

OI 67019.2

BIBLIOTHEEK RIVIERKUNDE



MORFOLOGIE

73.7^b

waterloopkundig laboratorium

verbetering bevaarbaarheid
rivierkruising te Wijk bij Duurstede

morfologische aspecten

verslag modelonderzoek

M 974/975 deel II

uari 1973



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Directie Oost-Nederland

Bibliotheek

Nr. ANSR-73.7/II ON

verbetering bevaarbaarheid
rivierkruising te Wijk bij Duurstede

morfologische aspecten

verslag modelonderzoek

M 974/975 deel II

februari 1973

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Aard van het onderzoek	1
1.3 Gegevens en richtlijnen	2
1.4 Samenvatting van de belangrijkste resultaten	2
<u>2</u> <u>Het model</u>	
2.1 Schalen	4
2.2 Constructie en inrichting	7
<u>3</u> <u>Opzet modelonderzoek</u>	
3.1 Inleiding	8
3.2 Bodemligging op de riviertakken	8
3.3 Bodemligging op de kruising	9
3.4 Neersnelheden in de kommen	9
3.5 Slingering	10
3.6 Waterstand	10
3.7 Uitwisseling	10
<u>4</u> <u>Proeven</u>	
4.1 Inleiding	11
4.2 Onderzoek situatie vóór Rijnkanalisatie (T0*)	12
4.2.1 Reproductie riviertakken (íjking)	12
4.2.2 Bodemligging kruising	12
4.3 Onderzoek situatie na Rijnkanalisatie. Huidige situatie (T0)	13
4.4 Onderzoek gewijzigde situaties	14
<u>5</u> <u>Conclusies</u>	20

Appendix A Stabiliteit en sterkte van de neren in de cirkulatiekommen

Appendix B Slingering watermassa in kommen en voorhavens

Appendix C Uitwisseling en aanslibbing

LITERATUUR

FIGUREN

- 1 Overzicht situatie
 - 2 Situatie kruising
 - 3 Zeefkrommen van in het model gebruikte zand
 - 4 Vergelijking lengteprofielen prototype volgens jaarlijkse dwarspeilingen Lek
 - 5 Berekende bodemligging in kmr. 928.920 als functie van de tijd
 - 6 Verband tussen afvoer Lek en gemiddelde waterstand in kmr. 928.875
 - 7 Onderschrijdingsfrequenties afvoeren Lek. Gemiddelde jaren 1901-1960
 - 8 Overzicht model
 - 9a Detailpeiling prototype op kruising (20 oktober 1954)
 - 9b Detailpeiling prototype op kruising (13 april 1956)
 - 9c Detailpeiling prototype op kruising (14 september 1959)
 - 9d Detailpeiling prototype op kruising (16 juli 1969)
 - 10 Bodemligging prototype. Toestand vóór Rijnkanalisatie (1955 ... 1959)
 - 11 Bodemligging $T0^*$. Toestand vóór Rijnkanalisatie
 - 12 Bodemdwersprofielen riviertakken (prototype en $T0^*$)
 - 13a Huidige situatie ($T0$ en $T0^*$)
 - 13b Bodemligging kruising na 2 uur stromen ($T0$, $T0^*$)
 - 13c Bodemligging kruising na 16 uur stromen ($T0$, $T0^*$)
 - 13d Sedimentatie in 14 uur ($T0$, $T0^*$)
 - 14 Bodemligging model ($T0$). Toestand na Rijnkanalisatie
 - 15 Bodemdwersprofielen riviertakken ($T0$, $T0^*$)
 - 16 T2
 - 17 T3
 - 18 T4
 - 19 T5
 - 20 T6
 - 21 T7
 - 22 T8
 - 23 T9
 - 24a Aanbevolen situatie ($T13$)
 - 24b Bodemdwersprofielen riviertakken ($T13$)
 - 24c Bodemligging kruising na 2 uur stromen ($T13$)
 - 24d Bodemligging kruising na 16 uur stromen ($T13$)
 - 24e Sedimentatie in 14 uur ($T13$)
- a = bodemdwersprofielen riviertakken
b = bodemligging kruising na 2 uur stromen
c = bodemligging kruising na 16 uur stromen
d = sedimentatie in 14 uur

FIGUREN (vervolg)

- 25a Bodemdwersprofielen riviertakken (T14)
- 25b Bodemligging kruising na 2 uur stromen (T14)
- 25c Bodemligging kruising na 16 uur stromen (T14)
- 25d Sedimentatie in 14 uur (T14)
- 26 Overzicht onderzochte situaties

- A2 Neersterkte v_1/v_0 als functie van de stabiliteitsfactor $2gL_0/C_0^2 h_0$
- B2 Verandering slingering bij verhoging stroomsnelheid

FOTO'S

- B1 Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat
- B2 Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat na 12 seconden
- B3 Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat na 24 seconden

Morfologische aspecten

1. Inleiding

1.1. Opdracht

De Arrondissementsingenieurs van de Rijkswaterstaat in de Arrondissementen Utrecht II en Rijn en IJssel hebben in hun gezamenlijke brieven no. 4280/3936 d.d. 28 september en 4 oktober 1967 het Waterloopkundig Laboratorium opdracht verleend tot het verrichten van een modelonderzoek ter verbetering van de bevaarbaarheid van de kruising van het Amsterdam-Rijnkanaal met de Lek te Wijk bij Duurstede (figuren 1 en 2). Het onderzoek omvatte ondermeer proeven in een nautisch model met vaste bodem (M 974). Hierin moesten worden onderzocht de eventuele situatiewijzigingen ter verbetering van de bevaarbaarheid van de kruising ten behoeve van de overstekende duwvaart en de op de rivier gerichte vaart van kleinere binnenschepen. Tevens moest worden onderzocht de aanslibbing in de cirkulatiekommen en voorhavens. In nauw samenspel hiermee dienden in een morfologisch model (M 975) proeven te worden verricht naar de invloed van op nautische gronden wenselijk geachte situatiewijzigingen op de bodemligging op de kruising en in de toegangen tot de kommen. Ook de invloed van de Rijnkanalisatie op de bodemligging moest worden nagegaan. Het onderzoek vond plaats in het Laboratorium De Voorst van juli 1968 tot juli 1971. Het morfologisch onderzoek werd achtereenvolgens verricht door ir. P.A. Zijderveld, ir. Z. Thomas en ir. N. Struiksma, waarbij laatstgenoemde dit verslagdeel samenstelde. Voor het onderzoek naar de nautische aspecten wordt verwezen naar Deel I van het verslag M 974/975.

1.2. Aard van het onderzoek

In samenspel met het onderzoek in het nautisch model Wijk bij Duurstede (M 974) zijn in het morfologisch model toestanden onderzocht, waarvan werd verwacht, dat zij een verbetering van de bevaarbaarheid van de rivierkruising zouden geven. Hierbij is voornamelijk gelet op de bodemligging op de kruising, de aanzanding in de kommen en in enkele gevallen op de wateruitwisseling door het grensvlak tussen de rivier en de kommen. Deze wateruitwisseling is een indicatie voor de aanslibbing in kommen en voorhavens. Tevens is nagegaan in hoeverre een

verandering van de geometrie van de kruising invloed heeft op de bodemligging van de aansluitende riviergedeelten.

Dit verslag kan worden beschouwd als een vervolg op het verslag M 974/975, Deel I: Nautische aspecten .

1.3. Gegevens en richtlijnen

- a. De algemene gegevens ten behoeve van het modelonderzoek zijn ontleend aan de nota's 54.11; 55.18; 55.20; 56.9; 59.3 en 64.8 van de Rijkswaterstaat [1 tot en met 6] en aan de tekeningen nr. 66.672 en nr. 67.727 van de Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst en Arrondissement Rijn en IJssel.
- b. De Afdeling Studiedienst verstrekke de nodige peilkaarten en andere gegevens en verrichte metingen met betrekking tot stroomsnelheden, slingeringen, verhangen en samenstelling van het bodemmateriaal.
- c. Voor de bouw van het model werden gegevens gebruikt, die zijn verstrekt door de Afdeling Studiedienst, het Arrondissement Rijn en IJssel en het Arrondissement Utrecht II van de Rijkswaterstaat.
- d. De Afdeling Studiedienst bepaalde, dat de gemiddelde bodemligging op de kruising niet hoger mag komen te liggen dan N.A.P. - 1,3 m.
- e. Tijdens het onderzoek vond, door mondeling en schriftelijk contact met de opdrachtgevers en hun vertegenwoordigers en adviseurs, regelmatig een uitwisseling van ideeën en inzichten plaats.

1.4. Samenvatting van de belangrijkste resultaten (zie tabel 3 en figuur 26 achterin het verslag)

De belangrijkste conclusies van het morfologisch modelonderzoek kunnen als volgt worden samengevat:

1. Uit het modelonderzoek is gebleken, dat het aanbevolen ontwerp volgend uit het modelonderzoek in de jaren 1930-1940 (M9, M46 en M104) [8, 9] weinig kan worden verbeterd.
2. De verbeteringen volgend uit het huidige onderzoek betreffen voornamelijk verruiming van de voorhavens.

3. Verruiming van de kruising door opschuiving van de bovenstroomse oevers van de kommen met 50 m geeft voor de bodemligging moeilijkheden op het benedenstroomse gedeelte van de kruising (T6 ... T9).
4. Zonder de verruiming toe te passen als onder 3 bedoeld, kan de breedte tussen de bovenstroomse pylonen zonder bezwaar worden vergroot van 85 m tot 95 m door inkorting van de pylonen. De afstand tussen de boven- en benedenstroomse pylonen is dan met ongeveer 9 m toegenomen (T5, T13 en T14).
5. Een breedte tussen de bovenstroomse pylonen van 108 m moet worden ontraden, omdat ontoelaatbare bodemverhogingen in het benedenstroomse gedeelte van de kruising hiervan het gevolg zijn (T2, T3 en T4).
6. Inkorting of verwijdering van de benedenstroomse pylonen moet worden vermeden, omdat dan ongewenste verhogingen van de bodem op het benedenstroomse gedeelte van de kruising zullen optreden (T3, T4, T6 en T9).
7. Het wegbaggeren van de vaste lagen op de kruising biedt alleen in de huidige situatie en in toestand T5 mogelijkheden, omdat dan in het benedenstroomse gedeelte van de kruising de bodemligging voldoende diep is om niet-permanente bodemveranderingen door regieminvloeden op te vangen (T0, T0*, T5) (zie voor het niet-permanente verschijnsel figuur 5). Het voordeel van het wegbaggeren is, dat de stroomsnelheden op het bovenstroomse gedeelte van de kruising worden gereduceerd, terwijl de schepen meer kielwater krijgen. Indien in het benedenstroomse gedeelte voor de bodemligging geen ruime marge aanwezig is, is het aan te bevelen de vaste laag op de kruising op N.A.P. - 2,0 m te handhaven of eventueel te versterken.
8. Met in achtneming van de voorgaande punten wordt de toestand T13 (figuur 24a) aanbevolen met een bodembescherming op een niveau van N.A.P. - 2,2 m (in plaats van N.A.P. - 2 m, zoals in het model werd aangehouden). De jaarlijkse hoeveelheid te baggeren zand en slib zal in deze toestand mogelijk groter, zijn dan in de huidige situatie.
9. Wat de bodemligging van de riviertakken betreft reageert alleen de bodem direct benedenstrooms van de kruising op de onderzochte veranderingen. Voor geen van de onderzochte toestanden wordt de situatie slechter (behalve voor toestand T4).

2. Het model

2.1. Schalen

In eerste instantie is bij de bepaling van de schalen van het model uitgegaan van de toepassing van fijn bakeliet (700 μ) als bodemmateriaal. Vervolgens werd de normaal gebruikelijke procedure voor de schaalbepaling gevolgd, waarbij o.a. geldt, dat bij rivieren, waar het stroombeeld hoofdzakelijk wordt bepaald door de oevers, niet hoeft te worden voldaan aan de ruwheidsvoorwaarde (het kwadraat van de ruwheidschaalfactor is gelijk aan de samentrekking van het model; $n_C^2 = r$). Het niet voldoen aan deze voorwaarde veroorzaakte, zoals verwacht, bij de reproductie van de bodemligging op de riviergedeelten geen moeilijkheden. Het stroombeeld op de kruising wordt echter niet meer bepaald door de oevers. Het is daarom voor een juiste reproductie van de bodemligging op de kruising noodzakelijk niet te veel af te wijken van de bovengenoemde ruwheidsvoorwaarde. Door de beddingvorm bij toepassing van fijn bakeliet ontstond een ruwheid $C_m \approx 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, waardoor niet aan de eis kon worden voldaan. Het gevolg was, dat de stroom op de kruising uitwaaierde door het niet goed functioneren van de neren in de kommen, waardoor de bodem in plaats van te verdiepen omhoog kwam. Gezien de ervaringen opgedaan in het model Pannerdense Kop (M 932) bleek bij toepassing van gegradeerd zand (1000 μ) een C-waarde bereikbaar van ongeveer $35 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Daarom is bij de verdere proeven het bakeliet vervangen door gegradeerd zand, waarbij wél aan de ruwheidsvoorwaarde kon worden voldaan. Tijdens de proeven bleek, door uitgevingsverschijnselen in het model, de zeefkromme van het getransporteerde zand uit de zandvang niet hetzelfde te zijn als van het ingebrachte zand (figuur 3). Door steeds met het zand uit de zandvang te doseren bleek al zeer snel, dat de zeefkromme van het zand in de zandvang niet meer veranderde. Er bestaat dus een verschil tussen bodemmateriaal en transportmateriaal. Ditzelfde verschijnsel wordt ook geconstateerd in het prototype (verschil tussen bodemmonsters en B.T.M.A.-monsters).

De gehanteerde schalen zijn gekozen op grond van een aantal theoretische en praktische normen en zijn gecorrigeerd aan de hand van de proeven, waarbij is uitgegaan van de prototypetoestand vóór 1960 ($T0^*$). Dit uitgangspunt is

noodzakelijk, omdat een evenwichtsbodemligging in de huidige toestand door de Rijnkanalisatie en door de vele baggerwerkzaamheden bovenstrooms van de kruising (ten behoeve van de Rijnkanalisatie) nog niet is bereikt (figuur 4). Voor de bedvormende afvoer $Q_b = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ (prototype) zijn de volgende schalen gevonden (tabel 1):

	prototype	schaalfactor	model
Afvoer Q_{bed} in m^3/s	500	2380	0,21
Stroomvoerende breedte B_q in m	135	50	2,7
Gemiddelde waterdiepte h in m	4,1	25	0,164
Gemiddelde stroomsnelheid \bar{v} in m/s	0,91	1,91	0,47
Verhang l	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,085	$13 \cdot 10^{-4}$
Chézy-coëfficiënt in $\text{m}^{1/2}/\text{s}$	43	1,3	33
Zandtransport S in m^3/s [6]	$370 \cdot 10^{-5}$	166	$2,22 \cdot 10^{-5}$
Zandtransporterende breedte B_s in m	100	50	2
Gemiddelde diameter zand \bar{D} in m	$1,07 \cdot 10^{-3}$	1,19	$0,9 \cdot 10^{-3}$
De tijdschaal n_t voor bodemveranderingen is: $n_t = 375$, d.w.z. 1 jaar prototype \approx 23 uur model			

Tabel 1. Schaalfactoren

Door de toepassing van zand in plaats van bakeliet als bodemtransportmateriaal ontstaan modeltechnisch o.a. de volgende afwijkingen:

- De aanwezige slingering van de watermassa in de kommen en voorhavens kan worden gekarakteriseerd door een hoek (zie Appendix B). Deze slingering wordt in het model juist weergegeven, indien deze hoek voor prototype en model dezelfde is. De voor redelijk bodemtransport benodigde stroomsnelheid in het model veroorzaakt een te sterke weergave van de slingering. Door plaatsing van weerstanden in de voorhavens is de slingering in het model echter zo veel mogelijk onderdrukt.
- De kanteling l_K van het model moet het verschil zijn tussen het in het model optredende verhang en het verhang, dat past bij de gekozen samentrekking. Deze verhangversterking wordt veroorzaakt, doordat de snelheidsschaal kleiner is, dan volgend uit de modelwet van Froude. De toegepaste kanteling is $l_K = 1,5 \cdot 10^{-4}$. Deze behoort bij het gebruik van

bakeliet als bodemmateriaal. Toegepast is echter zand als bodemmateriaal. Hierbij behoort een kanteling $I_K \approx 11 \cdot 10^{-4}$. Dit betekent, bij een juiste waterstandinstelling bij de kruising, dat boven- en benedenstrooms van de kruising afwijkingen optreden van waterstand en bodemligging ten opzichte van het niveau van kribben en oevers. De invloed hiervan op de bodemconfiguratie (vorm van lengteprofiel, dwarsprofielen) is gering verondersteld.

De op de gebruikelijke wijze berekende bedvormende afvoer (bepaling top zand-vrachtkrommen) is voor de toestand vóór Rijnkanalisatie ongeveer $Q_{bed} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ [1]. De Rijnkanalisatie veroorzaakt een verhoging van deze afvoer, omdat de kleinere afvoeren door de opstuwning minder transporteren. De op deze wijze bepaalde bedvormende afvoer wordt vaak gebruikt voor een rivier met een constante normaalbreedte. Omdat ter plaatse van de kruising de rivier is vernauwd, is voor bepaling van de bedvormende afvoer in dit speciale geval een andere procedure gevolgd [7]. Hierbij zijn de waterstandsvariëaties van belang. Door de plaatselijke vernauwing van de normaalbreedte ter plaatse van de kruising zal bij een alluviale bodem deze reageren op de waterstand. Globaal kan worden gesteld, dat een rivier neigt naar de handhaving van eenzelfde oppervlakte van het doorstromingsprofiel voor vernauwde en ongestoorde rivier. Dit betekent, dat de bodem in de vernauwing bij hoge waterstand zal uitschuren en bij lage waterstand zal aanzanden ten opzichte van de gemiddelde bodemligging. Doordat voor het uitschuren en aanzanden tijd nodig is, zullen naijlingseffecten optreden. De bedvormende afvoer is bepaald met behulp van het rekenprogramma voor niet-permanent zandtransport (W 30 en [7]). Beschouwd is het tijdvak 1956 tot en met 1962. De regiems van deze jaren zijn met behulp van de gegevens over het theoretisch stuwprogramma "250" omgewerkt tot een toestand na 1970. Voor raai 928.920 is de bodemligging berekend als functie van de tijd (figuur 5). De bedvormende afvoer wordt nu gedefinieerd als de afvoer, die in het geval van permanentie ongeveer de gemiddelde bodemligging (voor raai 928.920 N.A.P. - 3,00 à 3,20 m) geeft over het beschouwde tijdvak in de beschouwde raai. De gekozen afvoer $Q_{bed} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ voldoet redelijk aan deze definitie, zoals blijkt uit de resultaten van het onderzoek in de situaties $T0^*$ en $T0$ (figuren 13b en c). De bijbehorende waterstand is N.A.P. + 3,50 m, behorend

bij de toestand vóór Rijnkanalisatie (figuur 6). Uit figuur 7 volgt het aantal dagen per gemiddeld jaar (tijdvak 1901-1960), dat deze afvoer lager zal zijn. In het prototype liggen ter plaatse van de kruising resistente kleilagen. Hierdoor zal de bodem in werkelijkheid nauwelijks reageren op waterstandsvariatiës. Voor het onderzoek is aangenomen, dat de berekende bedvormende afvoer voor alluviale bodem ook voor die toestanden in het model geldt, waarbij een vaste bodem op de kruising is toegepast.

Een afwijkende snelheidsschaal is gebruikt bij de bepaling van de uitwisseling tussen rivier en kommen. Gestroomd is hiervoor met een snelheidsschaal $n_v = 5$, volgend uit de schaalwet van Froude. Er treedt dan geen bodemtransport op.

2.2. Constructie en inrichting

Het in het model weergegeven riviergedeelte strekt zich uit van kmr. 926 E tot kmr. 931.0 (zie figuur 8). In eerste instantie is voor een juiste ijking van het model ($T0^*$) de toestand vóór de bouw van de stuw bij Amerongen verwezenlijkt. Daarna is het model bij de instroming verbouwd volgens het nieuwe tracé voor de stuw bij Amerongen. Het model omvatte alleen het zomerbed en de daarop uitkomende kanalen en havens. De plaatsaanduiding in dit verslag en in het model is gebaseerd op de kilometrering van het prototype. Bij de bouw van het model is gewerkt met een gekanteld vergelijkingsvlak (N.A.P.), teneinde een juiste hoogte van de kribben, oevers, pylonen en peilbuisjes te verkrijgen ten opzichte van de waterstand. Door de toepassing van zand in plaats van bakeliet als bodemtransportmateriaal traden boven- en benedenstrooms van de kruising aanzienlijke afwijkingen op van de gemiddelde bodemligging ten opzichte van het niveau van de oevers (kribkoppen), die zijn gecorrigeerd bij de bewerking van de metingen.

De oevers van het model zijn afgewerkt in beton. De bodem van het model is gevormd door vlijlagen van kalkzandsteen, waarop zich een laag zand bevindt. Hierdoor kon het model soepel worden aangepast aan de ontwikkeling van de bodem gedurende het onderzoek, terwijl de benodigde hoeveelheid zand minimaal was.

Het modeldebiet is ingelaten met behulp van een automatische romijnstuw, waardoor het debiet onafhankelijk is van de waterstand in de aanvoersloot.

De waterstand in het model is aan het benedenstroomse einde van het model geregeld met een beweegbare klep en wel zodanig, dat ter plaatse van de kruising (peilschaal bij kmr. 928.875) de gewenste waterstand optrad. Teneinde in het model waterstanden en verhangen te meten zijn op een drietal plaatsen peilnaalden aangebracht.

Het aanbod van het transportmateriaal is geregeld met een doseerapparaat, dat zodanig is ingericht, dat ook 's nachts kon worden doorgestroomd. De bodem van de voorhavens en kommen is uitgevoerd in beton volgens een detailpeiling van het Arrondissement Utrecht II in 1959. De pylonen zijn van hout geconstrueerd.

3. Opzet modelonderzoek

3.1. Inleiding

Bij het onderzoek zijn de volgende verschijnselen van belang:

- de bodemligging op de riviertakken
- de bodemligging op de kruising
- de neersnelheden in de kommen
- de slingering van de watermassa in voorhavens en kommen
- de waterstand
- de uitwisseling

3.2. Bodemligging op de riviertakken

De bodemligging op de riviertakken vormt één van de randvoorwaarden voor de kruising. Het is daarom van belang, dat in de verschillende toestanden een redelijke reproductie aanwezig is. De bodemligging is bepaald door middel van peilingen om de 125 m in de raaien tussen kmr. 927.F en kmr. 930.D. Door meerdere opéénvolgende peilingen in de evenwichtstoestand te middelen wordt de invloed van de bodemribbels zo goed mogelijk vereffend.

Bij de ijking van het model ($T0^*$) is alleen gelet op de bodemligging en de bodemconfiguratie van de riviertakken.

3.3. Bodemligging op de kruising

Nadat evenwicht in de transportverschijnselen is bereikt en de peilingen voor de riviertakken zijn verricht, worden de zandbanken in de kommen, die vooral in het benedenstroomse gedeelte van de kommen liggen, verwijderd. Vervolgens worden er gedurende 17 uur detailpeilingen verricht in de kommen en op de kruising. Het gemiddelde profiel van de rivierbodem ter plaatse van de kruising wordt bepaald door het middelen van de peilingen tussen de denkbeeldige lijnen, die de bovenstroomse en benedenstroomse pylonen verbinden. De peilingen in de kommen worden hierbij dus niet beschouwd. De eerste (gemiddelde van $t = 0$ uur tot $t = 3$ uur) en de laatste (gemiddelde van $t = 15$ uur tot $t = 17$ uur) peilingen in de kommen zijn met elkaar vergeleken om een indruk te krijgen van de bankvorming in de kommen. De bankvorming in de kommen is steeds bestudeerd samen met de bodemligging op de kruising. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de bankvorming varieert met de rivierafvoer. Het is niet zeker, dat de gemiddelde bankvorming optreedt bij de in het voorgaande berekende bedvormende afvoer. Het is daarom alleen mogelijk de bankvorming als een indicatie te beschouwen, waarbij de verschillende onderzochte toestanden op kwalitatieve wijze met elkaar kunnen worden vergeleken. Bankvorming wordt in een model over het algemeen overdreven weergegeven, vermoedelijk omdat de sterkte van wervelstraten tengevolge van schaafeffecten in een model relatief te groot is. Naar het prototype omgerekend is een tijdvak beschouwd van ongeveer 2/3 jaar. Dit is voldoende omdat door de Rijnkanalisatie gedurende een vrij lange periode van het jaar weinig bodemtransport optreedt. De inhoud van de banken is dus in feite steeds voor iedere situatie bepaald geldend voor een prototype-tijdvak van 1 jaar. Het tijdvak van 1 jaar is gekozen in verband met het jaarlijkse baggerwerk in de kommen.

3.4. Neersnelheden in de kommen

Het is van groot belang, dat de neren in de kommen goed blijven functioneren. De neersnelheden in de kommen zijn gemeten met behulp van drijvers. In Appendix A worden de stabiliteit en sterkte van de neren behandeld.

3.5. Slingering

De slingingering is in hoofdzaak bestudeerd in het scheepvaartmodel. Voor het morfologisch model is de eerdergenoemde slingerhoek van belang. In prototype en model moet dezelfde slingerhoek optreden. Het is niet mogelijk gebleken aan deze eis te voldoen. Getracht is door middel van plaatsing van weerstanden in de toegangen tot de voorhavens (zie figuur 8) de te sterke slingingering in het model te dempen. Dit is niet in voldoende mate gelukt. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de slingingering, die hier wordt bedoeld, op natuurlijke wijze ontstaat. De in het prototype voorkomende slingingering wordt echter op kunstmatige wijze versterkt, vooral door het schutbedrijf van de sluis bij Wijk bij Duurstede. Het is daarom mogelijk, dat de slingingering in het model, waarin geen schuttingen worden gereproduceerd, toch redelijk wordt weergegeven. In Appendix B wordt op het slingeren van de kommen en voorhavens nader ingegaan.

3.6. Waterstand

Het onderzoek is in alle situaties verricht met dezelfde waterstand N.A.P. + 3,50 m, behorende bij de toestand vóór Rijnkanalisatie. Hier is van uitgegaan, omdat nog niet exact genoeg bekend is, wat de invloed van de kanalisatie op de waterstanden en de bodemligging is. Zoals eerder vermeld behoort deze waterstand bij de bedvormende afvoer $Q_{bed} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ voor de toestand ná Rijnkanalisatie. Verwacht wordt, dat met deze waterstand een representatieve bodemligging in het model kan worden verkregen. Voor de toestand ná Rijnkanalisatie wordt een lagere waterstand en bodemligging verwacht (figuur 6). Bij de conclusies is hiermee rekening gehouden.

3.7. Uitwisseling

De uitwisseling tussen rivier en kommen is bepaald met behulp van de registratie van de concentratievermindering in de tijd van de kleurstof natrium-fluoriceinum, die in het water van kommen en voorhavens is opgelost. De uitwisseling is in het nautisch model bepaald (met behulp van drijvers). In Appendix C wordt de wateruitwisseling behandeld.

4. Proeven

4.1. Inleiding

De primaire factoren, die belangrijk zijn voor het morfologisch onderzoek volgen uit de noodzaak de rivierkruising in nautisch opzicht te verbeteren. De verbeteringen, die wenselijk worden geacht, zijn behandeld in het verslag M 974/975, Deel I: Nautische aspecten. Samengevat betekent dit, dat moet worden getracht de hinderlijke dwarsnelheden te reduceren en meer ruimte te scheppen en voldoende waterdiepte te handhaven. Van secundair belang is de grootte van de uitwisseling, die mede bepaalt hoeveel slib jaarlijks moet worden gebaggerd in de kommen.

Omdat bij proeven in een morfologisch model de tijdfactor een belangrijke rol speelt, zijn niet alle toestanden, die in het scheepvaartmodel M 974 zijn onderzocht, beproefd in het morfologisch model. Van de onderzochte toestanden T0 (T0*) tot en met T14 (figuur 26) zijn alleen de toestand T1 en de toestanden T10 tot en met T12 niet in het morfologisch model onderzocht (tabel 2).

Toestand	T0*	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
Scheepvaart- model (M 974)	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Morfologisch model (M 975)	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+

Tabel 2. Onderzochte toestanden

4.2. Onderzoek situatie vóór Rijnkanalisatie (T0*)

4.2.1. Reproductie riviertakken (ijking; figuren 10, 11 en 12)

Voor de ijking van het model is een goede reproductie van de bodem van de riviertakken belangrijk, omdat deze bodemligging één van de randvoorwaarden voor de verschijnselen op de kruising is. De modelbodemligging is gevormd door het stromen met konstante afvoer en konstant aanbod van transportmateriaal. Debiet en transportaanbod zijn proefondervindelijk bepaald en wel zodanig, dat de gemiddelde bodemligging van het prototype zo goed mogelijk wordt gereproduceerd (tabel 1). De bodemligging van het model is vergeleken met die van het prototype over de jaren 1955 tot en met 1959 (figuur 10). De uiteindelijke reproductie (figuur 11) is redelijk, alhoewel de volgende afwijkingen zijn geconstateerd:

- de gemiddelde bodemligging wordt in raai 928.0 en tussen de raaien 929.F en 930.B te diep weergegeven. Deze afwijking is te wijten aan de aanwezigheid van resistente kleilagen in het prototype, waardoor de bodem niet steeds kan uitschuren.
- de bodemconfiguratie wordt in raai 928.C niet goed weergegeven (figuur 12). In het prototype bevindt de oversteek van de geul zich tussen raai 928.C en D, in het model bij raai 928.B (figuur 11).

4.2.2. Bodemligging kruising (figuren 13a, b, c en d)

De bodemligging op de kruising (figuren 13a, b en c) is gemiddeld veel dieper dan in het prototype. Dit kan worden verklaard uit de aanwezigheid van vaste lagen (klei) in het prototype op ongeveer N.A.P. - 2,0 m, wat blijkt uit de figuren 9a, b, c en d. Het betreft hier detailpeilingen in 1954, 1956, 1959 en 1969. Deze vaste lagen zijn niet volledig resistent, wat kan worden afgeleid uit de langsprofielen, die in de loop van de tijd een diepere bodemligging aangeven. De peiling in 1969 geeft tevens aan, dat er gedeelten van de vaste lagen geheel zijn verdwenen op de plaatsen waar zeer diepe gaten zijn ontstaan (N.A.P. - 4 m). Door het ontbreken van deze vaste lagen in het model is in wezen de toestand T0* al een verbetering van de huidige situatie. Door de diepere bodem is het doorstromingsprofiel verruimd, waardoor in het bovenstroomse gedeelte van de kruising de stroomsnelheid wordt gereduceerd met

ongeveer 20 ‰, terwijl bovendien de schepen meer kielwater krijgen. Door het wegbaggeren van de vaste lagen kan eenzelfde toestand in het prototype worden bereikt. Bedacht moet worden, dat dan de gehele bodem zal gaan reageren op de wisselende waterstand, zoals is weergegeven in figuur 5. Indien overal voldoende diepte aanwezig is, behoeft dit geen bezwaar te zijn. De in het nautisch model gemeten wateruitwisseling is in deze situatie voor kom Wijk bij Duurstede 10,6 ‰ en voor kom Tiel 8,4 ‰. Voor het morfologisch model bedraagt de uitwisseling respectievelijk 8,5 ‰ en 5,0 ‰ (zie Appendix C). De inhoud van de banken na 14 uur stromen is voor de kom Wijk bij Duurstede ongeveer 2290 m³ en voor kom Tiel ongeveer 2420 m³ (figuur 13d). De stabiliteitsfactor van de neren ($2gL_o/C_o^2h_o$; zie Appendix A) is ongeveer 0,48.

4.3. Onderzoek situatie na Rijnkanalisatie. Huidige situatie (T0) (figuren 14 en 15)

Omdat, zoals eerder is vermeld, de toestand ná Rijnkanalisatie nog geen evenwichtssituatie oplevert in het prototype, is de ijking verricht voor de toestand vóór Rijnkanalisatie (T0^{*}). Daarna is de instroming van het model verbouwd tot de toestand ná Rijnkanalisatie, met andere woorden: tot de huidige toestand (T0). Vergeleken met toestand T0^{*} is in toestand T0 alleen in het begin van het model iets veranderd (vergelijk figuren 14 en 15). De raaien 927.F en G en 928.0 zijn iets verdiept, terwijl de oversteek van de geul verschoven is naar raai 928.C (vergelijk figuren 11 en 14). Verder zijn er weinig verschillen opgetreden. Wat de bodemligging op de riviertakken betreft, wordt iedere volgende toestand vergeleken met toestand T0.

Op de kruising en in de kommen zijn in T0 geen erosie- en sedimentatiemetingen en uitwisselingsmetingen verricht, omdat er van uitgegaan is dat er vergeleken met T0^{*} (figuren 13a, b, c en d) geen grote afwijkingen zullen optreden.

4.4. Onderzoek gewijzigde situaties

De onderzochte situaties bestaan bijna allen uit een combinatie van veranderingen. Het is daarom vaak niet mogelijk de invloed van elke verandering afzonderlijk na te gaan. De veranderingen kunnen worden verdeeld in:

- a. verandering aan de boven- en benedenstroomse pylonen
- b. verruiming van de kruising
- c. verruiming van de voorhavens
- d. vastleggen van de bodem.

De verschillende onderzochte situaties zijn allen vergeleken met de situatie ná Rijnkanalisatie (T0; figuren 13, 14 en 15).

Uit het nautisch onderzoek van de kruising (Deel I) is gebleken, dat de minimale afstand tot de benedenstroomse pylonen, die de scheepvaart op de kruising in acht neemt, ongeveer 30 à 60 m bedraagt. Deze afstand komt ongeveer overeen met raai 929.060. Daarom is bij de beoordeling van de verschillende toestanden steeds in deze raai het criterium voor de bodemligging (gemiddelde bodemligging niet boven N.A.P. - 1,3 m) getoetst. Bij alle onderzochte toestanden zijn onder de wervelstraten, opgewekt door de bovenstroomse pylonen en rond de benedenstroomse pylonen, bodembeschermingen toegepast zoals in het prototype (figuur 13a).

Toestand T2 (figuren 16a, b, c, d en figuur 26)

Door de bovenstroomse pylonen 23 m in te korten (figuur 26) wordt een instroom breedte verkregen van 108 m in plaats van 85 m. Hierdoor wordt de afstand tussen boven- en benedenstroomse pylonen met 20 m verruimd. Tevens zijn de oevers direct bovenstrooms van de kruising aangepast. Omdat de evenwichtsbodemligging in deze situatie in het bovenstroomse gedeelte van de kruising ongeveer gelijk komt te liggen met de ligging van de vaste lagen in het prototype zal op dit bovenstroomse gedeelte van de kruising een stroomsnelheidsreductie worden verkregen van ongeveer 20 %.

De bodemligging op de riviertakken is ten opzichte van T0 nauwelijks afwijkend (figuur 16a). Alleen de raaien 928.E en 929.A, direct boven- en benedenstrooms van de kruising, zijn iets veranderd.

De bodemligging op de kruising zelf is sterk omhoog gekomen ten opzichte van T0. Met name in raai 929.060 wordt niet meer aan het gestelde criterium

(niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m) voldaan (figuur 16c).

De in het nautisch model gemeten waterwisseling is voor kom Wijk bij Duurstede 6,4 % en voor kom Tiel 3,8 %. Voor het morfologisch model bedraagt de uitwisseling respectievelijk 4,3 % en 4,0 % (zie Appendix C). De inhoud van de banken (figuur 16d) is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 1170 m³ en voor kom Tiel ongeveer 3020 m³. De stabiliteitsfactor van de neren is 0,58.

Toestand T3 (figuren 17a, b, c, d en figuur 26)

Uitgaande van T2 zijn in T3 de benedenstroomse pylonen 15 m ingekort. Tevens zijn de voorhavens 50 m verruimd in oostelijke richting aan de zijde van Wijk bij Duurstede en in westerlijke richting aan de kant van Tiel. Door meerdere wijzigingen tegelijkertijd uit te voeren kan niet worden nagegaan wat de invloed is van ieder afzonderlijk. Omdat de evenwichtsbodemligging in deze situatie in het bovenstroomse gedeelte van de kruising iets hoger komt te liggen dan de ligging van de vaste lagen in het prototype (figuur 26) zal daar een stroomsnelheidsreductie van iets minder dan 20 % worden verkregen.

De bodemligging op de riviertakken is ten opzichte van T0 niet veel veranderd. Alleen de raaien 929.A, B en C zijn iets dieper geworden (figuur 17a).

Op de kruising is de bodem omhoog gekomen ten opzichte van T0. In het benedenstroomse gedeelte (raai 929.060) wordt niet meer voldaan aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m) (figuur 17c).

De in het nautisch model gemeten wateruitwisseling is voor kom Wijk bij Duurstede 4,9 % en voor kom Tiel 5,5 %. Voor het morfologisch model bedraagt de uitwisseling respectievelijk 5,9 % en 5 % (zie Appendix C). De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 3770 m³ en voor kom Tiel ongeveer 2510 m³ (figuur 17d). De stabiliteitsfactor van de neren is 0,63.

Toestand T4 (figuren 18a, b, c, d en figuur 26)

Uitgaande van T3 zijn in toestand T4 de benedenstroomse pylonen geheel verwijderd (figuur 26). In het bovenstroomse gedeelte van de kruising kan een stroomsnelheidsreductie worden verwacht van ongeveer 15 % in verband met de verkregen bodemligging.

De bodemligging op de riviertakken is ten opzichte van T0 niet veel veranderd.

In raai 929.A is de bodem, in tegenstelling tot T3, iets omhoog gekomen (figuur 18a).

Ten opzichte van toestand T0 is de bodem op de kruising zeer sterk omhoog gekomen (figuur 18c). In het benedenstroomse gedeelte van de kruising wordt niet meer voldaan aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m). Voor deze toestand zijn geen uitwisselingsproeven verricht. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 2630 m^3 en voor kom Tiel ongeveer 3500 m^3 (figuur 18d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,7.

Toestand T5 (figuren 19a, b, c, d en figuur 26)

Omdat de instroombreedte van 108 m (T2 tot en met T4) in het benedenstroomse gedeelte van de kruising niet voldoende vaardiepte garandeert, is uitgaande van toestand T3 in T5 de instroombreedte verkleind tot 95 m door verdikking van de pylonen (figuur 26).

In het bovenstroomse gedeelte kan nu weer een stroomsnelheidsreductie worden verwacht van ongeveer 20 % in verband met de verkregen bodemligging. Op de riviertakken is de bodemligging ten opzichte van de toestand T0 niet veel veranderd. Alleen de bodemligging in raai 929.A is iets naar beneden gegaan (figuur 19a).

De bodemligging op de kruising is ten opzichte van de toestand T0 niet veel omhoog gekomen (figuur 19c). Ook in het benedenstroomse gedeelte van de kruising wordt ruimschoots aan het gestelde criterium voldaan (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

Voor deze toestand zijn geen wateruitwisselingsproeven verricht. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 3270 m^3 en voor kom Tiel ongeveer 2650 m^3 (figuur 19d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,53.

Toestand T6 (figuren 20a, b, c, d en figuur 26)

In de voorgaande toestanden is slechts een geringe verruiming van de doorvaartbreedte onderzocht. Uit het nautisch onderzoek is gebleken, dat de doorvaartbreedte verder moet worden vergroot om een veilige afwikkeling van het scheepvaartverkeer mogelijk te maken. In T6 (figuur 26) zijn daarom de circulatiekommen in bovenstroomse richting 50 m verruimd, terwijl de

bovenstroomse pylonen 60 m in bovenstroomse richting zijn opgeschoven met een instroombreedte van 95 m. Verder is deze toestand hetzelfde als T3.

In het bovenstroomse gedeelte van de kruising kan een stroomsnelheidsreductie worden verwacht van ongeveer 20 % in verband met de verkregen bodemligging.

Op de riviertakken is alleen de bodem in raai 929.A en B iets gedaald (figuur 20a).

De bodemligging in het benedenstroomse gedeelte van de kruising (figuur 20c) voldoet niet aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De in het nautisch model gemeten wateruitwisseling is voor kom Wijk bij Duurstede 6,0 % en voor kom Tiel 6,9 %. Voor het morfologisch model bedraagt de uitwisseling respectievelijk 5,9 % en 11,0 % (zie Appendix C).

De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 4430 m³ en voor kom Tiel ongeveer 3660 m³ (figuur 20d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,72.

Toestand T7 (figuren 21a, b, c, d en figuur 26)

Deze toestand is identiek aan T6, de benedenstroomse pylonen zijn echter weer verlengd tot die in de huidige situatie (figuur 26).

Evenals in T6 kan in het bovenstroomse gedeelte van de kruising een stroomsnelheidsreductie worden verwacht van ongeveer 20 %.

De bodemligging op de riviertakken is ten opzichte van T0 weinig veranderd. Alleen in de raaien 929.A en B is de bodem flink omlaag gegaan (figuur 21a).

In het benedenstroomse gedeelte van de kruising voldoet de bodemligging (figuur 21c) niet aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De wateruitwisseling is in deze toestand niet bepaald. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 3960 m³ en voor kom Tiel ongeveer 5260 m³ (figuur 21d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,69.

Toestand T8 (figuren 22a, b, c, d en figuur 26)

Deze toestand is identiek aan T7, de bodem op de kruising is echter vastgelegd op ca. N.A.P. - 2,0 m (figuur 26).

In het bovenstroomse gedeelte van de kruising kan dan een stroomsnelheidsreductie worden verwacht van ongeveer 10 %.

De bodemligging op de riviertakken blijft ongeveer hetzelfde, behalve de bodemligging in de raaien 929.A, B en C gaat iets naar beneden (figuur 22a). In het benedenstroomse gedeelte van de kruising voldoet de gemiddelde bodemligging (figuur 22c) juist aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De wateruitwisseling is in deze toestand niet bepaald. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 4570 m^3 en voor kom Tiel ongeveer 7490 m^3 (figuur 22d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,6.

Toestand T9 (figuren 23a, b, c, d en figuur 26)

Deze toestand is identiek aan T6 maar met een vaste laag (N.A.P. - 2,0 m) op de kruising (figuur 26).

De te verwachten stroomsnelheidsreductie in het bovenstroomse gedeelte van de kruising bedraagt ongeveer 10 % in verband met de ligging van de bodem. Op de riviertakken is de bodemligging in de raaien 929.B en E iets omlaag gegaan (figuur 23a).

In het benedenstroomse gedeelte van de kruising voldoet de bodemligging (figuur 23c) niet aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De wateruitwisseling is in deze toestand niet bepaald. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 2230 m^3 en voor kom Tiel ongeveer 6400 m^3 (figuur 23d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,63.

Toestand T13 (figuren 24a, b, c, d, e en figuur 26)

Omdat uit de resultaten van de drastisch verruimde toestand T6 tot en met T9 is gebleken, dat niet of nauwelijks aan het gestelde criterium voor de bodemligging kon worden voldaan, is het model teruggebouwd naar een situatie ongeveer te vergelijken met de toestand T3 (zie figuur 24a). De benedenstroomse pylonen zijn volgens de huidige situatie, terwijl de bovenstroomse pylonen zodanig zijn ingekort, dat de instroombreedte 95 m is. Tevens is de voorhaven aan de zijde van Wijk bij Duurstede ook in westelijke richting 50 m verruimd ten behoeve van een wachtplaats voor schepen en is aan de westelijke oever van de kom aan de zijde van Wijk bij Duurstede plaatselijk een grotere kromming gegeven om een beter stroombeeld te verkrijgen. Tenslotte is de

bodem op de kruising vastgelegd op ca. N.A.P. - 2 m.

De te verwachten stroomsnelheidsreductie in het bovenstroomse gedeelte van de kruising bedraagt ongeveer 10 % in verband met de bodemligging.

De bodemligging op de riviertakken is weinig veranderd (figuur 24b). De bodemligging op de kruising (figuur 24d) voldoet aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De in het nautisch model gemeten wateruitwisseling is voor kom Wijk bij Duurstede 7,8 % en voor kom Tiel 8,0 %. Voor het morfologisch model bedraagt de uitwisseling respectievelijk 7,2 % en 5,2 % (zie Appendix C).

De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 3490 m³ en voor kom Tiel ongeveer 3450 m³ (figuur 24e).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,53.

Toestand T14 (figuren 25a, b, c, d en figuur 26)

Deze toestand is identiek aan de T13. Alleen is de vaste laag op de kruising verwijderd (figuur 26).

De te verwachten stroomsnelheidsreductie in het bovenstroomse gedeelte van de kruising bedraagt ongeveer 20 % in verband met de bodemligging. De bodemligging van de riviertakken is weinig veranderd (figuur 25b). Op de kruising voldoet de bodemligging (figuur 25c) aan het gestelde criterium (niet hoger dan N.A.P. - 1,3 m).

De wateruitwisseling is voor deze toestand niet gemeten. Een grote afwijking ten opzichte van toestand T13 lijkt niet waarschijnlijk. De inhoud van de banken is voor kom Wijk bij Duurstede ongeveer 2940 m³ en voor kom Tiel ongeveer 2820 m³ (figuur 25d).

De stabiliteitsfactor van de neren bedraagt 0,52.

Toestanden T1, T10, T11 en T12 (figuur 26)

Deze toestanden zijn globaal onderzocht in het scheepvaartmodel M 974 en worden verder in het verslaggedeelte over morfologische aspecten niet behandeld.

5. Conclusies (zie tabel 3 en figuur 26)

In het morfologisch model zijn de in nautisch opzicht aanbevolen verbeteringen, volgend uit het nautisch modelonderzoek (M 974), onderzocht. De belangrijkste aanbevelingen betreffen het reduceren van de optredende stroomsnelheden en het scheppen van meer ruimte voor de scheepvaart zonder dat de bodemligging te hoog wordt.

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

a. Bodemligging op de kruising

Als criterium voor de bodemligging is gesteld, dat op de kruising de gemiddelde bodemligging in een raai niet hoger mag zijn dan N.A.P. - 1,3 m. Bij het modelonderzoek is aangenomen, dat de bodemligging in raai 929.060 maatgevend is. Uiteraard is meer benedenstrooms de bodem op de kruising hoger, maar daar vindt geen belangrijke scheepvaart plaats. Uit tabel 3 (blz. 21) volgt, dat de toestanden T0 (T0*), T5, T8, T13 en T14 aan het gestelde criterium voldoen. Hierbij moet worden opgemerkt, dat toestand T8 ten opzichte van het criterium geen enkele reserve heeft. Indien niet-permanente bodemtransport-verschijnselen - hoe klein ook - door waterstandsvariaties (regiem) de bodemligging beïnvloeden, zal niet meer aan het gestelde criterium kunnen worden voldaan. Deze verschijnselen worden in de toestand T8 wel sterk onderdrukt door de aanwezigheid van een vaste laag op de kruising, maar zullen toch nog aanwezig zijn. Dezelfde redenering geldt voor toestand T4. Hier is echter geen vaste laag aanwezig, zodat bodemveranderingen, als gevolg van waterstandsvariaties vrij kunnen optreden. Uit figuur 5 blijkt, dat rond de gemiddelde bodemligging in een raai op de kruising variaties mogelijk zijn van 3 à 4 dm. Rekening houdende met deze variaties voldoet toestand T0 (T0*) nog ruim aan het gestelde criterium voor de bodemligging. Ook toestand T5 voldoet op deze wijze hieraan echter zonder enige reserve. In toestand T13 zullen de variaties door de aanwezige vaste laag sterk worden onderdrukt. Het is daarom waarschijnlijk, dat ook toestand T13 aan het gestelde criterium kan voldoen. Uit de figuren 9a, b, c en d volgt echter, dat de natuurlijke vaste laag op de kruising in de loop van de tijd erodeert. Voor de toestanden T0 (T0*) en T5 zal dit dus geen nadelige invloed hebben, omdat wat betreft de bodemligging overall voldoende reserve aanwezig is. Omdat in toestand T13 in het

Tabel 3. Samenvatting resultaten

	T0, T0*	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T13	T14
Gemiddelde bodemligging in m t.o.v. N.A.P. voor raai 928.900 voor raai 929.060	- 3,20 - 1,90	- 1,85 - 1,20	- 1,80 - 1,20	- 1,75 - 0,80	- 2,85 - 1,65	- 2,95 - 1,10	- 2,85 - 1,25	- 1,75 - 1,30	- 1,85 - 1,20	- 2,05 - 1,40	- 2,60 - 1,35
Afstand tussen boven- en benedenstroomse pylonen in m	264	284	299	315	299	339	324	324	339	273	273
Snelheidsreductie in bovenstrooms gedeelte van de kruising in % voor $Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $Q_p = 825 \text{ m}^3/\text{s}$	20 15	20 15	20 15	15 15	20 15	20 15	20 15	10 10	10 10	10 10	20 15
Uitwisselingspercentage voor $Q_p \approx 500 \text{ m}^3/\text{s}$ Kom Wijk nautisch model morfolologisch model Kom Tiel nautisch model morfolologisch model	10,6 8,5 8,4 5,0	6,4 4,3 3,8 4,0	4,9 5,9 5,5 5,0	- - - -	- - - -	6,0 5,9 6,9 11,0	- - - -	- - - -	- - - -	7,8 7,2 8,0 5,2	- - - -
Aanzanding in kommen in m^3 per jaar Kom Wijk Kom Tiel Totaal:	2290 <u>2420</u> 4710	1170 <u>3020</u> 4190	3770 <u>2510</u> 6280	2630 <u>3500</u> 6130	3270 <u>2650</u> 5920	4430 <u>3660</u> 8090	3960 <u>5260</u> 9220	4570 <u>7490</u> 12060	2230 <u>6400</u> 8630	3490 <u>3450</u> 6940	2940 <u>2820</u> 5760
Neersterkte v_1/v_o gemeten in bovenstroomse gedeelte van de kommen voor $Q_p \approx 500 \text{ m}^3/\text{s}$; Kom Wijk Kom Tiel	0,16 0,18	0,15 0,16	0,14 0,14	0,13 0,13	0,15 0,16	0,10 0,11	0,10 0,12	0,11 0,12	0,10 0,11	0,15 0,16	0,15 0,16
Stabiliteitsfactor van de neren $2gL_o/C_o^2 h_o$ (globaal)	0,48	0,58	0,63	0,70	0,53	0,72	0,69	0,60	0,63	0,53	0,52

benedenstroomse gedeelte van de kruising deze reserve gering is, moet de vaste laag dan worden gehandhaafd om bodemliggingvariaties in het benedenstroomse gedeelte van de kruising tengevolge van het rivierregiem tegen te gaan. Hierbij kan worden gedacht aan een aan te brengen bodembescherming op een niveau van N.A.P. - 2,2 m van raai 928.800 tot raai 929.000 (zie hiervoor ook de beschouwing onder punt d).

Het is tevens noodzakelijk om ontgrondingen door de wervelstraten van de bovenstroomse pylonen tegen te gaan met behulp van zwaardere bodembeschermingen ter plaats van de wervelstraten met een lengte van circa 80 m, een breedte van circa 25 m en op een niveau van N.A.P. - 2,2 m. Ook rond de benedenstroomse pylonen dient een zware bodembescherming te worden aangebracht (zie figuur 13a en 24a). Deze bodembeschermingen zijn reeds in het prototype aanwezig.

De invloed van inkorting van de benedenstroomse pylonen kan het beste worden nagegaan door vergelijking van toestand T6 met T7 en toestand T8 met T9. Uit deze vergelijkingen blijkt, dat inkorting een ongunstige invloed heeft op de bodemligging in het benedenstroomse gedeelte van de kruising.

b. Aanzandingen in de kommen

Zoals in 3.3. reeds is opgemerkt, is het niet zeker, dat de gemiddelde aanzandingen optreden bij bedvormende afvoer. Alleen kwalitatieve vergelijking is daarom mogelijk. Uit tabel 3 blijkt, dat in de toestanden waarbij de kommen zijn verruimd (T6 tot en met T9) grotere aanzandingen optreden, dan in de overige toestanden. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt, omdat de oppervlakken waarop de aanzandingen plaats kunnen vinden groter zijn.

De invloed van een vaste laag op de kruising op de aanzanding in de kommen volgt ook uit tabel 3. Vergeleken wordt hiervoor toestand T6 met T9, toestand T7 met T8 en toestand T13 met T14. Dan blijkt, dat toepassing van een vaste laag de aanzandingen in de kommen vergroot. Een mogelijke oorzaak is de grotere stroomsnelheden op de kruising in het geval van een vaste laag, waardoor een grotere slingerhoek van de natuurlijke slingering optreedt. Ten opzichte van de jaarlijkse hoeveelheid baggerwerk ($2 \times 50.000 \text{ m}^3$, hoofdzakelijk slib) in de kommen is de grootte van de aanzandingen gering en in dat opzicht van weinig belang. Belangrijker is de invloed van de aanzandingen op de bodemligging in het benedenstroomse gedeelte van de kommen. Het is mogelijk, dat op een bepaald moment plaatselijk in de kommen

niet meer kan worden voldaan aan het gestelde criterium voor de bodemligging. Het is daarom aan te bevelen regelmatig peilingen uit te voeren.

Indien de invloed van de schroefstralen van de frequent passerende schepen merkbaar is op de bodem, dan is het mogelijk, dat door afvlakkingsverschijnselen de aanzandingen over een groot oppervlak worden "uitgesmeerd" en daardoor tot minder bodemverhoging leiden.

c. Bodemligging op de riviertakken

Alleen de bodemligging direct benedenstrooms van de kruising reageert op de onderzochte veranderingen. Voor geen van de onderzochte situaties wordt de toestand slechter (behalve voor toestand T4) omdat de bodem daalt. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een grotere insnoering direct benedenstrooms van de kruising door de benedenstroomse pylonen.

d. Invloed van de werken ten behoeve van de Rijnkanalisatie

De invloed van de Rijnkanalisatie kon niet in het model worden onderzocht. Nagegaan is slechts, wat de invloed is van de rivierverlegging ten behoeve van de bouw van de stuw bij Amerongen op de bodemligging direct bovenstrooms van de kruising, omdat dit een belangrijke randvoorwaarde is voor wat er op de kruising gebeurt. De invloed is nauwelijks aantoonbaar, wat blijkt uit de vergelijking van toestand T0* met T0 (figuur 15).

Interessant is in dit verband wat wordt gegeven in de figuren 4 en 6. Uit figuur 4 blijkt wat het gevolg is van het baggerwerk, dat is verricht ten behoeve van de Rijnkanalisatie. Aangenomen wordt, dat in de toekomst als gevolg van de Rijnkanalisatie de evenwichtsbodemligging, en daardoor de waterstanden (figuur 6), met ongeveer 2 dm zullen dalen ten opzichte van de toestand vóór 1960. Het lengteprofiel van 1968 blijkt echter nog dieper te liggen. Dit veroorzaakt een gering zandtransport. Er is geen evenwicht en de rivier zal trachten dit op natuurlijke wijze te herstellen. Voordat de evenwichtsbodemligging is bereikt zullen nog vele jaren verstrijken, doordat de bodemopbouw traag verloopt. Dit betekent, dat in die periode, omdat het zandtransport gering is, de aanzandingen in de kommen minder zullen zijn dan op het moment, dat de evenwichtsbodemligging weer is bereikt. In figuur 6 wordt de relatie weergegeven tussen afvoer en waterstand vóór en ná Rijnkanalisatie. Het modelonderzoek is verricht met een waterstand van N.A.P. + 3,50 m behorende bij een afvoer van $Q_{bed} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$. Er is dus geen rekening gehouden met de aangenomen daling van de evenwichtsbodemligging

ná Rijnkanalisatie. Dit zou kunnen betekenen, dat de in het model gevonden bodemligging voor alle toestanden circa 2 dm te hoog wordt weergegeven (behalve voor toestand T0^{*}). Dit geldt niet voor de natuurlijke vaste laag. Bij toepassing van een bodembescherming op de kruising is het daarom een voordeel deze te leggen op een niveau van N.A.P. - 2,2 m (in plaats van N.A.P. - 2 m, zoals is toegepast bij het modelonderzoek).

Indien na verloop van tijd in het prototype blijkt, dat deze ligging te diep is (d.w.z. dat het benedenstroomse deel van de kruising tengevolge van niet-permanente verschijnselen te ondiep wordt) kan altijd nog worden overgegaan tot een verhoging van de vaste laag.

e. Neersterkte in de kommen

De werking van de neren in de kommen is alleen uitgebreid onderzocht in het scheepvaartmodel. De neren hebben als functie de overstekende stroom van de Lek zijdelings te steunen. Daardoor hebben zij indirect invloed op de bodemligging van de kruising. In Appendix A wordt hieraan aandacht besteed. De belangrijkste conclusie is, dat de stabiliteitsfactor van de neren ($2gL_0/C_0^2h_0$) kleiner dan 0,55 moet zijn voor een voldoende "harde" neer. Ontoelaatbare bodemverhogingen zijn dan niet te verwachten ten opzichte van het gestelde criterium hiervoor.

f. Slingering van de watermassa in kommen en voorhavens

De slingingering bestaat uit een natuurlijke slingingering en een kunstmatige slingingering opgewekt door het schutbedrijf van de sluis Prinses Irene. De natuurlijke slingingering wordt behandeld in Appendix B. De belangrijkste conclusies zijn, dat een slingingering invloed heeft op de aanzandingen in de kommen en de wateruitwisseling door de grensvlakken van kruising en kommen. In het prototype is waarschijnlijk de kunstmatige slingingering dominerend. In de modellen zijn deze golven niet opgewekt, zodat de invloed hiervan moeilijk te bepalen is.

g. Uitwisseling en slibneerslag

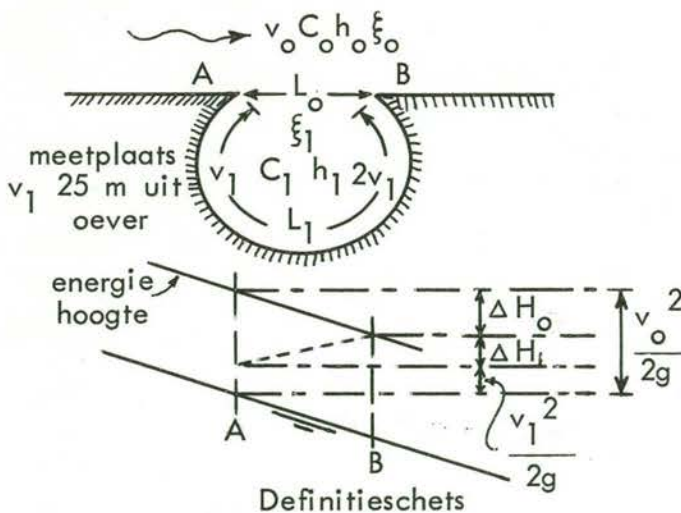
De uitwisseling bepaalt mede de hoeveelheid slib, die in de kommen en voorhavens neerslaat. Deze verschijnselen en de resultaten van de metingen in beide modellen worden behandeld in Appendix C. De belangrijkste conclusie is, dat de slibneerslag bij alle onderzochte situaties groter zal kunnen zijn dan in de huidige situatie.

Resumerend kan worden gesteld, dat uit de resultaten van het modelonderzoek is gebleken, dat het ontwerp van de kruising, zoals destijds is aanbevolen in de verslagen van de modelonderzoeken M 9, M 46 en M 104 [8, 9], nauwelijks verbeterd kan worden. Een grote verruiming van de kruising en een grote watersnelheidsreductie op de kruising is niet mogelijk. Alleen de toegangen tot de voorhavens mogen enigszins worden verwijld, terwijl de breedte tussen de bovenstroomse pylonen niet meer mag bedragen dan 95 m. Aanbevolen wordt daarom toestand T13, zoals wordt gegeven in figuur 24a, waarbij overwogen moet worden om het niveau van de bodembeschermingen, zoals aangegeven in de figuur, met 2 dm te verlagen in verband met de te verwachten bodemdaling tengevolge van de invloed van de Rijnkanalisatie. De oeververlegging ten behoeve van de opruiming van het sluizencomplex Prinses Marijke volgens tekening no. 69.2 R.W.S., Arrondissement Utrecht II, zal geen merkbare invloed hebben op de bodemligging op de kruising en kan daarom zonder meer ook worden uitgevoerd (zie figuur 26, T11).

Stabiliteit en sterkte van de neren in de cirkulatie kommen

Gezien de belangrijke functie van de neren in de cirkulatiekommen is het nodig iets dieper in te gaan op de sterkte van deze neren. De sterkte van de neren kan worden gekarakteriseerd door de snelheidsverhouding v_1/v_o ; de watersnelheid v_1 op een geschikte plaats in de neer gedeeld door de gemiddelde watersnelheid v_o in de hoofdstroom. In deze beschouwing wordt onder stabiliteit verstaan: de hydraulische omstandigheid van de aanwezigheid van één grote neer in een cirkulatiekom zonder dat hij de neiging heeft uiteen te vallen in meerdere kleine neren. De watersnelheid v_1 kan daarom het beste in het bovenstroomse gedeelte van de kommen worden bepaald.

In het volgende wordt een geschematiseerde afleiding gegeven van de neersterkte v_1/v_o . Hierbij wordt uitsluitend uitgegaan van de energieverliezen



in de hoofdstroom en in de neren. Wat er gebeurt in het grensvlak tussen de neer en de hoofdstroom wordt buiten beschouwing gelaten. De in nevenstaande figuur A1 aangeduide verhouding $1/2$ tussen de watersnelheid in het bovenstroomse en benedenstroomse gedeelte van de neer volgde uit metingen in prototype en scheepvaartmodel.

Figuur A1.

Gesteld wordt, dat één neer in de cirkulatiekom alleen aanwezig kan zijn indien het energieniveau van de hoofdstroom in punt B hoger ligt, dan het waterspiegelniveau van de hoofdstroom in punt A. Tevens wordt in punt A aangenomen, dat de waterstand in hoofdstroom en neer gelijk is.

Uit figuur A1 blijkt dan:

$$v_o^2/2g - v_1^2/2g = \Delta H_o + \Delta H_i = \text{totale energieverlies in hoofdstroom en neer} \quad (1)$$

De energieverliezen in vergelijking (1) kunnen worden uitgedrukt in vertrags- en wrijvingsverliezen.

$$\Delta H_o = \xi_o \frac{v_o^2}{2g} + \frac{2gL_o}{C_o^2 h_o} \cdot \frac{v_o^2}{2g} \quad (\text{hoofdstroom}) \quad (2)$$

$$\Delta H_1 = \xi_1 \frac{(2v_1)^2}{2g} + \frac{2gL_1}{C_1^2 h_1} \cdot \frac{3v_1/2}{2g} \quad (\text{neer}) \quad (3)$$

Indien een coëfficiënt $\alpha = L_1 C_o^2 h_o / L_o C_1 h_1$ wordt ingevoerd, kan uit de vergelijkingen (1), (2) en (3) op eenvoudige wijze de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$\frac{v_1}{v_o} = \sqrt{\frac{1 - \xi_o - 2gL_o/C_o^2 h_o}{1 + 4\xi_1 + 9/4 \alpha \cdot 2gL_o/C_o^2 h_o}} \quad (4)$$

Een redelijke aanname voor de vertragsverliescoëfficiënten (Carnot) is: $\xi_o = 0,1$ en $\xi_1 = 0,25$. De vergelijking (4) voldoet pas aan de waarnemingen, indien tevens nog een coëfficiënt α wordt ingevoerd zonder fysisch verklaarbare betekenis. Vergelijking (4) gaat dan uiteindelijk over in:

$$\frac{v_1}{v_o} = \alpha \sqrt{\frac{1 - \xi_o - 2gL_o/C_o^2 h_o}{1 + 4\xi_1 + 9/4 \alpha \cdot 2gL_o/C_o^2 h_o}} \quad (5)$$

Voor $\alpha = 0,6$ voldoet vergelijking (5) het beste aan de waarnemingen, zoals blijkt uit figuur A2 (in dit verslagdeel opgenomen na figuur 25d). De in deze figuur weergegeven punten betreffen metingen in het scheepvaartmodel M 974, waarbij de volgende grootheden zijn gevarieerd: v_o , h_o , C_o , L_o , h_1 , C_1 en L_1 . Tevens zijn er enkele punten van prototypemetingen in de figuur verwerkt. De waarnemingen vertonen een grote spreiding wat te wijten is aan:

- a. de meetmethode. De watersnelheden in de neren waren zo gering, dat slechts met drijvers de grootte hiervan kon worden gemeten.
- b. windinvloeden.
- c. invloed van de in het model aanwezige slingeringen. Getracht is de invloed van de slingeringen door middeling over een lange meettijd te beperken, waarbij rekening is gehouden met in de slingingering aanwezige grootste periode.
- d. de plaats waar de snelheid v_1 is gemeten. De watersnelheid v_1 is steeds zover mogelijk bovenstrooms (d.w.z. benedenstrooms in de neer) gemeten op 25 m afstand van de oever. De omstandigheden ter plaatse van dit meetpunt zullen door stroombeeldveranderingen in de verschillende situaties niet dezelfde zijn.

Uit figuur A2 blijkt, dat de neer stabiel is, indien wordt voldaan aan de volgende voorwaarde:

$$2gL_o/C_o^2 h_o < 0,9$$

Deze voorwaarde is echter niet voldoende voor een goed ontwerp van een cirkulatiekom. De functie van de neer is primair om de hoofdstroom voldoende zijdelingse steun te geven, waardoor stroomverlamming (met als gevolg bodemverhoging) wordt onderdrukt. Hierbij speelt de grootte van de neersterkte v_1/v_o een rol. Uit de onderzoeken in het morfologisch model M 975 is, afhankelijk van het gestelde criterium voor de bodemligging, gebleken dat moet worden voldaan aan de volgende voorwaarde om een voldoende "harde" neer te creëren (zie figuur A2):

$$2gL_o/C_o^2 h_o < 0,55 \quad (\text{geldend bij bedvormende afvoer})$$

Deze beschouwing geldt primair voor de situatie kruising Wijk bij Duurstede. Voor situaties elders kan dezelfde theorie worden toegepast met aanpassing van de coëfficiënten.

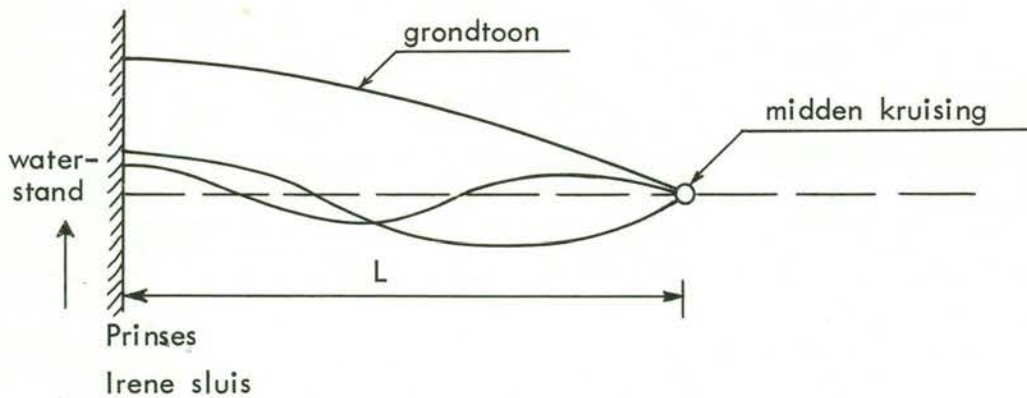
In Appendix A gebruikte notaties:

- v_o = gemiddelde watersnelheid hoofdstroom (rivier tussen bovenstroomse pylonen)
- v_1 = watersnelheid in bovenstroomse gedeelte cirkulatiekom
- h_o = gemiddelde waterdiepte in hoofdstroom
- h_1 = gemiddelde waterdiepte in cirkulatiekom
- C_o = coëfficiënten van Chézy in hoofdstroom
- C_1 = coëfficiënten van Chézy in cirkulatiekom
- L_o = afstand tussen boven- en benedenstroomse pylonen
- L_1 = gemiddelde afgelegde weg in cirkulatiekom
- ξ_o = vertragsverlies coëfficiënt in hoofdstroom
- ξ_1 = vertragsverlies coëfficiënt in cirkulatiekom
- ΔH_o = energieverlies hoofdstroom
- ΔH_1 = energieverlies cirkulatiekom
- a = $L_1 C_o^2 h_o / L_o C_1^2 h_1$ = coëfficiënt
- α = coëfficiënt
- g = versnelling van de zwaartekracht

Slingering watermassa in kommen en voorhavens

Zowel in het prototype als in de modellen is een natuurlijke slingering geconstateerd van de watermassa in kommen en voorhavens. In het prototype wordt deze slingering sterk vergroot door de periodieke ledigingen van de schutkolk van de Prinses Irene sluis.

Het verschijnsel is in het nautisch model alleen voor de toestand T₀ op niet-systematische wijze onderzocht. Waargenomen is dat er sprake is van staande golven met twee dominerende periode. Verder is gebleken, dat alleen golven met een knoop voor de verticale beweging op het midden van de kruising kunnen bestaan, omdat de andere golven hun energie verliezen door uitstraling op de riviertakken (zie figuur B1).



Figuur B1. Waterstandsverloop

Wordt de afstand tussen Prinses Irene sluis en het midden van de kruising L genoemd, dan is de golflengte λ van de bestaanbare golven ($L = 1350$ m):

$$\lambda_0 \approx 4L \quad (\text{grondtoon}), \quad \lambda_2 \approx \frac{4}{3}L, \quad \lambda_4 \approx \frac{4}{5}L, \quad \text{enz.} \quad (1)$$

Vooral λ_0 en in mindere mate λ_2 zijn dominerend. De bijbehorende perioden T_0 en T_2 volgen uit:

$$T_i = \frac{\lambda_i}{c} \quad (2)$$

wagrin:

$c = \sqrt{gh}$ = de voortplantingssnelheid van een verstoring

h = gemiddelde waterdiepte

g = versnelling van de zwaartekracht.

Voor een waterstand van N.A.P. + 3,50 m wordt de voortplantingssnelheid bijvoorbeeld $c \approx 7$ m/s. De dominerende perioden bedragen dan voor $T_0 \approx 12$ min en voor $T_2 \approx 4$ min. In de modellen zijn deze perioden kleiner, omdat de afstand L geringer is. Door de profielveranderingen van kommen en voorhavens zullen door partiële reflecties meerdere perioden voorkomen. Deze slingeren zijn over het algemeen, door de geringe energie die zij vertegenwoordigen, nauwelijks te constateren.

Een merkwaardig verschijnsel deed zich voor bij proeven in het nautisch model (M 974), waarbij het rivierdebiet in stappen werd verhoogd bij gelijkblijvende waterstand. Het resultaat wordt weergegeven in figuur B2 (in dit verslagdeel opgenomen na figuur 25d). Bij het opvoeren van de snelheid v_0 tussen de bovenstroomse pylonen wordt eerst de amplitude van de staande golf met periode $T_0 \approx 10$ min (grondtoon), gemeten in het einde van de voorhaven aan de zijde van Wijk bij Duurstede, aanzienlijk groter. Daarna, bij $v_0 \approx 2$ m/s, verdwijnt de slinging om vervolgens bij nog grotere snelheden versterkt terug te komen met een dominerende periode $T_2 \approx 4$ min. De grondtoon blijkt dan toch nog, hoewel in mindere mate, aanwezig te zijn. Eenzelfde verschijnsel doet zich voor bij het aanblazen van een dwarsfluit. Door steeds harder aan te blazen zal de toon plotseling overspringen naar een octaaf hoger. Door de niet-systematische opzet van deze proeven is de oorzaak van de natuurlijke slinging niet gevonden, alhoewel er aanwijzingen zijn, dat het loslaten van de wervels bij de bovenstroomse pylonen een slinging zou kunnen veroorzaken. De foto's B1, B2 en B3 geven een beeld van het eigenaardige gedrag van de wervels. De foto's zijn 12 seconden (= 1 min prototype) na elkaar genomen. De wervelstraten zijn stabiel en vertonen gelijkenis met de Von Kármán wervelstraat alhoewel de voorwaarden hiervoor niet aanwezig zijn. Uit het verschijnsel weergegeven op de foto's kan een periode $T \approx 3,7$ min worden bepaald. Deze periode is ongeveer gelijk aan de periode T_2 (≈ 4 min) van de tweede bovenharmonische, wat een verklaring zou kunnen zijn van het optreden hiervan. Oorzaak en gevolg zijn echter niet duidelijk geworden, terwijl het

ontstaan van de grondtoon hiermee niet is verklaard.

Voor de morfologische verschijnselen op de kruising is alleen de slingerhoek van belang. Deze hoek bepaalt mede de aanzanding in de kommen. Verder vergroot de aanwezige slingering in sterke mate de wateruitwisseling en is dus mede bepalend voor de mate van aanslibbing, die zal optreden in kommen en voorhavens.

De invloed van de slingeringen op de scheepbewegingen zal aanwezig zijn, maar is uit de proeven in het nautisch model niet duidelijk naar voren gekomen door de grote spreiding in de meetresultaten.

Uitwisseling en aanslibbing

De grootte van de water- en slibuitwisseling door het grensvlak tussen de kommen en de rivier is één van de factoren, die de slibneerslag in de kommen en voorhavens bepaalt. Deze uitwisseling bestaat uit de normale turbulente uitwisseling via de wervelstraten en neren en de uitwisseling ten gevolge van de natuurlijke slingeringen van de watermassa in kommen en voorhavens, die in beide gevallen en in het prototype optreden. De slibneerslag wordt verder bepaald door de volgende factoren:

- de concentratie van het slib in de rivier. Door regieminvloeden kan deze concentratie sterk variëren.
- het stroombeeld in de kommen en voorhavens. Hierbij moet worden gelet op de sterkte van de neren. Door de sterkte van de neren wordt de valsnelheid van de slibdeeltjes instromend water beïnvloed. De neren fungeren als transportmiddel voor de slibdeeltjes, doordat zij mede de secundaire uitwisseling bepalen.
- de waterdiepte. De waterdiepte is één van de factoren, die de sterkte van de neren bepaald.
- eigenschappen van de slibdeeltjes. Hiermee wordt bedoeld de kenmerkende grootte, de dichtheid, de vorm en de onderlinge affiniteit van de slibdeeltjes.

Om een indruk van de aanslibbing te verkrijgen wordt over het algemeen de volgende procedure gevolgd. In een referentiesituatie (b.v. de huidige situatie) wordt de uitwisseling bepaald. In deze situatie zijn meestal de periodieke baggercijfers bekend. In een nieuwe situatie wordt dan een kwalitatieve voorspelling gedaan van de slibneerslag via de gemeten wateruitwisseling. Voor het onderzoek naar de rivierkruising bij Wijk bij Duurstede is dezelfde procedure gevolgd, maar ook is rekening gehouden met het stroombeeld. De uitwisselingspercentages zijn zowel in het nautische (M 974) als het morfologische model (M 975) bepaald voor de toestand T0 (T0*), T2, T3, T6 en T13 voor één waterstand. In het nautische model is de uitwisseling bepaald met behulp van drijvers en in het morfologische model door meting van de afname van de concentratie van in het water van de kommen en voorhavens opgelost kleurstof (natrium-fluorisceïnum). De resultaten zijn verzameld in

onderstaande tabel:

	kom	Uitwisselingspercentage in %				
		T0(T0*)	T2	T3	T6	T13
nautisch model M 974 $Q_p = 468 \text{ m}^3/\text{s}$ waterstand N.A.P. + 3,34 m	Wijk	10,6	6,4	4,9	6,0	7,8
	Tiel	8,4	3,8	5,5	6,9	8,0
morfologisch model M 975 $Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ waterstand N.A.P. + 3,50 m	Wijk	8,5	4,3	5,9	5,9	7,2
	Tiel	5,0	4,0	5,0	11,0	5,2

Tabel C1. Uitwisselingspercentages

De afwijkingen tussen de resultaten van het nautische en morfologische model kunnen worden verklaard uit de verschillen in waterstand, weergave van de slingering en verticale schaal, alsmede door de afwijkende meetmethoden. Indien aangenomen wordt, dat de in de tabel gegeven waterstanden representatief zijn voor het rivierregiem in verband met het slibaanbod, hetgeen niet kan worden aangetoond, kan uitgaande van de uitwisselingspercentages in de tabel en de stroombeelden een voorzichtige prognose worden gemaakt aan de hand van de volgende punten:

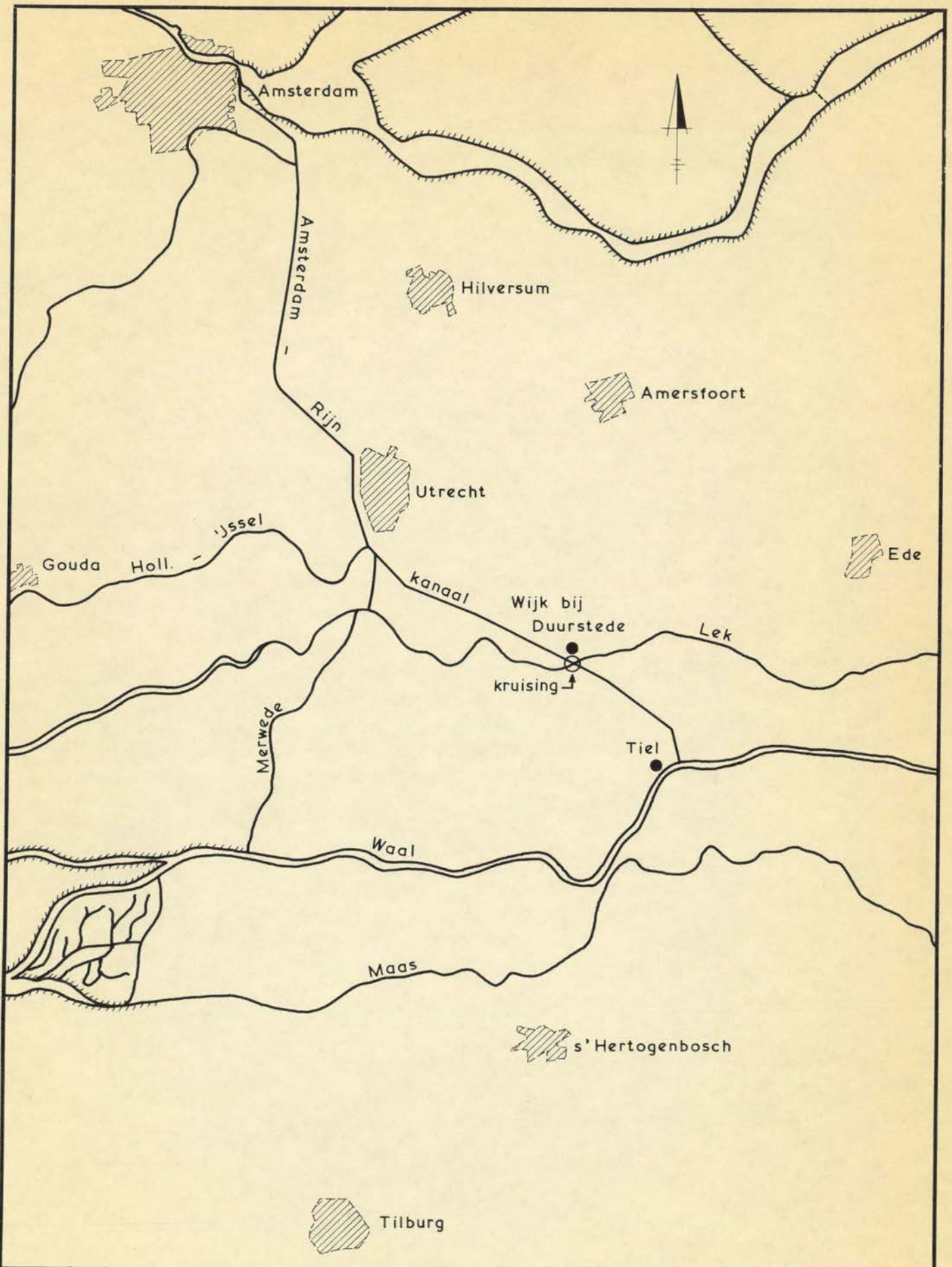
- a) De invloed van de Rijnkanalisatie op het slibaanbod is onbekend, maar wel voor alle toestanden dezelfde.
- b) De sterkte van de neren is in alle toestanden geringer dan in toestand T0. Hierdoor wordt de kans op bezinken van vaste deeltjes groter.
- c) Door de verruimingen die zijn toegepast zijn de bodemoppervlakken, waarop sedimentatie plaats kan vinden, vergroot. Daardoor zal vooral in de monden van de verruimde voorhavens versterkte aanslibbing kunnen optreden.
- d) Aangenomen wordt, dat de invloed van de scheepvaart op de aanslibbing voor alle toestanden dezelfde is. De scheepvaart heeft direct (schroefstralen, golven en retourstromen) en indirect (schutkolkledigingen, met als gevolg versterking van de slingering) invloed op de uitwisseling. De verkeersintensiteit zal toenemen waardoor de uitwisseling zal worden vergroot, maar de scheepvaart zal ook de aanslibbing over een groter

oppervlakte "uitsmeren". Door de extra turbulentie ("agiteren") wordt slibneerslag echter weer tegen gegaan.

Door wat wordt aangehaald onder de punten b en c zal de aanslibbing in de toekomst meer kunnen bedragen dan in de toestand T0, alhoewel de uitwisseling geringer is. Het uiteindelijke totale effect van de onder punten a en d genoemde veranderingen in de randvoorwaarden kan niet in kwalitatieve zin worden voorspeld.

LITERATUUR

- 1 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studienst. "Bedvormende afvoer van de Bovenrijn en zijn takken, periode 1901-1950 voor toestand 1951.0". Nota nr. 54.11, Arnhem, november 1954.
- 2 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst. "Zandtransportberekeningen onder meer verricht met het oog op de Rijnkanalisatie". Nota nr. 55.18, Arnhem, december 1955.
- 3 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst. "Rivierkruising te Wijk bij Duurstede. Onderzoek naar water en slibbeweging". Nota nr. 55.20, Arnhem, oktober 1956.
- 4 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst. "Toetsing zandtransportformules 1954-1955". Nota nr. 56.9, Arnhem, september 1956.
- 5 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Arrondissement Rijn en IJssel. "Rijnkanalisatie. Bodemligging van de Lek tussen Wijk bij Duurstede en Krimpen na het in werking treden van de stuw Hagestein in verband met de bevaarbaarheid". Nota 59.3, Arnhem, december 1958 - mei 1960.
- 6 Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst. "Zandtransportkrommen van de Bovenrijn en zijn takken". Nota nr. 64.8, Arnhem, augustus 1964.
- 7 Waterloopkundig Laboratorium en Prins, A. "Dominant discharge". S 78-II, Delft, november 1969.
- 8 Waterloopkundig Laboratorium. "Verslag van twee modelproeven in verband met de kruising van het kanaal van Amsterdam naar de Bovenrijn met de Lek". M 9 en M 46, Delft, november 1936.
- 9 Waterloopkundig Laboratorium. "Verslag van het derde modelonderzoek in verband met de kruising van het kanaal van Amsterdam naar de Bovenrijn met de Lek". M 104, Delft.



OVERZICHT SITUATIE

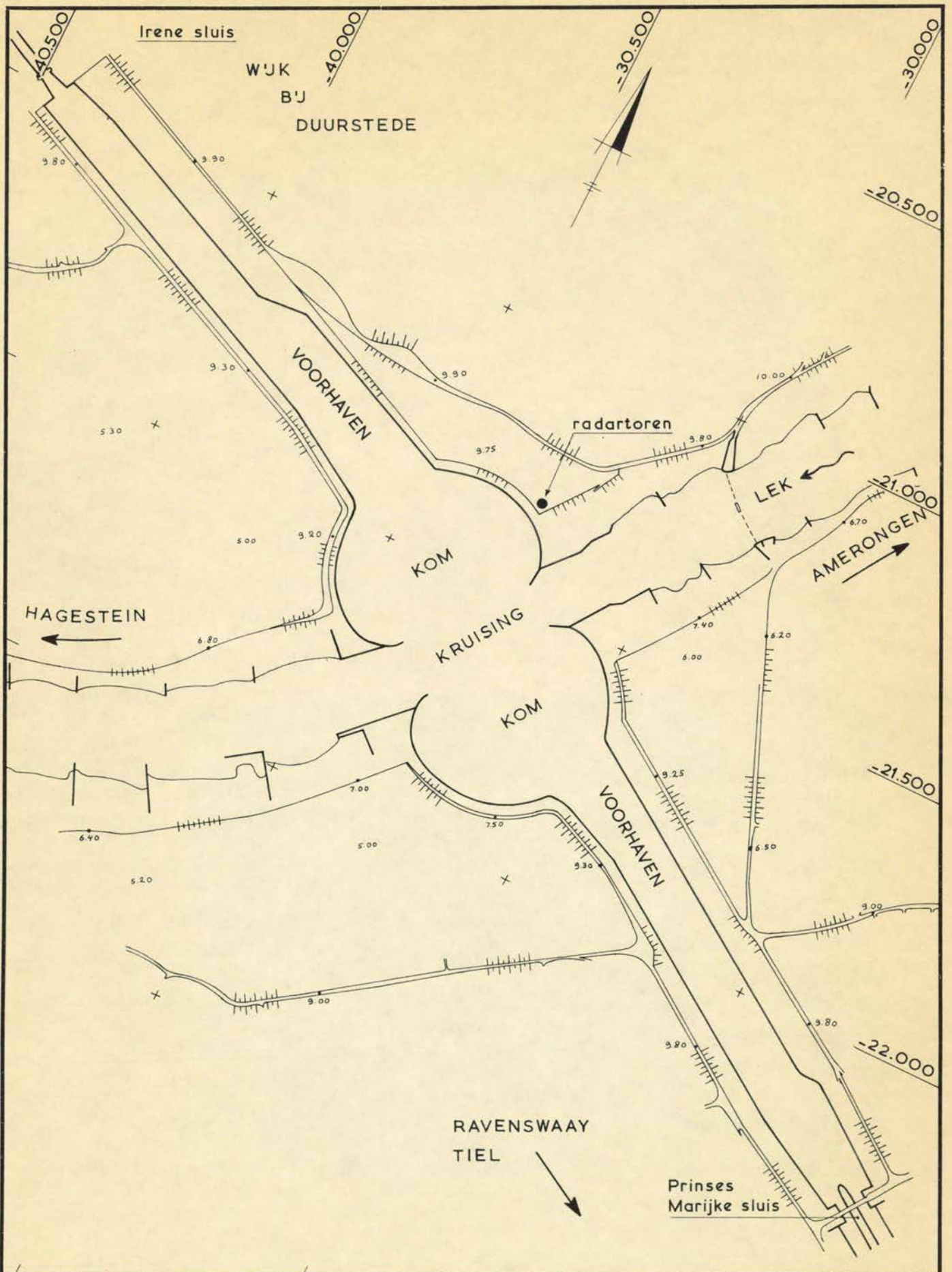
DEEL II

SCHAAL 1: 400.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 1



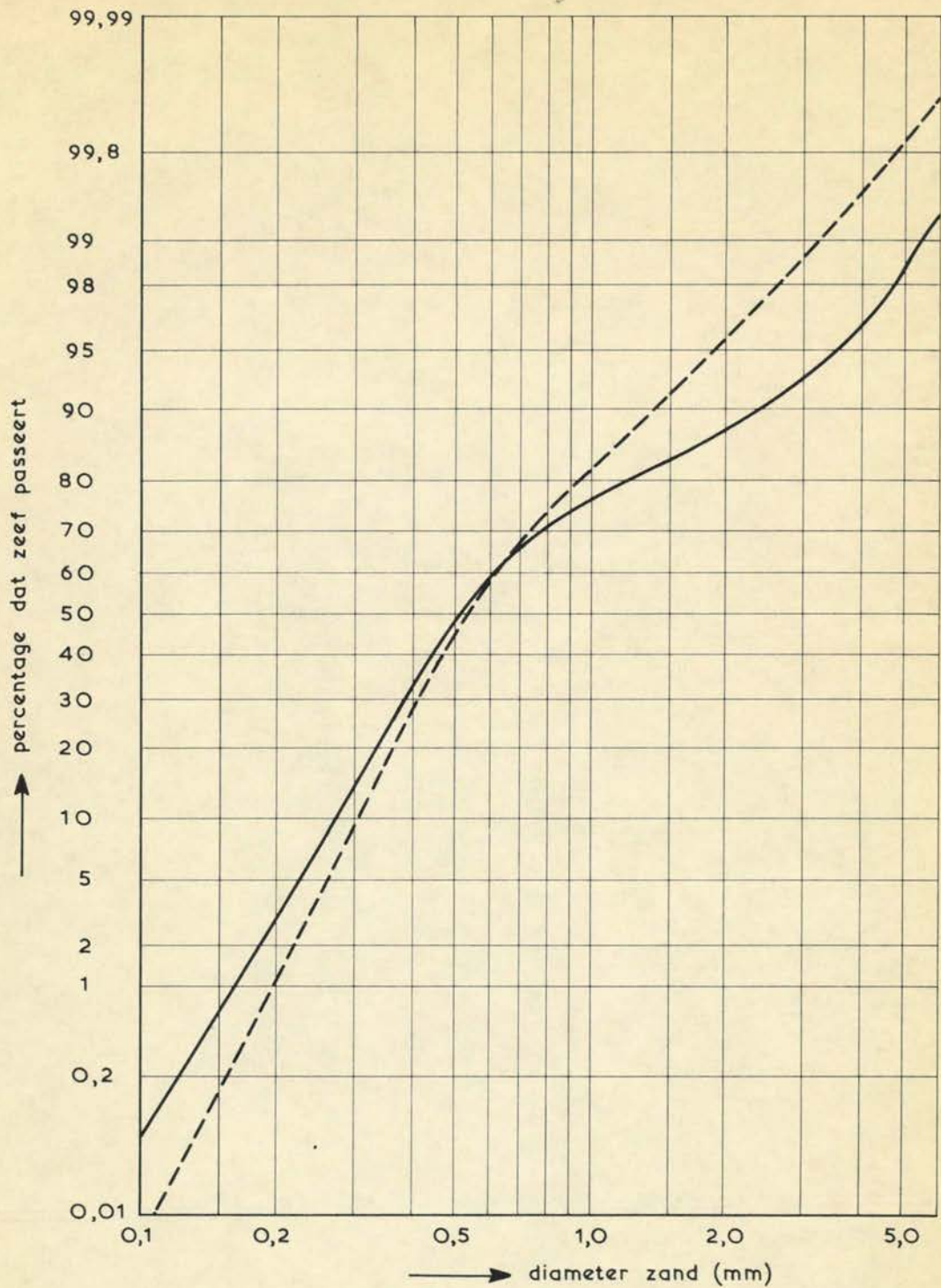
SITUATIE KRUISSING

DEEL II

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 2



————— In het model gebracht zand
 - - - - - Zand in zandvang en dosering na verloop van tijd

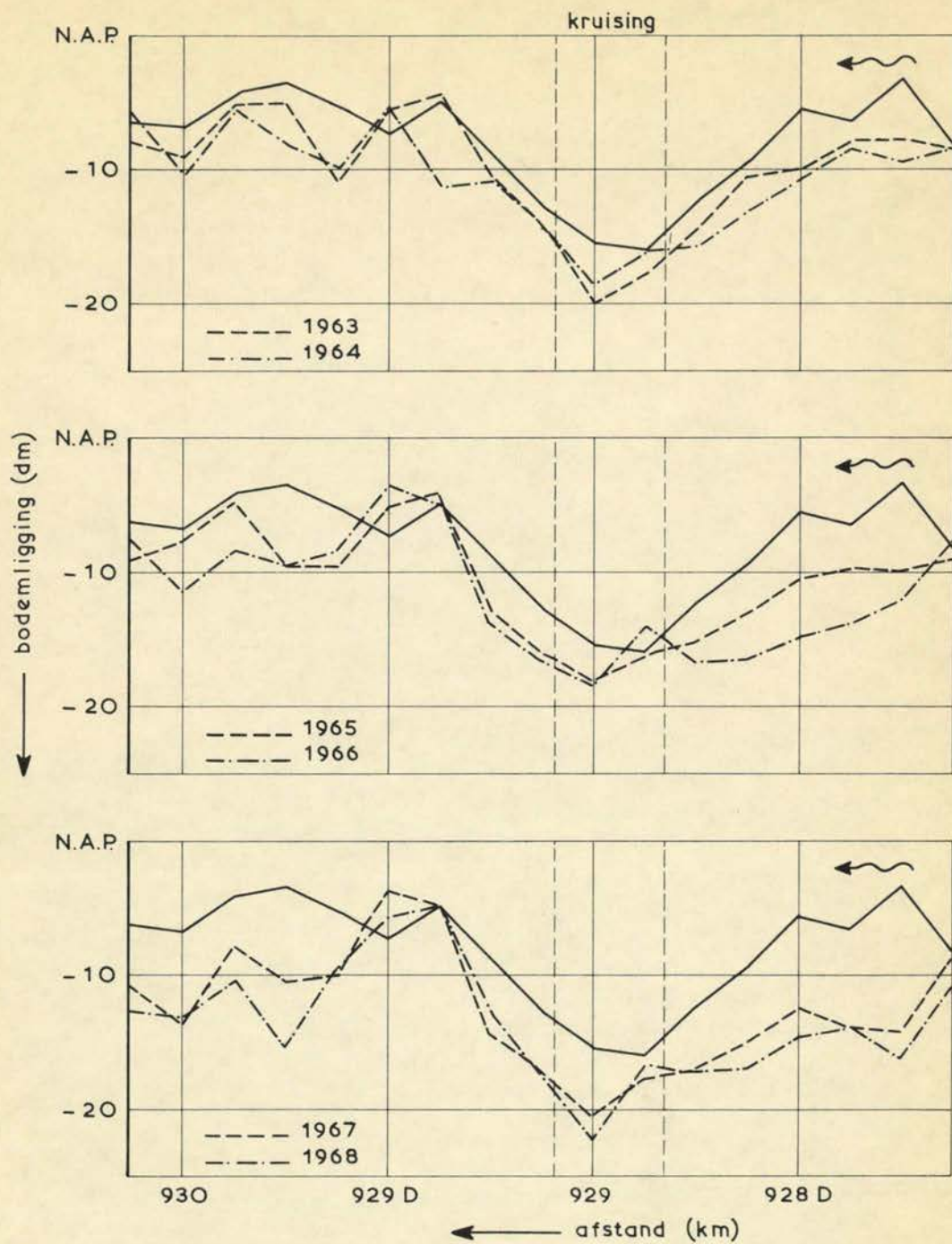
ZEEFKROMMEN VAN IN HET
MODEL GEBRUIKTE ZAND

DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 3



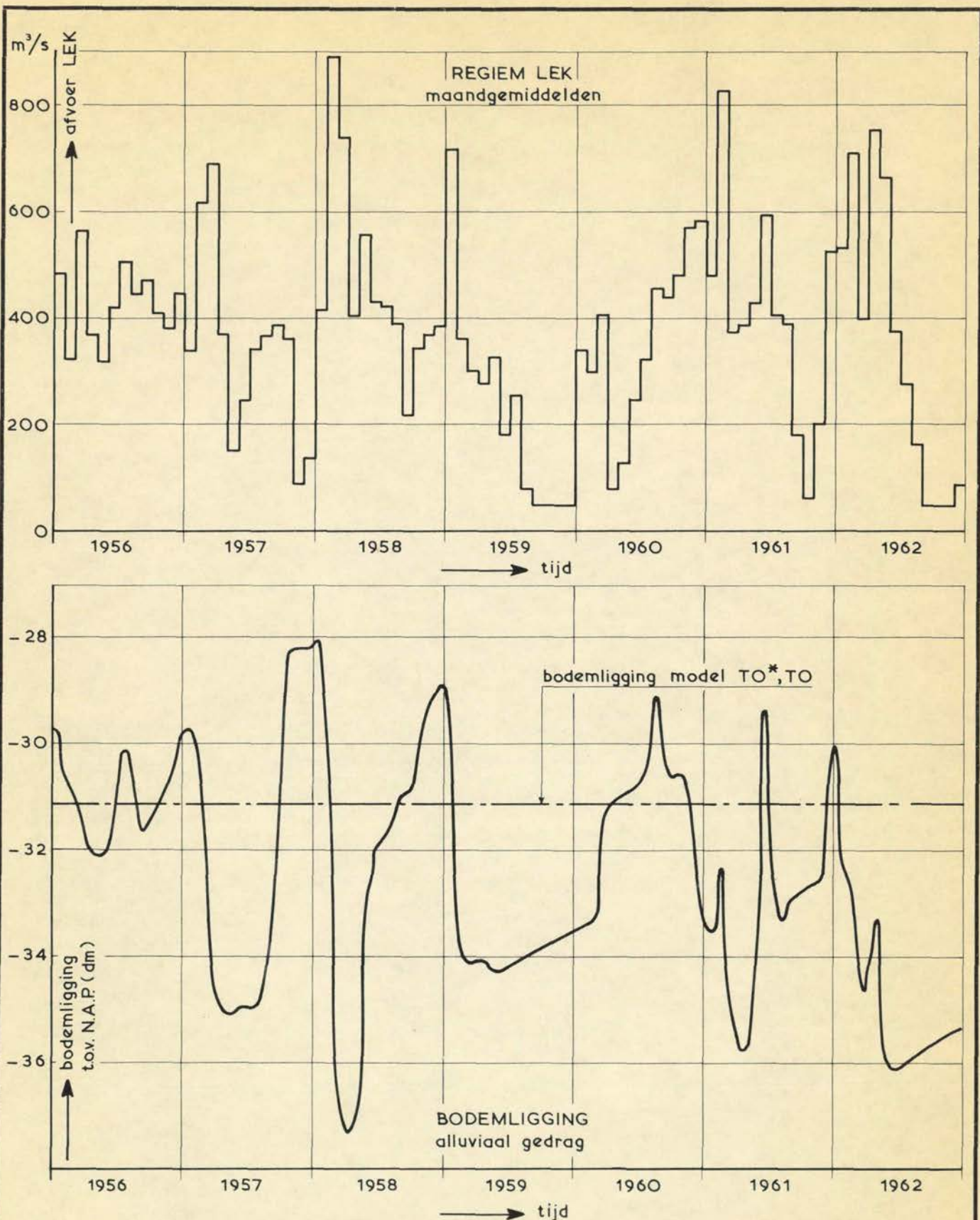
VERGELIJKING LENGTEPROFIELEN PROTOTYPE
VOLGENS JAARLIJKSE DWARSPÉILINGEN LEK

DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 4



Regiem volgens stuwprogramma „250” over tijdvak 1956 ... 1962

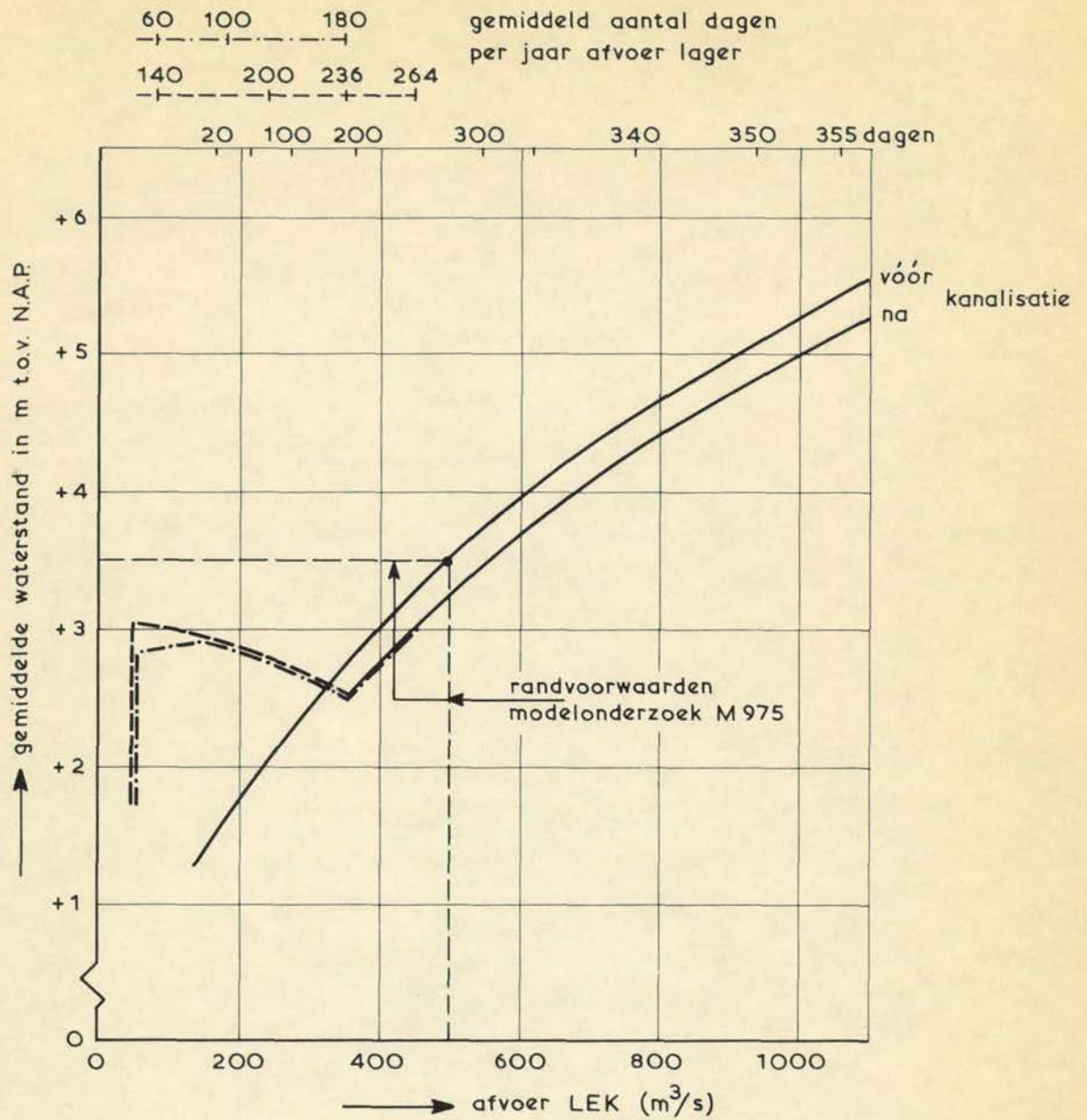
BEREKENDE BODEMLIGGING IN kmr. 928.920
 ALS FUNCTIE VAN DE TIJD

DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 5



- Open rivier
- .-.- Stuwprogramma "250"
- Stuwprogramma "350"

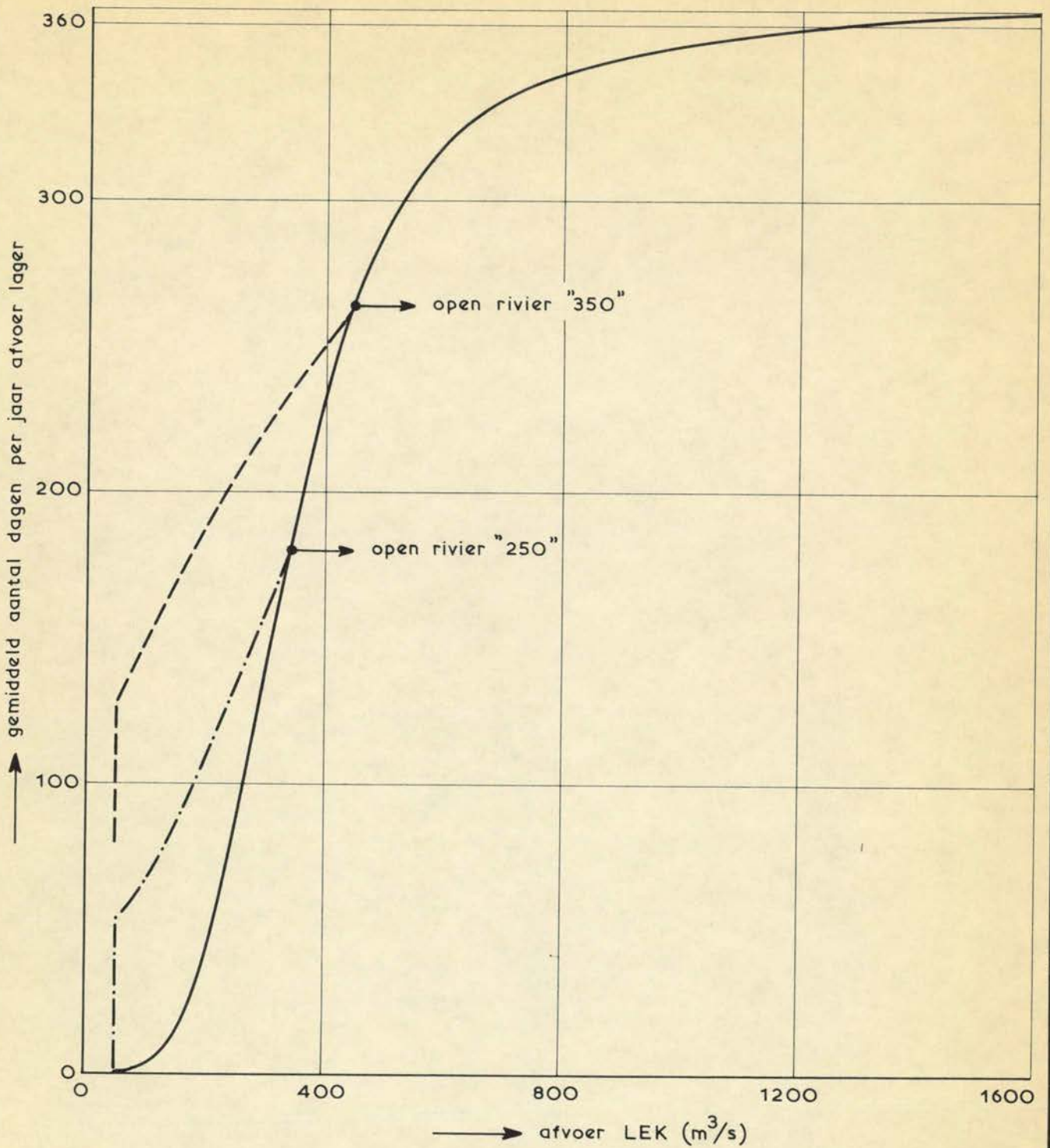
Volgens RWS-tekening nr. 66.672 en nr. 67.727

VERBAND TUSSEN AFVOER LEK
EN WATERSTAND IN kmr. 928.875

DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 6



- Open rivier
- · - · Stuwprogramma "250"
- - - Stuwprogramma "350"

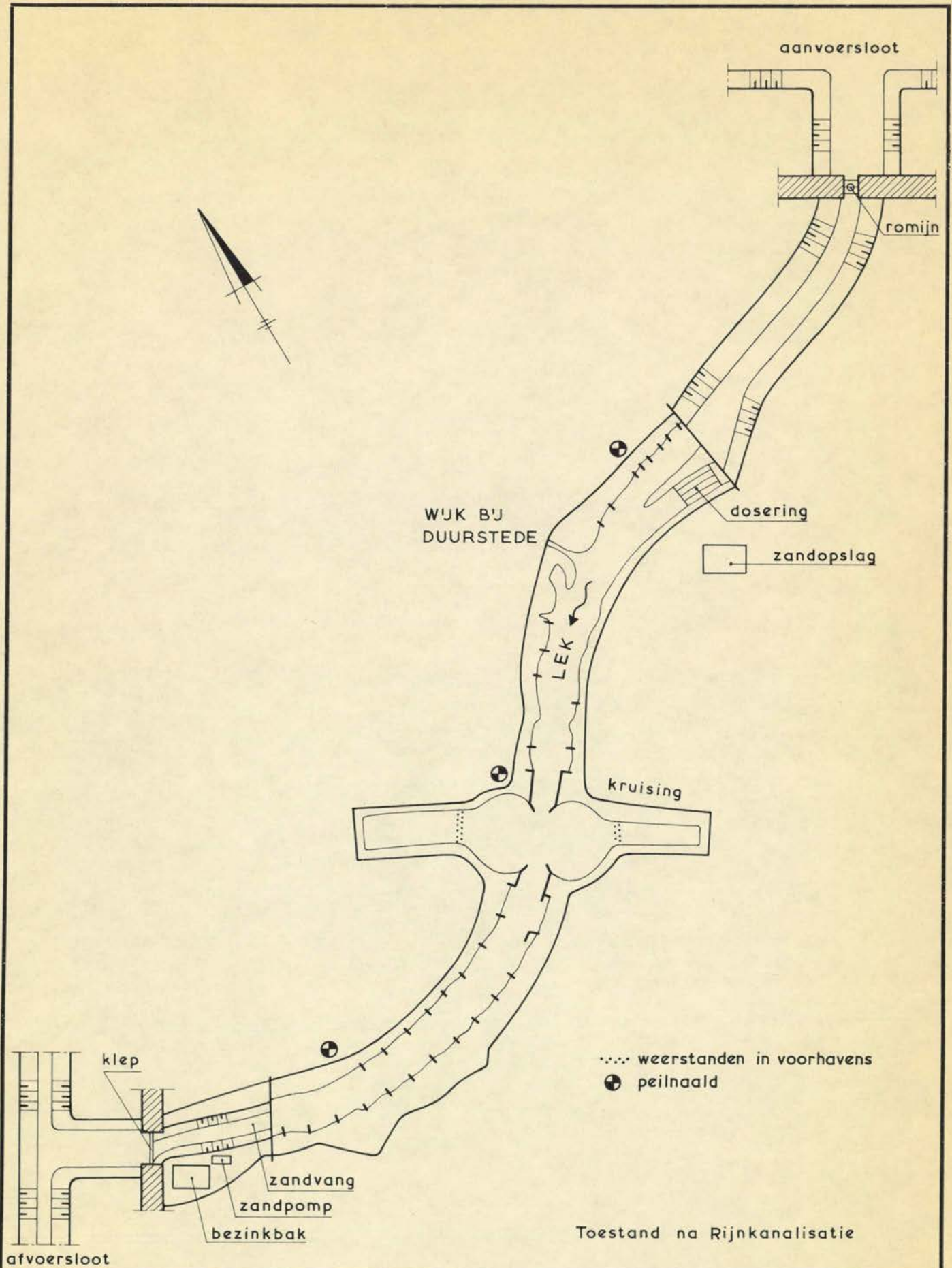
ONDERSCHR'JDINGSFREQUENTIES AFVOEREN
LEK. GEMIDDELDE JAREN 1901 - 1960

DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 7



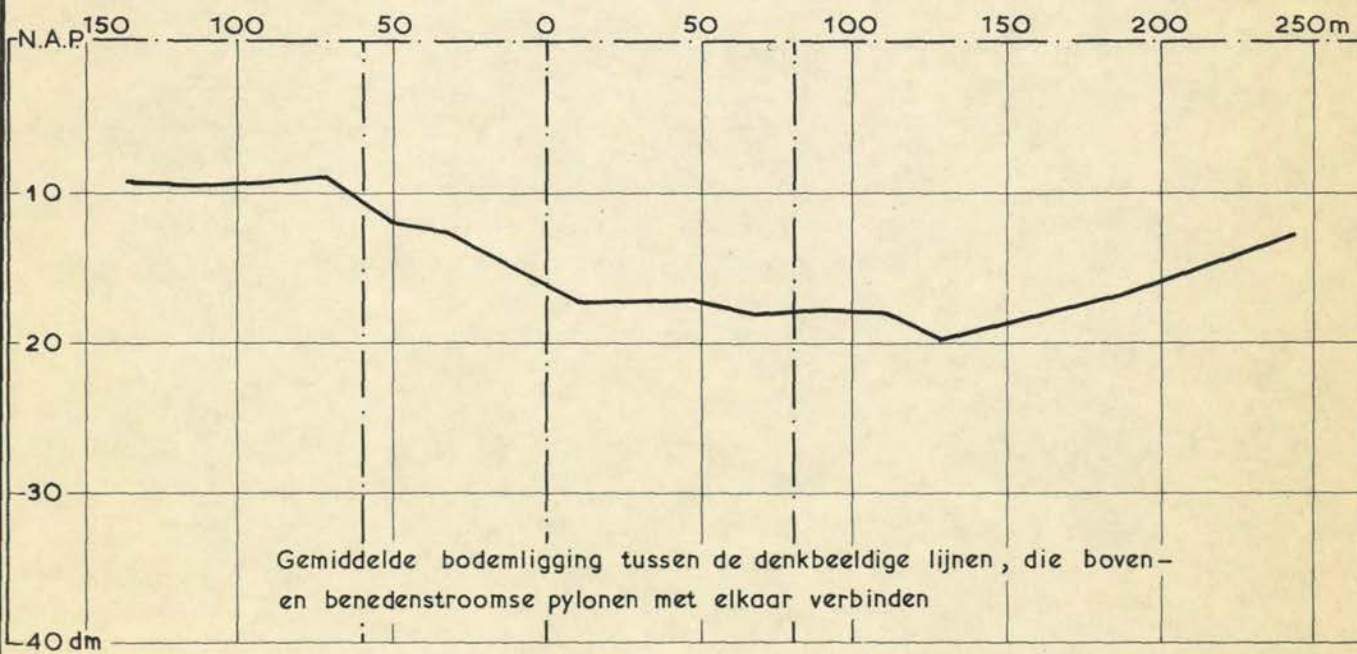
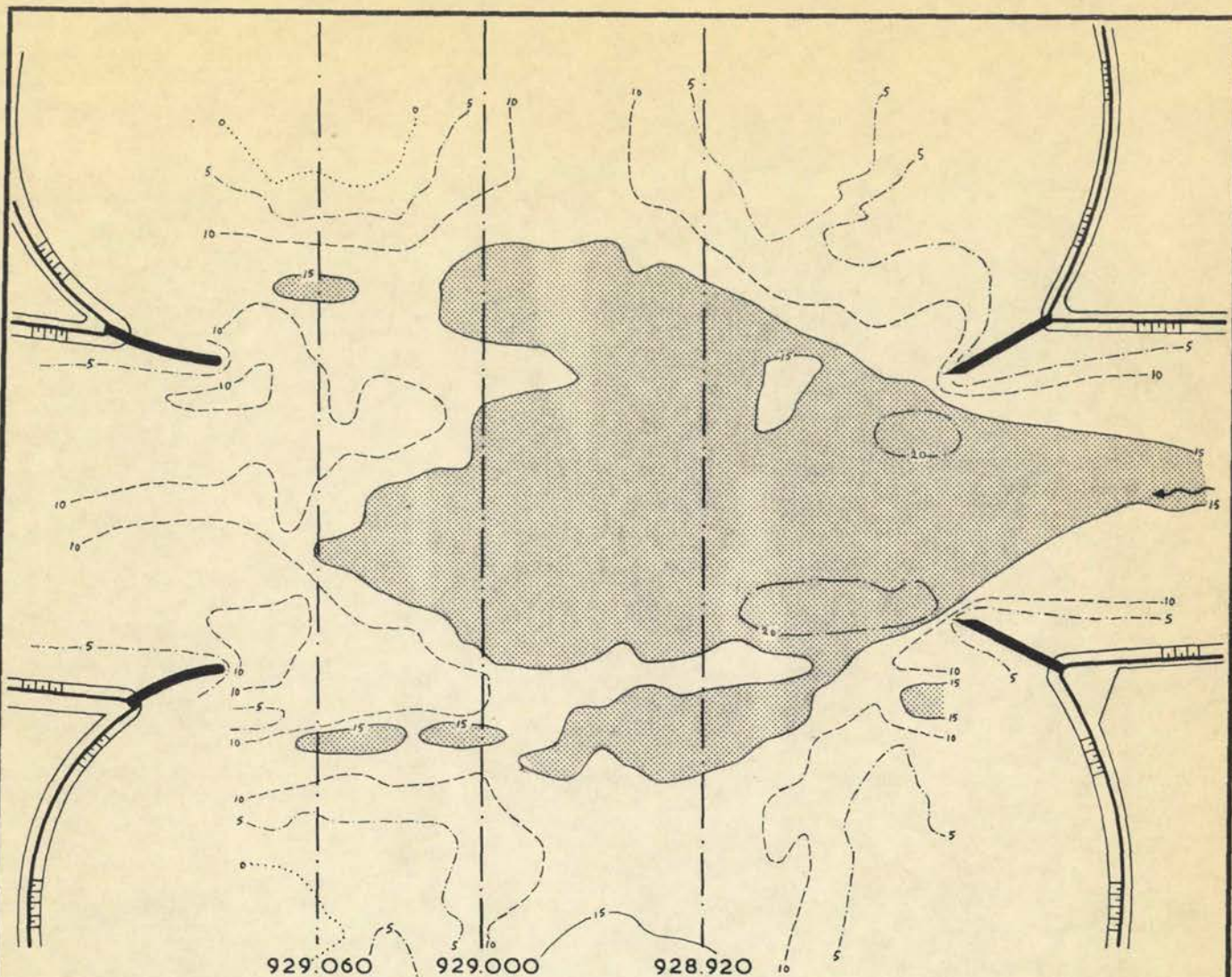
OVERZICHT MODEL

DEEL II

SCHAAL MODEL 1:500
 PROT. 1:25.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 8

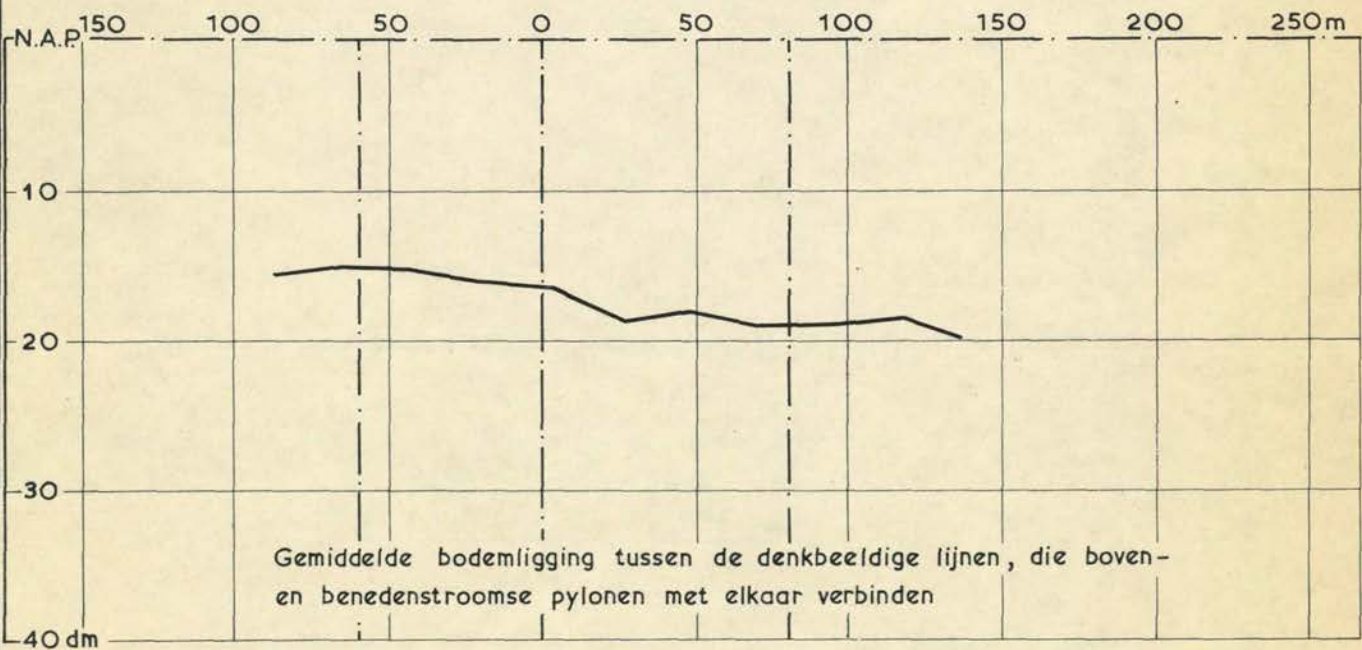
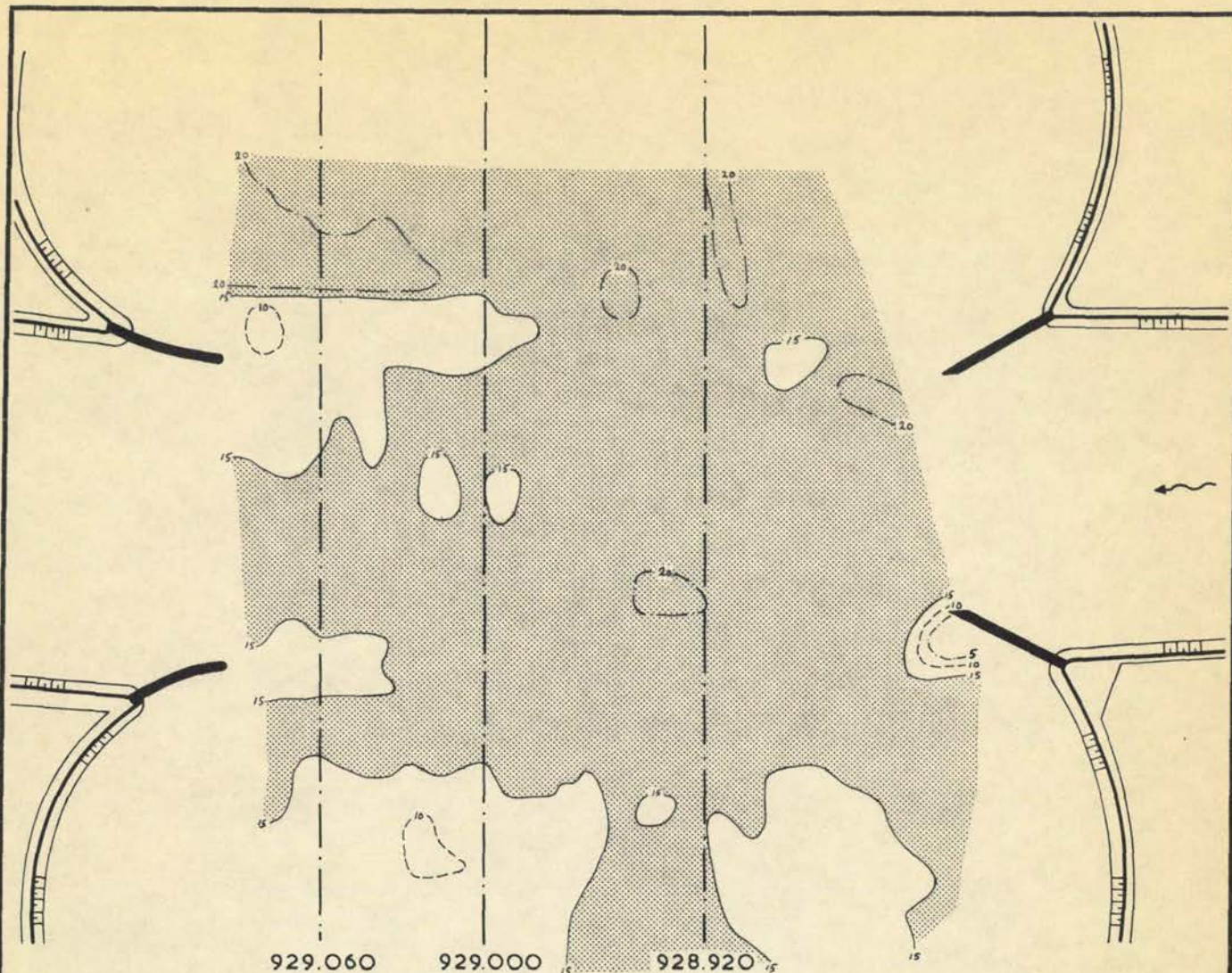


Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

DETAILPEILING PROTOTYPE OP KRUISING
(20 OKTOBER 1954)

PROT.	DEEL II
SCHAAL 1: 2500	
M.974/975	FIG. 9 ^a

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

DETAILPEILING PROTOTYPE OP KRUISING
(13 APRIL 1956)

PROT.

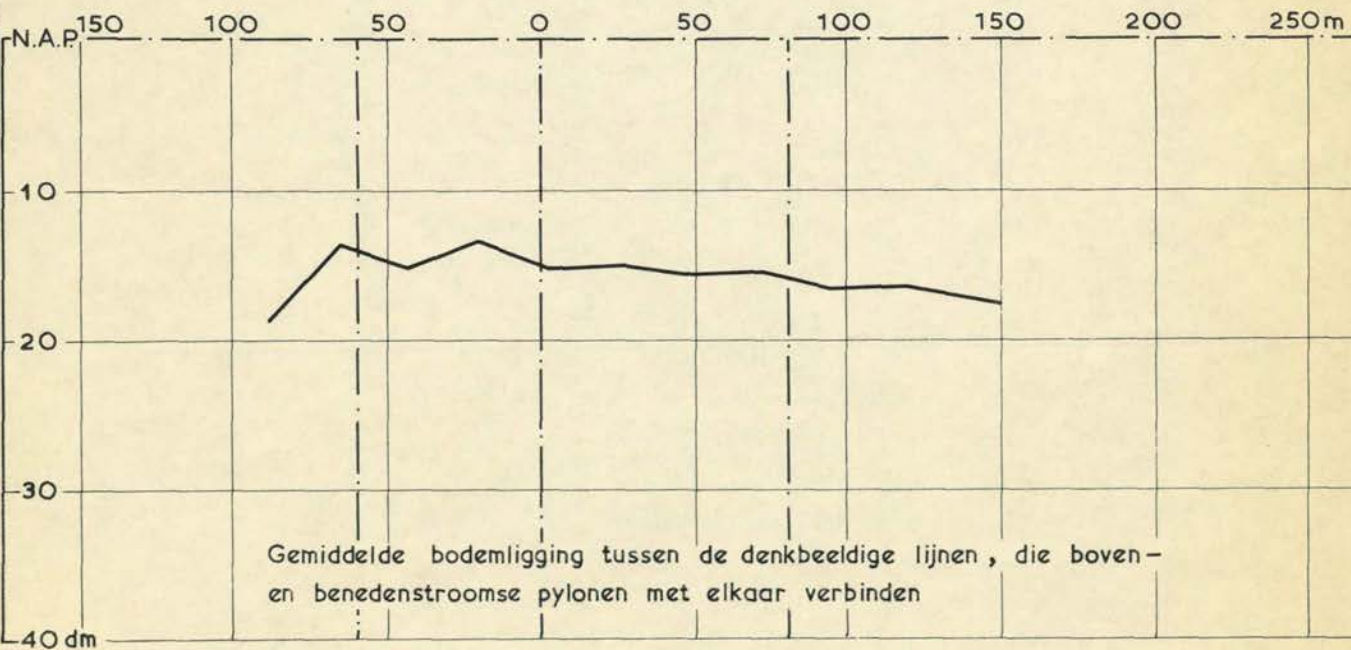
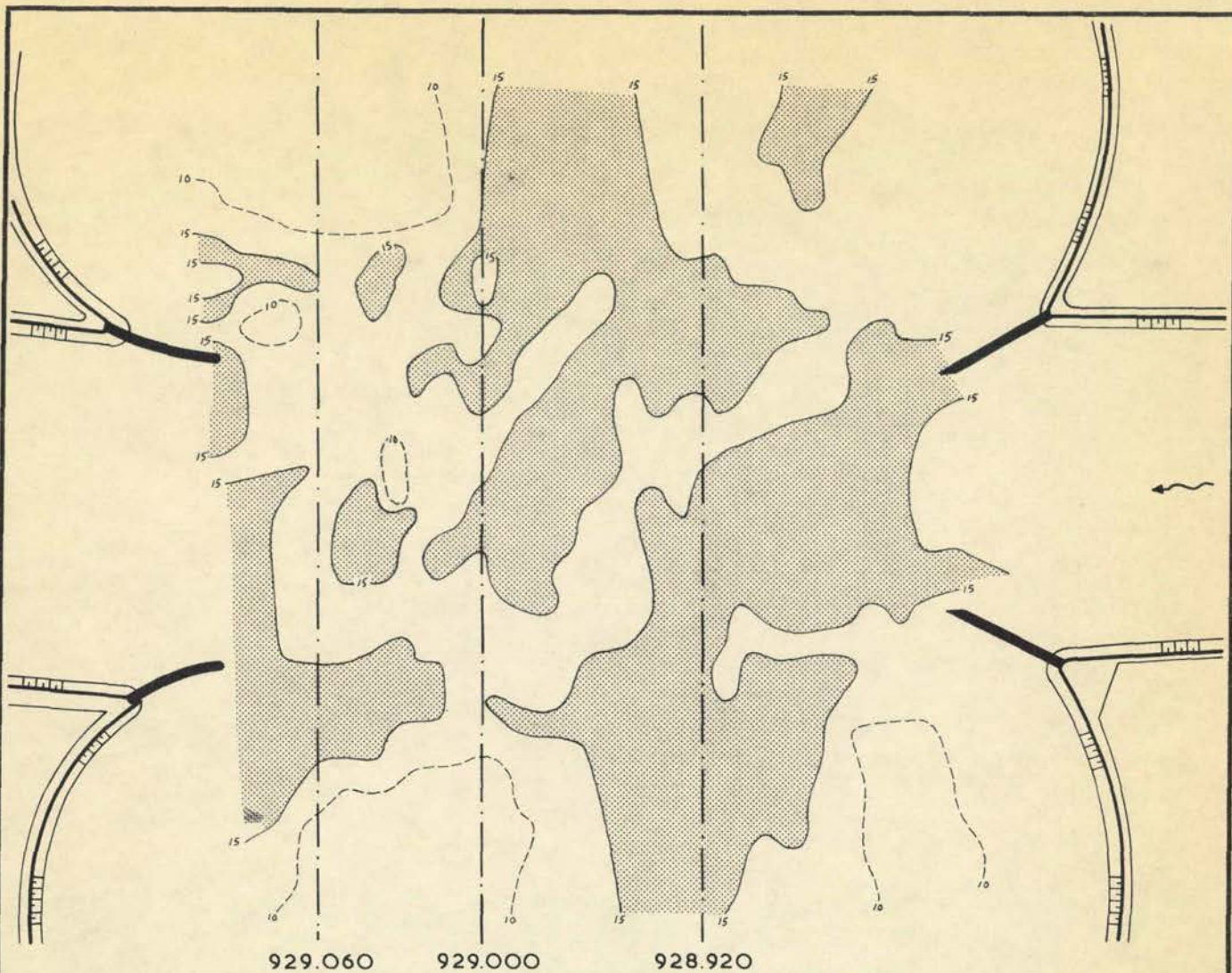
DEEL II

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 9^b



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

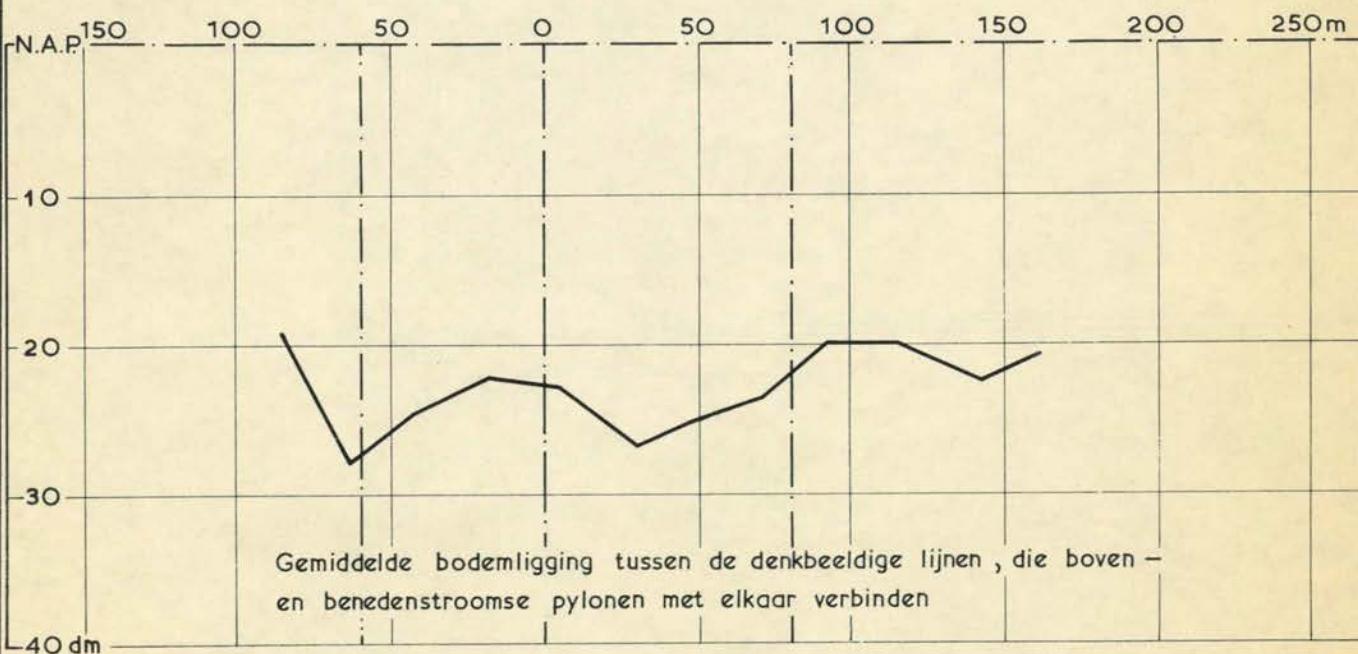
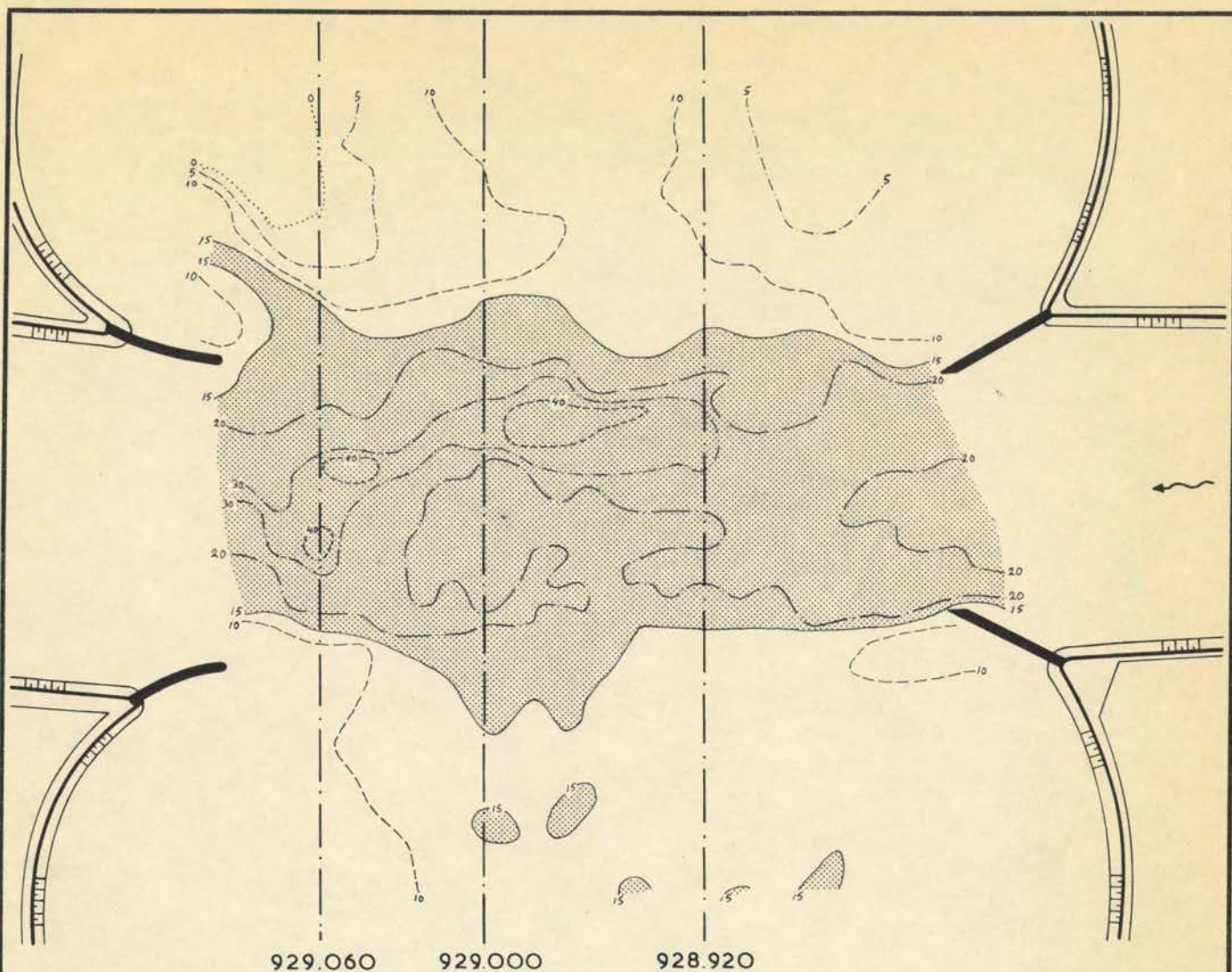
DETAILPEILING PROTOTYPE OP KRUISSING
(14 SEPTEMBER 1959)

PROT. DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 9^c



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

DETAILPEILING PROTOTYPE OP KRUISING
(16 JULI 1969)

PROT.

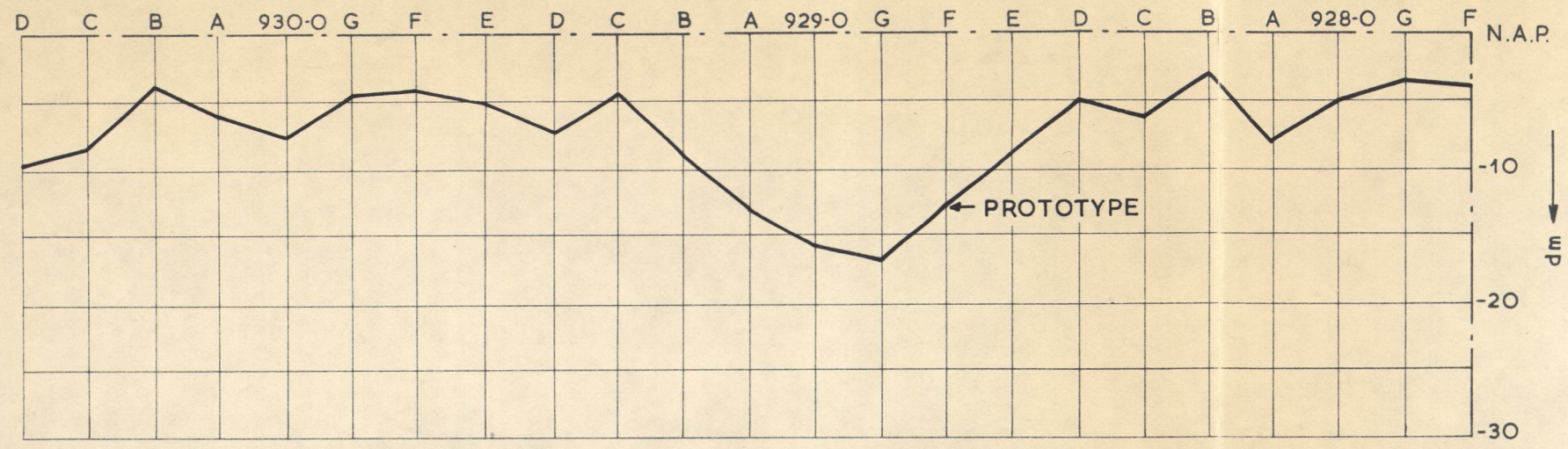
DEEL II

SCHAAL 1: 2500

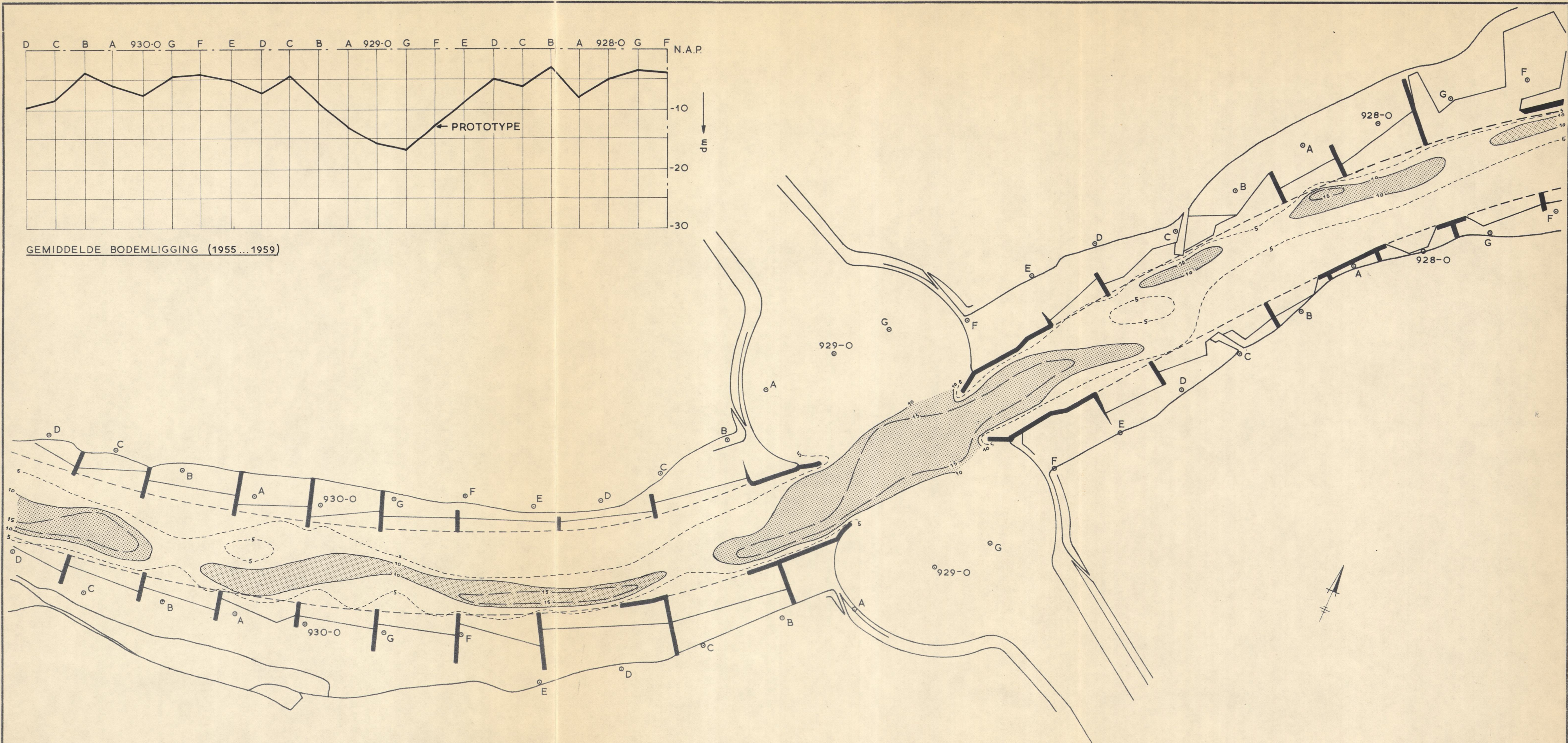
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. 9^d



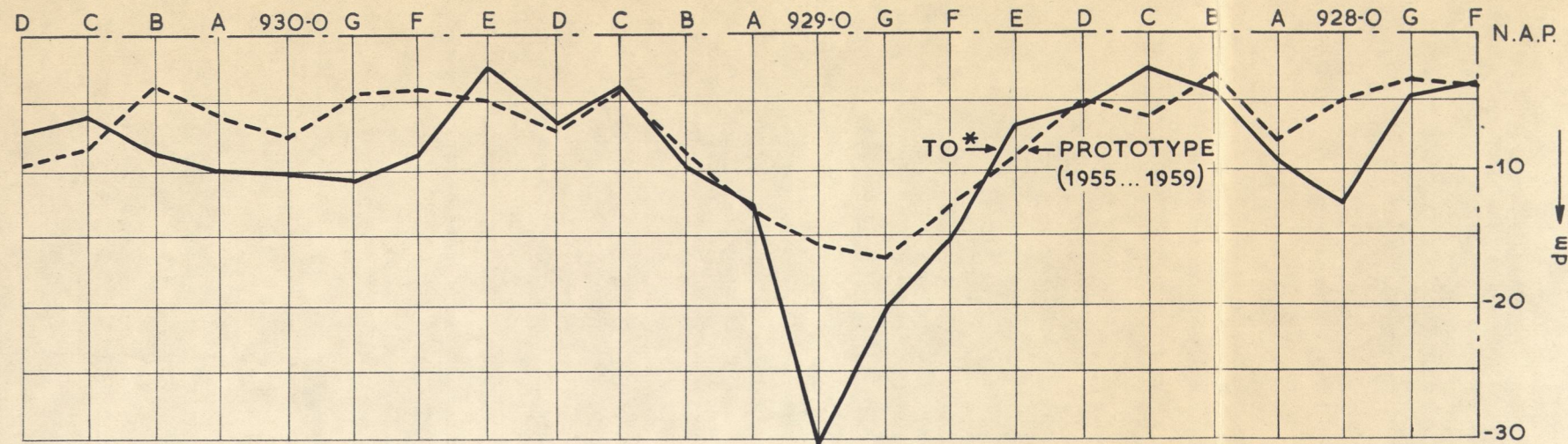
GEMIDDELDE BODEMLIGGING (1955...1959)



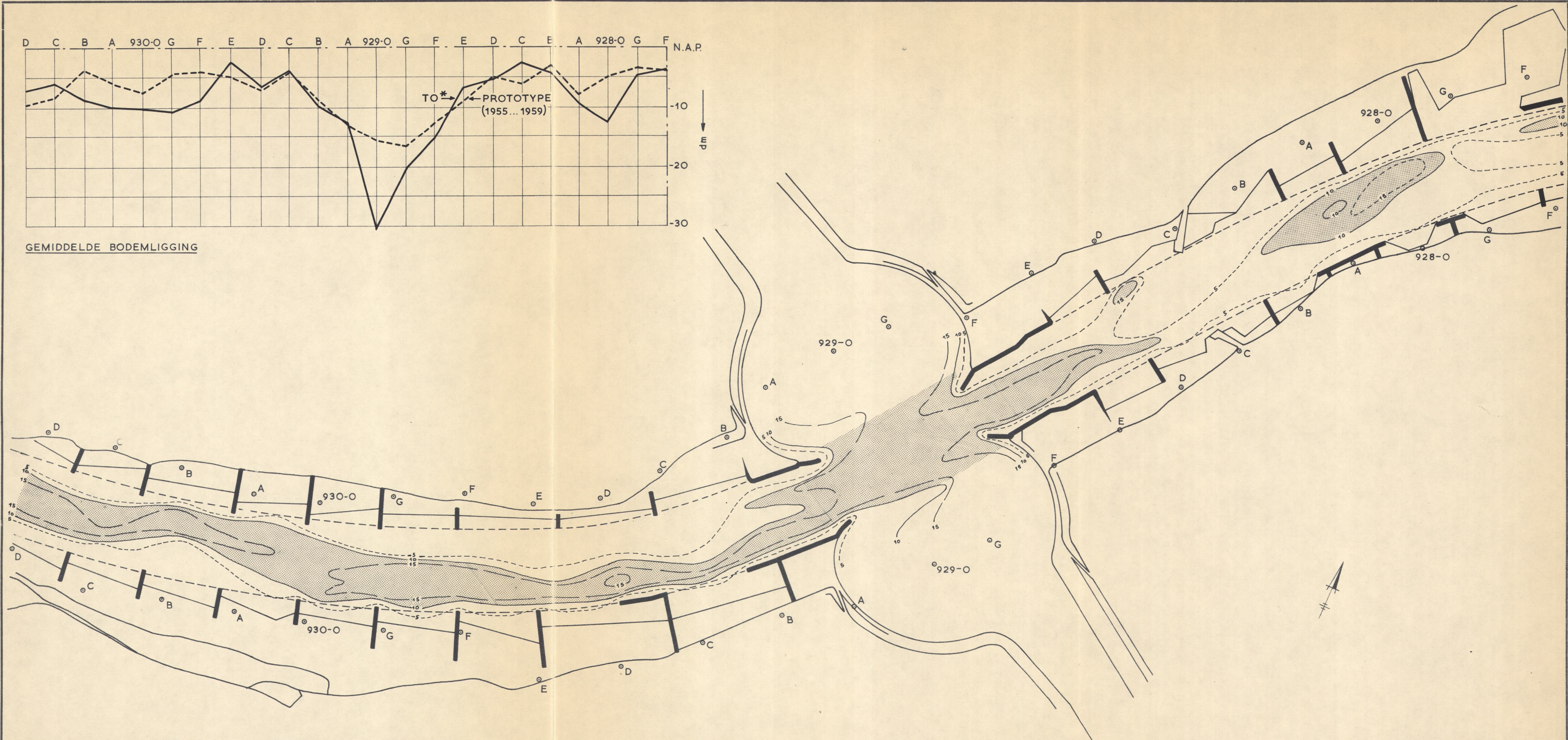
Bodemligging in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING PROTOTYPE. TOESTAND VOOR RIJNKANALISATIE (1955...1959)	PROT.	DEEL II
	SCHAAL 1:5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 10

00008083



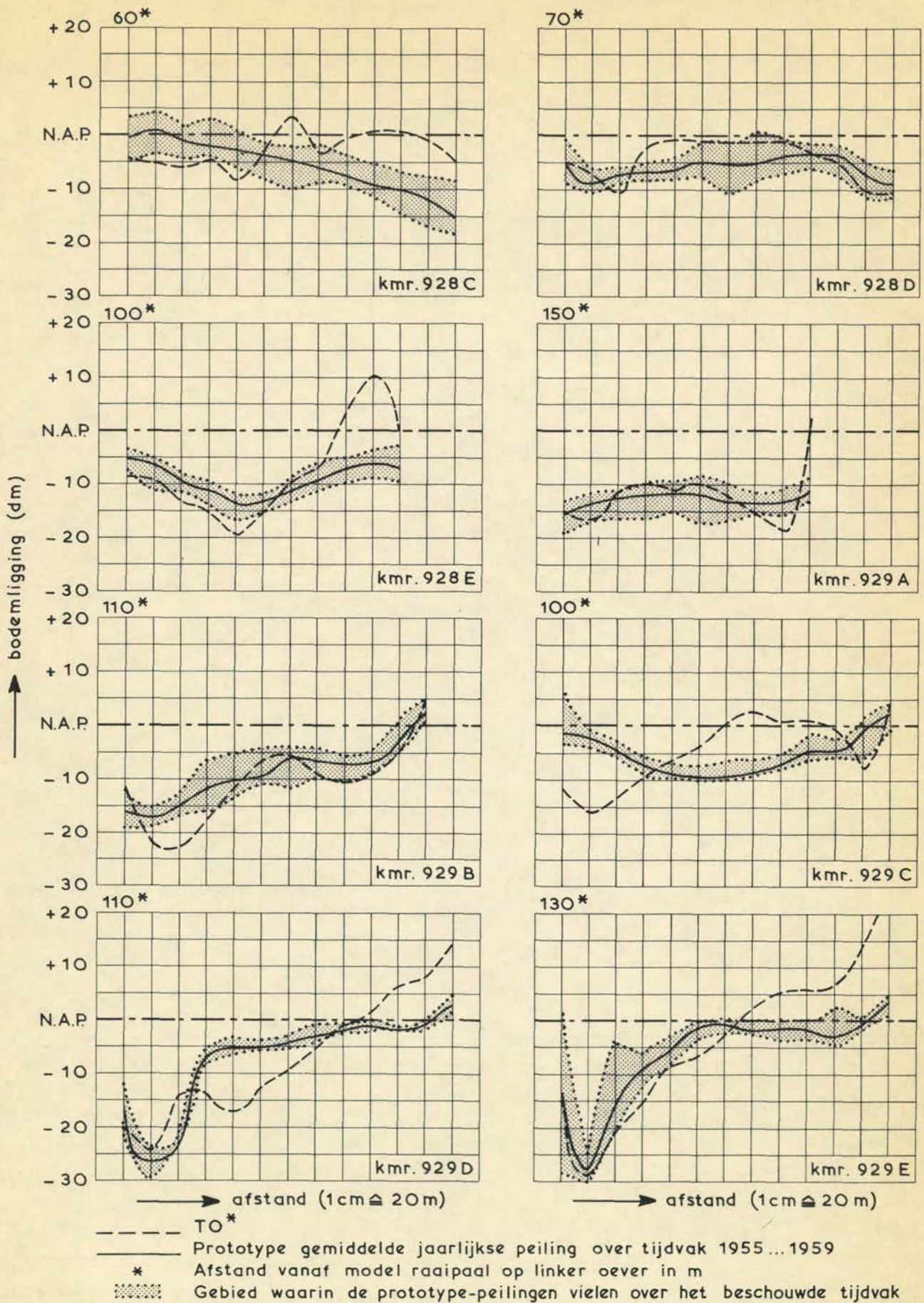
GEMIDDELDE BODEMLIGGING



Bodemligging in dm t.o.v. N.A.P.

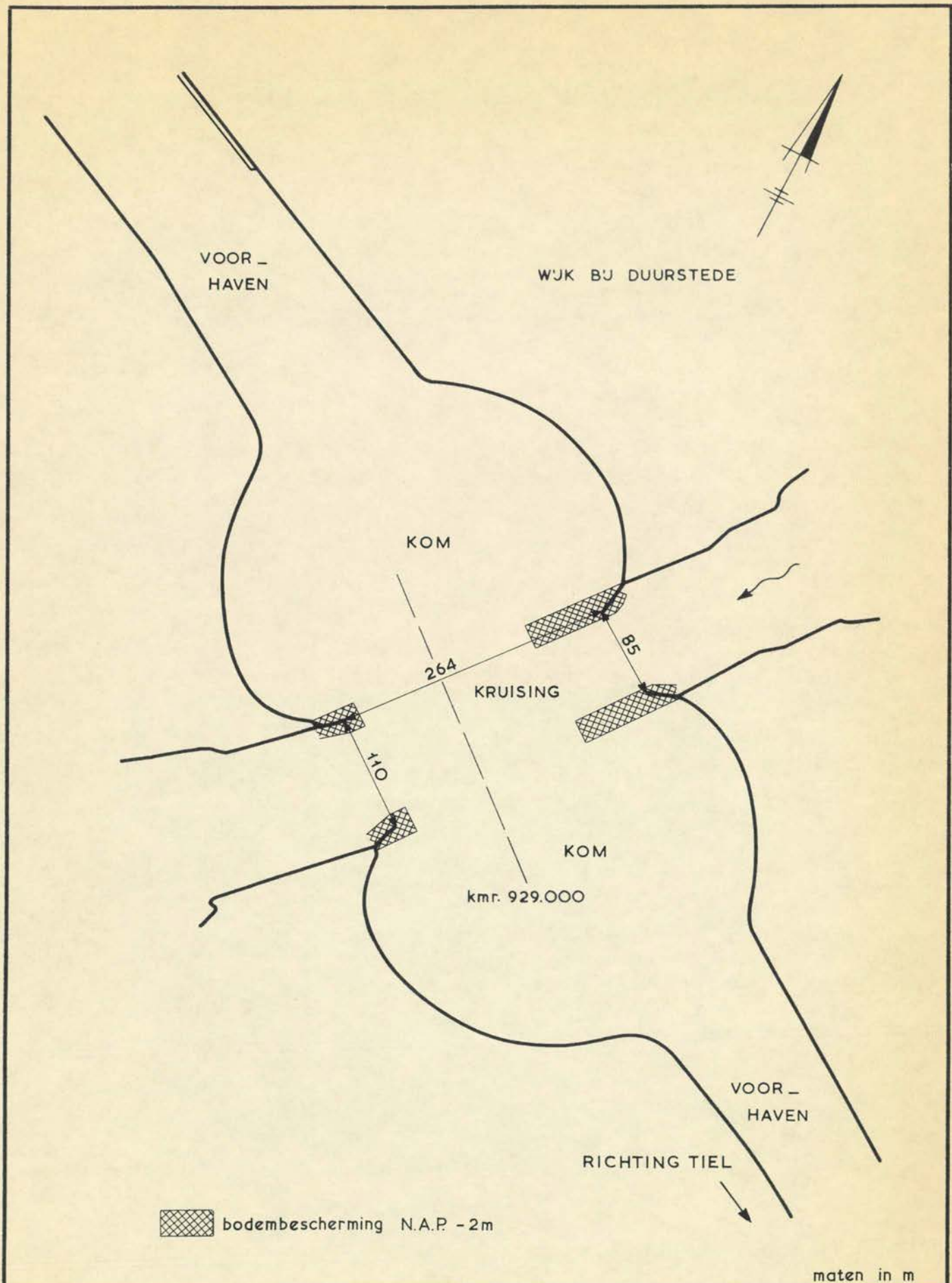
BODEMLIGGING MODEL TOESTAND VOOR RIJNKANALISATIE	TO*	DEEL II
	SCHAAL 1:5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 11

00008083

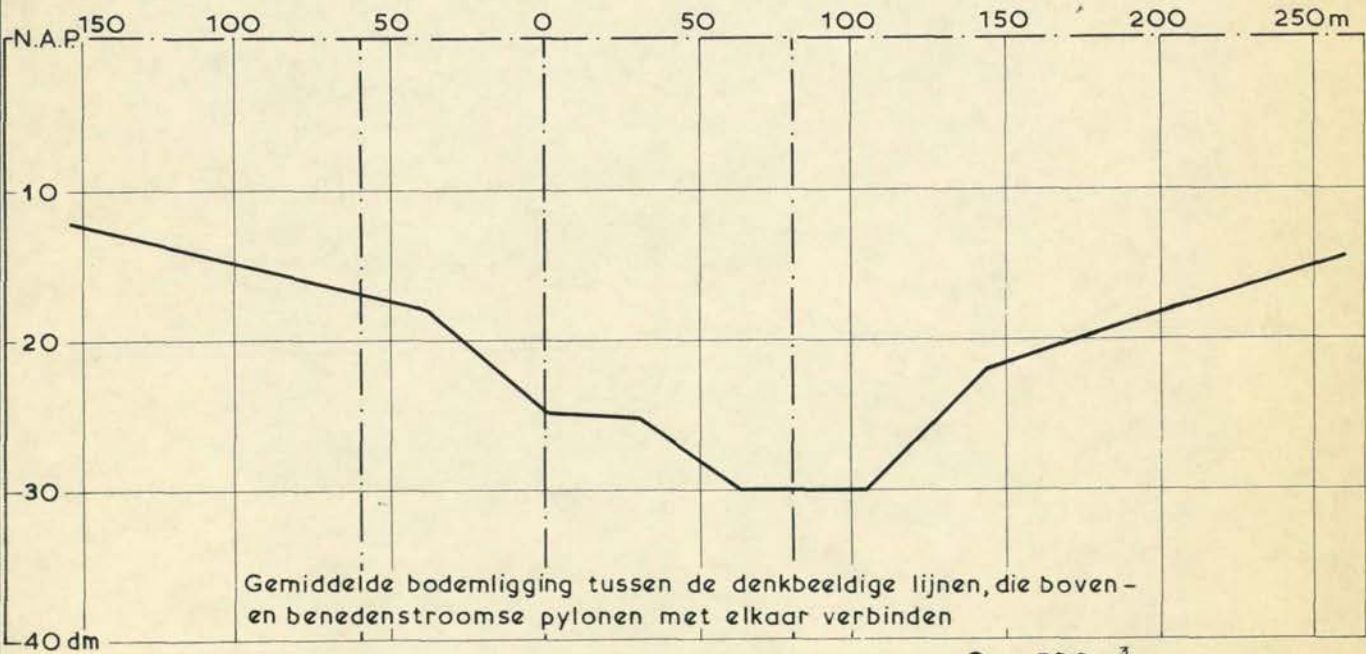
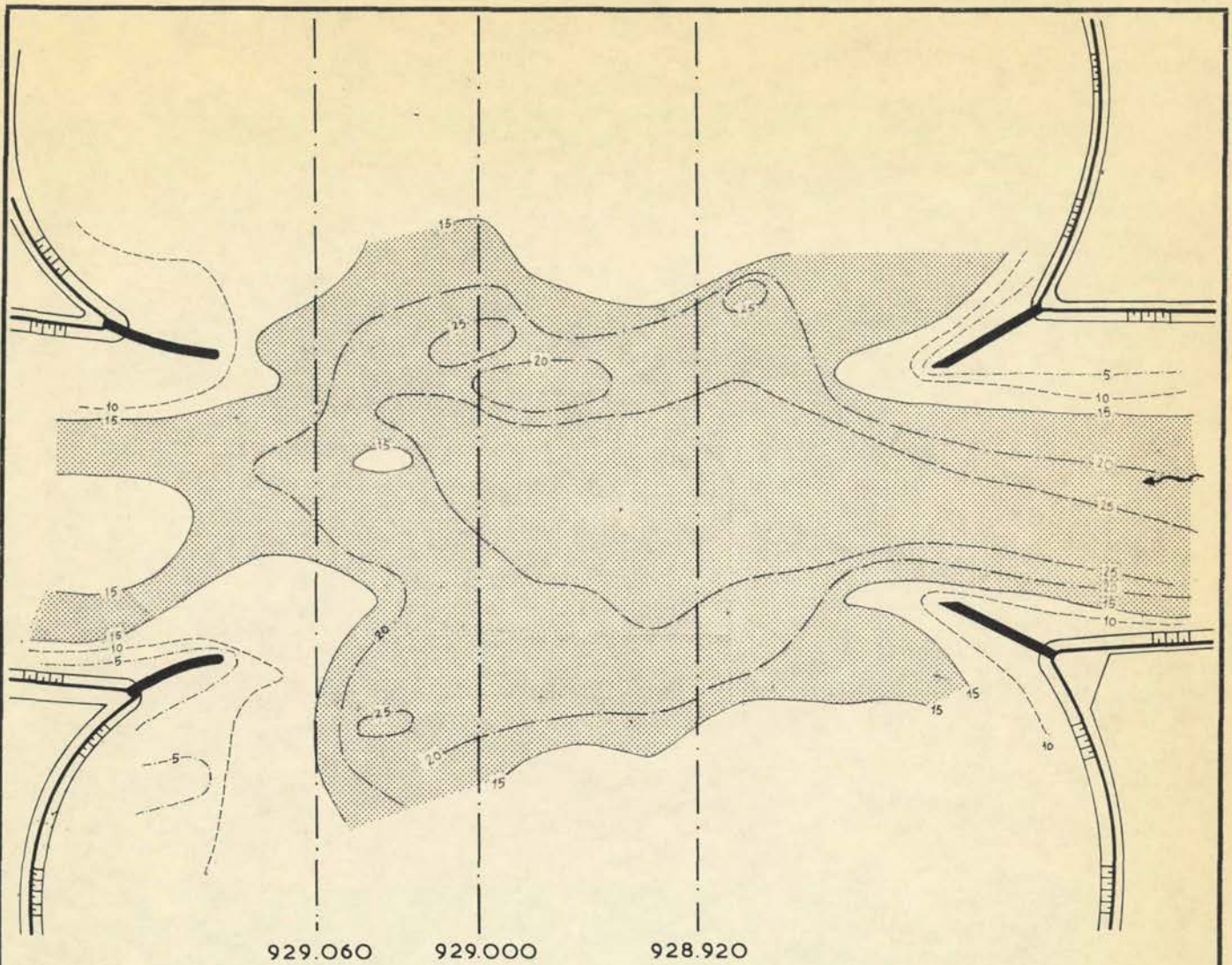


BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

PROT., TO* DEEL II



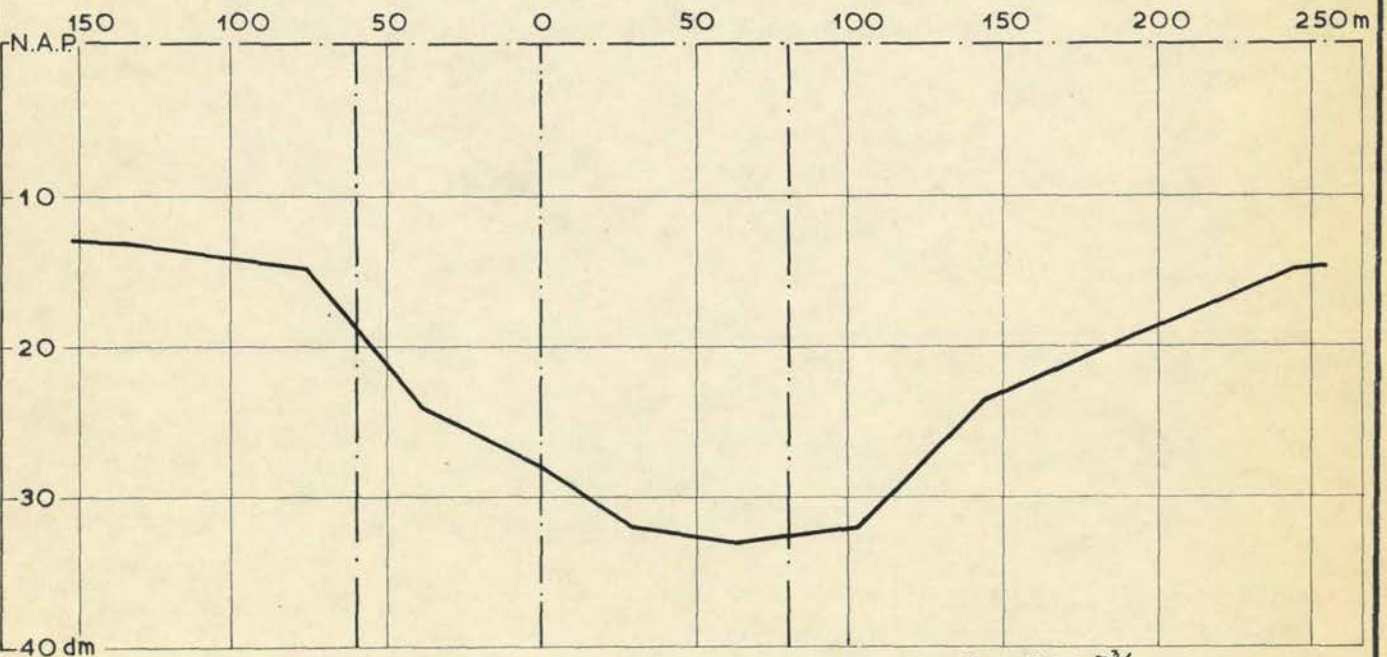
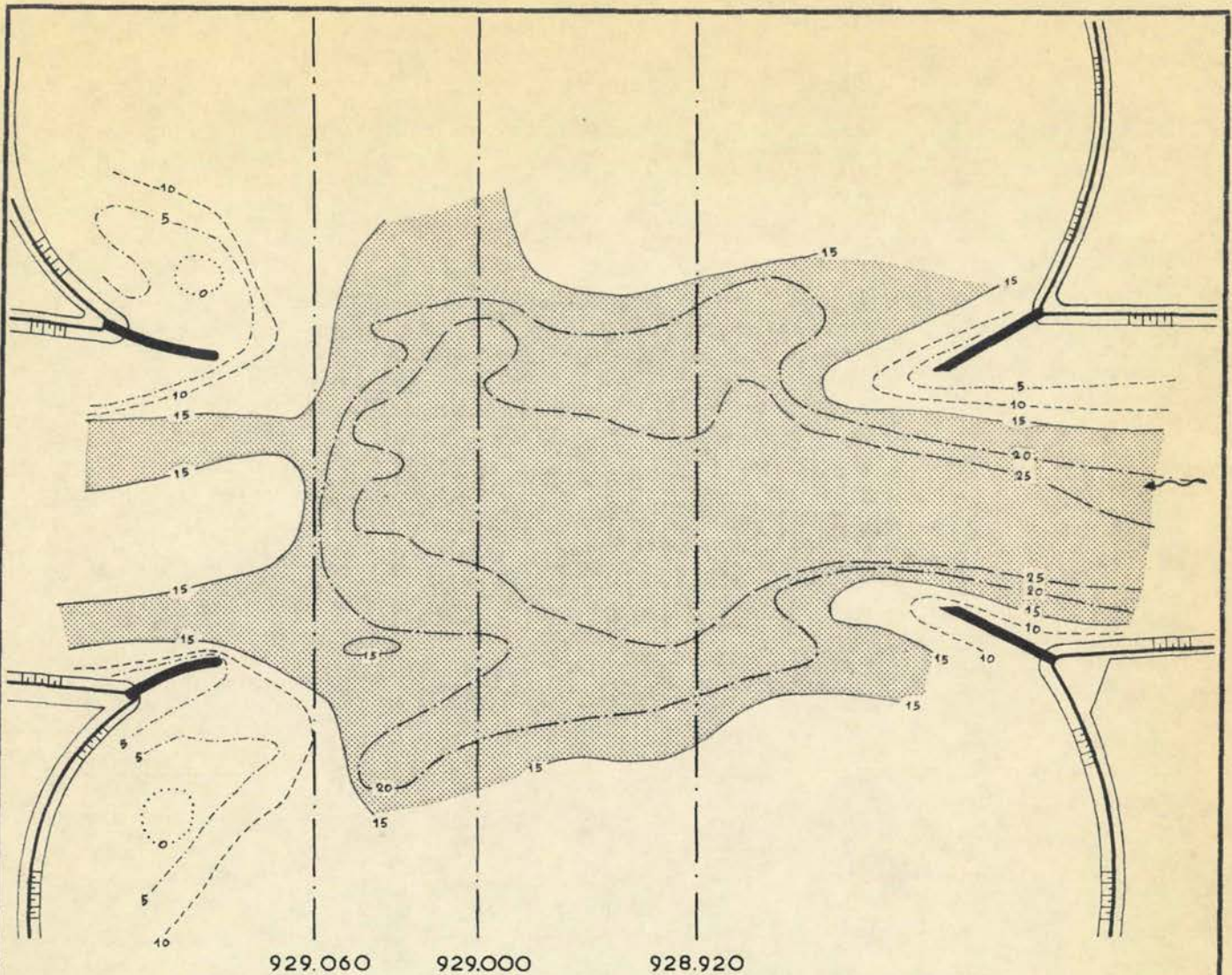
HUIDIGE SITUATIE	TO, TO*	DEEL II
	SCHAAL 1 : 5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 13 ^a



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, TO*	DEEL II
SCHAAL 1:2500	
M.974/975	FIG. 13 ^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

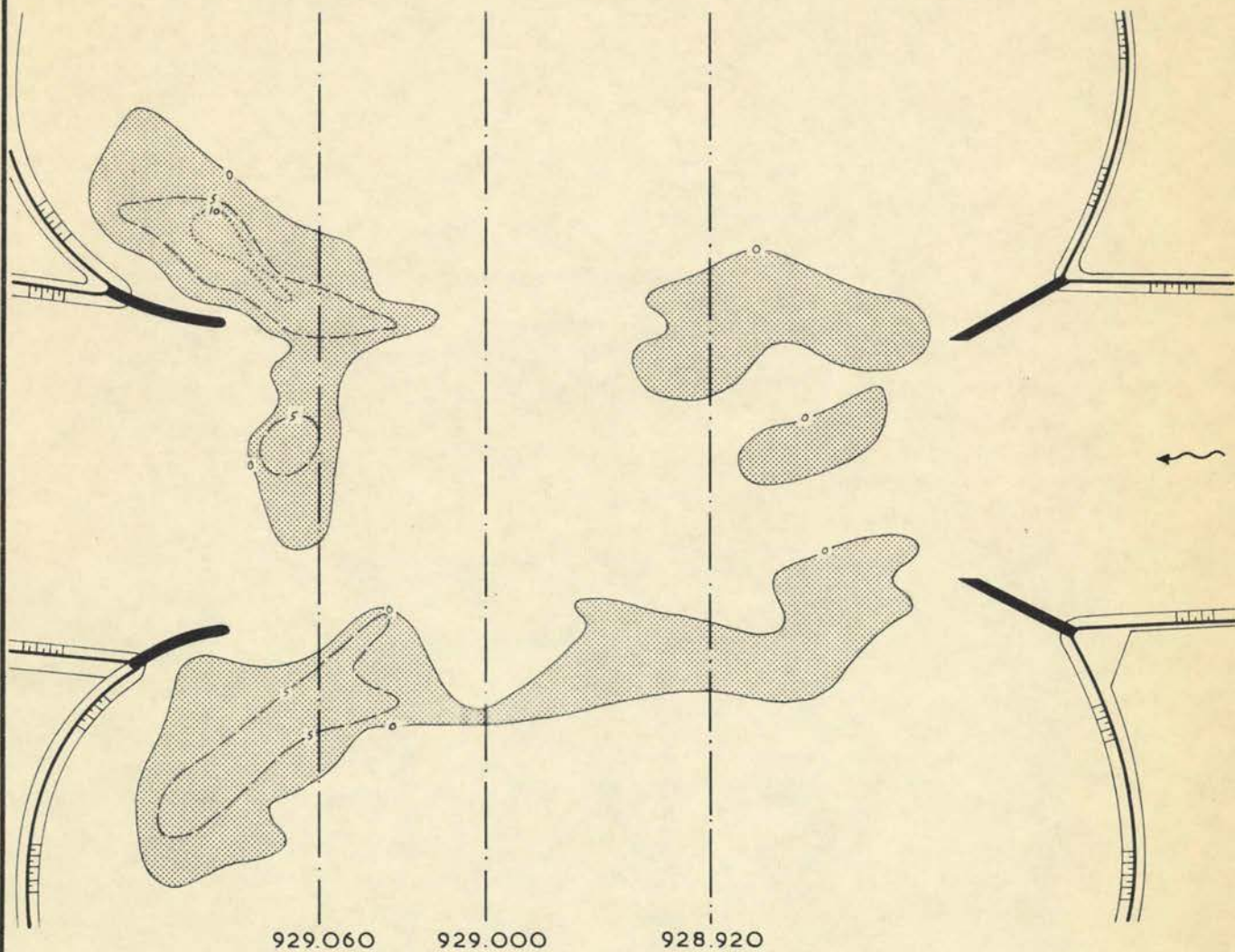
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, TO* DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 13^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 2290 m³
 Tiel 2420 m³

Diepteverschillen in dm

SEDIMENTATIE IN 14 uur

TO, TO*

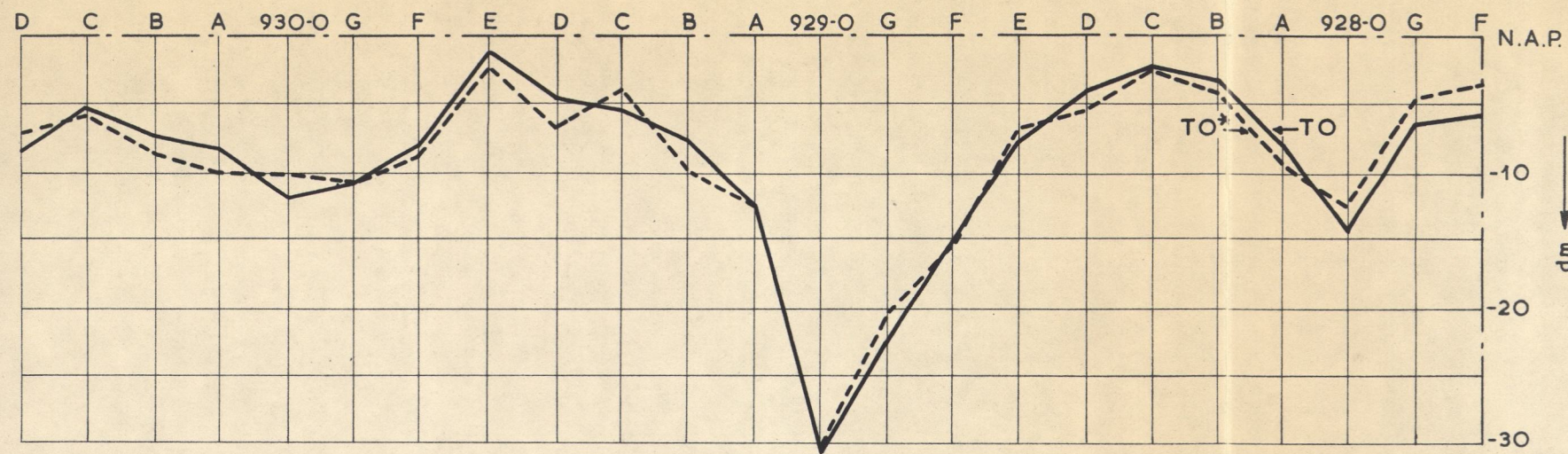
DEEL II

SCHAAL 1 : 2500

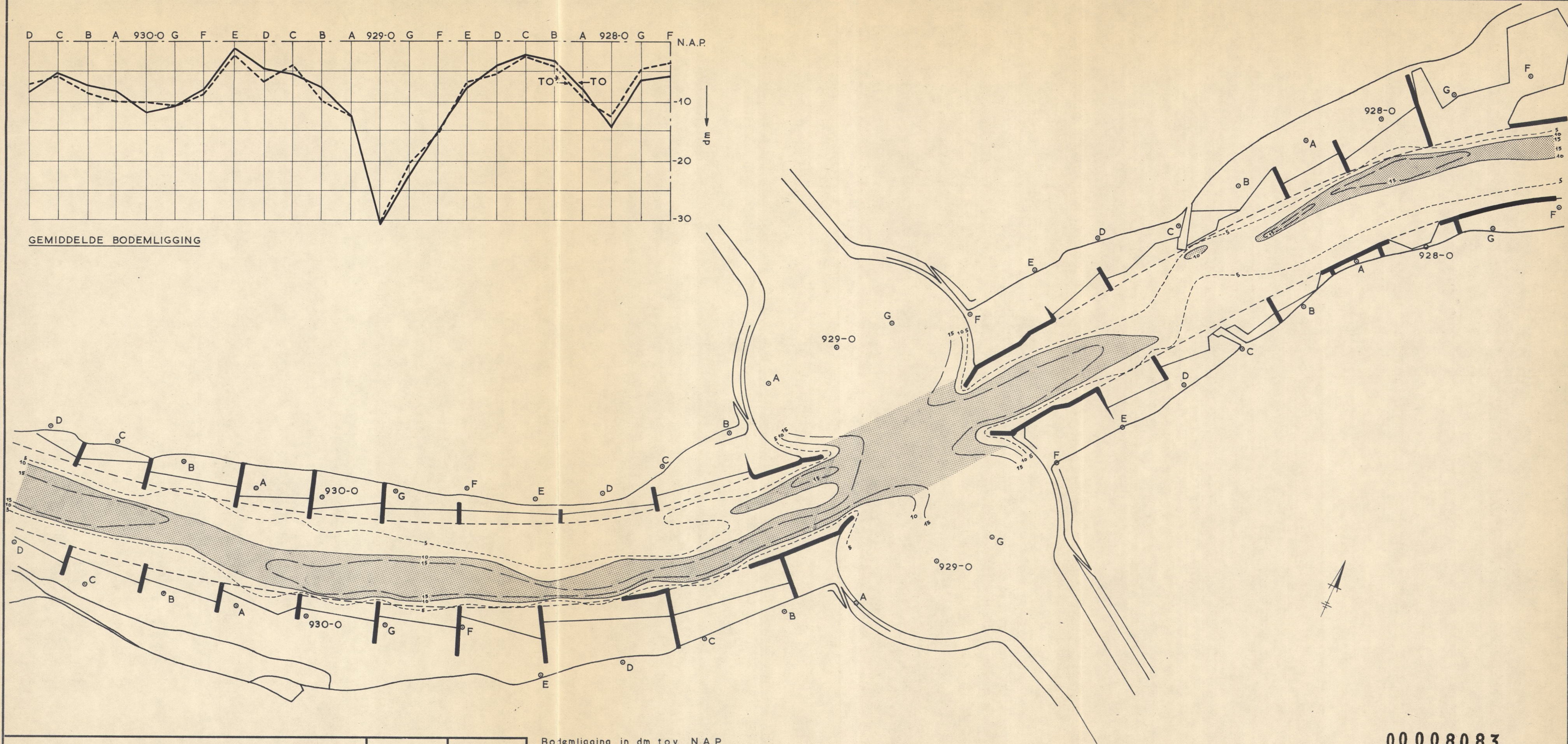
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. 13^d



GEMIDDELDE BODEMLIGGING



Bodemligging in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING MODEL TOESTAND
NA RYKANKANALISATIE

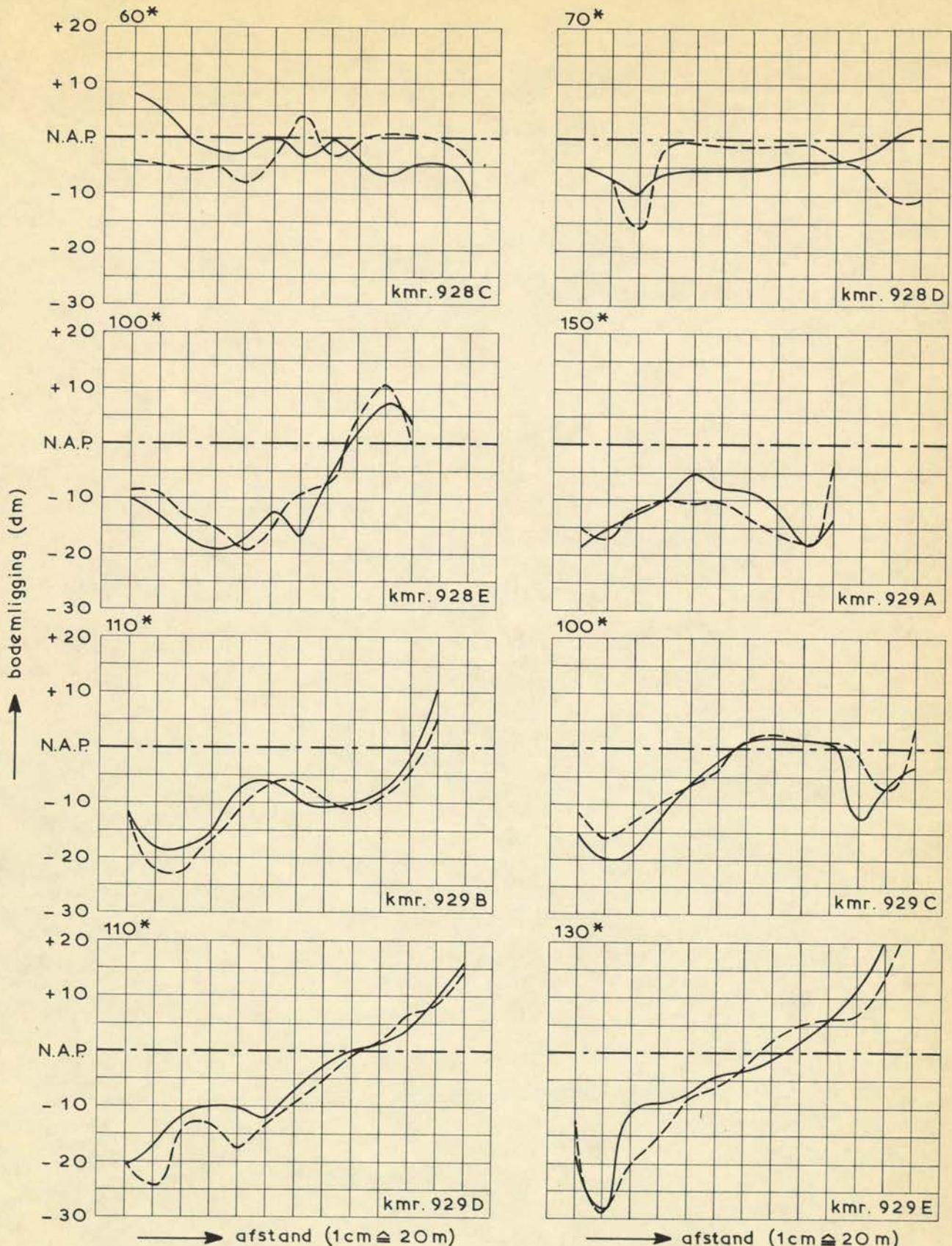
TO DEEL II

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 14

00008083

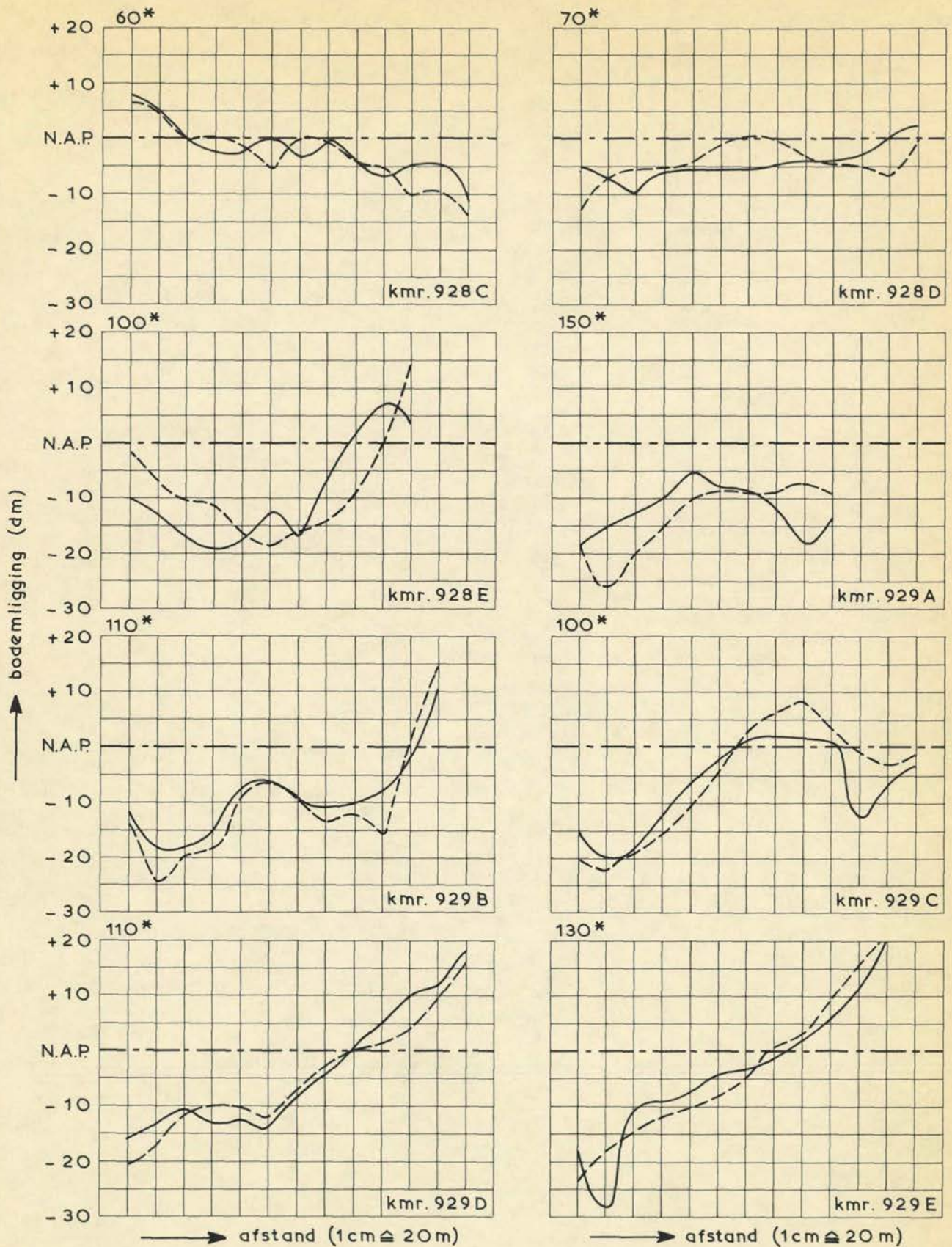


— TO
 - - - TO*

* Afstand vanaf raai paal op linker oever in m

BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

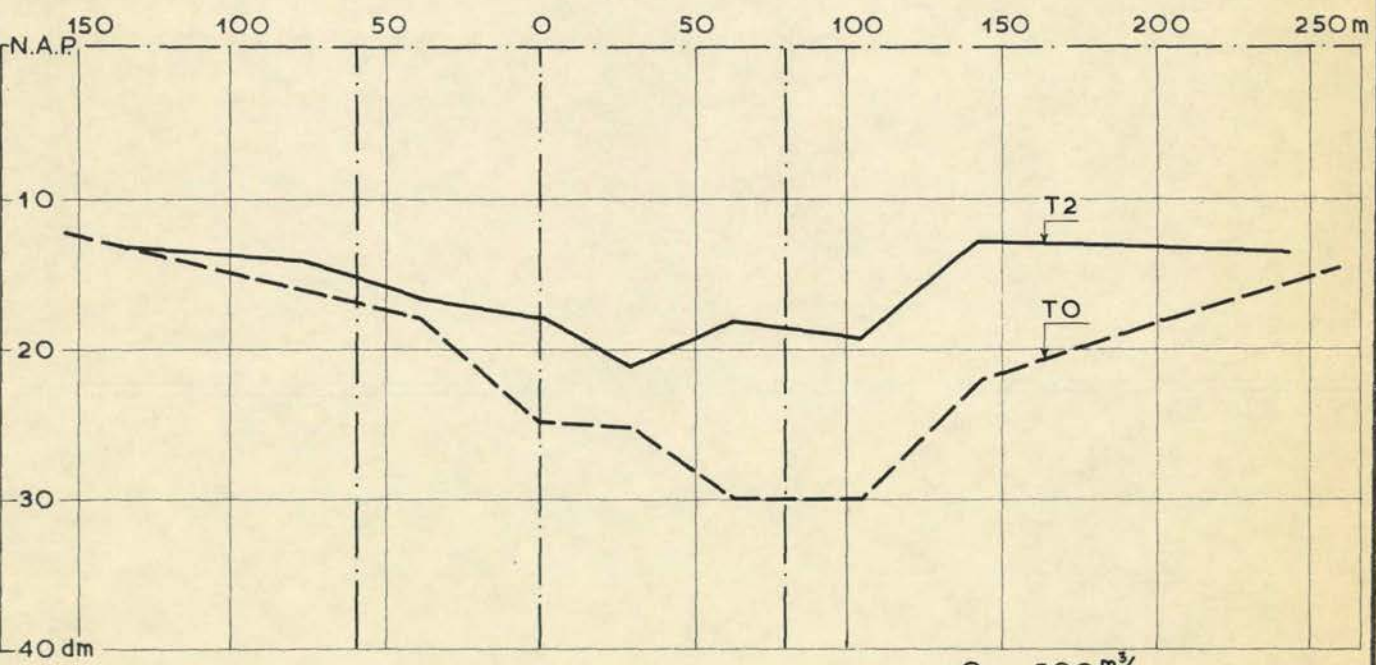
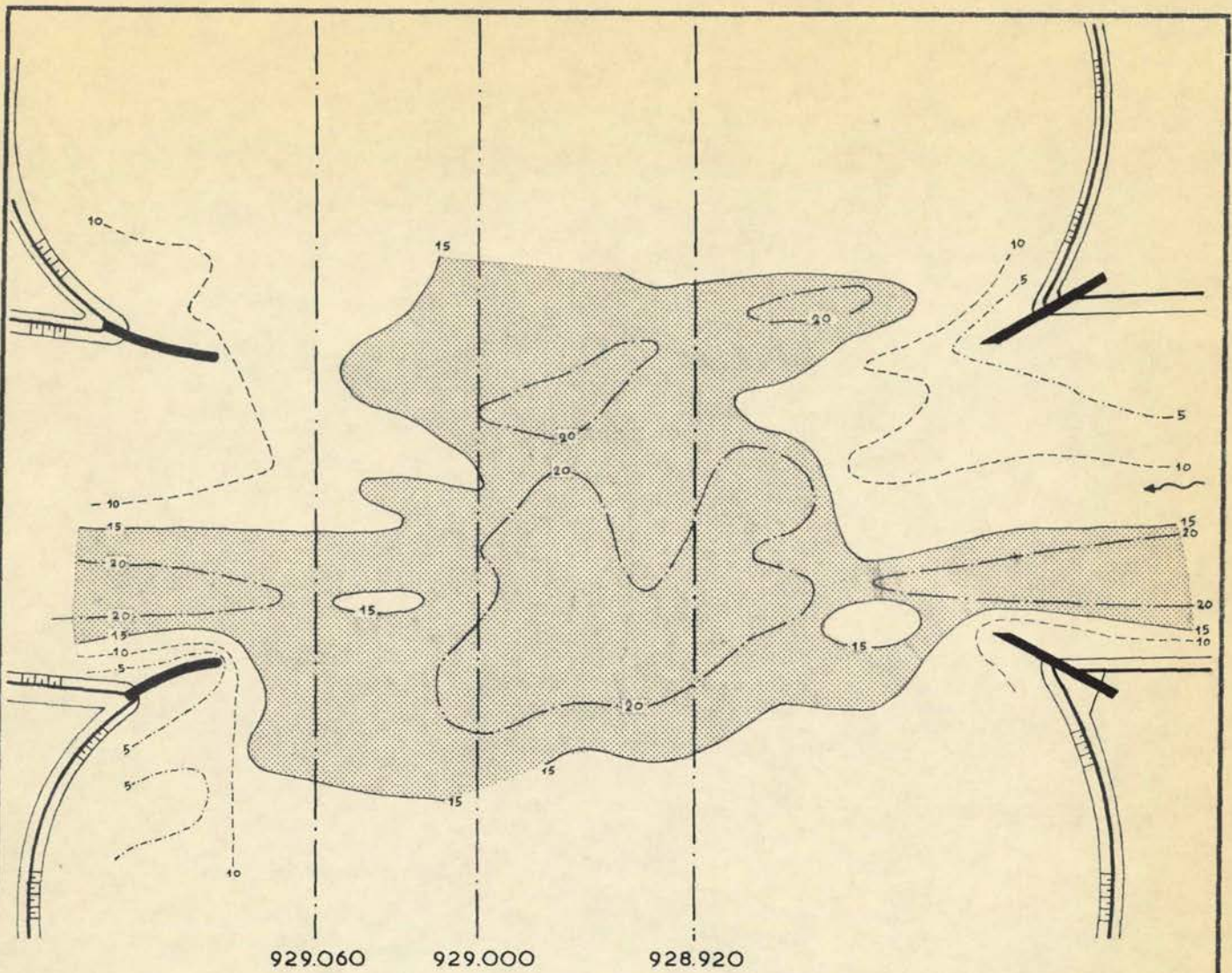
TO, TO* DEEL II



- - - TO
 ——— T2

* Afstand vanaf raaipeal op linker oever in m

BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN	TO, T2	DEEL II
	WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

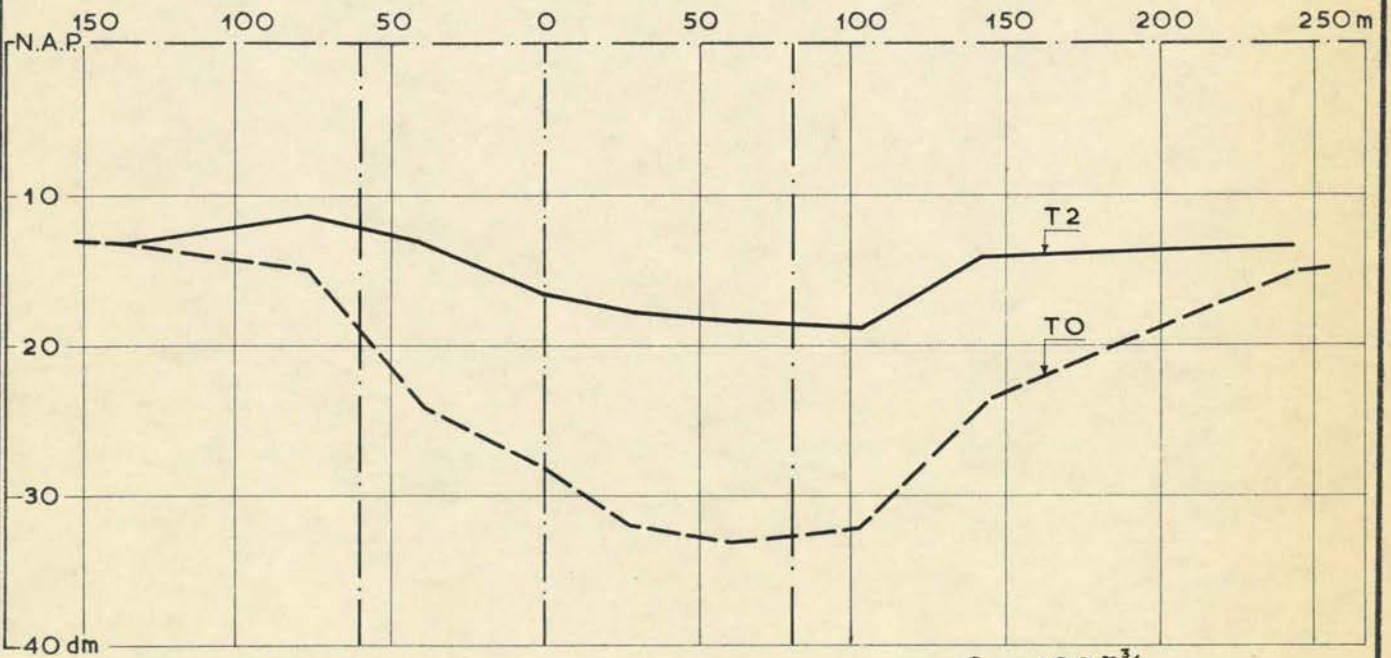
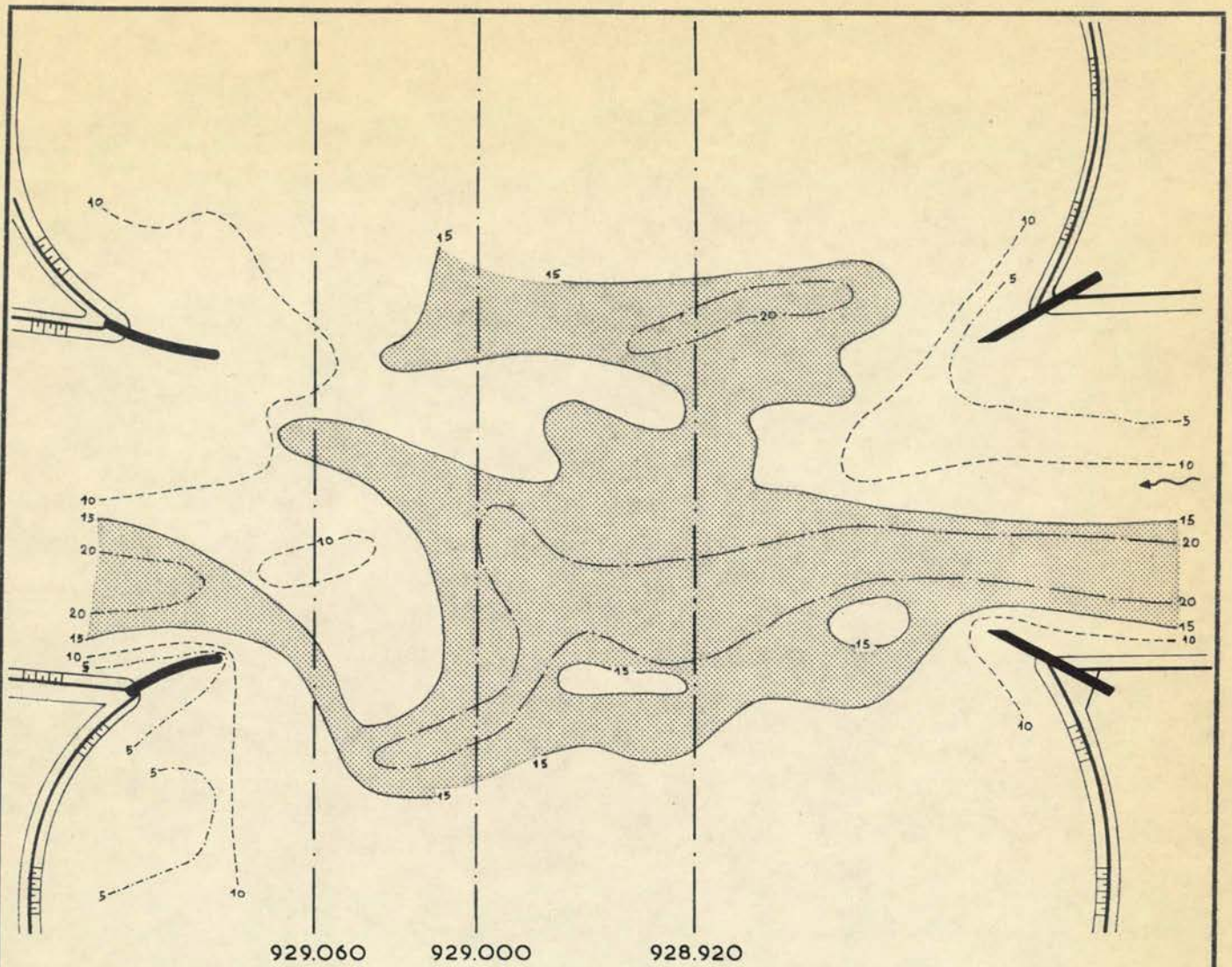
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

T0, T2 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 16^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

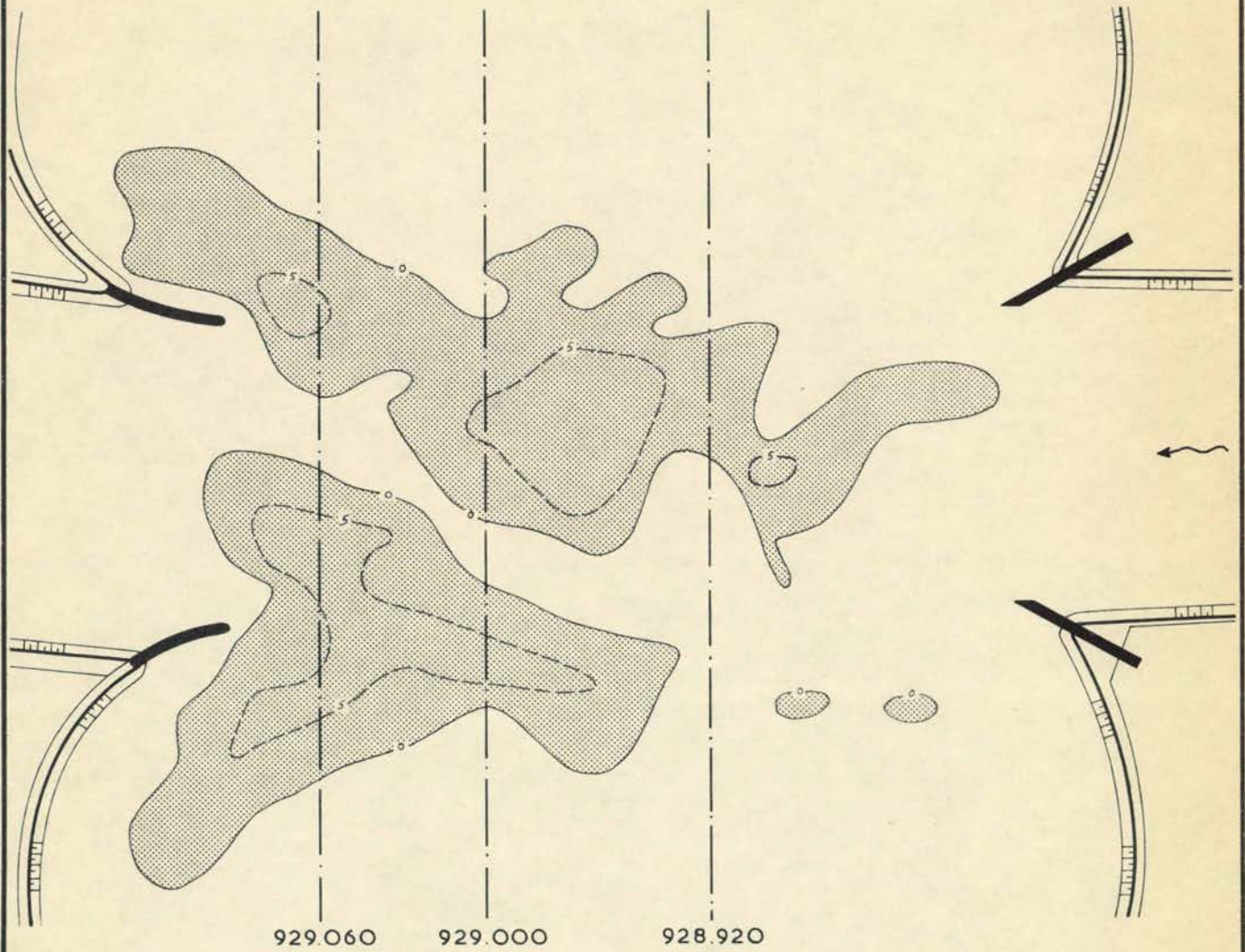
BODEMLIGGING KRUISSING NA 16 uur STROMEN

T0, T2 DEEL II

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

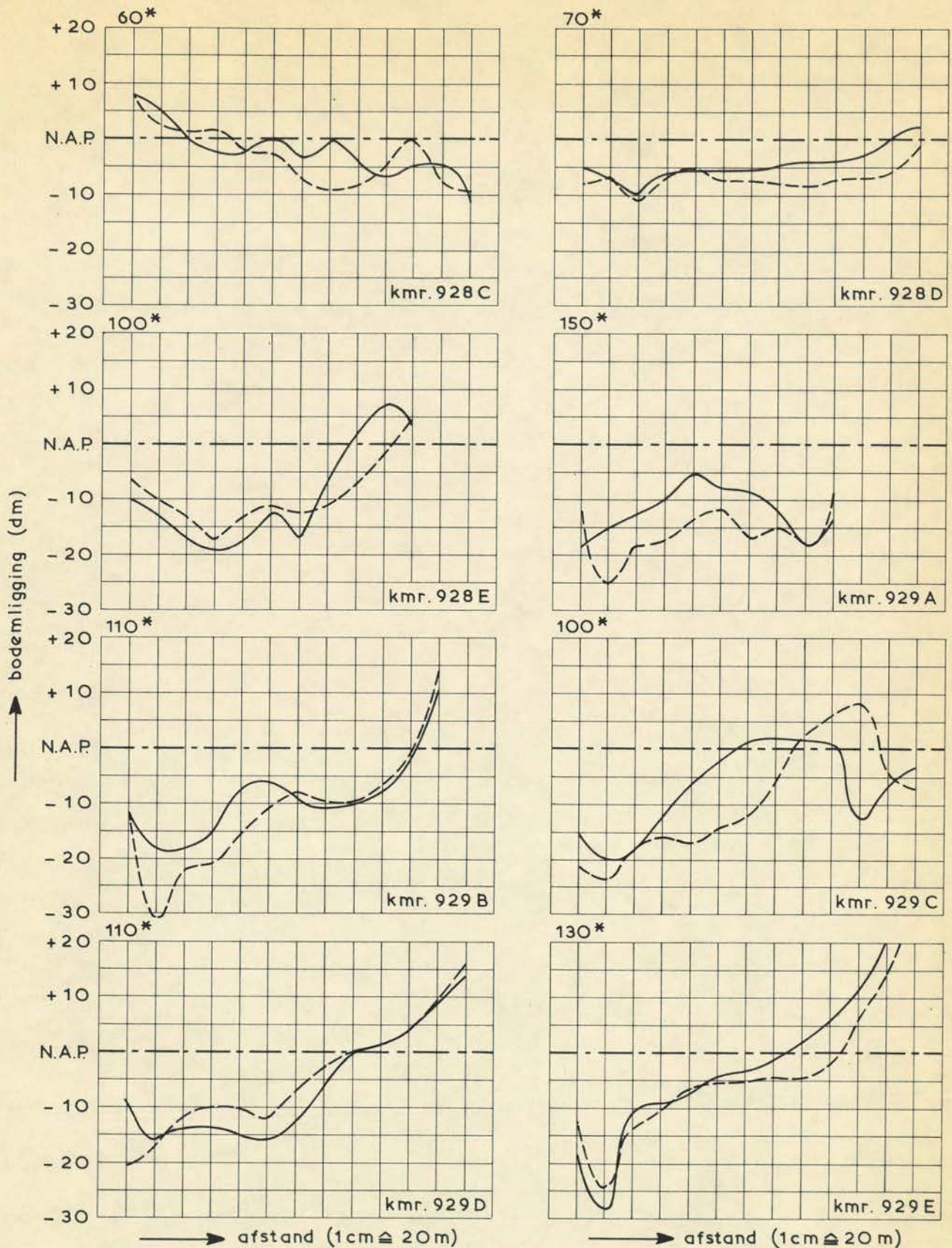
M.974/975 FIG. 16^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 1170 m³
 Tiel 3020 m³

Diepteverschillen in dm

SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 2	DEEL II
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 16 ^d



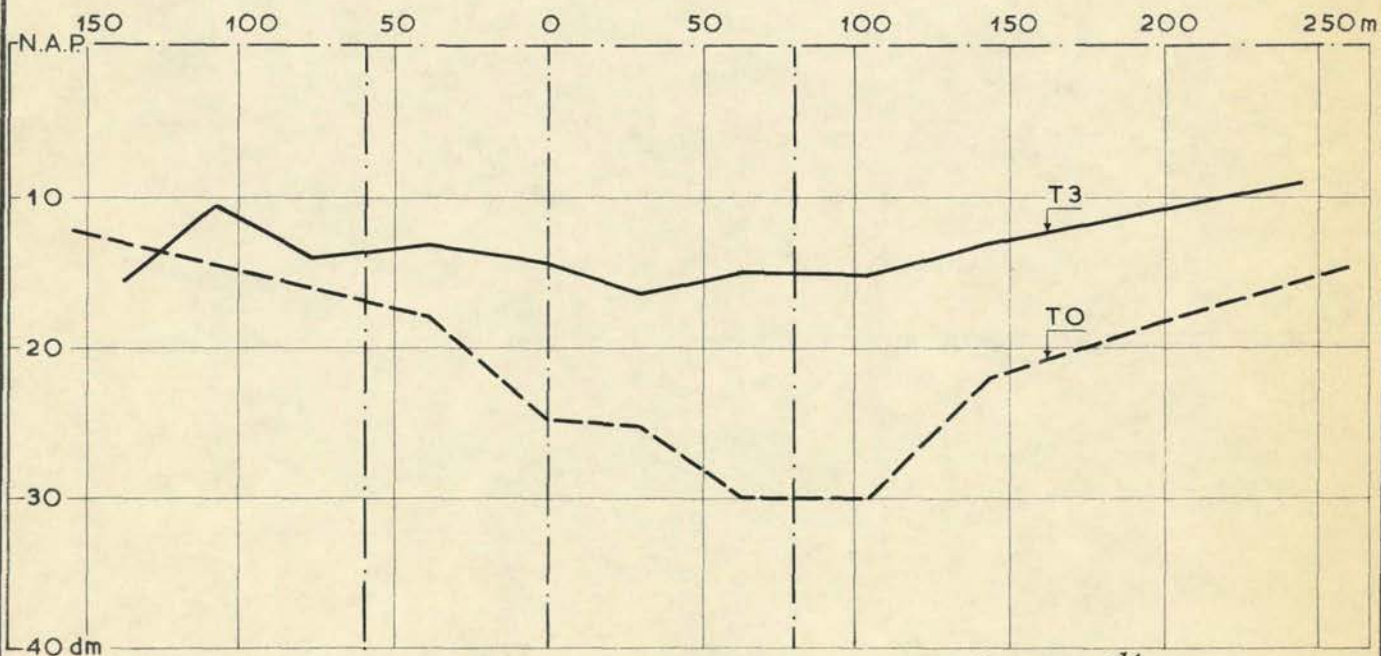
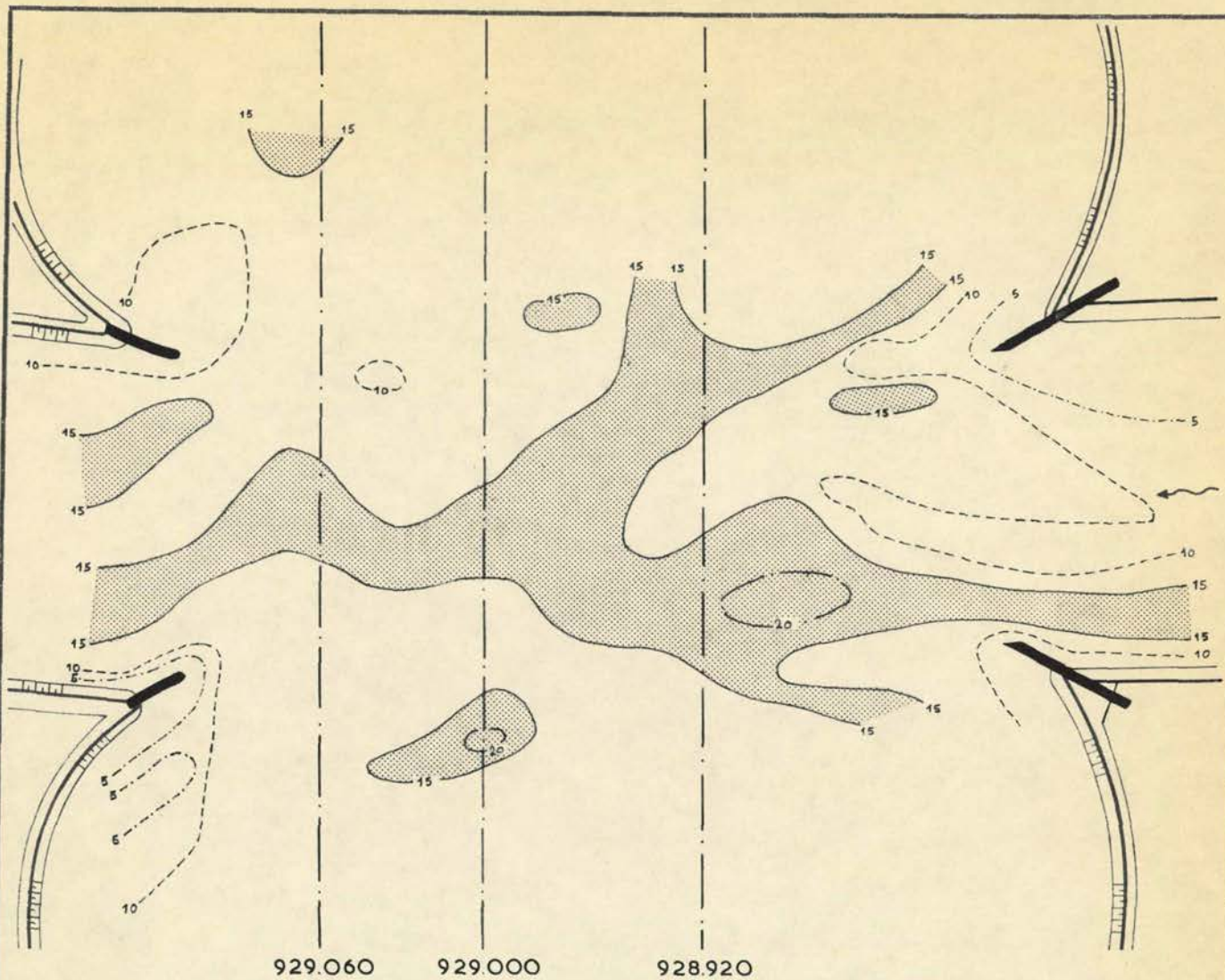
----- TO
 _____ T3

* Afstand vanaf raaipeal op linker oever in m

BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T3

DEEL II



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

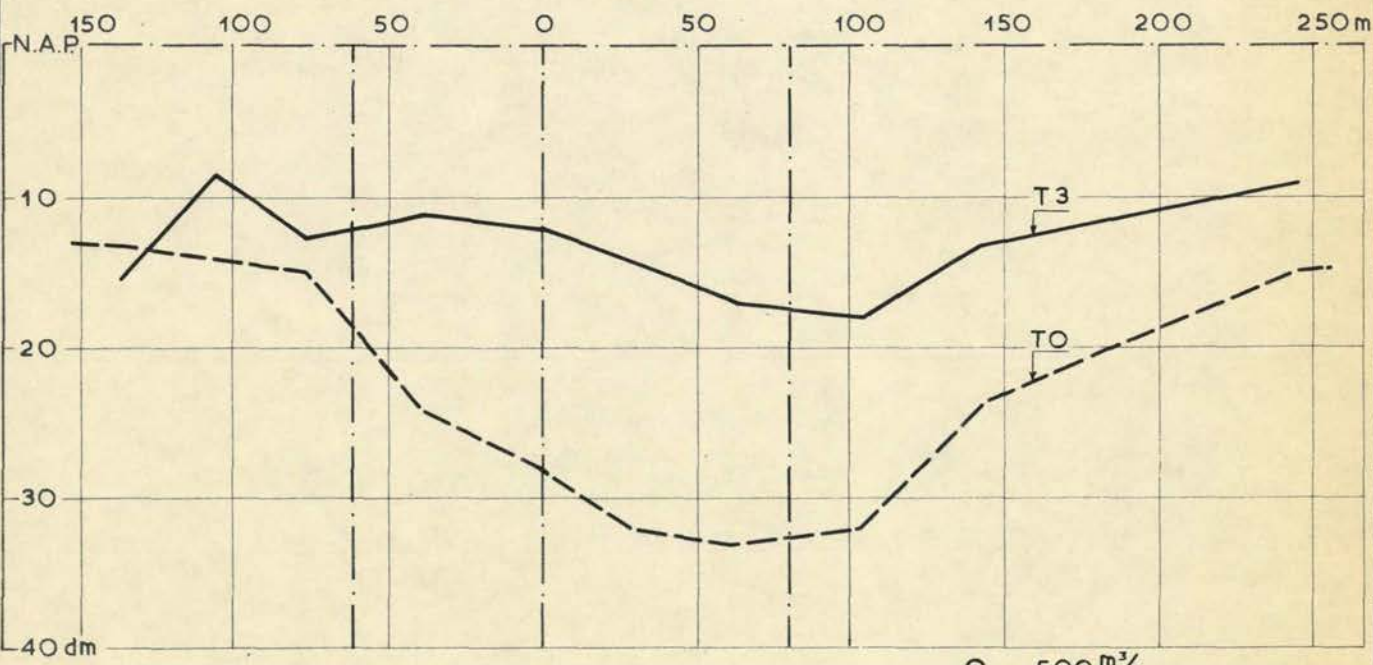
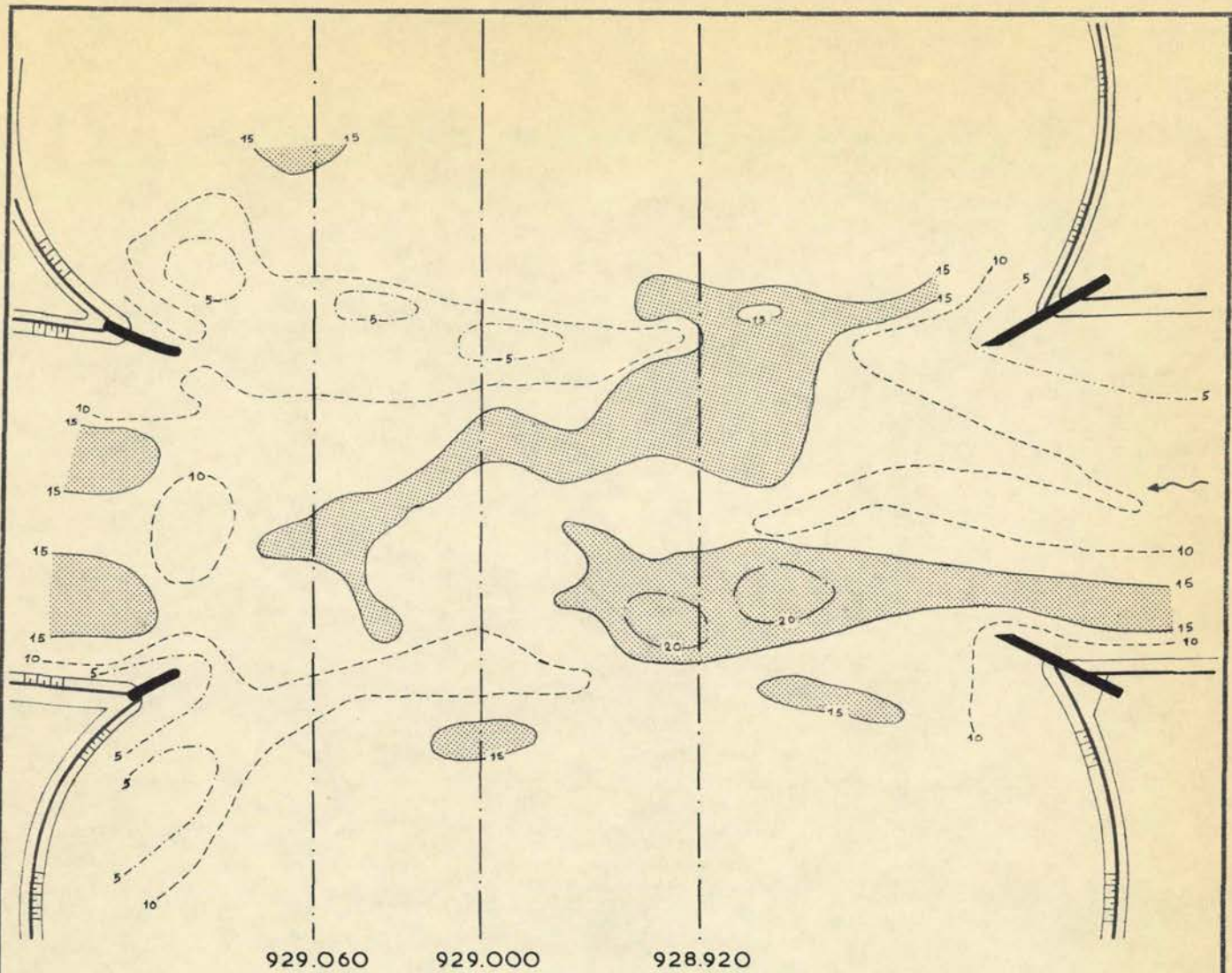
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T3 DEEL II

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 17^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

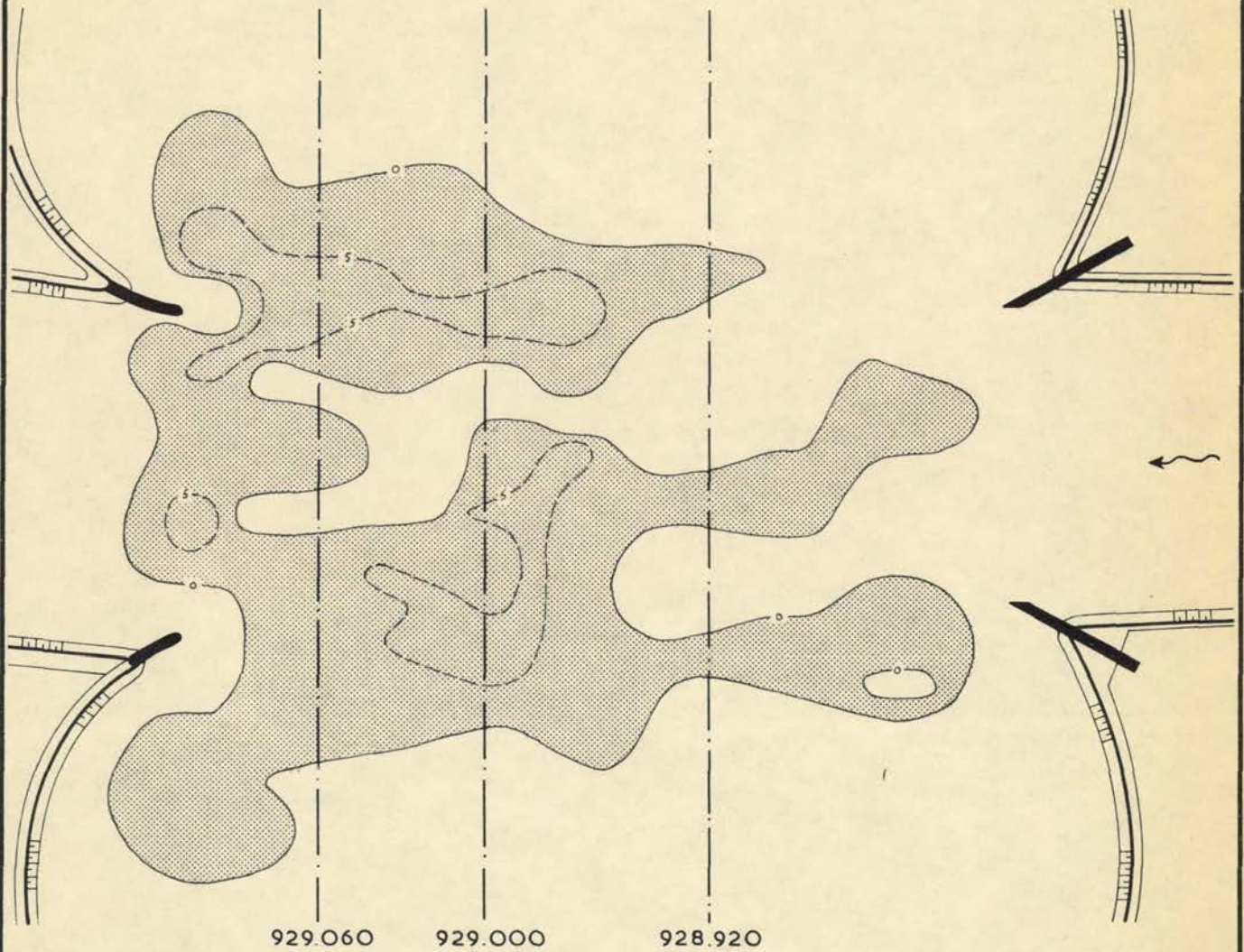
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, T3 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

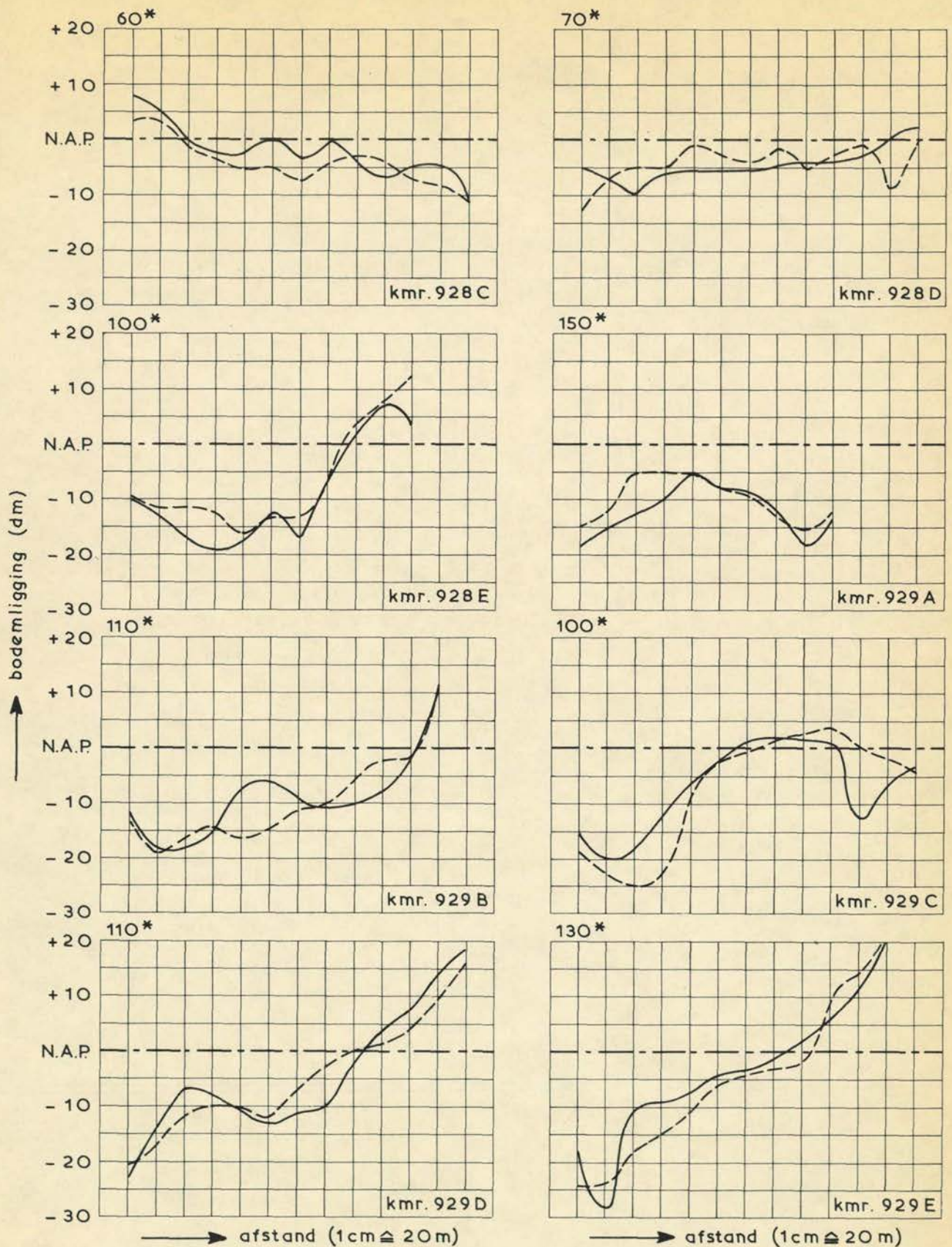
M. 974/975 FIG. 17^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 3770 m³
 Tiel 2510 m³

Diepteverschillen in dm

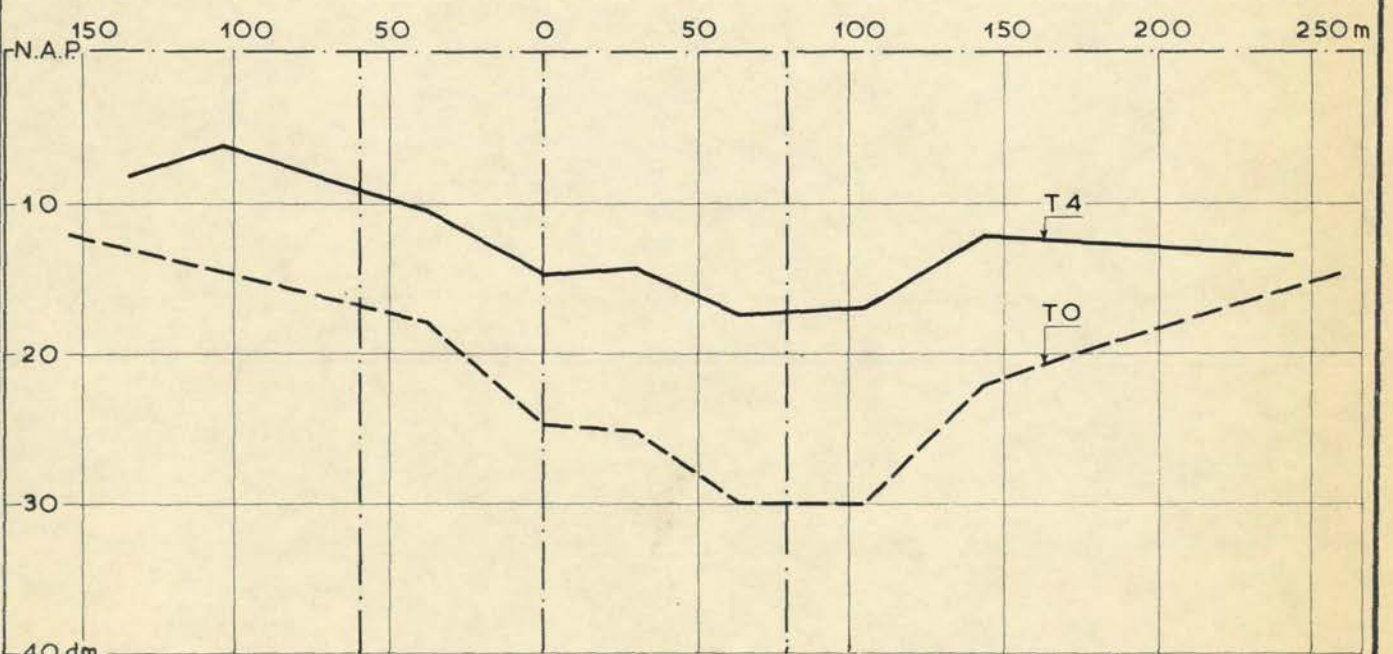
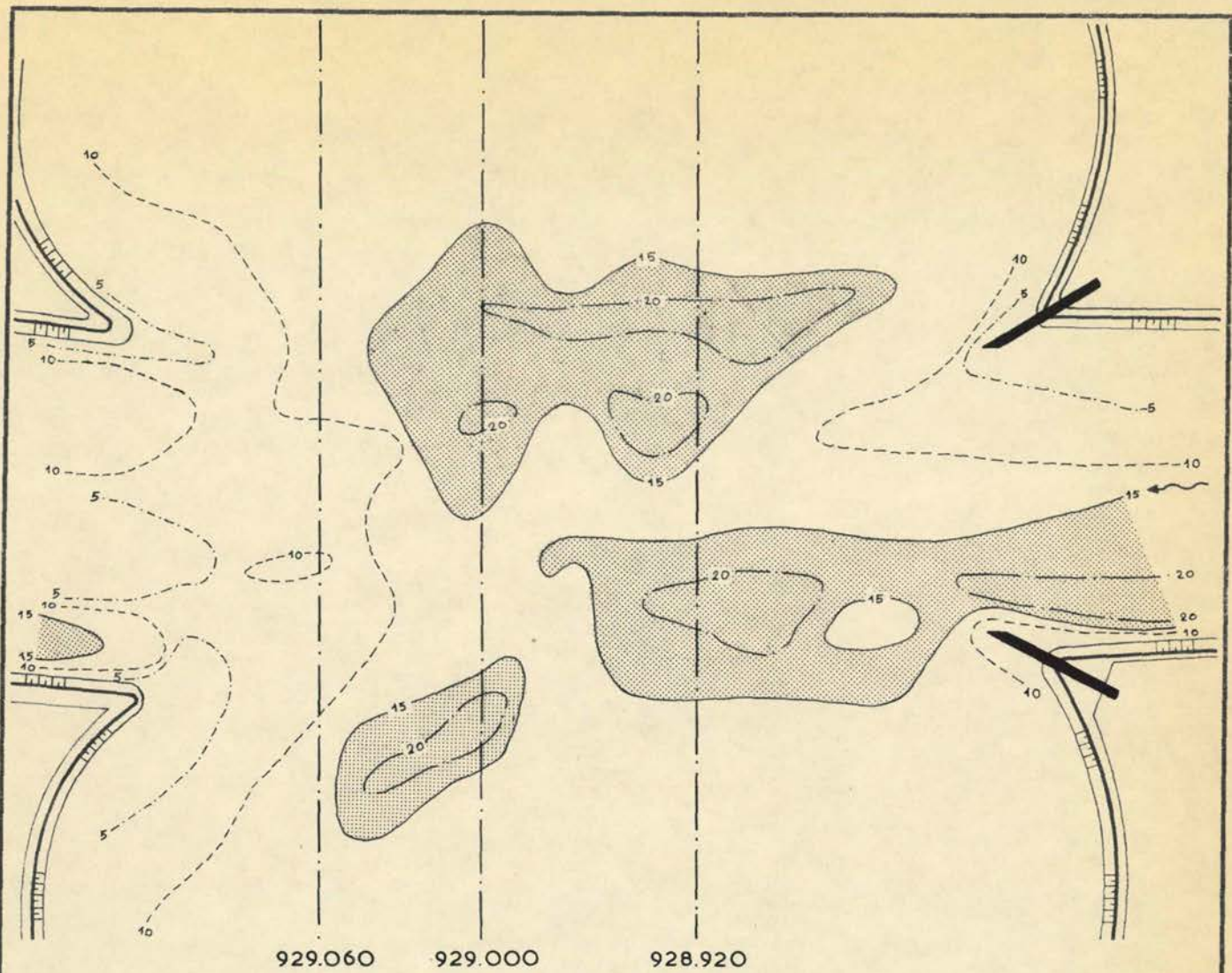
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 3	DEEL II
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 17d



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T4

DEEL II



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

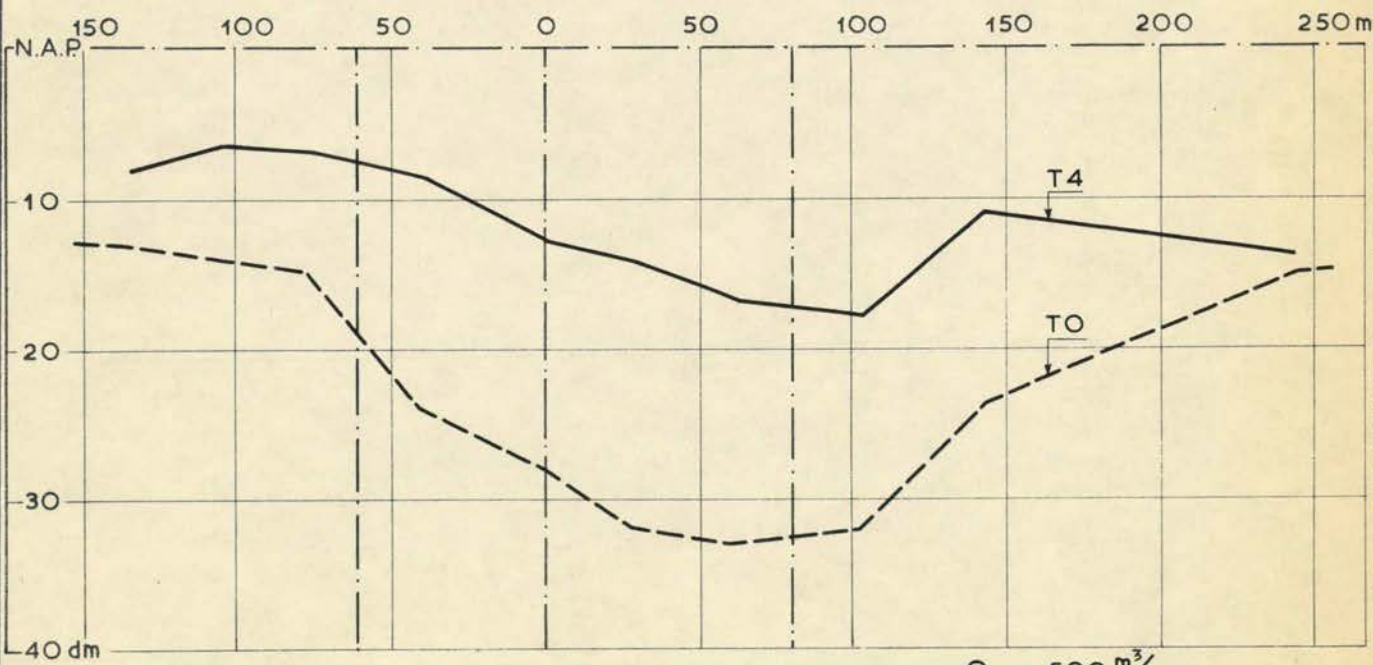
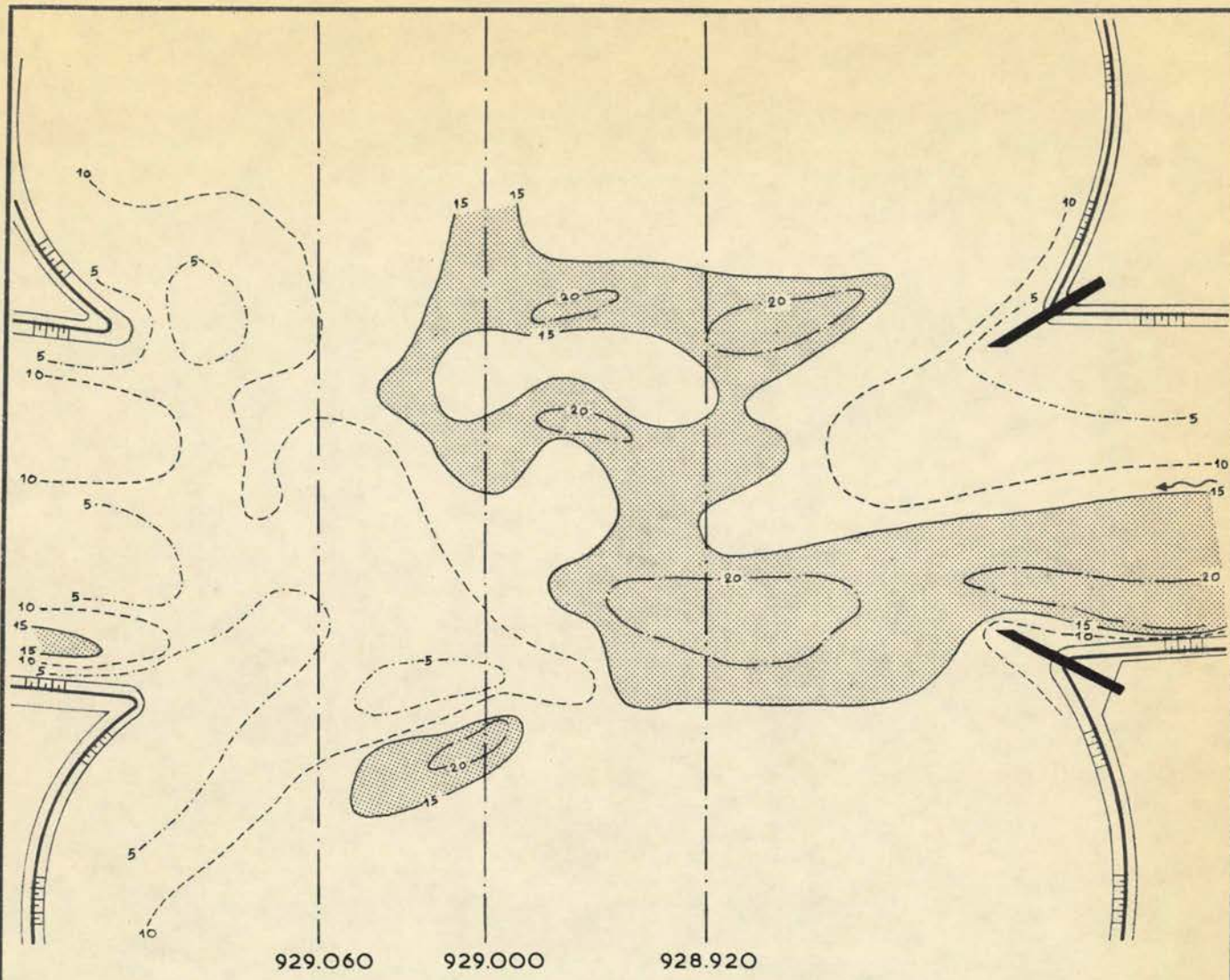
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

T0, T4 DEEL II

SCHAAL 1:2500

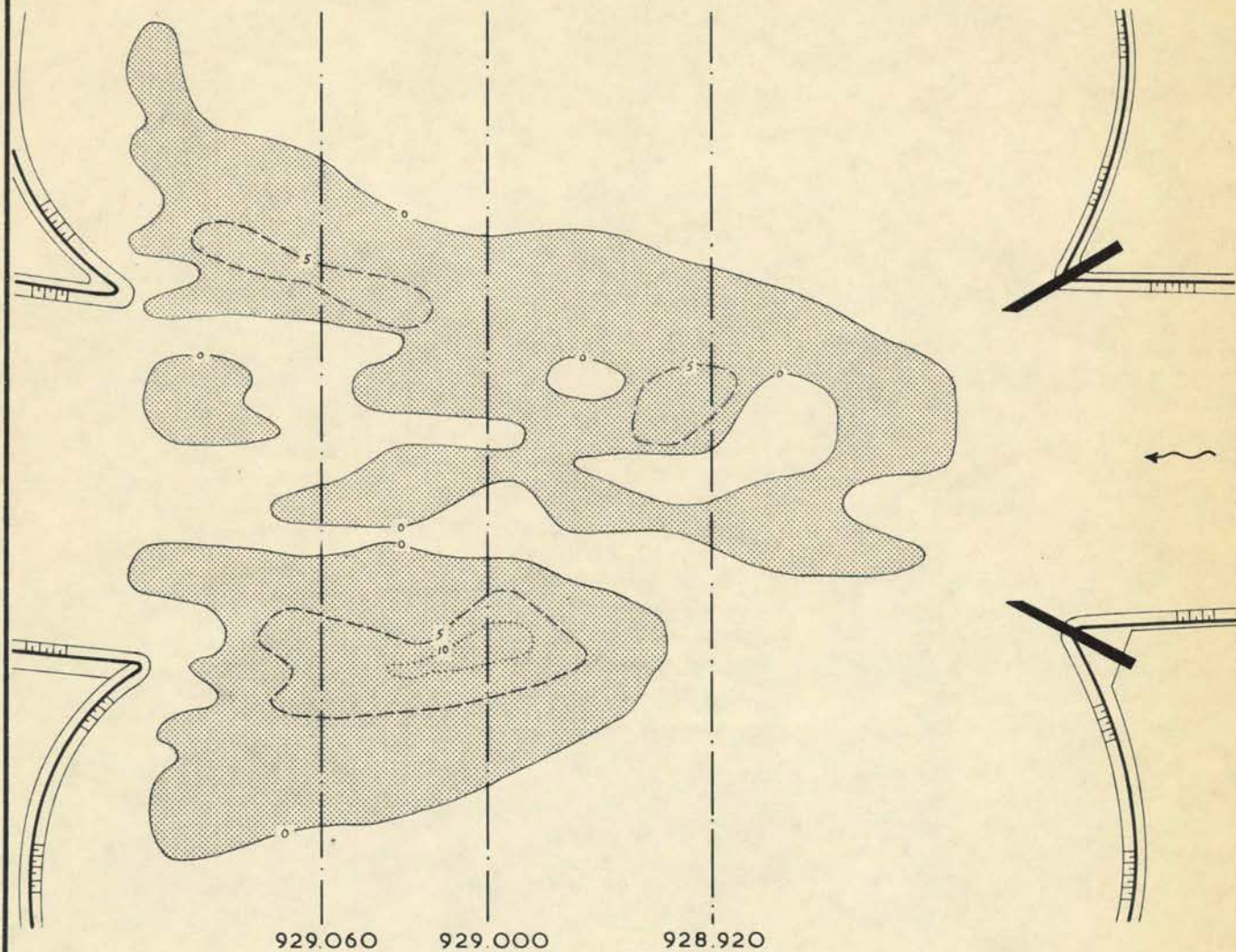
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 18^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN	TO, T4	DEEL II
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 18 ^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 2630 m³
 Tiel 3500 m³

Diepteverschillen in dm

SEDIMENTATIE IN 14 uur

T 4

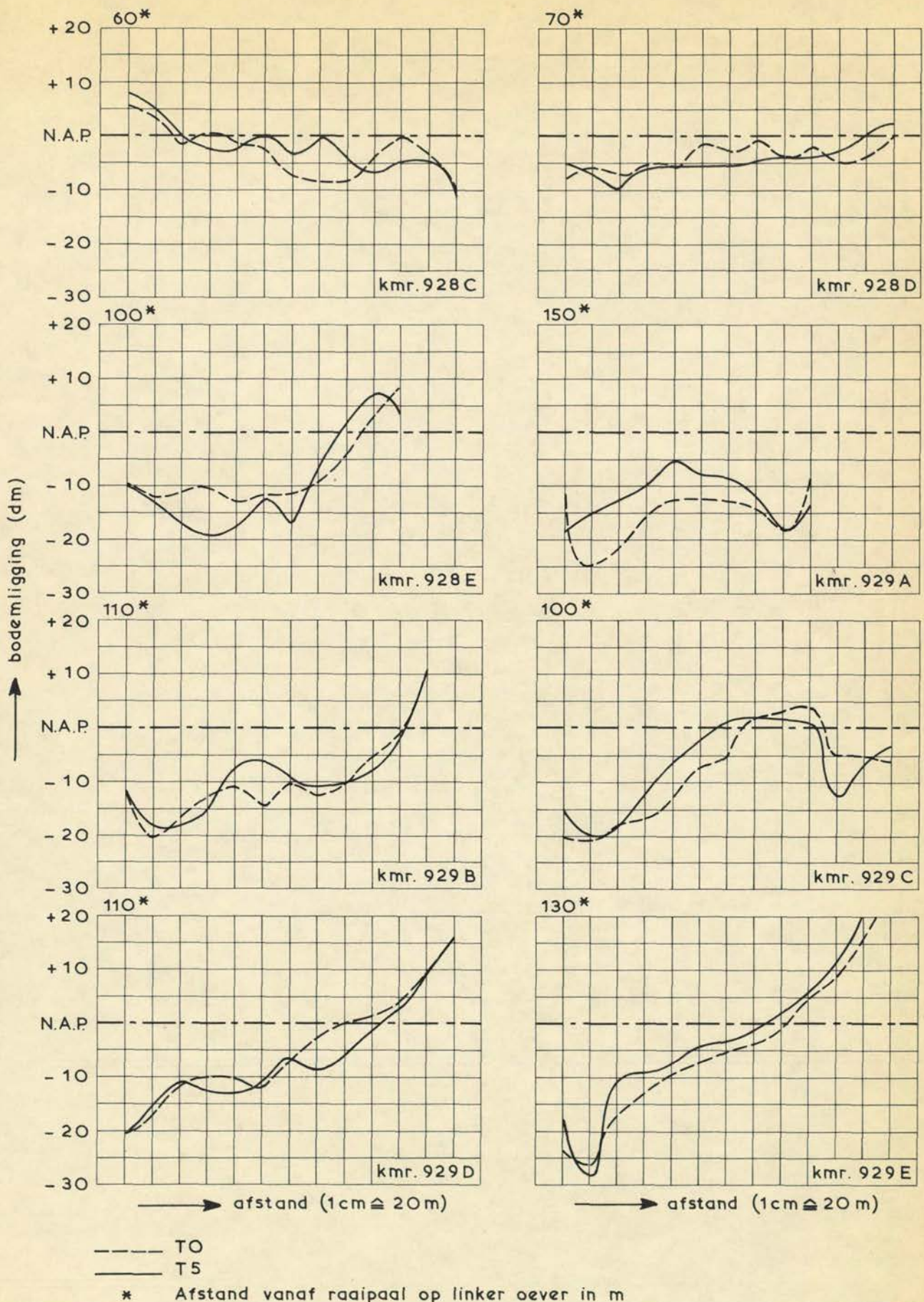
DEEL II

SCHAAL 1 : 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

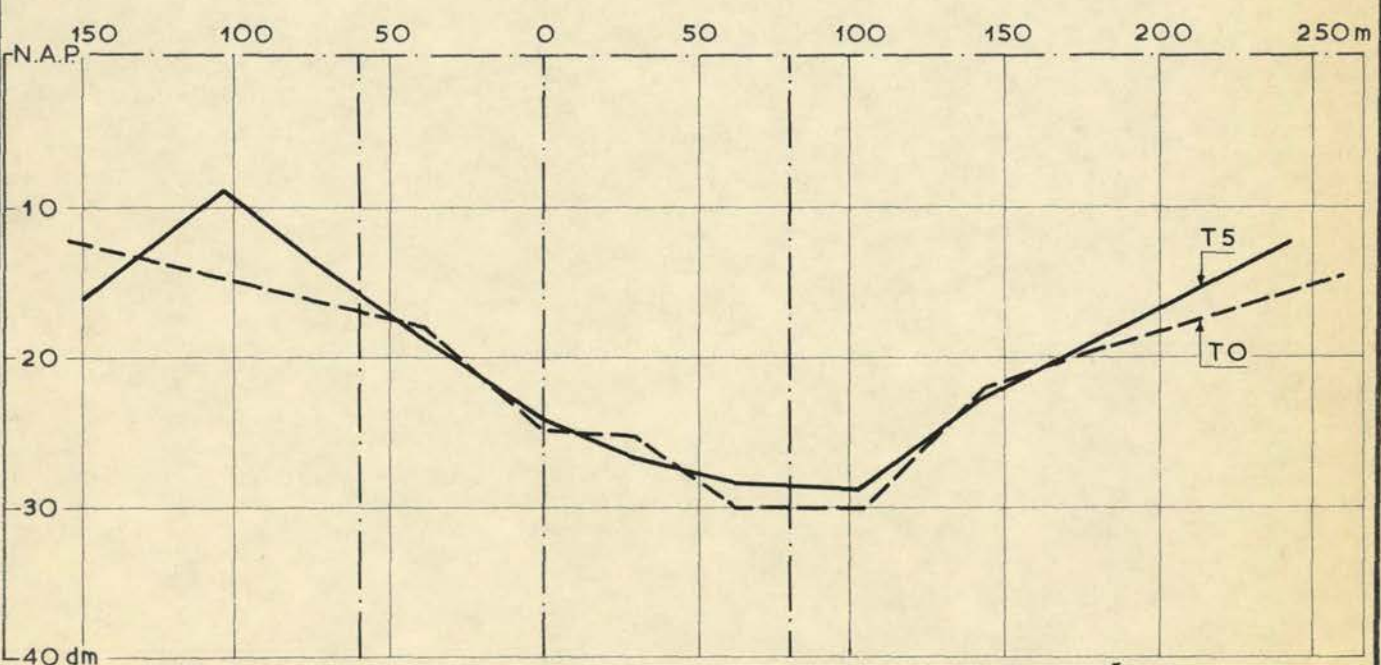
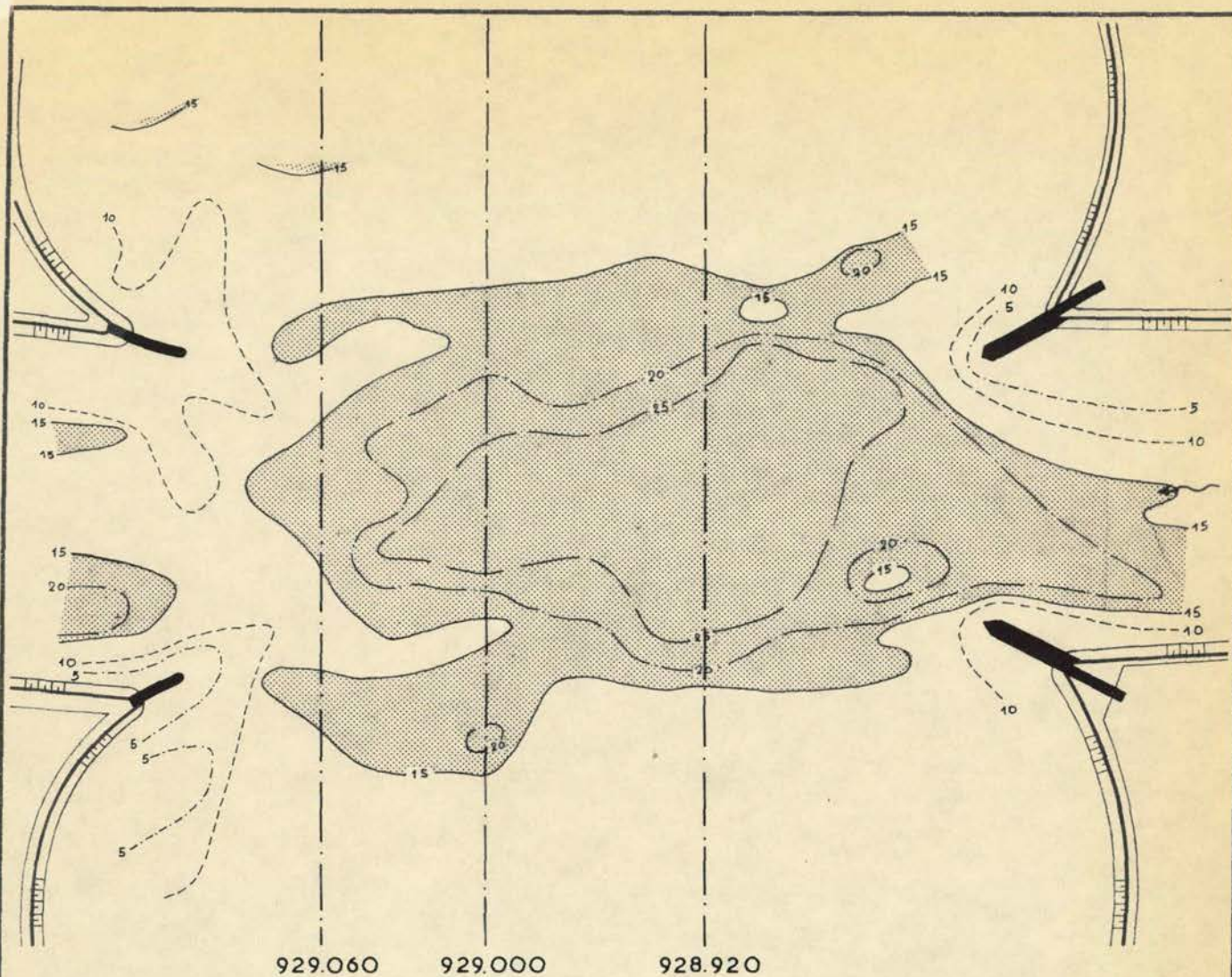
FIG. 18^d



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T5

DEEL II



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

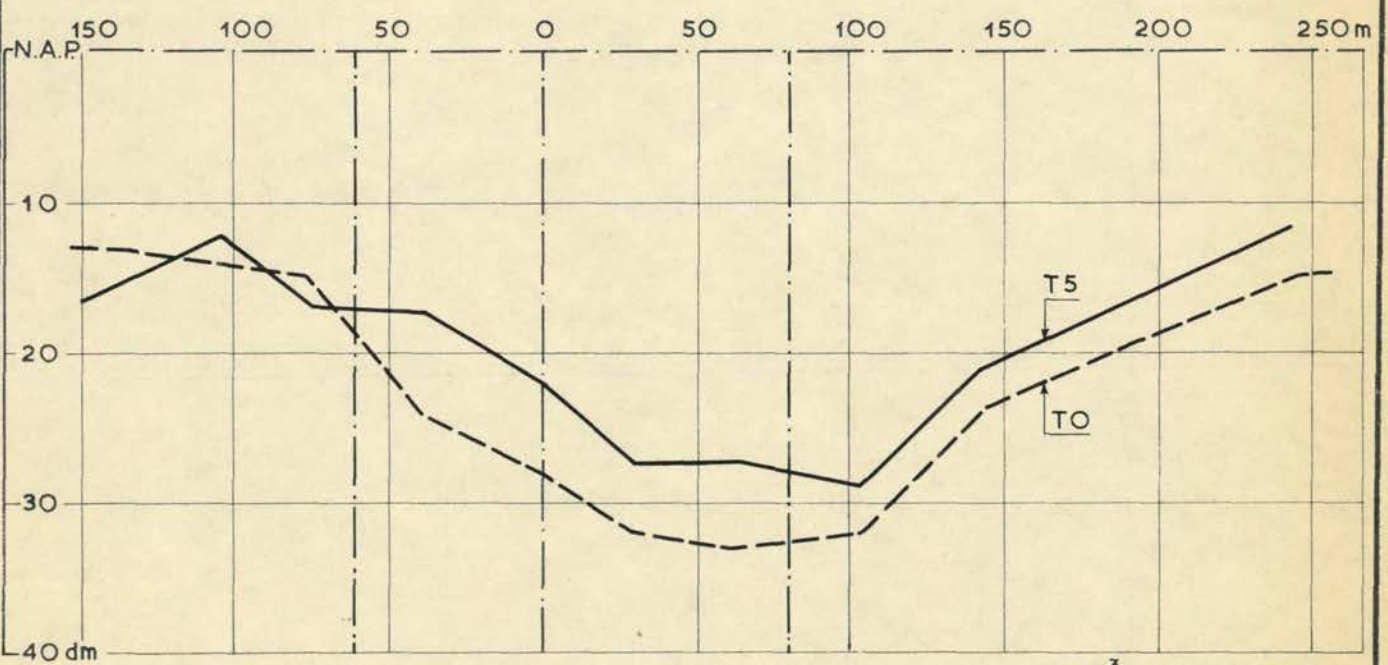
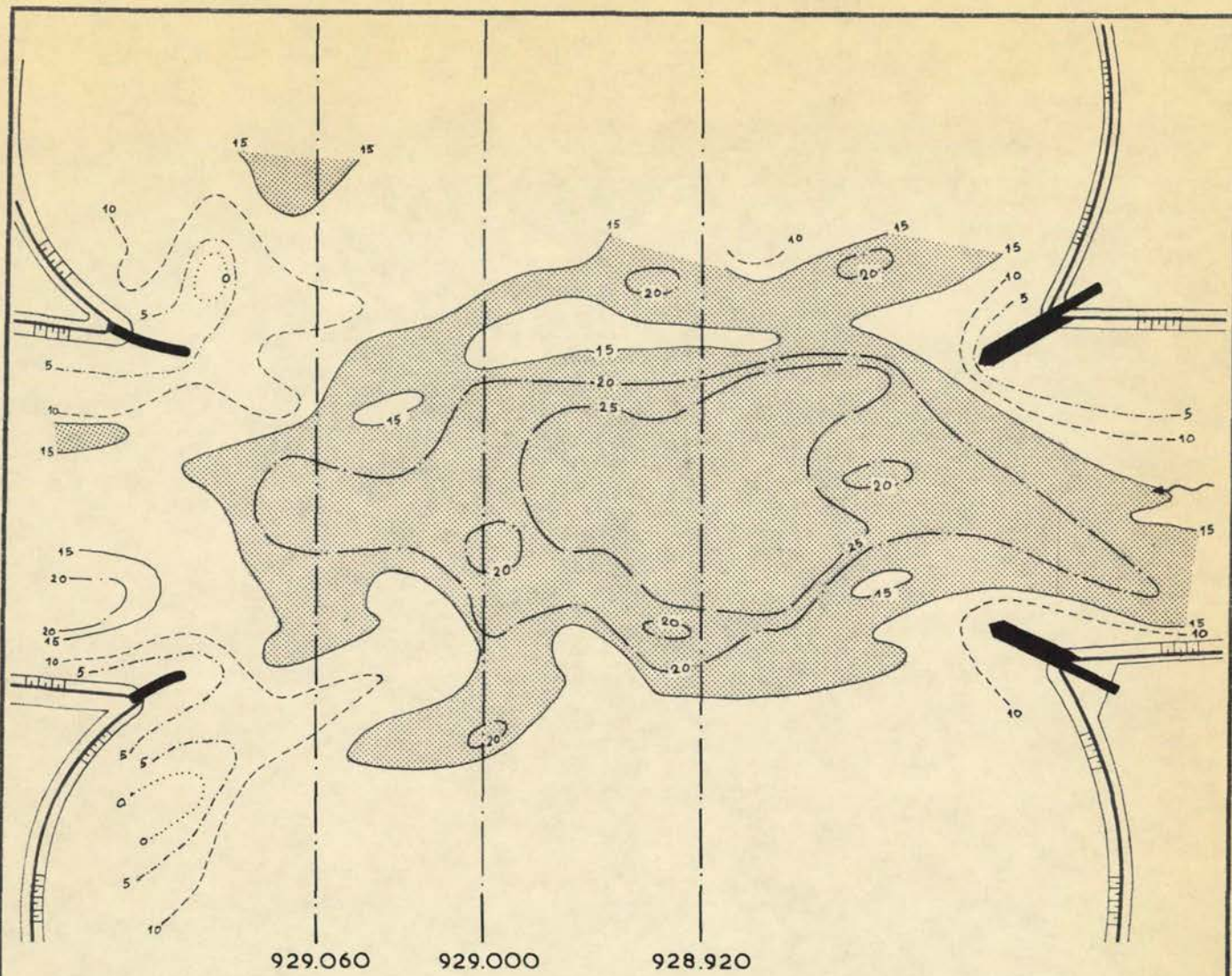
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T5 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 19b

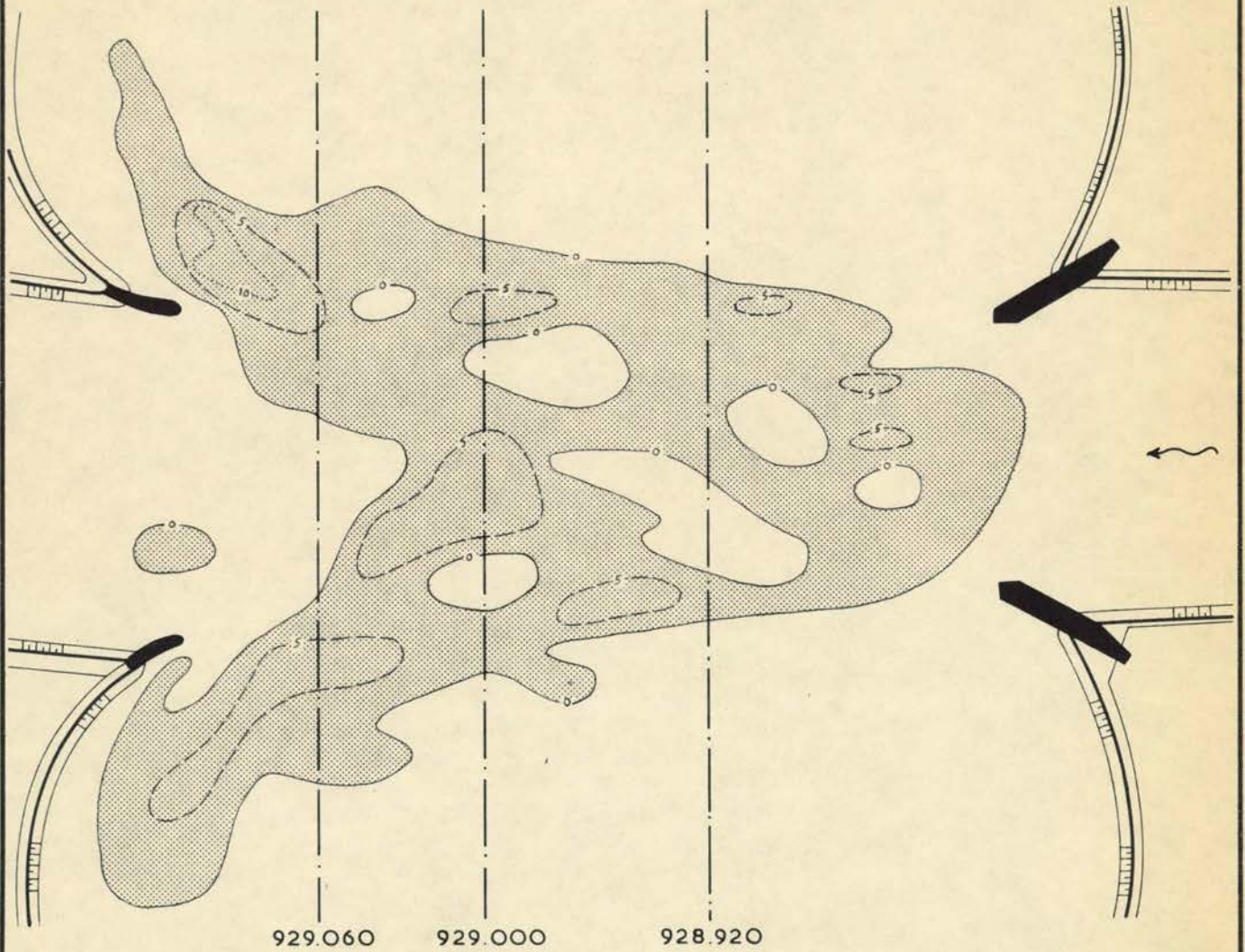


$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING KRUISING NA 16uur STROMEN

TO, T5	DEEL II
SCHAAL 1: 2500	
M.974/975	FIG. 19 ^c

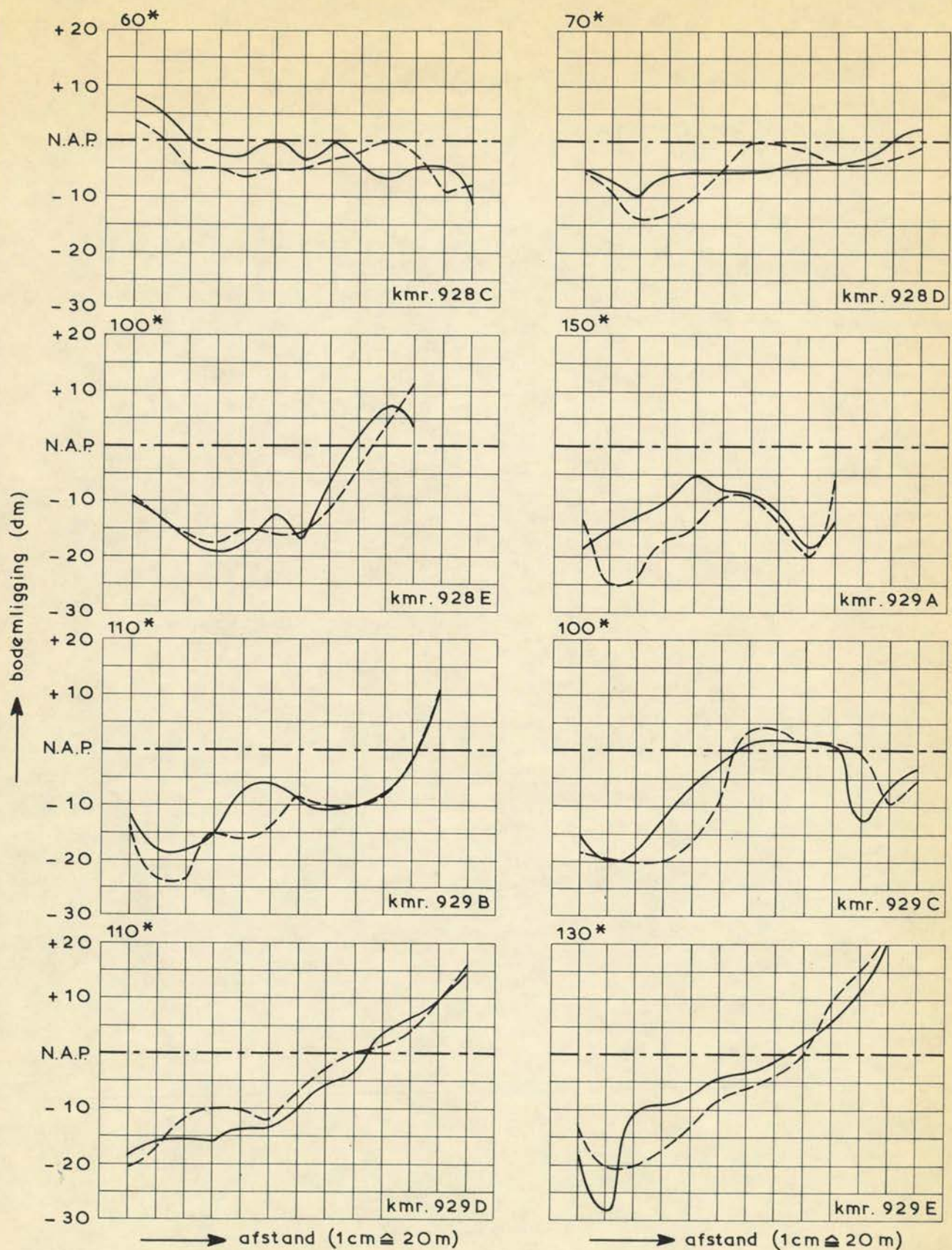
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 3270 m³
 Tiel 2650 m³

Diepteverschillen in dm

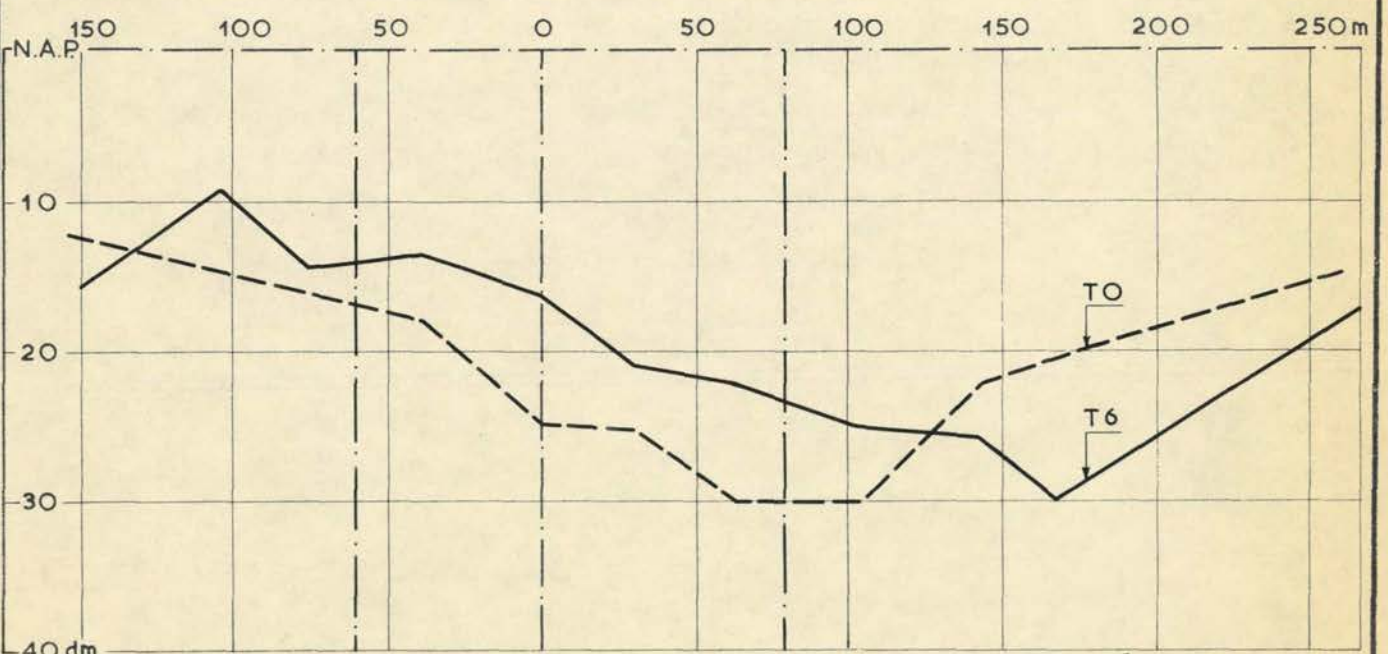
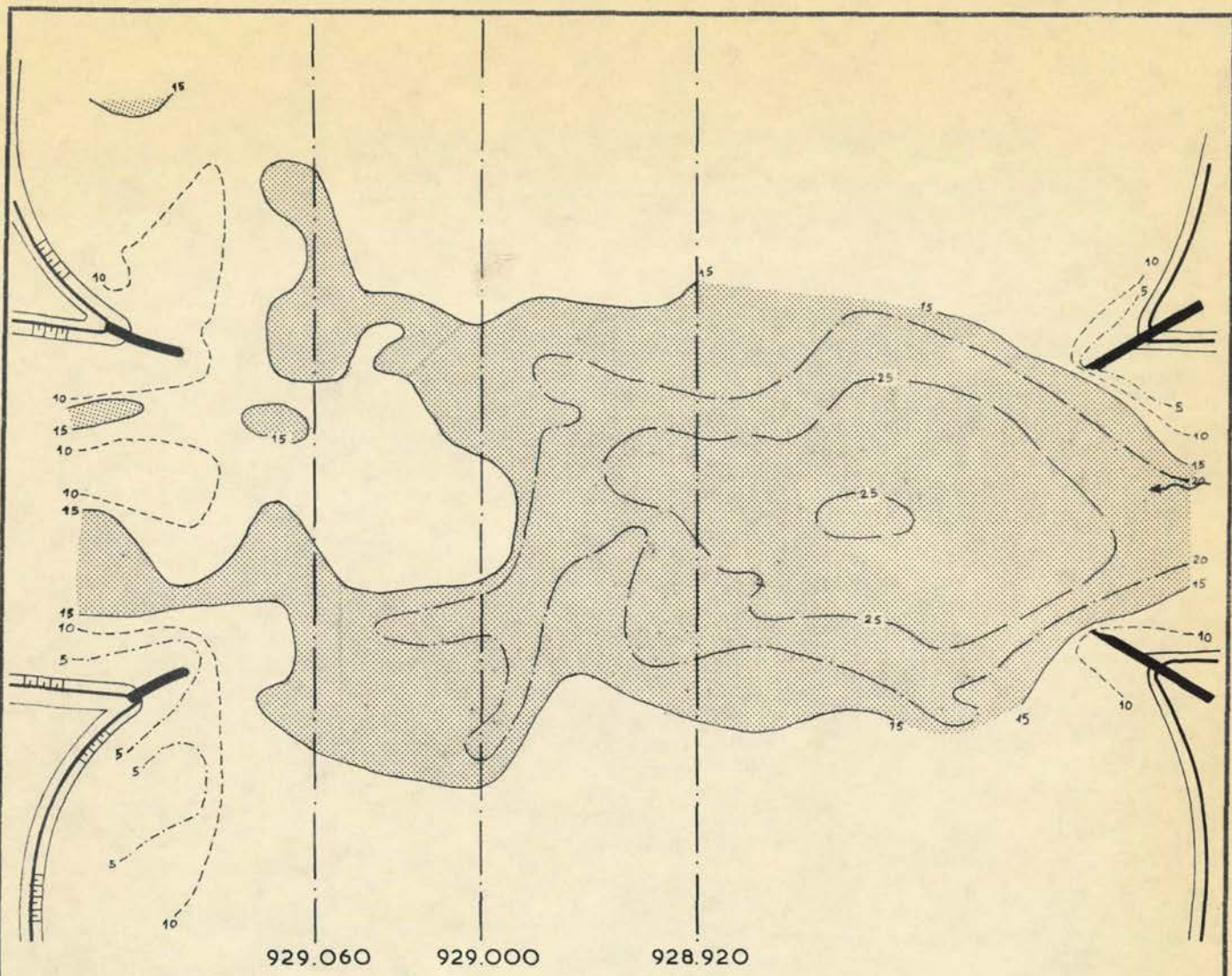
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T5	DEEL II
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 19 ^d



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T6

DEEL II



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

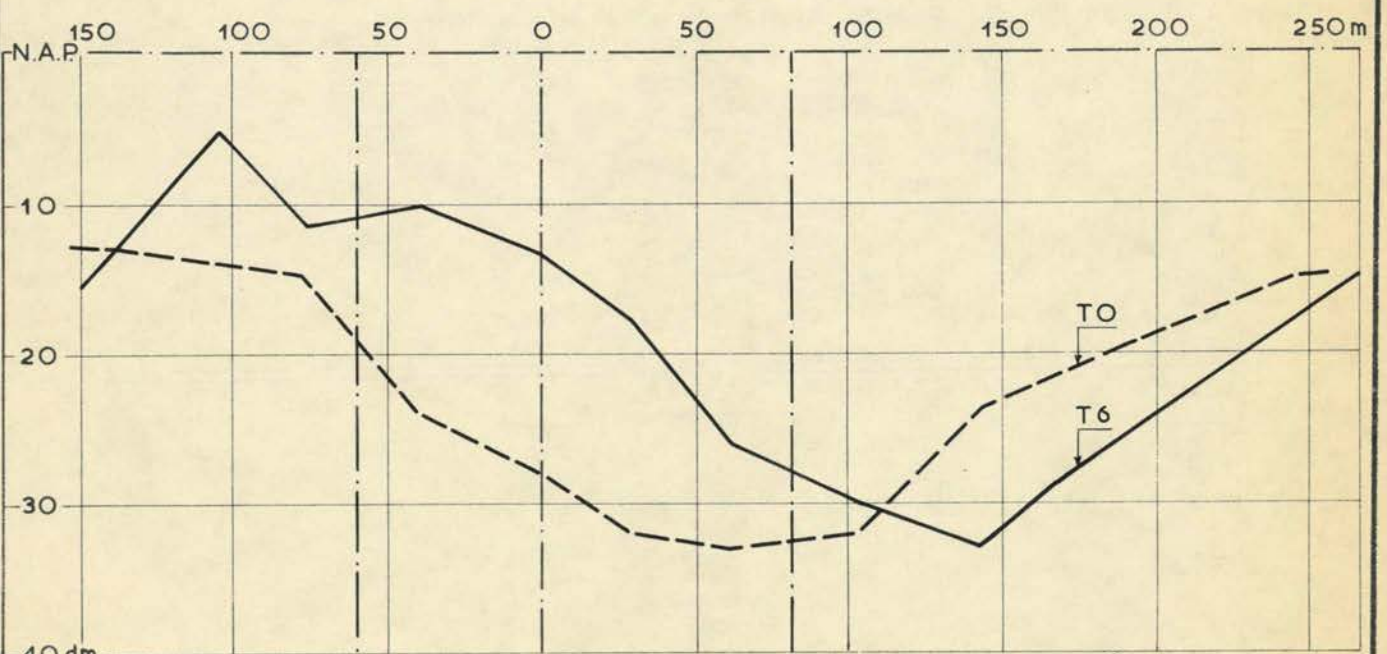
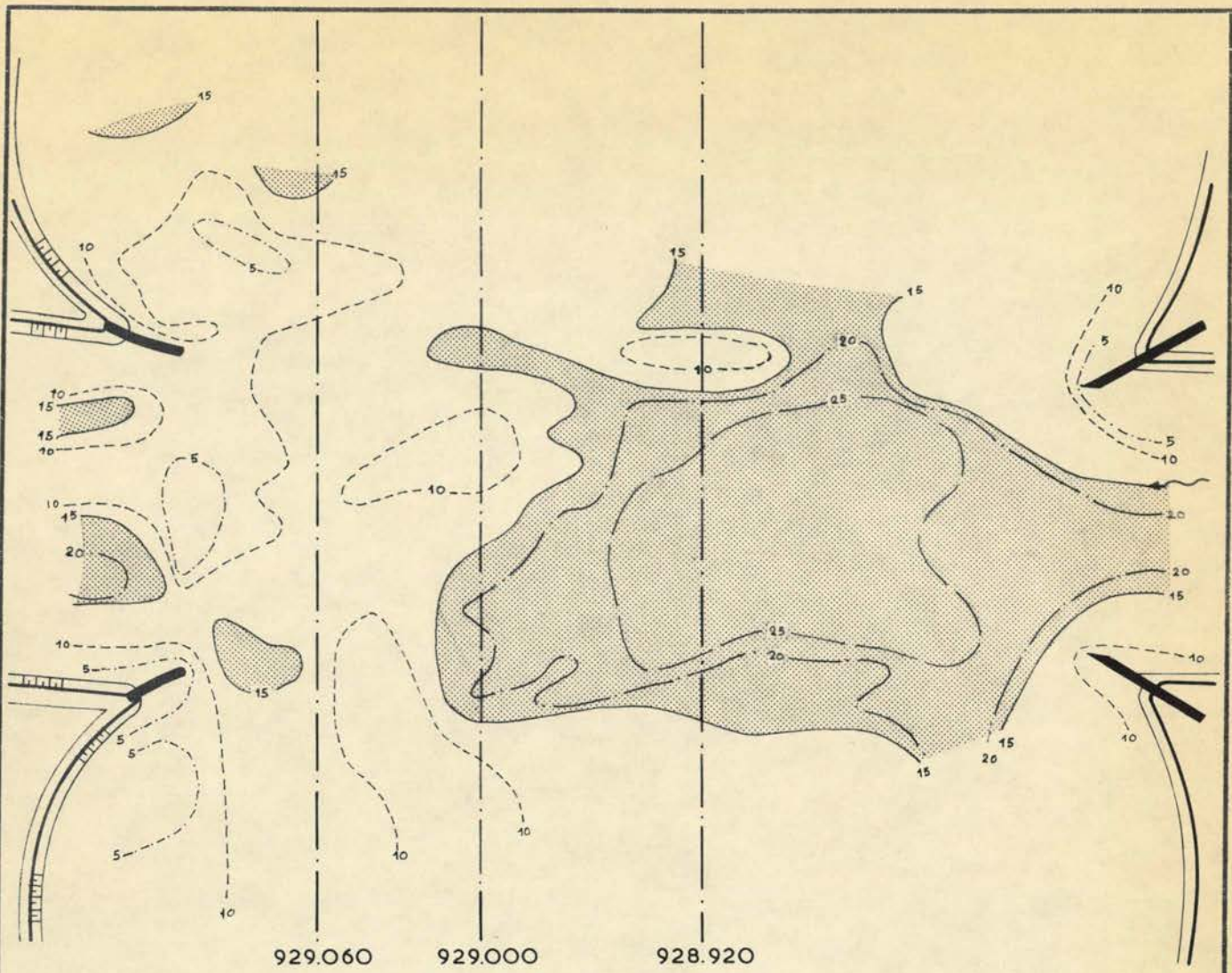
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T6 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 20^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

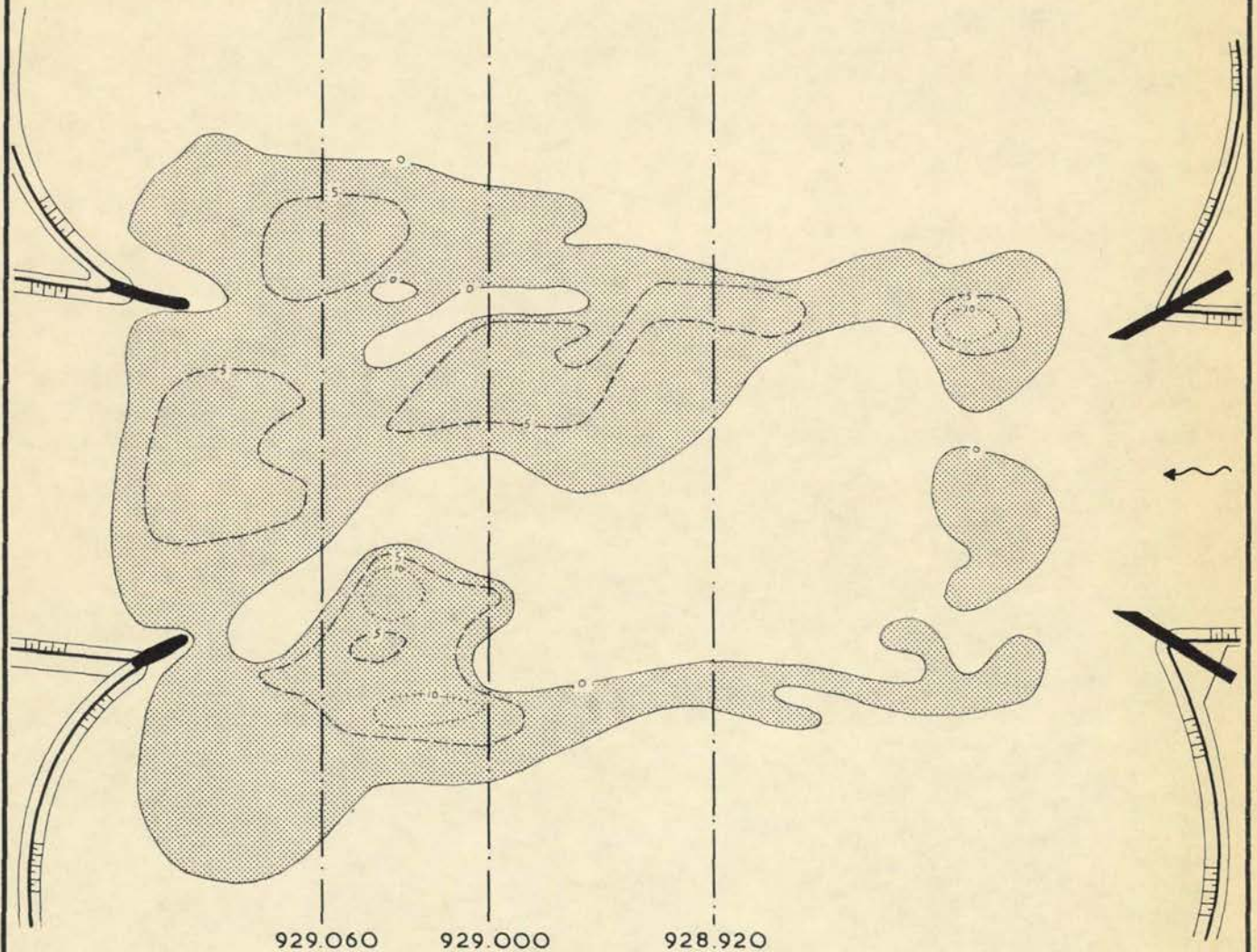
BODEMLIGGING KRUISING NA 16uur STROMEN

T0, T6 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

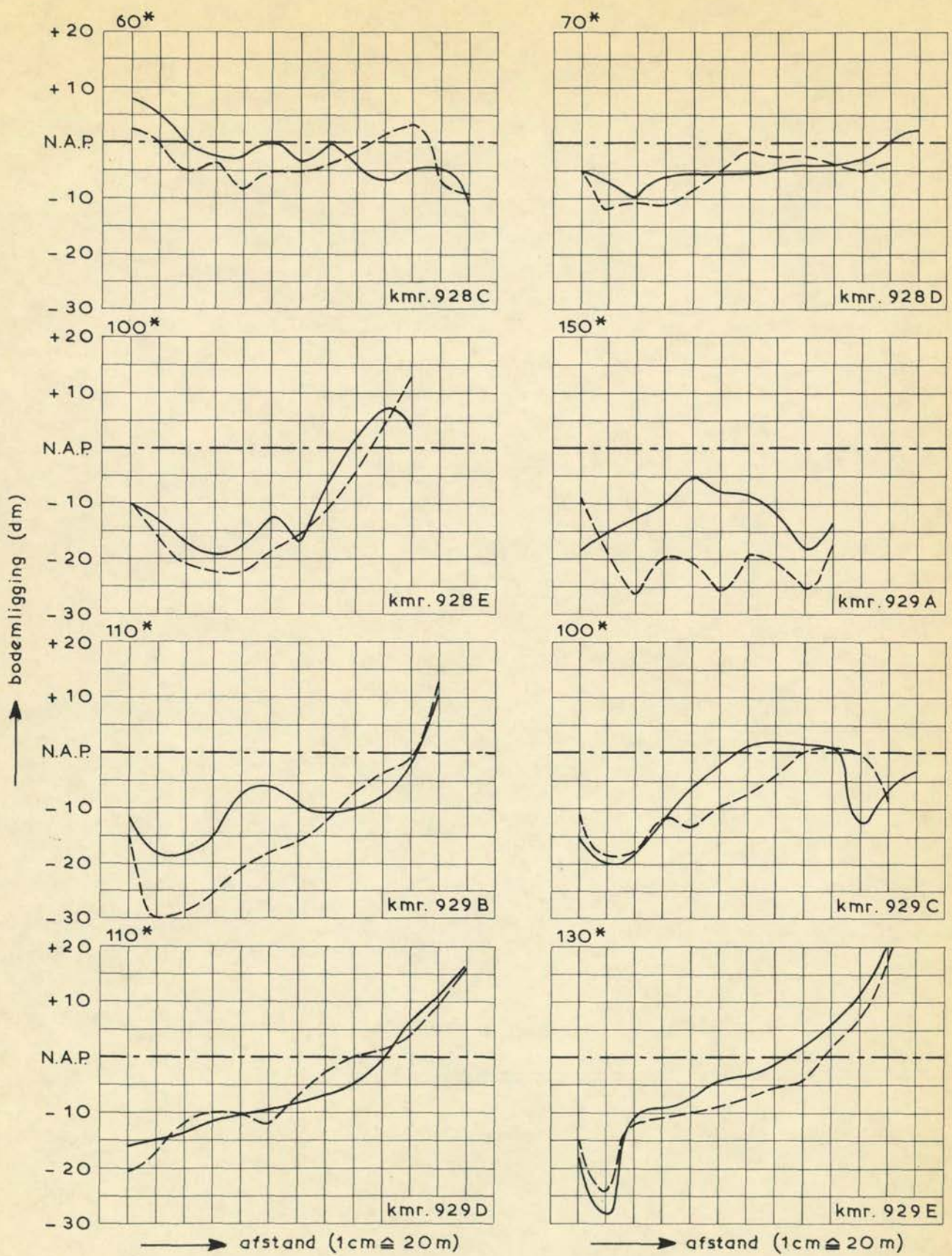
M.974/975 FIG. 20^C



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 4430 m³
 Tiel 3660 m³

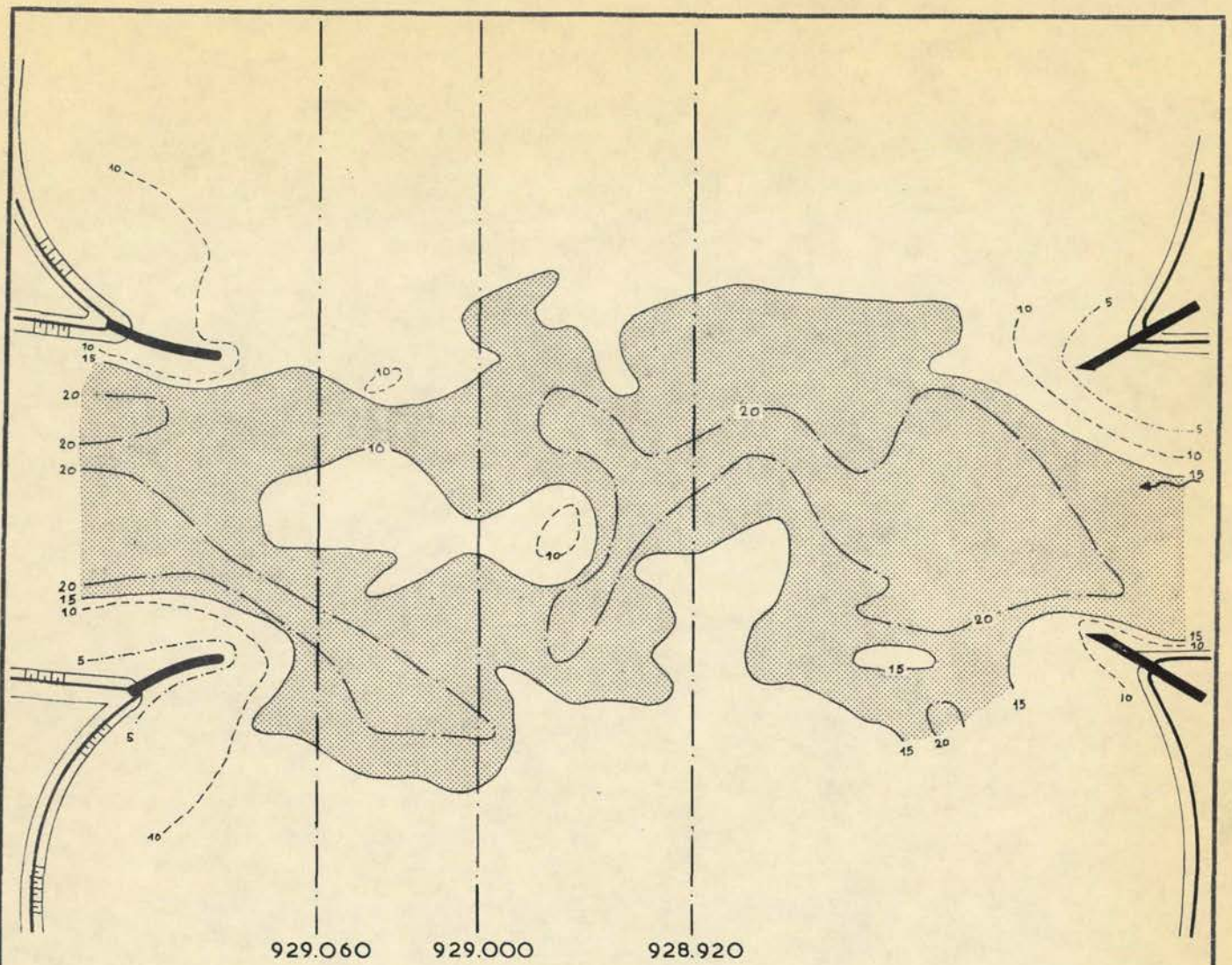
Diepteverschillen in dm

SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 6	DEEL II
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 20 ^d

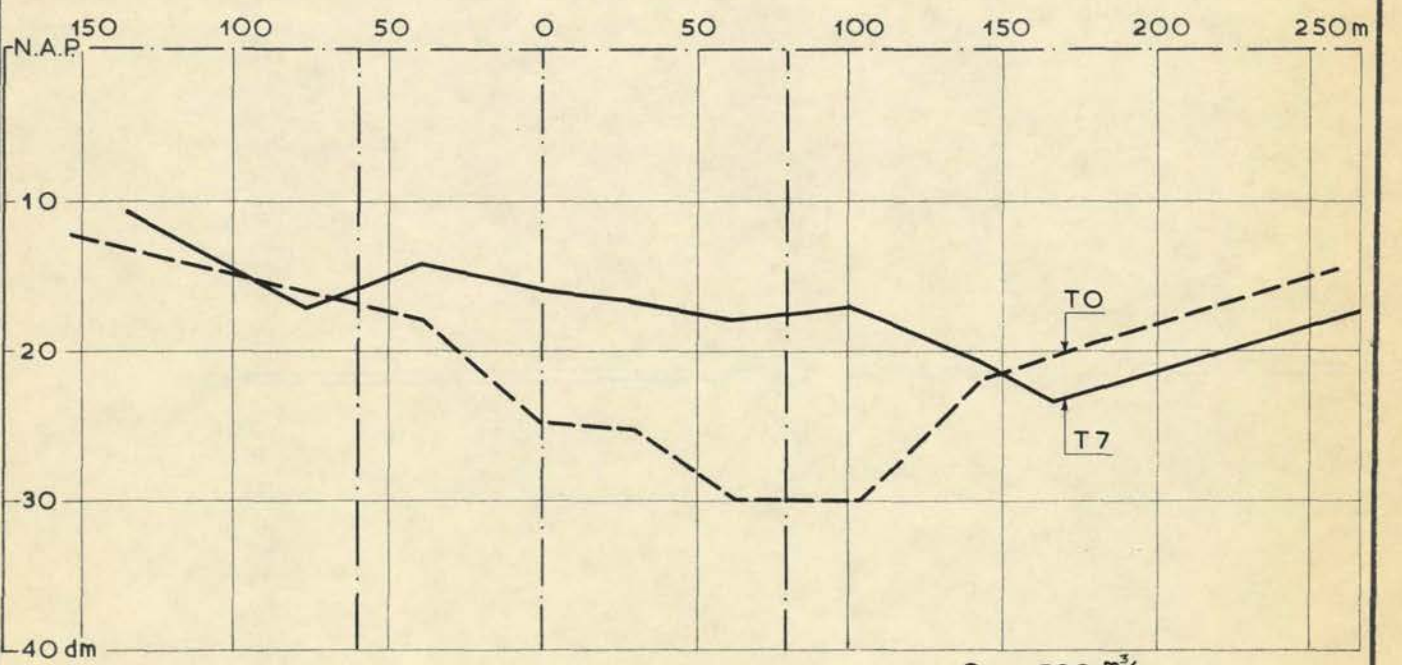


BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T7 DEEL II



929.060 929.000 928.920

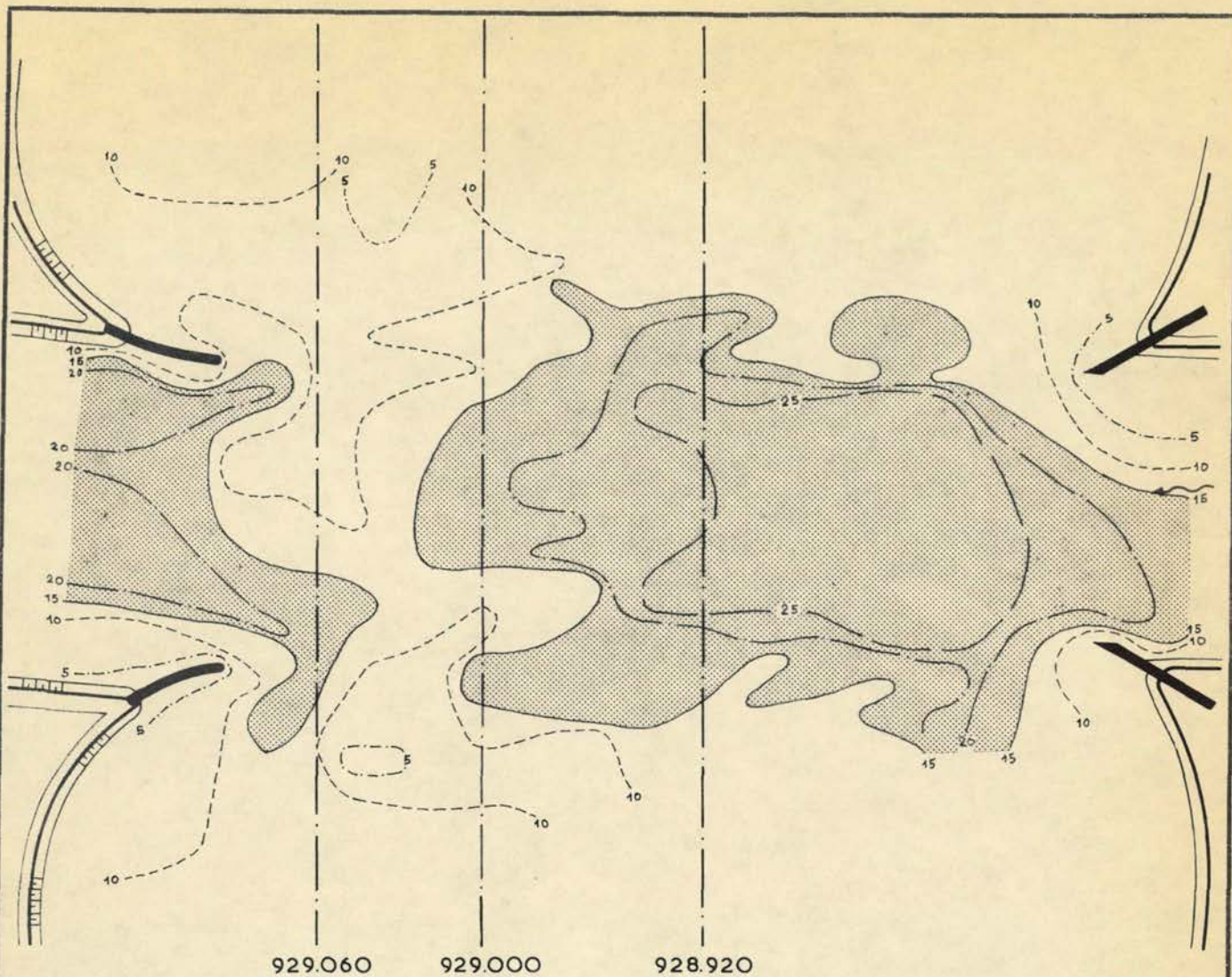


$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

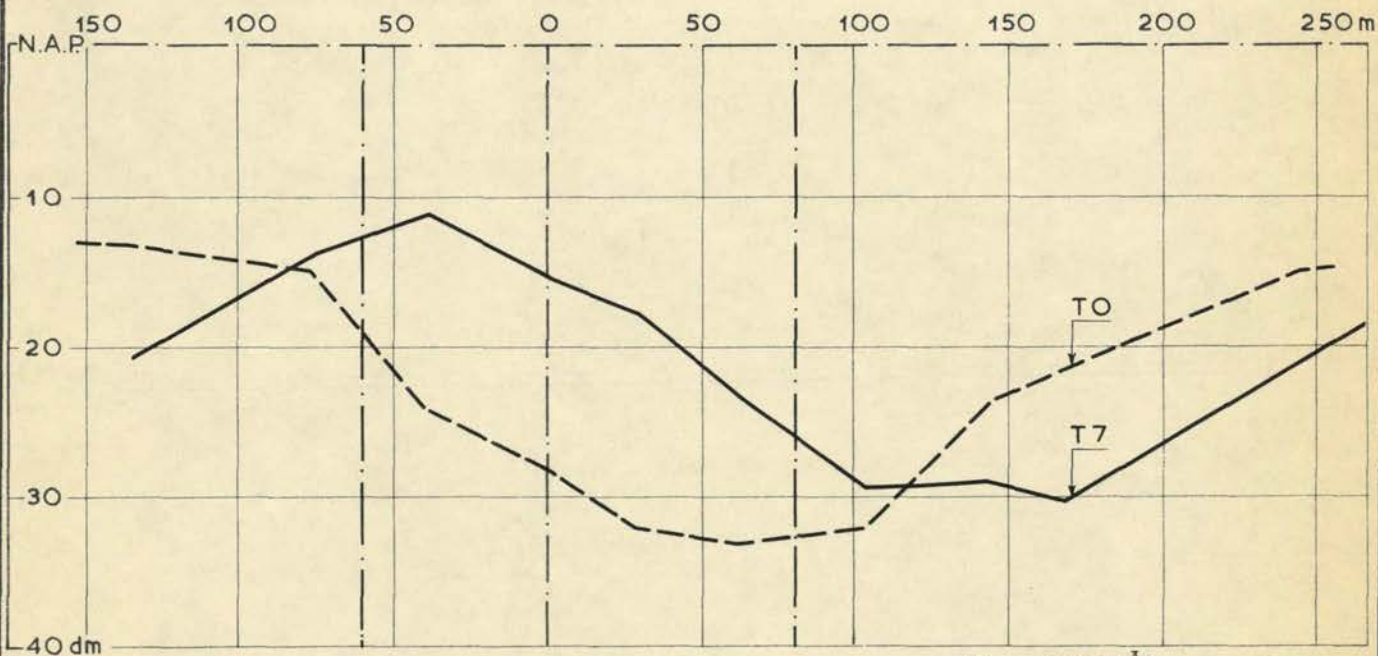
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T7	DEEL II
SCHAAL 1:2500	
M. 974/975	FIG. 21 ^b

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



929.060 929.000 928.920



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

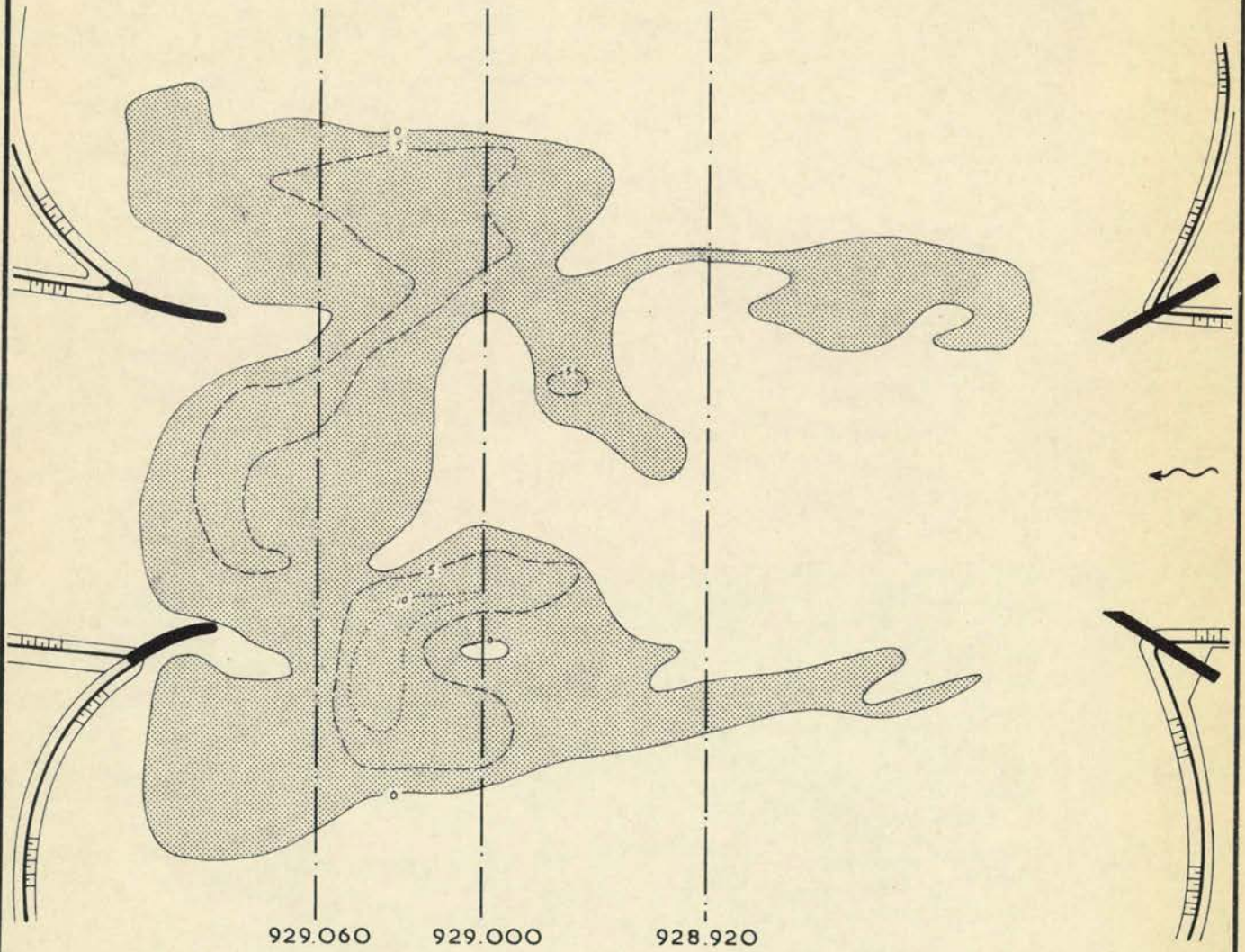
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, T7 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

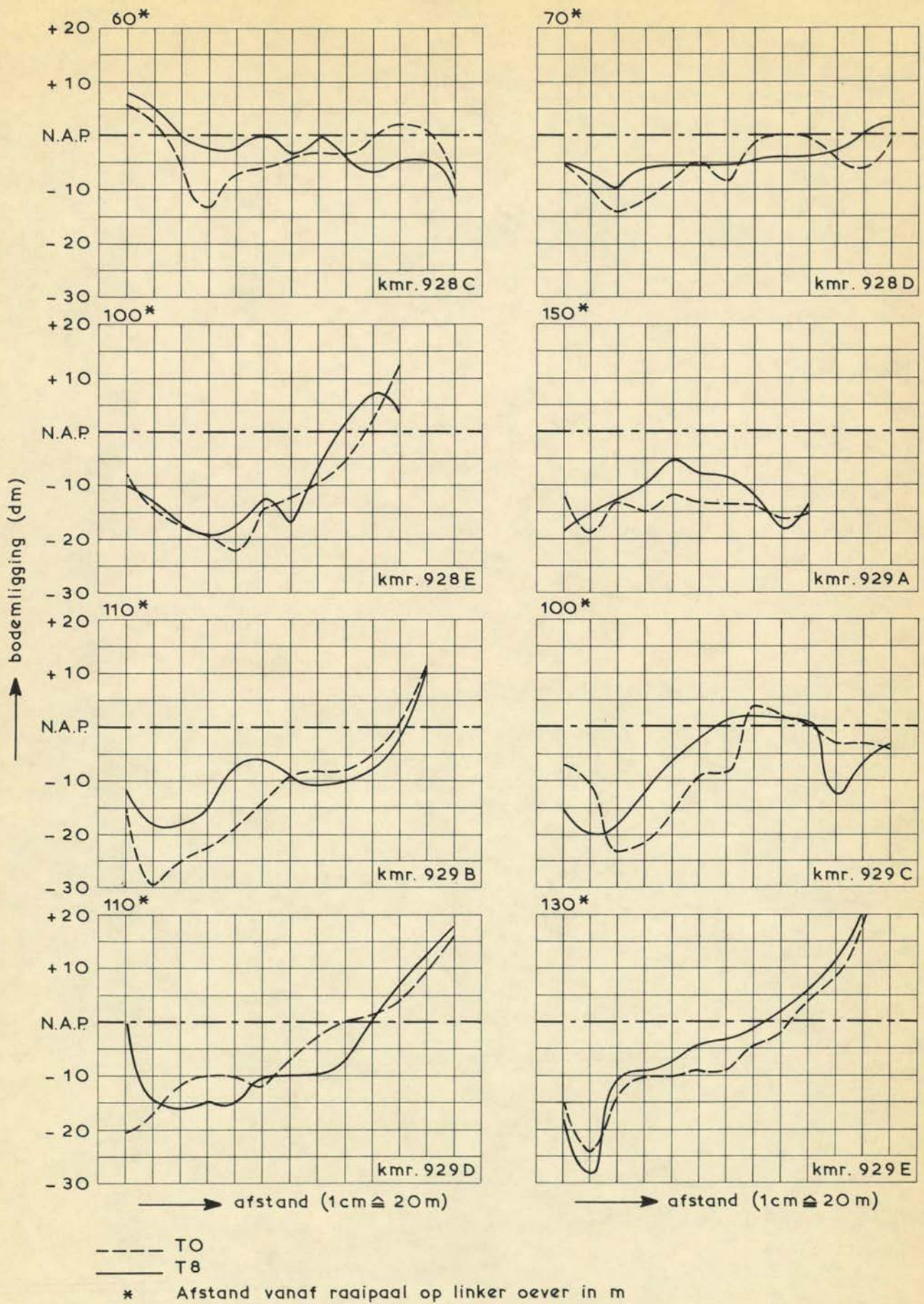
M. 974/975 FIG. 21^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 3960 m³
 Tiel 5260 m³

Diepteverschillen in dm

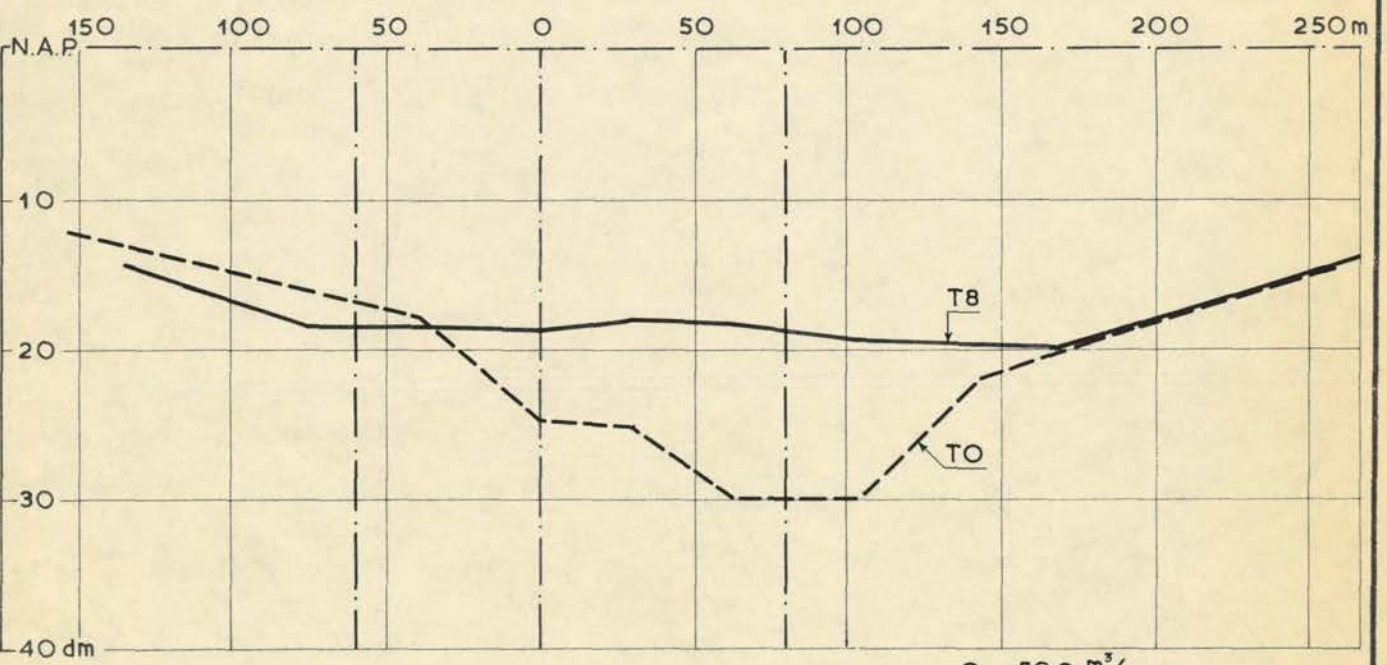
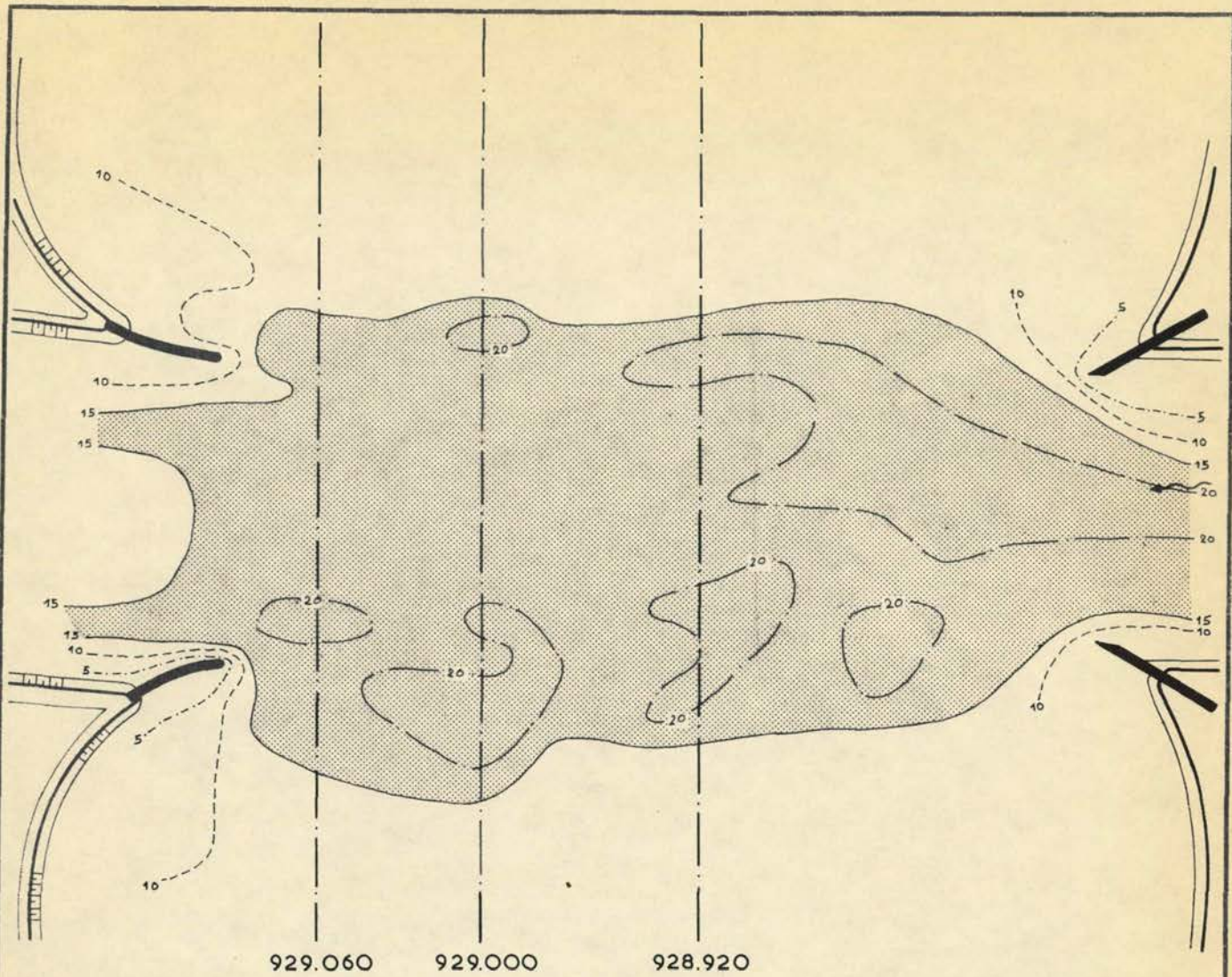
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 7	DEEL II
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 21 ^d



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T8

DEEL II



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

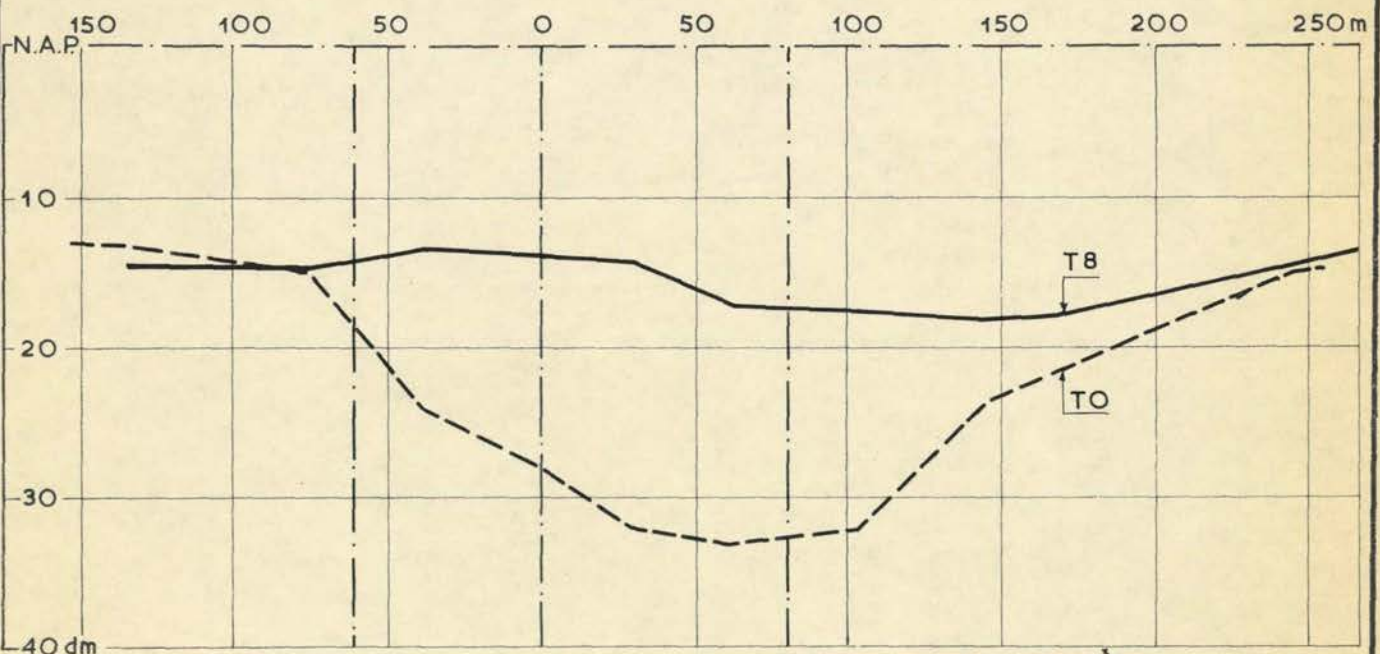
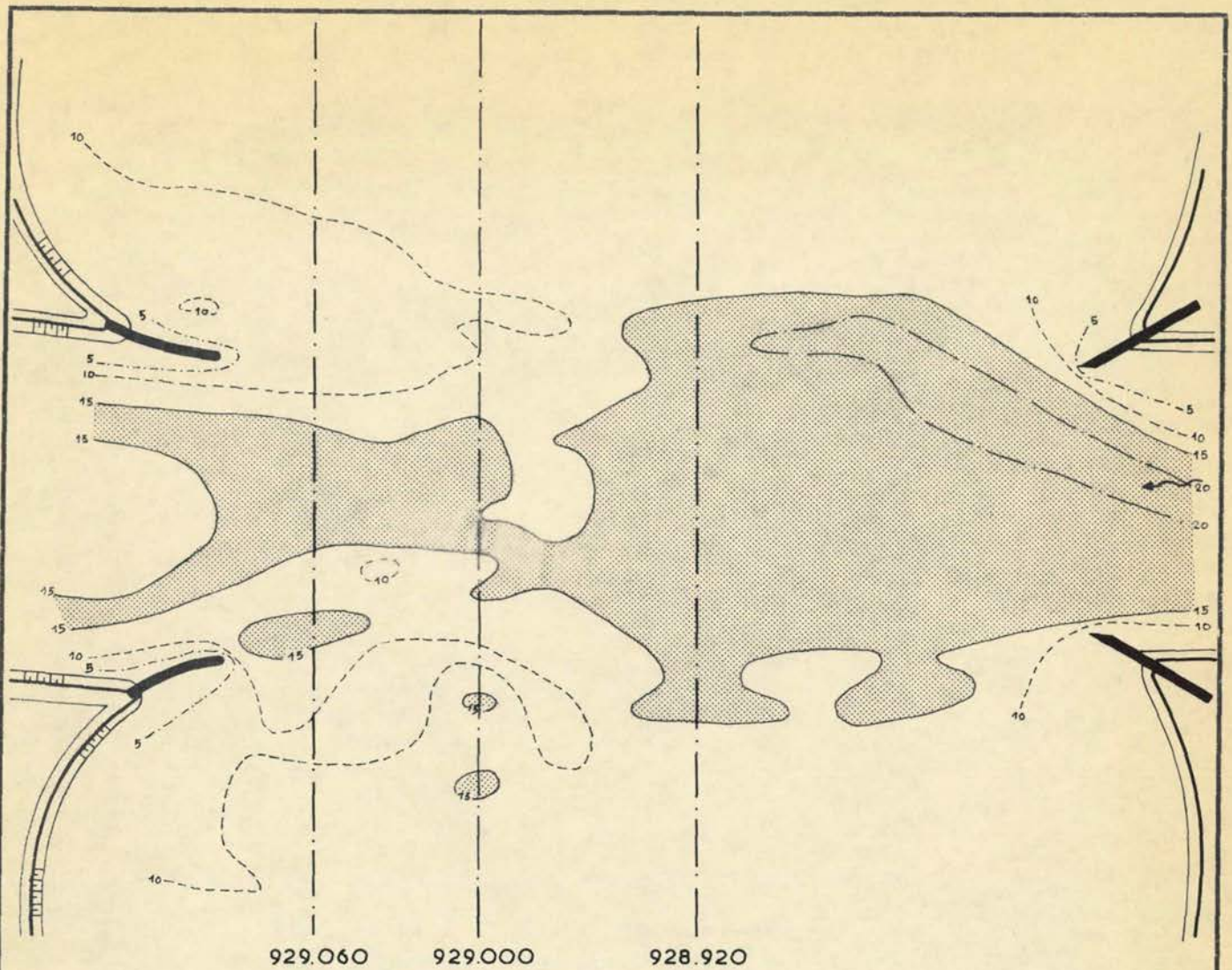
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T8 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 22^b



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

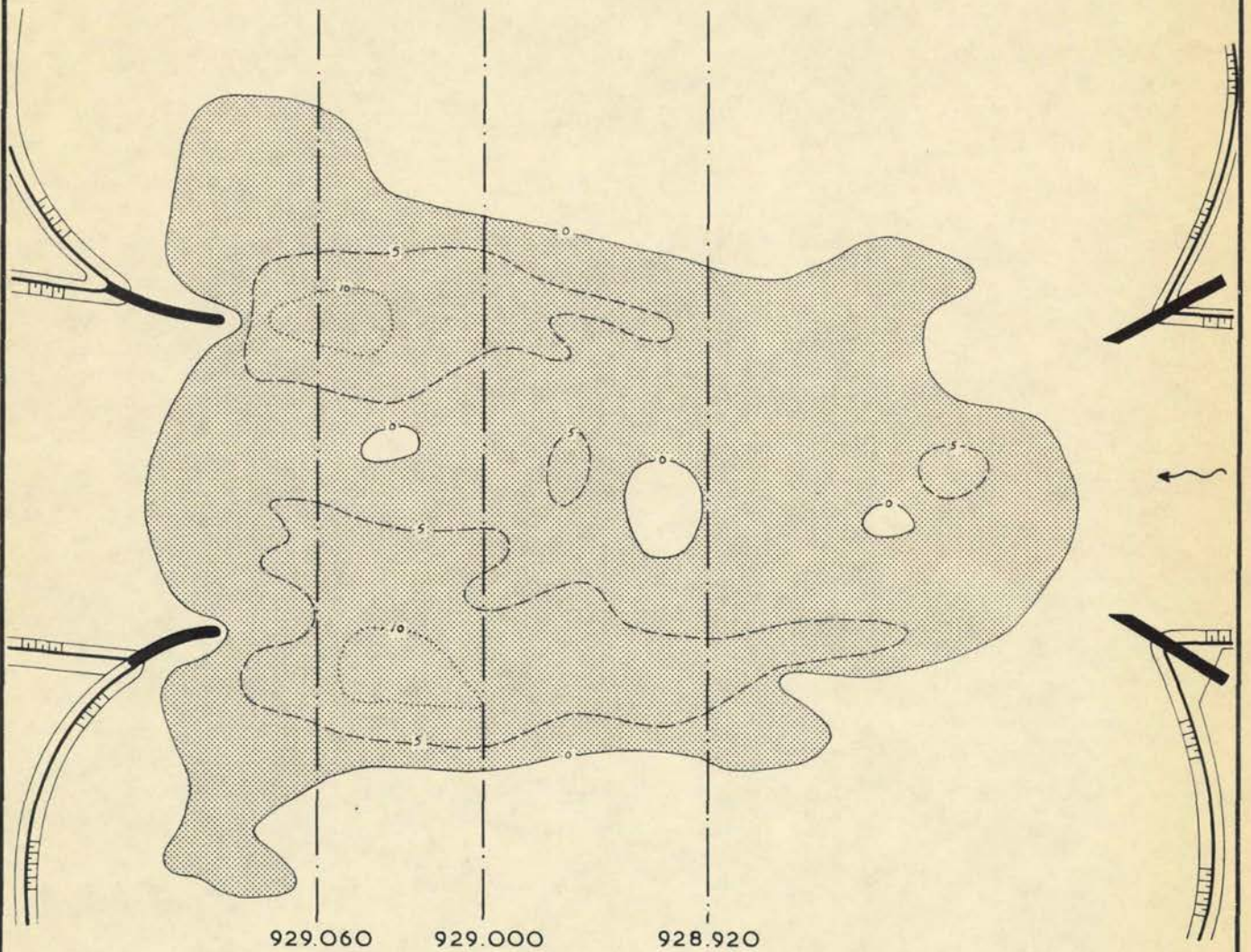
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, T8 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

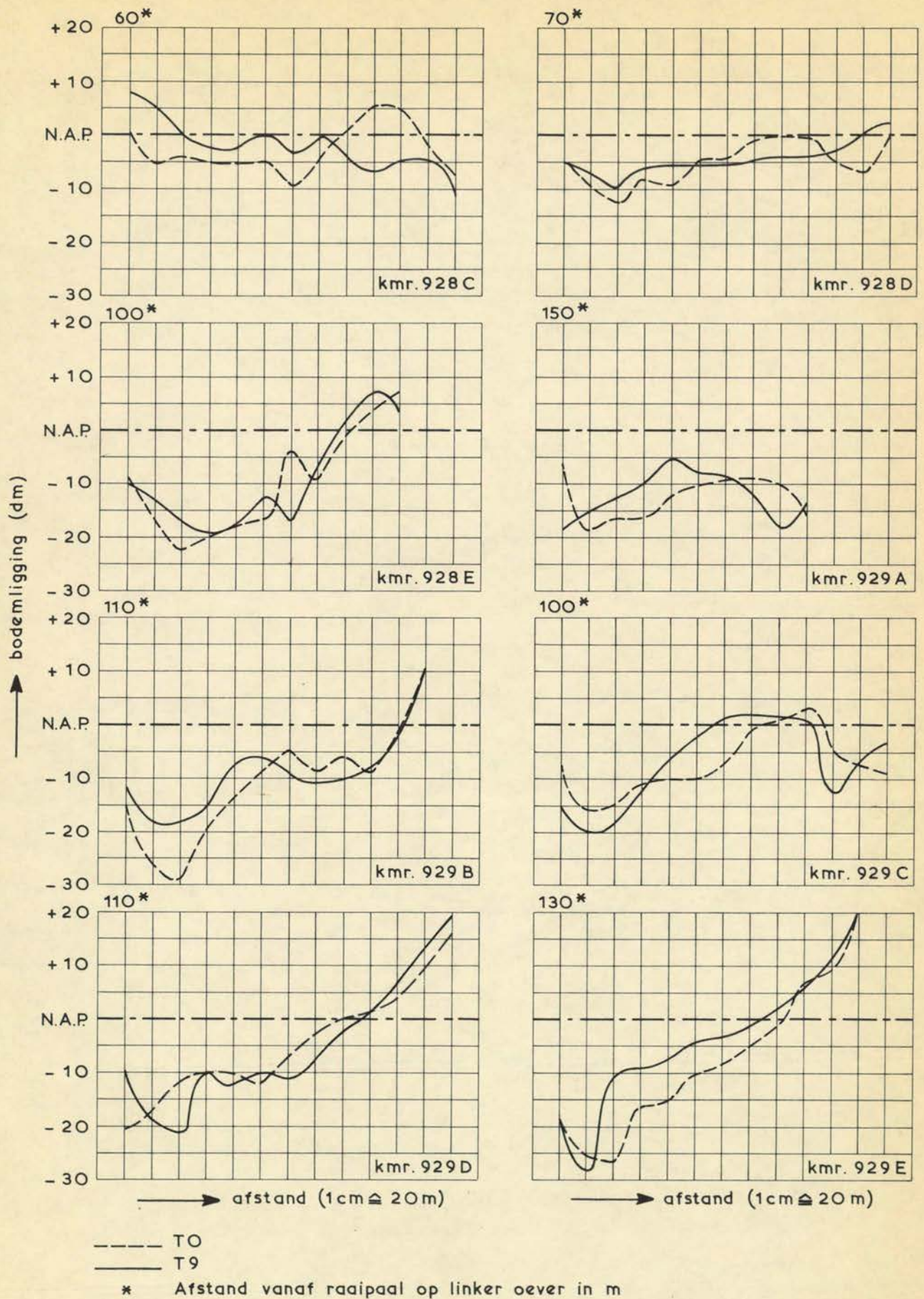
M.974/975 FIG. 22^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 4570 m³
 Tiel 7490 m³

Diepteverschillen in dm

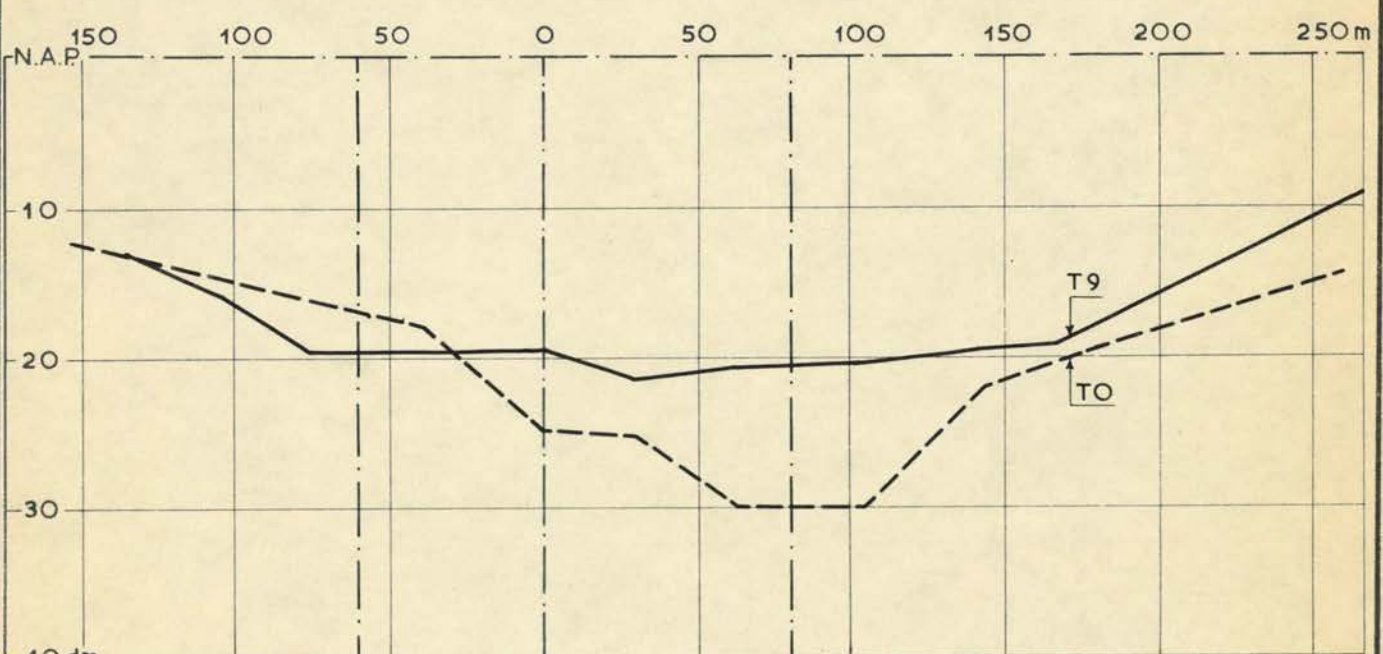
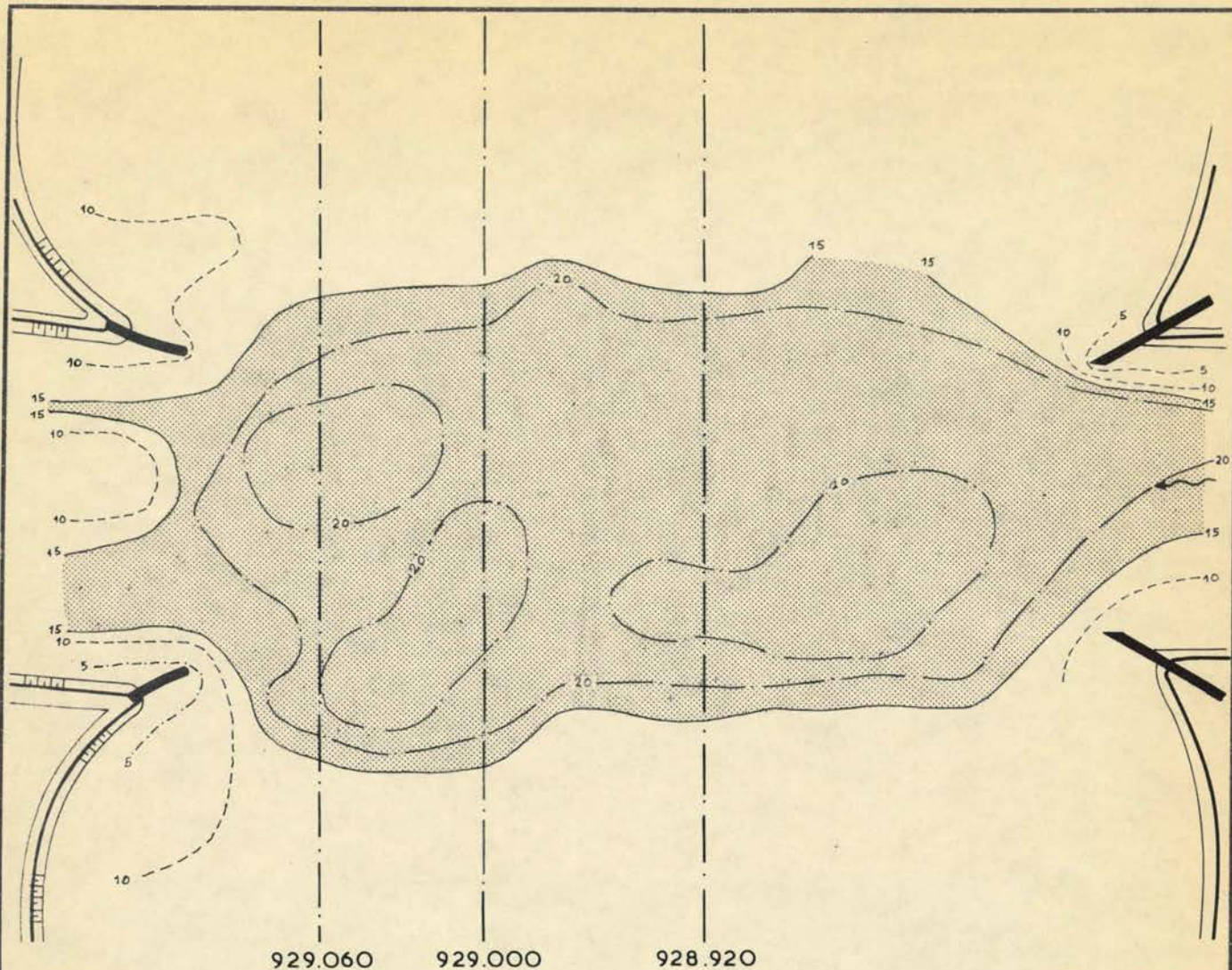
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 8	DEEL II
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 22 ^d



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T9

DEEL II

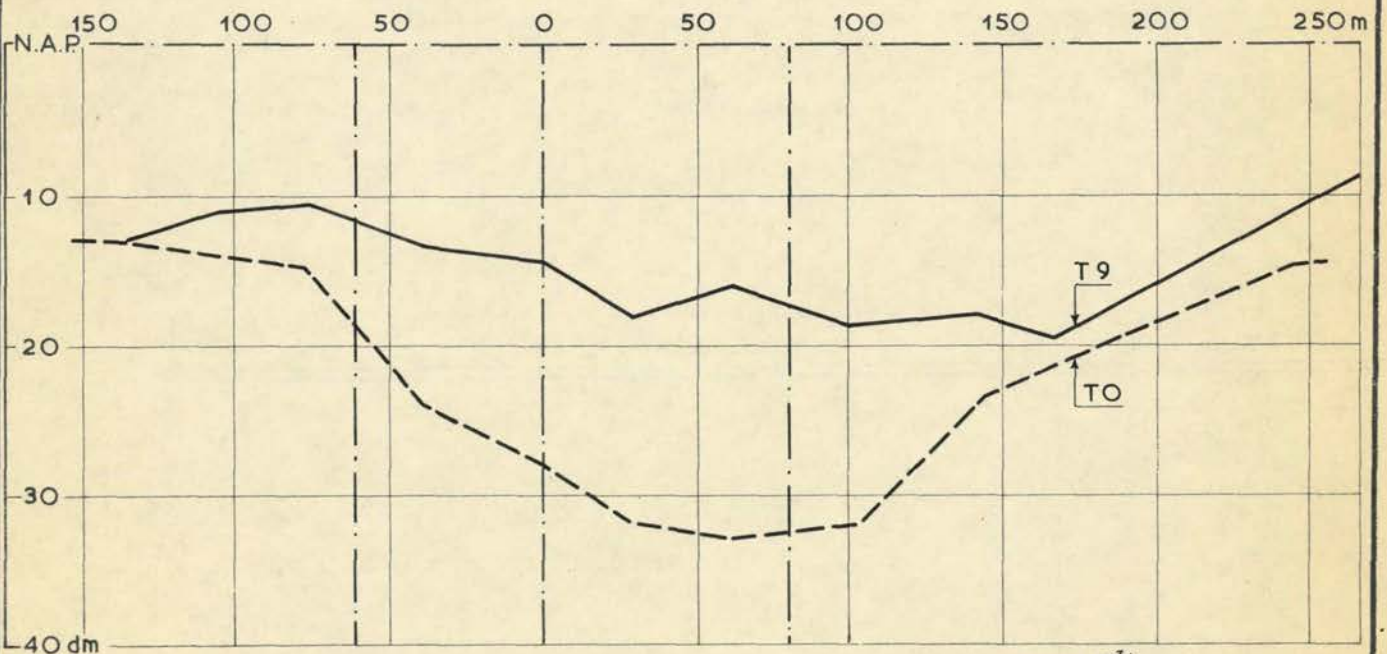
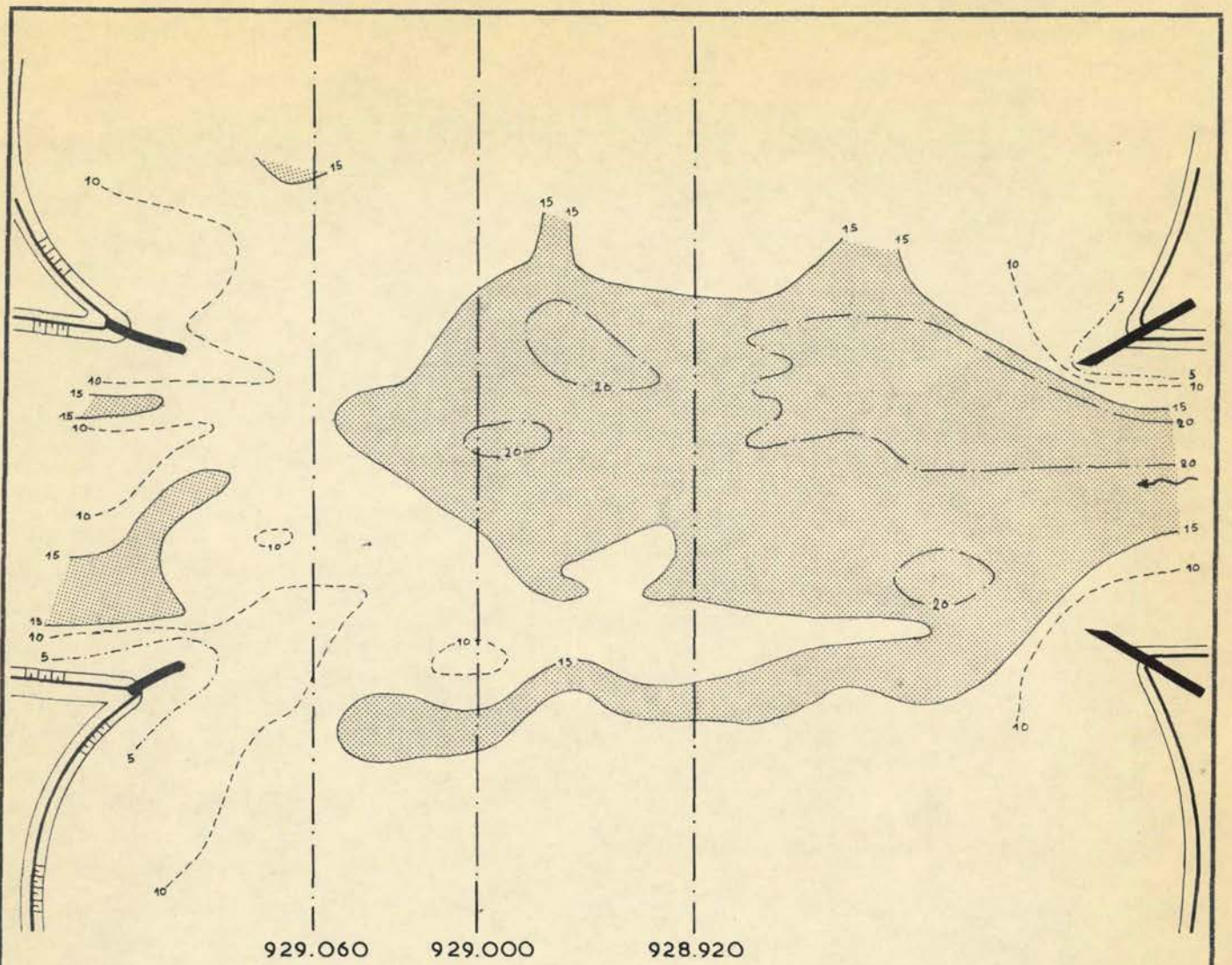


$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T9	DEEL II
SCHAAL 1:2500	
M.974/975	FIG. 23 ^b

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



$Q_p = 500 \text{ m}^3/\text{s}$
 Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

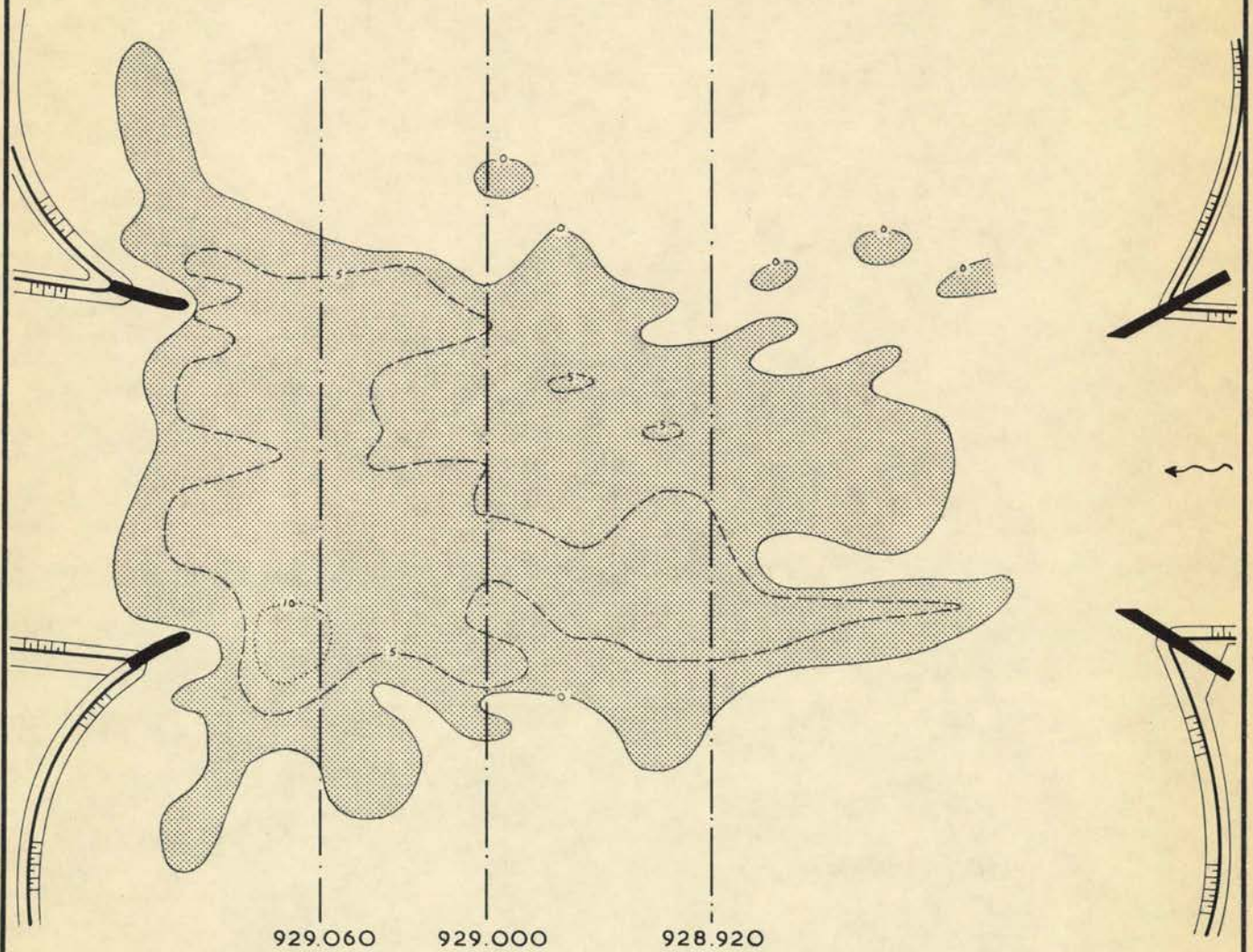
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, T9 DEEL II

SCHAAL 1:2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

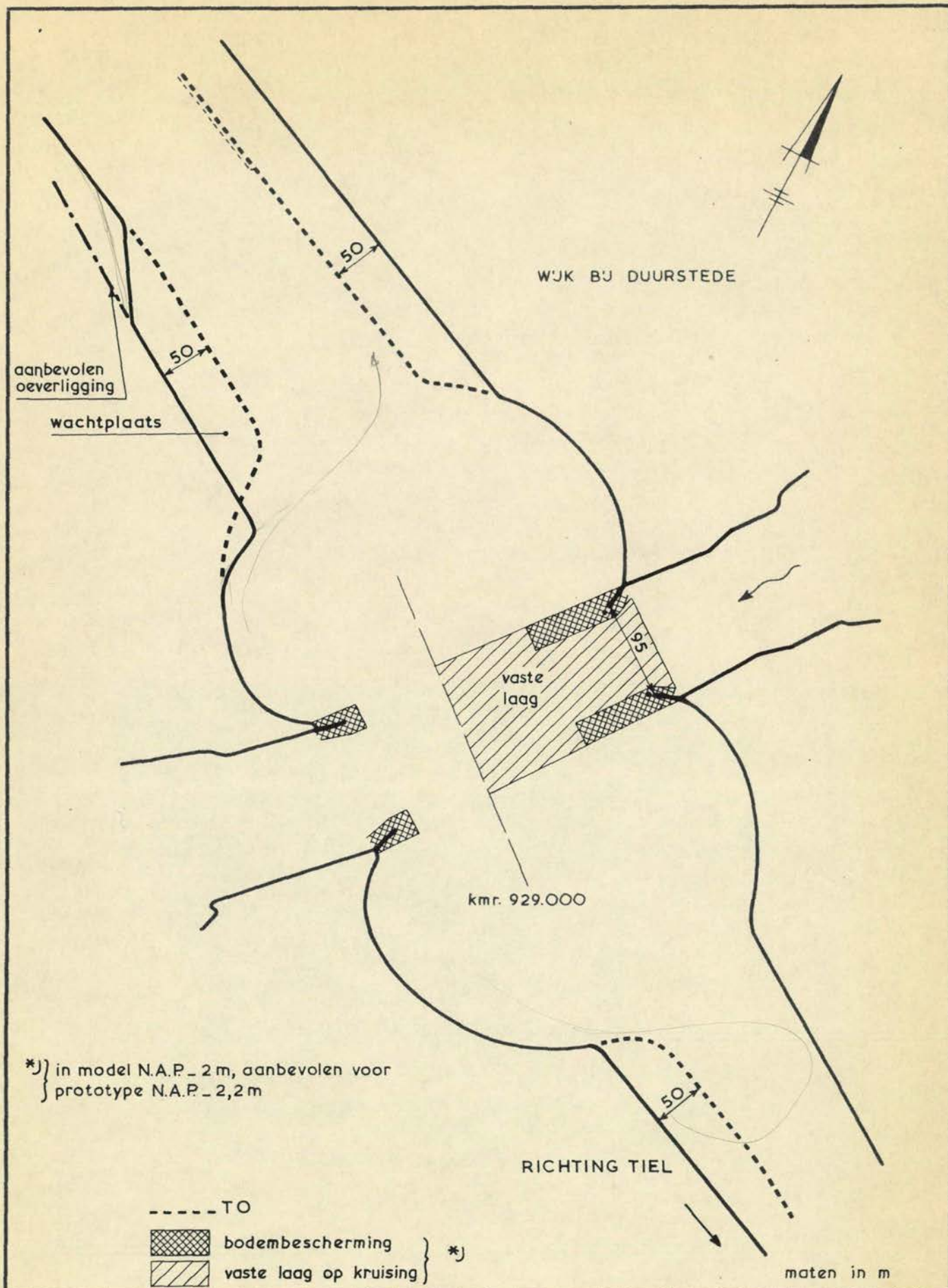
M.974/975 FIG. 23^c



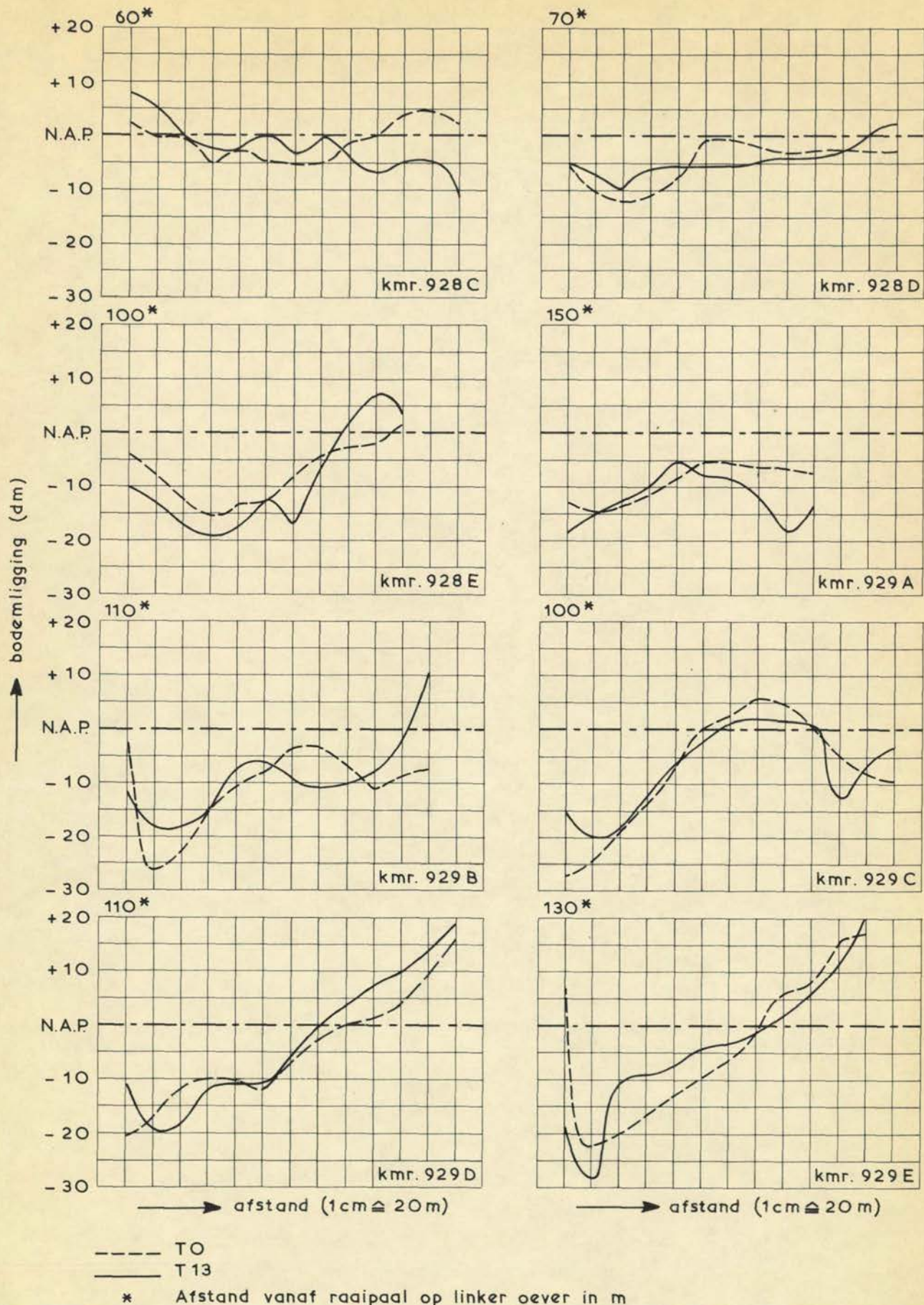
Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 2230 m³
 Tiel 6400 m³

Diepteverschillen in dm

SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 9	DEEL II
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 23 ^d



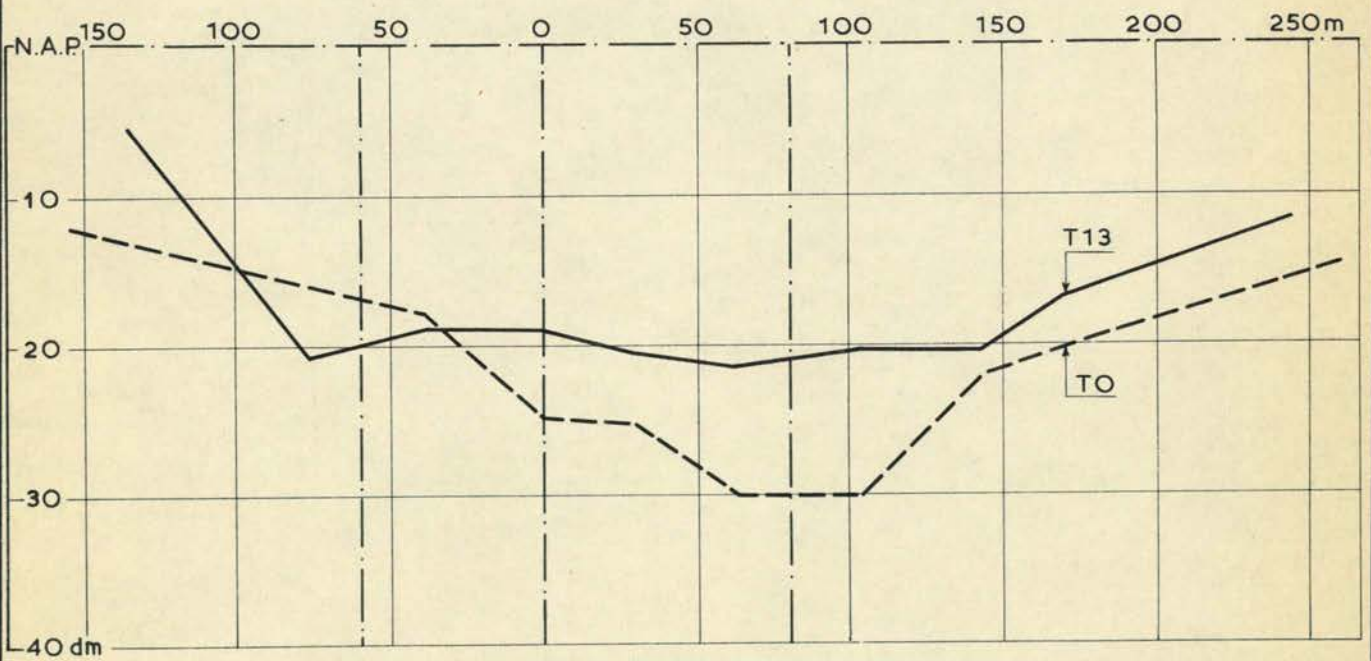
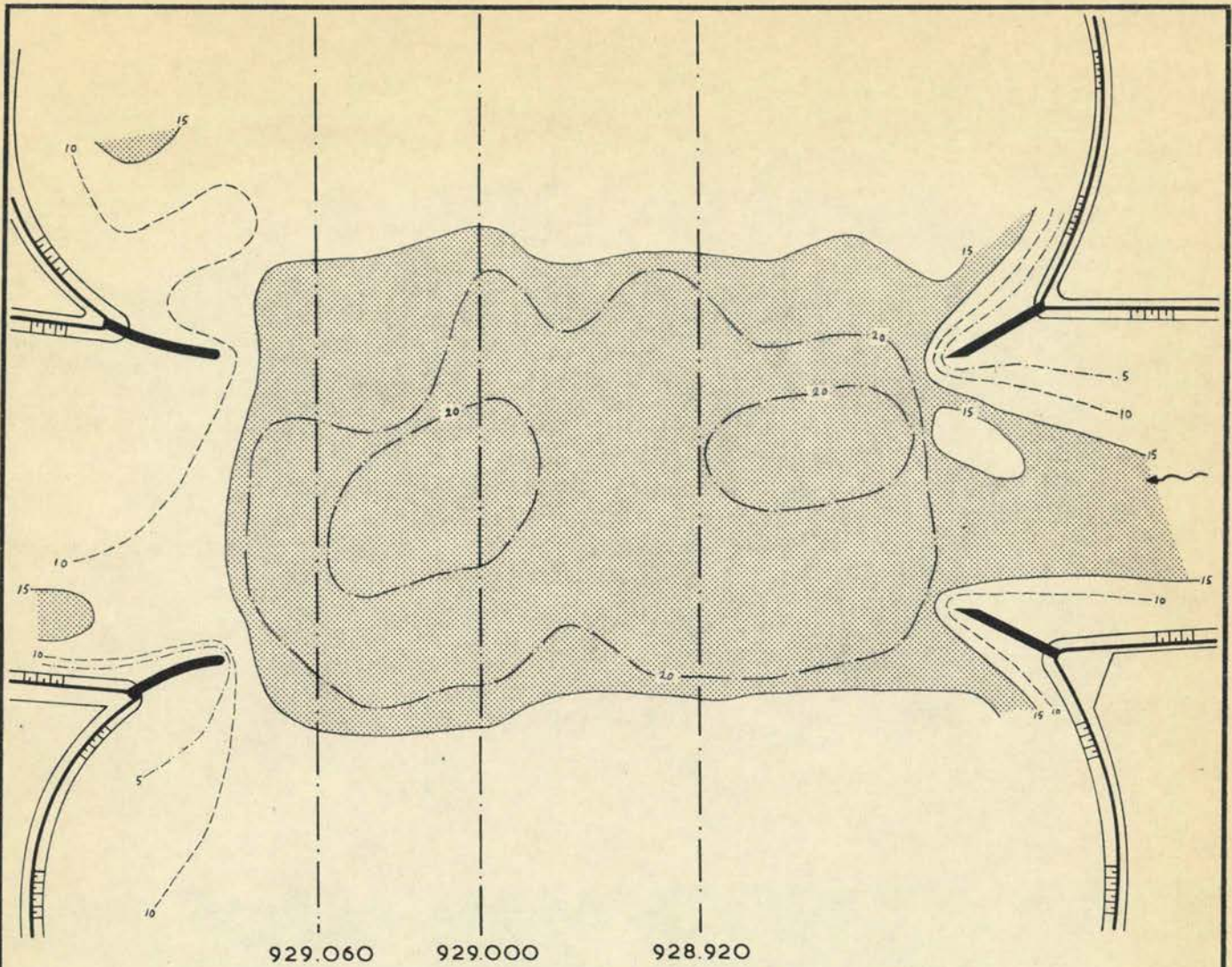
AANBEVOLEN SITUATIE	T 13	DEEL II
	SCHAAL 1 : 5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974/975	FIG. 24 ^a



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T13

DEEL II



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

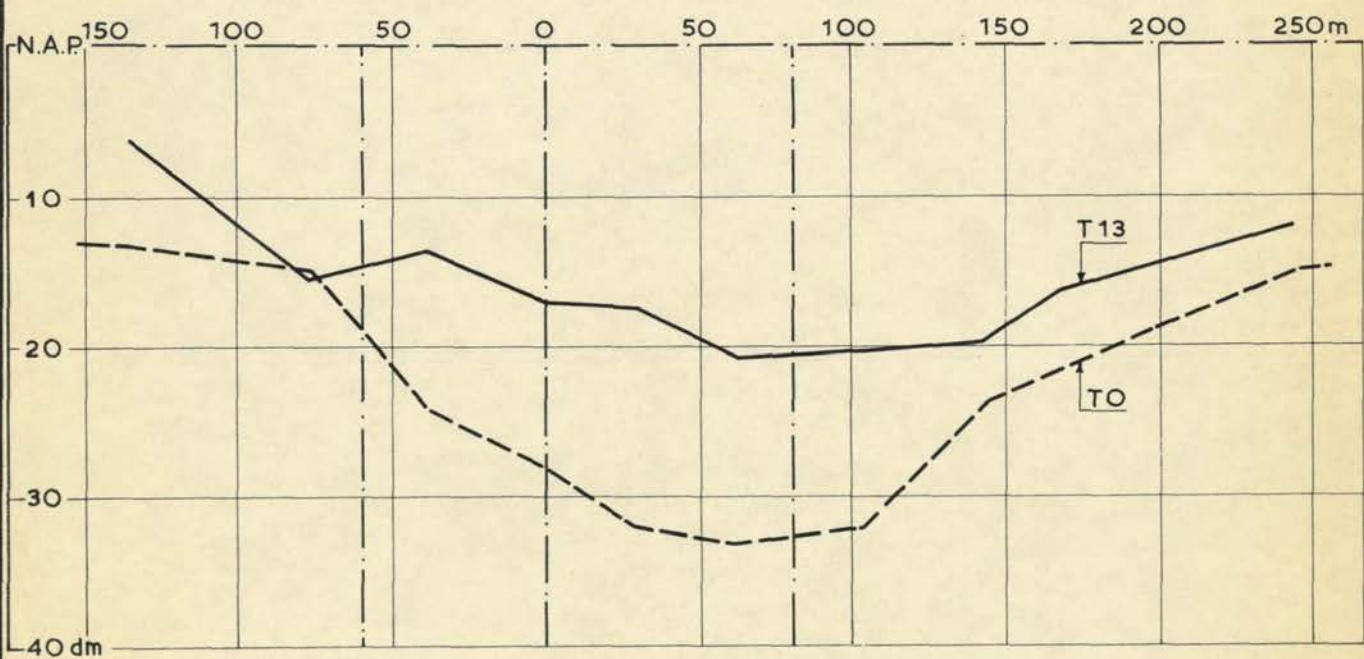
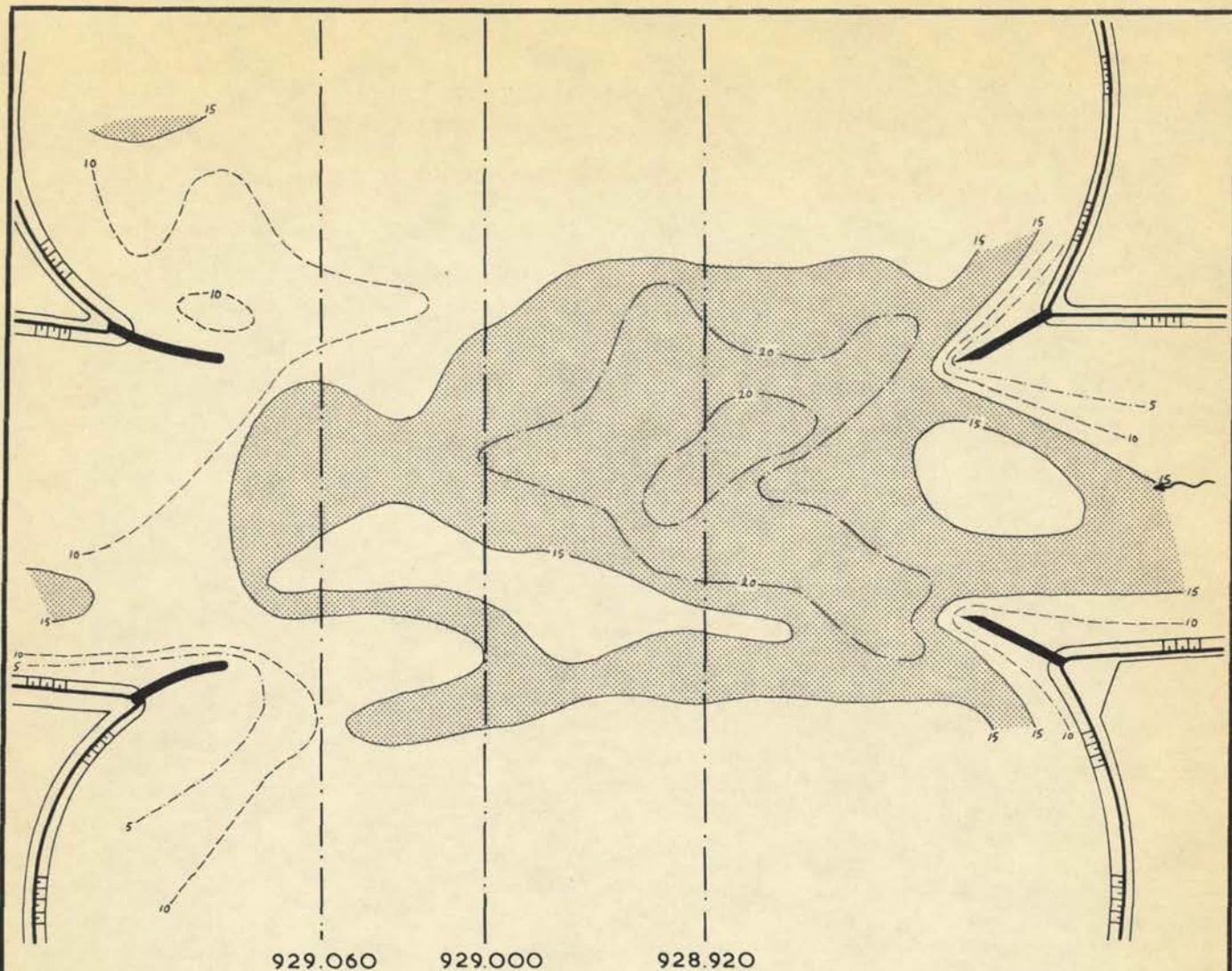
BODEMLIGGING KRUISING NA 2 uur STROMEN

TO, T13 DEEL II

SCHAAL 1: 2500

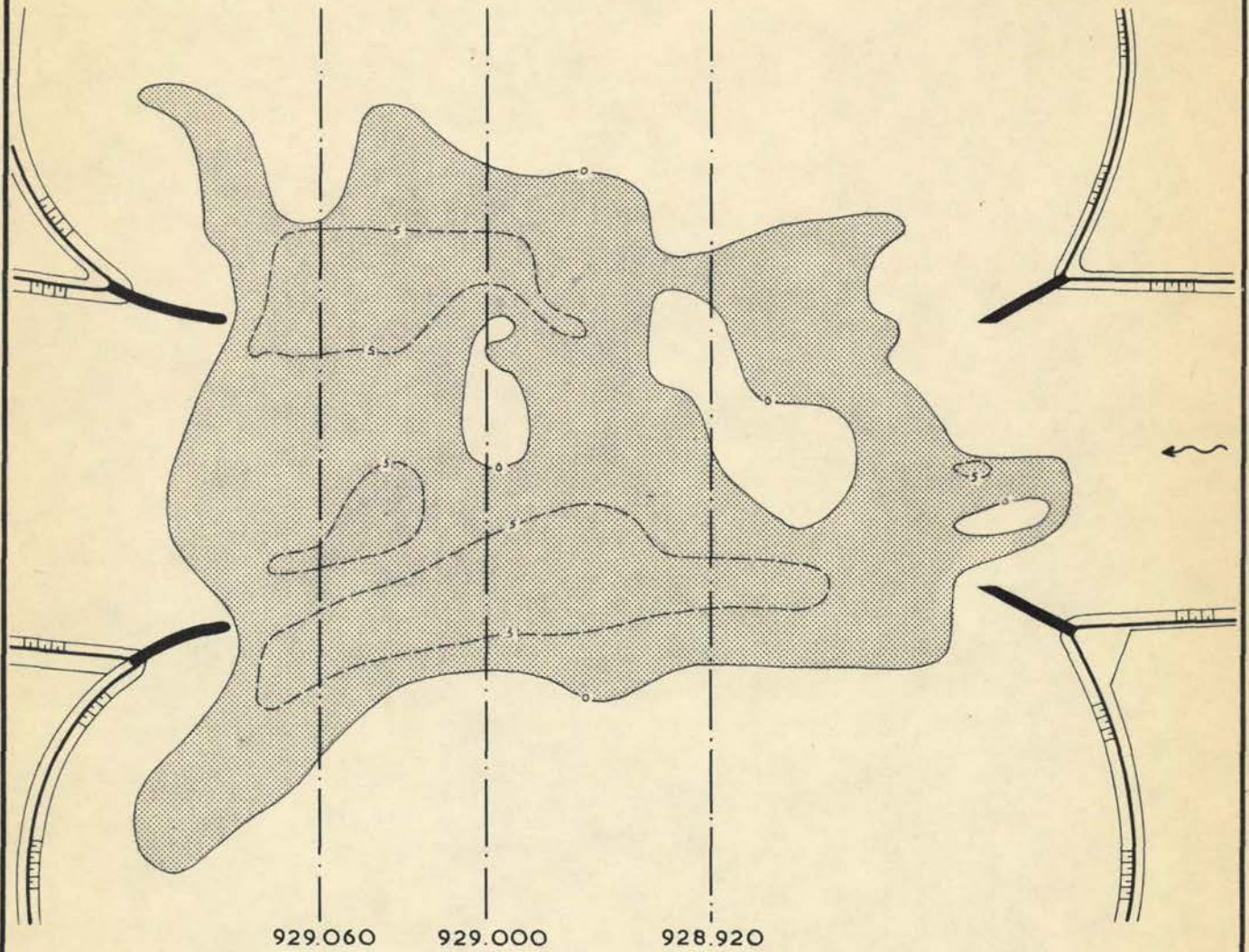
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 24^c



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

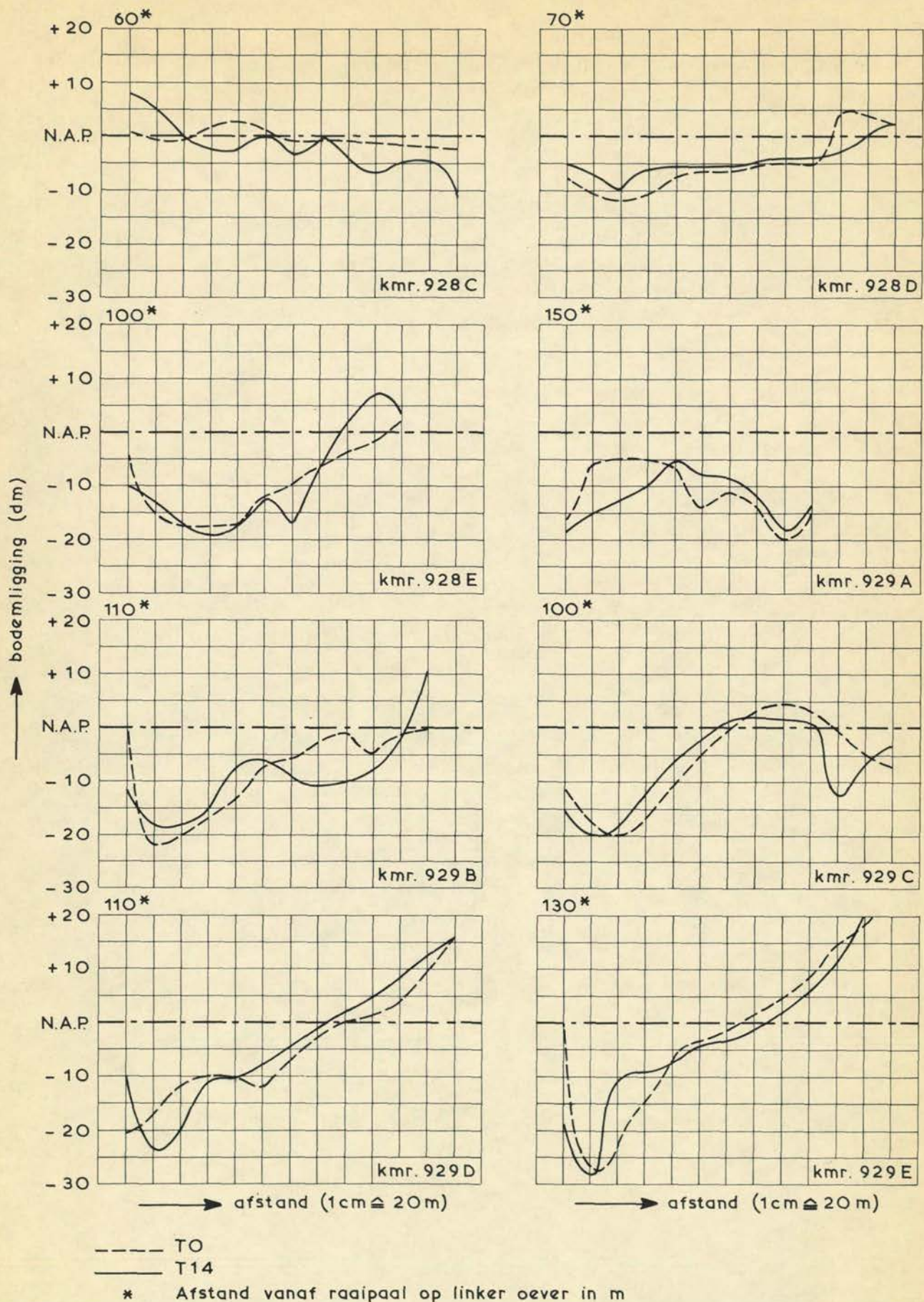
BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN	TO, T13	DEEL II
	SCHAAL 1: 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 24 ^d



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 3490 m³
 Tiel 3450 m³

Diepteverschillen in dm

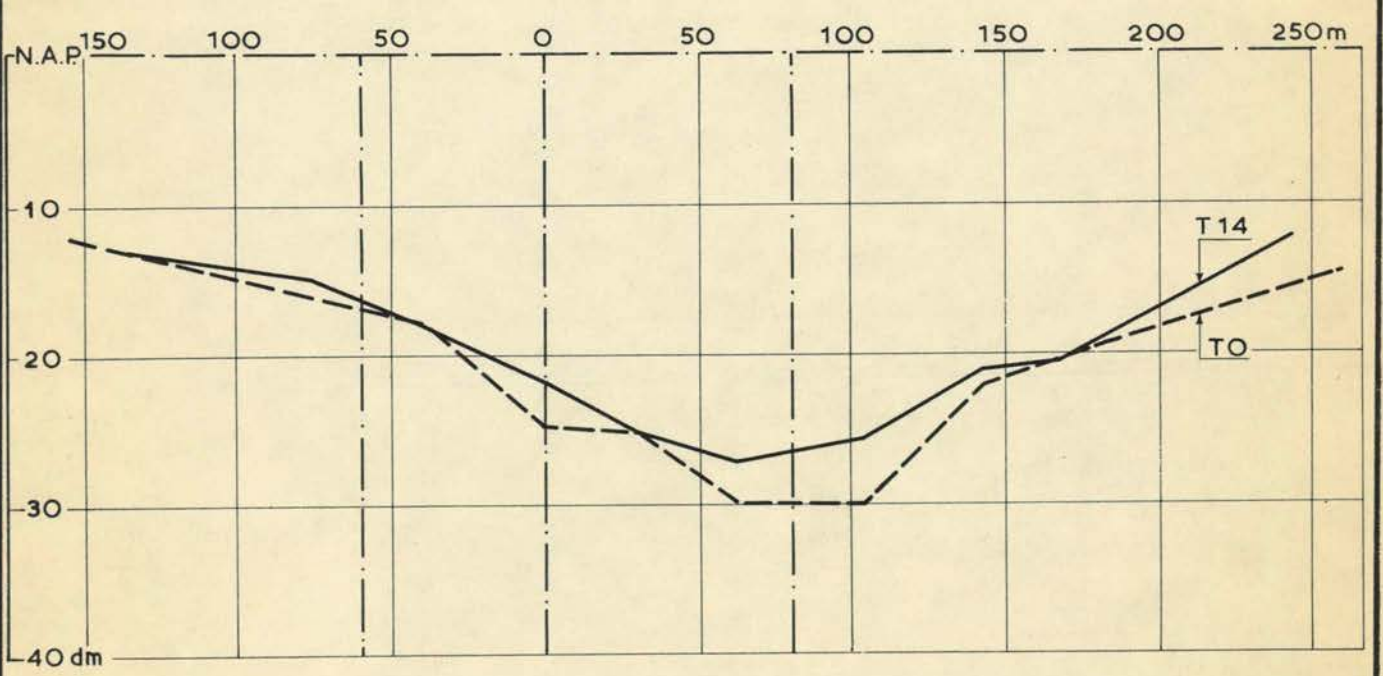
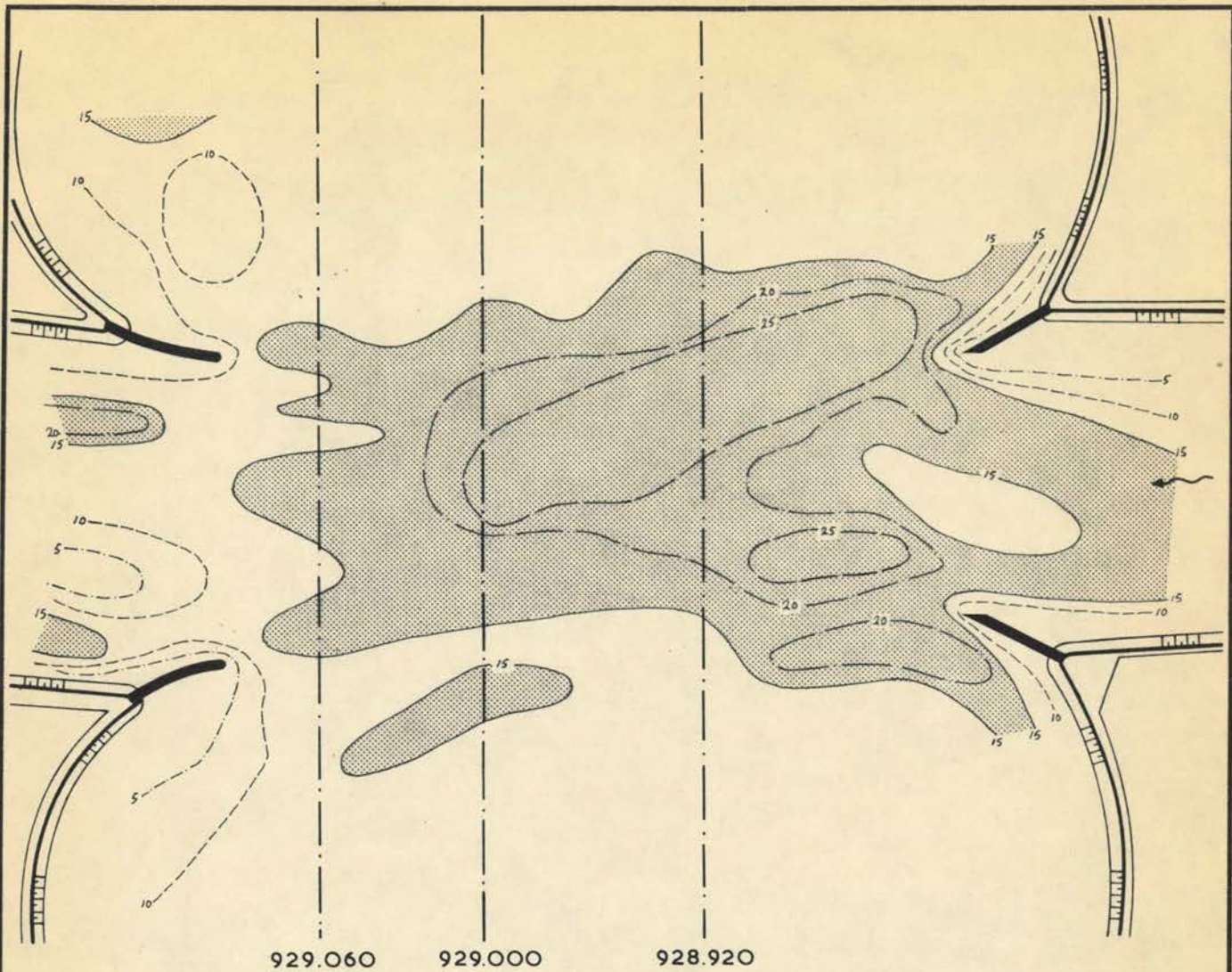
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 13	DEEL II
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 24 ^e



BODEMDWARSPROFIELEN RIVIERTAKKEN

TO, T14

DEEL II



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

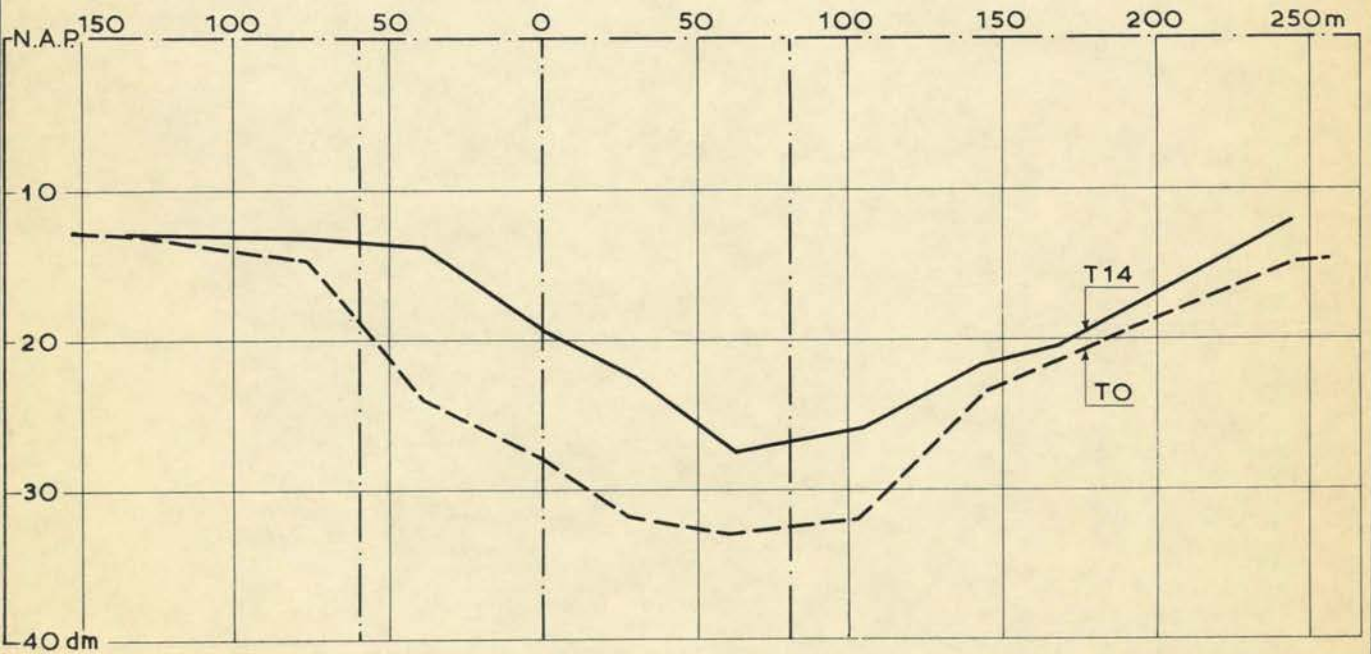
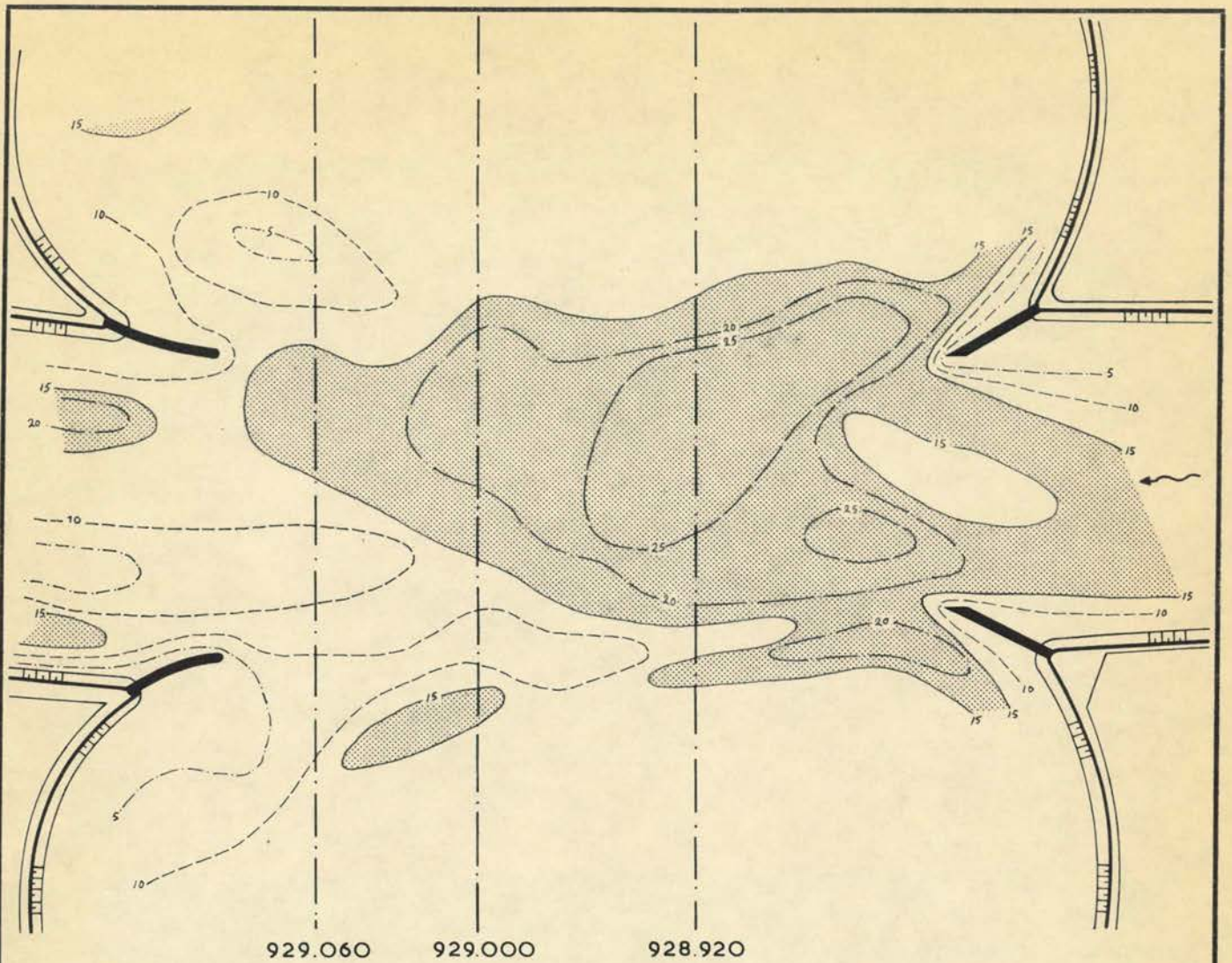
BODEMLIGGING KRUISSING NA 2 uur STROMEN

TO, T14 DEEL II

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975 FIG. 25^b



Diepten in dm t.o.v. N.A.P.

BODEMLIGGING KRUISING NA 16 uur STROMEN

TO, T14

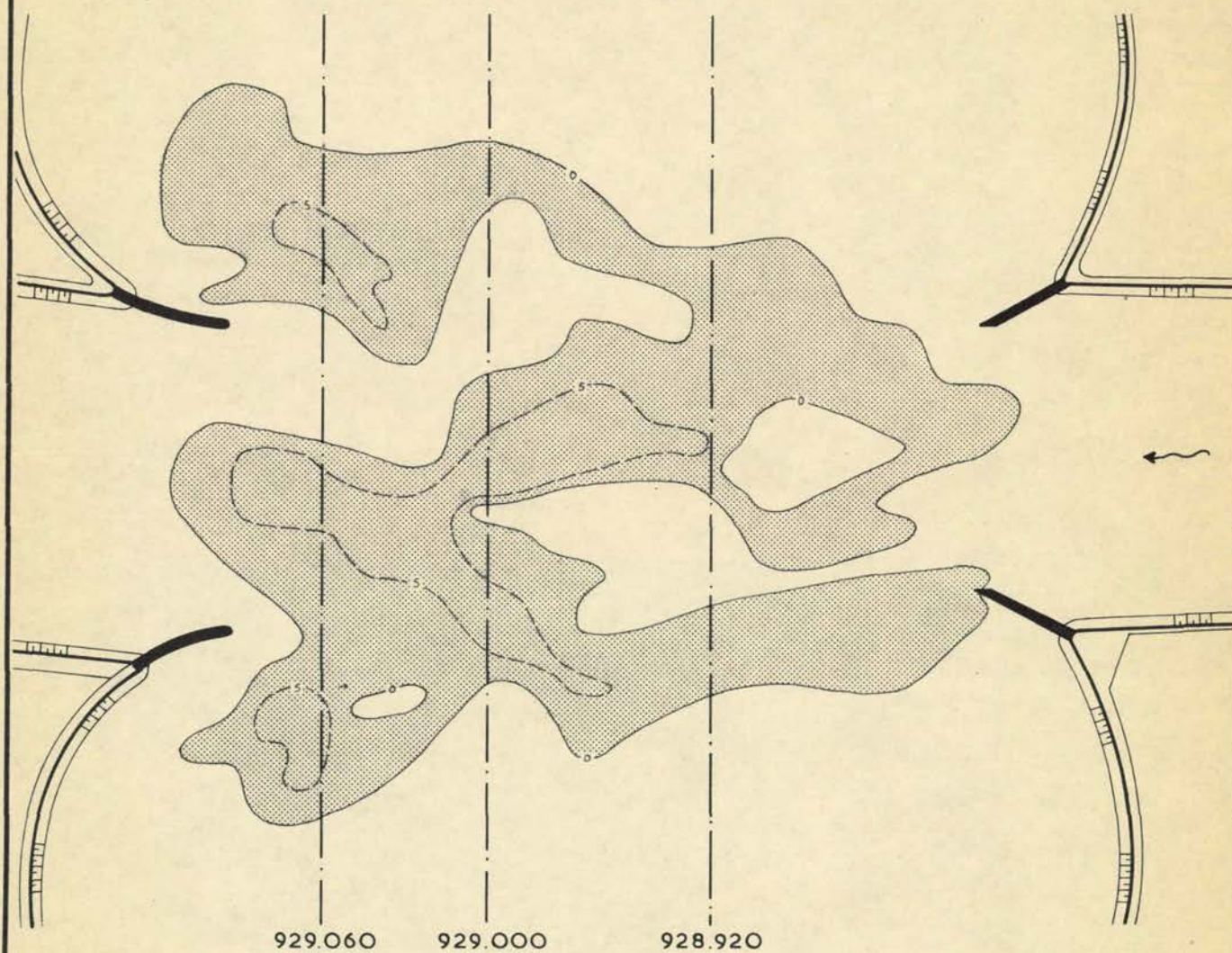
DEEL II

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

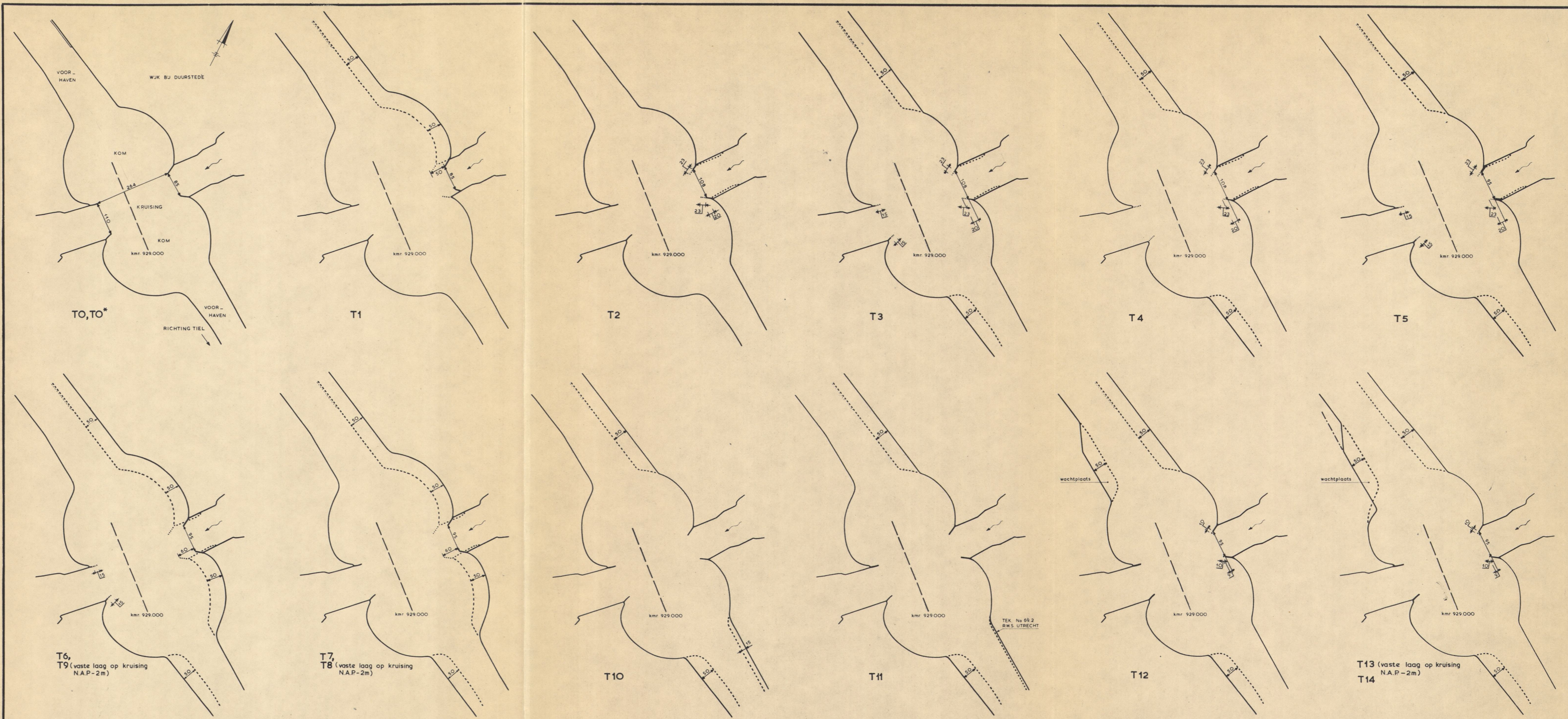
FIG. 25^c



Aanzanding in kom Wijk bij Duurstede 2940 m³
 Tiel 2820 m³

Diepteverschillen in dm

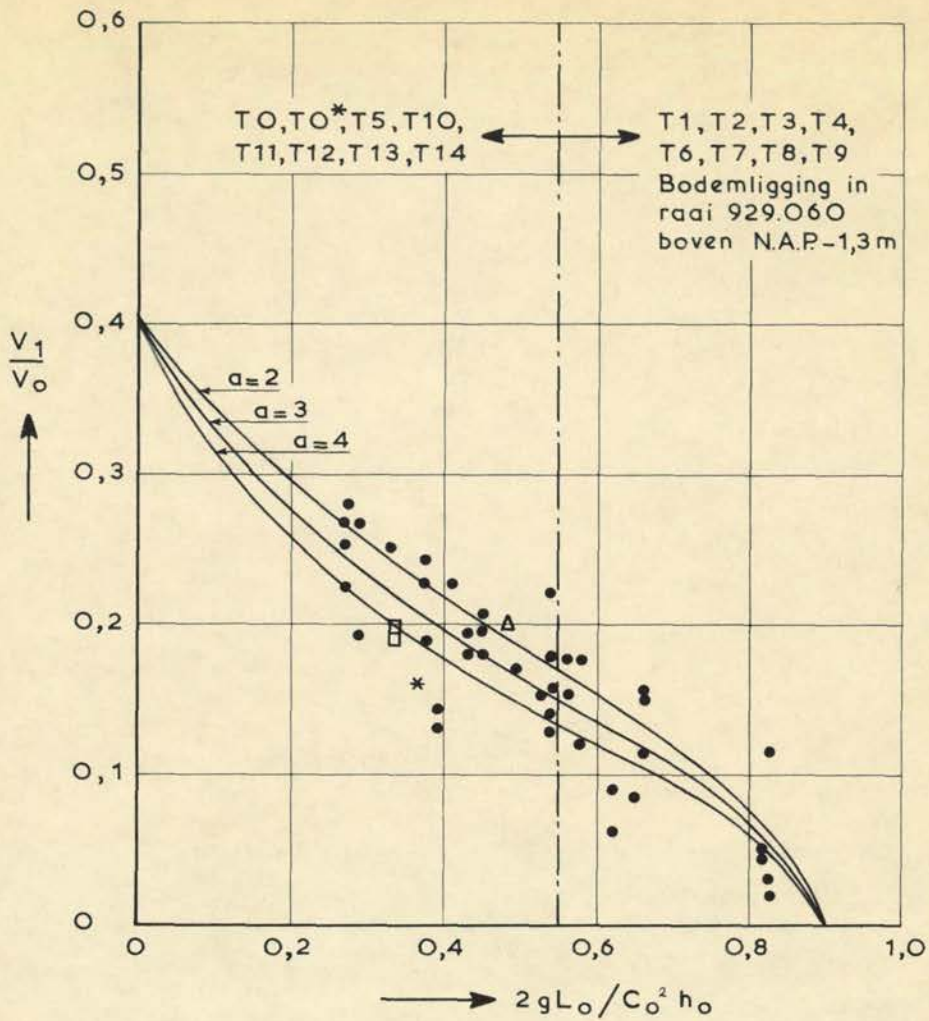
SEDIMENTATIE IN 14 uur	T 14	DEEL II
	SCHAAL 1:2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 25 ^d



OVERZICHT ONDERZOCHE SITUATIES	DEEL II	
	SCHAAL 1:10.000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.974/975	FIG. 26

00008083

maten in m



$$\frac{V_1}{V_0} = \alpha \sqrt{\frac{1 - \xi_0 - 2gL_0/C_0^2 h_0}{1 + 4\xi_1 + \frac{9}{4} a \cdot 2gL_0/C_0^2 h_0}}$$

$$\xi_0 = 0,1$$

$$\xi_1 = 0,25$$

$$\alpha = 0,6$$

- Meetpunt; V_1 gemeten (in model M.974) in bovenstroomse gedeelte van neer V_0 gemeten tussen bovenstroomse pylonen
- * prototype meting 6-4-1955
- Δ prototype meting 11-4-1956
- prototype meting 2-4-1969

NEERSTERKTE V_1/V_0 ALS FUNCTIE VAN
DE STABILITEITSFACTOR $2gL_0/C_0^2 h_0$

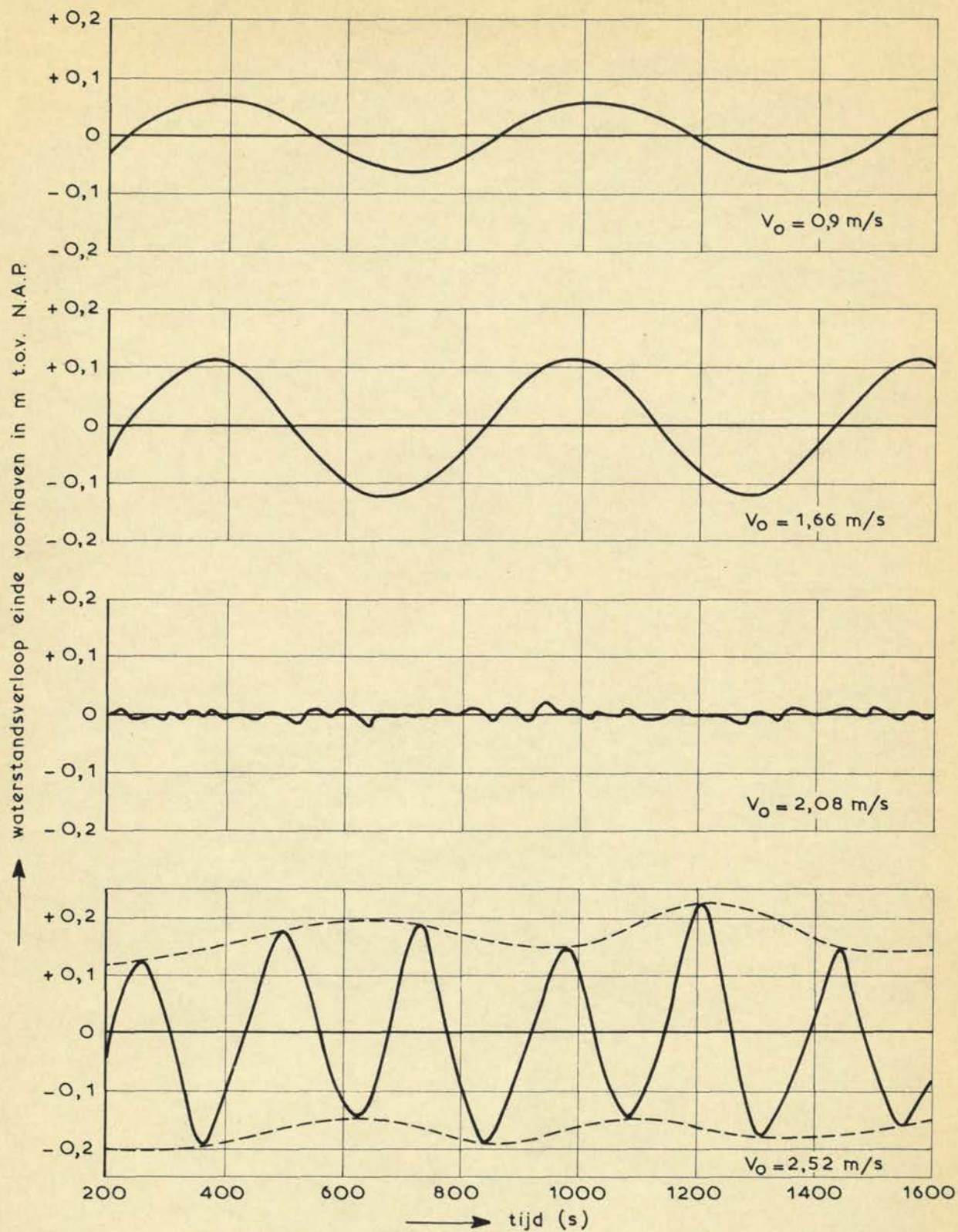
DEEL II

APPENDIX A

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974/975

FIG. A 2



V_0 stroomsnelheid tussen bovenstroomse pylonen
 Waterstand N.A.P. + 2,55 m
 Prototypewaarden in model M.974 gemeten

VERANDERING SLINGERING BIJ
 VERHOOGING STROOMSNELHEID

TO

DEEL II

APPENDIX B

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.974/975

FIG. B2

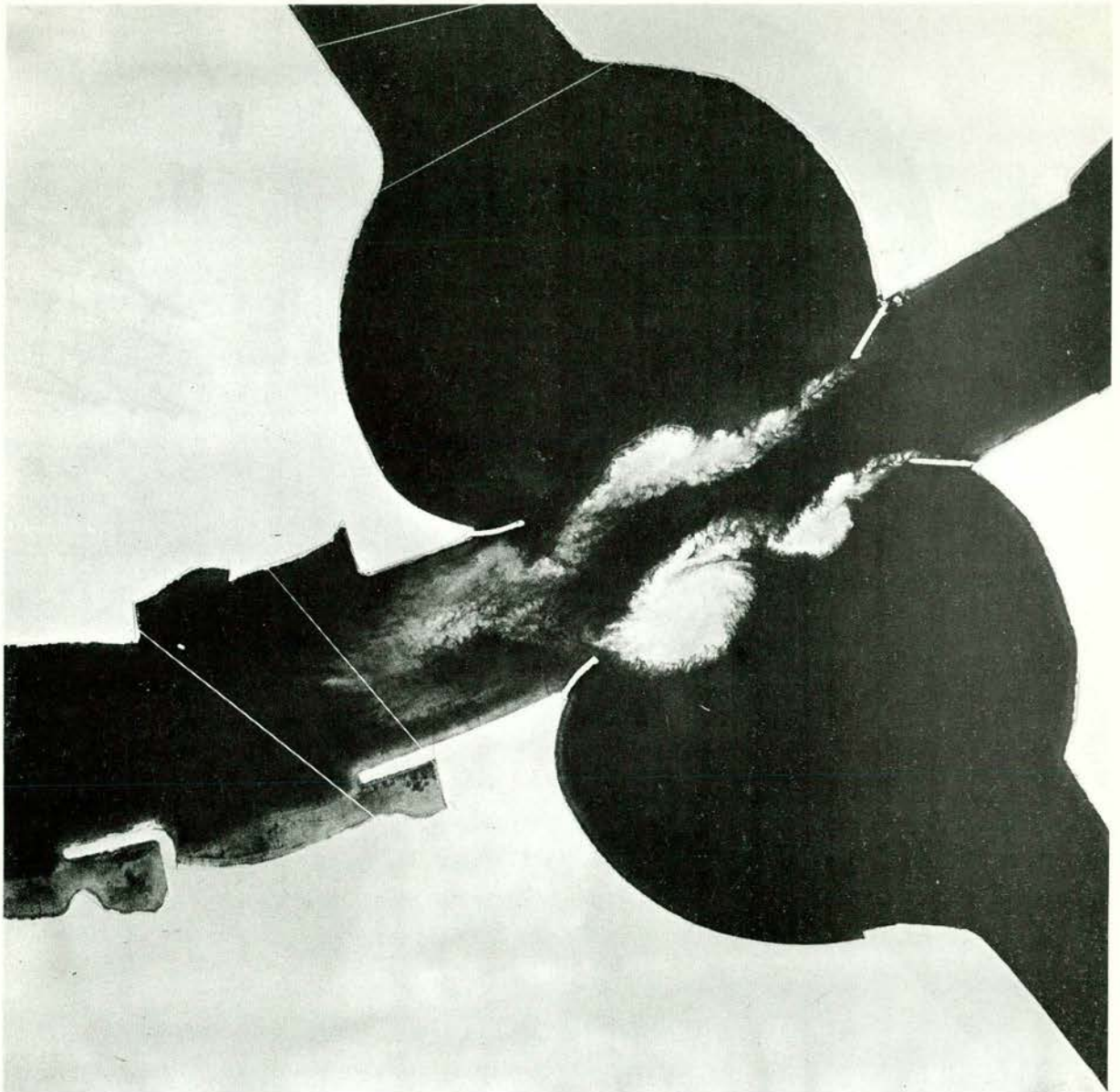


Foto B1. Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat in model M 974.
Toestand T0. Afvoer $Q_p = 468 \text{ m}^3/\text{s}$.
Schaal 1 : 5000.

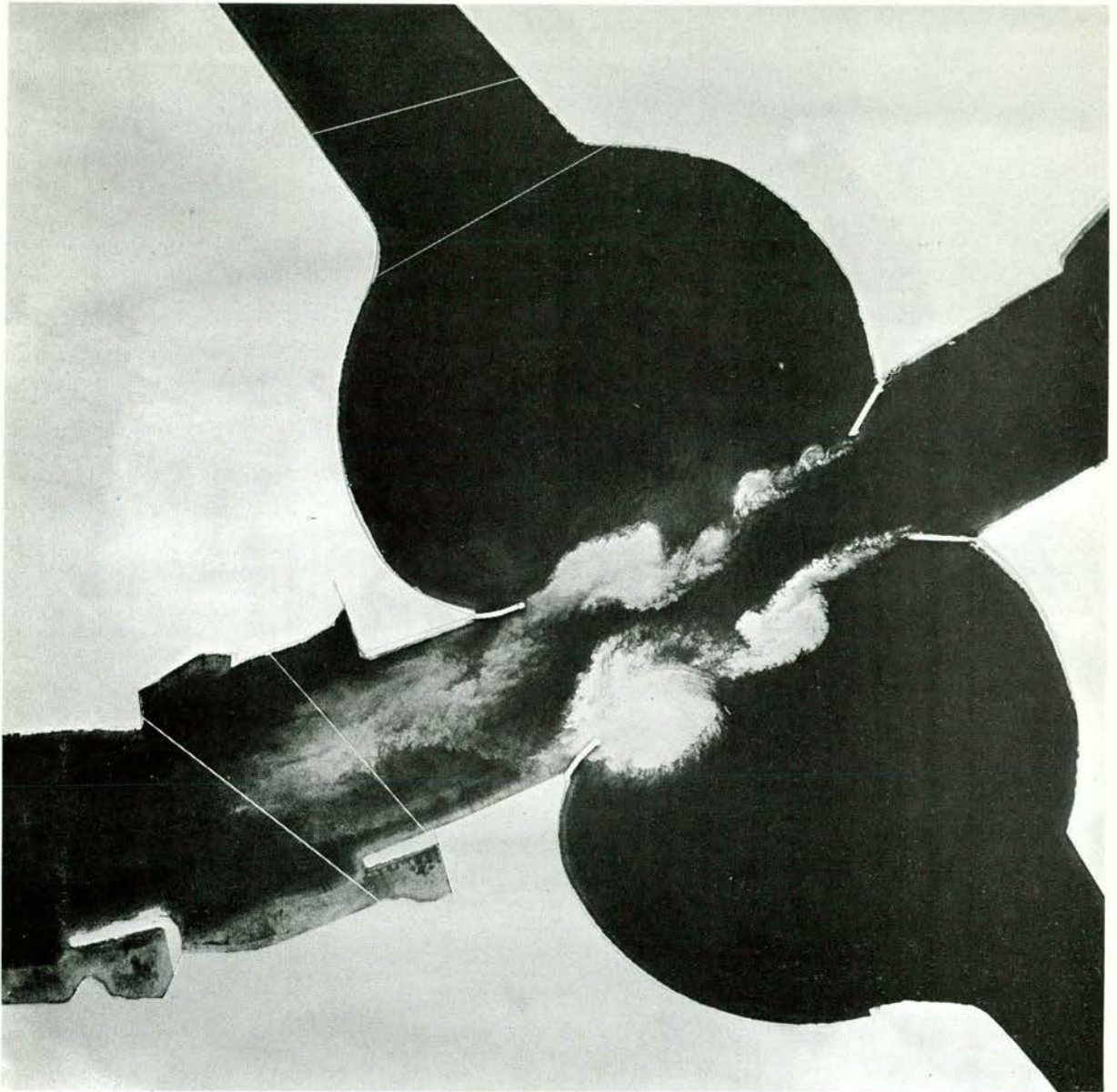


Foto B2. Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat in model M 974 na 12 seconden.

Toestand T0. Afvoer $Q_p = 468 \text{ m}^3/\text{s}$.

Schaal 1 : 5000.

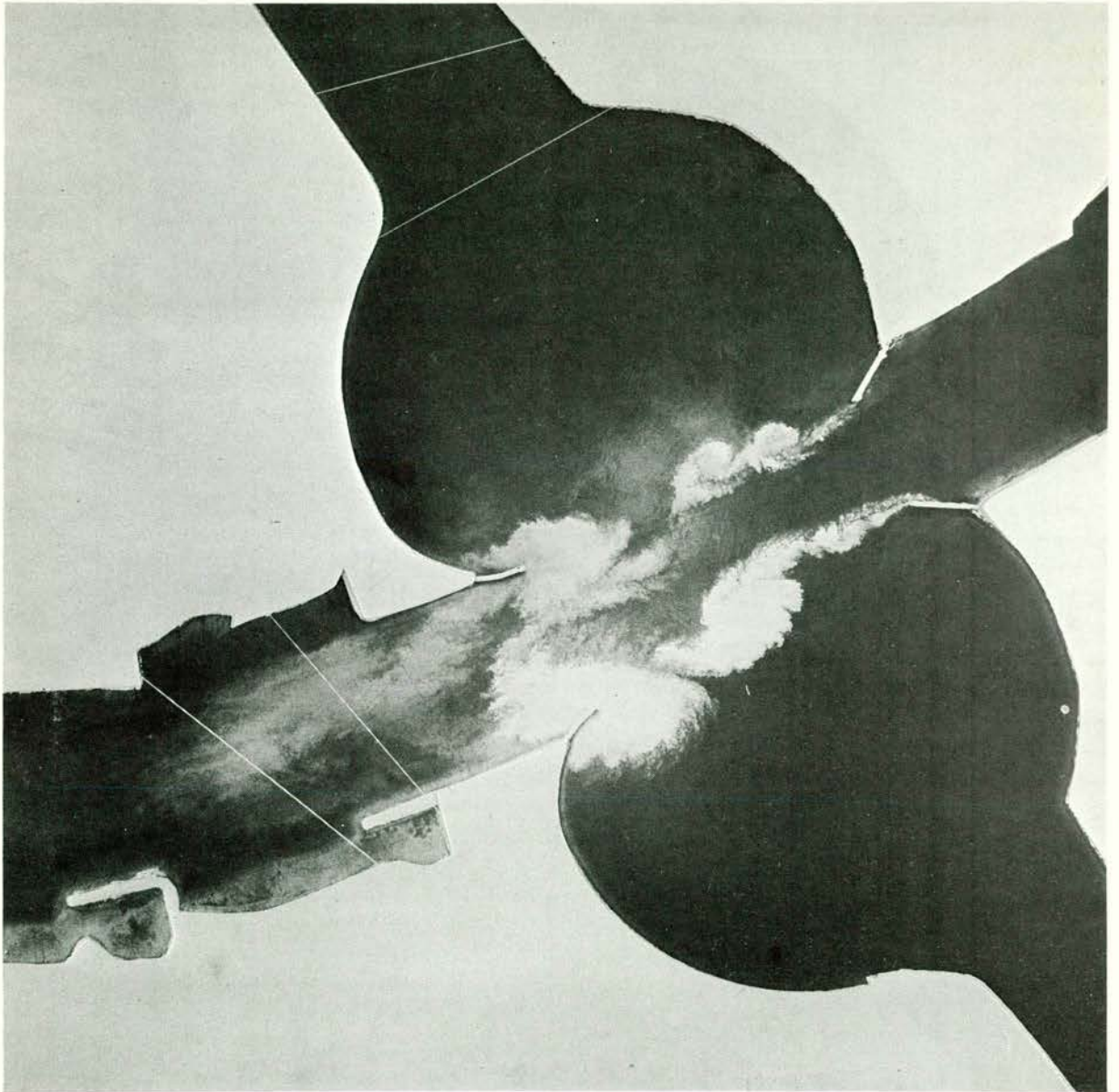


Foto B3. Met kleurstof zichtbaar gemaakte wervelstraat in model M 974 na 24 seconden.

Toestand T0. Afvoer $Q_p = 468 \text{ m}^3/\text{s}$.

Schaal 1 : 5000.

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft