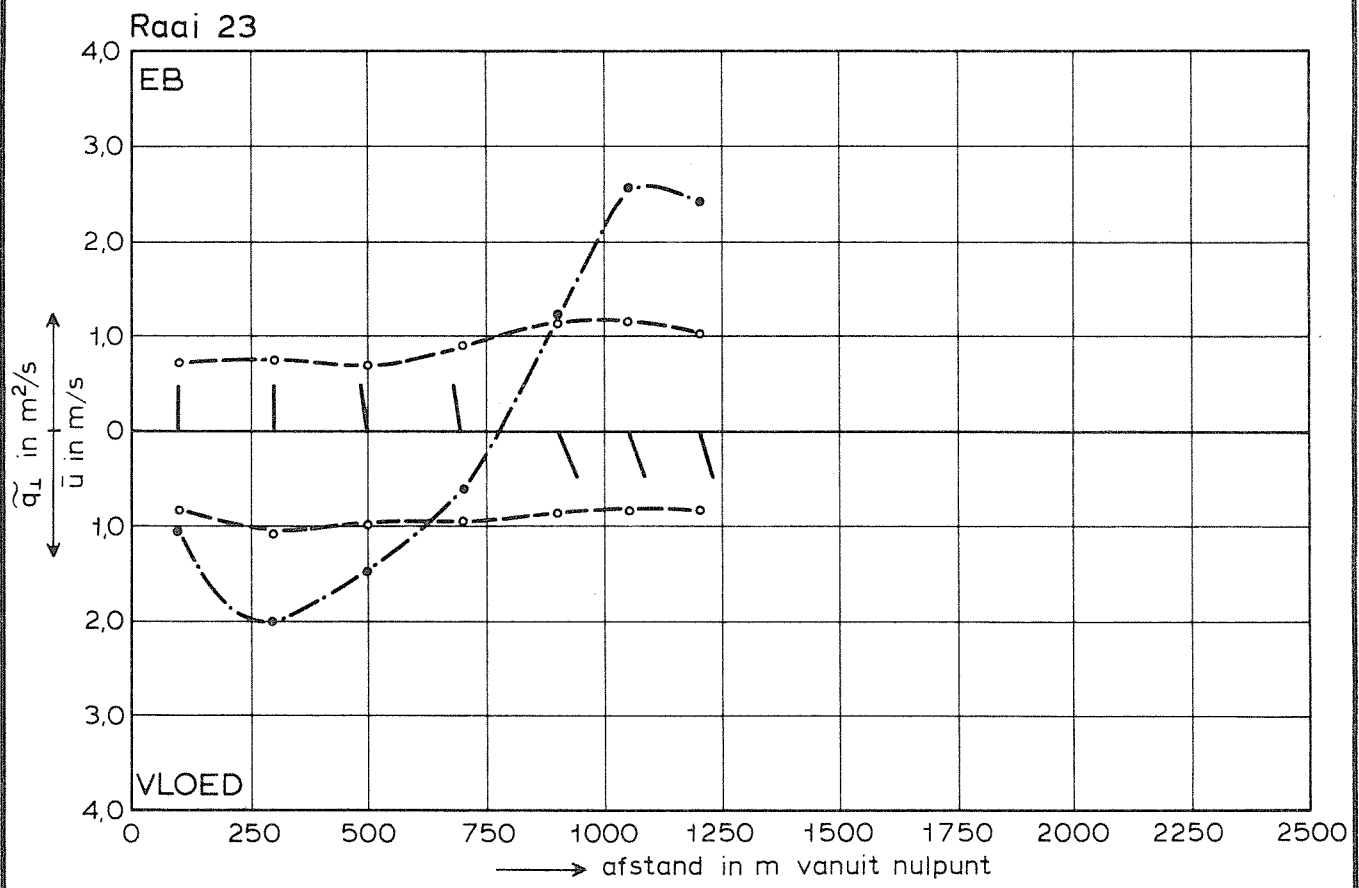
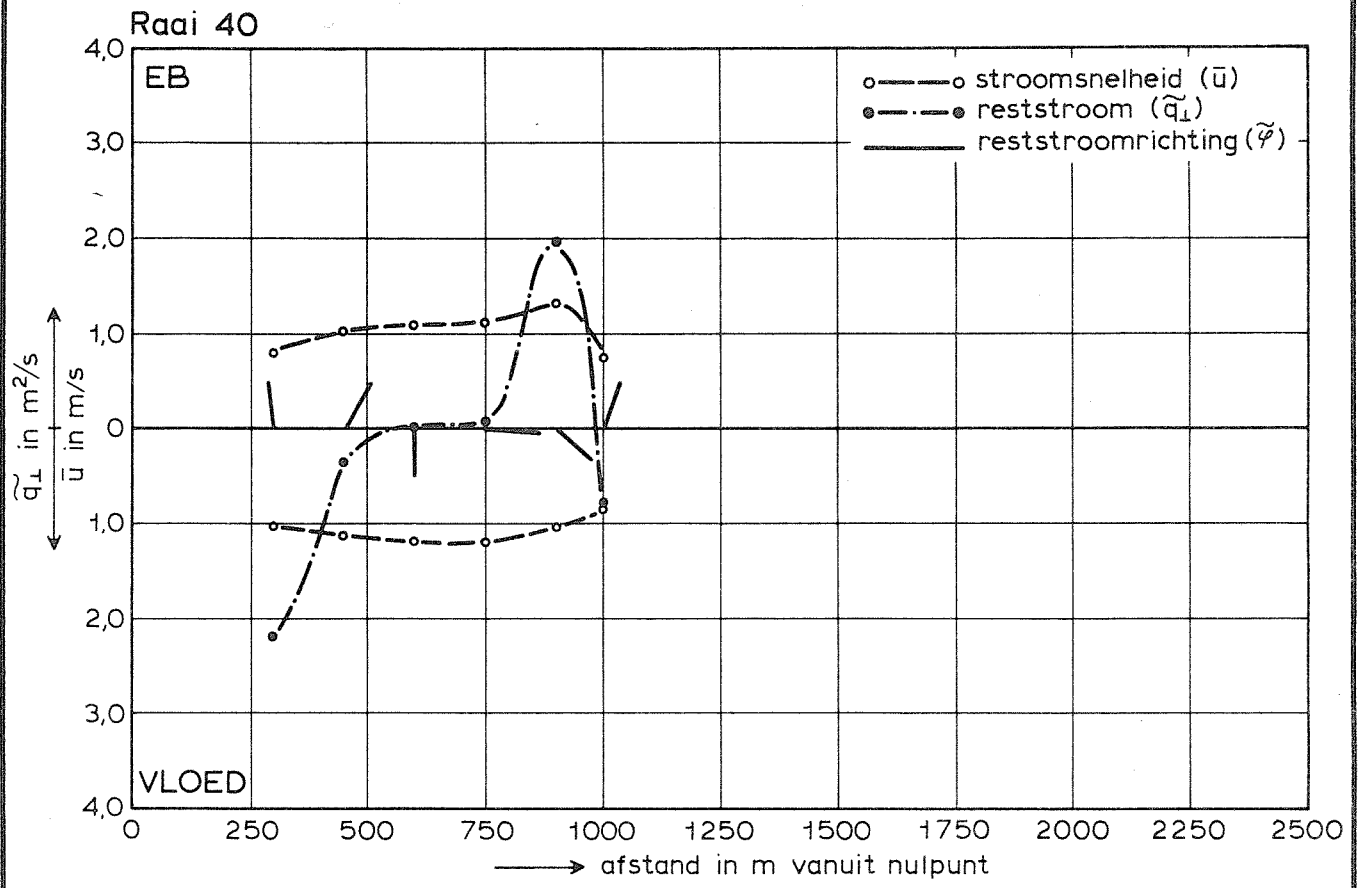
T 345

1971.0

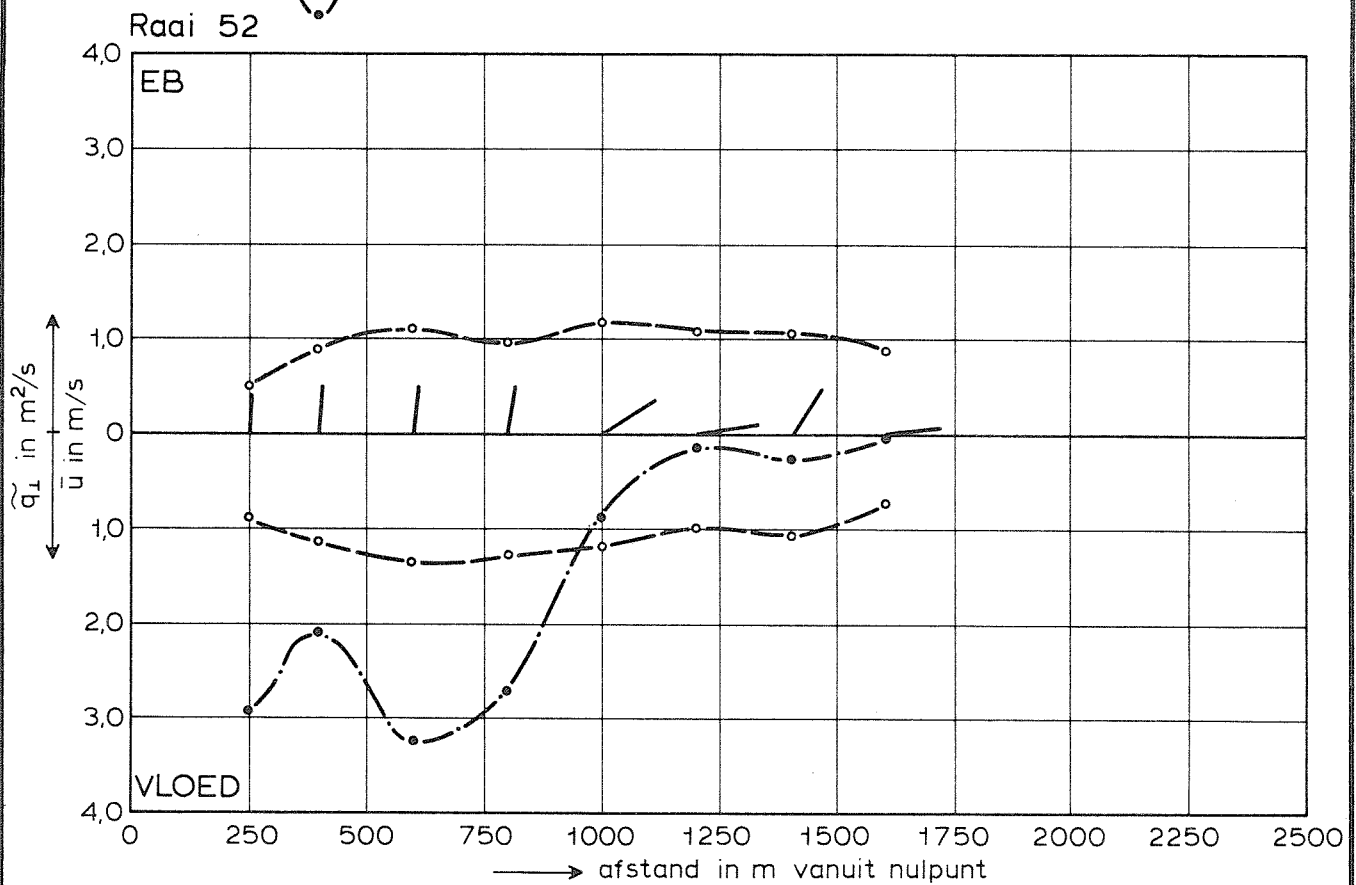
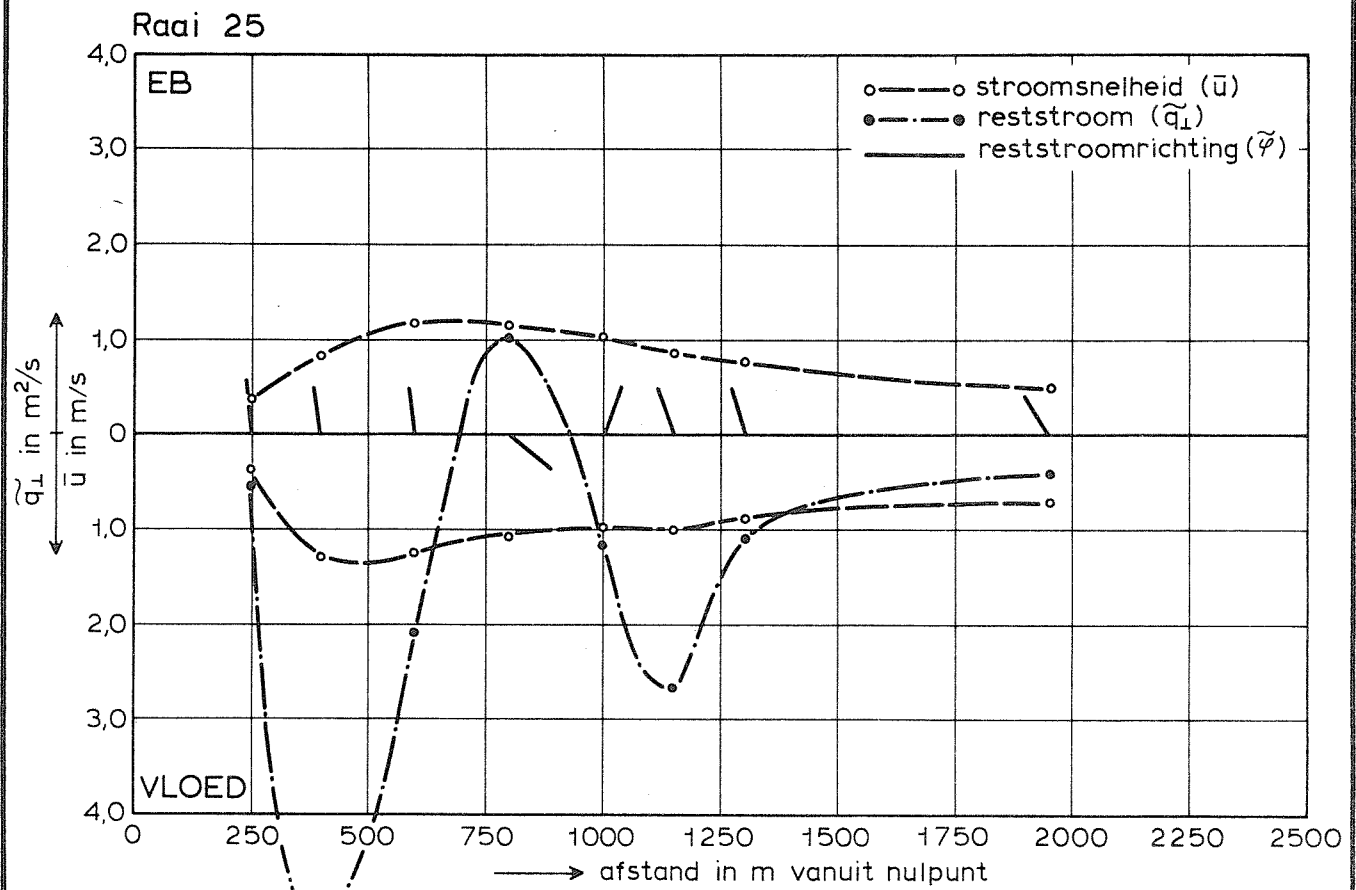
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 46



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING	T 345	1971.0
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1777	FIG. 47



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

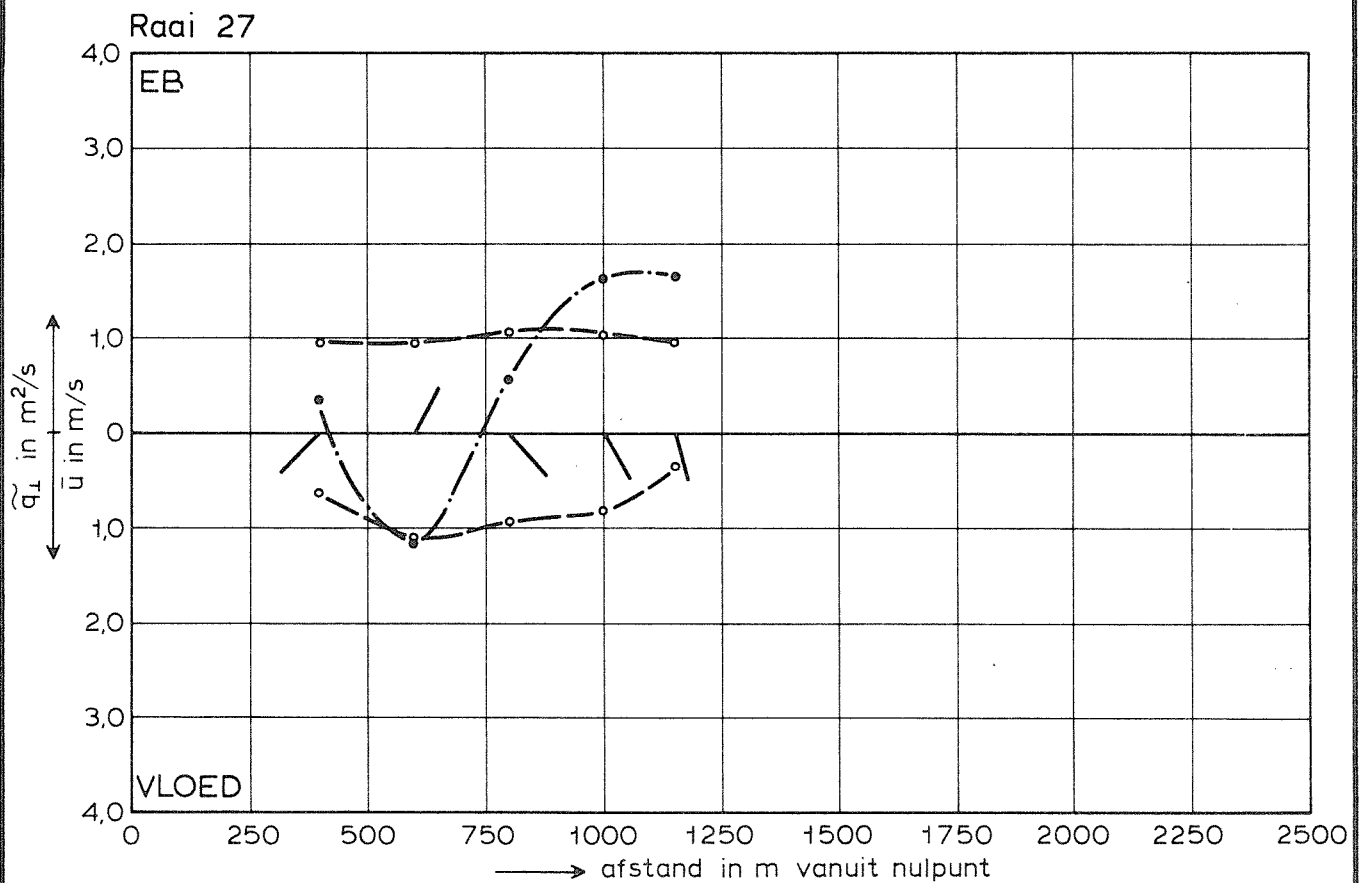
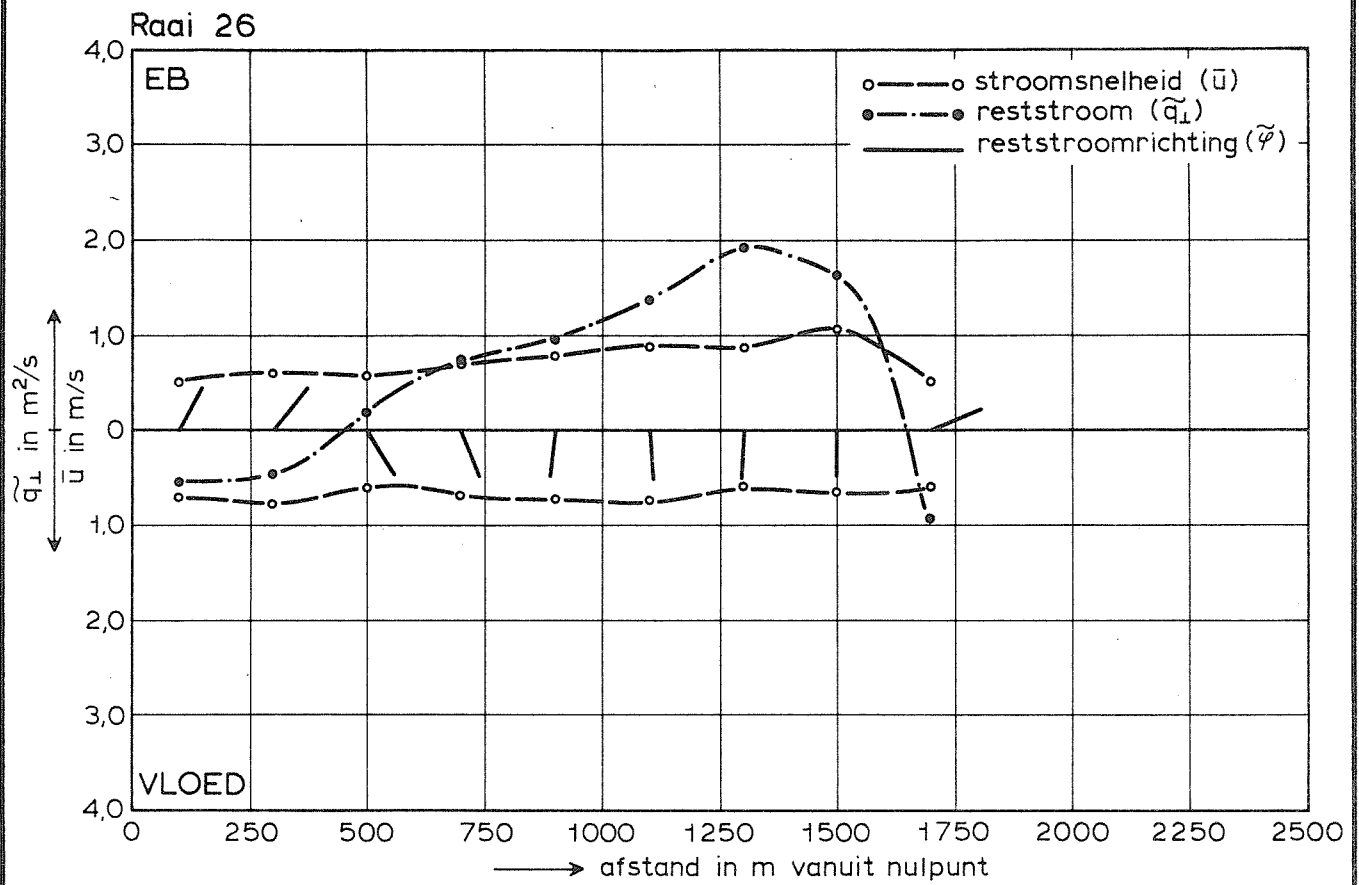
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 48



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

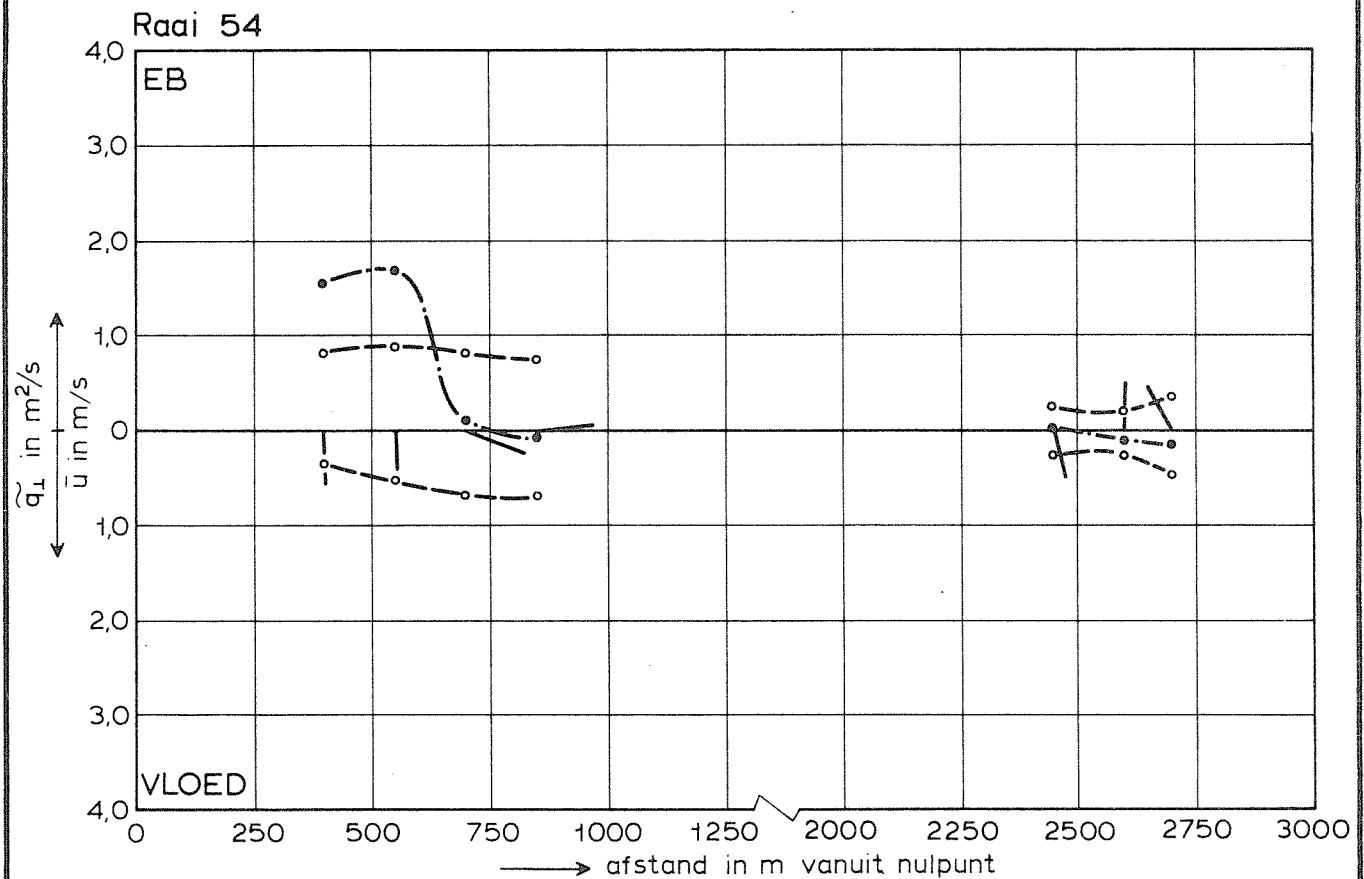
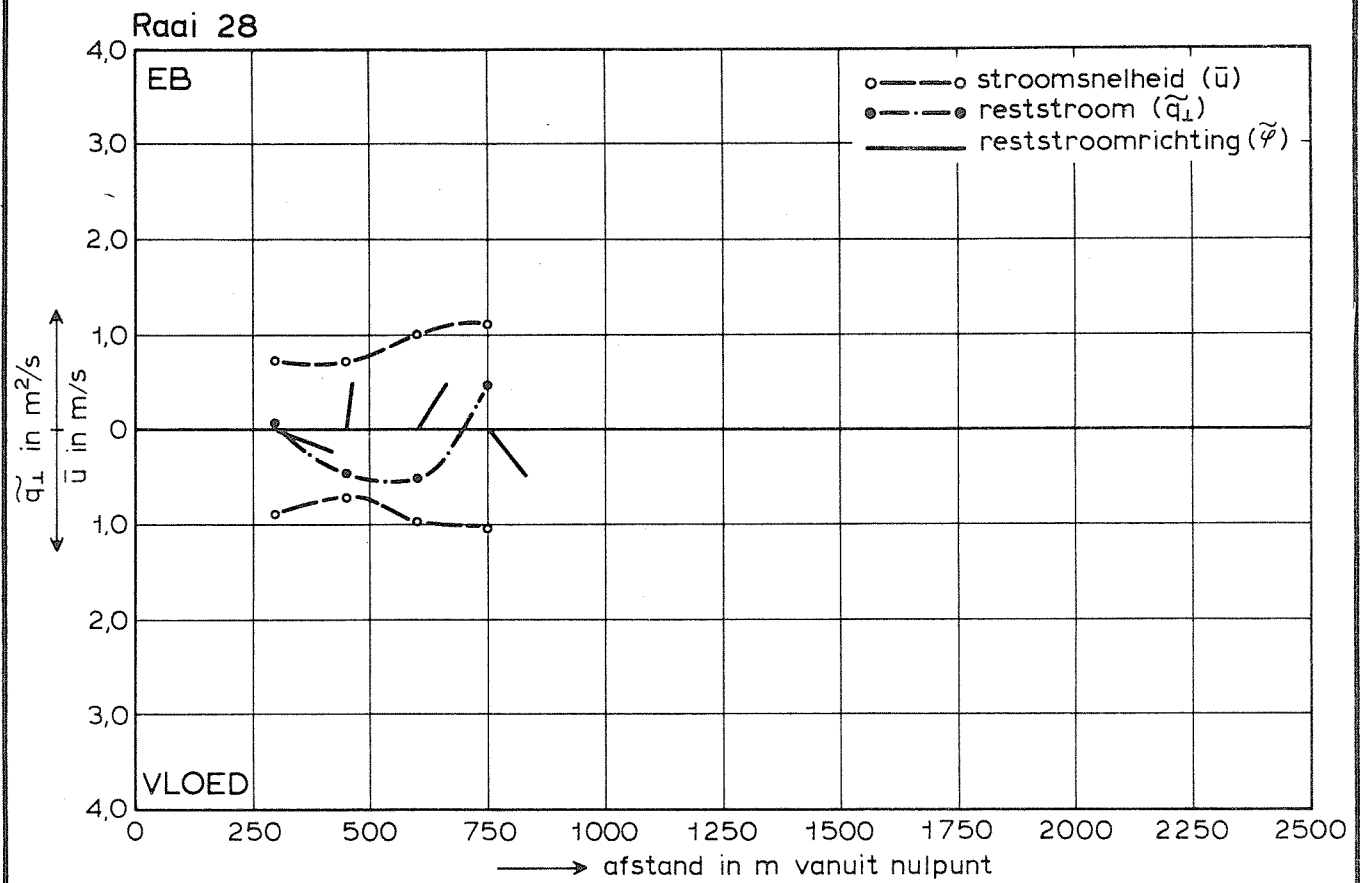
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 49



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

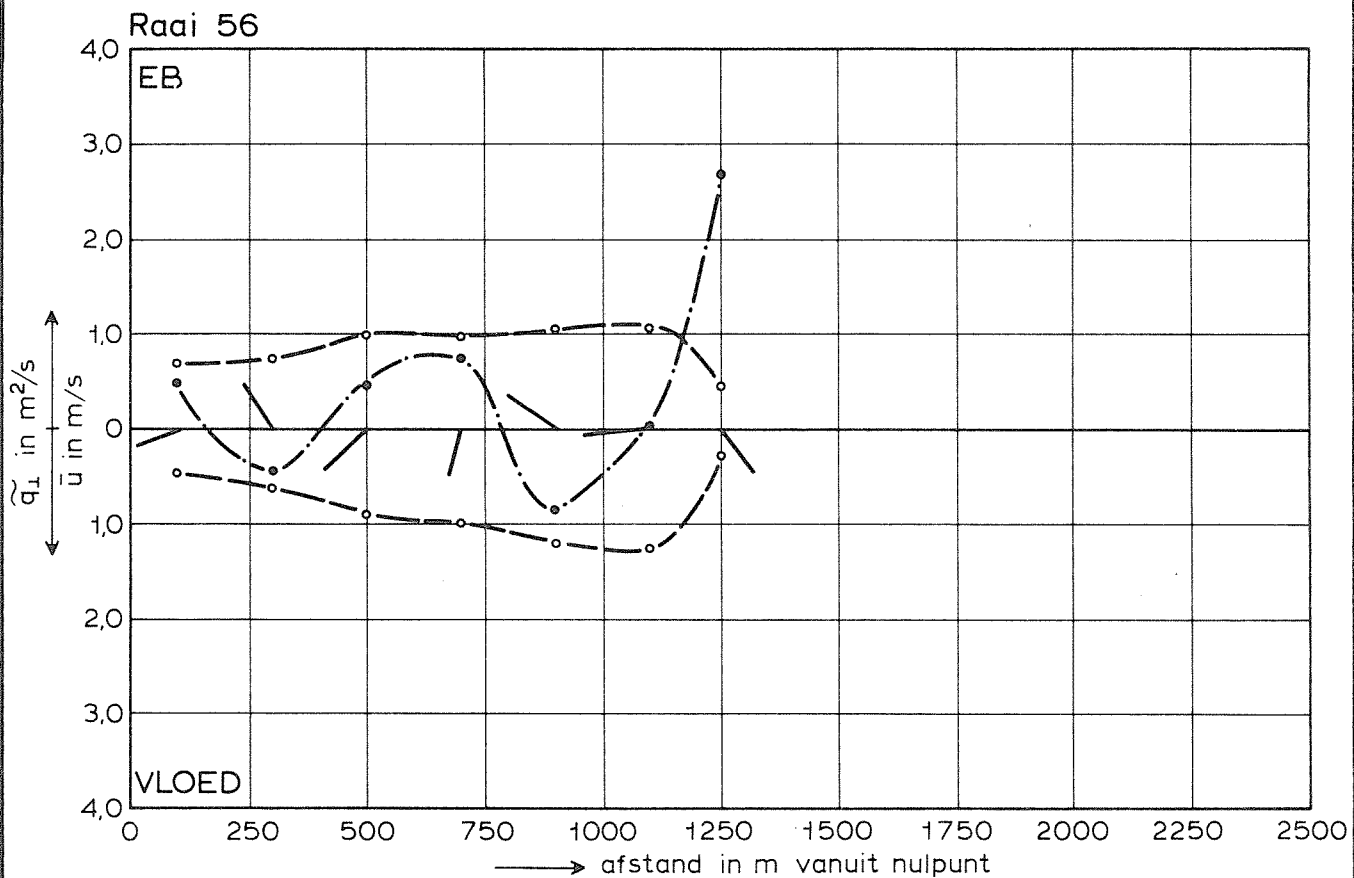
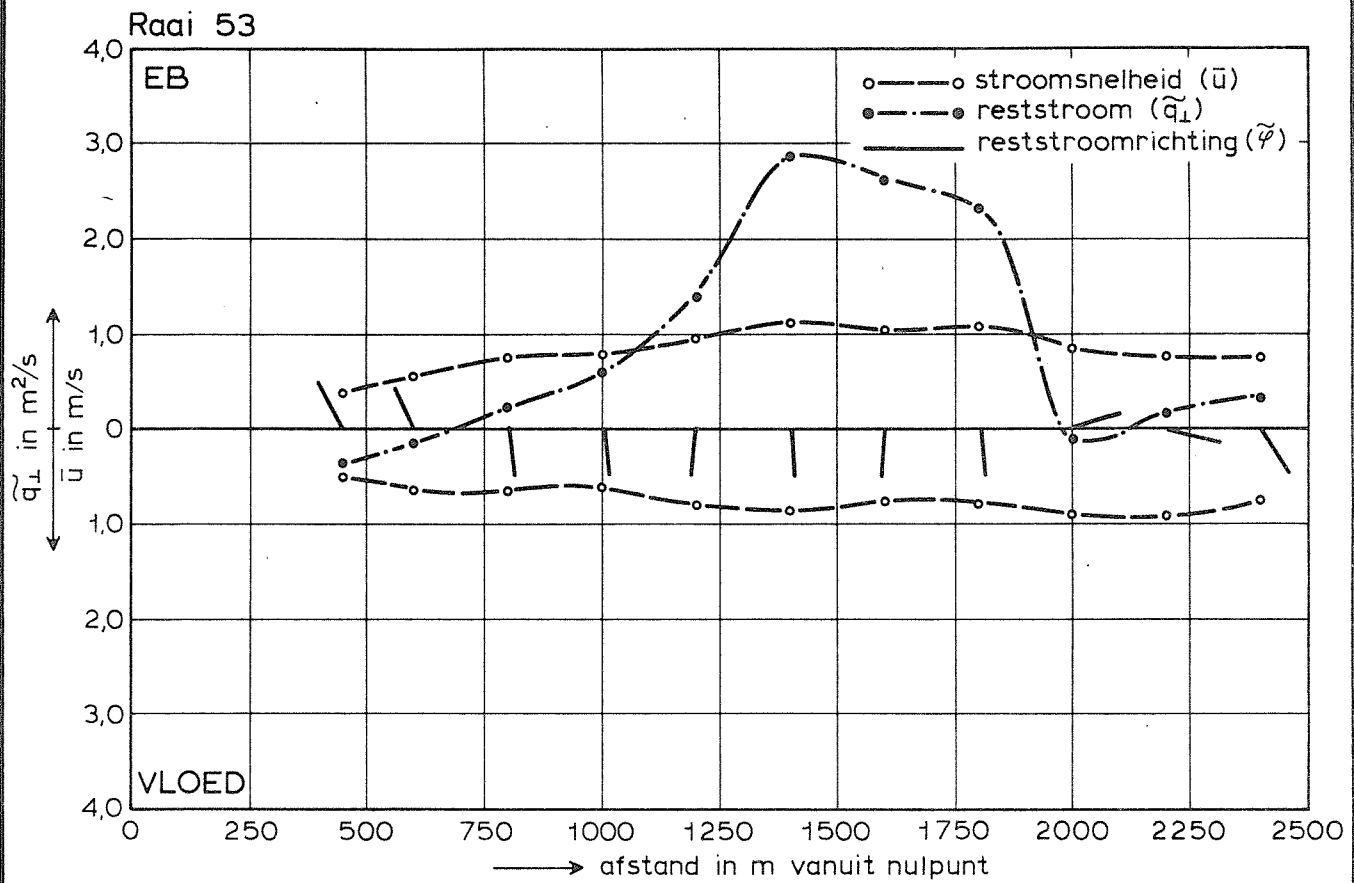
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 50



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

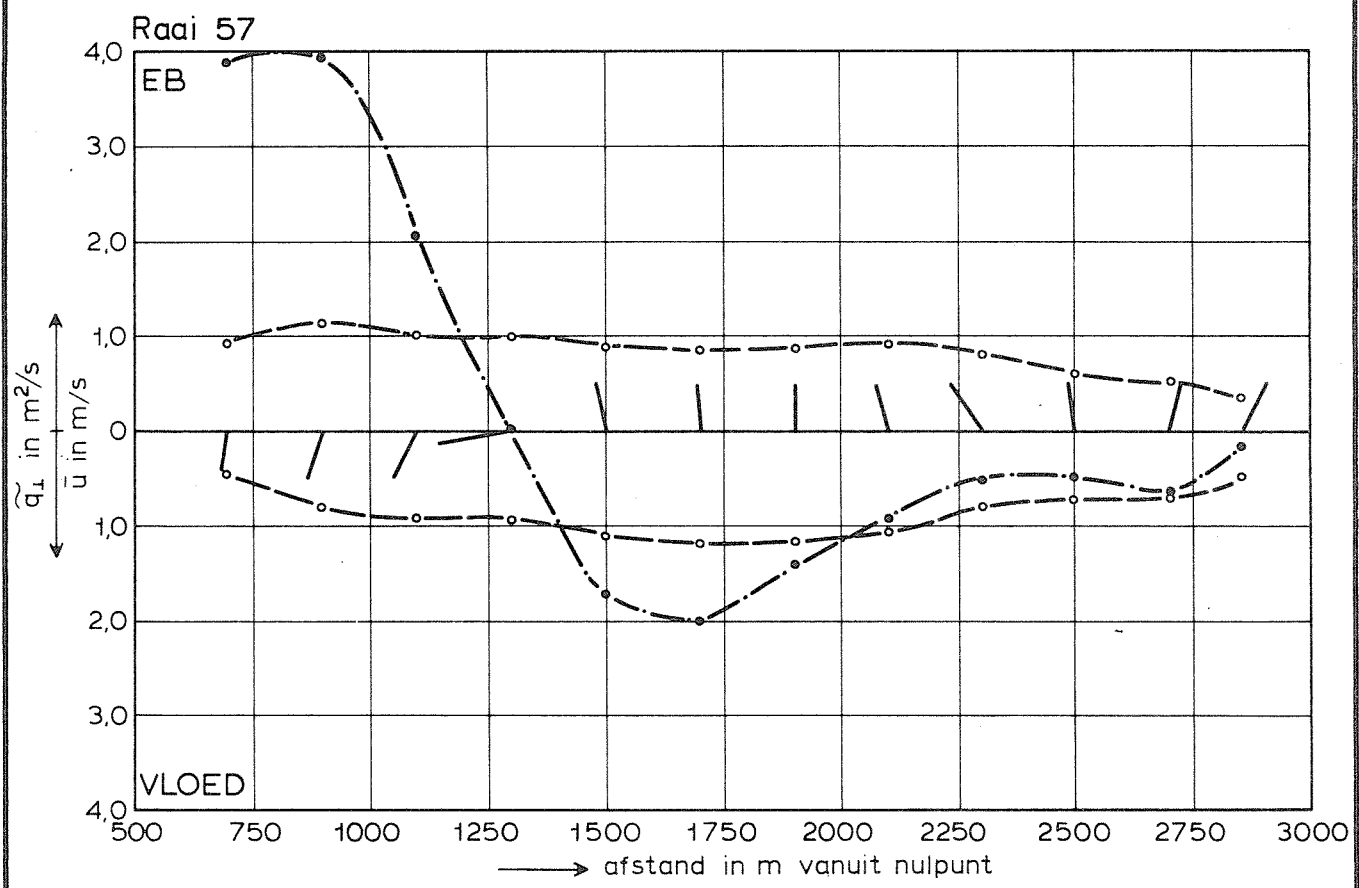
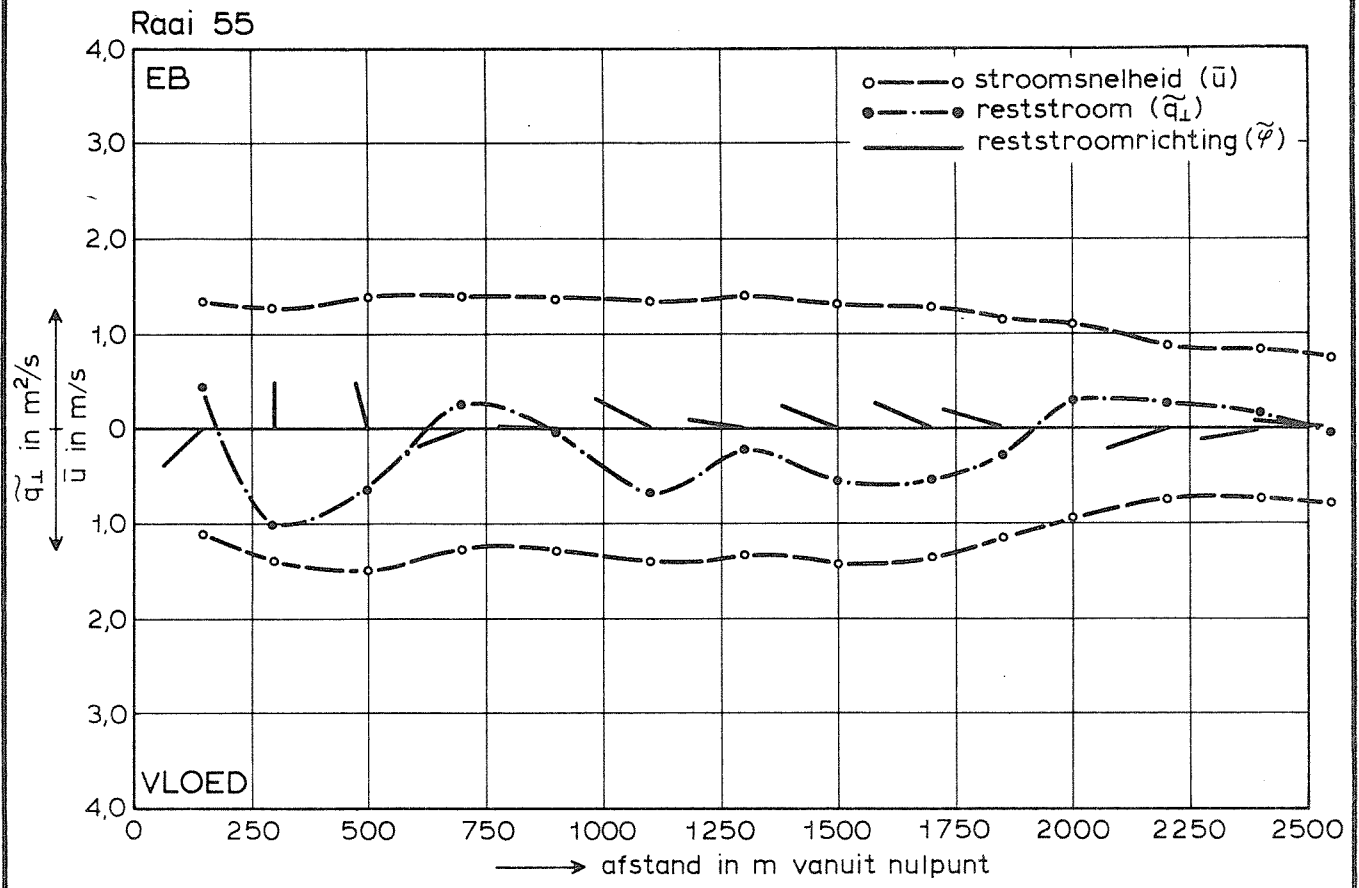
T 345

1971.0

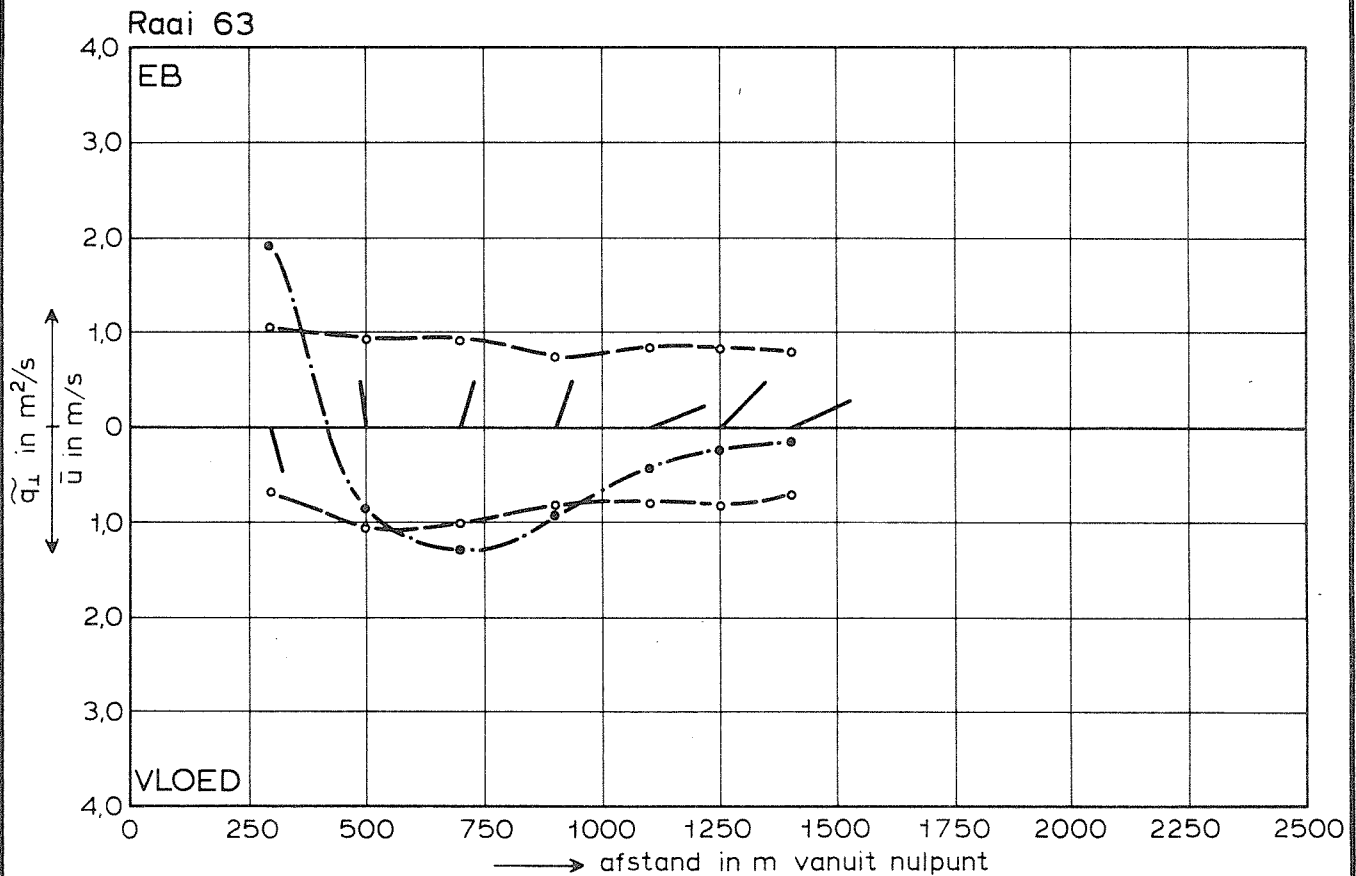
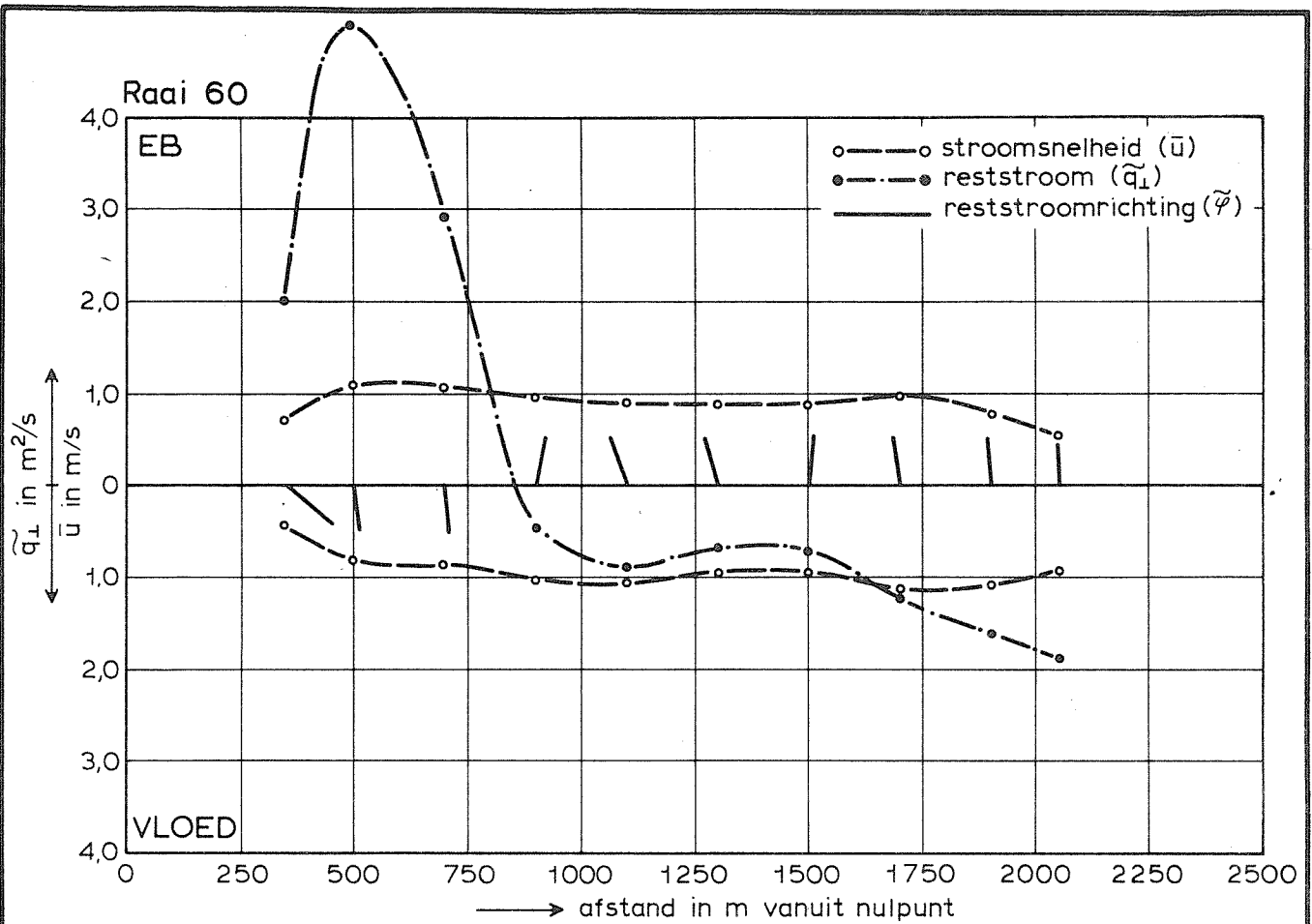
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 51



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING	T 345	1971.0
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1777	FIG. 52



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

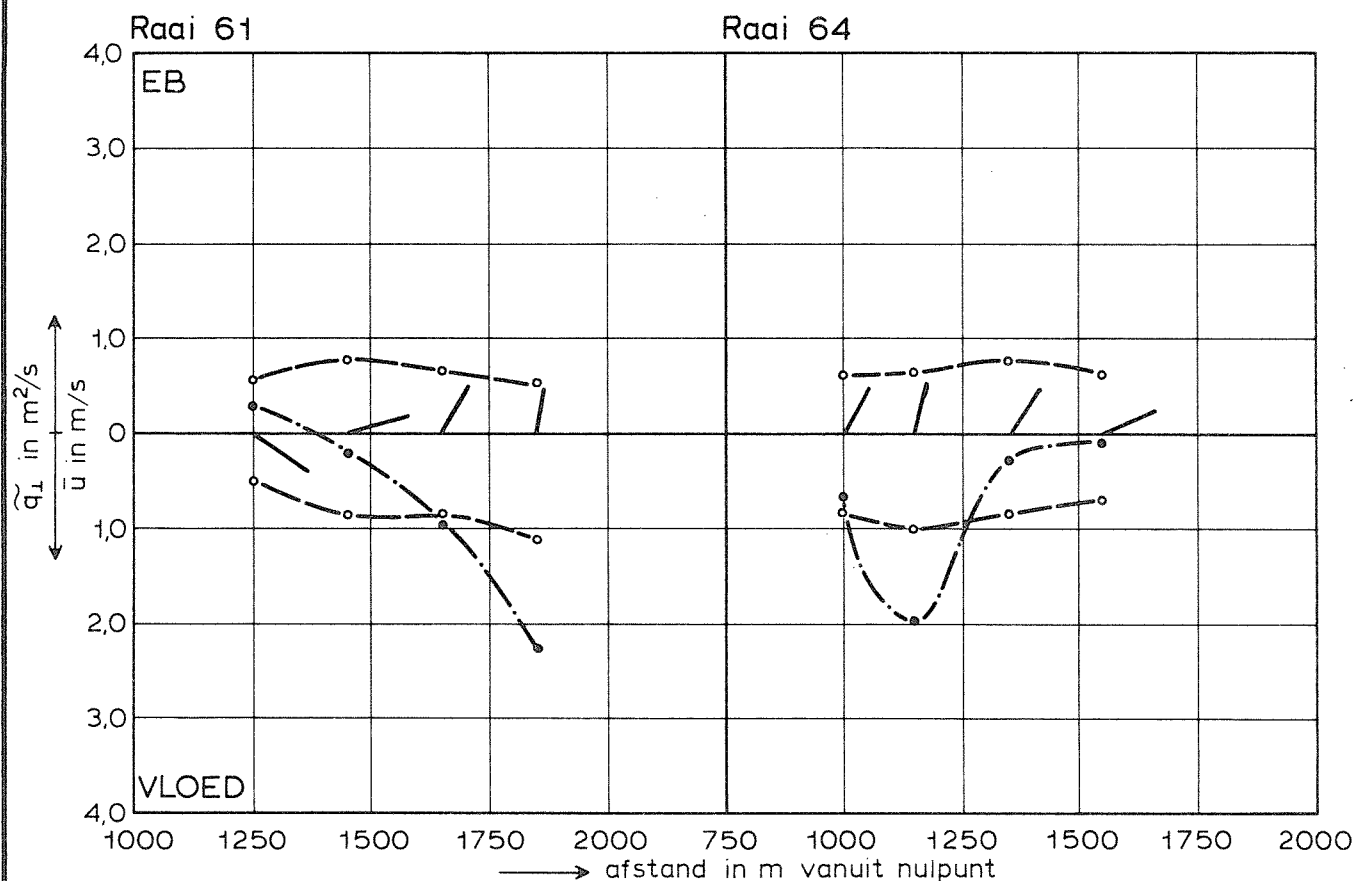
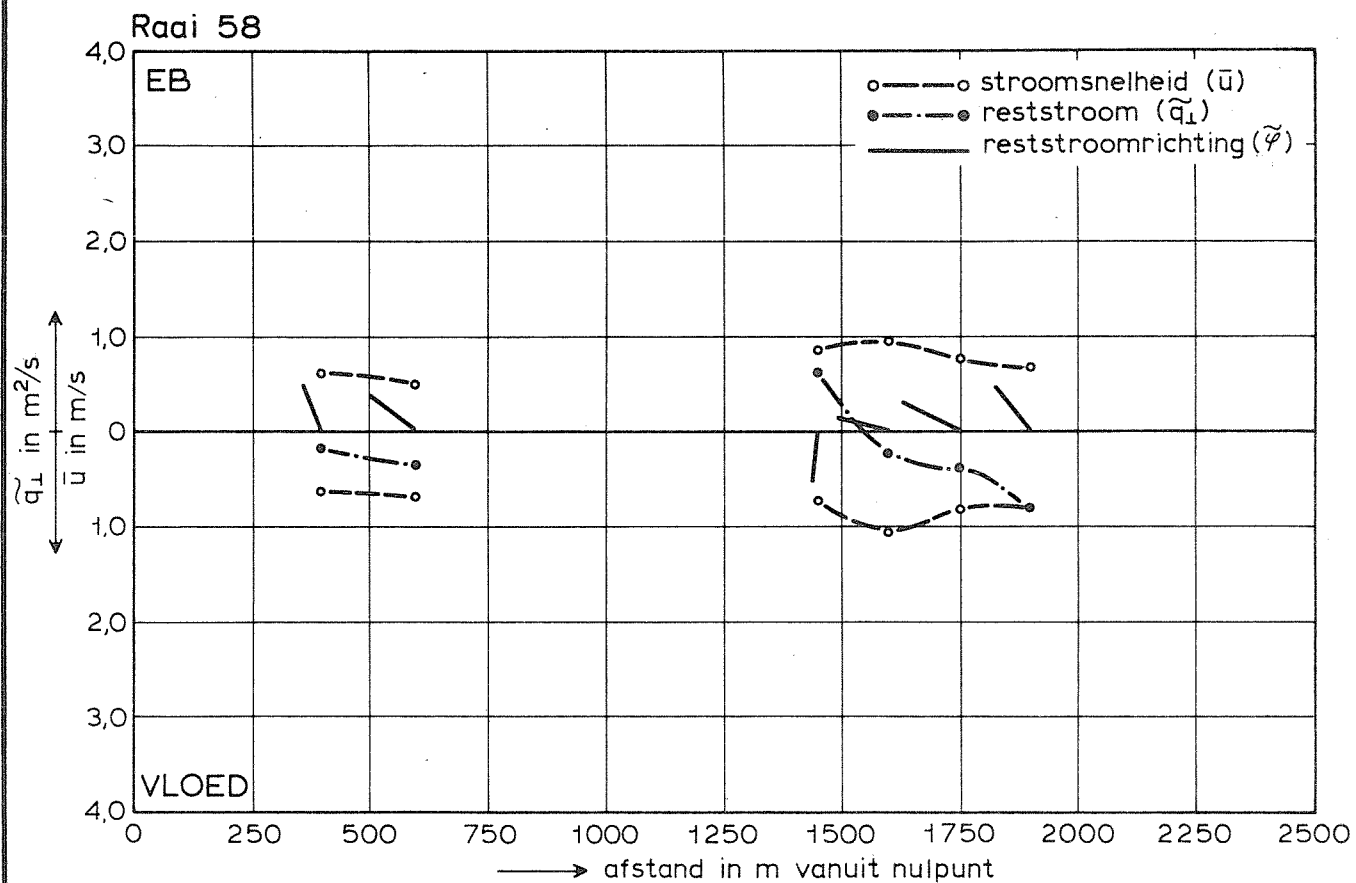
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 53



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

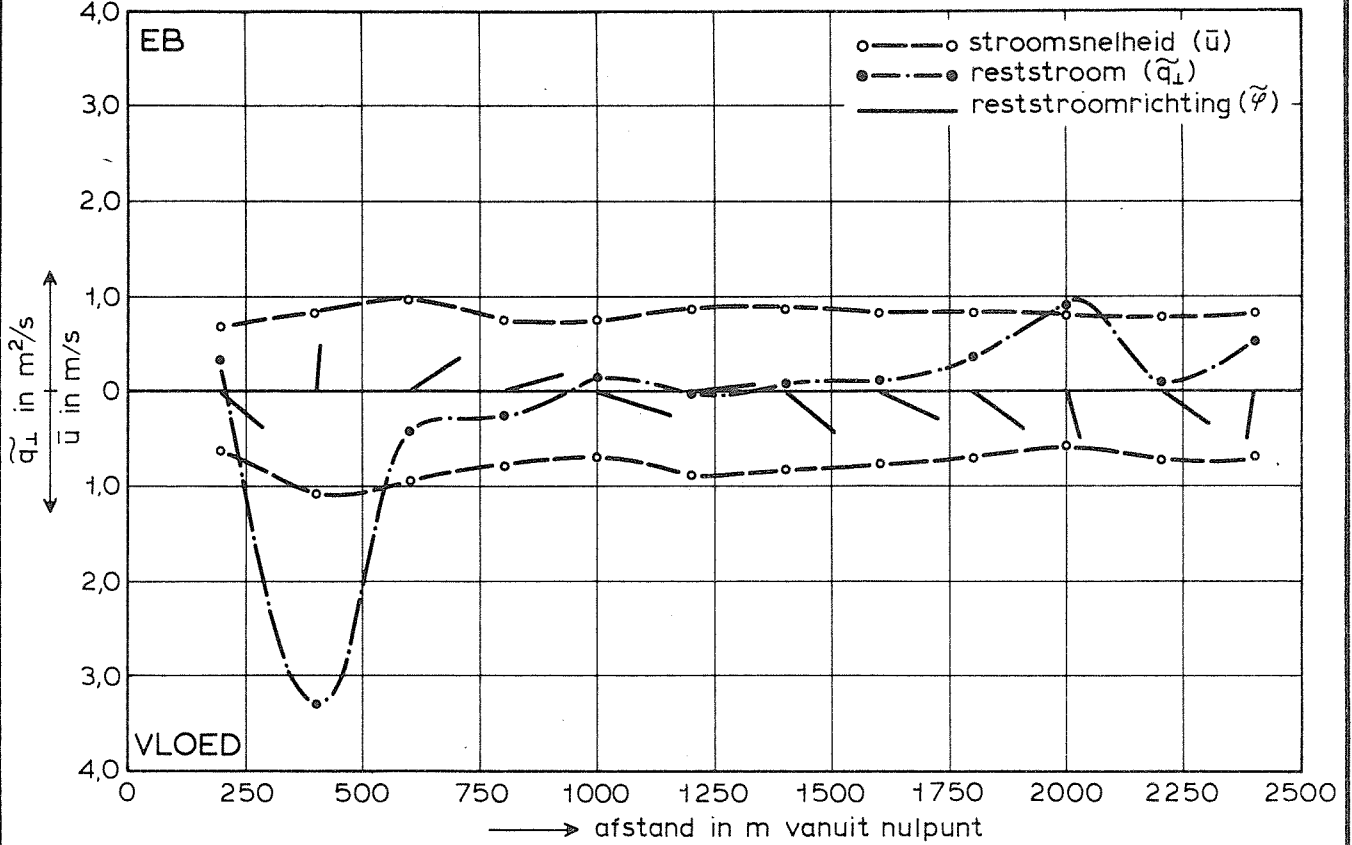
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

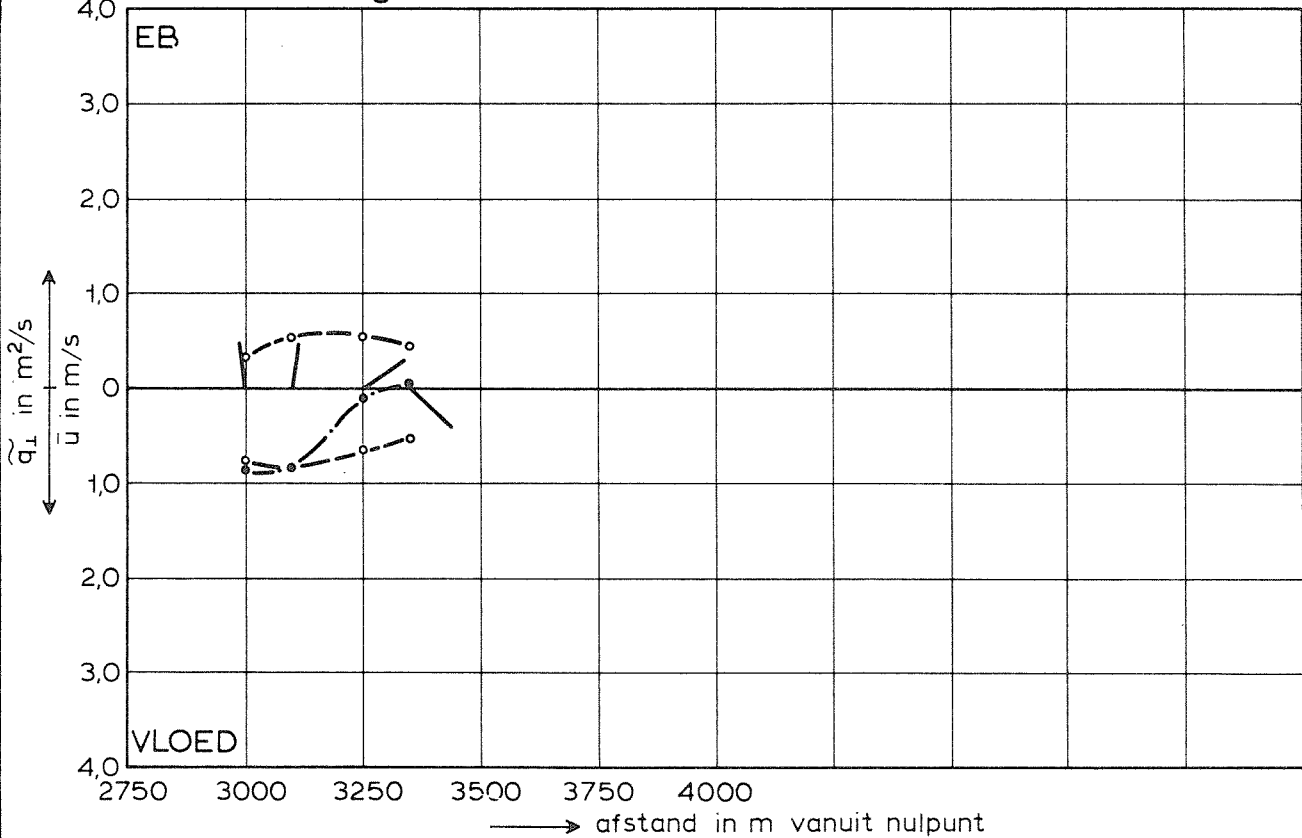
M 1777

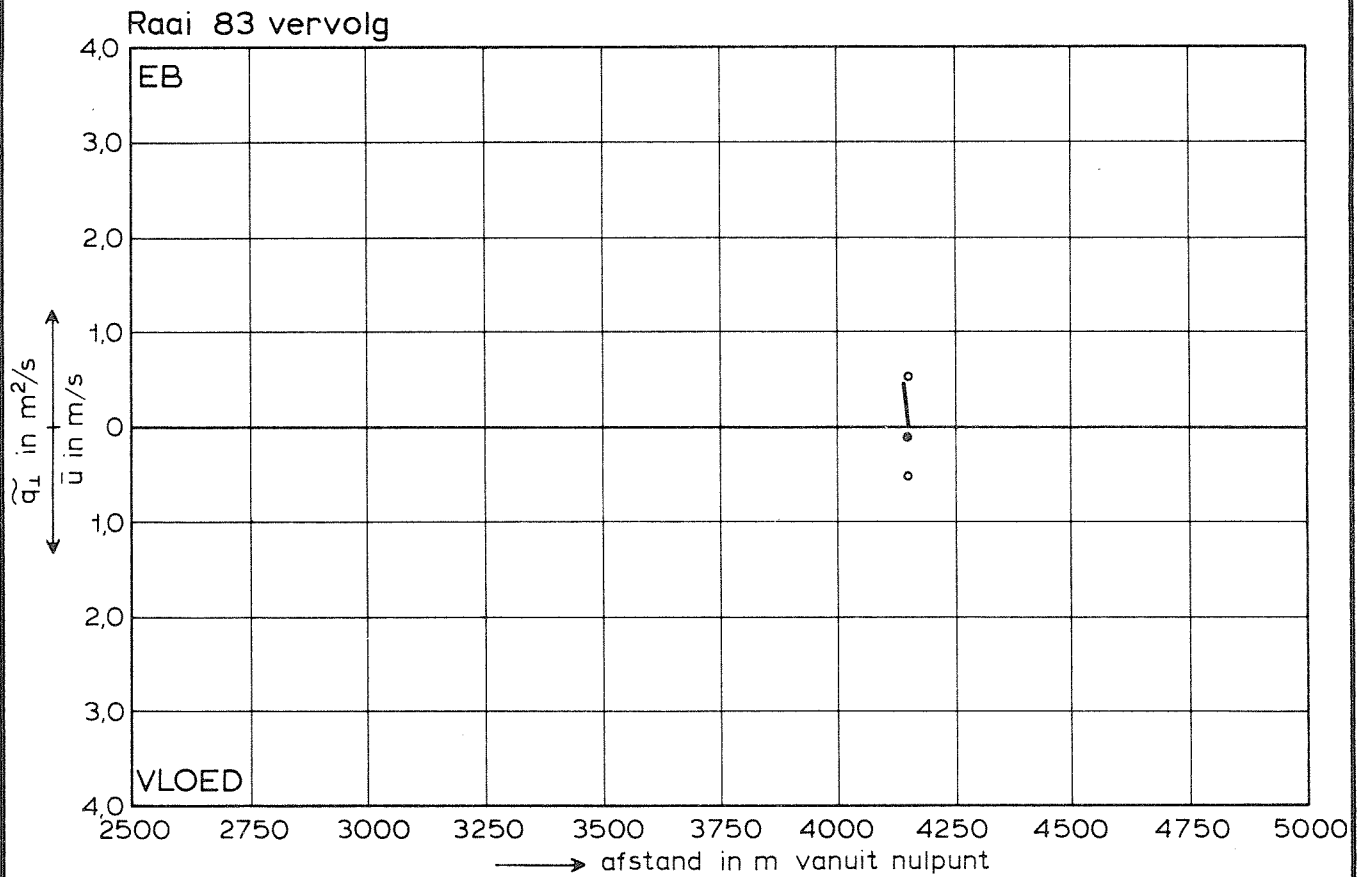
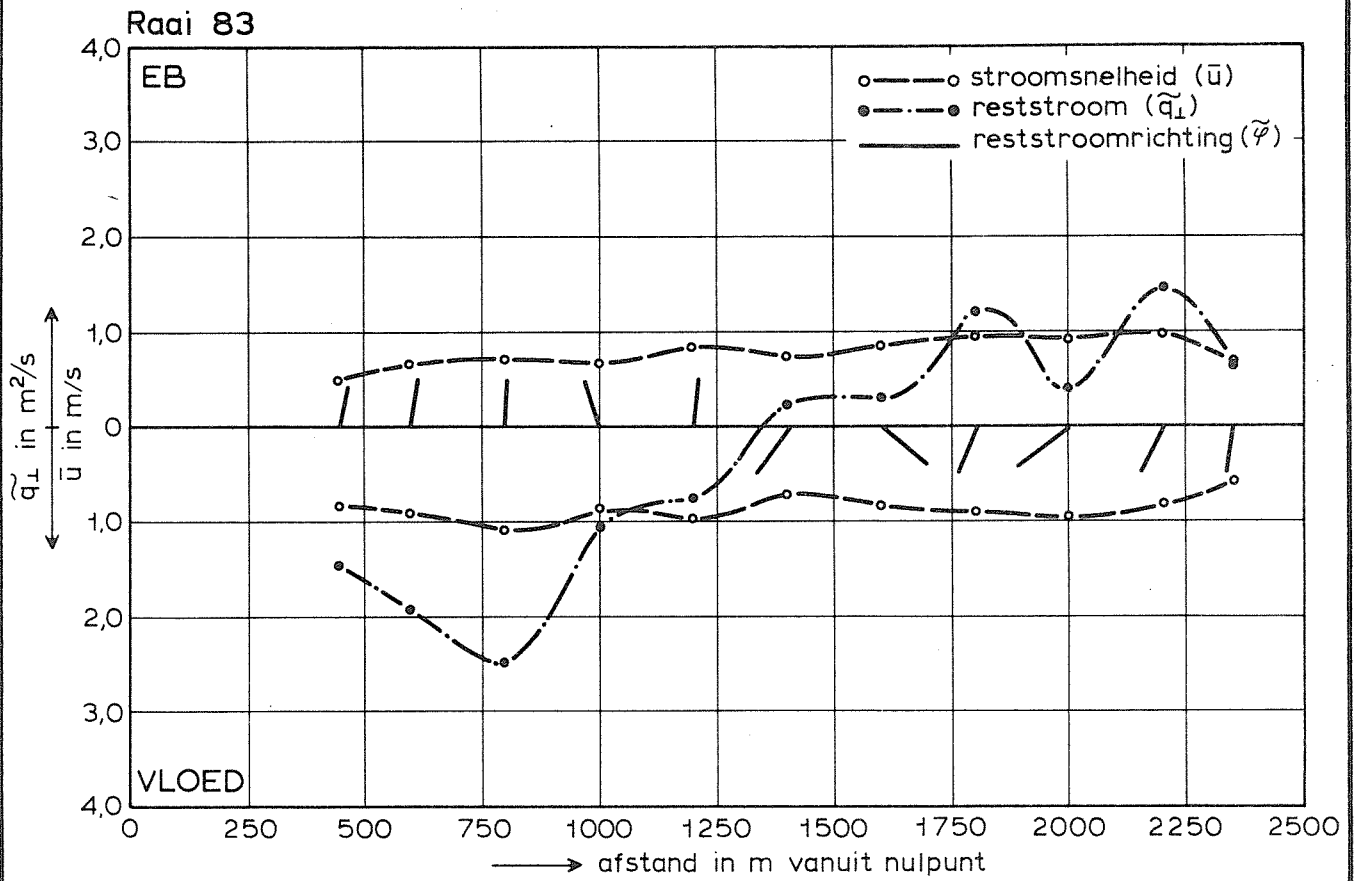
FIG. 54

Raai 82



Raai 82 vervolg





SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

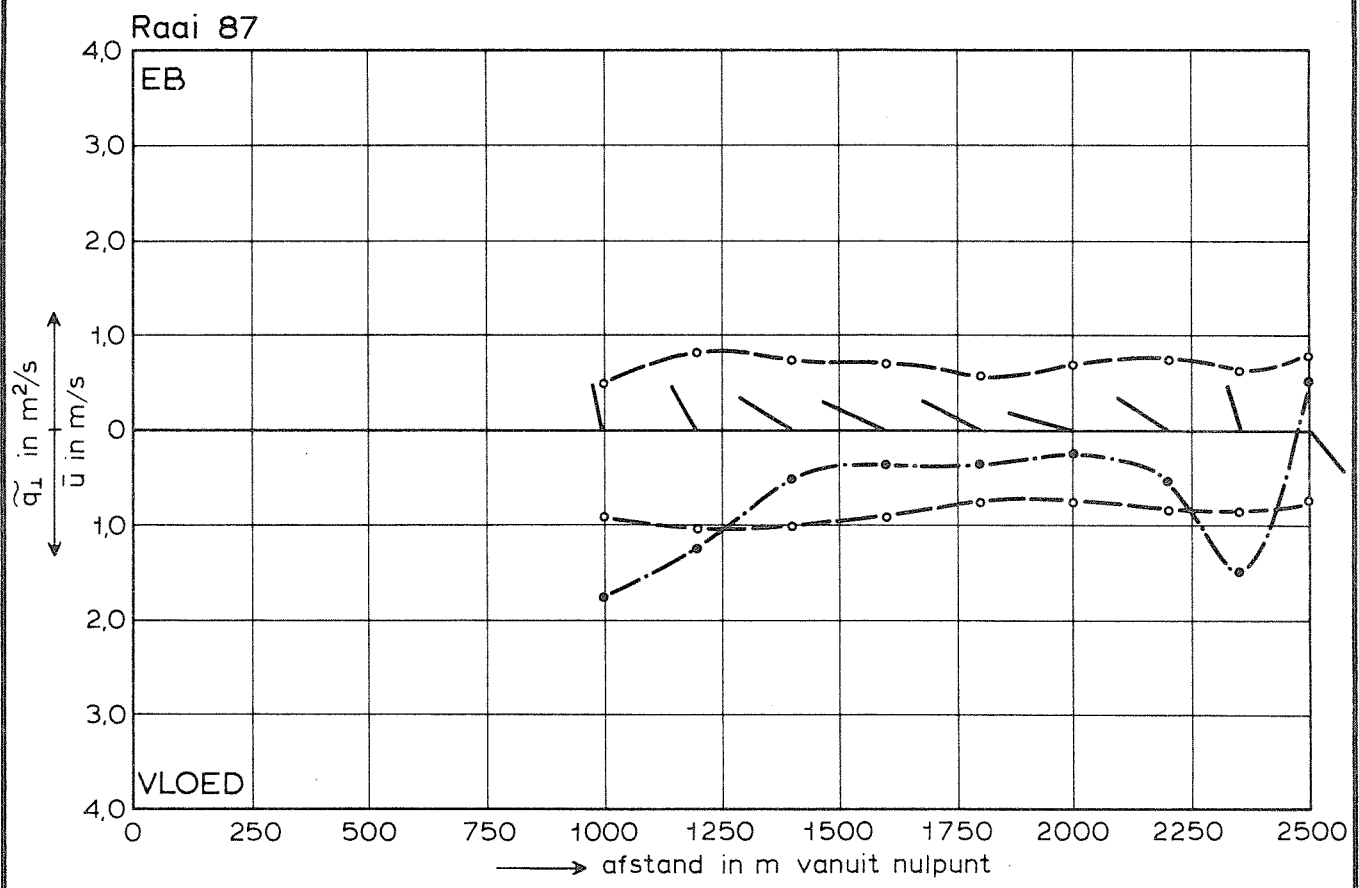
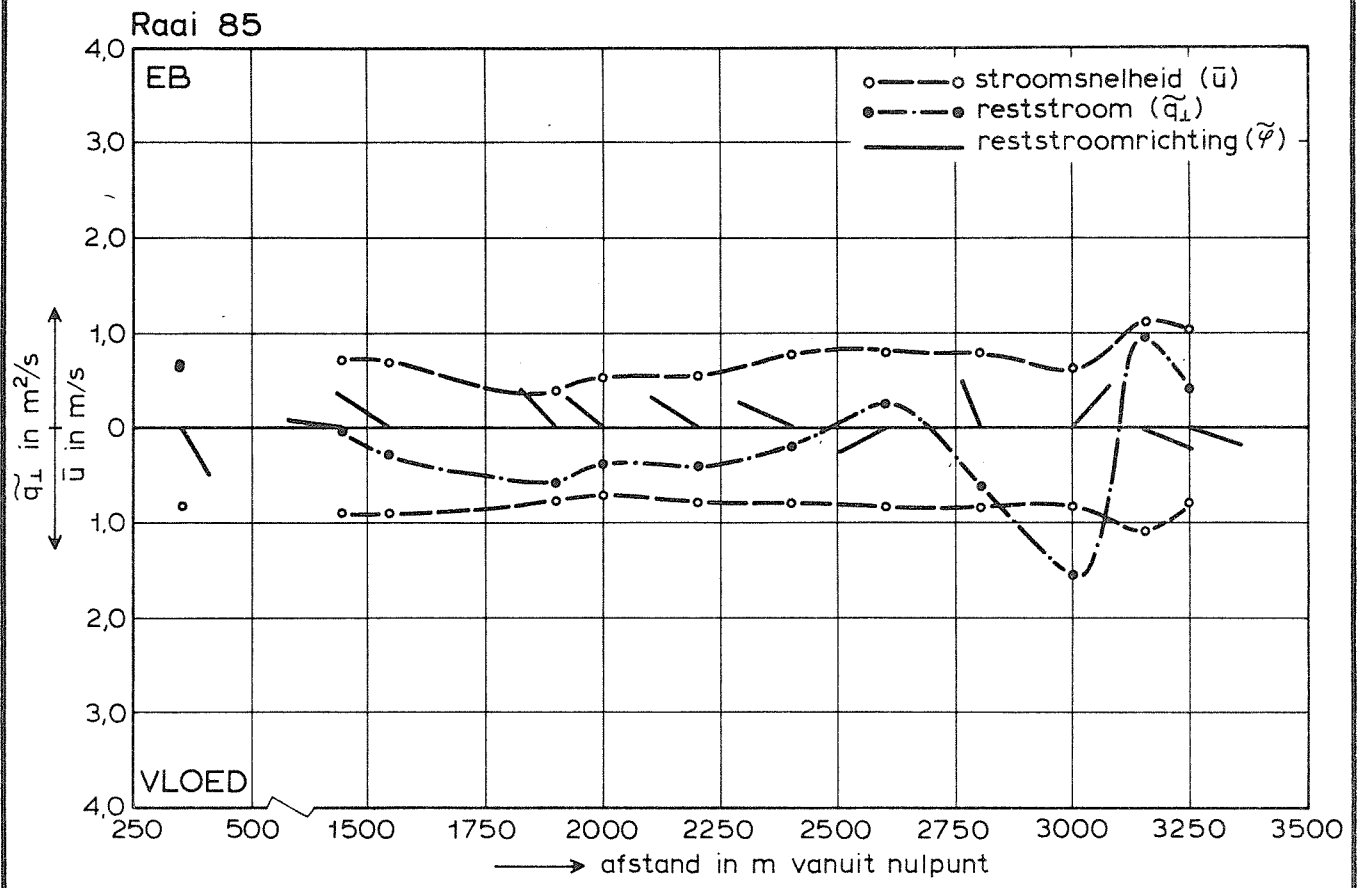
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 56



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

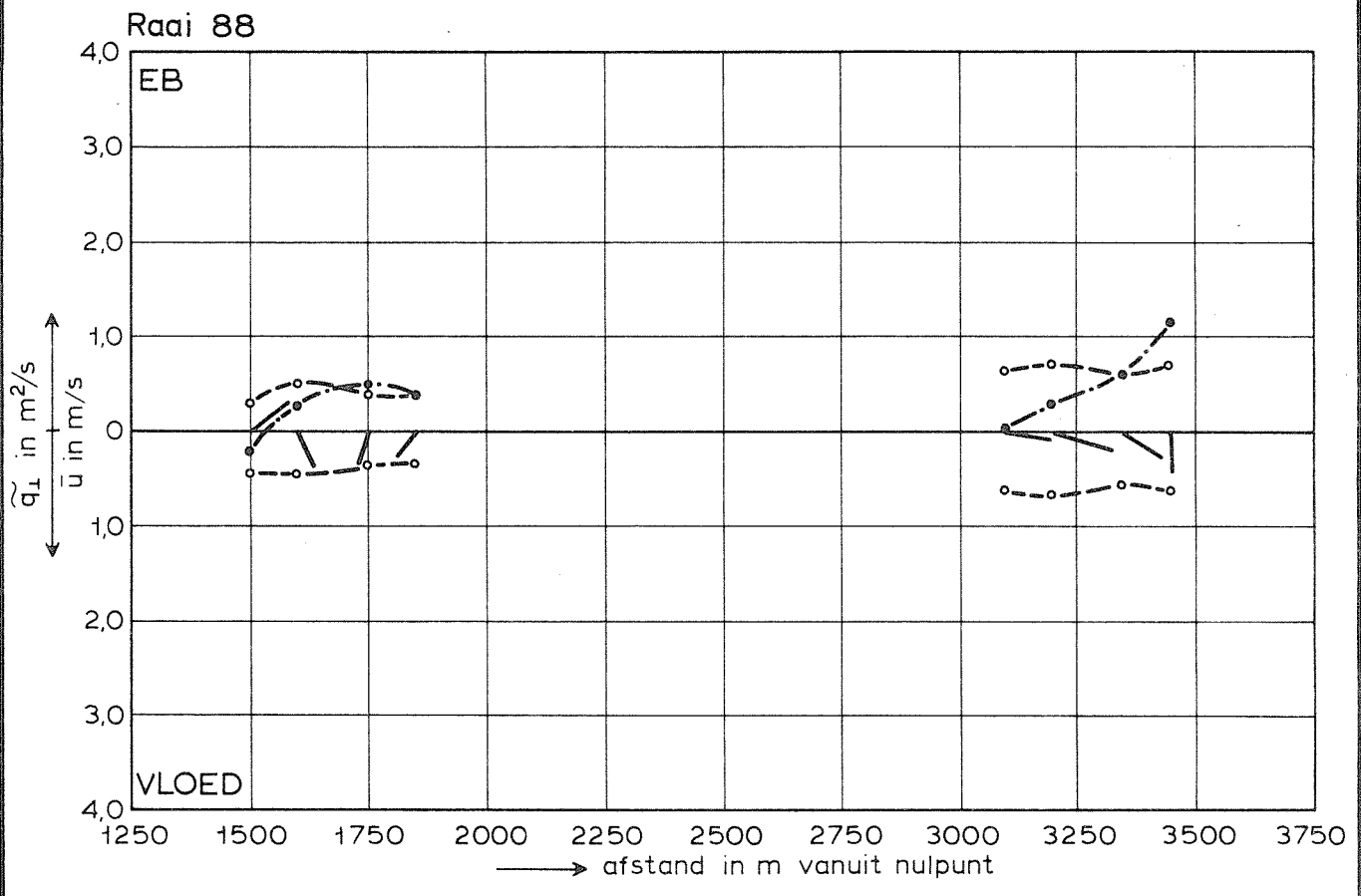
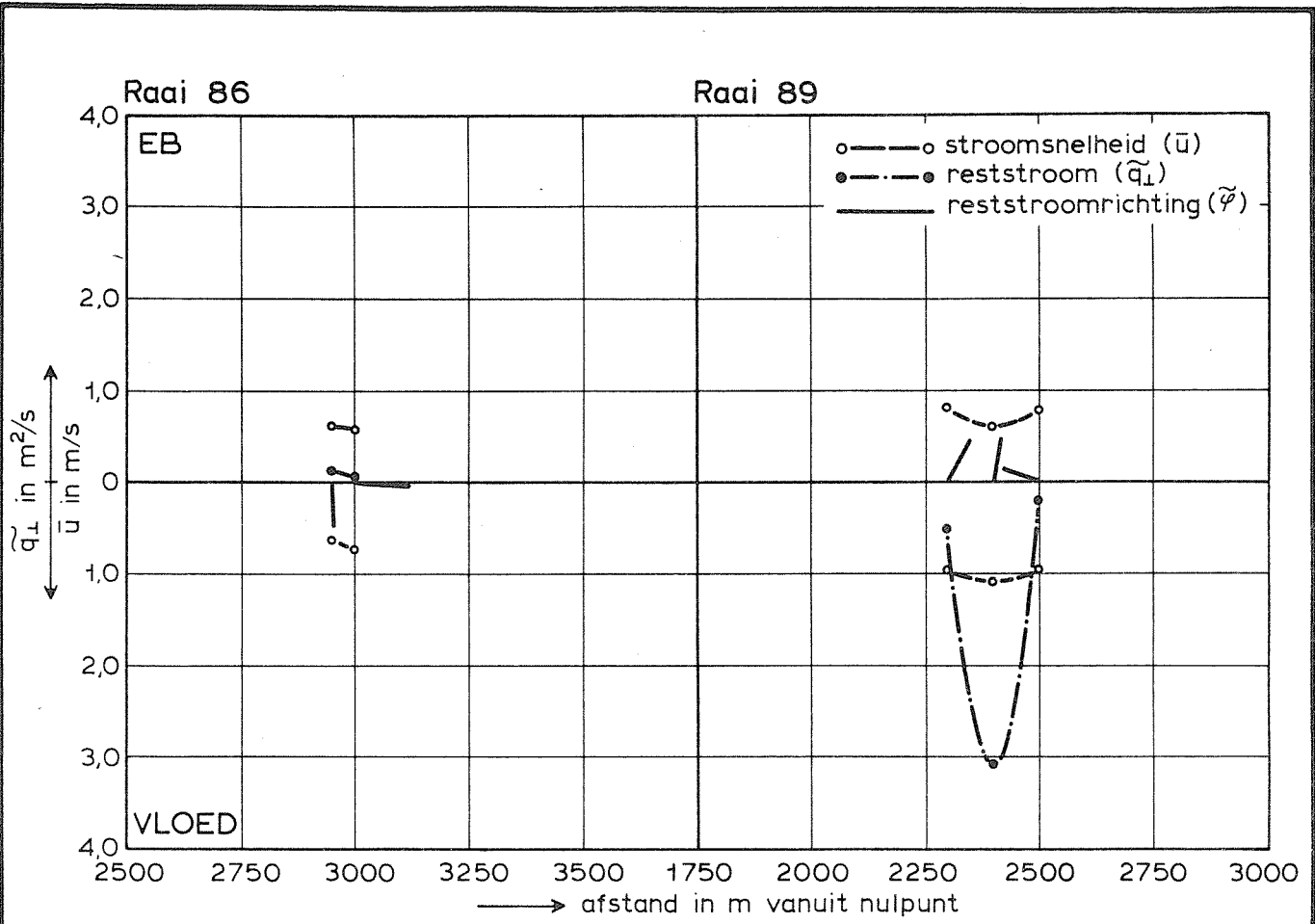
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

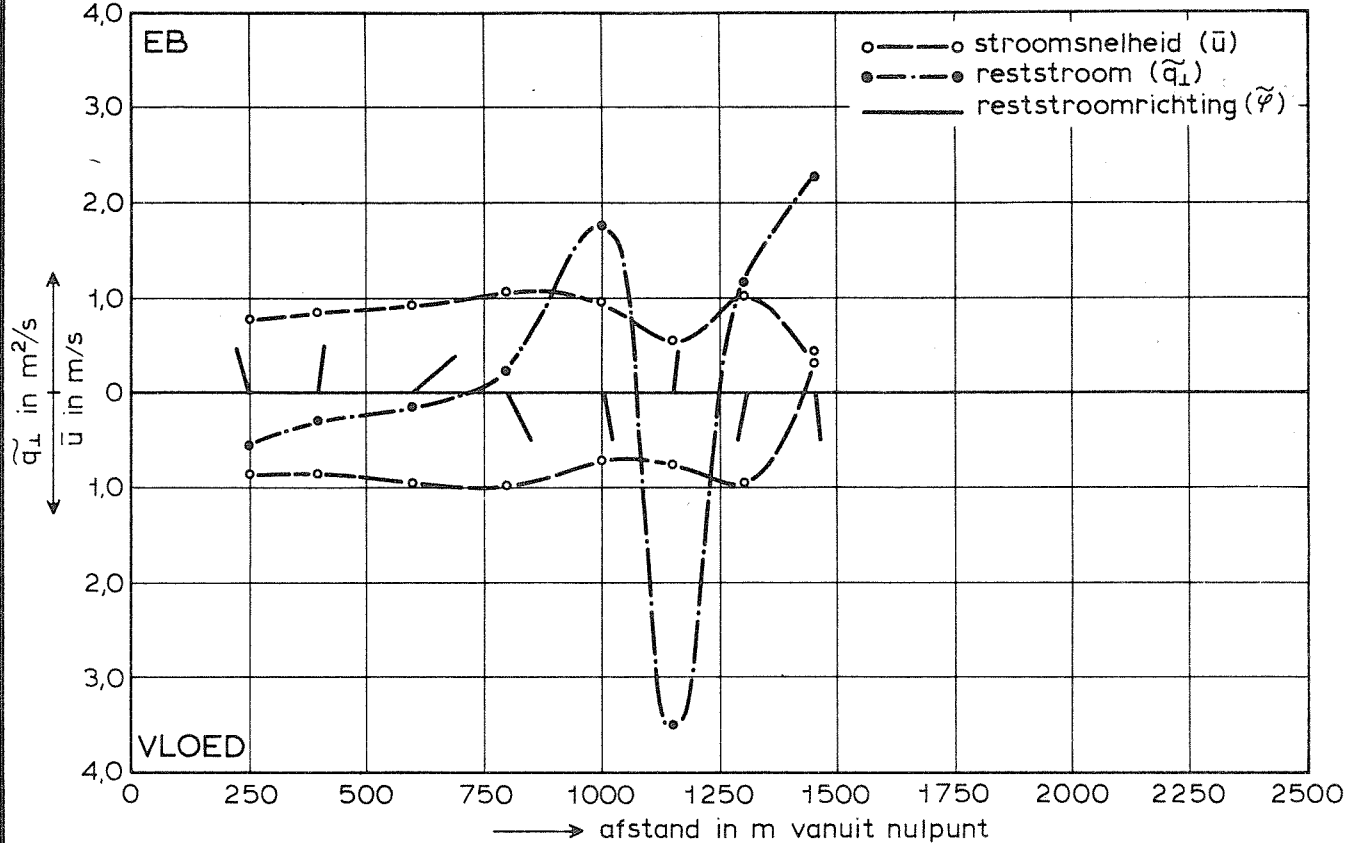
M 1777

FIG. 57

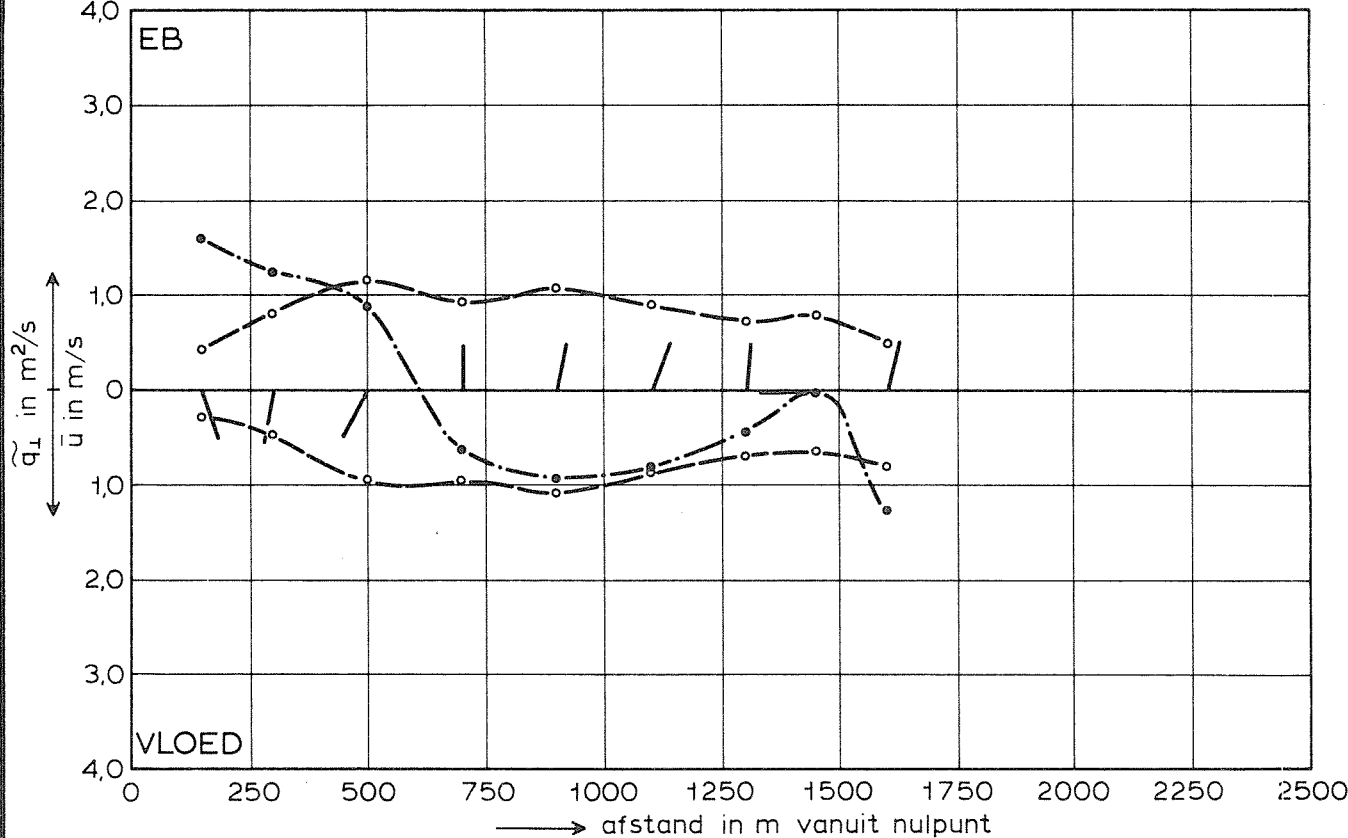


SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING	T 345	1971.0
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1777	FIG. 58

Raai 59



Raai 62



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

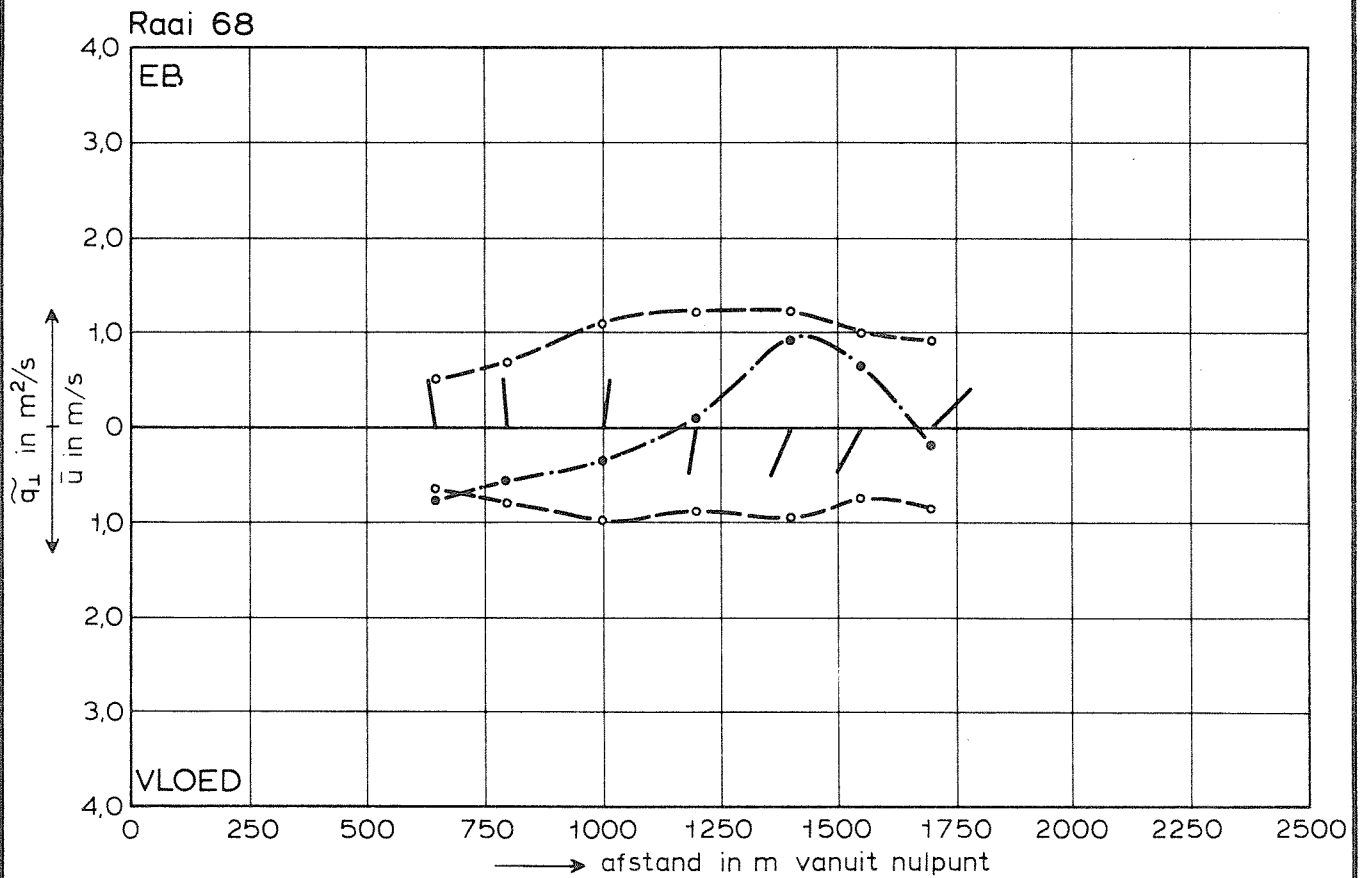
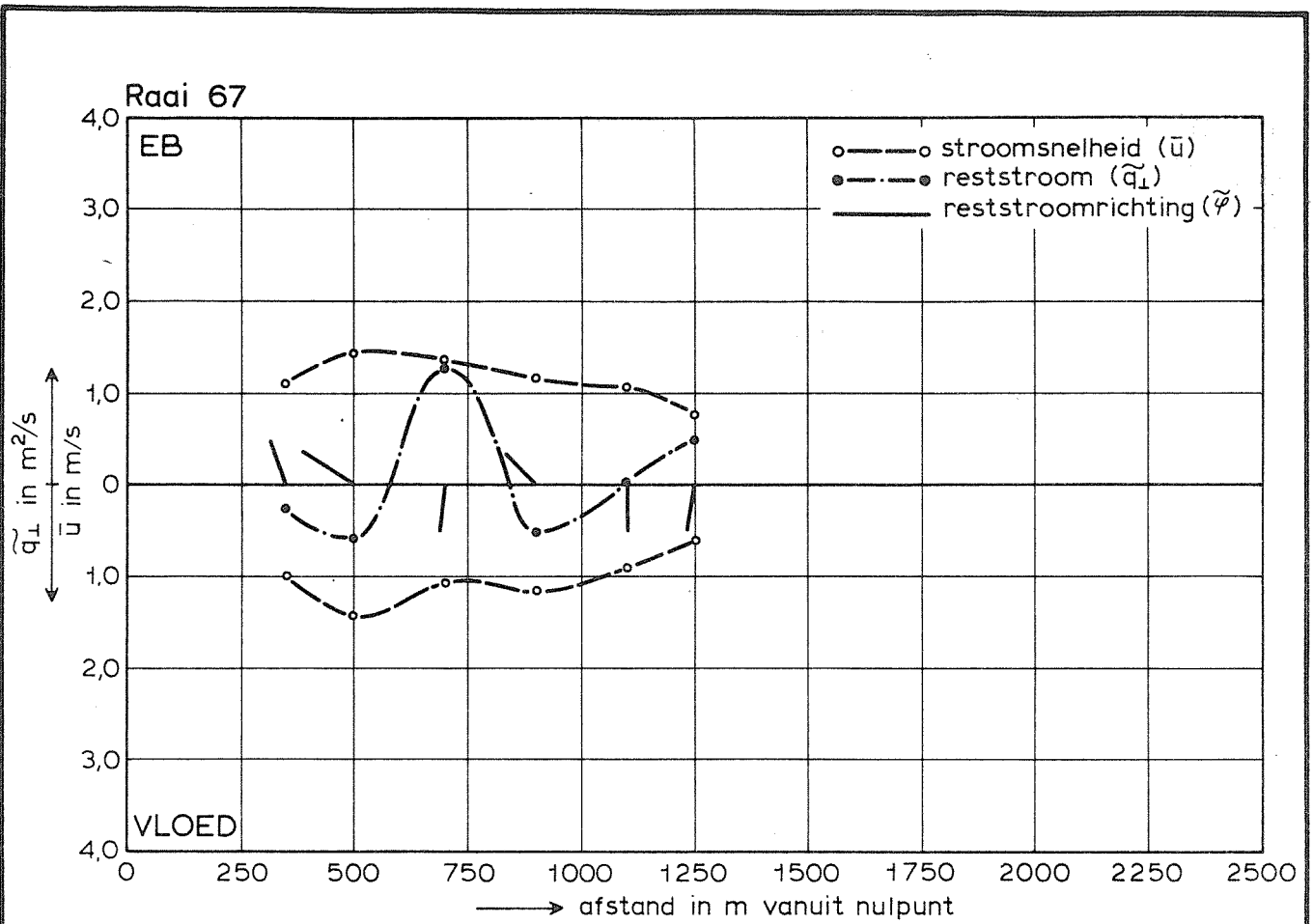
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 59



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

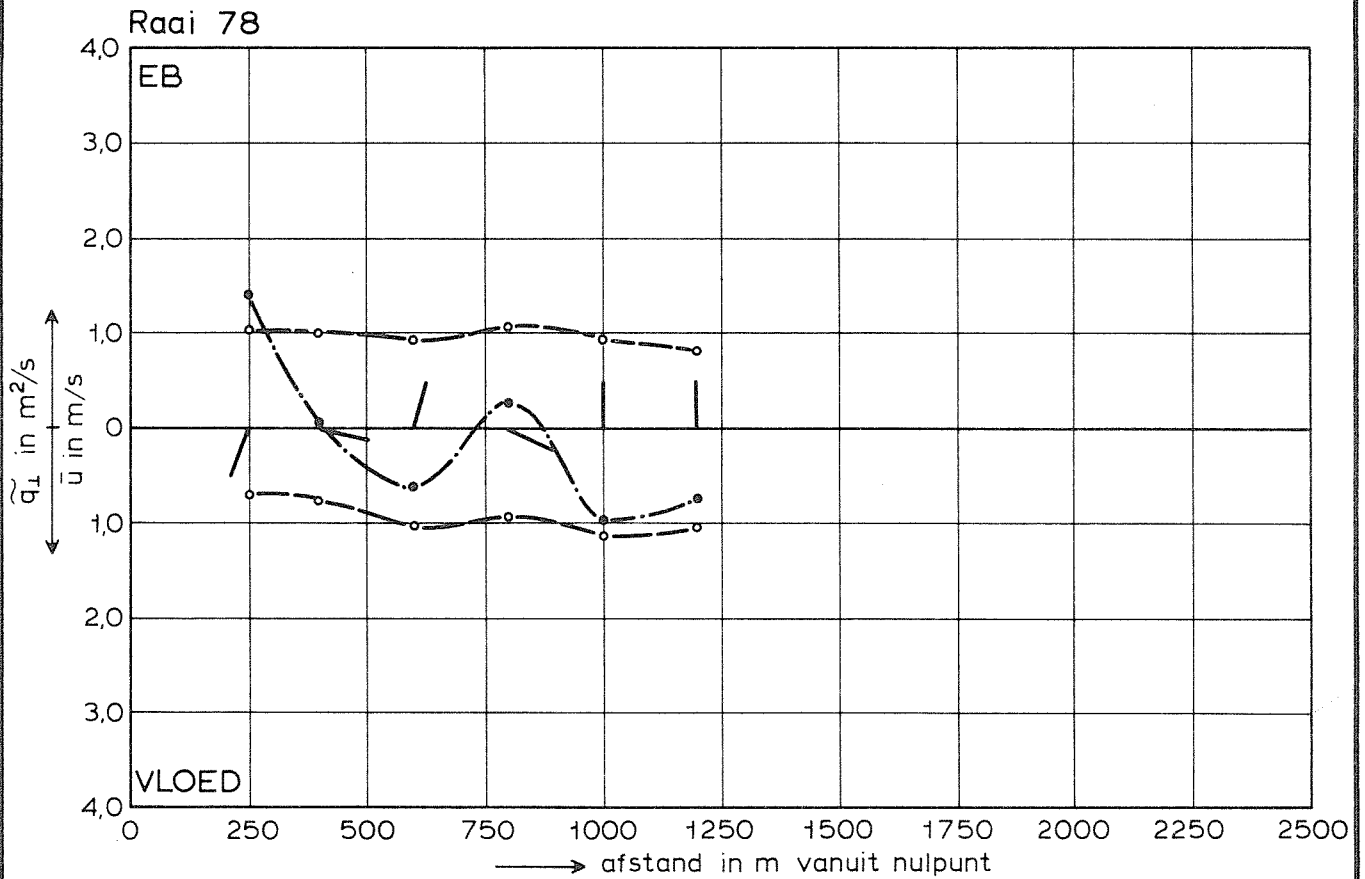
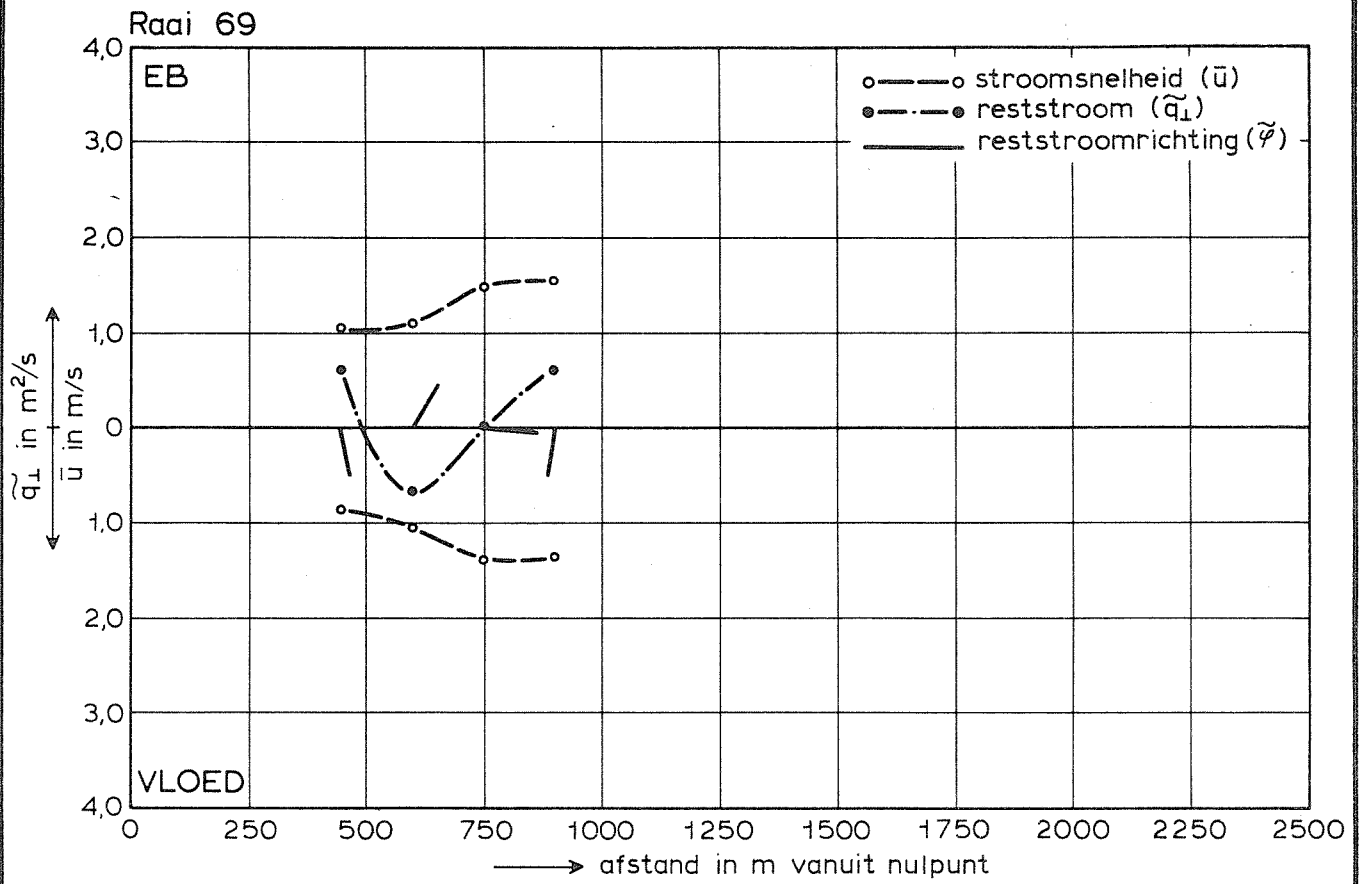
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 60



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

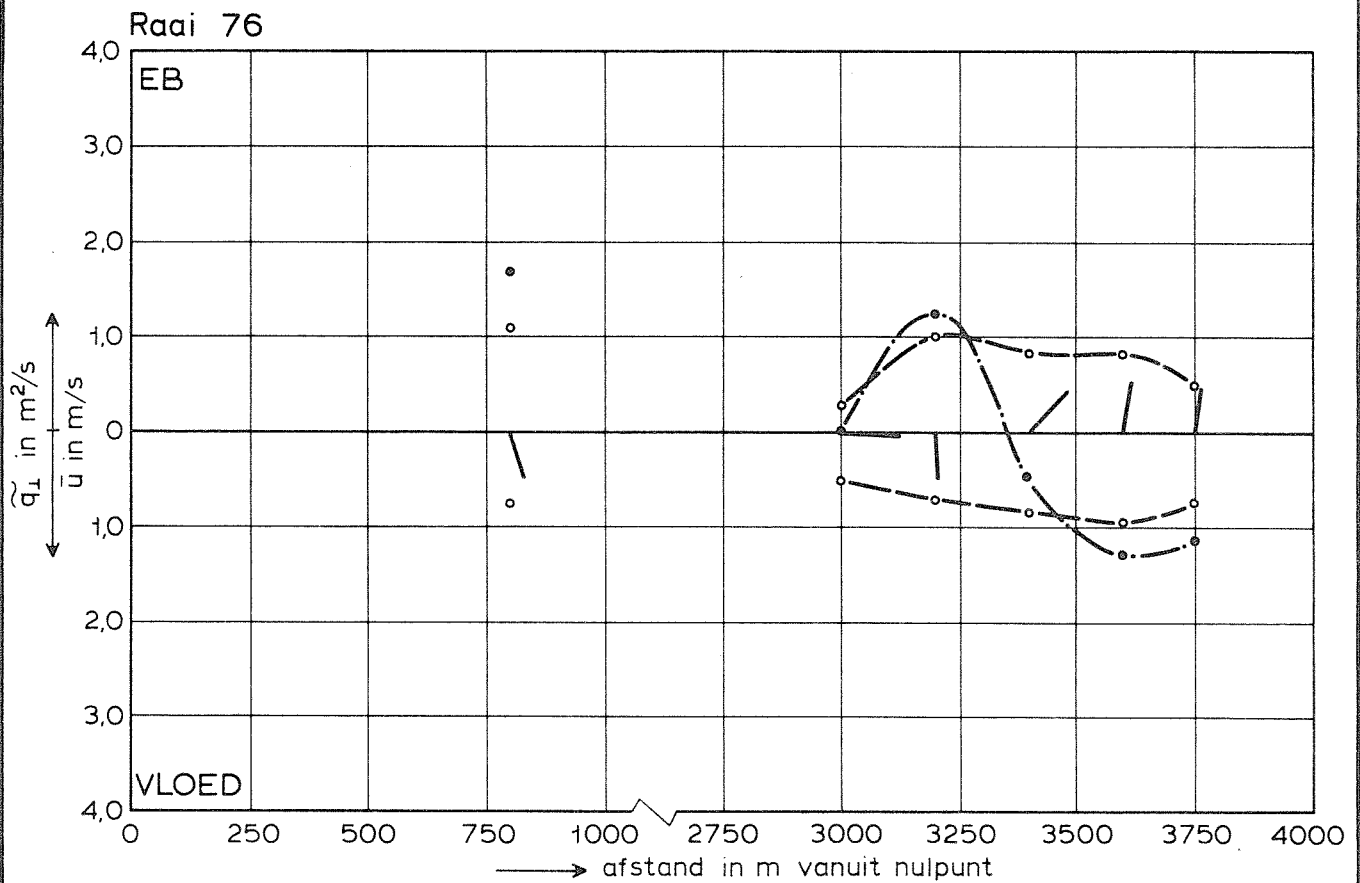
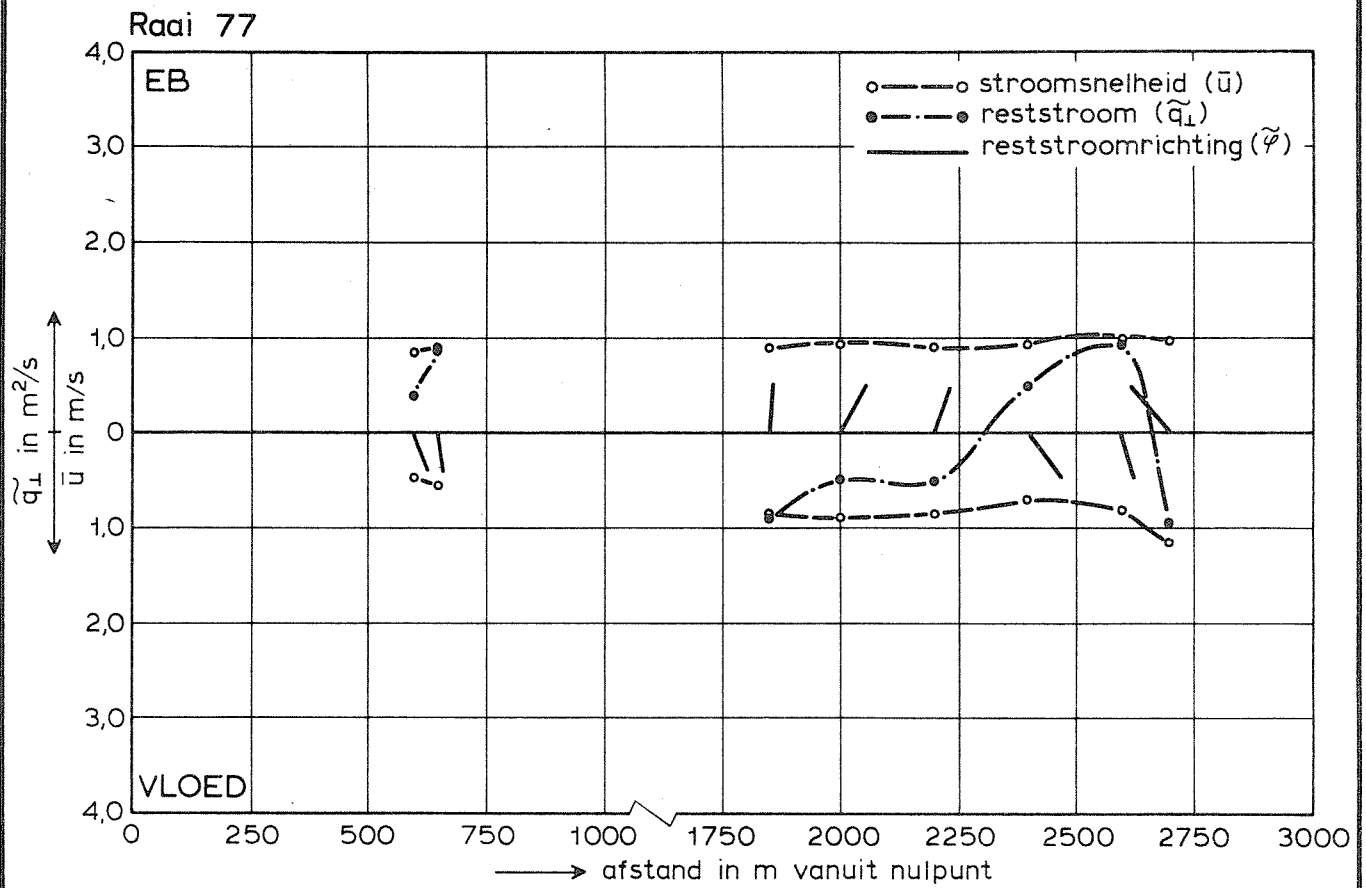
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 61



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

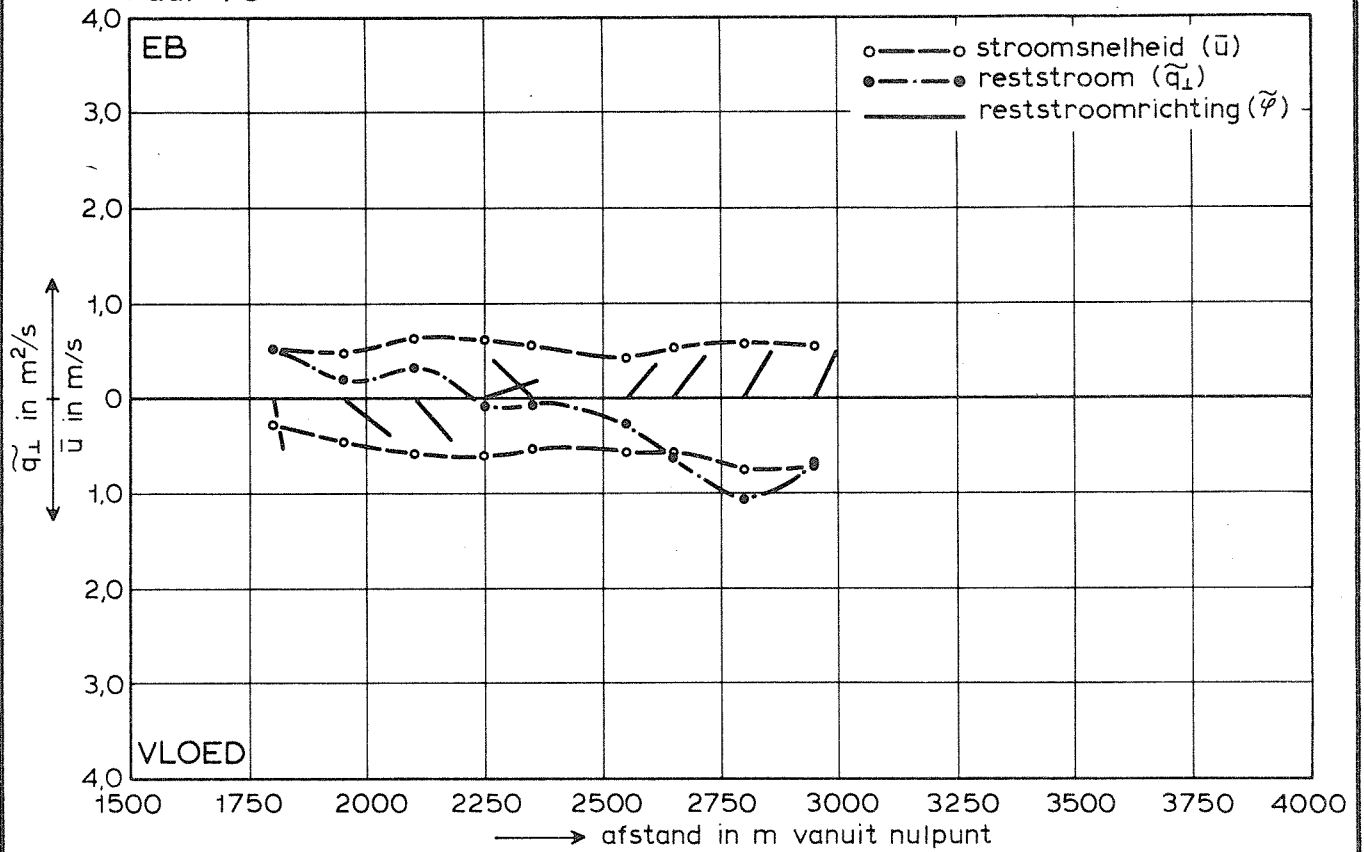
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

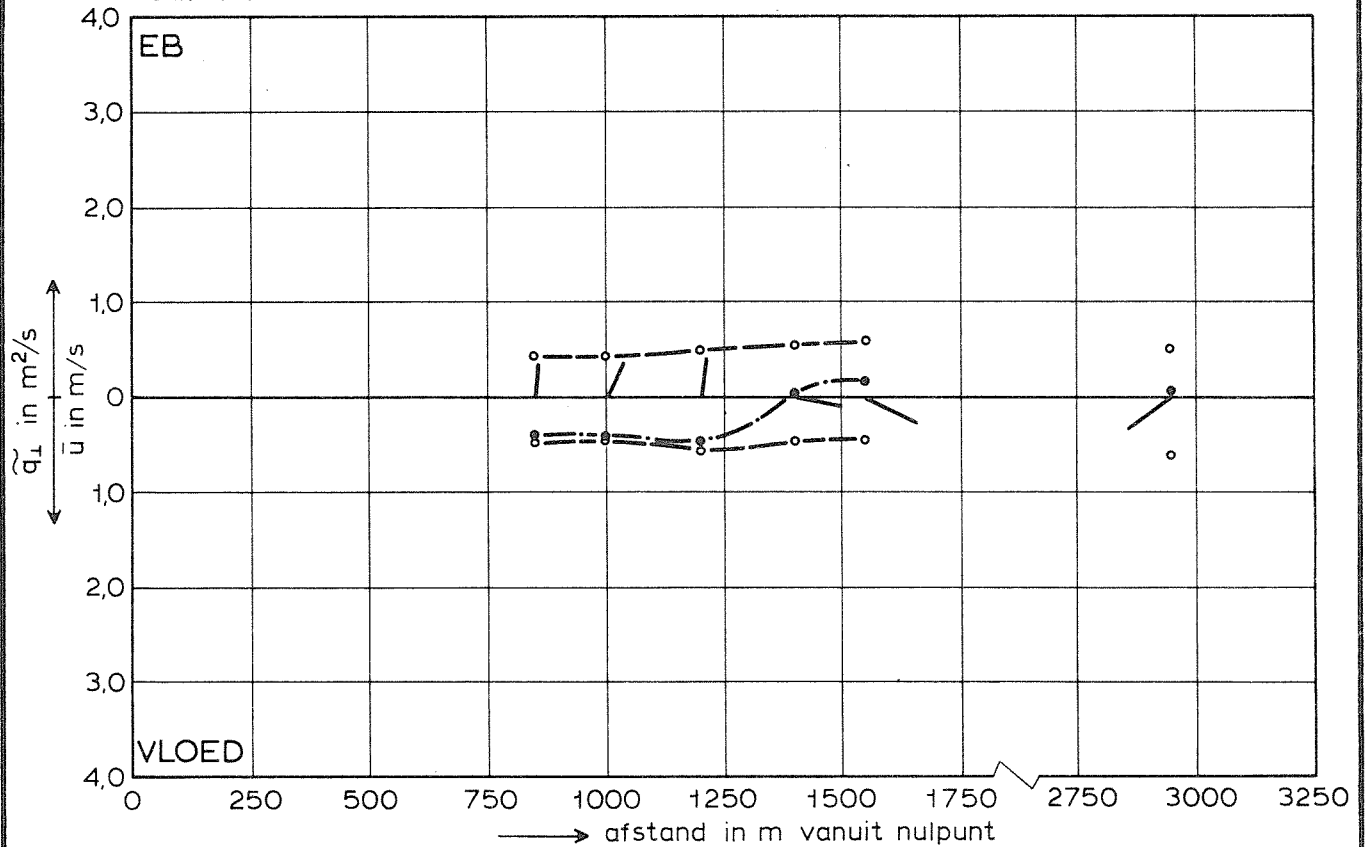
M 1777

FIG. 62

Raai 75



Raai 74



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

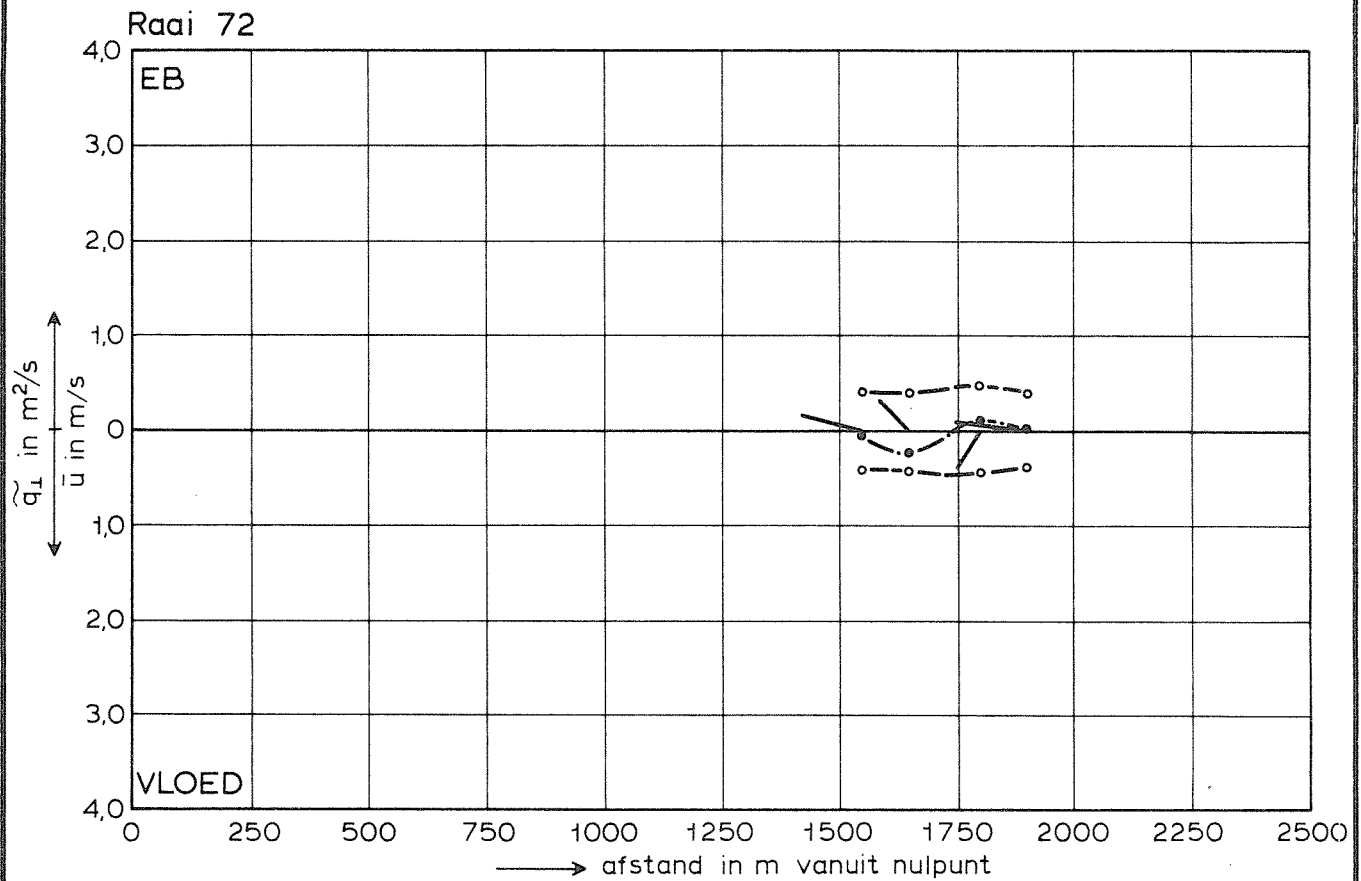
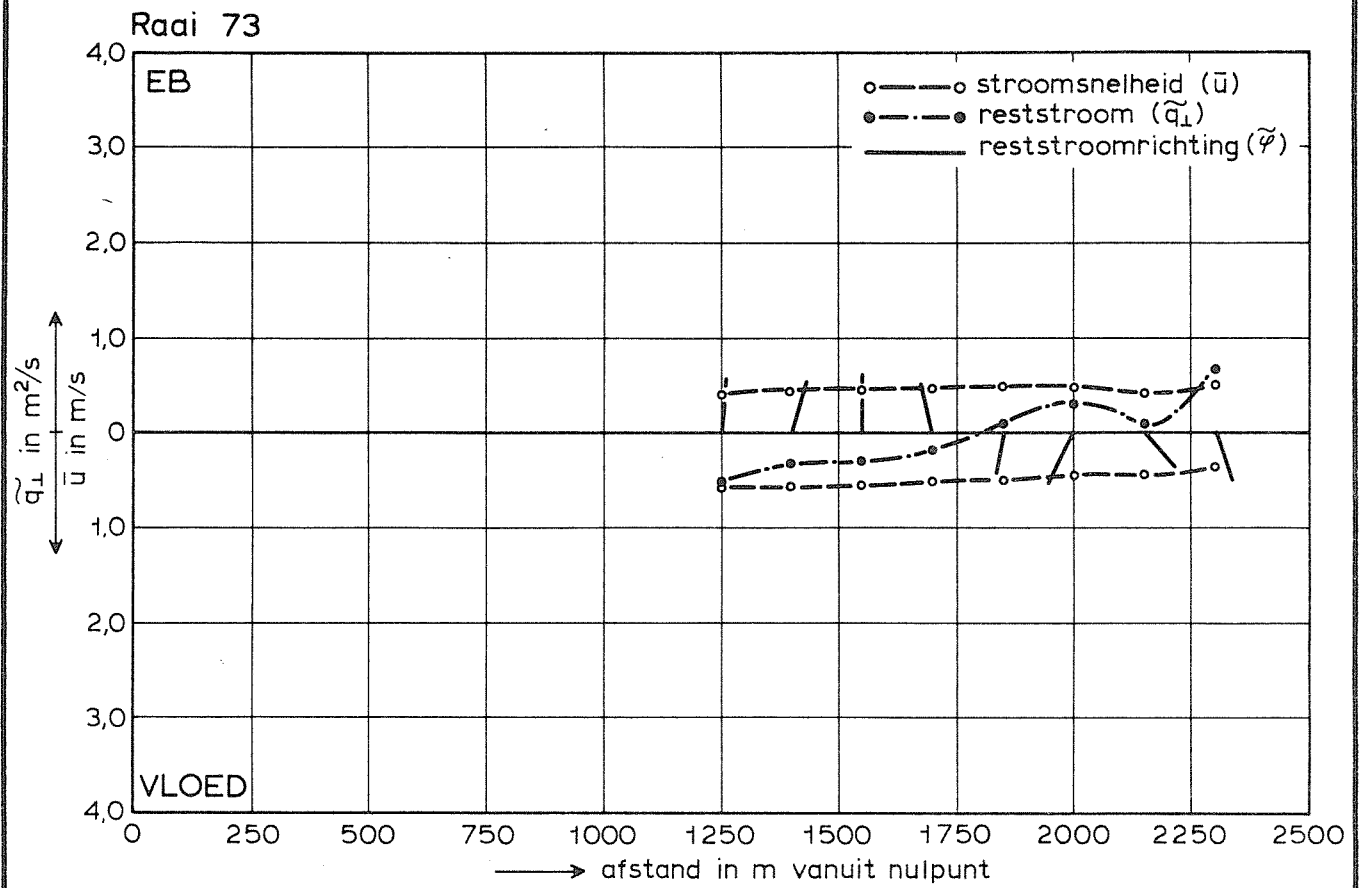
T 345

1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777

FIG. 63



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

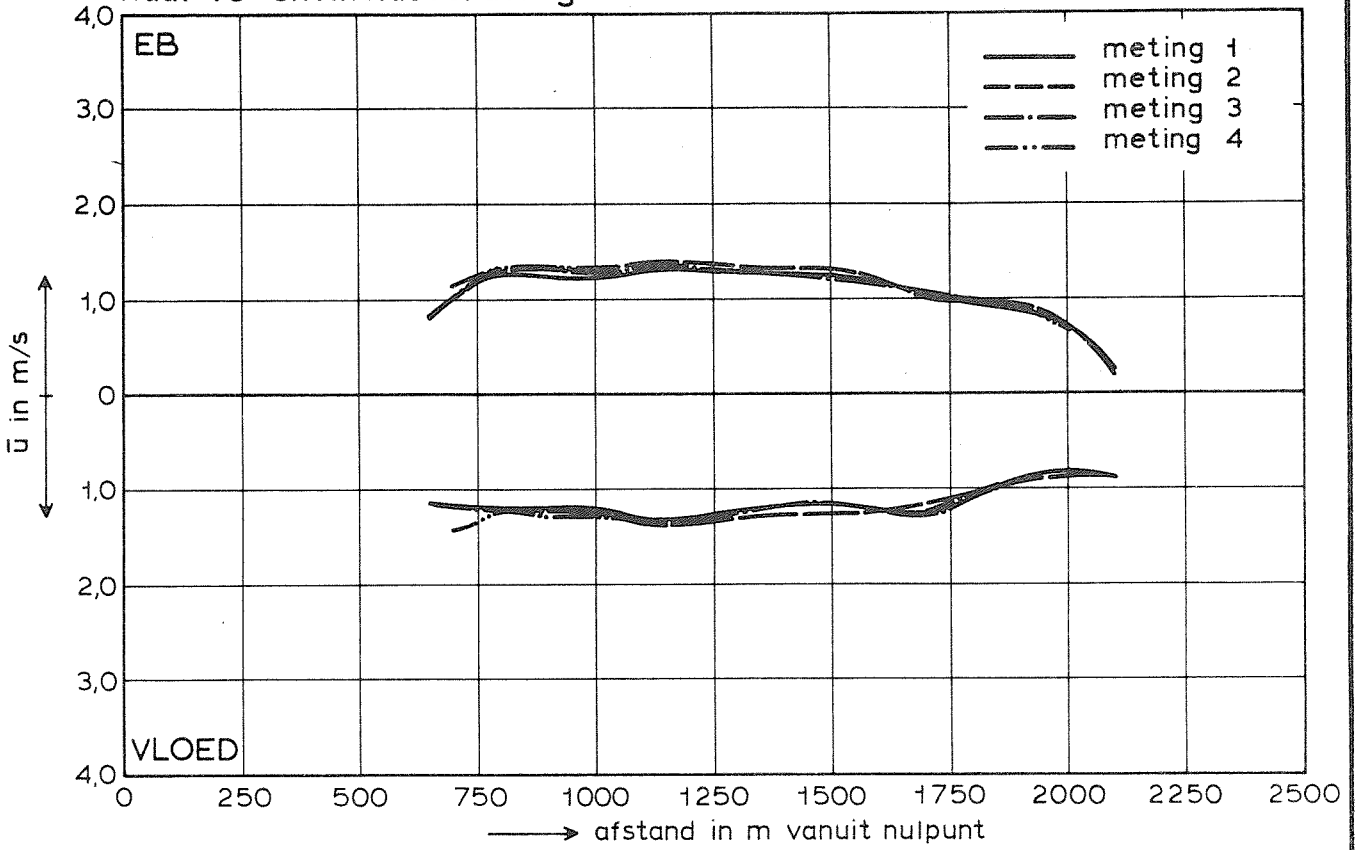
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

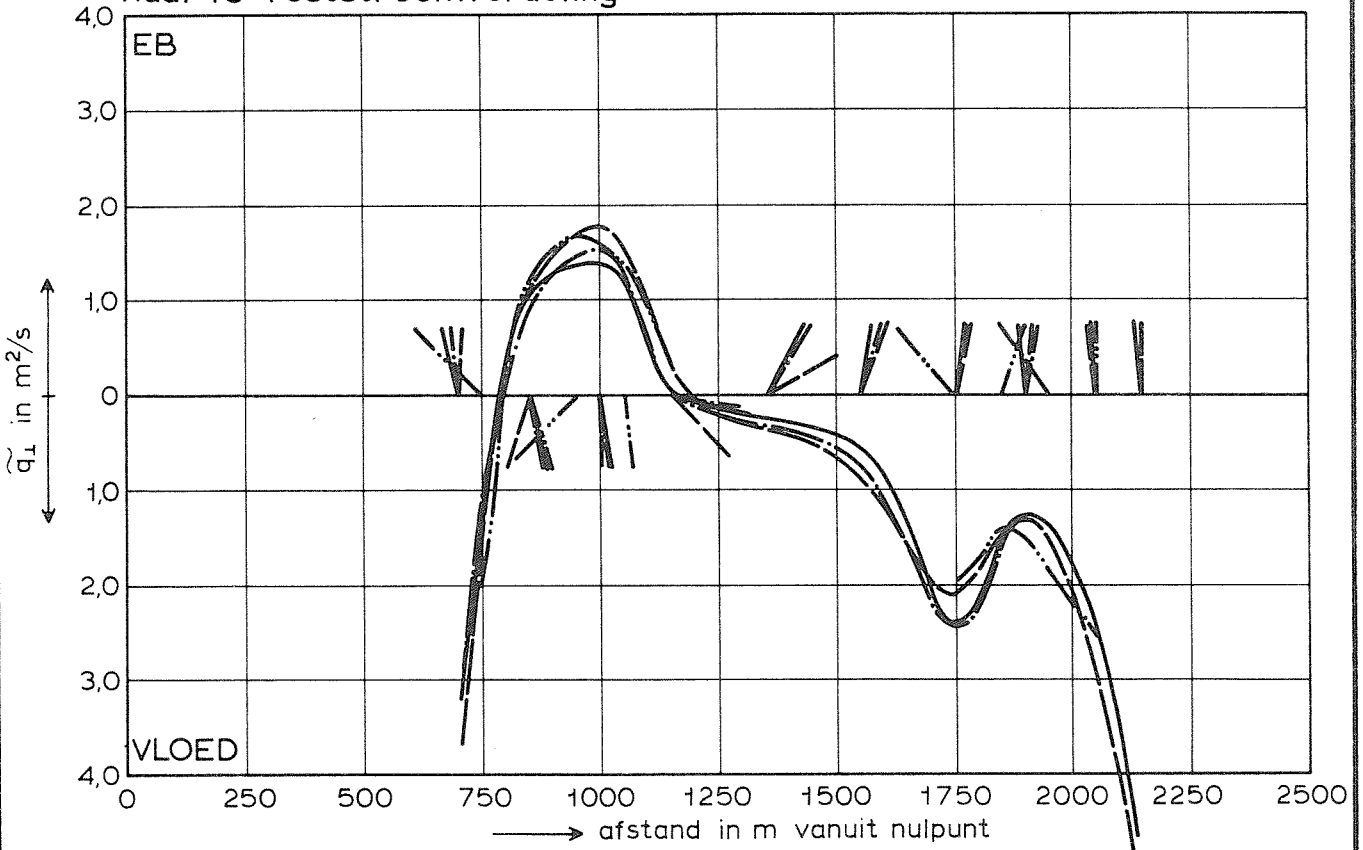
M 1777

FIG. 64

Raai 10-snelheidsverdeling



Raai 10-reststroomverdeling



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

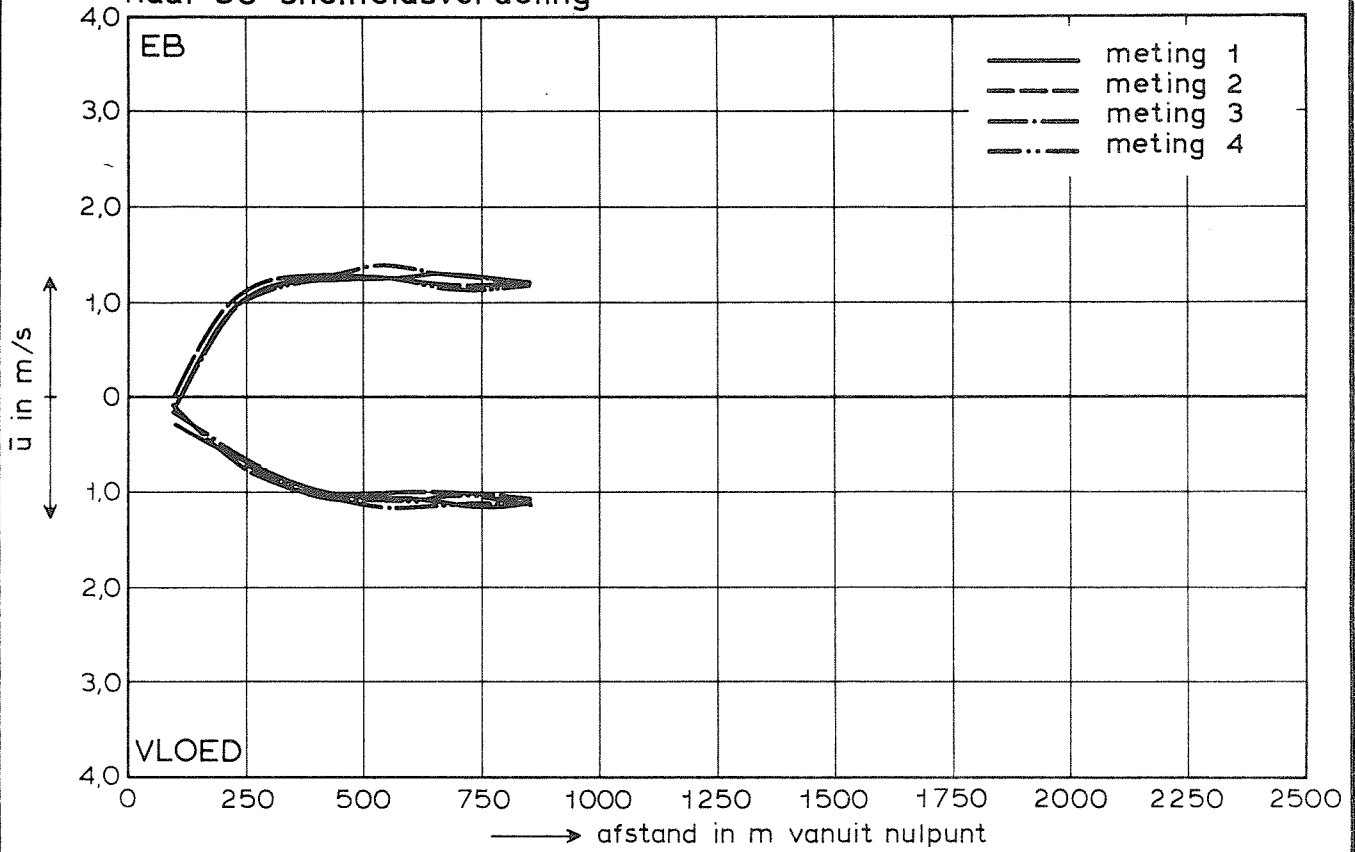
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

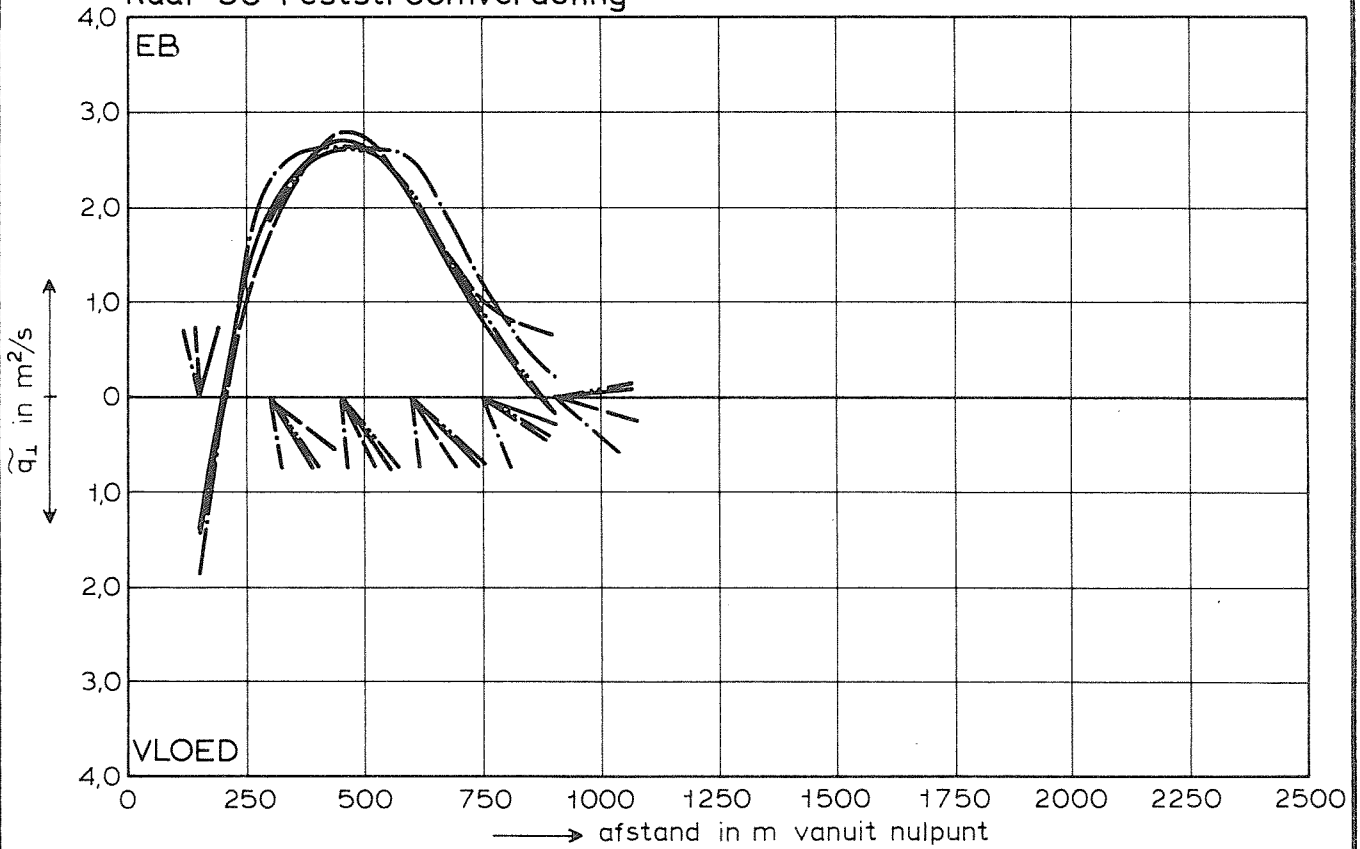
M 1777

FIG. 65

Raai 30-snelheidsverdeling



Raai 30-reststroomverdeling



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

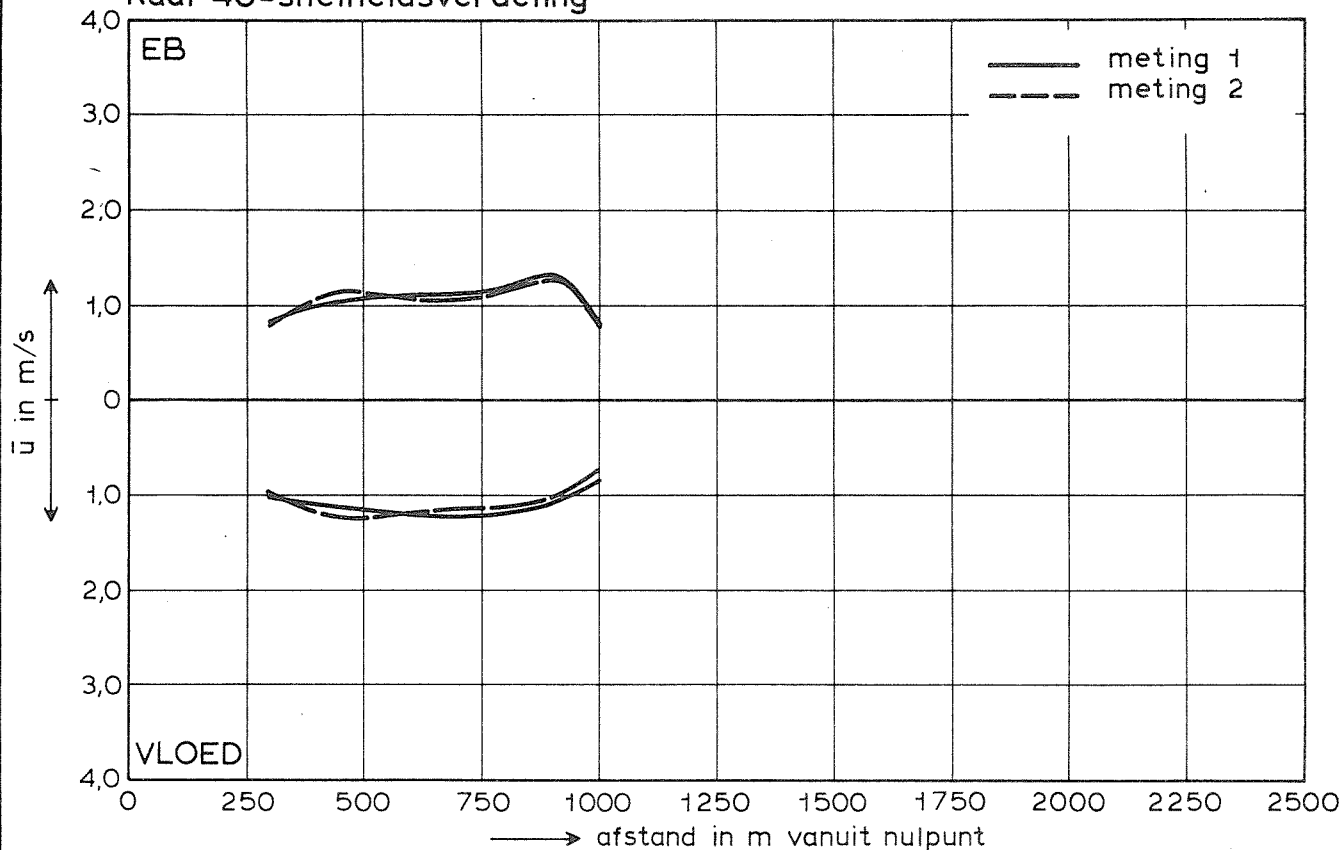
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

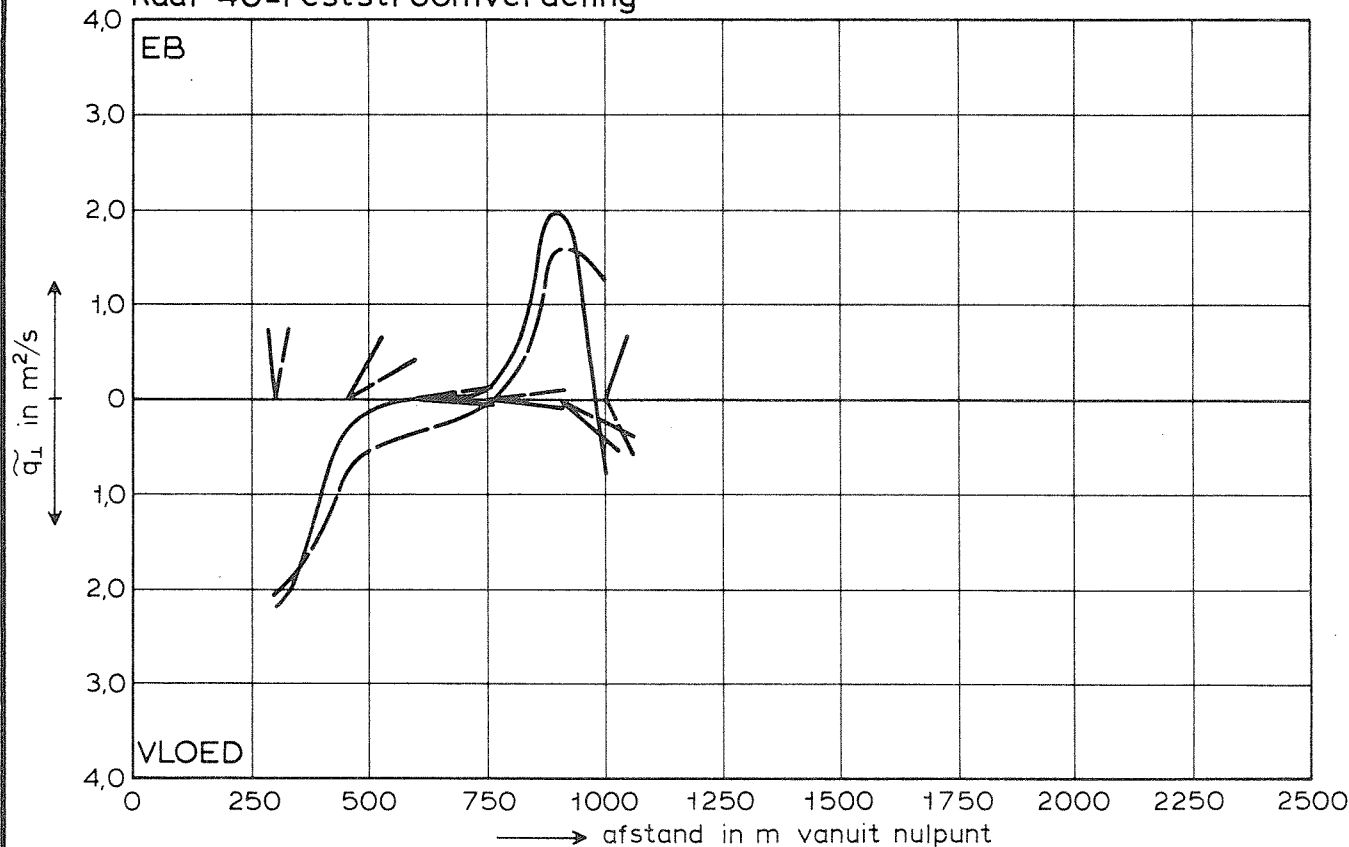
M 1777

FIG. 66

Raai 40-snelheidsverdeling



Raai 40-reststroomverdeling



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

T 345

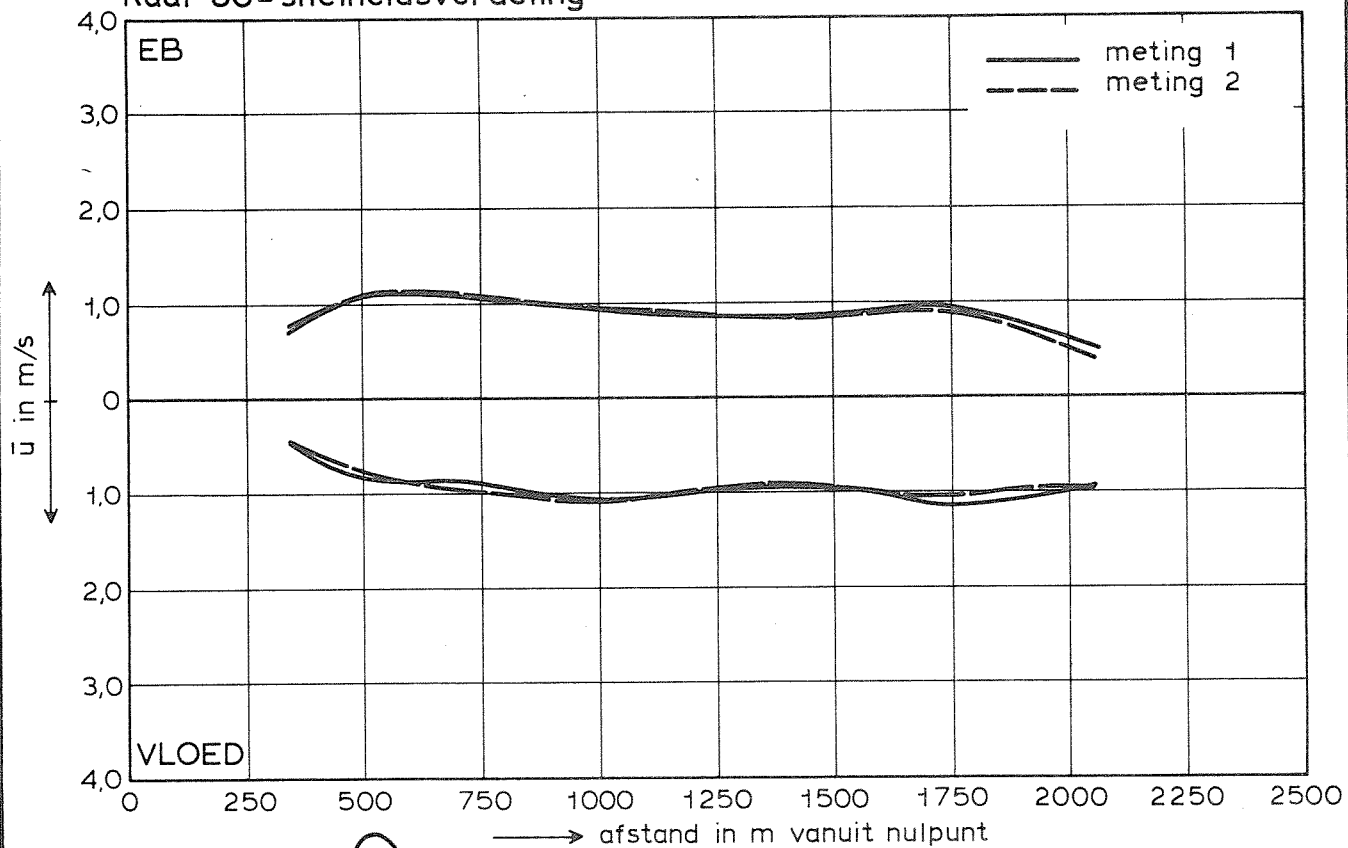
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

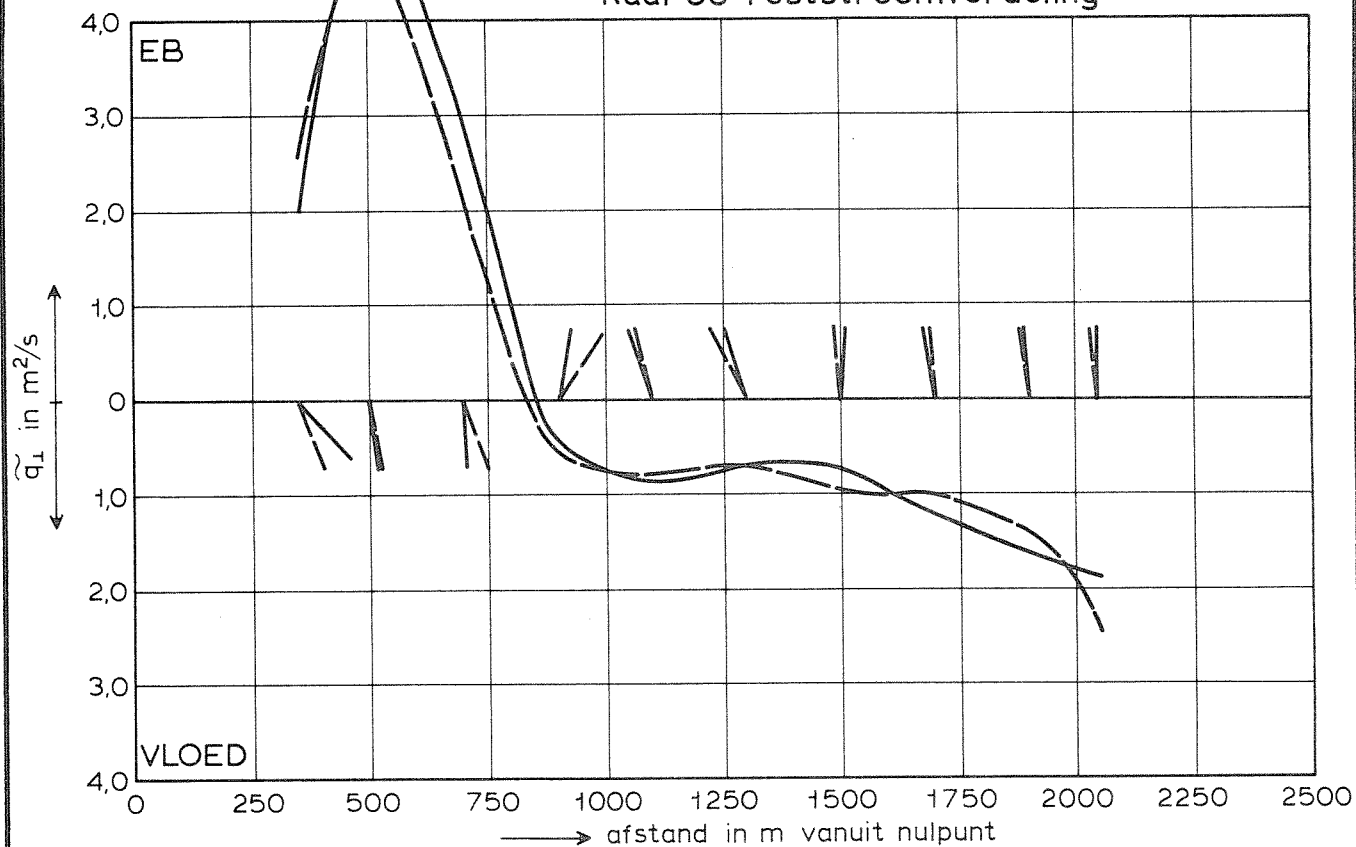
M 1777

FIG. 67

Raai 60 - snelheidsverdeling



Raai 60 - reststroomverdeling



SNELHEID- EN RESTSTROOMVERDELING

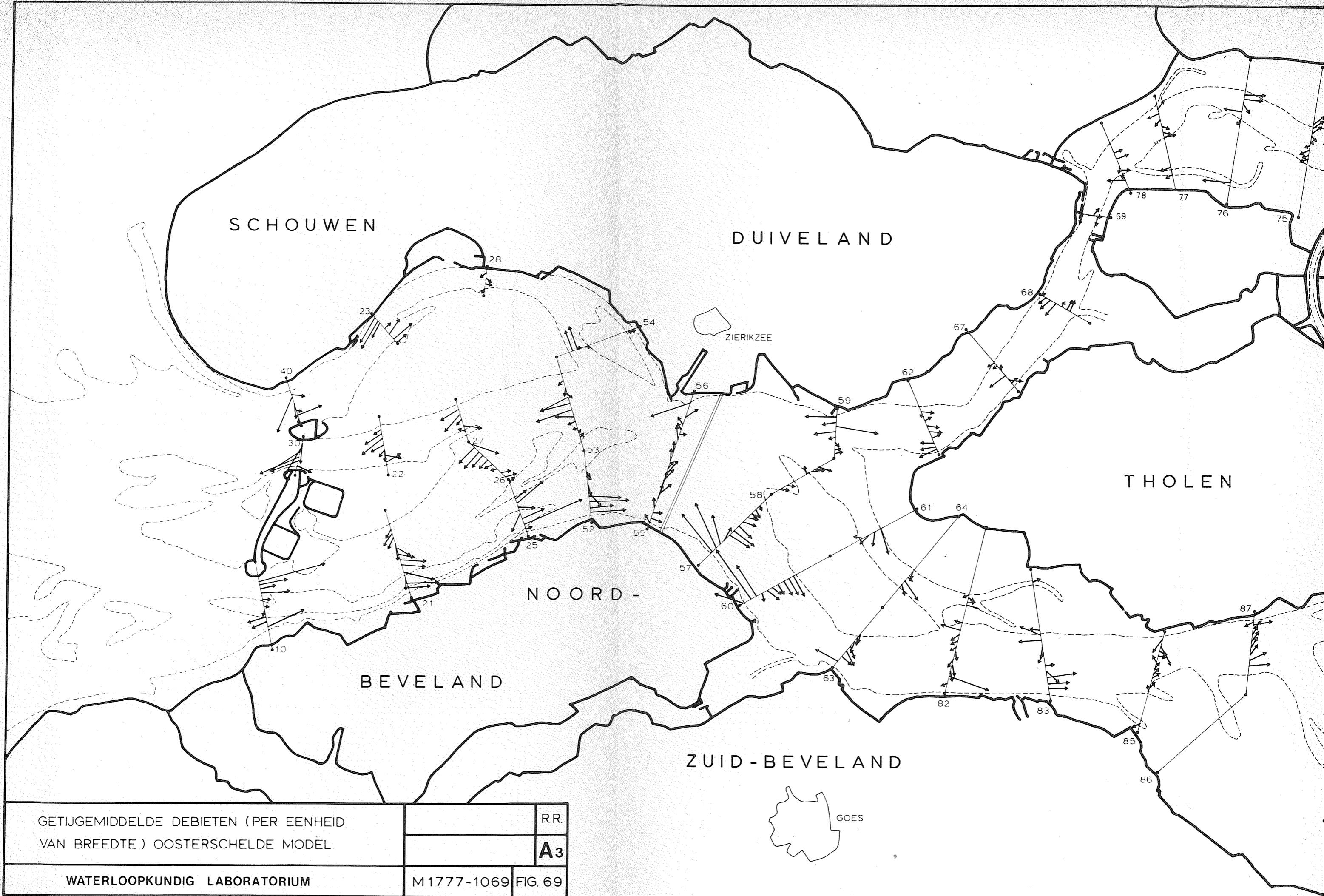
T 345

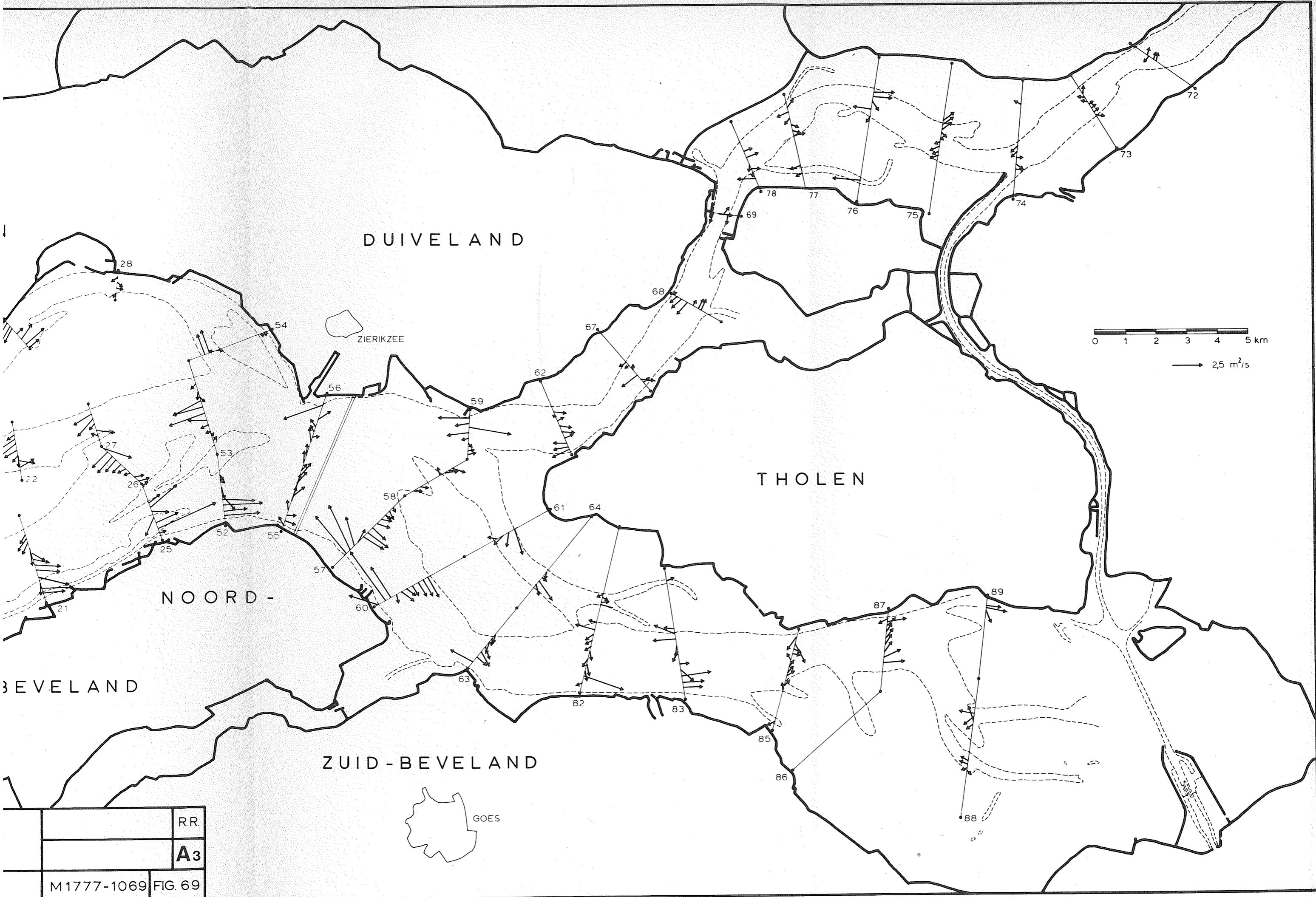
1971.0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

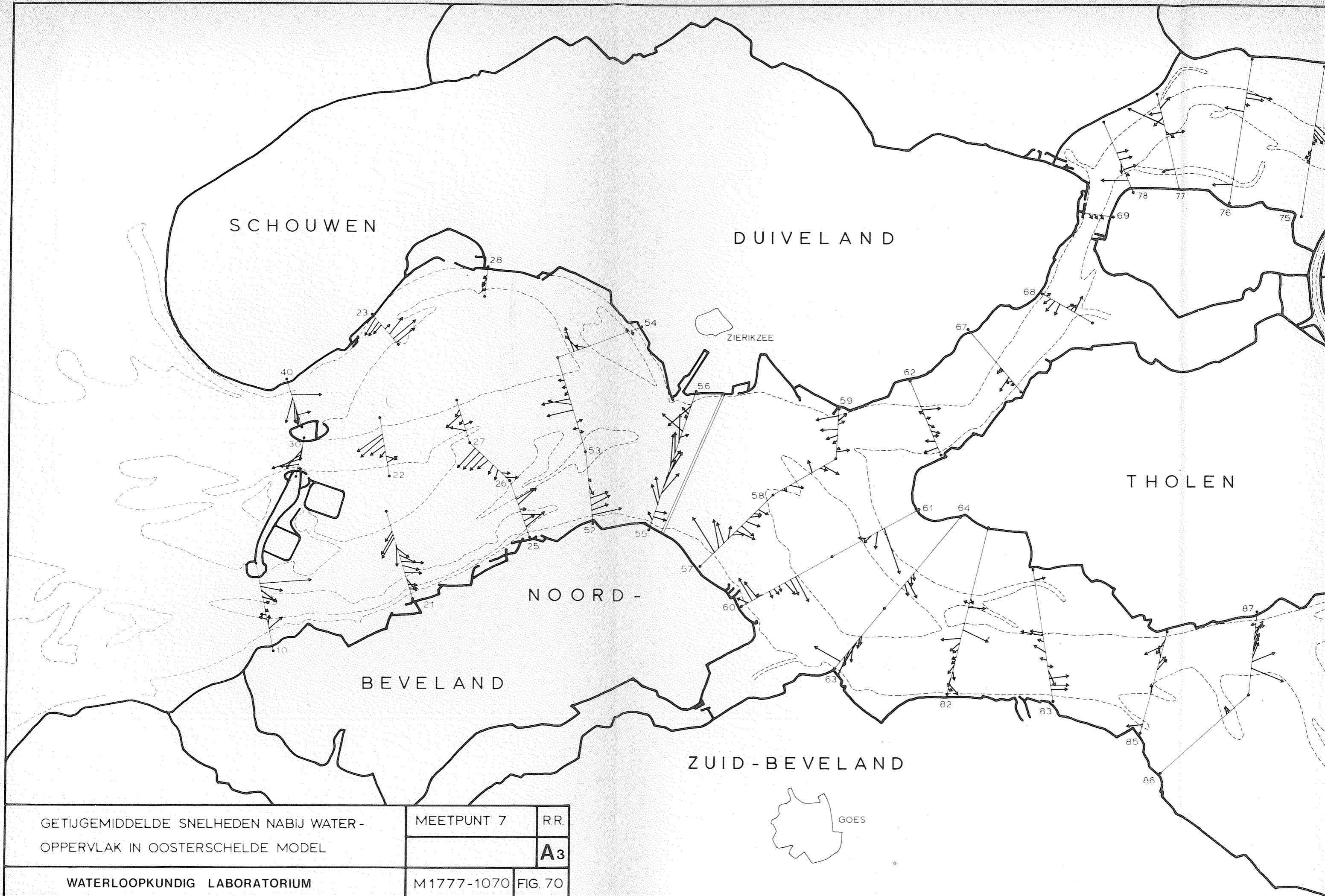
M 1777

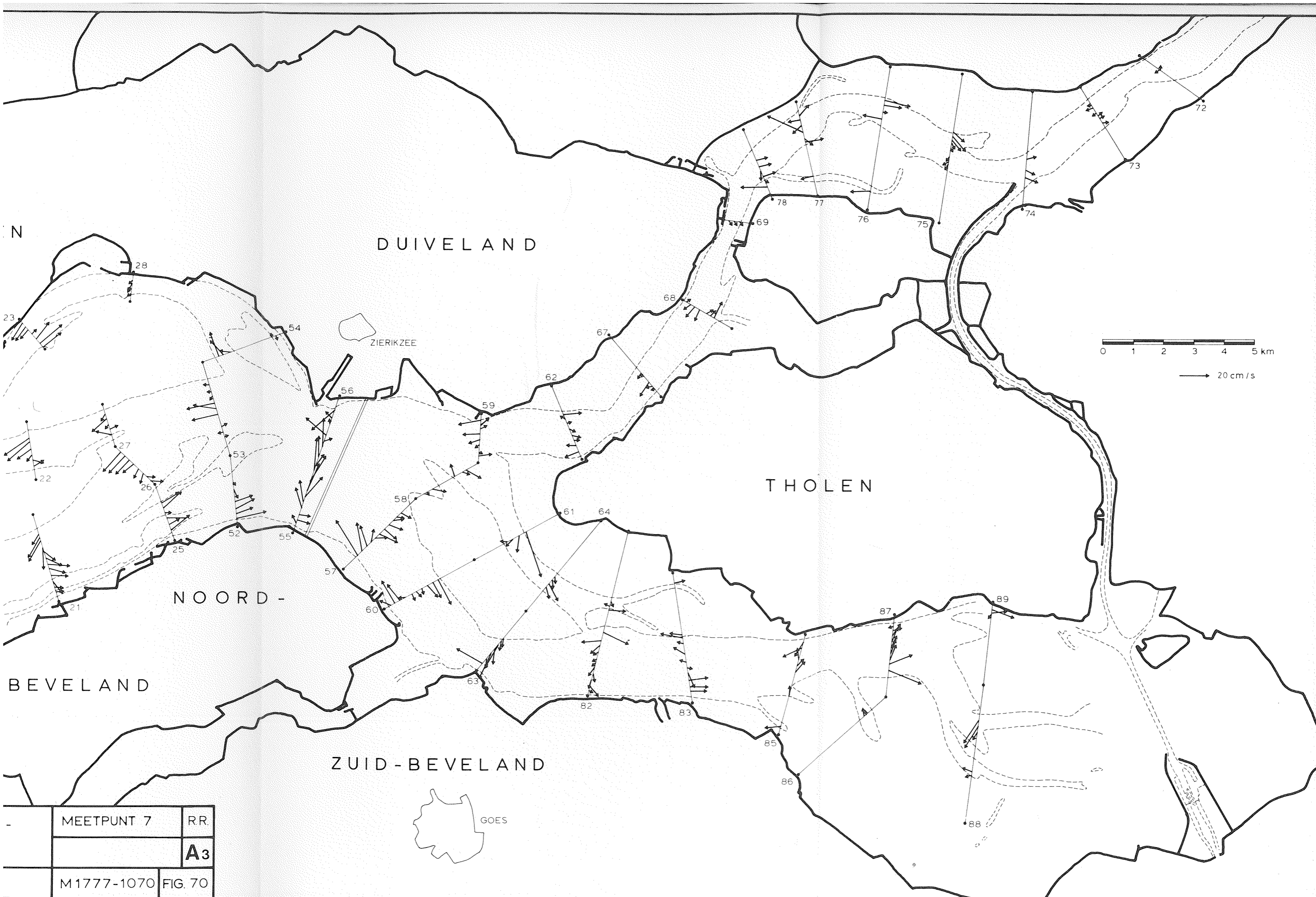
FIG. 68



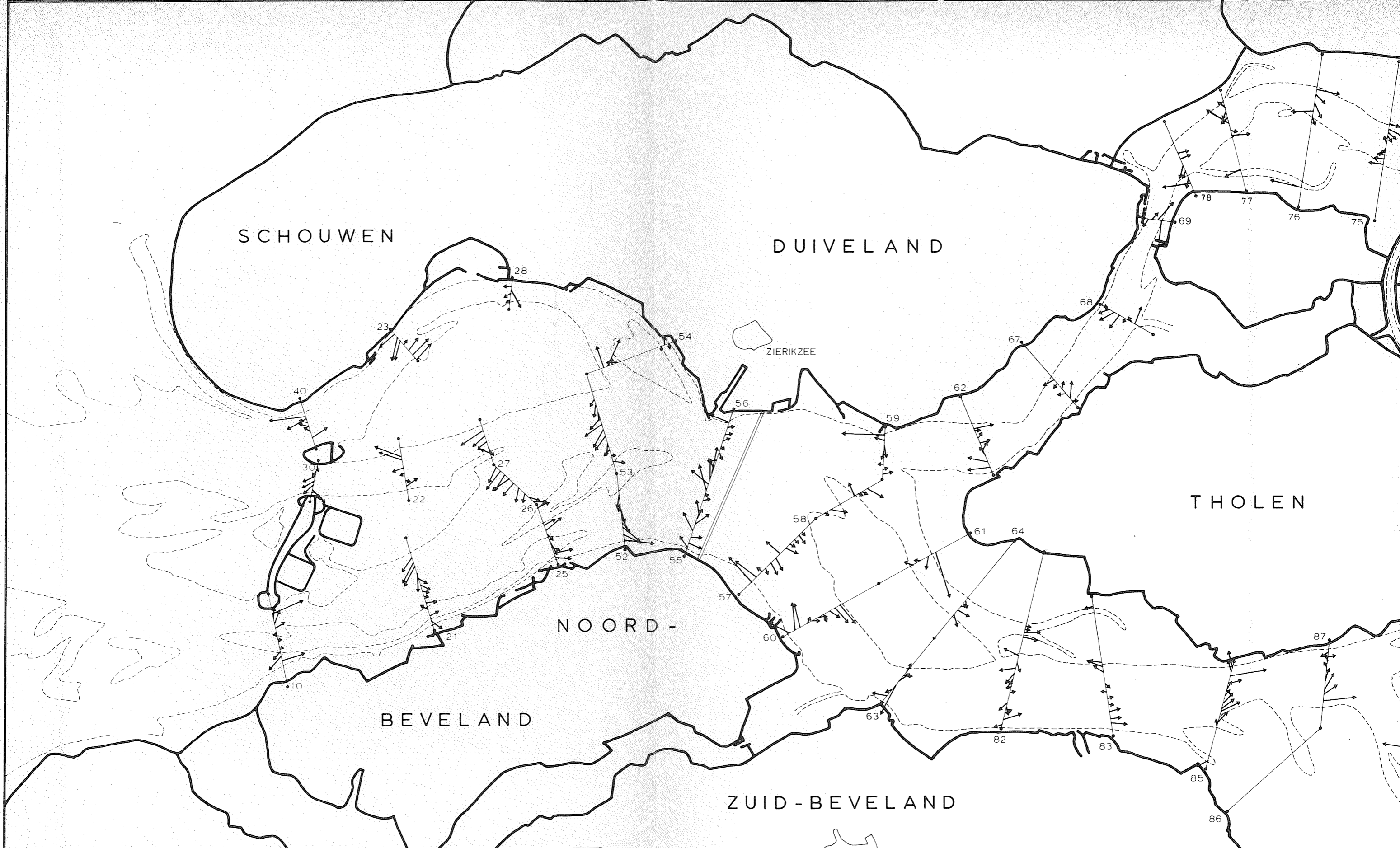


		RR.
		A3
M1777-1069	FIG. 69	

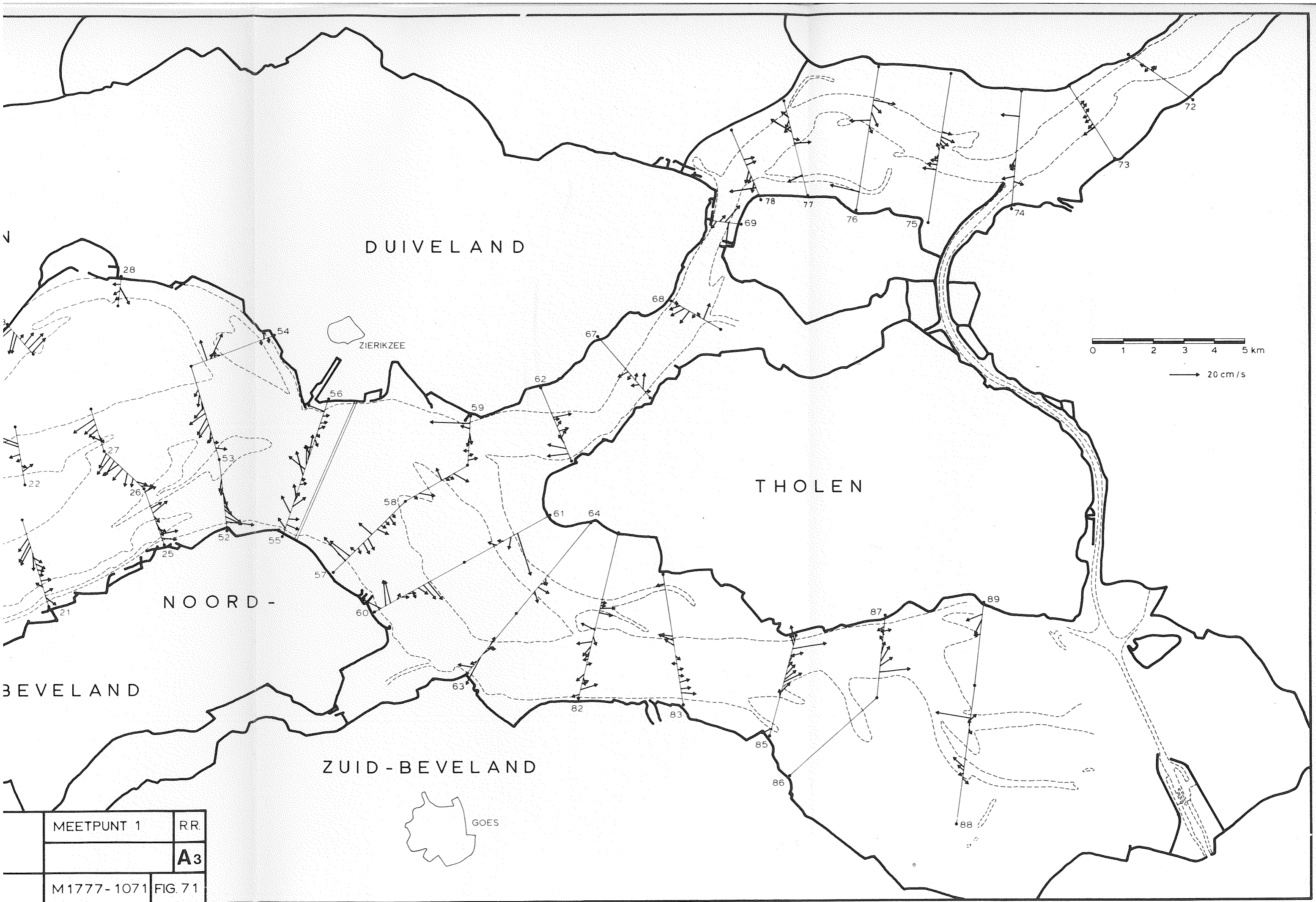




MEETPUNT 7	RR.
	A3
M1777-1070	FIG. 70



GETIJGEMIDDELDE SNELHEDEN NABIJ BODEM IN OOSTERSHELDE MODEL	MEETPUNT 1	R.R.
		A3
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M1777-1071	FIG. 71



DUIVELAND

THOLEN

NOORD -

BEVELAND

ZUID - BEVELAND

ZIERIKZEE

GOES



→ 20 cm/s

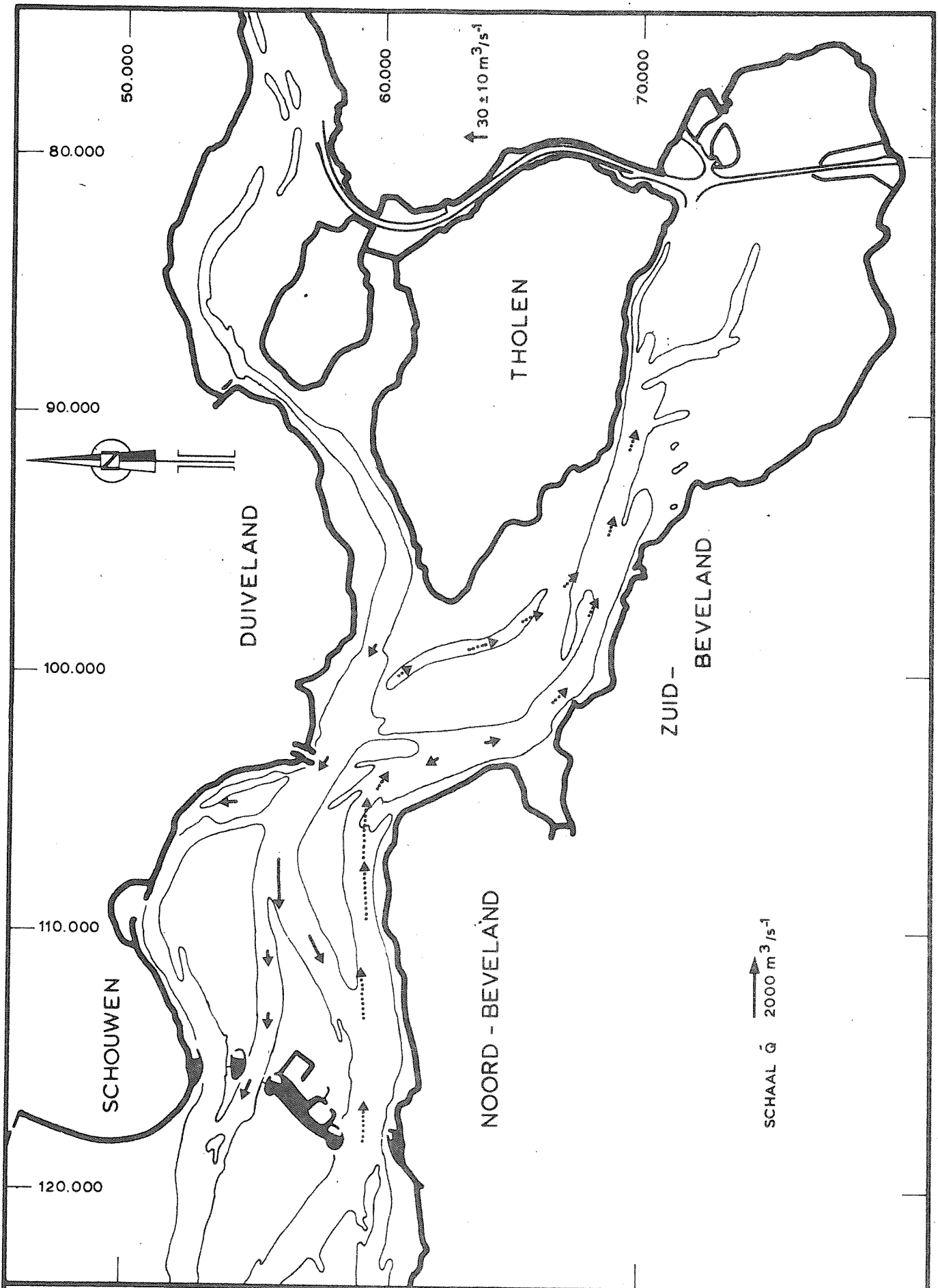
MEETPUNT 1

RR.

A3

M1777- 1071

FIG. 71



$\bar{Q}(x)$ -VERDELING IN OOSTERSCHELDE-GETIJMODEL

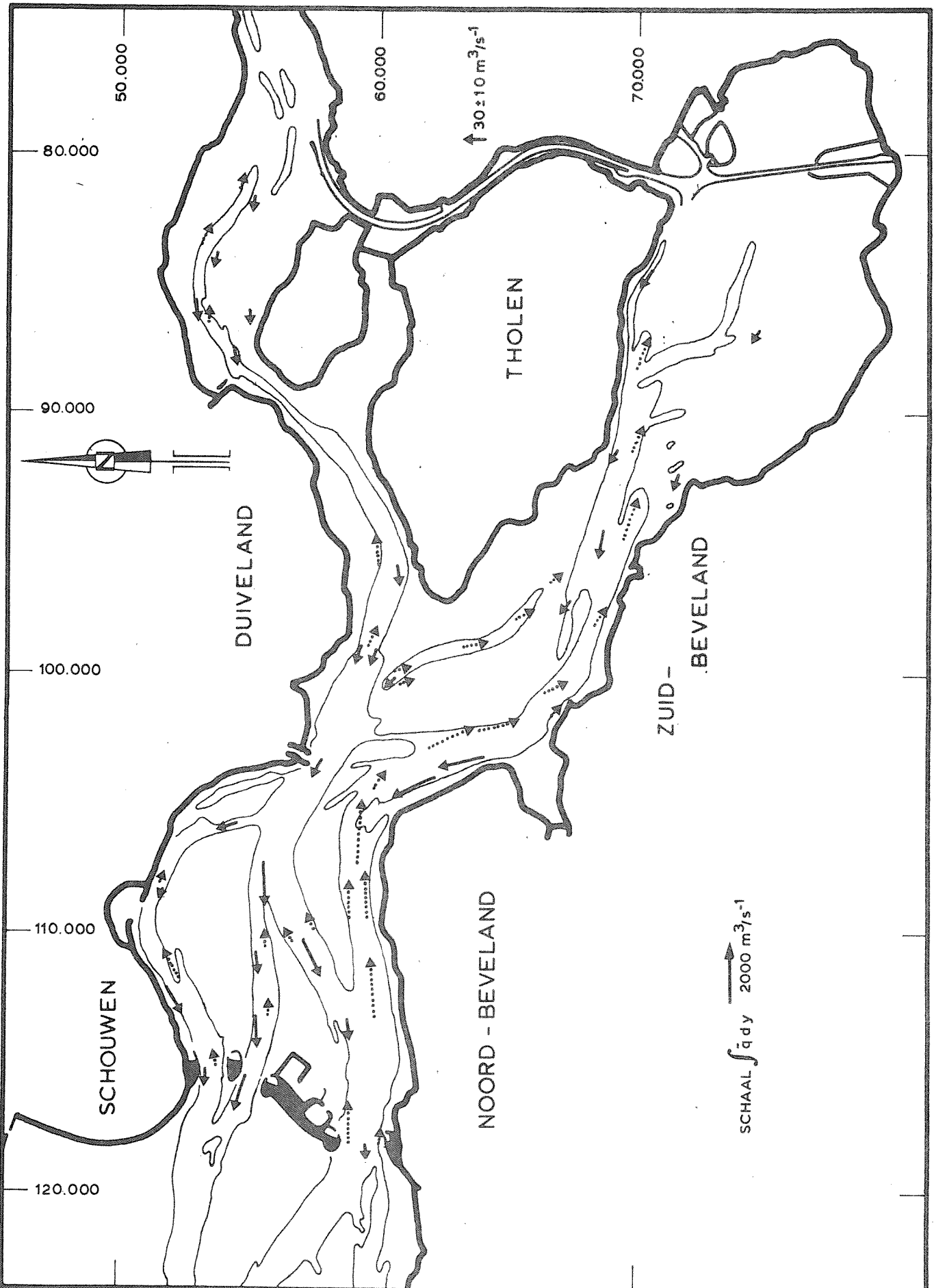
SCHAAL 1:200.000

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1777-1069

FIG.72



$\bar{q}, (x, y)$ - VERDELING IN OOSTERSHELDE-GETIJMODEL

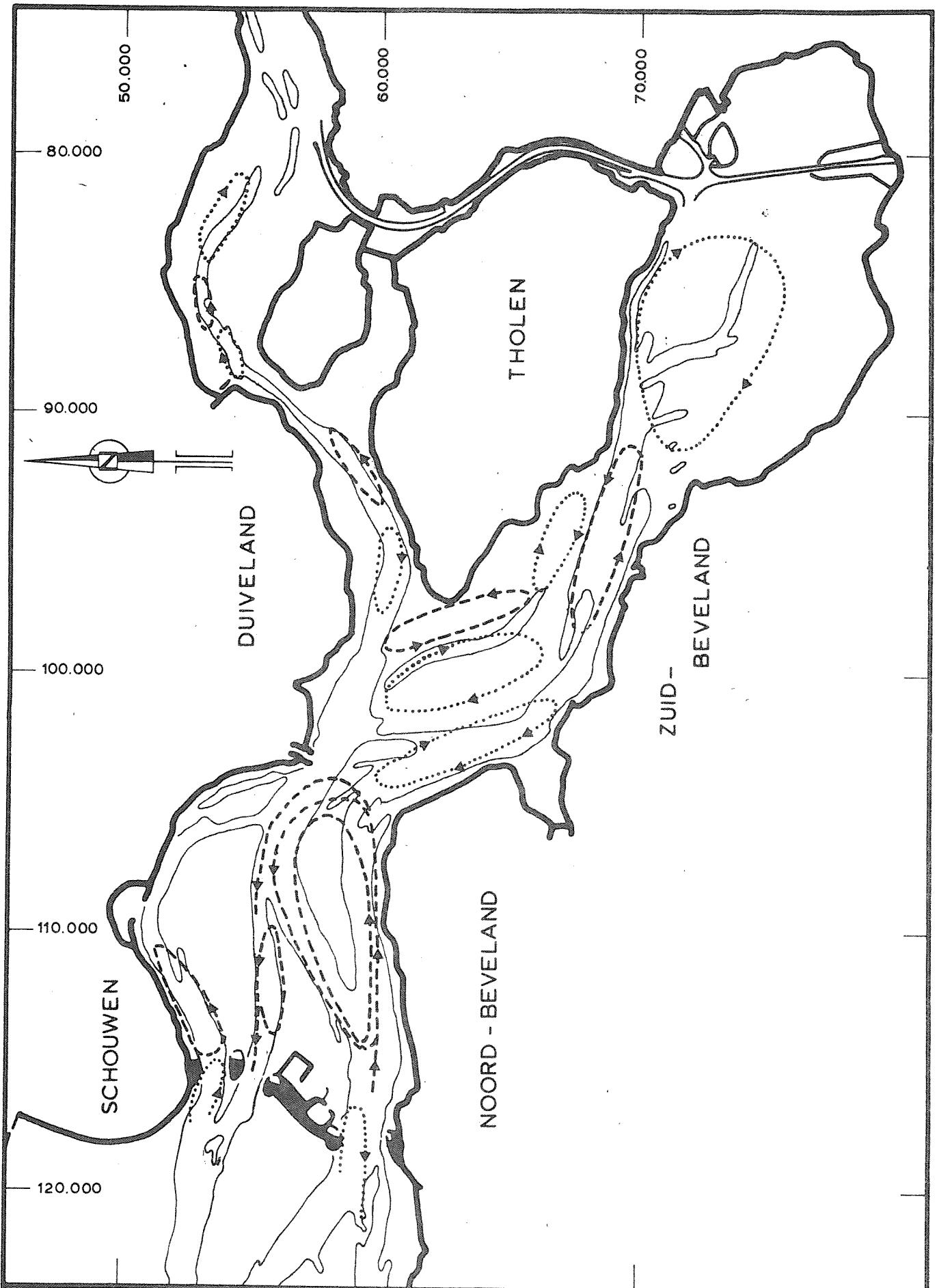
SCHAAL 1:200.000

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777- 1070

FIG. 73



GROOTSCHALIGE RESTCIRKULATIES IN
OOSTERSCHELDE-GETIJMODEL

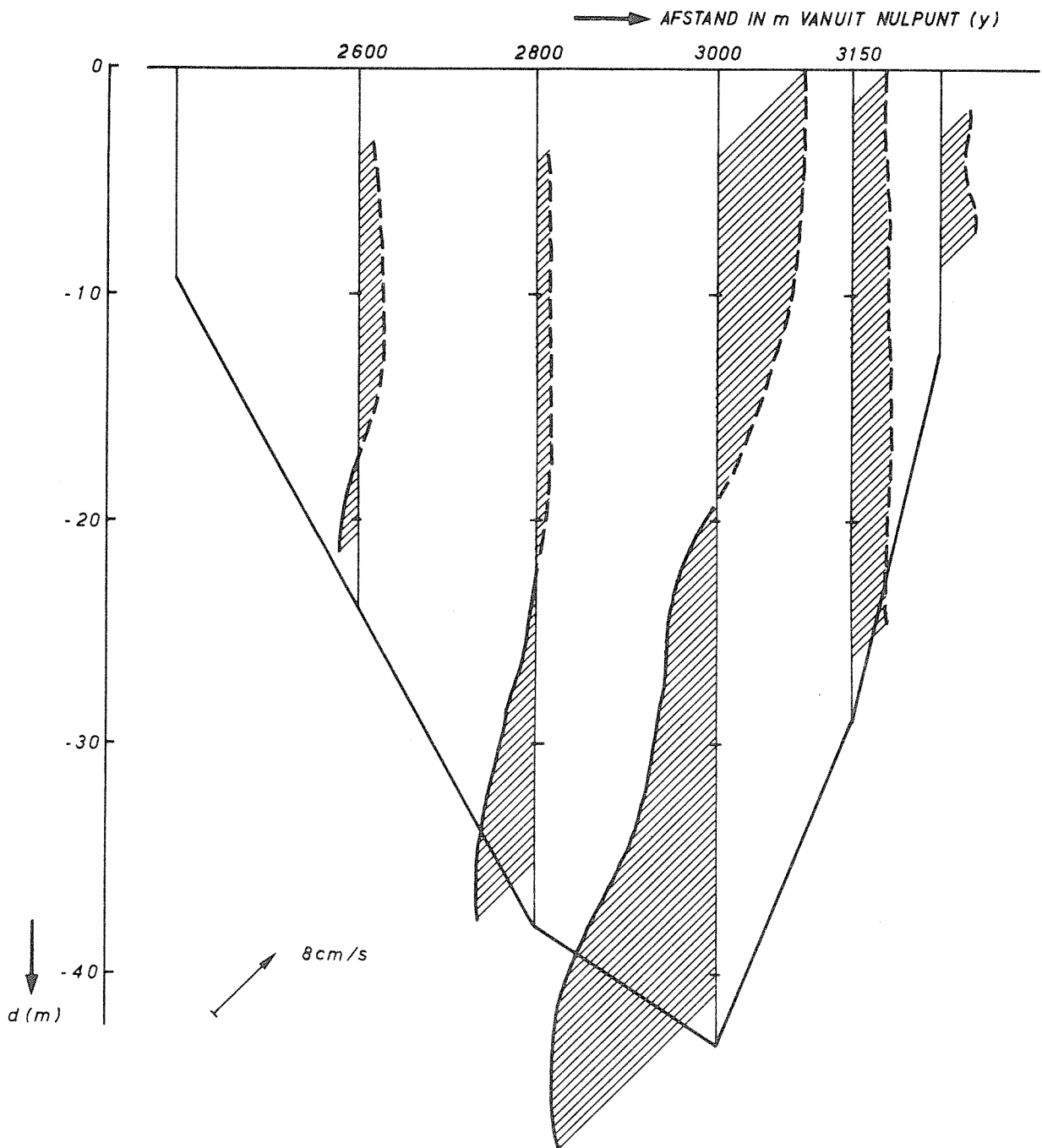
SCHAAL 1:200.000

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777-1071

FIG.74



VERDELING VAN RESTSTROMING U_{\perp}
 OVER DWARSDOORSNEDE VAN RAAI R85

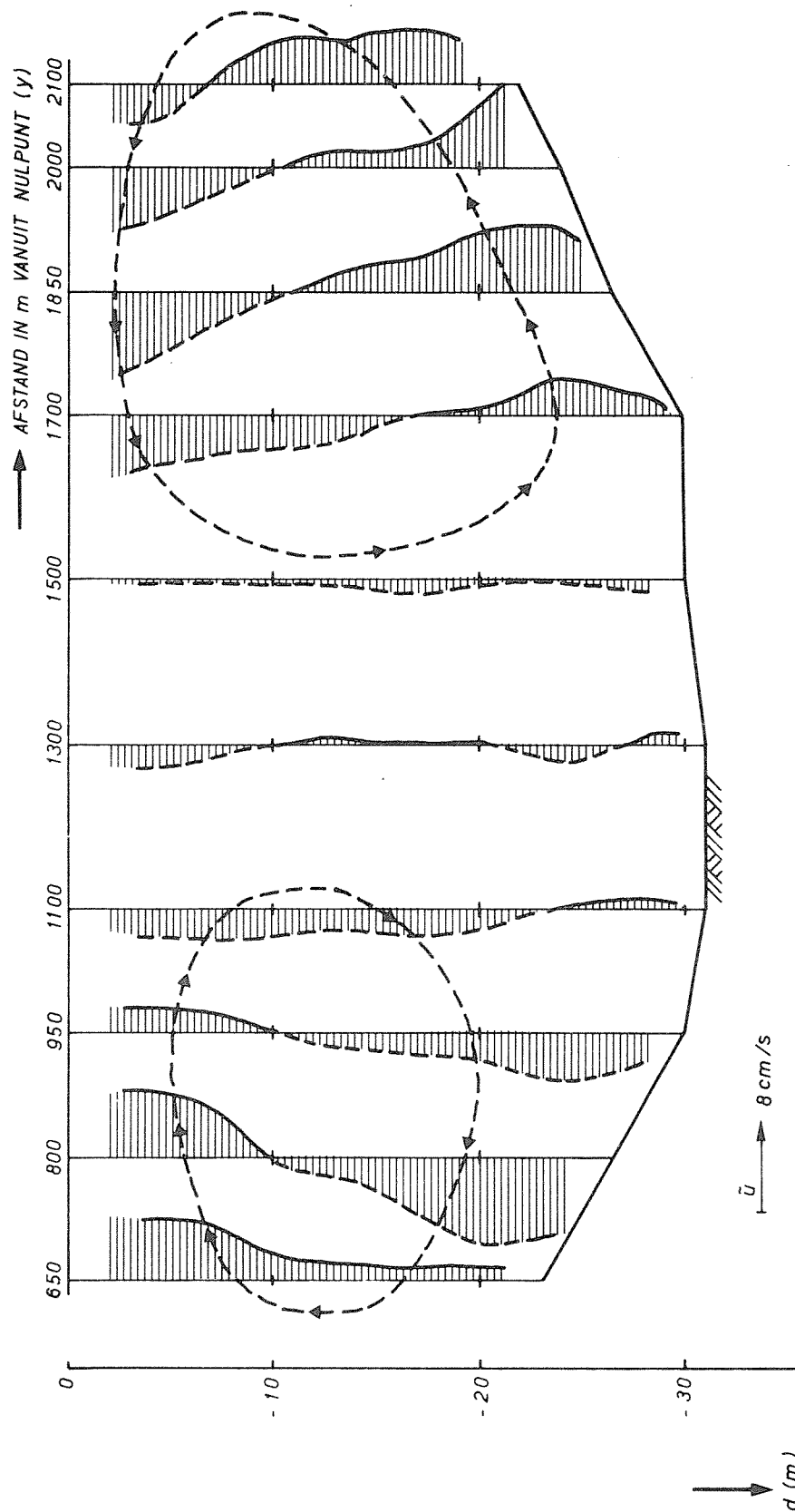
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1777 - 1072

FIG. 75



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING IN RAAI R 10

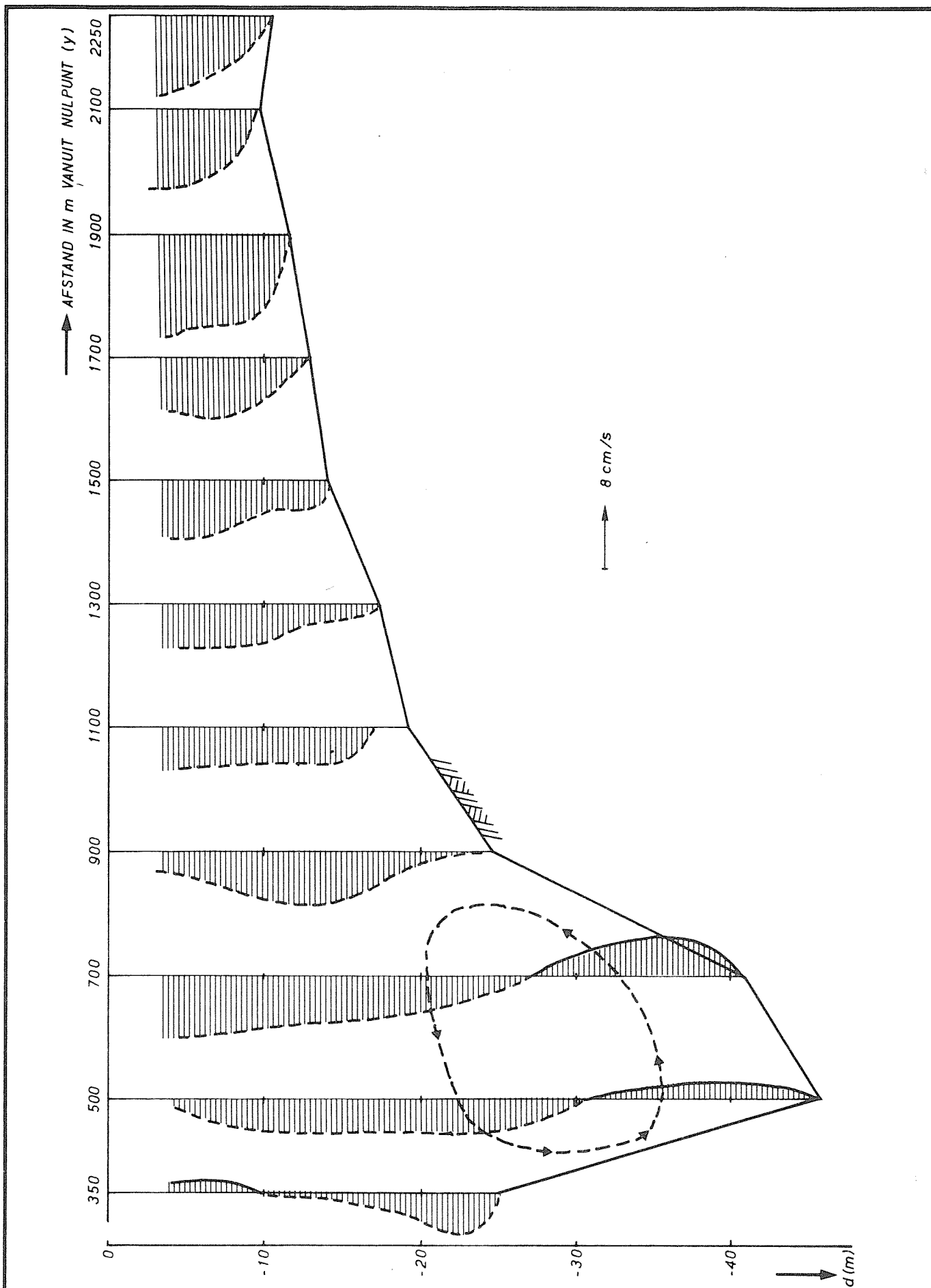
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1073

FIG. 76



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING (U_{II}) IN RAAI R 21

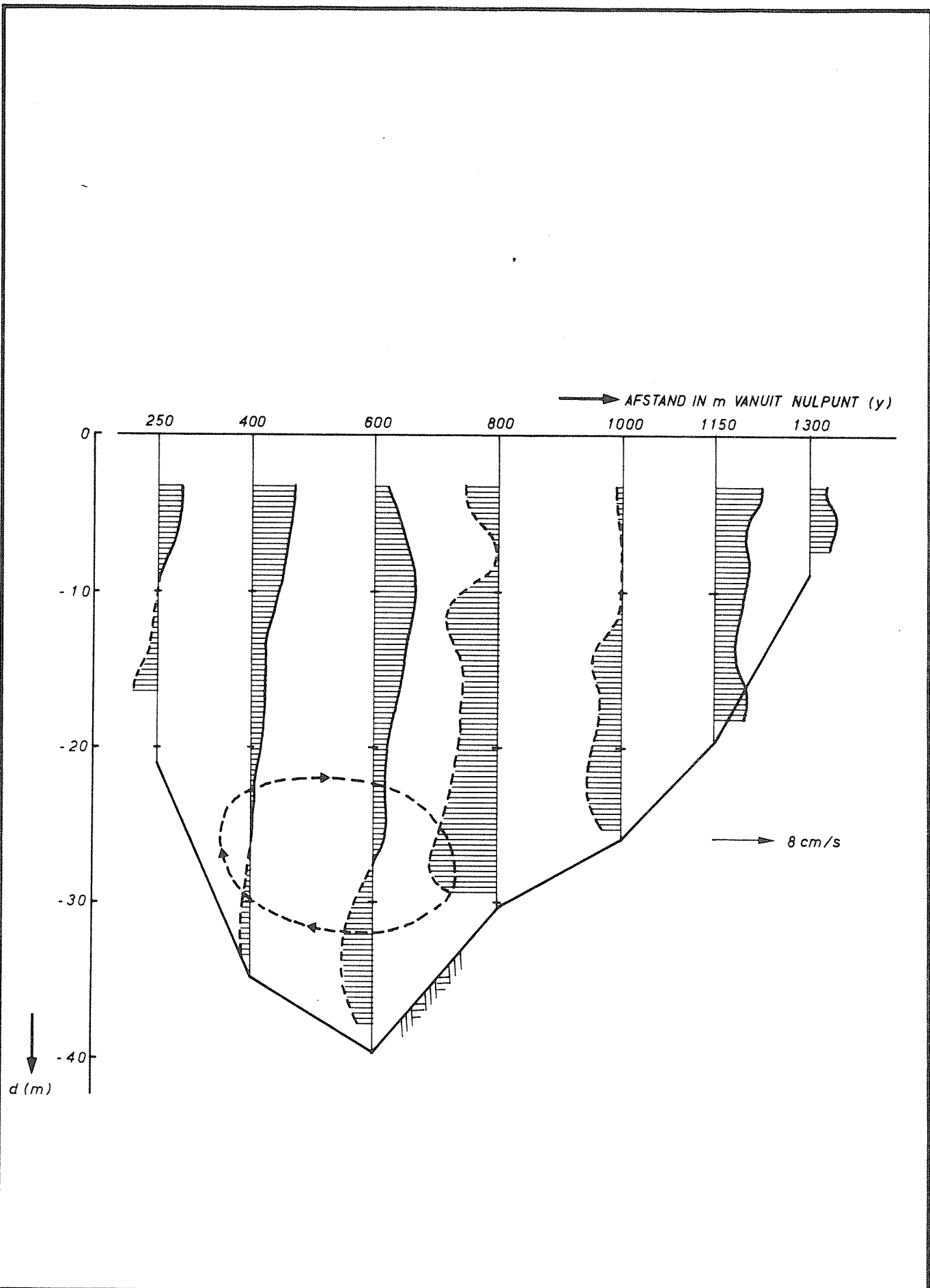
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1074

FIG. 77



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING (U_{11}) IN RAAI R 25

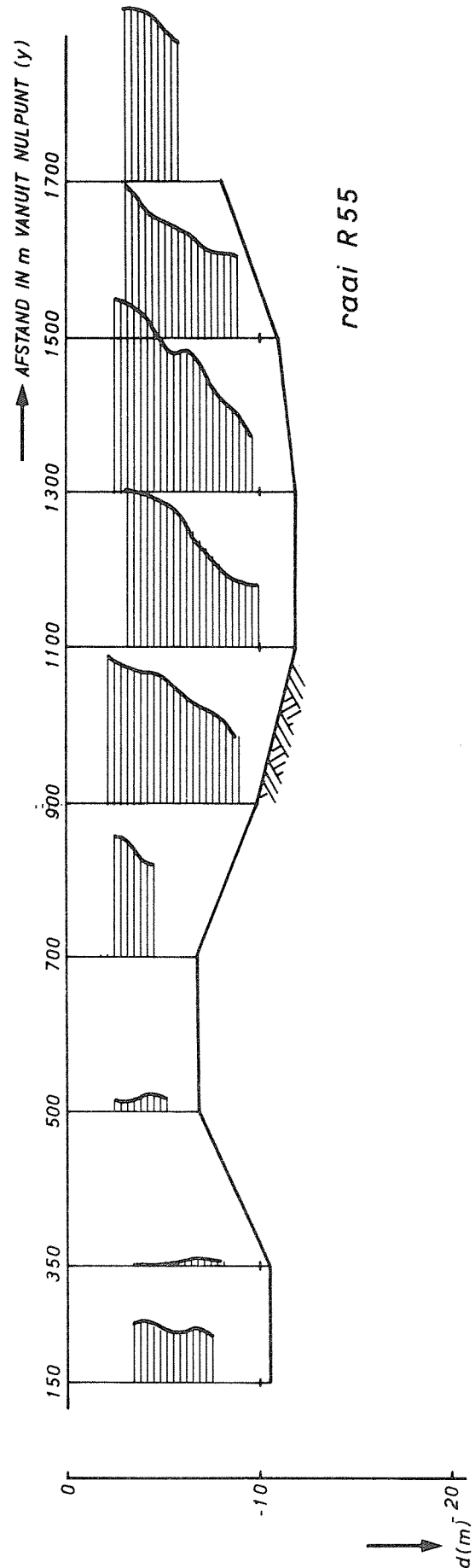
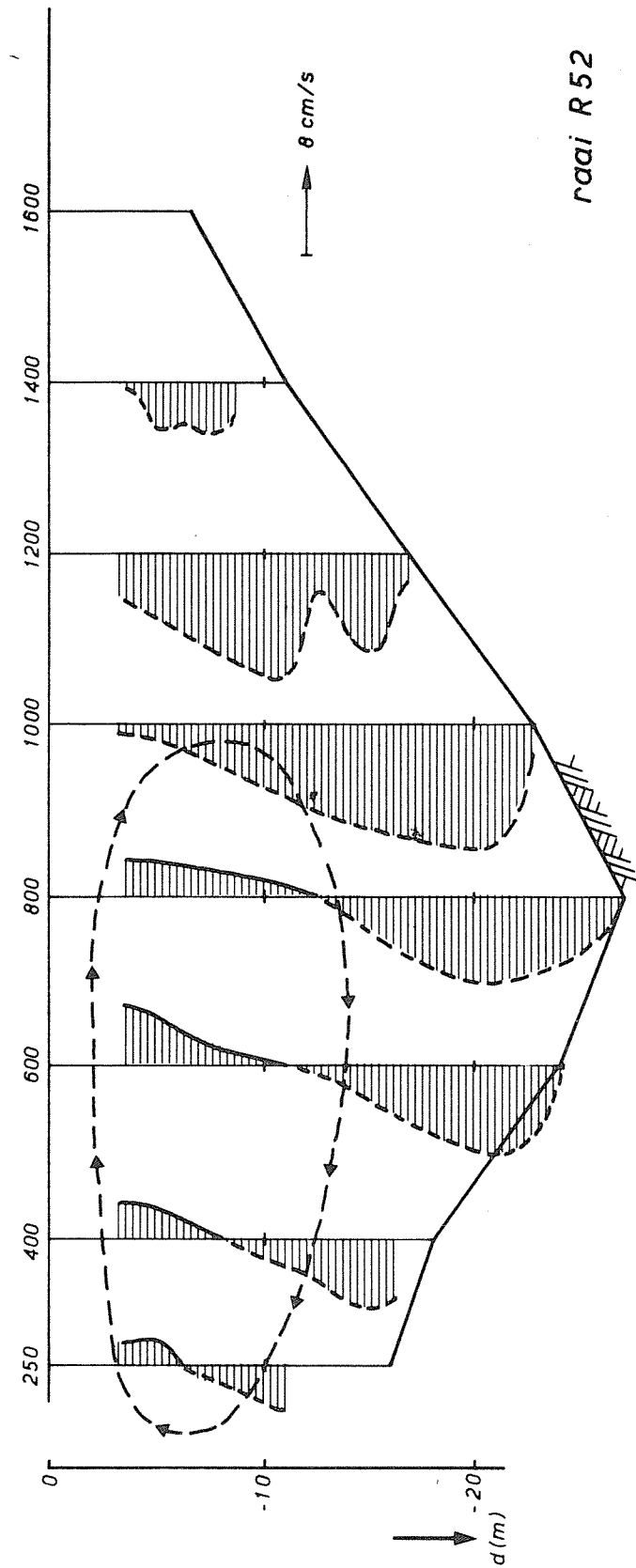
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1075

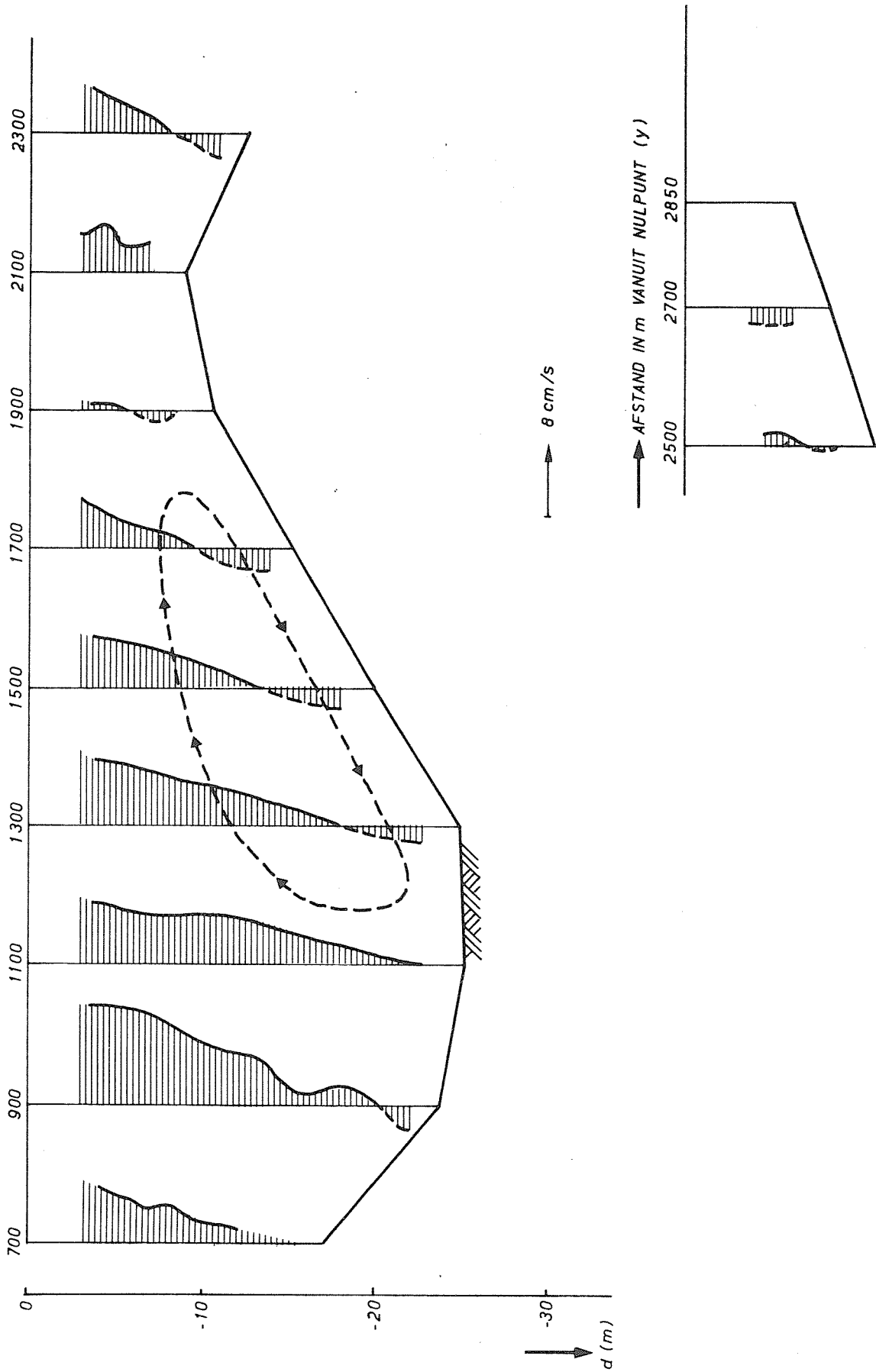
FIG. 78



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING (U_{II}) IN RAAI R52, R55

R.R.

A4



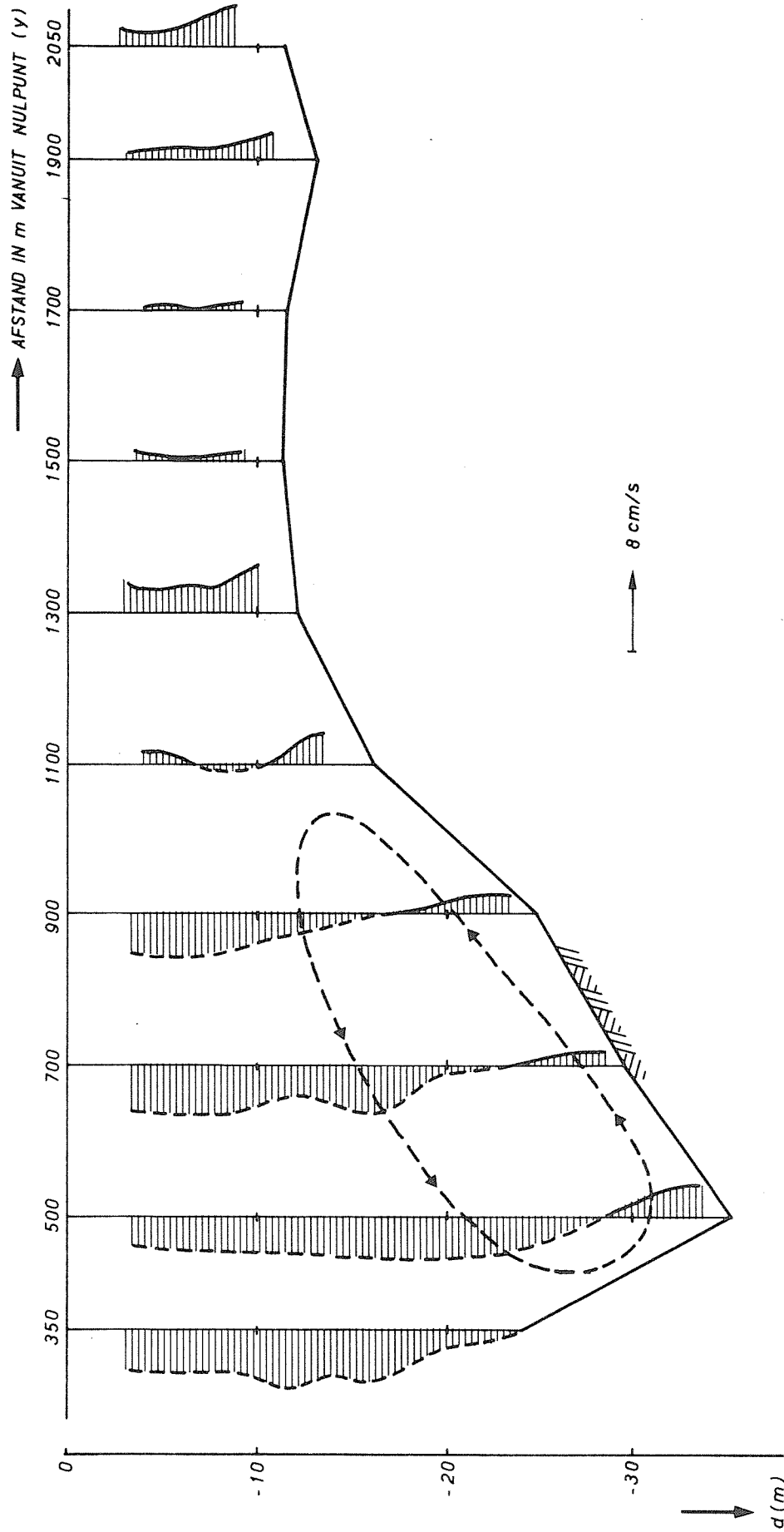
RESTSTROMING IN DWARSRICHTING (U_{II}) IN RAAI R57

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1077 FIG. 80



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING IN RAAI R 60

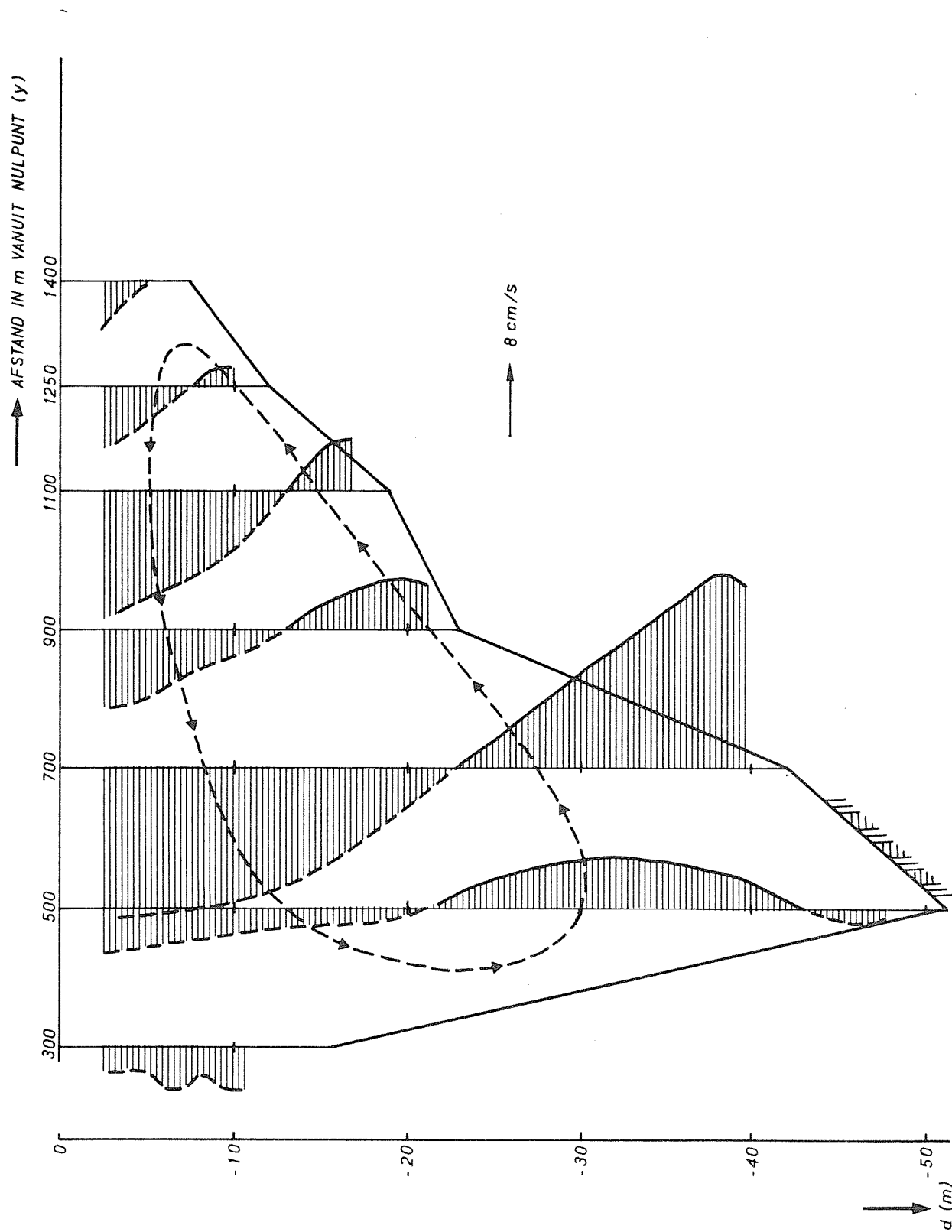
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1078

FIG. 81



RESTSTROMING IN DWARSRICHTING IN RAAI R 63

R.R.

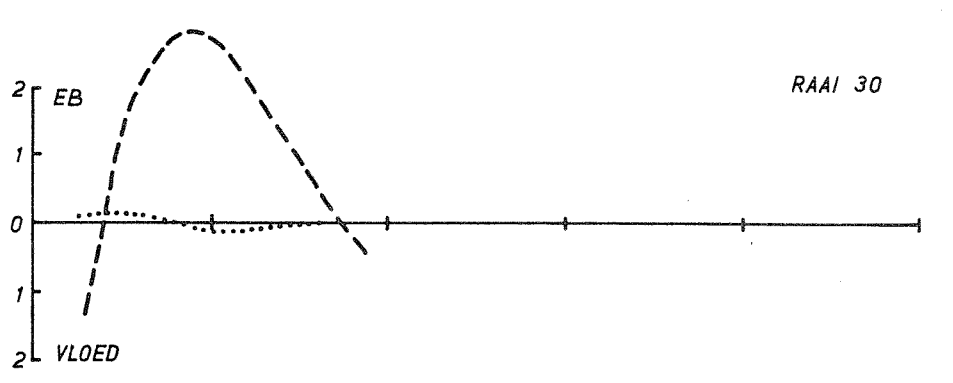
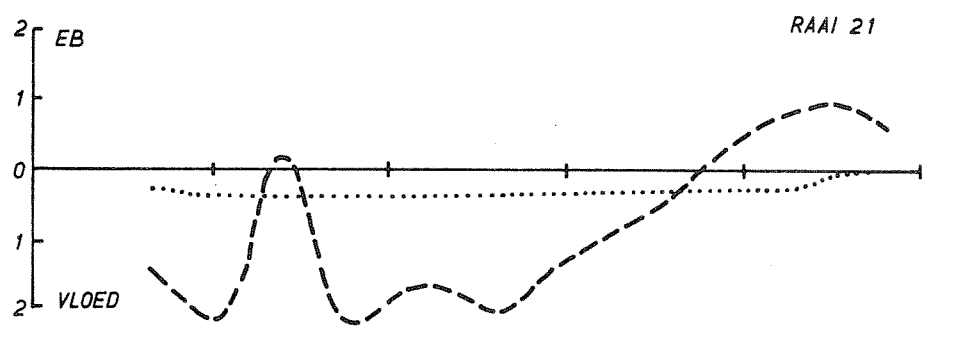
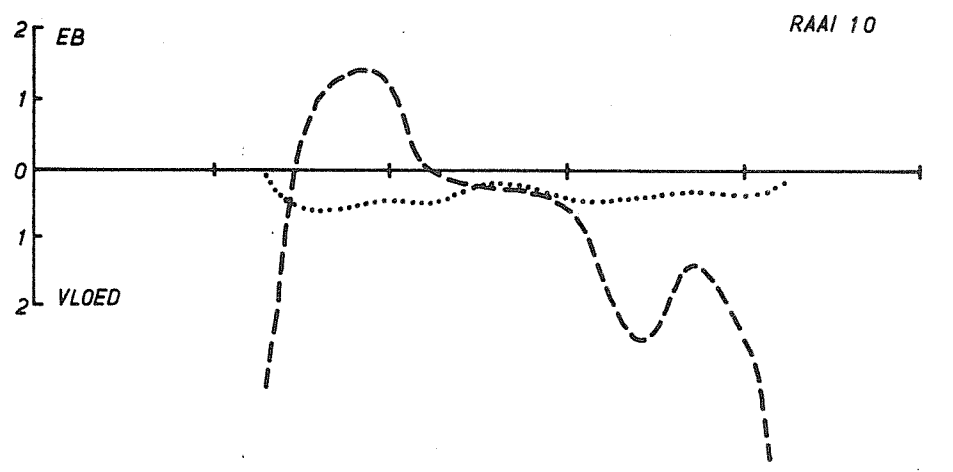
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1079

FIG. 82

\bar{q}_\perp
 $\zeta \bar{u}$
 $(m^2 s^{-1})$
 ↑



0 500 1000 1500 2000 2500

→ AFSTAND IN m
VANUIT NULPUNT

- - - - - RESTDEBIET \bar{q}_\perp
 STOKESDRIFT $\zeta \bar{u}$

RESTDEBIET - EN STOKESDRIFTVERDELING

R.R.

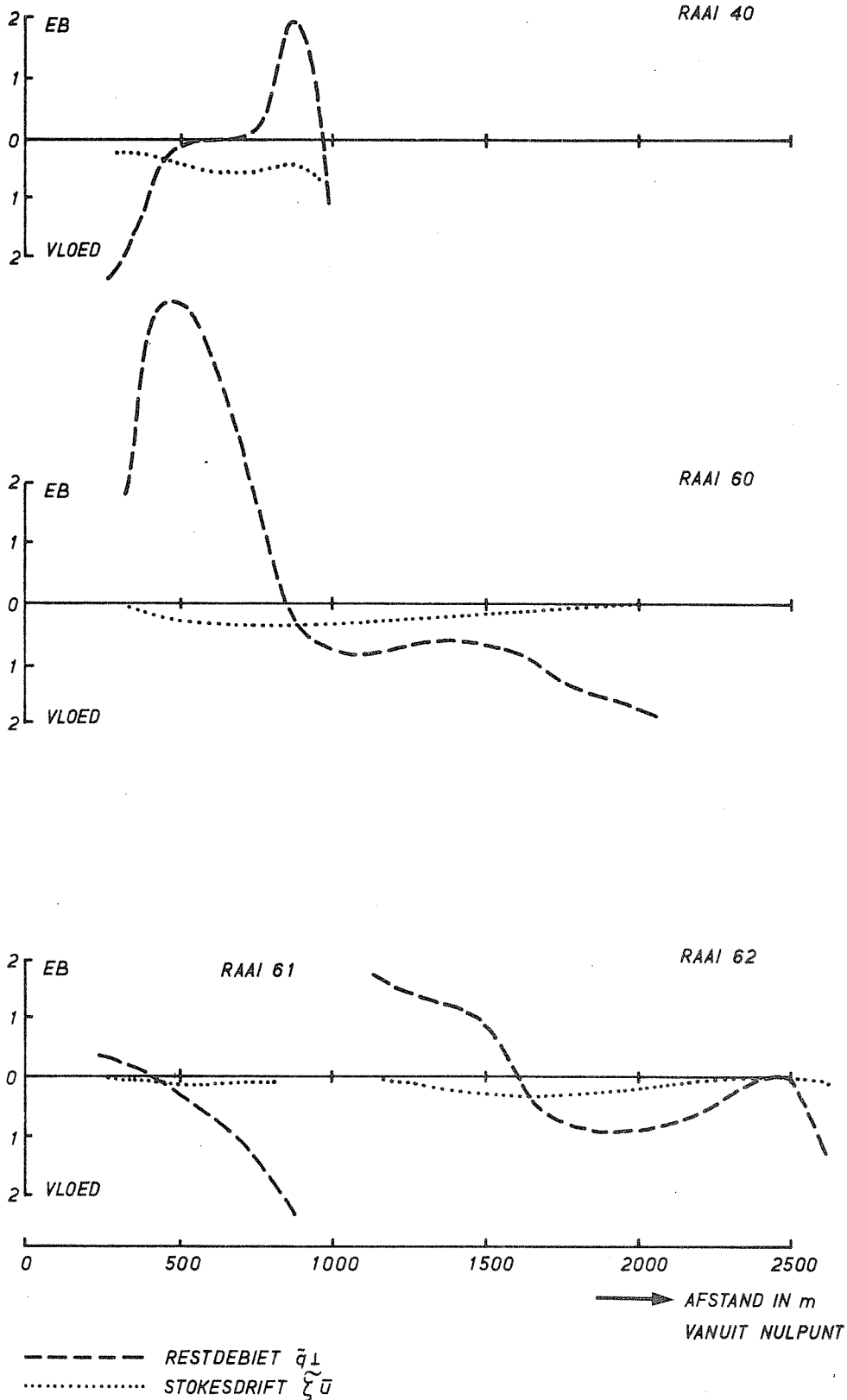
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1080

FIG. 83

\bar{q}_\perp
 $\bar{\xi} \bar{u}$
 $(m^2 s^{-1})$
 ↑



RESTDEBIET - EN STOKESDRIFTVERDELING

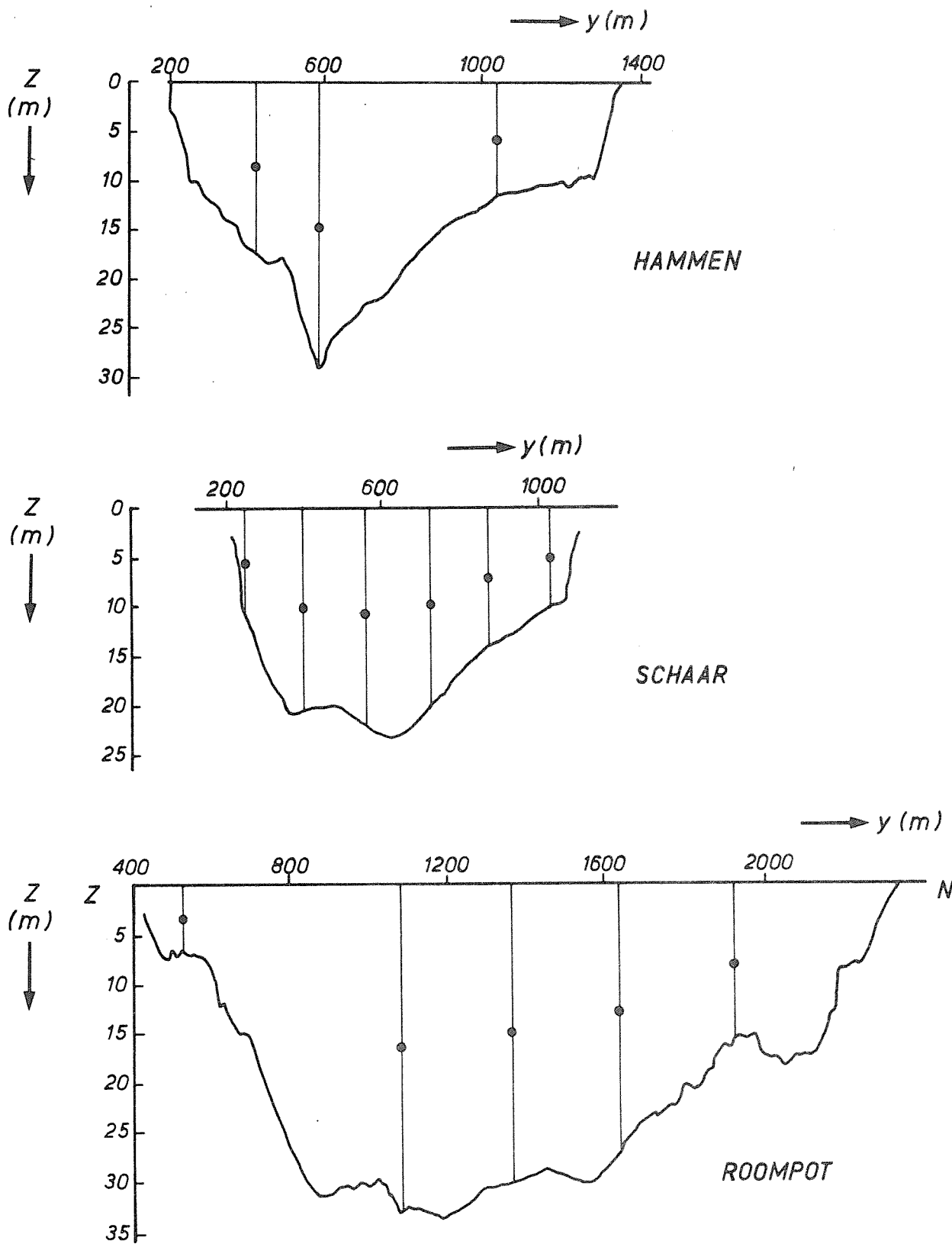
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777 - 1081

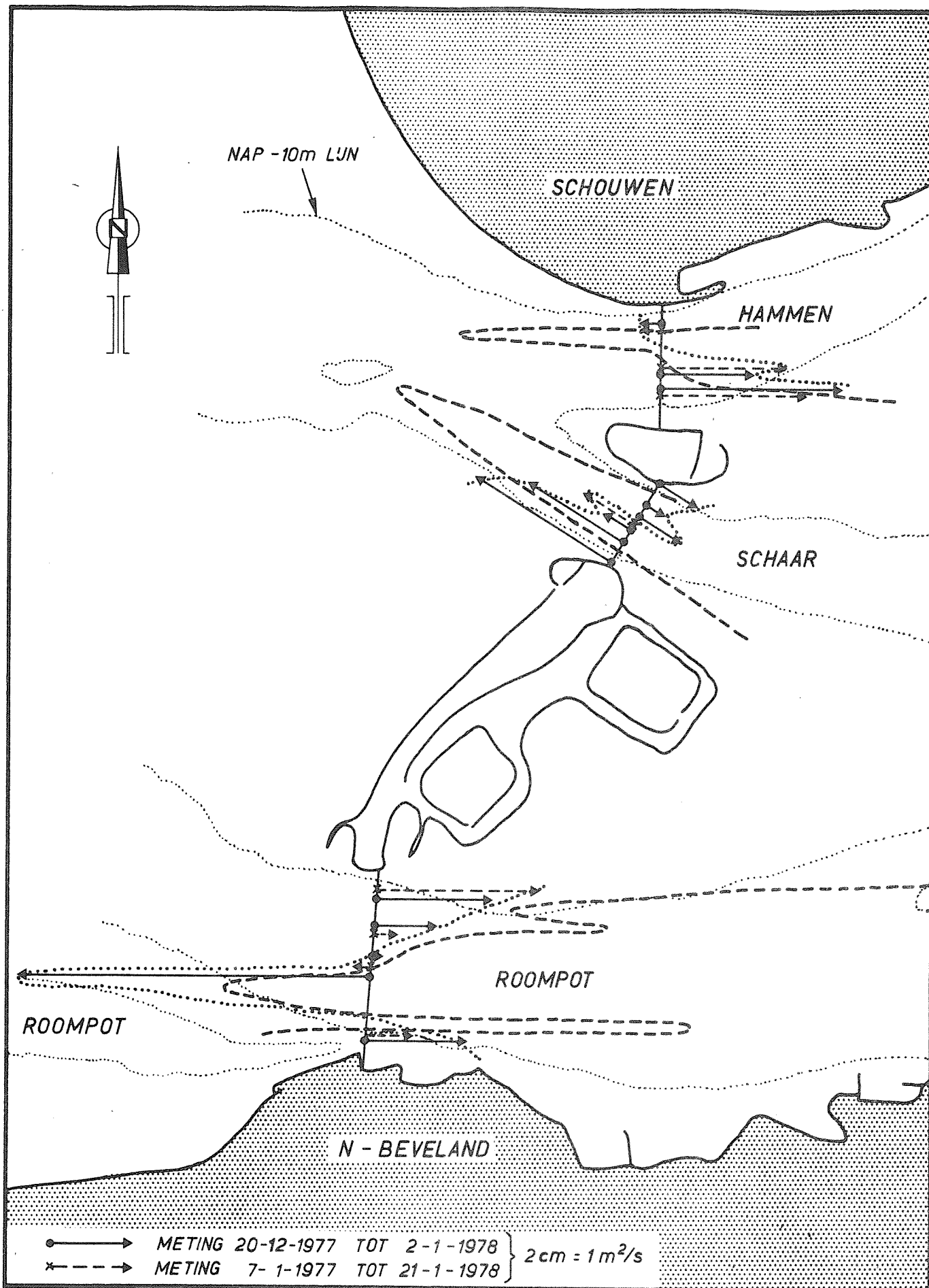
FIG. 84



DWARSDOORSNEDEN VAN DE SLUITGATEN IN DE MOND
 VAN DE OOSTERSCHELDE EN POSITIES VAN FLACHSEE-
 STROOMMETERS BIJ DE METING VAN 20-12-1977 TOT 2-1-78

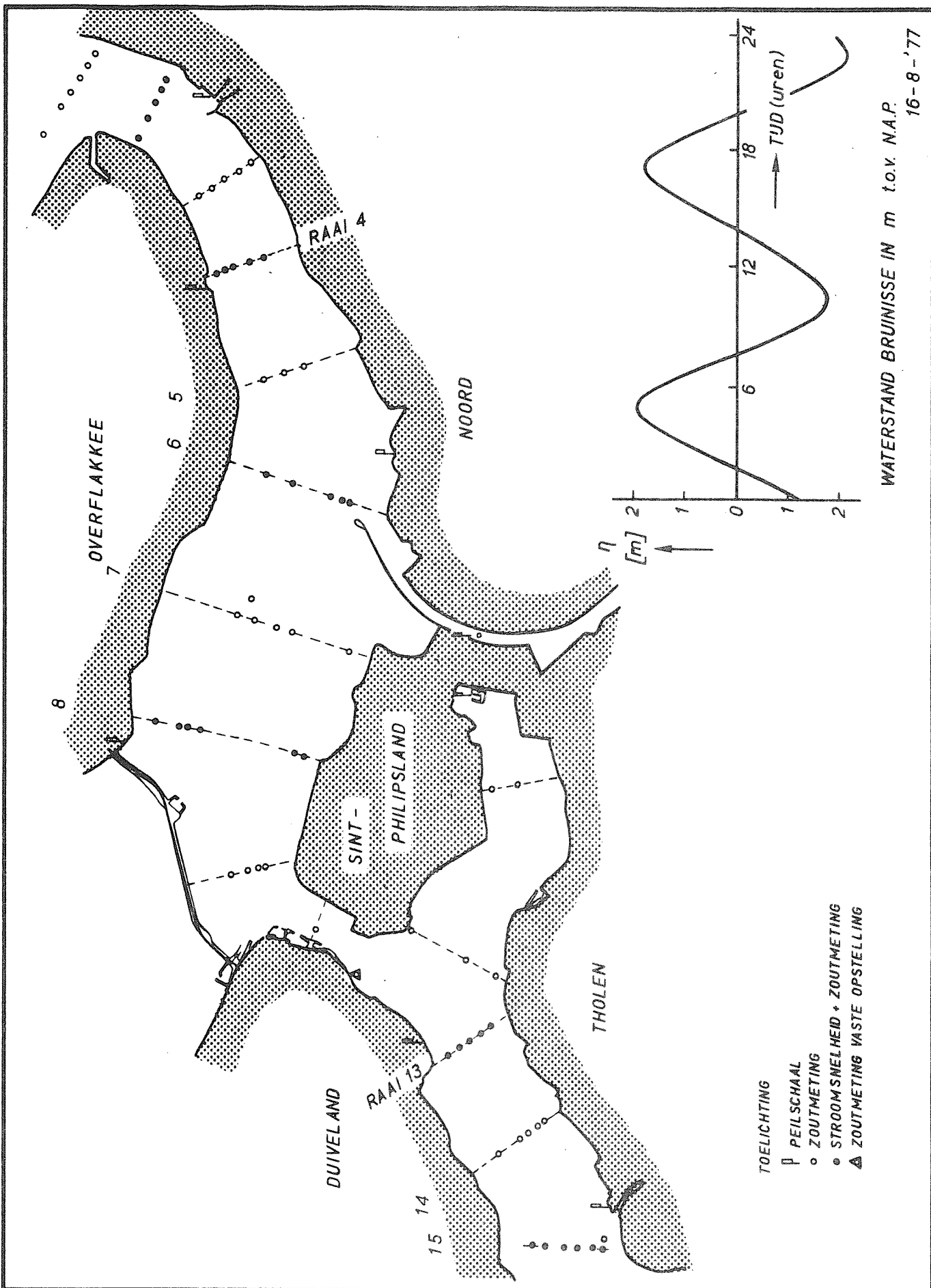
JB

A4



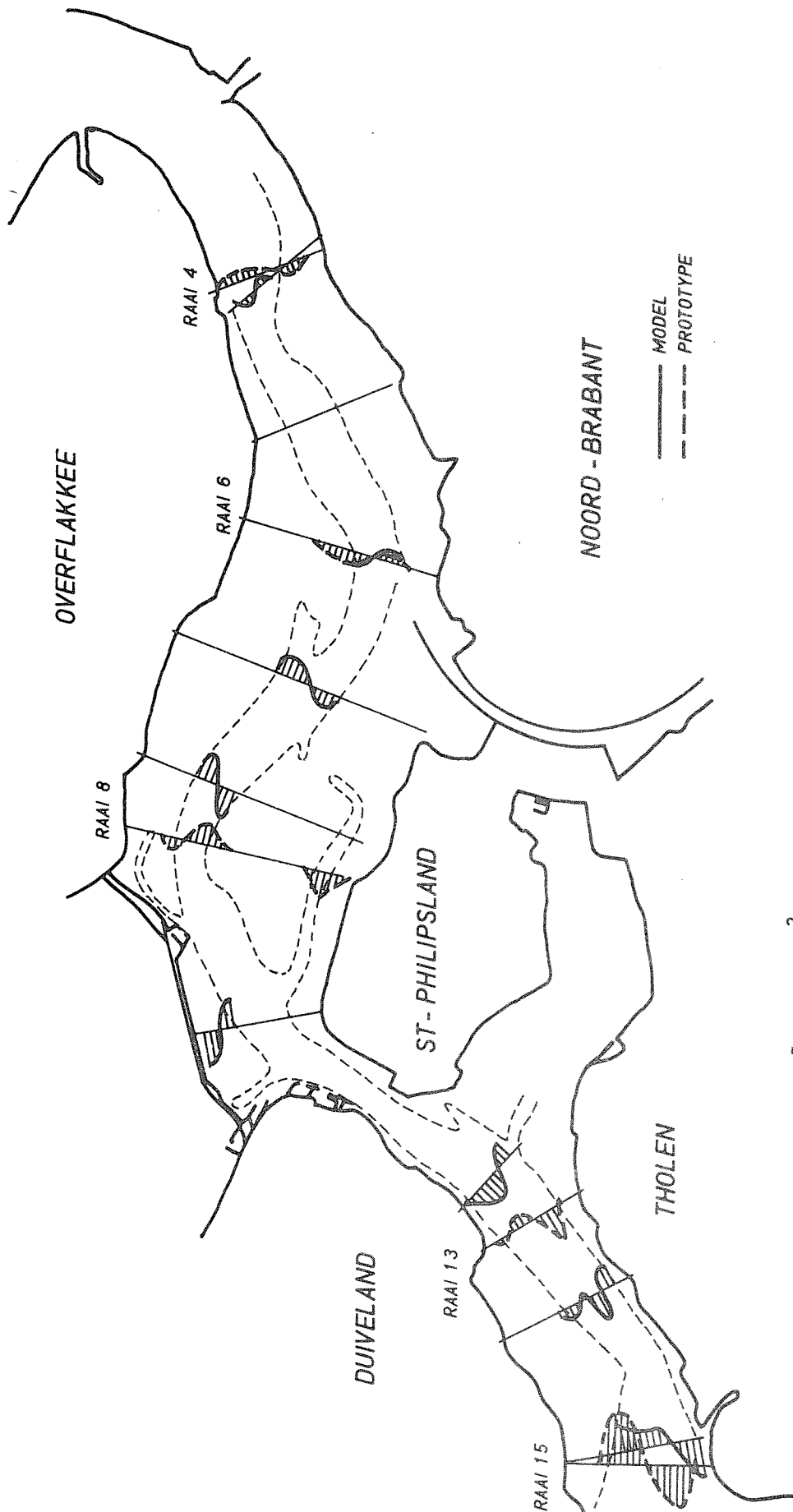
RESULTATEN RESTSTROOMMETING MOND OOSTERSCHELDE :
 RESTDEBIETEN PER EENHEID VAN BREEDTE :

\bar{q} VERDELING : JB
 PROTOTYPE
 - - - MODEL A4



OVERZICHT MEETVERTIKALEN 13 UURSMETING, KEETEN-VOLKERAK + VERTIKAAL GETJ BRUINISSE VAN 16-8-1977

A4



RESULTATEN RESTSTROOMMETING KEETEN -
VOLKERAK IN MODEL EN PROTOTYPE

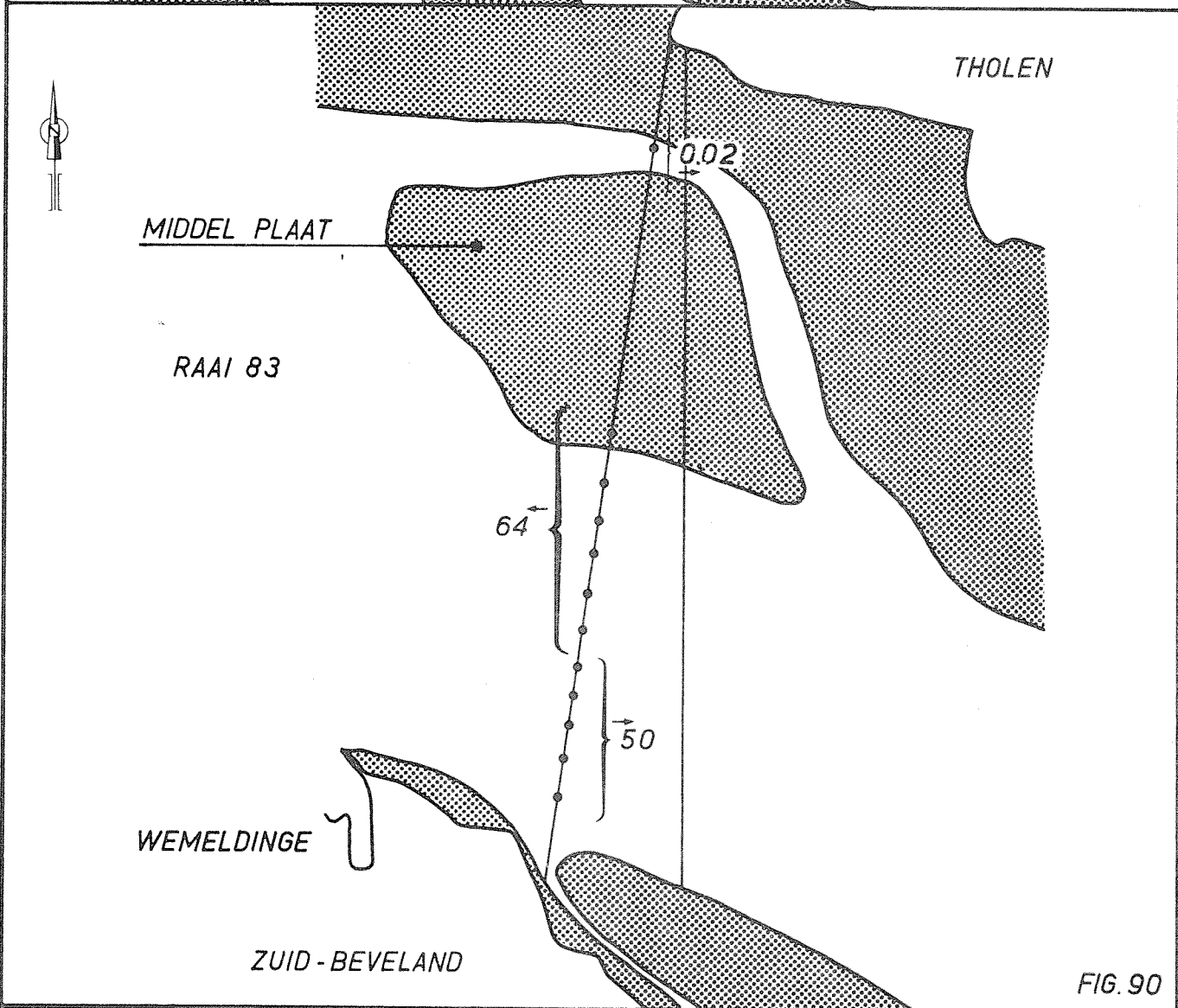
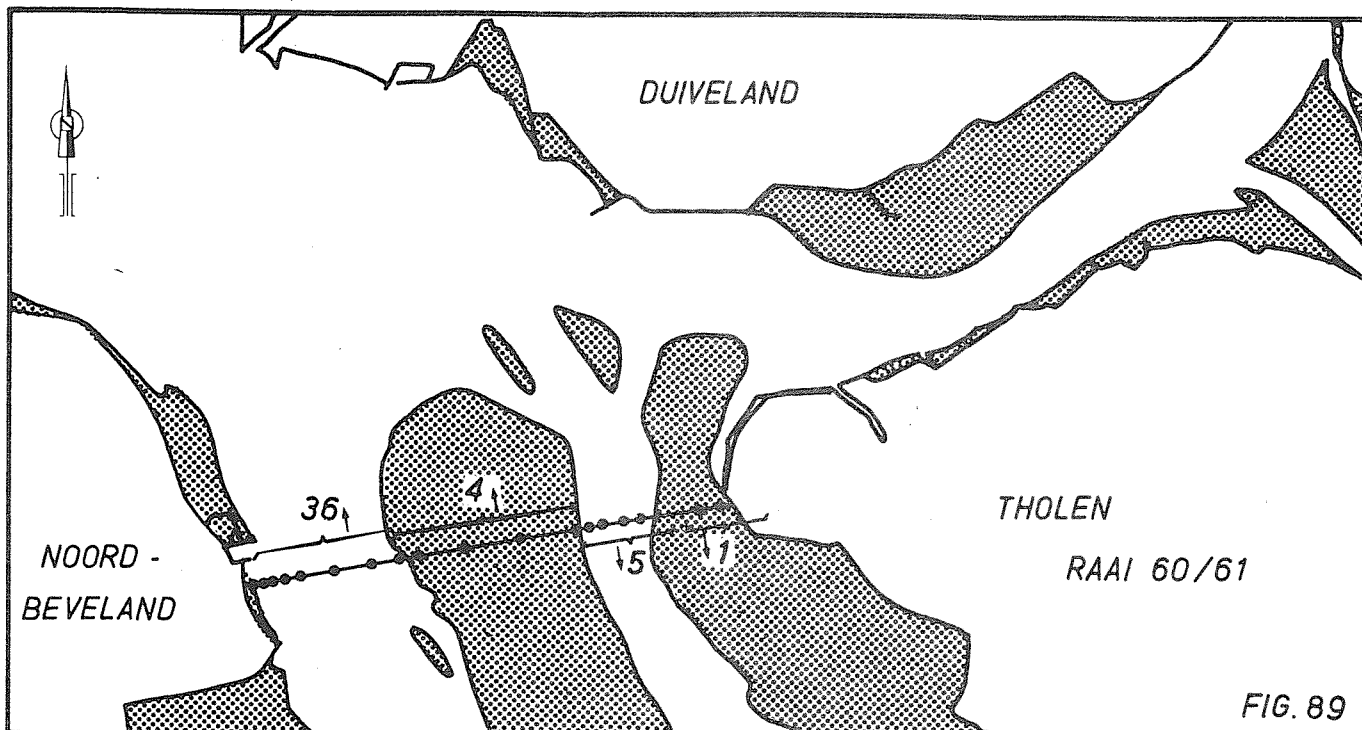
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777-1085

FIG. 88



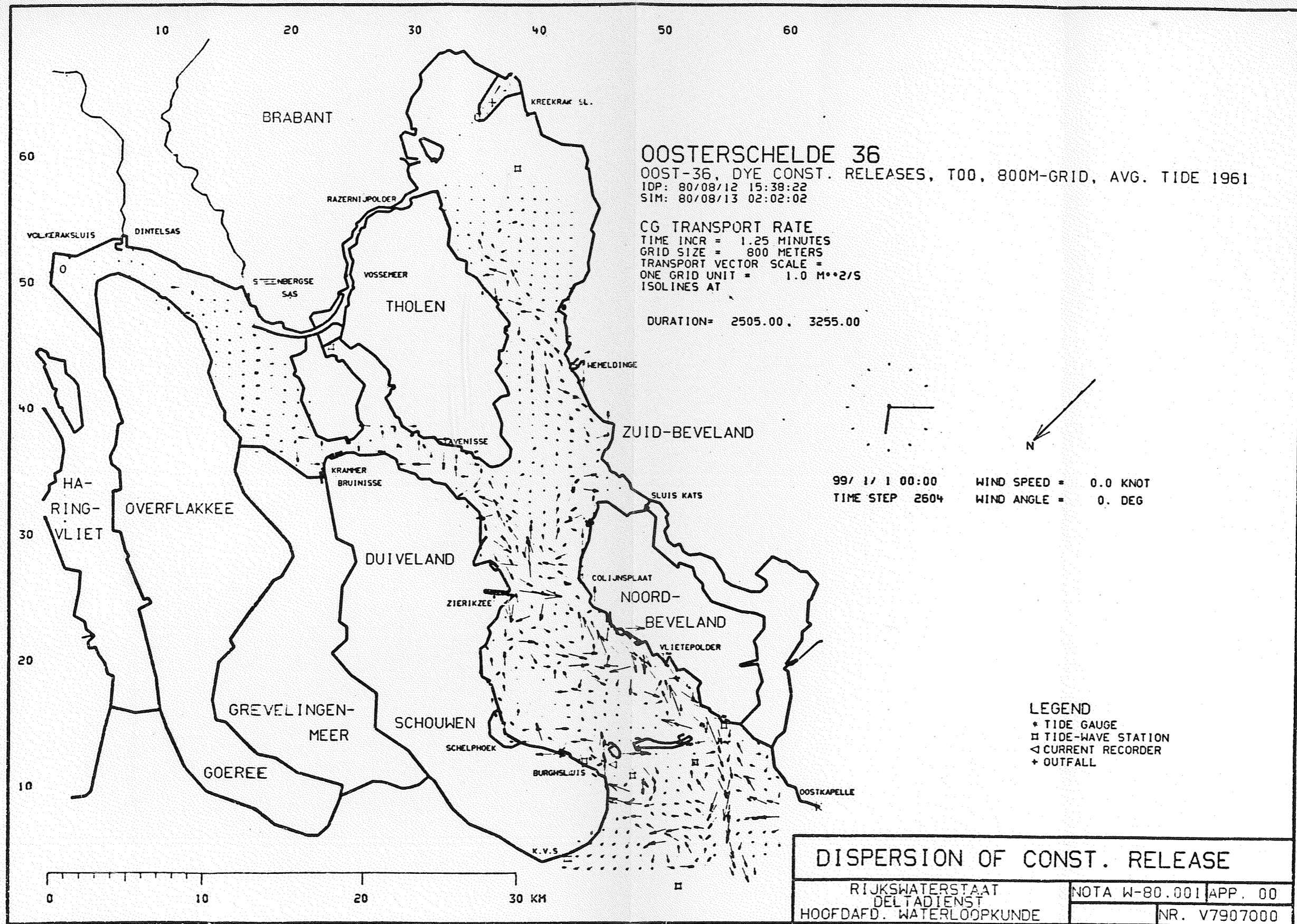
GETIJ-OVERSCHOT IN 10^6 m^3 (PROTOTYPE)

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1777-1086

FIG. 89, 90



BEREKENDE RESTSTROOMVERDELING VOLGENS WAQUA - OOST		
		A3
DELFT HYDRAULICS LABORATORY	M 1777- 1091	FIG 91

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands