

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Verbetering strandligging te Vlissingen

Verslag modelonderzoek

M 963
Juli 1971

INHOUD

	blz.
<u>1. Overzicht</u>	
1.1. Inleiding	1
1.2. Probleemstelling en situatie	1
1.3. Gegevens	3
1.4. Samenvatting van de resultaten	3
<u>2. Het model</u>	
2.1. Constructie en inrichting	5
2.2. De schalen	6
<u>3. Opzet modelonderzoek</u>	
3.1. Algemeen	10
3.2. Het getij	10
3.3. De golven	11
3.4. Het stroombeeld	14
<u>4. De ijkproeven</u>	
4.1. Algemeen	16
4.2. Golfrichting 218°	17
4.2.1. Inleiding	17
4.2.2. T0-1	18
4.2.3. T0-2	18
4.2.4. T0-3	18
4.2.5. T0-4	19
4.3. Golfrichting 233°	19
4.3.1. Inleiding	19
4.3.2. T0-5	20
4.3.3. T0-6	21
4.3.4. T0-7	22
<u>5. Overzicht van de onderzochte toestanden</u>	23
<u>6. Resultaten modelonderzoek</u>	
6.1. Algemeen	25
6.2. Het Badstrand	25
6.2.1. Toestanden met handhaving van de Nol	25
6.2.2. Toestanden met kleine inkorting van de Nol ..	28
6.2.3. Toestanden met grote inkorting van de Nol....	28
6.3. Het Nollestrand.....	31
6.3.1. Toestanden met handhaving van de Nol	31
6.3.2. Toestanden met kleine inkorting van de Nol ..	32
6.3.3. Toestanden met grote inkorting van de Nol ...	32
6.4. De oever langs de Boulevard Bankert	33
<u>7. Samenvatting en conclusies</u>	35
<u>Literatuur</u>	37

FIGUREN

1. Mond Westerschelde.
2. Situatie met raaiensstelsel.
3. Verschil van diverse peilingen (prototype).
4. Zeefkrommen bodemmateriaal.
5. Overzicht model.
6. Getij en zandtransport.
7. Uitkomsten schaalberekeningen.
8. Refractie van de golven.
9. Golf frequenties Lichtschip Goeree.
10. Frequenties van golfenergie en golfperiode.
11. Frequenties van golfhoogten.
12. T0-1 Strandprofielen.
13. T0-1 Dwarsprofielen.
14. T0-2, T0-3 Strandprofielen.
15. T0-3 Strandprofielen.
16. T0-3 Hoogteverandering Badstrand.
17. T0-3, T0-4 Strandprofielen.
18. T0-4 Strandprofielen.
19. T0-5 Strandprofielen.
20. T0-6 Verschil tussen diverse peilingen.
21. T0-6 Strandprofielen.
22. T0-7 Strandprofielen.
23. T0-7 Strandprofielen.
24. T0-7 Strandprofielen.
25. T0-7 Verschil tussen diverse peilingen.
26. T0-7 Hoogteverandering Badstrand.
27. T0-7 Bepaling van de tijdschaal.
28. T0-7 Verplaatsing van de dieptelijnen.
29. Overzicht onderzochte toestanden.
30. Overzicht onderzochte toestanden.
31. T0-7, T0-8 Hoogteverandering Badstrand.
32. T0-7, T0-8 Hoogteverandering Badstrand.
33. T0-7, T0-8 Hoogteverandering Badstrand.
34. T0-8 Verschilkaarten.
35. T0-7, T0-8 Profielen Badstrand.
36. T1, T2 Hoogteverandering Badstrand.
37. T1, T2 Verschilkaarten.
38. T1, T2 Strandprofielen raai 8.
39. T8, T9 Hoogteverandering Badstrand.
40. T8, T9 Verschilkaarten.

FIGUREN

41. T8, T9 Strandprofielen raai 8.
42. T12 Hoogteverandering Badstrand.
43. T12 Verschilkaarten.
44. T12 Strandprofielen raai 8.
45. T4, T5 Hoogteverandering Badstrand.
46. T4, T5 Verschilkaarten.
47. T4, T5 Strandprofielen raai 8.
48. T3 Hoogteverandering Badstrand.
49. T6, T7 Hoogteverandering Badstrand.
50. T3, T6 Hoogteverandering Badstrand.
51. T3 Verschilkaarten.
52. T6 Verschilkaarten.
53. T6, T7 Verschilkaarten.
54. T3, T6, T7 Strandprofielen raai 8.
55. T10, T11 Hoogteverandering Badstrand.
56. T6, T10, T11 Hoogteverandering Badstrand.
57. T10 Verschilkaarten.
58. T11 Verschilkaarten.
59. T10, T11 Strandprofielen raai 8.
60. T0-7, T0-8 Strandprofielen raai 12a.
61. T0, T1, T2, T8, T9, T12 Hoogteverandering Nollestrand.
62. T8, T9, T12 Hoogteverandering Nollestrand.
63. T4, T5 Hoogteverandering Nollestrand.
64. T3, T6, T10, T11 Hoogteverandering Nollestrand.
65. T10, T11 Hoogteverandering Nollestrand.
66. T0-8 Strandprofielen raaien 3 en 5.
67. T1 Strandprofielen raaien 3 en 5.
68. T2 Strandprofielen raaien 3 en 5.
69. T12 Strandprofielen raaien 3 en 5.
70. T8 Strandprofielen raaien 3 en 5.
71. T9 Strandprofielen raaien 3 en 5.
72. T4 Strandprofielen raaien 3 en 5.
73. T5 Strandprofielen raaien 3 en 5.
74. T3 Strandprofielen raaien 3 en 5.
75. T6, T7 Strandprofielen raaien 3 en 5.
76. T10 Strandprofielen raaien 3 en 5.
77. T11 Strandprofielen raaien 3 en 5.

FOTO'S

1. Stroombeeld T0.
2. Stroombeeld T1.
3. Stroombeeld T8.
4. Stroombeeld T9.
5. Stroombeeld T12.
6. Stroombeeld T4.
7. Stroombeeld T3.
8. Stroombeeld T6.
9. Stroombeeld T10.
10. Stroombeeld T11.

Verbetering strandligging te Vlissingen

1. Overzicht

1.1. Inleiding

Daartoe gemachtigd door de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat heeft de Studiedienst Vlissingen van de Rijkswaterstaat in de brief van 21 juni 1967, no. 1193, aan het Waterloopkundig Laboratorium de opdracht gegeven om een modelonderzoek uit te voeren voor het verkrijgen van aanwijzingen over de te nemen maatregelen ter verbetering van de ligging van het strand te Vlissingen met aangrenzend gebied, waarbij de vormgeving van de zogenaamde Nol een belangrijk punt van onderzoek diende te zijn.

De resultaten van het daartoe verrichte modelonderzoek zijn in dit verslag samengevat. Een verslag van de resultaten van de ijking van het model werd in voorlopige vorm in oktober 1969 aan de opdrachtgever toegezonden.

Het onderzoek vond plaats in het Laboratorium De Voorst en stond onder leiding van ir. W.H. Tutuarima, tevens samensteller van dit verslag.

1.2. Probleemstelling en situatie

De zuid-westkust van Walcheren, ter plaatse van de in de gemeente Vlissingen gelegen Boulevards Bankert en Evertsen (figuren 1 en 2) blijkt niet te voldoen aan de eisen, die de Deltawet aan zeewerende waterkeringen stelt [6]. Uit de peilingen is af te leiden, dat de betreffende oever een natuurlijke neiging tot achteruitgang heeft vertoond. In het algemeen is dit met de oever tegenover Boulevard Bankert in iets mindere mate het geval geweest dan met de oever tegenover Boulevard Evertsen. De achteruitgang van de kust is omstreeks de eeuwwisseling op gang gekomen en heeft tot omstreeks 1950 geduurd. Ter plaatse van de Nol, waar reeds aan het einde van de vorige eeuw begonnen werd met verdediging van de bodem bleef het bovenste deel van de oever vrij stabiel. De bodem vóór de Nol schuurde echter voortdurend uit, waardoor er voor de kop van de Nol een put kon ontstaan met diepten tot soms beneden NAP - 20 m.

Na 1950 is er ongeveer een evenwichtssituatie ontstaan, waarbij de oever zelfs enige neiging tot vooruitgang vertoonde. Bij de oever tegenover Boulevard Bankert zette dit proces zich een paar jaar eerder in dan bij de oever tegenover Boulevard Evertsen. Op laatstgenoemd oevergedeelte werd deze vooruitgang versterkt door het storten van circa 50.000 m³ zand in november 1952, waardoor het strand gemiddeld 1 m omhoog kwam.

Blijkens verrichte metingen [5] was na ongeveer 10 jaar deze ophoging vrijwel geheel verdwenen. Het is niet uitgesloten dat een gedeelte van dit zand onder invloed van de golfwerking in oostelijke richting is getransporteerd. In begin 1966 is nogmaals ruim 30.000 m³ zand op het betreffende strand gespoten. Voor de ontwikkeling van het Badstrand gedurende enkele perioden wordt verwezen naar figuur 3.

De eerder beschreven achteruitgang van de oever, die ook optrad westelijk van het Nollestrand, lijkt samen te hangen met de veranderingen in het ingewikkeld stelsel van geulen en platen in de mond van de Westerschelde. Naar van de opdrachtgever werd vernomen valt het moment waarop de achteruitgang van de oever een aanvang neemt ongeveer samen met het tijdstip waarop de Nolleplaat los raakt van de oever van Walcheren. Deze verbinding bevond zich ongeveer ter hoogte van de toegang tot de Koopmanshaven (zie figuur 1). Het lijkt aannemelijk dat de genoemde morfologische veranderingen verband houden met het opdringen van de geul, hetgeen gepaard is gegaan met het langzamerhand wegvallen van de drempel voor de Sardingeul. De indruk bestaat dat de huidige situatie min of meer als een dynamisch evenwicht kan worden beschreven, echter met een meer landwaarts gelegen positie van de geul dan ten tijde van de eeuwwisseling.

De ongunstige situatie ter plaatse van het Badstrand wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van beide nollen. Vooral de Nol blijkt volledig het doorgaande zandtransport in oostelijke richting te kunnen blokkeren. Dit transport vindt voornamelijk plaats in de brandingszone en kan grotendeels worden toegeschreven aan de bij dominerende winden scheef op de kust invallende golven.

Het gevolg hiervan is geweest dat westelijk van de Nol zich grote hoeveelheden zand konden afzetten, wat later gevolgd is door natuurlijke vorming van een duin, in zodanige mate, dat in de huidige situatie de duintoppen de er achter liggende Nollendijk in hoogte overtreffen. Het verdient aandacht om in dit verband op te merken dat de duinvorming zich zowel in de periode na het leggen van de Nollendijk in 1945, als in de periode na de stormvloed van 1953 heeft gemanifesteerd. Het begin van beide perioden kenmerkt zich, volgens door de opdrachtgever gedane mededelingen, door een magere ligging van het Nollestrand. Uiteraard blijft het mogelijk dat niet al het aangevoerde zand zich op het Nollestrand afzet, maar dat een gedeelte ervan tijdens vloed langs de kop van de Nol verder trekt. De aanwezigheid van een neer, met een langs de oostzijde van de Nol zeewaarts gerichte stroming is er dan echter de oorzaak van dat dit zand het direct oostelijk van de Nol gelegen strand niet kan bereiken. De ligging van dit strandgedeelte wordt tevens nadelig beïnvloed door de ebstroom, die door de Nol vanaf het strand zeewaarts wordt afgebogen en tezamen met de golven een eroderende werking op het strand uitoefent.

Langs de teen van de boulevard wordt een steenrug aangetroffen, waarvan het materiaal vermoedelijk afkomstig is van de oeververdediging voor de kop van de Nol. Het transport van dit materiaal kan echter alleen het gevolg zijn van tijdens stormperioden brekende golven en het daarmee gepaard gaande massatransport van het water in de richting van de kust. Het spreekt vanzelf dat dit transport er toe bijdraagt, dat het stroombeeld op het strand zich totaal kan wijzigen ten opzichte van dat tijdens rustig weer.

Onder deze stormomstandigheden is de waterbeweging zo turbulent, dat het in de richting van de kust meegevoerde zand zich niet afzet, doch in suspensie blijft en met de stroom naar elders wordt afgevoerd.

Tenslotte kan worden vermeld dat als gevolg van refractie en diffractie van de golven, de Nol aan het strand weinig beschutting biedt tegen golven uit westelijke tot zuidwestelijke richting.

1.3. Gegevens

Voor de bouw van het model werden van de opdrachtgever de benodigde tekeningen ontvangen van het betreffende kustgedeelte.

De ontwikkeling van het strand kan worden afgeleid uit de periodieke metingen, die zowel door de Rijkswaterstaat als door de gemeente Vlissingen worden uitgevoerd.

Ten behoeve van de in het model in te stellen debieten, waterstanden en stroomverdelingen is gebruik gemaakt van de metingen in het prototype, die in overleg met het Laboratorium werden verricht. Het betreft hier:

- a. stroommetingen in de vertikaal, verricht in augustus 1967;
- b. drijfvermetingen, verricht in september 1967.

Gegevens betreffende wind, golfhoogte en golfperiode werden ontleend aan een publikatie van het K.N.M.I. [2], en aan de metingen die, of reeds eerder, of ten behoeve van het onderzoek werden gedaan. Een nadere beschouwing over de golven wordt in paragraaf 3.3. gegeven.

Ten behoeve van het onderzoek werden eveneens op enkele plaatsen in het prototype monsters van het bodemmateriaal verzameld. De samenstelling van dit bodemmateriaal werd geanalyseerd. Op figuur 4 wordt voor zowel het bodemmateriaal in het prototype als voor dat in het model (duinzand) de verdeling van de korrelgrootte gegeven.

Opgemerkt moet nog worden dat tijdens het onderzoek door regelmatig contact met de opdrachtgever een vruchtbare uitwisseling van ideeën en inzichten plaats vond.

1.4. Samenvatting van de resultaten

Het op de juiste wijze weergeven van de strandhellingen en van het doorgaande zandtransport in de brandingszone heeft in overwegende mate de keuze van de randvoorwaarden bepaald. De hoogte en de richting van de op de kust invallende golven blijkt daarbij van grote invloed te zijn. De ligging van de geul en de Nolleplaat wordt daarentegen voornamelijk door de stroom bepaald. Om het strand en de morfologische ontwikkelingen daarvan op bevredigende wijze weer te geven was het noodzakelijk dat de oorspronkelijk op 218° ingestelde golfrichting gewijzigd werd in een golfrichting van 233° , en dat in het model van een lage, naar het oosten toe iets afnemende golfhoogte werd gebruik gemaakt. De reproductie van het kustgedeelte langs de Boulevard Bankert tussen het strandhoofd en de spuisluis bleef echter onbevredigend.

Uit het modelonderzoek is gebleken dat de beste voorwaarden voor een verbeterde ligging van het Badstrand worden verkregen indien de Nol over een afstand van ca. 100 m of meer wordt ingekort. Door deze inkorting wordt de bestaande belemmering voor het doorgaande zandtransport langs de kust opgeheven. Een inkorting van 50 m blijkt weinig effect te hebben.

Het toepassen van paalrijen op het Badstrand naast de ingekorte Nol kan de aanzanding op het strand bevorderen, maar bij handhaving van de Nol hebben paalrijen vrijwel geen effect.

Bij een inkorting van de Nol met 100 m zal het Nollestrand een lichte achteruitgang vertonen, wat kan worden voorkomen door hier paalrijen te plaatsen.

Een inkorting van de Nol tot de Nollediijk wordt ontraden in verband met de verwachte sterke erosie van het Nollestrand tijdens stormvloed.

2. Het model

2.1. Constructie en inrichting

Het model bestaat uit een min of meer rechthoekig bassin, waarvan de beide lange zijden gevormd worden door de kust en de zuidwestelijke zeerand (figuur 5). In verband met het discontinue karakter van de kust, werd het voor het onderzoek van belang geacht om behalve het Badstrand, ook een gedeelte van het strand ten westen daarvan in het model op te nemen. In het model is daarom de kust weergegeven vanaf de Koopmanshaven tot aan Strandpaal 12, met een totale lengte van circa 3,5 km. Langs de andere lange zijde ligt op circa 1 km uit de kust de zeerand, waar in het model de golfmachines staan opgesteld. Met deze machines kunnen golven van verschillende hoogten en frequenties worden ingesteld. Vóór de machines is een uit steengaas bestaande filterconstructie aangebracht, om de van de kust gereflecteerde golven zoveel mogelijk te dempen. De korte zijden van het model staan ongeveer loodrecht op de kust en zijn uitgevoerd als houten roosterwerken. Met deze roosterwerken is het mogelijk om een juiste verdeling van de stroom in een raai loodrecht op de kust in te stellen. Ten behoeve van een juiste stroomrichting was het nodig om van richtschotten gebruik te maken, die aan de buitenzijde van het model voor de roosterwerken werden geplaatst.

Het model is langs de korte zijde aangesloten op de modelsloten. Benedenstrooms van deze sloten bevinden zich kleppen waarmee de waterstand kan worden geregeld. Bovenstrooms komen deze sloten samen in een verdeelinrichting die voorzien is van schuiven. Door afwisselend een klep en een schuif te sluiten wordt òf een eb òf een vloedstroom ingesteld. De verdeelinrichting is met een meetstuw (type Romijn) op de aanvoertocht aangesloten. De meetstuw is zodanig geautomatiseerd dat bij wisselende waterstanden in de aanvoertocht steeds het gewenste constante debiet wordt ingelaten.

De strandhoofden en de Nol zijn in het model in beton uitgevoerd, met een ruw oppervlak. De hoogwaterkering langs de kust was in eerste instantie ook op schaal in beton weergegeven. Als gevolg van de samentrekking van het model werden de taluds hiervan echter tamelijk steil, waardoor een ontoelaatbare golfreflectie in het model optrad. Om dit probleem te ondervangen is de betonconstructie later vervangen door steengaas, dat bevestigd is aan loodrecht op de kust staande houten schotjes, waarvan de voorkanten samenvallen met het talud van de hoogwaterkering. De ruimte tussen de schotjes werd voor een gedeelte met grof grind opgevuld.

De bodem van het model bestaat uit duinzand en strekt zich uit van de teen van de hoogwaterkering tot aan de betonvloer waarop de golfmachines staan. Door de grote variaties in diepte langs de zuidwestelijke zeerand moest de hoogte van deze vloer worden geschematiseerd. De twee oostelijke golfmachines staan daarbij op een diepte overeenkomend met NAP - 10,5 m, de resterende, westelijk daarvan, op een diepte overeenkomend met NAP - 6,0 m.

In verband met de kromming van de stroomlijnen is in het model ter hoogte van de Nol kunstmatige ruwheid aangebracht. Deze ruwheid strekt zich uit over de volle breedte van het model en wordt gevormd door staafjes betonijzer $\varnothing$ 10 mm, die op regelmatige afstand in de zandbodem zijn geplaatst en boven de waterspiegel uitsteken.

Voor de plaatsbepaling in het model is gebruik gemaakt van het in werkelijkheid aanwezige raaienstelsel gevormd door de beide hoofdraaien door achtereenvolgens de punten W 36 - W 37 en W 38 - W 39, en de daarop loodrecht staande lodingsraaien (figuur 2).

2.2. De schalen

Onder de schaal n van de grootheid A wordt in dit verslag verstaan het quotiënt van de waarde van A in werkelijkheid en in model:

$$n_A = \frac{A_{\text{prototype}}}{A_{\text{model}}}$$

De keuze van de geometrische schalen wordt enerzijds bepaald door de eis om een betrouwbare reproductie van de in werkelijkheid optredende verschijnselen te verkrijgen, anderzijds speelt de wens om nog voldoende nauwkeurig te kunnen meten en toch de afmetingen van het model enigszins te beperken een belangrijke rol. De reproductie in het model van de in werkelijkheid optredende verschijnselen wordt, behalve door de geometrische schalen, in grote mate beheerst door de schalen voor de beweging van het water en het bodemmateriaal. Het verband tussen deze schalen kan in een aantal schaalwetten worden weergegeven.

Voor het bodemmateriaal is duinzand gekozen op grond van de verwachting dat hiermee een goede reproductie van de ligging van het strand en de zeebodem kan worden bereikt.

In verband met de ervaring, verkregen bij eerder verrichte soortgelijke onderzoeken, dat met duinzand in het model strandhellingen werden gevonden van circa 1 : 8, was het voor een juiste reproductie van de flauwer gelegen hellingen van het prototype nodig, dat de horizontale en verticale afmetingen van het model een van elkaar verschillende schaal kregen. Omdat de strandhellingen in werkelijkheid circa 1 : 25 zijn, was een samentrekking met een waarde van circa 3 gewenst. Daar het onderzoek sterk gericht is op veranderingen van de bodemligging in het vrij ondiepe gedeelte van de kust moeten de verticale afmetingen van het model in verband met de nauwkeurigheid der metingen niet te klein zijn. Gekozen werden de volgende schalen:

$$\text{horizontaal: } n_l = 100$$

$$\text{vertikaal : } n_d = 30.$$

Met deze horizontale schaal kon het af te beelden gebied in een beschikbaar modelbassin in het Laboratorium worden ondergebracht, terwijl bij de gekozen verticale schaal de stroming in het model nog voldoende turbulent is.

Om de bodemruwheid goed weer te geven, moet worden voldaan aan de schaalwet:

$$n_C = \sqrt{n/n_d} = 1,83$$

waarin C = coëfficiënt van Chézy.

Een goede weergave van de bodemruwheid is vooral van belang in dat gedeelte van het model waar de stroomlijnen gekromd zijn. Met name is dit het geval in de omgeving van de Nol.

Om de refractie in het model weer te geven moeten de schalen voor de golfperiode en de golflengte aan de volgende voorwaarden voldoen:

$$\text{golfperiode: } n_T = \sqrt{n_d} = 5,5$$

$$\text{golflengte: } n_L = n_d = 30.$$

Doordat de horizontale en de verticale schaal niet aan elkaar gelijk zijn worden de diffractie en de reflectie niet goed weergegeven. De samen-trekking heeft tot gevolg, dat de reeds vrij steile hellingen van het betreffende kustgedeelte, in het model ruim drie maal steiler worden weergegeven, waardoor de reflectie in het model te groot is. Tijdens het onderzoek werd hieraan tegemoet gekomen zoals is beschreven in paragraaf 2.1.

Bij de keuze van de schalen voor de stroomsnelheid (n_v) en de golfhoogte (n_H) moet worden voldaan aan de voorwaarde, dat het voor een juiste reproductie van de zandbeweging in het model noodzakelijk is om een voor het gehele model constante waarde van de transportschaal (n_S) te verkrijgen. Hierbij is gebruik gemaakt van de in [1] ontwikkelde formule, die het transport onder invloed van de gecombineerde werking van stroom en golven als volgt aangeeft:

$$S = b D \frac{v}{C} g^{\frac{1}{2}} \exp \left[-0,27 \frac{\Delta D C^2}{\mu v^2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_o}{v} \right)^2 \right)} \right]$$

waarin: S = bodemtransport
 b = coëfficiënt
 D = gemiddelde korreldiameter van het bodemmateriaal
 v = stroomsnelheid
 C = coëfficiënt van Chézy
 Δ = relatieve dichtheid van het bodemmateriaal
 μ = ribbelfactor
 ξ = parameter, voornamelijk een functie van C
 u_o = grootste waarde van de orbitale snelheid aan de bodem
 exp[a] = e^a .

Door de transportschaal te schrijven als het quotiënt van de waarde van het transport in het prototype en de waarde van het transport in het model, en de voorwaarde te stellen dat deze schaal invariant is, kunnen de volgende schaalregels worden afgeleid:

$$n_v = (n_\Delta n_D / n_\mu)^{1/2} \cdot n_C$$

$$n_{u_o} = (n_\Delta n_D / n_\mu)^{1/2}$$

$$\frac{n_{u_o} \cdot n_C}{n_v} = 1$$

Met behulp van deze relaties kunnen de randvoorwaarden voor het model globaal worden vastgesteld, doch deze dienen daarna te worden getoetst en eventueel gewijzigd door de morfologische ontwikkelingen in het model en in het prototype met elkaar te vergelijken.

Door substitutie van de betreffende grootheden volgt uit de eerstgenoemde schaalrelatie een waarde voor de zogenaamde ideale snelheidsschaal $n_v = 1,7$. In het algemeen is deze snelheidsschaal onbruikbaar, daar hierdoor veel te grote stroomsnelheden in het model optreden.

Het verband tussen de schaal voor de orbitale snelheid u_o en de schaal voor de golfhoogte H volgt uit de formule voor de maximale orbitale snelheid aan de bodem

$$u_o = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh 2 \pi d/L}$$

Hieruit volgt dat:

$$n_{u_o} = \frac{n_H}{n_T}, \text{ of } n_H = 5,5 n_{u_o}$$

De tijdschaal voor de veranderingen van de bodemligging is proefondervindelijk bepaald. Theoretisch moet deze tijdschaal aan het volgende verband voldoen:

$$n_t = \frac{n_l \cdot n_d}{n_s}$$

Het is echter moeilijk om de absolute grootte van ng te bepalen, voor al omdat deze betrekking heeft op de schaal van het resulterende transport van de vloed- en de ebstroom tezamen. De berekende waarde van deze schaal zal in het algemeen afwijken van de afzonderlijke waarden voor de transport-schaal in achtereenvolgens de vloed- en de ebrichting, die zelf niet aan elkaar gelijk hoeven te zijn. Uiteraard is het wel vereist dat de verhoudingen tussen het eb- en het vloedtransport gedurende een getijcyclus in model en prototype aan elkaar gelijk zijn.

3. Opzet modelonderzoek

3.1. Algemeen

Het onderzoek richt zich op de bestudering van de bestaande toestand en op de te nemen maatregelen om deze toestand te verbeteren. Uit het model worden daarbij gegevens verlangd die betrekking hebben op de ligging van het strand en de geul, en op het stroombeeld.

In het prototype staan de bodem en het stroombeeld bloot aan de invloeden van het getij en de golfbeweging, beide factoren die aan grote variaties onderhevig zijn.

Het zal duidelijk zijn dat een volledig natuurgetrouwe weergave van de in de natuur optredende verschijnselen in het model niet mogelijk is. Gesteld moet echter worden dat dit binnen het kader van het onderzoek ook niet nodig is, daar het immers gaat om het verkrijgen van gegevens over ontwikkelingen op lange termijn. Bepaalde fluctuaties in deze ontwikkelingen, tengevolge van stormperiodes, hoeven en kunnen ook niet in een dergelijk model worden weergegeven. In het model kan daarom worden volstaan met de in werkelijkheid optredende golven en stromingen sterk geschematiseerd weer te geven, zodanig, dat de lang-periodieke ontwikkelingen zo goed mogelijk worden weergegeven.

3.2. Het getij

De ligging van de geul en van het strand wordt beïnvloed door het getij en de golfbeweging. Voor de diep gelegen bodem heeft de waterstand weinig invloed op de beweging van het materiaal, het minder diep gelegen strand ondervindt die invloed echter wel.

Aan de in het model toe te passen schematisatie van de verschijnselen kan de eis gesteld worden, dat het een voor de bodembeweging representatieve combinatie moet zijn van stroom en golven. Dit hoeft niet de combinatie van de gemiddelde stroom en de gemiddelde golf te zijn, maar wel die combinatie, die het gemiddelde zandtransport over langere tijd veroorzaakt. De tijdens de ijkproeven uiteindelijk bereikte schematisatie is het resultaat van zowel vooraf berekende voorwaarden, als van empirisch uit de modelproeven gebleken resultaten.

Het getij is geschematiseerd tot een permanente stroom, zowel in eb- als in vloedrichting, beide met een constante waterstand. Voor de uiteindelijk gekozen schematisatie is daaraan een stroomloze fase toegevoegd, waarbij alleen de golven werkzaam zijn (paragraaf 4.3.).

Bij het vaststellen van het schema is gebruik gemaakt van de in paragraaf 2.2. genoemde formule voor het zandtransport onder invloed van golven en stroom. Op grond van de in augustus 1967 verrichte stroommetingen in het prototype is het transport als functie van de fase van het getij berekend.

Hierbij is een maatgevende golf voor het bodemtransport aangenomen met een hoogte van 0,90 m en een periode van 6 s. Door dit transport vervolgens over de vloed- en ebperiode afzonderlijk te integreren en op elkaar te delen is de transportverhouding te berekenen. In figuur 6 is het resultaat van de berekening voor de meting in punt C van het prototype gegeven (zie figuur 2). Duidelijk blijkt dat bij de kleinere stroomsnelheden het transport te verwaarlozen is. Uit de berekeningen volgt dat er in de geul langs de kust per getij een resulterend transport is in ebrichting. Dit stemt overeen met de ter plaatse van de Galgeput (figuur 1) waargenomen aanzandingen en uit eerder verrichte onderzoeken. Daar het hier slechts een incidentele stroommeting betreft, de maatgevende golfbeweging voor het bodemtransport niet bekend is en bovendien de toegepaste formule nog een tamelijk gebrekkig karakter vertoont, kan aan de berekende uitkomsten geen grote kwantitatieve waarde worden toegekend.

Om zo goed mogelijk te voldoen aan de eis, dat de transportschaal n_s voor het gehele model constant is, is voor een aantal meetpunten de variatie van n_s berekend als functie van de schaal van de stroomsnelheden n_v en van de schaal van de orbitale snelheden n_o . De berekeningen zijn uitgevoerd voor de fasen van het getij met maximale stroomsnelheid, wanneer het materiaaltransport het grootste is (figuur 7). Hoewel de berekeningen slechts een globaal karakter hebben door de onzekerheden in een aantal noodzakelijk aannamen, blijkt dat de keuze van de schaal van de orbitale snelheden van tamelijk ondergeschikt belang is. Verder wordt aangetoond, dat aan de gestelde eis van een constante transportschaal het beste wordt voldaan, als de schaal van de stroomsnelheden een relatief kleine waarde heeft.

Opgemerkt moet worden, dat de berekeningen betrekking hebben op meetpunten op tamelijk diep water, waar het materiaaltransport hoofdzakelijk wordt bepaald door de getijstromen. De invloed van de golven op het transport is hier niet groot, zodat ook verwacht mag worden, dat de keuze van de schaal van de orbitale snelheden weinig kritisch is. Voor het onderhavige onderzoek naar de ontwikkeling van de stranden is het zandtransport in de brandingszone echter van overwegend belang. Dit transport wordt vrijwel geheel bepaald door de golven, zodat voor het modelonderzoek de keuze van de schaal van de orbitale snelheid, en daarmee van de in te stellen golf in het model, veel belangrijker is dan uit de berekeningen zou volgen.

Uitgaande van een voor eb en vloed gelijk debiet in het model, hetgeen bedrijfstechnisch aantrekkelijk was, kon op grond van de berekeningen het getij geschematiseerd worden tot een permanente stroom in eb- en vloedrichting, waarvan de duren zich verhouden als 1,0 : 1,6. Hierbij werd rekening gehouden met het in ebrichting te reproduceren resulterende transport en het uit de berekeningen volgende verschil in de transportschaal voor de eb- en de vloedrichting.

3.3. De golven

Het onregelmatige golfbeeld in het prototype, dat bovendien varieert met de tijd, diende in het model te worden geschematiseerd tot een golf met constante richting, periode en hoogte.

Ter bepaling van de in te stellen golfrichting zijn enige refractieberekeningen uitgevoerd. Door de aanwezigheid van het uitgebreide stelsel banken en geulen en de invloed van de stroom en de lokale wind op de richtingsveranderingen van de golven, is een nauwkeurige refractieberekening niet goed uitvoerbaar. Ter plaatse van de Sardingeul blijkt de ondiepte van de Nolleplaat tot gevolg te hebben dat de golven uit zuidwestelijke richtingen aanzienlijk kunnen bijbuigen. In het oostelijk deel van het modelgebied is daarbij de voortplantingsrichting van de golven iets meer oostelijk dan in het westelijk deel.

De refractieberekeningen zijn uitgevoerd voor een golfperiode $T = 8$ s met een aanvangsrichting van 250° op betrekkelijk diep water in de mond van de Westerschelde en voor een golfperiode $T = 6$ s met aanvangsrichtingen van 250° en 270° . De resultaten zijn weergegeven in figuur 8.

De eerste proeven werden verricht met een golfrichting van 218° ter plaatse van de modelrand. Later werd de richting veranderd in 233° . In beide gevallen was om modeltechnische redenen de ingestelde golfrichting langs de gehele modelrand gelijk.

Omdat het onderzoek zich richt op morfologische veranderingen op lange termijn, kon niet worden uitgegaan van de ter plaatse van de boulevards verichte golfwaarnemingen. Deze hebben namelijk alleen betrekking op omstandigheden waarbij de windsterkte een bepaalde waarde overschrijdt. Er is dus sprake van een zekere selectie, die tot gevolg heeft dat de waarnemingen voor een onderzoek naar optredende frequenties ongeschikt zijn.

Om deze reden is gebruik gemaakt van de golfwaarnemingen op het lichtschip Goeree [2]. De positie van dit schip is $51^\circ 54'$ N.B. en $3^\circ 38'$ O.L., (overeenkomend met de coördinaten $x = -118700$ en $y = -23750$), de gemiddelde waterdiepte bedraagt aldaar 22 m en de afstand tot de kust is ongeveer 15 km. Hoewel de plaats van deze waarnemingen enige afstand van de mond van de Westerschelde verwijderd is, mag in verband met de vrij grote waterdiepte worden aangenomen, dat de waargenomen frequenties van de golfhoogten en golfperioden weinig zullen verschillen van die voor de mond van de Westerschelde.

Uit de waarnemingen zijn zowel voor de golfhoogte als voor de golfperiode frequentieverdelingen per windrichting samengesteld (figuur 9). Met behulp van deze frequentieverdelingen en de frequentie van het aantal waarnemingen per richting, kan een frequentieverdeling van de golfenergie per windrichting worden berekend. Er is hierbij van uitgegaan dat de totale golfenergie evenredig is met H^2T (H = golfhoogte, T = golfperiode). Uit de grafiek blijkt dat de oostelijke component tussen de richtingen 30° en 210° vrijwel te verwaarlozen is ten opzichte van de component westelijk van deze richtingen. De resulterende richting voor de sector $210^\circ - 30^\circ$ bedraagt 291° . In verband met de oriëntatie van de kust, die in de figuur met de richting van de hoofdraai H.R. is aangeduid, is de sector tussen 210° en 300° voor het onderzoek het meest van belang. De vectorisch bepaalde resulterende energierichting voor deze sector bedraagt 256° .

Voor de eerder vermelde refractieberekeningen lijkt dus van de gekozen uitgangsrichtingen van 250° en 270° de eerstgenoemde het meest maatgevend.

De ingestelde golfperiode was aanvankelijk gebaseerd op een geschatte maatgevende periode van 8 seconden in het prototype. Deze schatting berustte op de ervaringen die met modelonderzoekingen voor de havens van IJmuiden en Scheveningen waren opgedaan. Later is de periode gewijzigd in 6 seconden. Vermoedelijk is deze periode meer maatgevend voor de ontwikkeling van het strand. In deze richting wijzen ook de plaatselijke golfmetingen waarbij zelfs tijdens een behoorlijke storm uit westelijke tot zuidwestelijke richting, de gemiddelde golfperiode kleiner dan 8 seconden bleef.

Uitgaande van de golfwaarnemingen van het lichtschip Goeree kan voor elke windrichting een frequentieverdeling van de golfenergie per periode-interval worden berekend. Voor de richtingssectoren van 225° tot 255° en van 255° tot 285° volgt op grond van deze energieverdeling een maatgevende periode op zee van 6 à 7 seconden (figuur 10). Uit de frequentieverdeling van de waargenomen golfperiode blijkt dat een periode tussen 5 en 7 seconden het meest frequent optreedt. Een onderzoek naar de invloed van golven op de mond van het Haringvliet, waarbij van dezelfde golfwaarnemingen is gebruik gemaakt, toont aan dat voor het energietransport van golven uit de richting west (270°) een representatieve golfperiode van 6 seconden is toe te passen [7].

Uit de waargenomen golfhoogten bij het lichtschip Goeree blijkt dat een golfhoogte van 1 m het meest frequent optreedt (figuur 11). Voor zowel de richtingssector $225^\circ - 255^\circ$ als voor $255^\circ - 285^\circ$ volgt dat de significante golfhoogte H_s voor 70 % van het aantal waarnemingen kleiner is dan 1,5 m.

Aannemende dat de golfenergie evenredig is met het kwadraat van de golfhoogte (H^2), kan de gemiddelde significante golfhoogte voor een aantal gevallen berekend worden uit:

$$\bar{H}_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2 / n}$$

waarin n het aantal waargenomen golven is.

Op deze wijze volgt voor alle waargenomen golven dat $\bar{H}_s = 1,45$ m. Voor de richtingsintervallen $225^\circ - 255^\circ$ en $255^\circ - 285^\circ$ is de gemiddelde golfhoogte achtereenvolgens 1,66 m en 1,64 m terwijl voor dezelfde intervallen, maar dan binnen het golfperiode-interval $5 \text{ sec} < T < 7 \text{ sec}$, de gemiddelde golfhoogte achtereenvolgens 1,61 m en 1,47 m is.

Ten aanzien van de golfgegevens van het lichtschip Goeree dient vermeld te worden dat deze op visuele waarnemingen berusten, en dat daarom de nauwkeurigheid in het algemeen niet groot kan zijn.

Een vergelijking van deze golfgegevens met de met datum en tijdstip overeenkomende golfmetingen op het booreiland Triton (coördinaten: $x = -84197$ en $y = -7680$, diepte 15 m), toont aan dat de schattingen van de golfhoogte op het lichtschip Goeree in het algemeen grotere waarden opleveren dan de registraties op het booreiland [4].

In verband met de positie van beide waarnemingsstations lijkt het gerechtvaardigd om van beide waarnemingsstations vrijwel dezelfde uitkomsten te mogen verwachten. Er kan daarom gesteld worden dat de golfgegevens van het lichtschip Goeree in het algemeen te hoge waarden zullen weergeven. In verband daarmee mogen de voor het lichtschip Goeree berekende waarden met de in [4] gegeven correlaties worden gereduceerd. Dit betekent dat voor het geval alle waargenomen golven worden beschouwd, de gemiddelde golfhoogte volgens $H_{\text{Triton}} = 0,67 H_{\text{Goeree}} + 0,22$ van $\bar{H}_s = 1,45$ m wordt verkleind tot $\bar{H}_s = 1,19$ m. Op overeenkomstige wijze wordt volgens $H_{\text{Triton}} = 0,59 H_{\text{Goeree}} + 0,23$ m voor de richtingssector van 230° tot 250° de gemiddelde golfhoogte $\bar{H}_s = 1,66$ m verkleind tot $\bar{H}_s = 1,21$ m.

Op grond van de eerder vermelde refractieberekeningen mag verwacht worden dat de golfhoogte langs de zuidwestelijke rand van het model ongeveer 80 % bedraagt van de golfhoogte voor de mond van de Westerschelde. Dit resulteert dus in een maatgevende H_s van 0,90 à 1,00 m langs de rand van het model.

Met betrekking tot de ligging van het strand blijft nu echter nog de vraag open of van een in een groep groot aantal in hoogte wisselende golven de significante golfhoogte H_s (= gemiddelde van het hoogste derde deel) wel de maatgevende golfhoogte is. De bepaling van de in het model toe te passen golfhoogte is ook hierdoor een moeilijke zaak. Zoals eerder vermeld werd, is voor de maatgevende golfhoogte in eerste instantie gedacht aan een hoogte van 0,90 m ter plaatse van de rand van het model. In de loop van het onderzoek bleek evenwel dat vermoedelijk beter uitgegaan kan worden van $H_{r.m.s.}$ als maatgevende golfhoogte. ($H_{r.m.s.}$ = de wortel uit het gemiddelde van de gekwadrateerde golfhoogte; r.m.s. is de afkorting van "root mean square"). Aannemende dat de golfhoogten zich volgens de Rayleigh-verdeling laten kenmerken volgt hieruit dat $H_{r.m.s.} \approx 0,7 H_s$.

3.4. Het stroombeeld

Op grond van de in paragraaf 3.2. vermelde beschouwing werd het stroombeeld in het model geijkt op omstandigheden met maximum eb en maximum vloed. Hierbij werd gebruik gemaakt van de in het prototype verrichte stroom- en drijvermetingen. Met behulp van deze metingen werd de stroomverdeling in een aantal dwarsprofielen ingesteld. Binnen de begrenzing van het model volgde uit de meting in raai II (figuur 2) een maximum ebdebiet van $9600 \text{ m}^3/\text{s}$ en een maximum vloeddebiet van $10.600 \text{ m}^3/\text{s}$. De erbij behorende waterstanden waren achtereenvolgens NAP + 0,90 m en NAP + 1,60 m.

Om in het gebied tegenover de Nol aan de stroombanen voldoende kromming te geven, was het nodig de plaatselijke weerstand kunstmatig te vergroten. Dat werd bereikt door in dit gebied op regelmatige afstand staafjes betonijzer in de bodem te plaatsen, zodanig dat door het extra energieverlies de gewenste ruwheidsvergroting verkregen werd. Om dwarsstroming in het model te vermijden was het noodzakelijk dat de staafjes over de hele breedte van het model - van de kust tot de golffilters - werden geplaatst.

Het stroombeeld op het strand ondervond in het model veel invloed van de door de golven op het strand opgewekte stromingen. Deze stromingen zijn het gevolg van het massatransport van golven in de richting van de kust. Omdat de golfhoogte ten opzichte van de verticale afmetingen van het model in vele proeven relatief groot is, is de invloed van dit massatransport vergeleken met het prototype wat overdreven. Tijdens eb was het stroombeeld op het Badstrand in redelijke overeenstemming met de werkelijkheid. Het was echter moeilijk om tijdens vloed de neer op het strand te reproduceren. In het model bleek dat tijdens vloed het stroombeeld op het strand gevoelig was voor zowel de hoogte als de richting van de invallende golven. Op de reproductie van de morfologische veranderingen had dit een grote invloed (zie paragraaf 4.3.3.). Bij afwezigheid van golven was er goede overeenstemming met het prototype. Wellicht ten overvloede zij vermeld dat de drijfvermetingen in het prototype bij rustig weer zijn uitgevoerd en dat voor een goede weergave van de stromingstoestand bij aanwezigheid van golven met enige omvang voldoende gegevens ontbreken.

4. De ijkproeven

4.1. Algemeen

In het eerste deel van het onderzoek is voornamelijk aandacht besteed aan een zo goed mogelijke weergave van de strandhellingen, en wel langs een zo groot mogelijk gedeelte van de kust. Later werd hiernaast ook aandacht besteed aan de juiste verhoudingen van de morfologische veranderingen in de op-éénvolgende kustvakken, met name ter plaatse van het Badstrand. Er is hierbij gebruik gemaakt van de regelmatig in het prototype uitgevoerde lodingen, waarvan de uitkomsten in de loop van het onderzoek door de opdrachtgever werden toegezonden. Op figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de raaien die gebruikt zijn om het model met het prototype te vergelijken.

De bodemligging in het model is gebaseerd op de lodingen die in de zomer van 1967 zijn uitgevoerd. De hoogte van het Badstrand kan niet volledig uit deze meting worden afgeleid. Daarom is daarnaast gebruik gemaakt van de lodingen van maart 1966.

De toegepaste randvoorwaarden zijn met betrekking tot de golfrichting aan de rand van het model in twee groepen te onderscheiden. Bij de eerste groep was de ingestelde richting 218° , bij de tweede groep 233° .

De duurverhoudingen van de eb- en de vloedstroom in het model zijn bij beide groepen gelijk. Daar het om modeltechnische redenen niet goed mogelijk is, dat de absolute grootte van een stroomperiode veel korter is dan 15 minuten, werd voor de ebduur en de vloedduur achtereenvolgens 15 minuten en 24 minuten gekozen (zie paragraaf 3.2.). De relatief korte lengte van deze duren heeft het voordeel dat het strand onder invloed komt te staan van vrij snel wisselende omstandigheden.

Bij de toegepaste randvoorwaarden, waarvan tabel 1 een overzicht geeft, is ondervonden dat de ligging van de geul en de Nolleplaat redelijk goed werd geproduceerd. Hieruit blijkt dat de golfrichting en de grootte van de golfhoogte in het model van weinig invloed is geweest voor de reproductie van de dieper gelegen bodem, hetgeen met betrekking tot de golfhoogte in goede overeenstemming is met de uitkomsten van de eerder vermelde berekeningen (paragraaf 3.2., figuur 7). Voor de ligging van het strand waren de richting en de hoogte van de golven echter wel van grote invloed. Dit heeft dan ook in hoofdzaak de keuze van de toe te passen randvoorwaarden bepaald. In verband hiermede zal in het volgende de meeste aandacht besteed worden aan de weergave van de ondiep gelegen bodem langs de kust. Hoewel het aantal verrichte proeven groter is, zal hier alleen worden ingegaan op de meest kenmerkende situaties.

Toestand	Golven			Model debieten		Waterstanden t.o.v. NAP		
	Richting t.o.v. N	Hoogte (cm model)	Periode (seconde prototype)	Eb (l/s)	Vloed (l/s)	Eb (cm)	Vloed (cm)	Q = 0 *)
T0-1	218°	6,5	5,8	1350	1350	+90	+160	
T0-2	218°	6	5,8	1250	1250	+90	+160	
T0-3	218°	6	5,8	1250	1060	+90	- 25	
T0-4	218°	4 en 3	5,8	1250	1060	+90	- 25	
T0-5	233°	5	5,8	1250	1060	+90	- 25	
T0-6	233°	4,5	5,8	1150	1070	+50	+ 25	x
T0-7	233°	2,5 en 3	5,8	1150	1070	+50	+ 25	x

Tabel 1 Overzicht randvoorwaarden.

*) Dit betreft een stroomloze fase met uitsluitend golven.

4.2. Golfrichting 218°

4.2.1. Inleiding

De gekozen golfrichting aan de rand van het model volgt uit de eerder vermelde refractieberekeningen voor een golfperiode $T = 8$ s met een aanvangsrichting van 250° op diep water en berust op een middeling van de richting van de golfkam langs de gehele rand.

Bij de eerste proeven, uitgaande van een golfperiode $T = 8$ s (in model 1,49 s), bleek dat als gevolg van de sterke reflecties tegen de steile wanden van de hoogwaterkering, voor het strand geen juiste ligging kon worden bereikt. Het strand werd daarbij doorgaans te laag weergegeven, terwijl plaatselijk grote onregelmatigheden voorkwamen. Dit kon voor een deel worden onderhouden door het effect van de reflecties te onderdrukken. Hiertoe werden de oorspronkelijk van beton gemaakte wanden vervangen door wanden van steengaas, waarachter grind was gestort. Met de erop volgende proeven werden echter de strandhellingen te steil weergegeven, zodat al spoedig besloten werd de golfperiode van 1,49 s te verlagen tot 1,05 s, overeenkomend met een periode van 5,8 s in werkelijkheid. Vermoedelijk is deze golfperiode ook meer maatgevend voor de ontwikkeling van het strand (zie paragraaf 3.3.). De uitkomsten van de refractieberekeningen voor golven met een periode van 6 s, gaven geen aanleiding om de golfrichting aan de rand van het model te wijzigen (figuur 8).

4.2.2. T0-1

Op grond van de in paragraaf 2.2. genoemde schaalverhoudingen is berekend dat de ideale snelheidsschaal voor de stroom ongeveer een waarde $n_v = 1,7$ moet hebben. Daar dit in het model tot zeer grote stroomsnelheden leidt, die een te grote verhangversterking en ontoelaatbare uitschuringen tot gevolg hebben, moet hiervan worden afgeweken.

Om een goed materiaaltransport en een redelijk invariabele transportschaal te verkrijgen werd voor het horizontale getij een debiet van 1350 l/s gekozen. Dit komt overeen met een snelheidsschaal voor vloed van $n_v = 2,6$ en voor eb van $n_v = 2,4$, geldend voor omstandigheden met maximale stroomsnelheid in het prototype. Met toepassing van een golfhoogte van 6,5 cm en een golfperiode van 1,05 sec werd zowel het westelijk strand als het Badstrand te laag weergegeven (figuur 12). De geul en de vooroever werden redelijk gereproduceerd, met uitzondering van het gedeelte westelijk van de Westnol, waar de vooroever werd uitgebouwd. (figuur 13)

4.2.3. T0-2

Daar het niet uitgesloten was dat de vrij hoge stroomsnelheden, die in T0-1 sterke vervormingen van golfrichting en golfhoogte tot gevolg hadden, de oorzaak waren van de onvolkomenheden in het model, werd het debiet verlaagd tot 1250 l/s, hetgeen overeenkomt met een snelheidsschaal voor vloed van $n_v = 2,8$ en voor eb van $n_v = 2,6$. De proef werd uitgevoerd met een golfhoogte van 6 cm. Enerzijds leek nu een betere verhouding tussen de schalen voor de stroomsnelheid, de orbitale snelheid en de ruwheid te worden bereikt, anderzijds werd hiermee minder goed voldaan aan de berekende voorwaarde voor een constante waarde van de transportschaal in het gehele model (figuur 7). In het model was het effect van de gewijzigde randvoorwaarden echter niet groot en kwamen de resultaten vrijwel met die van T0-1 overeen; ten westen van de Westnol werd het bovenste deel van het strand geërodeerd, hetgeen gepaard ging met een uitbouw van de vooroever (figuur 14).

4.2.4. T0-3

De voortdurende aantasting van het strand in T0-1 en T0-2 gaf aanleiding om de vloedwaterstand van NAP + 1,60 m te verlagen tot NAP - 0,25 m. Verwacht werd dat door de lagere waterstand de aantasting van het hoger gelegen strand zou afnemen.

Om dezelfde stroomsnelheden in de vloedrichting te behouden werd het vloeddebiet evenredig met het verminderde doorstromingsprofiel in het model verlaagd tot 1060 l/s. Het debiet bij eb bleef gelijk aan 1250 l/s en ook de waterstand werd ongewijzigd aangehouden op NAP + 0,90 m.

De snelheidsschaal bleef dus ongewijzigd. Dit was eveneens met de golfhoogte $H = 6$ cm het geval.

Met deze randvoorwaarden bleek dat de vooroever van het westelijke strand minder werd uitgebouwd dan in T0-2 (figuur 14). De hoogteligging van het strand kwam echter nog niet op bevredigende wijze met het prototype overeen, vooral direct ten westen van het Nollestrand (raai 15c) en bij het oostelijke gedeelte van het Badstrand ter hoogte van raai 7 (figuren 14 en 15). Hoewel het Badstrand te laag werd weergegeven, kwam de helling ervan redelijk overeen met die in het prototype. Bij dezelfde randvoorwaarden is nagegaan in hoeverre de erosie van het Badstrand goed wordt weergegeven, nadat hier een ophoging heeft plaatsgevonden zoals in 1952 in het prototype. De resultaten van de modelproeven zijn tezamen met de prototypemetingen in figuur 16 gegeven; hieruit blijkt een redelijke overeenstemming te bestaan. Aan de resulterende tijdschaal van 1 jaar in het prototype komt overeen met 5 à 6 uur model kan geen grote waarde worden toegekend, aangezien in overige delen van het model de ontwikkelingen vrij sterk afwijken van het prototype.

4.2.5. T0-4

Ter verbetering van de hoogteligging van het strand werd de golfhoogte verlaagd tot achteréenvolgens $H = 4$ cm en $H = 3$ cm. De overige randvoorwaarden bleven gelijk aan die van T0-3. Hiermee werd enige verbetering bij de weergave van het westelijke strand verkregen, maar toch niet in voldoende mate (figuur 17).

Met name het oostelijk deel van het Badstrand werd, evenals in de voorgaande proeven, te laag weergegeven. Dit werd veroorzaakt door de omstandigheid dat, als gevolg van de schematisering van de golfrichting tot één richting langs de gehele zuidelijke modelrand (zie paragraaf 4.3.1.), zowel tijdens eb als tijdens vloed dicht langs de oever het materiaaltransport westwaarts gericht was. De erosie van het oostelijk deel van het strand kon worden verhinderd door dit strand aan de oostzijde te voeden met zand. Het gevolg hiervan was echter dat verder westwaarts op het Badstrand sedimentatie optrad in plaats van erosie (figuur 18), hetgeen niet in overeenstemming is met de waarnemingen in het prototype.

4.3. Golfrichting 233°

4.3.1. Inleiding

Daar het op grond van natuurwaarnemingen onwaarschijnlijk lijkt dat bij de overheersende zuidwestelijke windrichtingen in de brandingszone langs de kust een doorgaand zandtransport in westelijke richting kan optreden, kan de bij T0-4 toegepaste kunstmatige voeding van het strand ter ondersteuning van het westelijk gerichte transport niet reëel genoemd worden.

De zandafzetting in het prototype tegen het talud van de hoogwaterkering ter plaatse van de overgang tussen de boulevards De Ruyter en Bankert zijn juist een aanwijzing voor een langs de kust optredend zandtransport in oostelijke richting. Om de richting van dit transport in het model te wijzigen was het noodzakelijk om de golfrichting te veranderen. Het in het model ontbreken van zandaanvoer langs de Westnol naar het Nollestrand en de te lage ligging van het strand ten westen van het Nollestrand door verlies van zand in westelijke richting, gaven hiertoe mede aanleiding. Ter bepaling van deze verandering is met behulp van refractieberekeningen nagegaan welke richting de golven ter plaatse van de zuidelijke rand van het model moeten hebben, indien deze met een hoek van ongeveer 5° scheef op de Boulevard Bankert zullen invallen. Het blijkt dan noodzakelijk te zijn om een verdraaiing van 15° in westelijke richting toe te passen. Dit geeft dus langs de zuidwestelijke rand van het model een resulterende golfrichting van $218^\circ + 15^\circ = 233^\circ$.

Evenals bij de vorige proeven zal ook bij deze gewijzigde golfrichting in het prototype langs de modelrand een vrij aanzienlijk verschil in golfrichting optreden als gevolg van refractie over de Nolleplaat. Voor golven met een periode van 6 s uit een richting van 270° in diep water volgt na refracteren in het westen een richting van circa 225° , terwijl deze in het oosten circa 240° is (figuur 8). Daar in het model de golfrichting langs de gehele rand gelijk is zou hieruit kunnen volgen dat de component van de golfenergie evenwijdig aan de oever in het oosten te klein is ten opzichte van die in het westen. Anderzijds wekken de refractiepatronen de indruk dat in het westen bij de Nolleplaat door convergentie van de golfstralen hogere golven kunnen voorkomen dan in het oosten ter hoogte van de boulevard Bankert, waar enige divergentie van de golfstralen optreedt. Uit latere proeven blijkt, dat voor een goede reproductie van de zandbeweging in het model een zekere differentiatie van de golfhoogten gewenst is (zie paragraaf 4.3.4.).

4.3.2. T0-5

Op grond van schaalbeschouwingen is in eerste instantie een golfhoogte van $H = 5$ cm toegepast. Uitgaande van een veronderstelde maatgevende golfhoogte in het prototype van $H = 0,90$ m, is hiermee getracht een compromis te bereiken tussen het weergeven van de golfhoogte op de verticale schaal van het model ($n_H = 30$), waardoor de golven op de juiste plaats breken, en de eis van een goede reproductie van het resulterende stroombeeld van getij- en golfwerking ($n_H = 11$). De andere randvoorwaarden met betrekking tot de duren van eb- en vloedstroom, de waterstanden en de debieten ($n_v = 2,7$), waren gelijk aan die van T0-3 en T0-4.

Hoewel de golfrichting gewijzigd was bleken de resultaten ongeveer dezelfde mankementen te vertonen als eerder: sterke erosie van het strand boven de brandingszone, gecombineerd met sedimentatie op de vooroever, zowel langs het oostelijke gedeelte van het Badstrand als westelijk van het Nollestrand (figuur 19), hoewel hierbij tijdens de vloedfase wel enig materiaal langs de Westnol naar het Nollestrand werd getransporteerd.

Langs het oostelijke gedeelte van het strand langs de Boulevard Bankert trad daarbij nog geen duidelijk resulterend transport in oostelijke richting op, hetgeen voornamelijk veroorzaakt werd door de sterke stroomrefractie tijdens eb.

4.3.3. T0-6

Ten einde het kusttransport ter plaatse van het Badstrand in oostelijke richting te bevorderen is de cyclus van eb en vloed in het model uitgebreid met een stroomloze fase, waarbij alleen de golven werkzaam zijn. De stroomloze fase is te vergelijken met die perioden van het getij, waarin de stroomsnelheden vrij klein zijn. In het prototype treedt er gedurende één getijcyclus een periode van circa 2 uur op waarbij de gemiddelde snelheden kleiner zijn dan 0,30 m/s. Met de invoering van deze fase, waarvan in het model de duur 16 minuten is, wordt met name het transport langs het Badstrand in oostelijke richting versterkt. Gezien de vrij redelijke reproductie van de dieper gelegen bodem werd de duur van de eb- en de vloedfase niet gewijzigd.

Daar bij de eerder genoemde randvoorwaarden de ligging van het strand nogal gevoelig bleek te zijn voor de ingestelde golfhoogte, leek het in dit stadium van het onderzoek gewenst om de variaties hiervan tijdens de proeven enigszins te beperken. Door de wijze van golfopwekking, waarbij de golfhoogte ook afhankelijk is van de waterstand, kon dit in het model worden bereikt door het verschil tussen de waterstanden tijdens de eb- en de vloedstroom te verkleinen (zie tabel paragraaf 4.1.). De in te stellen debieten zijn onder handhaving van een gemiddelde snelheidsschaal $n_v = 2,7$ overeenkomstig gewijzigd.

Nadat uit een korte serie proeven gebleken was dat een golfhoogte van 5 cm te groot moest zijn, daar hierbij, als tevoren, het hoogste deel van het strand te sterk werd aangetast, is de golfhoogte tot $H = 4,5$ cm verlaagd.

Naast een beoordeling van de strandhelling is met deze randvoorwaarden tevens een kwalitatief onderzoek gedaan naar de veranderingen in de ligging van het Badstrand. Uit de verschilpeilingen (figuur 20) volgt dat zeewaarts van de hoofdraai de veranderingen gedurende de eerste 9 uur enigermate overeenstemmen met het prototype. Landwaarts van de hoofdraai is de erosie, vooral in het oostelijk deel echter minder overeenkomstig de werkelijkheid [5]. De relatief te sterke erosie in dit gebied komt ook tot uiting in de verschilpeiling na het aanbrengen van de kunstmatige verhoging volgens de gegevens uit 1952. Deze kunstmatige verhoging is aangebracht na 9 uren golven en stromen, uitgaande van de situatie van maart 1966.

Zowel in het westen als bij het oostelijke gedeelte van het Badstrand ontstaat ook bij deze golfhoogte ($H = 4,5$ cm) een te flauwe strandhelling (figuur 21). Een nog lagere golf lijkt daarom gewenst.

4.3.4. T0-7

De te sterke erosie van het oostelijk gedeelte van het Badstrand moet worden toegeschreven aan een niet juiste gradiënt in de grootte van het langtransport in het betreffende gebied. Na het kunstmatig ophogen van het westelijk deel van het strand zal het oostelijk deel aanvankelijk iets omhoog moeten komen, zoals ook in het prototype is gebeurd (figuur 3). Dit betekent dat de transportcapaciteit van de golven langs het westelijk deel van het strand iets groter moet zijn dan langs het oostelijk deel, wat kan worden bereikt door in het model een differentiatie in golfhoogten aan te brengen.

Na enige oriënterende proefnemingen bleek een golfhoogte variërend van $H = 3$ cm in het westelijk deel van het model tot $H = 2,5$ cm in het oostelijk deel, voor zowel het Badstrand als het westelijke strand de beste reproductie te geven (figuren 22, 23 en 24).

De veranderingen op het Badstrand stemmen kwalitatief bevredigend overeen met die in werkelijkheid, hetgeen ook geldt voor de ontwikkeling na kunstmatig ophogen van het Badstrand volgens de lodingen van 1952 (figuren 25 en 3). Deze ophoging is na 15 uren golven en stromen aangebracht, waarbij de aanvangssituatie ($t = 0$ uur) overeenkwam met de lodingen van maart 1966.

De daling van het strand in het model na de kunstmatige ophoging is in figuur 26 aangegeven, terwijl in figuur 27 een vergelijking is gemaakt met deze daling in het prototype. Het blijkt dat in raai 7b aanvankelijk een relatief te grote erosie optrad, terwijl na 30 uur golven en stromen hier het strand weer langzaam omhoog kwam. Uit het gemiddelde verloop van de daling in de raaien 7b, 8 en 8b blijkt een tijdschaal te volgen van 1 jaar prototype $\cong$ 1 uur model. Aan deze tijdschaal mag echter geen grote nauwkeurigheid worden toegkend, omdat deze slechts kan worden vastgesteld aan de hand van de morfologische ontwikkeling van een klein gebied gedurende een vrij korte tijd, namelijk over de periode 1952 tot 1965. In januari 1966 heeft in het prototype een tweede ophoging plaats gevonden.

Indien het verloop van enkele dieptelijnen met de tijd in het model met die in het prototype wordt vergeleken, waarbij 1 jaar in het prototype overeenkomt met 1 uur in het model, dan blijkt in het model de strandhelling ter plaatse van het Badstrand in het algemeen wat steiler te worden dan in het prototype (figuur 28).

Hoewel met de randvoorwaarden van T0-7 voor het grootste deel van het strand een bruikbare overeenstemming tussen model en prototype is bereikt, werd het gedeelte van het Badstrand tussen de spuisluis bij Boulevard Bankert en het strandhoofd steeds op onbevredigende wijze weergegeven. In het model was de ligging van dit gedeelte van het strand voortdurend te laag.

5. Overzicht van de onderzochte toestanden

Voorafgaand aan het onderzoek van de diverse voorgestelde oplossingen ter verbetering van de ligging van het Badstrand, is de ijking van het model herhaald. Deze ijking is uitgevoerd, enerzijds vanwege de onderbreking van het onderzoek tussen de in het voorafgaande beschreven ijkingsproeven en de onderhavige proeven, anderzijds om een indruk te verkrijgen van de mogelijke variaties in het morfologisch proces in het model.

In het model zijn hierna twaalf situaties onderzocht, waarvan de figuren 29 en 30 een overzicht geven. De onderzochte situaties kunnen in een drietal groepen worden onderverdeeld.

a. Toestanden met handhaving van de Nol

- T1: Langs het kustgedeelte oostelijk van de Nol zijn dubbele paalrijen met totaal 50 % opening aangebracht, welke zijn gesitueerd overeenkomstig tekening no. 68.319 van de Rijkswaterstaat, Studiedienst Vlissingen.
De ligging van het Badstrand is afgestemd op de lodingen van 1966, aangevuld met die van 1967.
- T2: De situering van de paalrijen is overeenkomstig T1. De ligging van het Badstrand is afgestemd op de lodingen van najaar 1952 na de kunstmatige ophoging van het strand.
- T8: De situering van de paalrijen is overeenkomstig T1. Tussen de Nol en raai 6b is het Badstrand langs de Boulevard Evertsen kunstmatig verhoogd tot NAP + 4,5 m; zeewaarts hiervan heeft het strand een helling 1 : 35.
- T9: In deze situatie zijn geen paalrijen aanwezig. De ligging van het Badstrand is overeenkomstig T8.
- T12: Zowel ten oosten als ten westen van de Nol zijn dubbele paalrijen aangebracht overeenkomstig tekening no. 68.319 van de Rijkswaterstaat, Studiedienst Vlissingen. De ligging van het Badstrand is afgestemd op de lodingen van 1966 en 1967, zoals in T1.

b. Toestanden met kleine inkorting van de Nol

- T4: De Nol is over een lengte van 50 m ingekort en ter plaatse vervangen door een lage dam. De kop van deze dam ligt op NAP-2,0 m en de kruin ervan loopt op onder een helling 1 : 40 landwaartse richting. De kop van de ingekorte Nol heeft een helling 1 : 5.
Er zijn geen paalrijen aangebracht en de ligging van het Badstrand is overeenkomstig de lodingen van 1966 en 1967.

- T5: De situatie is overeenkomstig T4, waarbij het Nollehoofd echter is afgebroken.

c. Toestanden met grote inkorting van de Nol

- T3: De Nol is over een lengte van 100 m ingekort en ter plaatse vervangen door een lage dam. De kop van deze lage dam ligt op NAP - 2,0 m en de kruin ervan loopt op onder een helling 1 : 40 in landwaartse richting. De kop van de ingekorte Nol heeft een helling van 1: 5. Er zijn geen paalrijen aangebracht, het Nollehoofd is afgebroken en de ligging van het Badstrand is overeenkomstig de lodingen van 1966 en 1967.
- T6: De situatie is overeenkomstig T3, echter met toevoeging van dubbele paalrijen ten oosten van de Nol als in T1.
- T7: De situatie is overeenkomstig T3, echter met toevoeging van dubbele paalrijen zowel ten oosten als ten westen van de Nol als in T12.
- T10: De situatie is overeenkomstig T3, doch ook thans zijn weer dubbele paalrijen aangebracht ten oosten en ten westen van de Nol. De paalrijen hebben dezelfde plaats als in T7 en T12, maar een aantal ervan hebben een kortere uitbouw lengte, terwijl de overigen nabij het uiteinde een grotere opening tussen de palen hebben.
- T11: De Nol is ingekort tot aan de Nollediijk, waarbij hij weer is vervangen door een lage dam die vanaf NAP - 2,0 m in landwaartse richting oploopt onder een helling 1 : 40. Overigens is de situatie overeenkomstig T10.

Met betrekking tot de oever langs de Boulevard Bankert dient vermeld te worden dat de dammetjes ter hoogte van punt W36 (figuur 2) in T2 ... T12 niet meer voorkomen.

6. Resultaten modelonderzoek

6.1. Algemeen

Zoals eerder in paragraaf 3.1. is uiteengezet, richt het onderzoek zich op ontwikkelingen die op lange termijn te verwachten zijn. en wordt voorbijgegaan aan bepaalde fluctuaties in deze ontwikkelingen als gevolg van de sterk variërende omstandigheden in de natuur, die mede bepaald worden door de seizoensinvloeden.

Om de duur van het onderzoek enigszins te beperken, zijn slechts bij enkele toestanden de proeven lang doorgezet. Voor de beoordeling van de resultaten der overige toestanden zal de nadruk komen te vallen op de waargenomen tendenties in de morfologische ontwikkelingen.

In de hierna volgende paragrafen zal, gebruik makend van de in hoofdstuk 5 vermelde indeling der onderzochte toestanden, eerst worden ingegaan op de ontwikkeling van het Badstrand en daarna op die van het Nollestrand en de oever langs de Boulevard Bankert.

Ter beoordeling en onderlinge vergelijking van de onderzochte toestanden is de gemiddelde hoogteverandering van verschillende delen van het Badstrand en het Nollestrand berekend (zie figuur 2). Voor het Badstrand wordt in beschouwing genomen het gebied begrensd door de raaien 6b en 9, de hoofdraai H.R. en een lijn 200 m zeewaarts hiervan (H.R. + 200 m), waarbij dit gebied nog verdeeld is in vier vakken. Voor het Nollestrand wordt meestal de hoogteverandering van het strand in raai 12a in beschouwing genomen, welke verdeeld is in drie gedeelten:

H.R. - 50 m tot H.R., H.R. tot H.R. + 70 m en H.R. + 70 m tot H.R. + 110 m. Waar voldoende metingen beschikbaar zijn is de gemiddelde hoogteverandering van het strand tussen de raaien 11a en 13a berekend. De resultaten hiervan zijn in grafieken als functie van de tijd weergegeven.

Daarnaast zijn in dit verslag figuren van de verlaging en de verhoging van de stranden gedurende een bepaalde tijd opgenomen alsmede een aantal strandprofielen.

6.2. Het Badstrand

6.2.1. Toestanden met handhaving van de Nol

T0 (figuren 31 ... 35)

Zoals reeds is vermeld in hoofdstuk 5 is, voorafgaand aan het onderzoek naar de verbetering van de ligging van het Badstrand, de ijking van het model herhaald, waarbij de randvoorwaarden dezelfde waren als in T0-7, Ter onderscheiding hiermee is deze tweede ijking aangeduid met T0-8.

Evenals bij de ijkingsproef T0-7, bestaat de ijkingsproef uit twee aaneengesloten proeven. Hierbij is, uitgaande van de bodemconfiguratie van 1966, het model eerst 15 uren in bedrijf, waarna op het Badstrand een kunstmatige ophoging wordt aangebracht, zoals die in november 1952 in het prototype heeft plaatsgevonden.

De ontwikkeling van het Badstrand en de overige oevergedeelten gedurende de eerste uren in het model kan worden vergeleken met die in het prototype vanaf 1966 en de ontwikkeling na $t = 15$ uren met die na november 1952.

In het algemeen vertoont de ontwikkeling van het Badstrand in T0-8 grote overeenkomst met die in T0-7. Afgezien van de fluctuaties in de metingen in T0-7, hebben de gemiddelde dalingen en stijgingen van de verschillende gedeelten van het Badstrand gedurende de eerste 15 uren ongeveer eenzelfde verloop (figuur 31). Ook het verschil in de strandligging tussen $t = 0$ uur en $t = 5$ uur vertoont in T0-7 en T0-8 een grote overeenstemming (figuren 25 en 34).

De grootste verschillen in T0-7 en T0-8 hebben plaatsgevonden na het kunstmatig aanbrengen van de ophoging volgens die in november 1952. Uit het verloop van de gemiddelde dalingen en stijgingen van het strand blijkt, dat deze verschillen vrijwel geheel het gevolg zijn van de veranderingen gedurende de eerste uren na het aanbrengen van de kunstmatige ophoging (figuur 32). De gemiddelde helling van de lijnen na $t = 20$ uur zijn voor T0-7 en T0-8 vrijwel gelijk, hetgeen is aangetoond door de lijnen van T0-8 te verschuiven zodat de meetpunten op het tijdstip $t = 20$ uur samenvallen. De oorzaak van de verschillen is achteraf niet na te gaan, doch het moet niet uitgesloten worden geacht, dat meetonauwkeurigheden hier een rol spelen.

Overigens blijkt uit de proeven dat het strand (H.R. tot H.R. + 100 m) het sterkste wordt aangetast en dat het geërodeerde materiaal gedeeltelijk wordt afgezet op de vooroever (H.R. + 100 m tot H.R. + 200 m). Tevens wordt zand landwaarts verplaatst, zoals blijkt uit figuur 34. Overeenkomstige verschijnselen hebben zich voorgedaan in het prototype (figuur 3).

Verder is een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde daling van het strand in de raaien 7b, 8 en 8b tussen H.R. en H.R. + 50 m (figuur 33). Uit de goede overeenkomst zou ook uit T0-8 een tijdschaal voor het morfologische proces volgen, waarbij 1 jaar prototype overeenkomt met 1 uur model. Zoals echter reeds is beschreven kan aan deze tijdschaal geen grote nauwkeurigheid worden toegekend.

Tenslotte zijn in Figuur 35 nog een aantal strandprofielen gegeven.

In de bestaande toestand ontstaat tijdens vloed een neer aan de oostzijde van de Nol, waardoor op een groot deel van het Badstrand de stroom tijdens vloed dezelfde richting heeft als tijdens eb (foto 1). De weergegeven stroombeelden gelden voor omstandigheden zonder golven.

T1 (figuren 36, 37, 38)

De paalrijen op het Badstrand blijken de aantasting van het strand en het dwarstransport in zeewaartse richting niet te belemmeren. Op het strand vinden nagenoeg dezelfde ontwikkelingen plaats als in T0 (figuren 36 en 37).

Uit het verloop van de daling en de stijging in de verschillende vakken blijkt wel een verplaatsing van het strandmateriaal op te treden, maar evenals in T0 is er gemiddeld geen winst te constateren.

Door de aanwezigheid van de paalrijen kan tijdens vloed op het Badstrand geen grote neer tot ontwikkeling komen, terwijl tijdens eb de stroming over het Badstrand sterk wordt gereduceerd (foto 2). Deze stroombeelden gelden weer voor omstandigheden zonder golven.

T2 (figuren 36, 37, 38)

De resultaten van T2 kunnen worden vergeleken met die van T0 na het kunstmatig aanbrengen van de ophoging van het Badstrand volgens 1952. Het blijkt dat in deze situatie, evenals in T1, de paalrijen niet in staat zijn, de aantasting van het strand te verminderen; de gemiddelde daling en stijging van de bodem in de diverse vakken blijken niet verschillend te zijn van die in T0 (figuren 36 en 32). Uit het verloop van de lijnen volgt de tendens dat het strand tussen H.R. en H.R. + 100 m nog verder zal eroderen. Verder vertoont ook de verschilkaart in de strandligging een overeenkomstig beeld met die in T0 (figuren 37 en 34).

In verband met de vrijwel gelijke bodemconfiguratie wordt voor het stroombeeld verwezen naar T1 (foto 2).

T8 en T9 (figuren 39, 40, 41)

In beide toestanden is een forse ophoging van het strand aangebracht tussen raai 6b en de Nol, waarbij in T8 paalrijen aanwezig zijn en in T9 niet.

Hoewel de paalrijen enig vertragend effect hebben op de erosie van het strand, blijkt deze in beide toestanden van dezelfde orde van grootte te zijn. Uit het verloop van de gemiddelde stranddaling volgt, dat bij het beëindigen van de proef zowel in T8 als T9 nog geen evenwichtstoestand is bereikt en dat met name een doorgaande erosie van het westelijk strandgedeelte verwacht mag worden (figuur 39). Ook de verschilkaarten (figuur 40) en de profielontwikkeling in raai 8 (figuur 41) vertonen een overeenkomstig beeld.

Het stroombeeld in T8 kenmerkt zich tijdens vloed door een aantal neren tussen de paalrijen, terwijl tijdens eb de paalrijen de stroom over het strand sterk afremmen (foto 3).

In T9 komt het stroombeeld, behoudens de invloed van het geringere stroomprofiel door de strandophoging, in grote lijnen overeen met dat in T0 (foto 4).

T12 (figuren 42, 43, 44).

Met uitzondering van de paalrijen op het Nollestrand komt T12 geheel overeen met T1. Hoewel er ten opzichte van T1 in de gemiddelde daling en stijging van het strand in de vier vakken wel enige verschillen zijn waar te nemen, blijkt dat in zijn totaliteit evenals in T1 er slechts sprake is van een verplaatsing van het materiaal naar de vooroever, zonder dat dit resulteert in een verhoging van het strand.

Tijdens vloed zijn duidelijker dan in T1 de neren tussen de paalrijen zichtbaar, zoals die ook in T8 zijn waargenomen (foto 5). Vergeleken met T0 zijn de stroomsnelheden op het strand sterk gereduceerd.

Samenvattend volgt uit het onderzoek van T1, T2, T8, T9 en T12 dat in situaties, waarbij de bestaande Nol wordt gehandhaafd, geen natuurlijke aanwas van het Badstrand is te verwachten. Kunstmatige ophogingen worden steeds geërodeerd, ook als er paalrijen op het strand zijn aangebracht. Deze paalrijen hebben wel kleinere stroomsnelheden op het strand tot gevolg, maar vormen geen afdoende belemmering tegen het zeewaartse en oostwaartse materiaaltransport onder invloed van golven en stroom.

6.2.2. Toestanden met kleine inkorting van de Nol

T4 en T5 (figuren 45, 46, 47).

In beide toestanden is de Nol 50 m ingekort. Het ingekorte gedeelte is met stortsteen verdedigd en heeft vanaf NAP - 2,0 m in landwaartse richting een helling van 1: 40. De kop van de ingekorte Nol heeft een helling van 1 : 5. Het Nollehoofd, dat in T4 ongeveer bij deze ingekorte kop aansluit, is in T5 afgebroken. Op het strand zijn in beide toestanden geen paalrijen aanwezig.

In de ontwikkelingen van het strand blijkt tussen T4 en T5 geen duidelijk verschil aanwezig te zijn. In het westen (raai 7c - raai 9) zijn de veranderingen in T5 iets gunstiger dan in T4. De invloed van het bestaande Nollehoofd lijkt echter niet groot. Vergeleken met T0 (figuur 31) zijn de verschillen klein. Visueel is in het model waargenomen dat, evenals in T0, vrijwel geen materiaal, dat door de stroom en de golven vanuit het westen langs de kust wordt getransporteerd en kop van de Nol passeert, door de waterbeweging op het strand terecht komt.

Hoewel beide proeven in T4 en T5 vrij kort van duur zijn, geven de resultaten ervan geen aanleiding om te verwachten, dat een verkorting van de Nol met 50 m of minder, een aanzienlijke verbetering van de ligging van het Badstrand tot gevolg zal hebben.

In het stroombeeld is er weinig verschil met T0 (foto 6). Tijdens vloed ligt de neer iets oostelijker dan in T0. Volstaan wordt met het stroombeeld in T4.

6.2.3. Toestanden met grote inkorting van de Nol

T3, T6 en T7 (figuren 48 ... 54)

In deze toestanden is de Nol 100 m ingekort. Evenals in T4 en T5 is het ingekorte gedeelte met stortsteen verdedigd en zijn hellingen van 1 : 40 en 1 : 5 toegepast (figuur 30). In T3 zijn geen paalrijen aanwezig, in T6 zijn er alleen oostelijk van de Nol paalrijen en in T7 zijn er ook paalrijen westelijk van de Nol. De toestanden T6 en T7 zijn in één proef onderzocht waarbij na 130 uur stromen en golven de paalrijen westelijk van de Nol zijn aangebracht.

Uit de morfologische ontwikkelingen in T3 volgt dat de verbeteringen van het strand tot stand komen, doordat het zand vanuit het westen langs de kop van de ingekorte Nol naar het Badstrand kan worden getransporteerd. Het proces blijkt zich vrij geleidelijk af te spelen en uit de figuren is af te leiden dat de aanvankelijk optredende erosie, zoals ook is waargenomen in de eerder beschreven toestanden (b.v. T0, figuur 31), op den duur wordt te niet gedaan door de afzetting van zand, waarbij de sedimentatie in het westen (raai 7c ... 9) zich eerder en sterker ontwikkelt dan in het oosten (raai 6b ... 7b, figuur 48).

Wanneer in T6 en T7 paalrijen op het Badstrand zijn aangebracht vindt een analoog proces plaats als in T3. In het westen is de aanwas van het strand echter sterker dan in T3, maar blijft de sedimentatie op de vooroever wat achter (figuur 49). In het oosten is de erosie aan het begin van de proef eerder genivelleerd dan in T3. Voor het gehele strand blijkt door de aanwezigheid van de paalrijen een iets grotere sedimentatie tot ontwikkeling te kunnen komen dan in T3 (figuur 50). Het verschil tussen T3 en T6 is echter klein.

Na het aanbrengen van paalrijen westelijk van de Nol in T7 wordt geen duidelijke verbetering waargenomen (figuren 49, 53, 54). Uit het verloop van de gemiddelde stijging van het strand in de verschillende vakken lijkt het strand in het westen bij de aanvang van T7 min of meer een evenwichtstoestand te hebben bereikt (figuur 49). De lichte erosie van het strand gedurende T7 is waarschijnlijk te wijten aan de discontinuïteit in de proef als gevolg van de onderbreking die nodig was om de paalrijen westelijk van de Nol aan te brengen. Deze erosie heeft echter geen doorgaande tendens en de min of meer bereikte evenwichtssituatie wordt daardoor nauwelijks beïnvloed.

Hoewel op het strand en de vooroever een flinke winst in hoogte is verkregen, wordt voor de koppen van de paalrijen de bodem geërodeerd. Daar deze erosie echter ook in nagenoeg alle andere situaties in mindere of meerdere mate optreedt (bijv. T3 figuur 51), lijkt het niet waarschijnlijk dat dit proces uitsluitend het gevolg is van het kop-effect van de aangebrachte paalrijen.

Uit het stroombeeld van T3 (foto 7) blijkt duidelijk dat door de inkorting van de Nol zowel bij eb als bij vloed het kopeffect vermindert (zie T0, foto 1). De neer, die tijdens vloed op het strand wordt opgewekt is in T3 wat kleiner dan in T0 en ligt wat oostelijker. Hierdoor ontstaat er direct oostelijk van de Nol een vrij groot gebied met geringe stroomsnelheden.

In T6 wordt evenals in T8 en T12 tussen de paalrijen tijdens vloed een aantal neren opgewekt (foto 8). De stroomsnelheden over het Badstrand zijn vrij klein, zowel tijdens vloed als tijdens eb. Visueel is waargenomen dat het stroombeeld in T7 vrijwel gelijk is aan dat in T6.

T10 en T11 (figuren 55 ... 59)

In beide toestanden zijn zowel ten oosten als ten westen van de Nol paalrijen aangebracht. De constructie van deze paalrijen wijkt iets af van de eerder onderzochte, een aantal hebben een kortere uitbouw lengte, terwijl de anderen nabij het uiteinde een grotere opening tussen de palen hebben om het eventuele kopeffect te verminderen.

In T10 is de Nol met 100 m ingekort en in T11 is de Nol afgebroken tot aan de Nollledijk. Het ingekorte gedeelte heeft weer vanaf NAP - 2,0 m een helling 1 : 40 in landwaartse richting en is verdedigd. Het worteleinde van deze lage dam heeft in T10 een kruinhoogte van NAP + 0,5 m en in T11 ongeveer NAP + 2,75 m.

Op het Badstrand zijn overeenkomstige ontwikkelingen waar te nemen als in T3 en T6 (figuur 55). Aanvankelijk vindt weer enige erosie plaats van het oostelijk deel van het strand, wat in T10 en T11 tussen H.R. en H.R. + 100 m iets sterker is dan in T6 (figuur 56). Daarentegen is de aanzanding van het westelijk deel van het strand tussen H.R. + 100 m en H.R. + 200 m iets groter dan in T6. Overigens zijn de verschillen gering. Het blijkt dat bij het beëindigen van de proef nog geen evenwichtssituatie is bereikt en verwacht mag worden, dat op den duur de erosie van het oostelijk deel van het Badstrand geheel teniet zal worden gedaan, evenals in T6.

Het lijkt enigszins merkwaardig dat de optredende aanwas van het Badstrand in T10 met een 100 m ingekorte Nol en in T11 met een geheel afgebroken Nol van dezelfde orde van grootte is. Dit moet worden toegeschreven aan het feit, dat de waterstanden in het model steeds tamelijk laag zijn. Tijdens vloed heeft deze slechts een waarde van NAP + 0,25 m. Dit betekent dat een verdere inkorting van de Nol dan 100 m, waarbij de landwaartse verlenging van de ervoor liggende lage dam hoger ligt dan NAP + 0,5 m, weinig of geen effect heeft op de water- en zandbeweging in het model. In werkelijkheid komen echter ook veel hogere waterstanden voor tijdens vloed, waardoor de verdere inkorting wel invloed heeft op de water- en zandbeweging. Dit betekent dat in werkelijkheid bij een afbreken van de Nol tot aan de Nollledijk een snellere aanwas van het Badstrand zal optreden dan bij een inkorting van 100 m.

De erosie voor de koppen van de paalrijen is in eerste instantie in beide toestanden geringer dan in T6, maar in de loop van de proef wordt het effect van de gemodificeerde paalrijen minder duidelijk (figuren 52, 53, 57 en 58).

Zoals eerder is beschreven is het verschil in stroombeeld tussen T10 en T11 vrij gering in het model (foto's 9 en 10). Tussen de paalrijen zijn de stroomsnelheden klein. Op de vooroever kan zich tussen de lange paalrijen een neer ontwikkelen, afwijkend van de kleine neertjes in T6, T8 en T12.

Samenvattend volgt uit het onderzoek van T3, T6, T7, T10 en T11, dat door het wegnemen van de belemmering van het langs de kust getransporteerde zand, op het Badstrand een aanzienlijke verhoging van het strand is te verwachten.

Worden op het strand bovendien paalrijen aangebracht, dan blijkt de sedimentatie van zand zich iets sneller te ontwikkelen.

De aanwezigheid van paalrijen op het Nollestrand heeft geen verbetering in de uitkomsten tot gevolg. De invloed van de modificatie in de paalrijen met grotere openingen bij het uiteinde komt niet duidelijk tot uiting in de bodemerosie voor de koppen.

In het model is niet gebleken, dat een verkorting van de Nol met meer dan 100 m tot een snellere aangroei van het Badstrand leidt. In het prototype is dat waarschijnlijk wel het geval als gevolg van het voorkomen van hogere waterstanden dan in het model zijn toegepast.

6.3. Het Nollestrand

6.3.1. Toestanden met handhaving van de Nol

De onderzochte toestanden T0-7, T0-8, T1, T2, T8, T9 en T12 hebben alle gemeen dat de bestaande Nol in zijn geheel is gehandhaafd. Verder zijn alleen in T12 op het Nollestrand paalrijen aangebracht.

Aangezien het zandtransport langs de kust in zuidoostelijke richting overheersend is, terwijl bovendien het Nollestrand en het Badstrand door de lange Nol worden gescheiden, bestaat de indruk, dat de geconstateerde verschillen in hoogteligging van het Nollestrand in de diverse toestanden grotendeels moeten worden toegeschreven aan niet direct aanwijsbare oorzaken. Dit blijkt ook uit de resultaten van de ijking van het model, die tweemaal is uitgevoerd (T0-7, T0-8, figuren 60 en 61).

Wanneer de resultaten van de beschouwde proeven worden gemiddeld, dan blijkt dat het bovenste deel van het Nollestrand (H.R. - 50 m tot H.R.) geleidelijk aan groeit. Aanvankelijk treedt ook enige verhoging op van het strandgedeelte tussen H.R. en H.R. + 70 m, maar na $t \approx 20$ uur is de situatie hier stabiel. Het strandgedeelte tussen H.R. + 70 m en H.R. + 110 m vertoont aanvankelijk een schommeling in hoogteligging, doch in zijn totaliteit is het tamelijk stabiel. Over het algemeen blijken de gemiddelde waarden van de hoogteligging van de verschillende strandgedeelten goed aan te sluiten op de resultaten van T0-8.

Overigens is het niet uitgesloten dat bepaalde maatregelen in de onderzochte toestanden van invloed zijn geweest op de ontwikkeling van het Nollestrand. In dit verband kunnen worden genoemd de paalrijen op het Nollestrand (T12), die mogelijk een aanzanding van het bovenste deel van het strand hebben veroorzaakt. Daarnaast wordt de indruk gevestigd dat ook een aanzienlijke ophoging van het Badstrand (T8 en T9) enige aangroei van het bovenste deel van het Nollestrand kan veroorzaken. Hierbij zal het van het Badstrand geërodeerde zand door de ebstroom naar de vooroever van het Nollestrand zijn getransporteerd, waarnaar de golven het naar boven hebben gebracht.

In het verloop van de gemiddelde hoogteligging van het strand in de raaien 11a, 12a en 13a zijn in de situaties T8, T9 en T12 in orde van grootte dezelfde ontwikkelingen waar te nemen als in raai T12a alleen (figuur 62).

6.3.2. Toestanden met kleine inkorting van de Nol

In de situaties T4 en T5 is de Nol over een lengte van 50 m ingekort en vervangen door een lage dam; ter plaatse van de bestaande kop van de Nol is de hoogte van deze dam NAP - 2,0 m, terwijl de kruin onder een helling 1 : 40 oploopt in landwaartse richting. Verder is in T4 het Nollehoofd gehandhaafd en in T5 is die verwijderd.

Hoewel de metingen soms een vrij grote spreiding vertonen, zijn de verschillen tussen T4 en T5 gering (figuur 63). Daarbij blijkt de ontwikkeling van het Nollestrand in grote lijnen gelijk te zijn aan die in de situaties zonder inkorting van de Nol. In het algemeen ligt het strand iets lager dan gemiddeld in de eerder beschreven situaties, maar er is een goede overeenstemming met de strandligging in T0-7 en T0-8. Er kan dan ook worden geconcludeerd dat een inkorting van de Nol met 50 m geen achteruitgang van het Nollestrand zal veroorzaken.

6.3.3. Toestanden met grote inkorting van de Nol

In de situaties T3, T6, T7 en T10 is de Nol over een lengte van 100 m ingekort, terwijl in T11 deze inkorting is voortgezet tot aan de Nollledijk. Evenals in T4 en T5 is de kruinhoogte van de lage dam ter plaatse van de bestaande kop NAP - 2,0 m en de kruinhelling 1 : 40. In de situaties met een 100 m ingekorte Nol is de kruinhoogte van het landwaartse uiteinde van de lage dam NAP + 0,5 m en in T11 ongeveer NAP + 2,75 m.

Het blijkt dat bij een grote inkorting van de Nol een geringe erosie van het bovenste deel van het strand (H.R. - 50 m tot H.R.) optreedt, terwijl bij handhaving of een kleine inkorting van de Nol hier aanwas plaats vindt. Het strandgedeelte tussen H.R. en H.R. + 70 m is tamelijk stabiel, waarbij de strandhoogte echter lager is dan in de vorige situaties.

Tenslotte vertoont de vooroever (H.R. + 70 m tot H.R. + 110 m) enige erosie.

Verder geven de meetresultaten aanleiding te concluderen, dat paalrijen op het Nollestrand (T10 en T11) de erosie van het bovenste deel van het strand verhinderen. Deze paalrijen reiken slechts tot een geringe diepte en ze blijken dan ook geen invloed te hebben op de vooroever tussen H.R. + 70 m en H.R. + 110 m. In T3 is de gemiddelde ligging van de vooroever reeds in het begin relatief laag en ontwikkelt zich de erosie in een langzamer tempo dan in T6 en T10.

Uit de proeven blijkt, dat bij een inkorting van de Nol tot aan de Nollledijk (T11), de ontwikkeling van het Nollestrand niet ongunstiger is dan bij een inkorting van 100 m (T10), zoals wordt aangetoond in figuur 65. Zoals reeds is beschreven in paragraaf 6.2.3. moet dit worden toegeschreven aan het feit, dat tijdens vloed de waterstand in het model slechts NAP + 0,25 m is. Daardoor heeft een verdere inkorting van de Nol dan 100 m, waarbij de landwaartse verlenging van de lage dam hoger ligt dan NAP + 0,50 m, weinig of geen effect op de water- en zandbeweging. In werkelijkheid zal echter bij een hoge waterstand, zoals tijdens een hoog springtij of een stormvloed, de verdere inkorting wel invloed hebben op de water- en zandbeweging. Verwacht moet dan ook worden, dat in werkelijkheid een inkorting van de Nol tot de Nollledijk een ongunstiger invloed op het Nollestrand zal hebben dan een beperkte inkorting van 100 m.

Hoewel het onderzoek met betrekking tot het Nollestrand zich hoofdzakelijk heeft beperkt tot de ligging van het strand in één raai, kan samenvattend uit de resultaten van de verrichte proeven worden afgeleid, dat het hoogste gedeelte van het strand (H.R. - 50 m tot H.R.) in de situaties met handhaving van de oorspronkelijke Nol en in de situaties met een 50 m ingekorte Nol, de tendens heeft in hoogte toe te nemen. In de situaties met een 100 m ingekort Nol treedt een lichte erosie op, wat verhinderd kan worden door toepassing van paalrijen op het Nollestrand.

In het gebied tussen H.R. en H.R. + 70 m zijn in alle onderzochte toestanden de bodemveranderingen vrij klein en kan van een nagenoeg stabiele situatie worden gesproken.

Op de vooroever tussen H.R. + 70 m en H.R. + 110 m, is in de situaties met de oorspronkelijke en 50 m ingekorte Nol de bodemligging vrijwel stabiel. Bij een inkorting van de Nol van 100 m treedt hier enige erosie op.

Op grond van de modelresultaten moet echter worden geconcludeerd, dat een inkorting van de Nol met 100 m vermoedelijk geen grote nadelige invloed heeft op de ligging van het Nollestrand. Hoewel de modelresultaten dit niet aantonen, lijkt het niet raadzaam de Nol in te korten tot aan de Nollediijk. In dit geval is het niet uitgesloten, dat tijdens een stormvloed een aanzienlijke erosie van het Nollestrand zal optreden.

6.4. De oever langs de Boulevard Bankert

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven kon met betrekking tot de oever langs de Boulevard Bankert ten oosten van het Badstrand in het model geen geheel bevredigende reproductie van de werkelijkheid worden bereikt. Met name is dit het geval voor het bovenste deel van de oever direct oostelijk van het Badstrand, dat steeds een te lage ligging heeft. Om de eventuele invloeden van de diverse onderzochte ingrepen op dit gedeelte van de kust te onderkennen, zullen aan de hand van de lodingen in de raaien 3 en 5 de betreffende toestanden met elkaar worden vergeleken.

In T0-8 is de vooroever in beide raaien redelijk stabiel en komt de ligging goed overeen met die in het prototype (figuur 66). Het bovenste deel van de oever vertoont echter in raai 3 een stijging, maar in raai 5 een daling. Het blijkt dat deze stijging en daling in het model grotendeels in de eerste uren tot stand komt en dat daarna de veranderingen relatief klein zijn.

In de toestanden met handhaving van de Nol zijn de verschillen tussen T0-8, T1, T2 en T12 niet groot (figuren 66 ... 69). Tijdens de proef T1 zijn op het tijdstip $t = 25$ uur de korte dammetjes ter plaatse van W36 verwijderd, waardoor enige daling van de oever in raai 5 optreedt, zonder dat dit, als gevolg van het oostelijk gerichte zandtransport, leidt tot een duidelijke verhoging van de oever in raai 3.

Tijdens de volgende proeven zijn deze dammetjes niet aanwezig. Gezien de grote overeenkomst tussen de resultaten van T0-8 enerzijds en T1, T2 en T12 anderzijds, moet worden geconcludeerd dat paalrijen geen duidelijk gunstige invloed hebben op de ligging van de oever langs de Boulevard Bankert.

In T8 en T9 vindt een aanzienlijke sedimentatie plaats in de raaien 3 en 5 (figuren 70 en 71). Dit moet worden toegeschreven aan het geërodeerde en onder invloed van de golven en de stroom in oostelijk richting getransporteerde zand van het Badstrand, nadat hierop een aanzienlijke hoeveelheid zand kunstmatig is aangebracht. De veel geringere kunstmatige ophoging van het Badstrand in T2 heeft niet een duidelijke sedimentatie in de raaien 3 en 5 tot gevolg.

In de toestanden met een 50 m ingekorte Nol (T4, T5) zijn de ontwikkelingen van de oeverligging in de raaien 3 en 5 analoog aan die in T0-8 (figuren 72 en 73.) Hoewel de proeven van korte duur zijn geweest, lijkt de conclusie wel gewettigd, dat een inkorting van de Nol met 50 m geen invloed heeft op de oever langs de Boulevard Bankert.

Uit de resultaten van de proeven met een grote inkorting van de Nol (T3, T6, T7, T10 en T11) blijkt, dat aanvankelijk geen verhoging van de oever langs de Boulevard Bankert optreedt (figuren 74 ... 77). Een dergelijke ontwikkeling mocht worden verwacht, gezien het feit, dat ook het oostelijk deel van het Badstrand pas na verloop van tijd een aanwas vertoont. Uit de proeven T6 en T7 blijkt echter, dat op den duur sedimentatie in de raaien 3 en 5 optreedt, nadat een aanzienlijke hoeveelheid zand zich op het Badstrand heeft afgezet. Op dat tijdstip is de toestand vergelijkbaar met T8 en T9, in welke situaties het Badstrand kunstmatig is opgehoogd.

Verder zijn de verschillen tussen T3 enerzijds en T6, T10 en T11 anderzijds klein, en een merkbaar gunstige invloed van de paalrijen op de ligging van de oever is niet te constateren.

Samenvattend volgt uit de onderzochte toestanden, dat de oever langs de Boulevard Bankert een hogere ligging verkrijgt als er op het Badstrand voldoende zand aanwezig is om onder invloed van de golven en de stroom in oostelijke richting te worden getransporteerd. Door een inkorting van de Nol over 100 m of meer wordt dit zand op den duur op een natuurlijke wijze aangeboden.

Uit het modelonderzoek blijkt niet, dat de paalrijen een gunstige invloed hebben op de ontwikkeling van de beschouwde oever.

7. Samenvatting en conclusies

In het volgende wordt een korte samenvatting gegeven van de belangrijkste resultaten van het modelonderzoek. Op grond van de waargenomen ontwikkelingen van het Nollestrand, het Badstrand en de oever langs de Boulevard Bankert kunnen een aantal conclusies worden getrokken omtrent het effect van de diverse onderzochte maatregelen ter verbetering van de situatie.

Handhaving van Nol

In de huidige toestand met handhaving van de bestaande Nol hebben paalrijen langs het betreffende oevergedeelte weinig invloed op de morfologische ontwikkelingen. Hoewel hierdoor de stroomsnelheden over het Badstrand verminderen, vindt er geen sedimentatie van zand op het strand plaats. De indruk wordt gewekt, dat de paalrijen op het Nollestrand wel enige aanwas van het bovenste deel van het strand tot gevolg hebben.

Kunstmatig aangebrachte ophogingen van het Badstrand blijken te worden aangetast en zullen op den duur geheel verdwijnen. Het toepassen van paalrijen heeft daarbij wel enig vertragend effect, maar ze vormen geen afdoende belemmering voor het zijdelingse en zeewaartse zandtransport door de golven en de stroom.

Door een aanzienlijke ophoging van het Badstrand zal, ten gevolge van het toegenomen oostwaartse kusttransport, de oever langs de Boulevard Bankert een hogere ligging verkrijgen. Verwacht moet echter worden, dat bij een voortgaande erosie van het op het Badstrand gedeponeerde zand dit gunstige effect zal verminderen.

Inkorting van de Nol met 50 m

Het inkorten van de Nol met 50 m, waarbij de ervóór liggende oever wordt verdedigd, heeft nagenoeg geen effect op de ontwikkeling van het Nollestrand, het Badstrand en de oever langs de Boulevard Bankert. Daarbij heeft in deze situatie ook de verwijdering van het Nollehoofd geen merkbare invloed op de morfologische ontwikkelingen.

Inkorting van de Nol met 100 m

Wanneer de Nol met 100 m wordt ingekort zal op den duur een aanzienlijke hoeveelheid zand op het Badstrand en op de oever langs de Boulevard Bankert worden afgezet. Door het aanbrengen van paalrijen langs de kust ten oosten van de Nol wordt deze afzetting van zand op het strand iets versneld, doch langs de Boulevard Bankert blijken de paalrijen geen effect te hebben. Daarbij hebben de gemodificeerde paalrijen volgens T10 een iets gunstiger werking dan die volgens T6. Omtrent de mogelijke erosie van de bodem voor de koppen van de paalrijen kan geen uitspraak worden gedaan, daar in het model deze erosie ook optreedt wanneer geen paalrijen aanwezig zijn.

Als gevolg van de inkorting van de Nol zal het Nollestrand zich iets minder gunstig ontwikkelen dan bij handhaving van de Nol. De erosie van het bovenste deel van het strand kan echter worden opgeheven door het toepassen van paalrijen hier, die geen merkbaar effect hebben op de ontwikkeling van het Badstrand.

Inkorting van de Nol tot de Nollediijk

In het model blijken de morfologische ontwikkelingen in de situatie met een ingekorte Nol tot aan de Nollediijk vrijwel gelijk te zijn aan die in de situatie met een 100 m ingekorte Nol, wat toegeschreven moet worden aan de vrij hoog gelegen verdedigde oever voor de Nol.

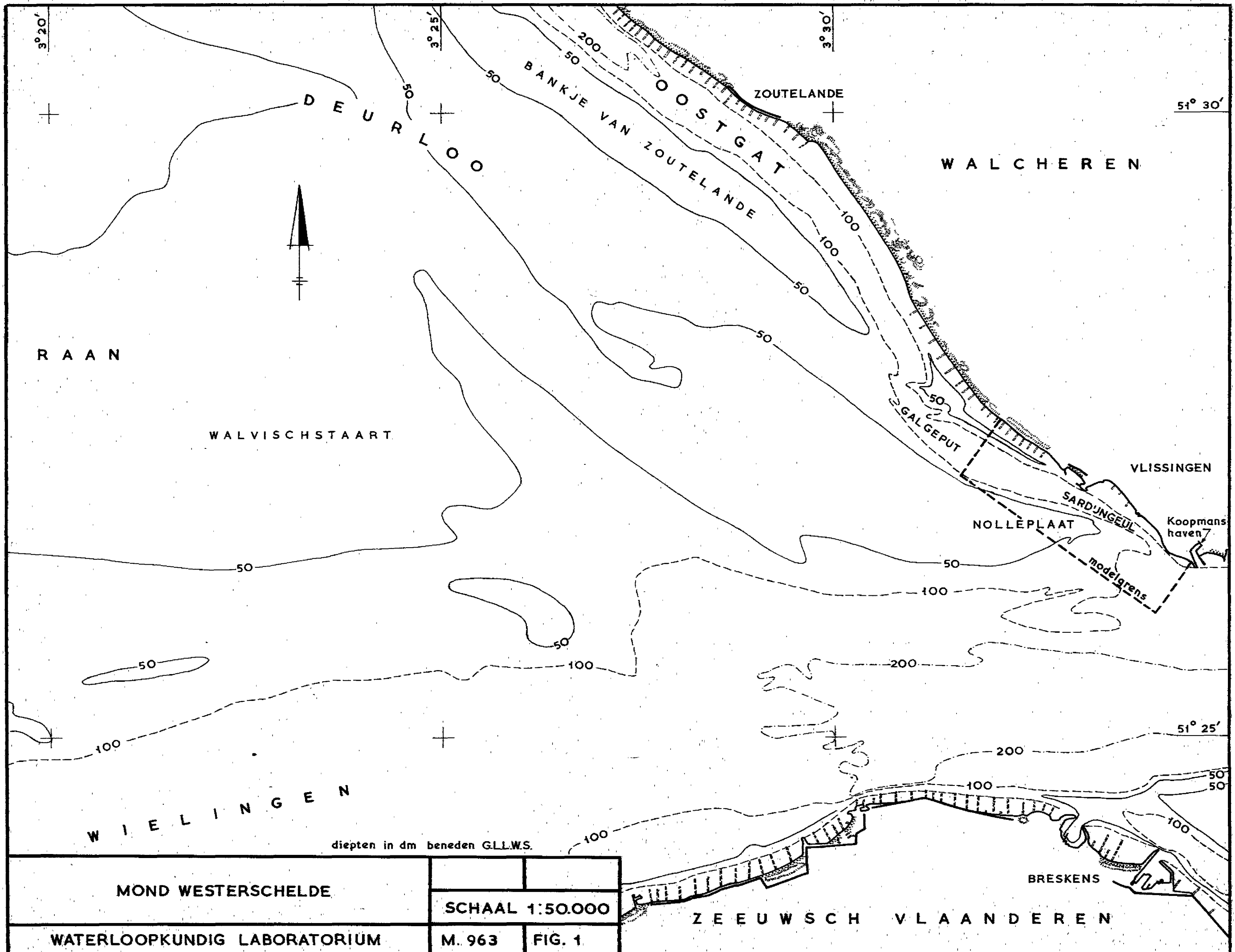
Verwacht wordt dat in het prototype, waar hogere waterstanden voorkomen dan in het model zijn toegepast, wel verschillen zullen optreden. Het meest kenmerkende verschil is vermoedelijk een grotere aantasting van het Nollestrand. Daarbij zal mogelijk de aanwas van het Badstrand en van de oever langs de Boulevard Bankert iets sneller verlopen dan bij een inkorting van de Nol met 100 m.

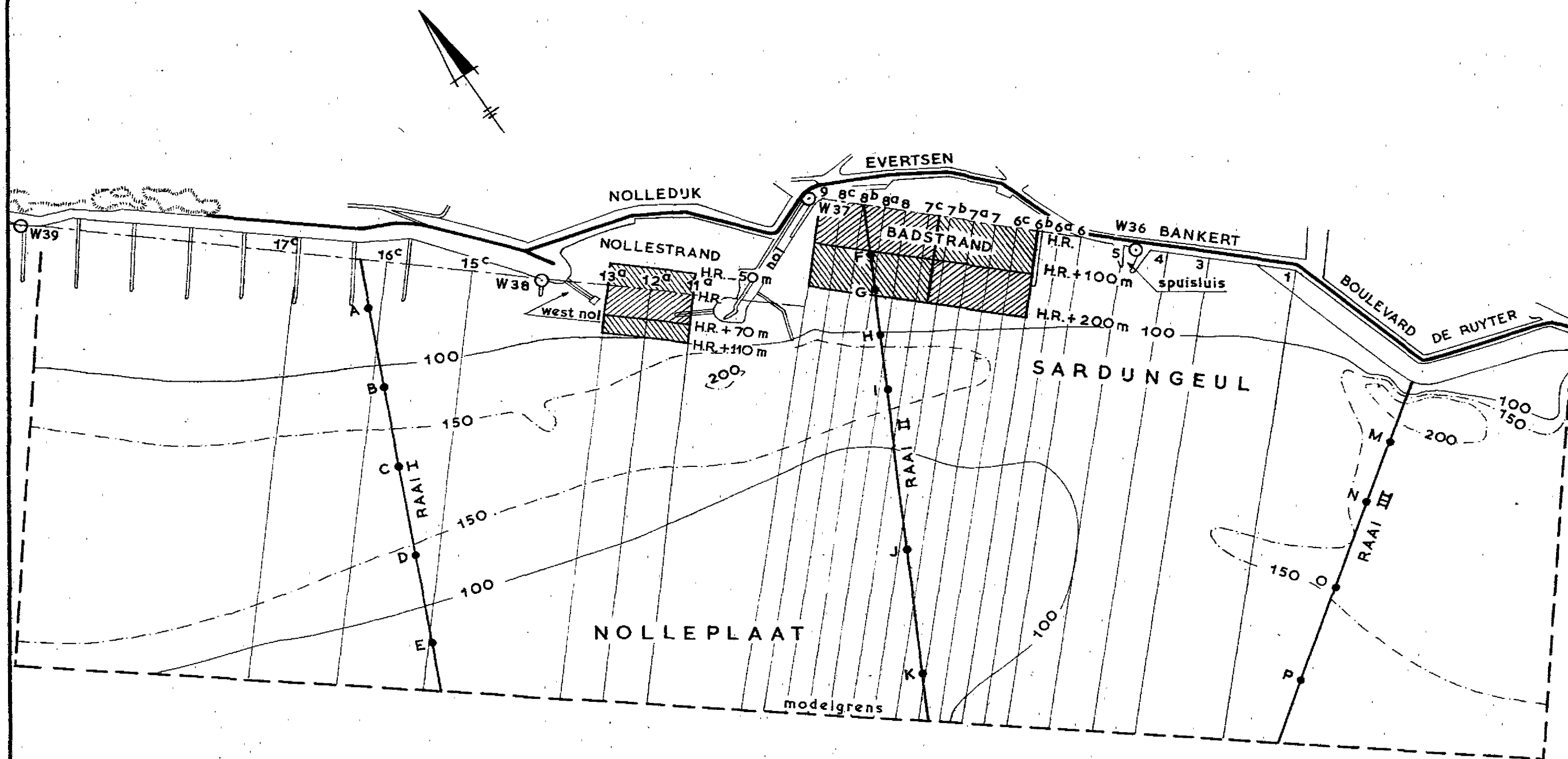
Uit de bovenstaande samenvatting van de belangrijkste resultaten van het modelonderzoek volgt, dat de beste voorwaarden voor een verbeterde ligging van het Badstrand worden verkregen door de Nol over een afstand van circa 100 m in te korten. Daarmee wordt tevens bereikt dat op den duur de oever langs de Boulevard Bankert iets hoger komt te liggen. De afzetting van zand op het Badstrand kan nog enigszins worden versneld door paalrijen aan te brengen.

Daarentegen zal door de genoemde inkorting van de Nol het Nollestrand een lichte achteruitgang vertonen, wat kan worden voorkomen door het plaatsen van paalrijen hier.

LITERATUUR

1. Bijker, E.W.
Some considerations about scales for coastal models with movable bed.
Proefschrift Technische Hogeschool Delft, 1967.
2. Dorrestein, R.
Wind and wave data of Netherlands lightvessels since 1949.
K.N.M.I., mededelingen en verhandelingen no. 90, 1967.
3. Groen, P.
On the residual transport of suspended matter by an alternating tidal current.
Netherlands Journal of Sea Research, 3,4, 1967.
4. Rijkswaterstaat, Deltadienst, Waterloopkundige Afdeling.
Correlatie van golfgegevens Triton - 1964/1965 met overeenkomende gegevens van het lichtschip Goeree.
Nota K - 288, 1966.
5. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Studiedienst Vlissingen.
Advies verbetering zeewering Boulevards Bankert en Evertsen te Vlissingen.
Rapport 1966.
6. Terwindt, J.H.J.
Mudtransport in the Dutch Delta Area and along the adjacent coastline.
Netherlands Journal of Sea Research, 3,4, 1967.
7. Zwols, A.
Mond van het Haringvliet.
Afstudeerverslag, deelontwerp vloeistofmechanica, Technische Hogeschool Delft, 1968.





diepten in dm beneden N.A.P.

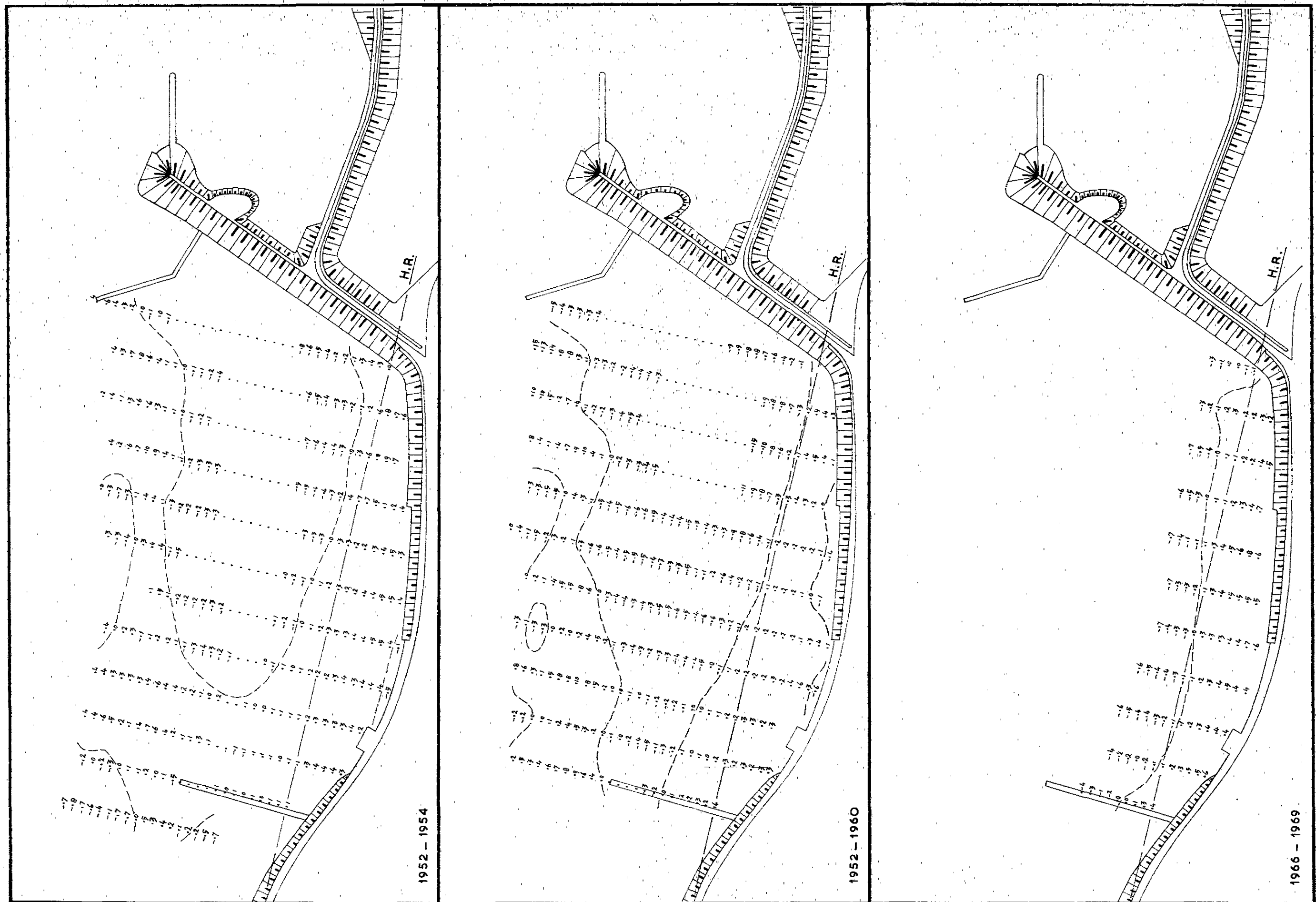
SITUATIE MET RAAIENSTELSEL

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 2



VERSCHIL VAN DIVERSE PEILINGEN (prototype)

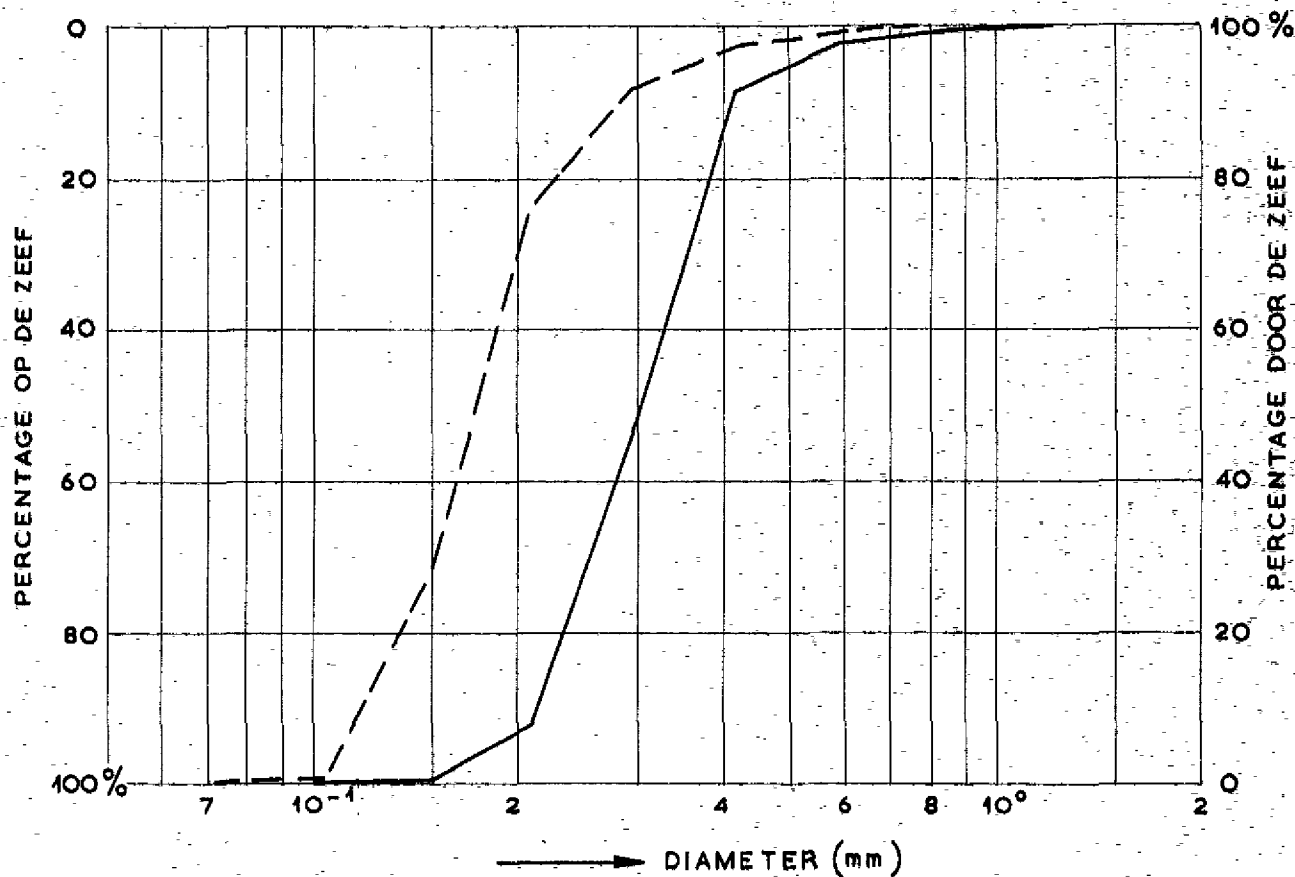
SCHAAL 1:4000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 3

hoogteverschillen in dm
 - = verdieping
 + = verhoging



— — — MODEL
 ————— PROTOTYPE

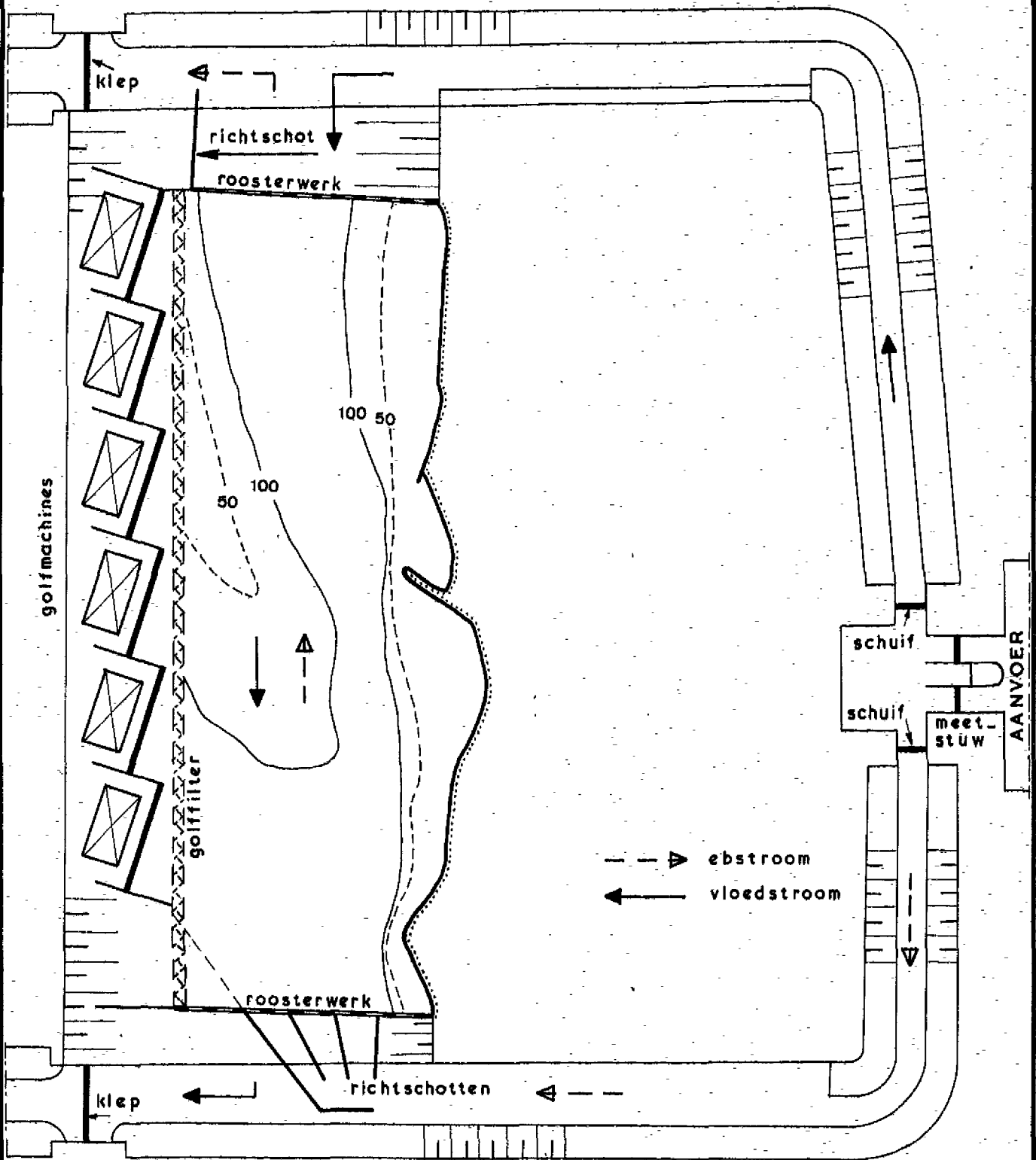
ZEEFKROMMEN BODEMMATERIAAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 4

AFVOER EB



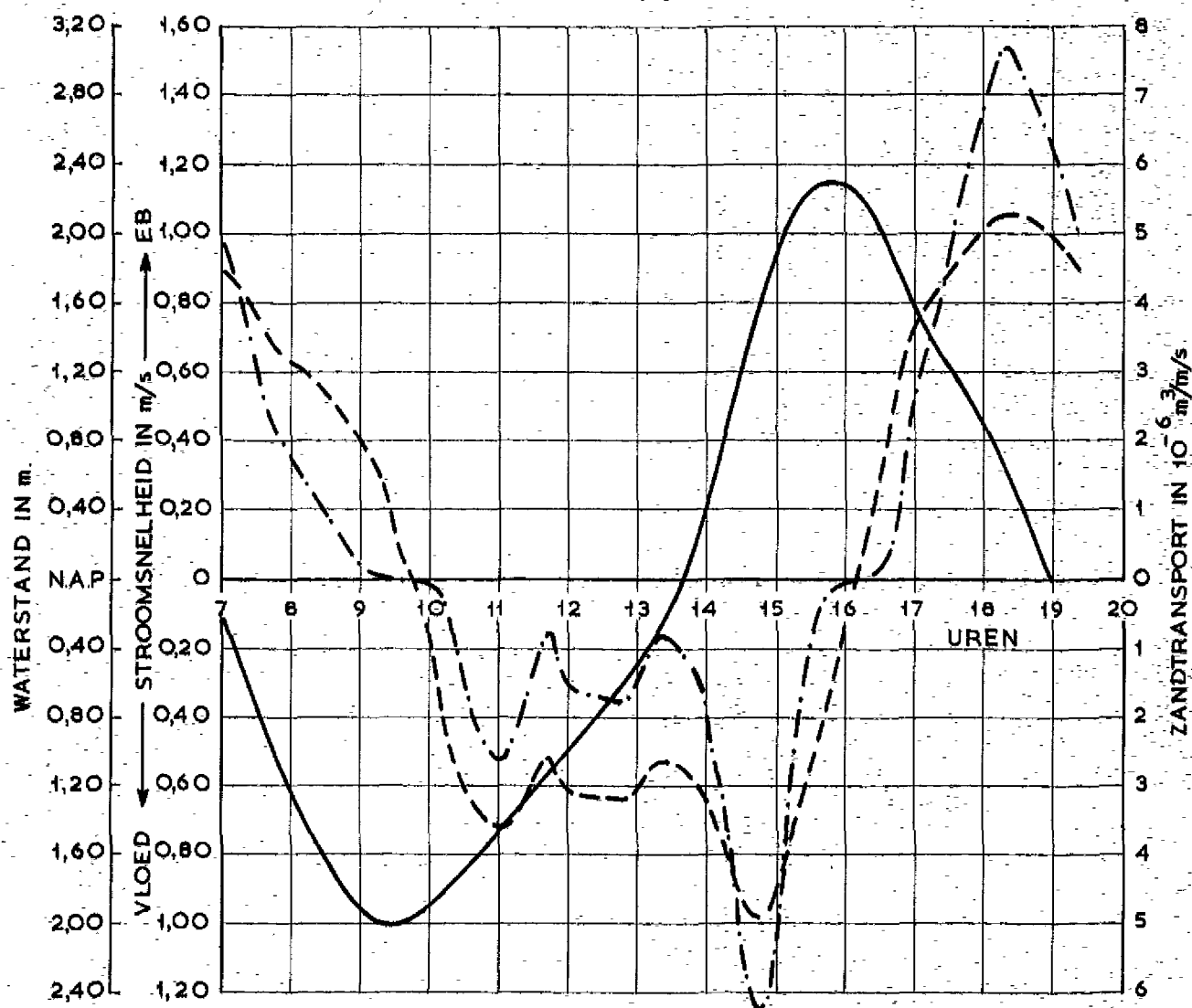
OVERZICHT MODEL

SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 5



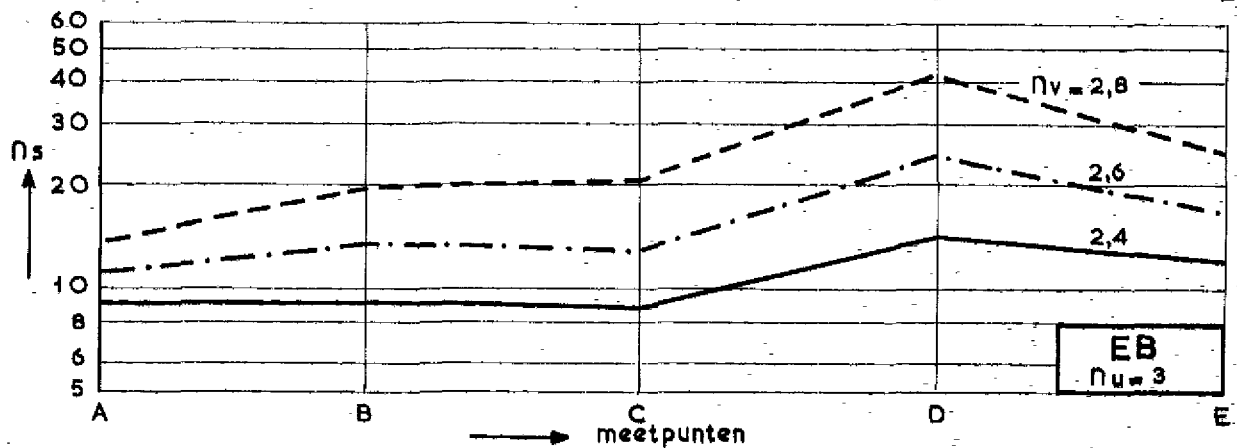
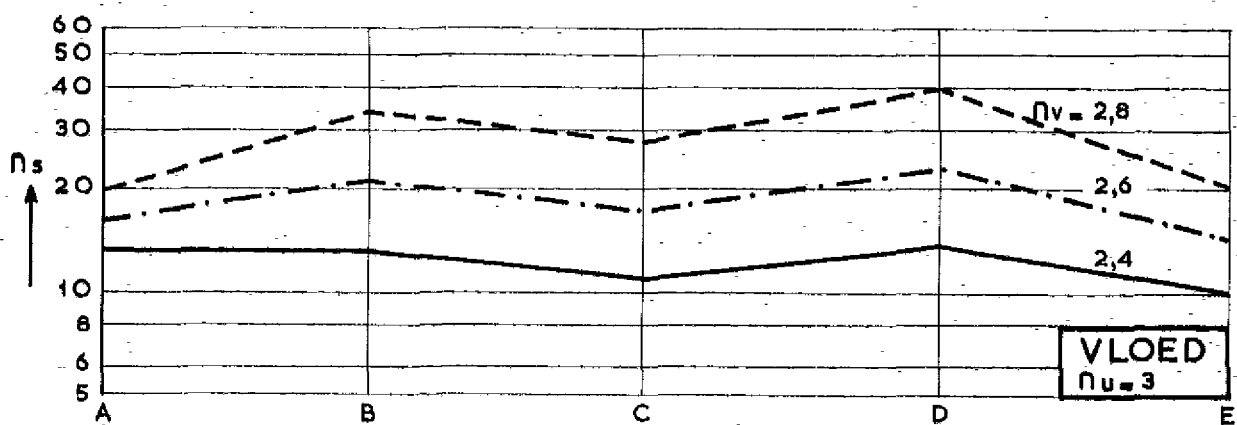
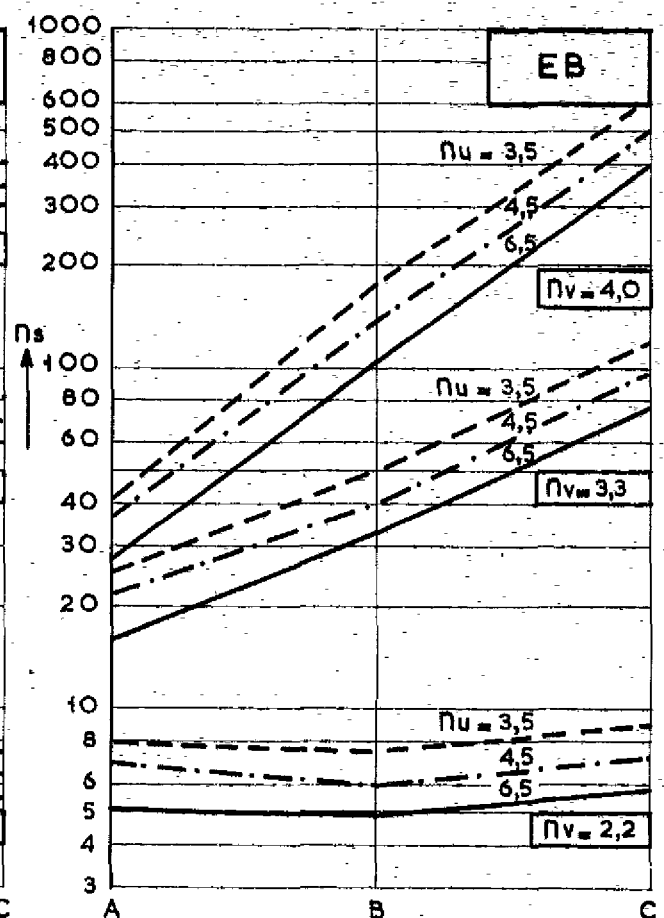
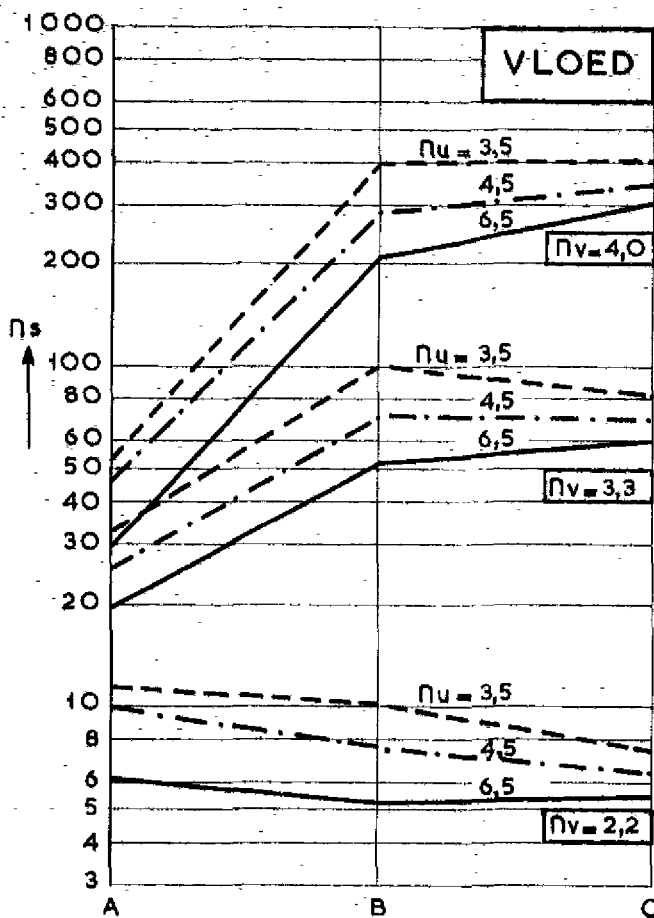
MEETPUNT C
d.d. 22-8-1967
T=6 s. H=0,9 m

GETU EN ZANDTRANSPORT

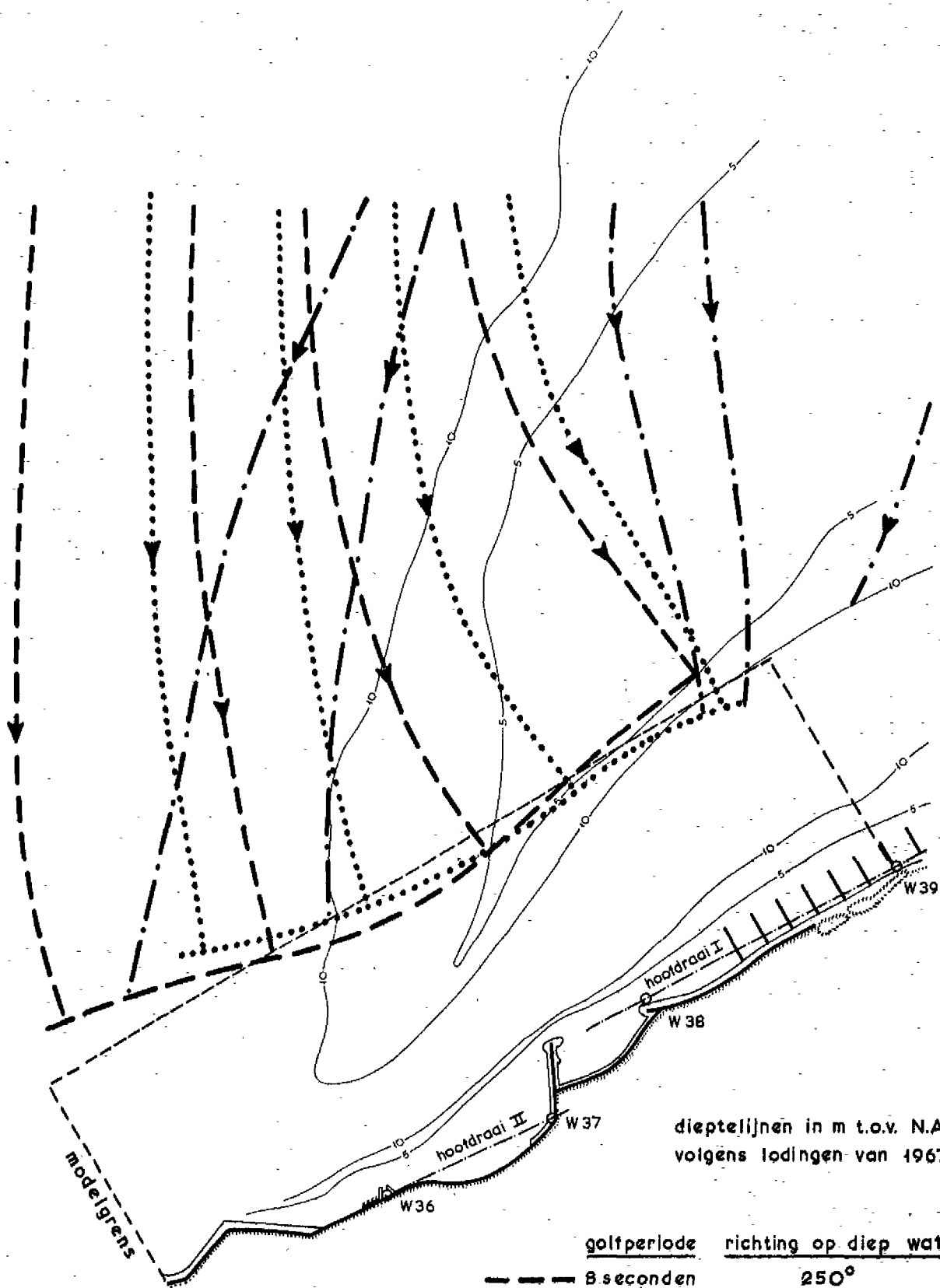
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 6



UITKOMSTEN SCHAALBEREKENINGEN



dieptelijnen in m t.o.v. N.A.P.
volgens lodingen van 1967

golfperiode	richting op diep water
— — — — — 8 seconden	250°
..... 6 " "	250°
- . - . - . 6 " "	270°

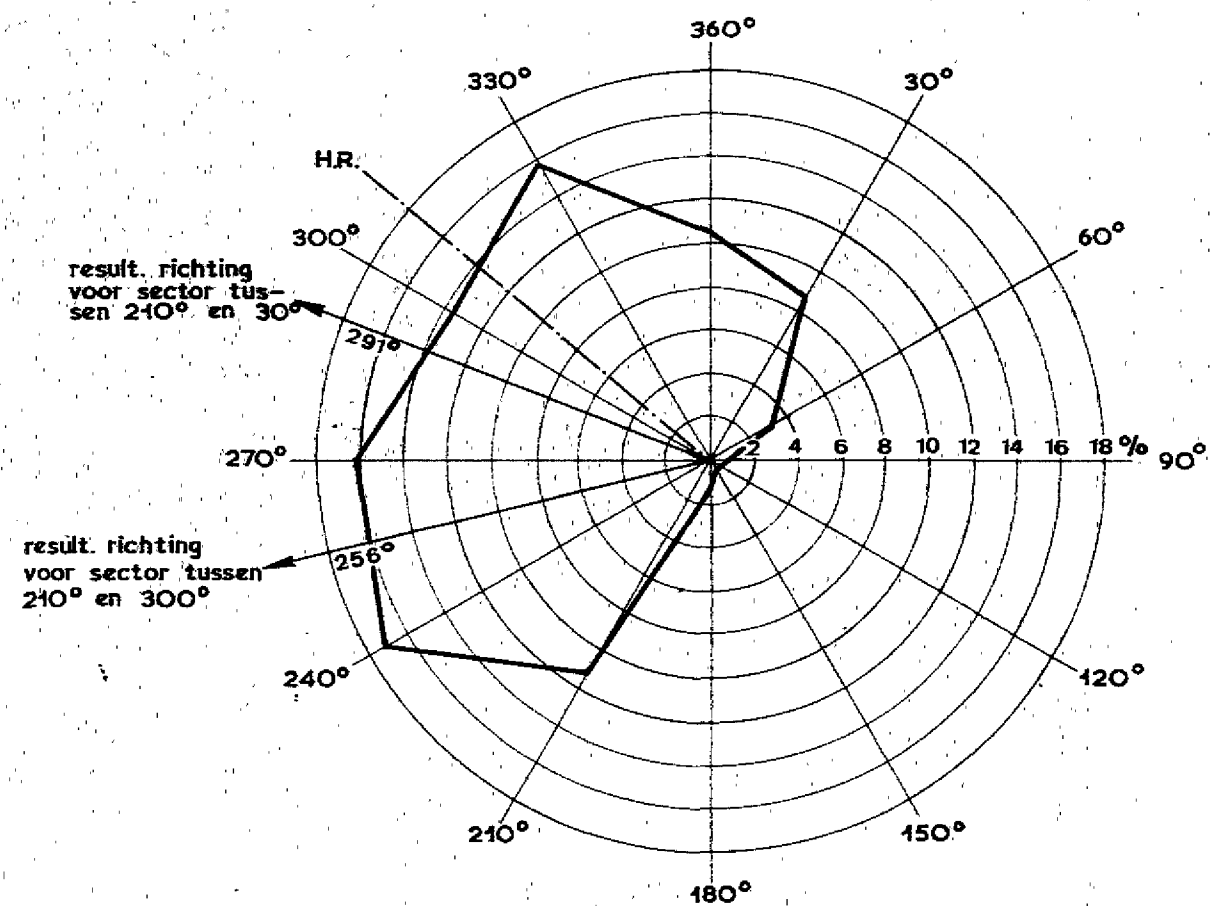
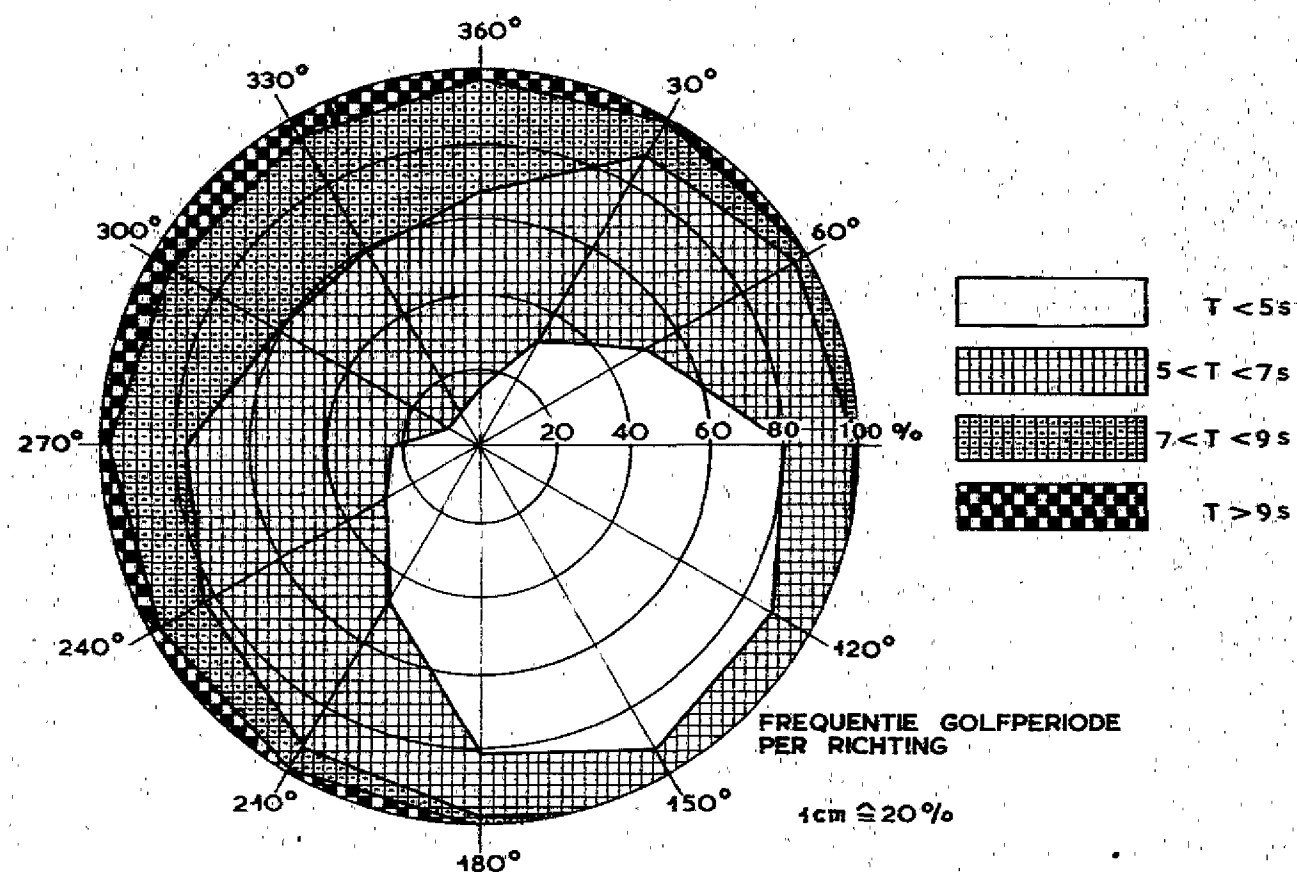
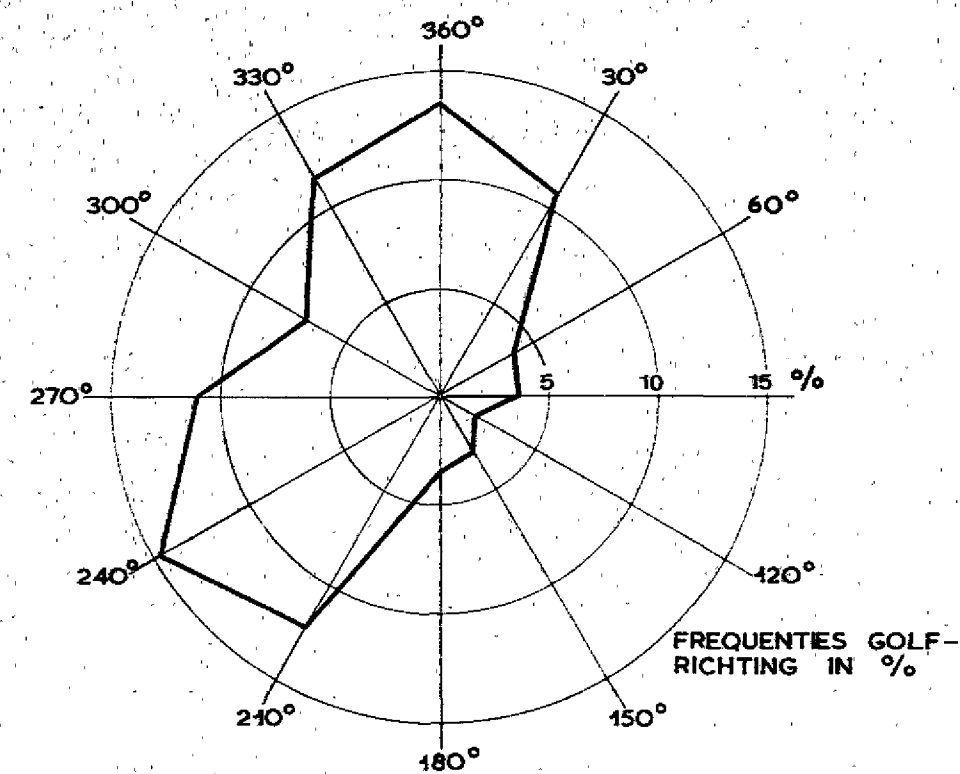
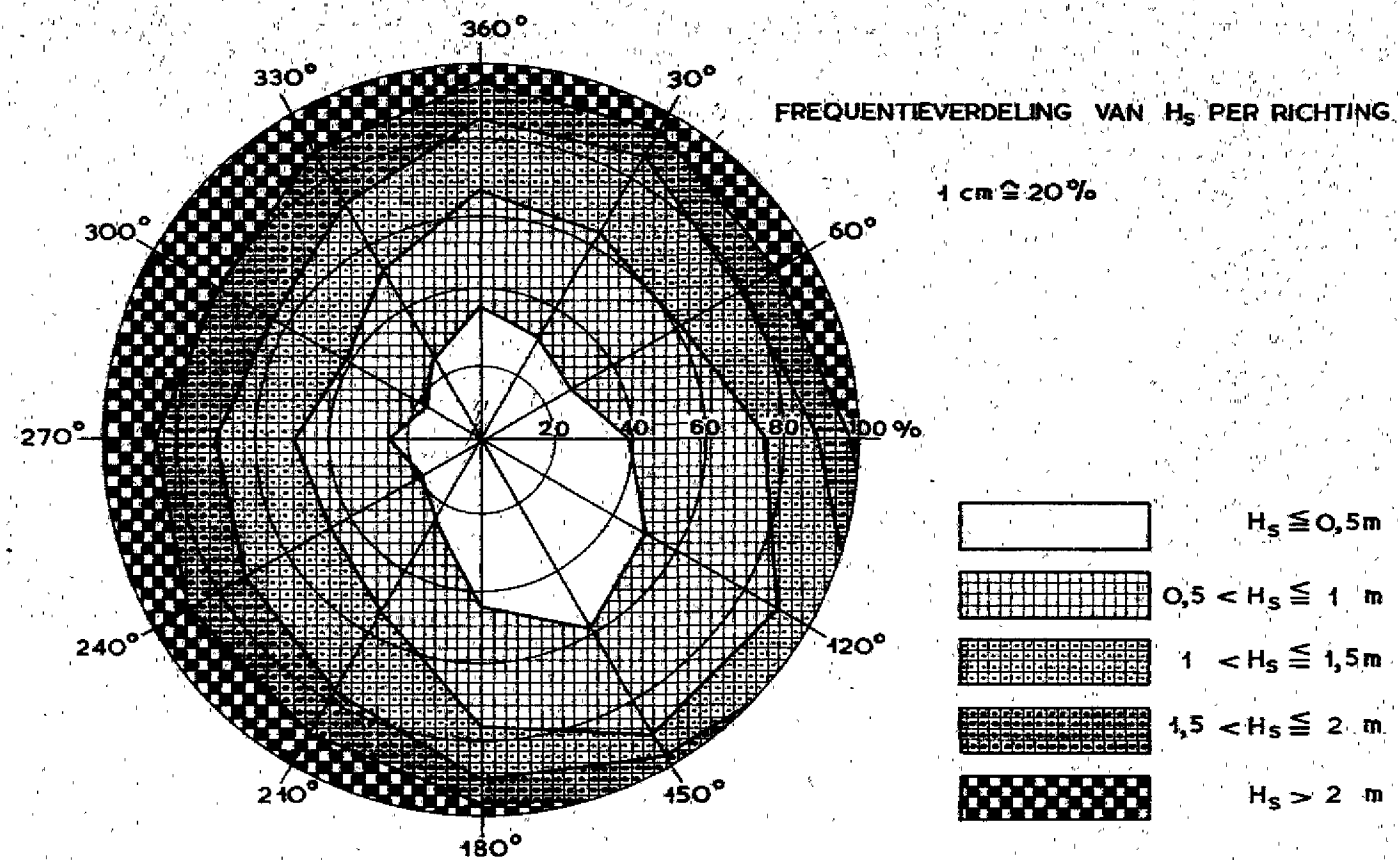
REFRACTIE VAN DE GOLVEN

SCHAAL 1:25.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 8



FREQUENTIEVERDELING IN % VAN DE ENERGIE (H^2T) PER RICHTING

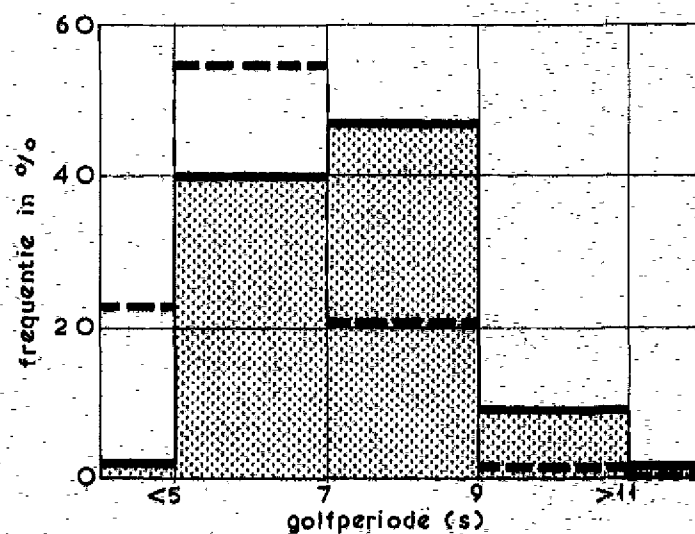
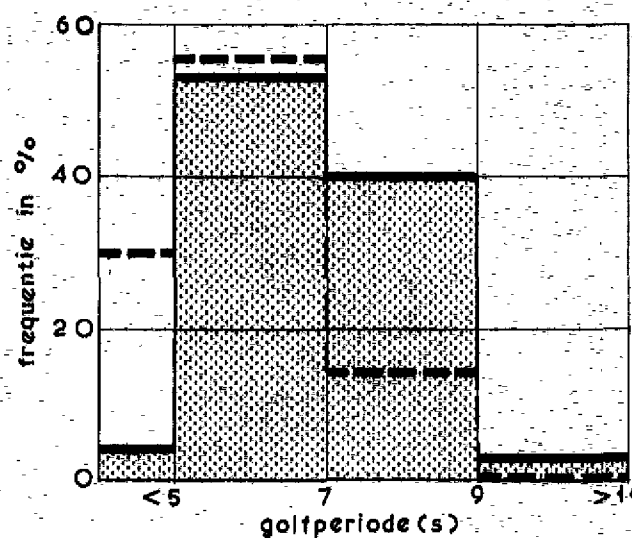
GOLFFREQUENTIES LICHTSCHIP GOEREE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 9

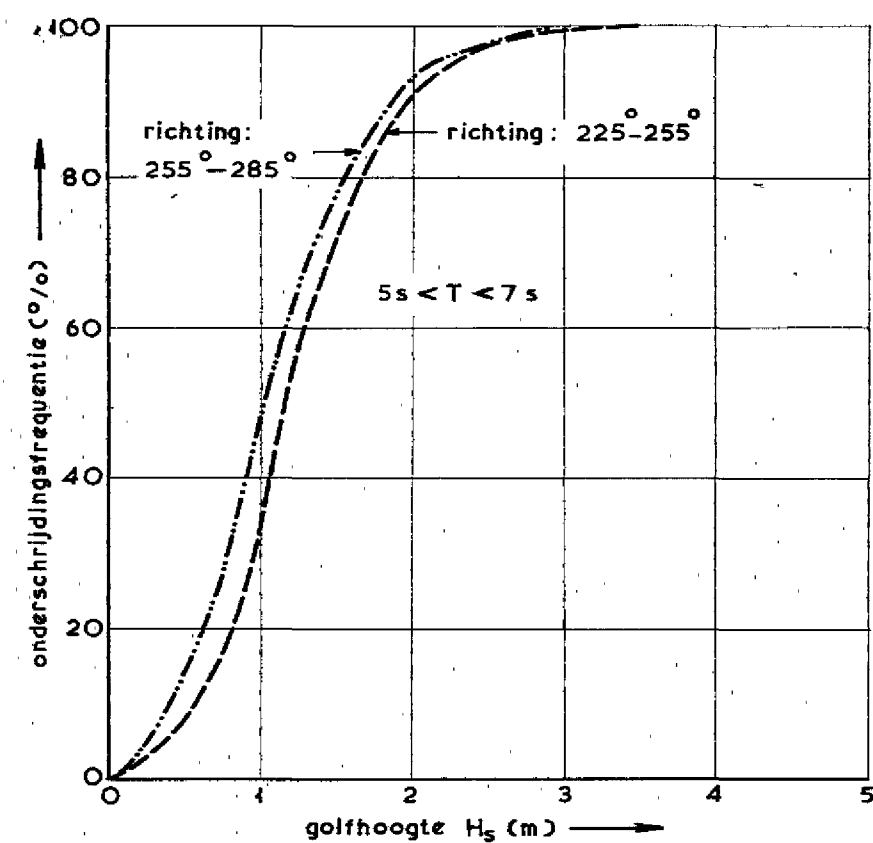
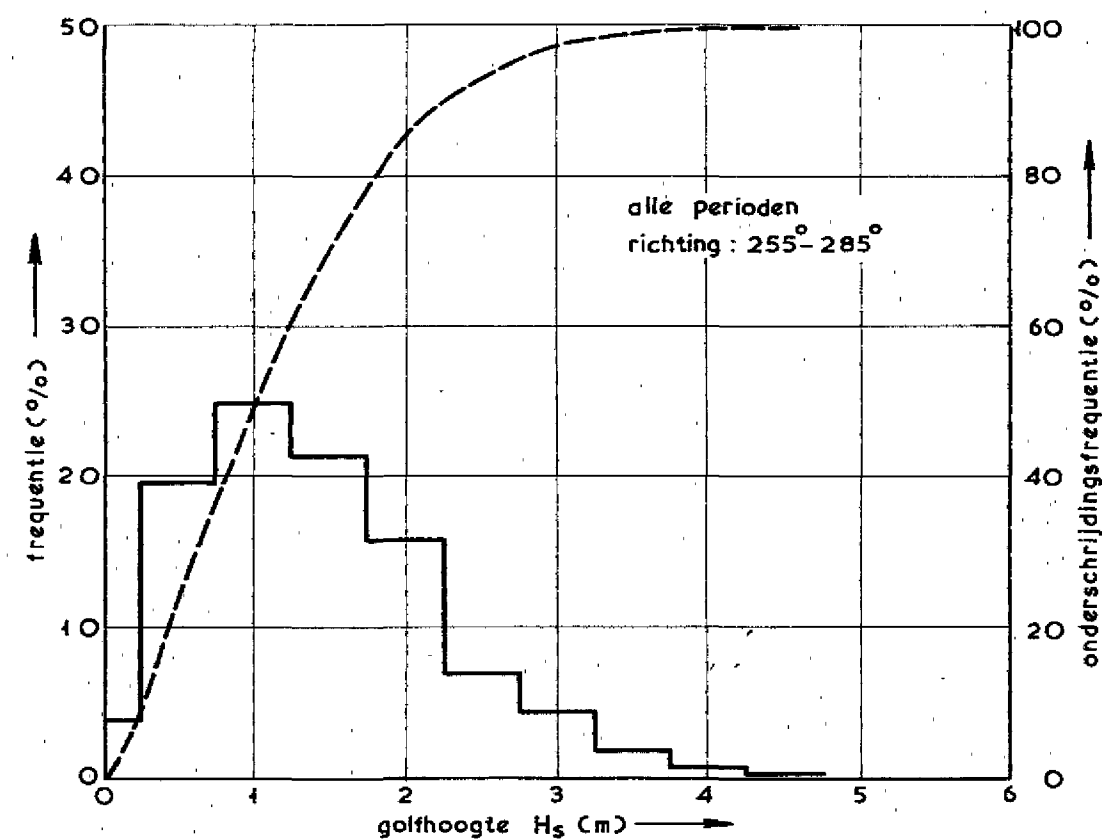
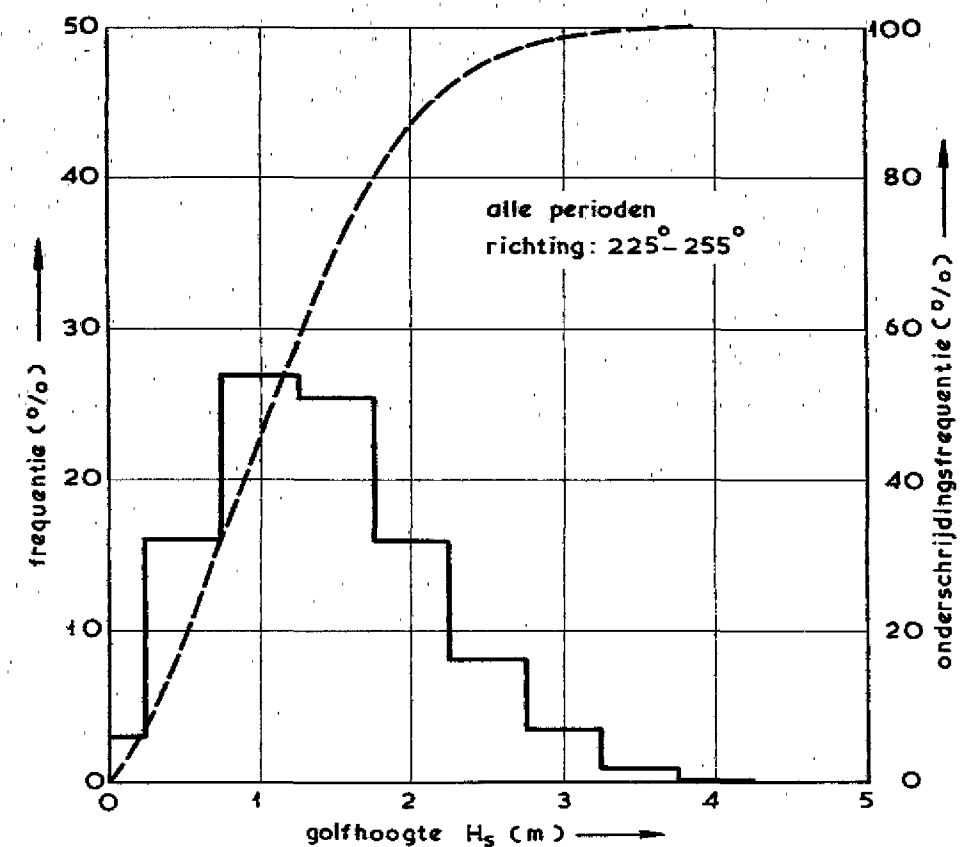
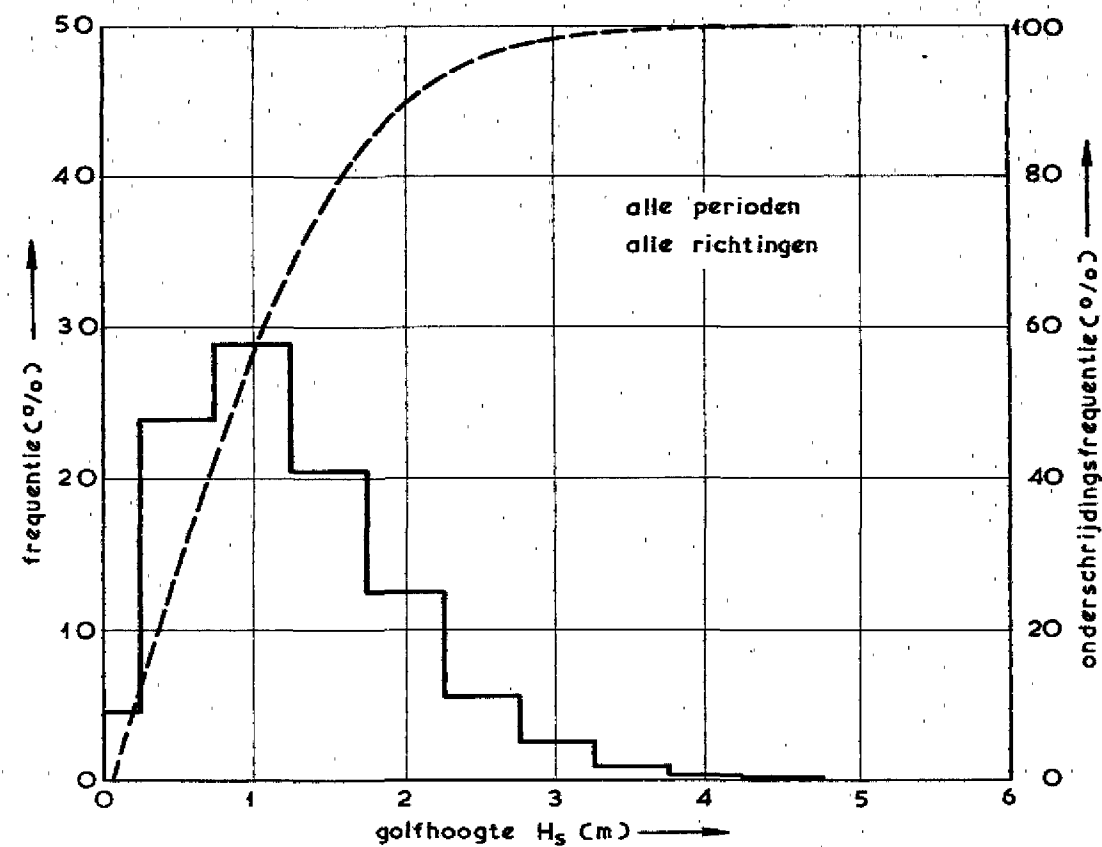
gegevens lichtschip Goeree (1949-1957)



———— frequentie golfenergie (H^2T)
 - - - - - frequentie golfteriode

gegevens lichtschip Goeree (1949-1957)

FREQUENTIES VAN GOLFENERGIE EN GOLFTERIODE



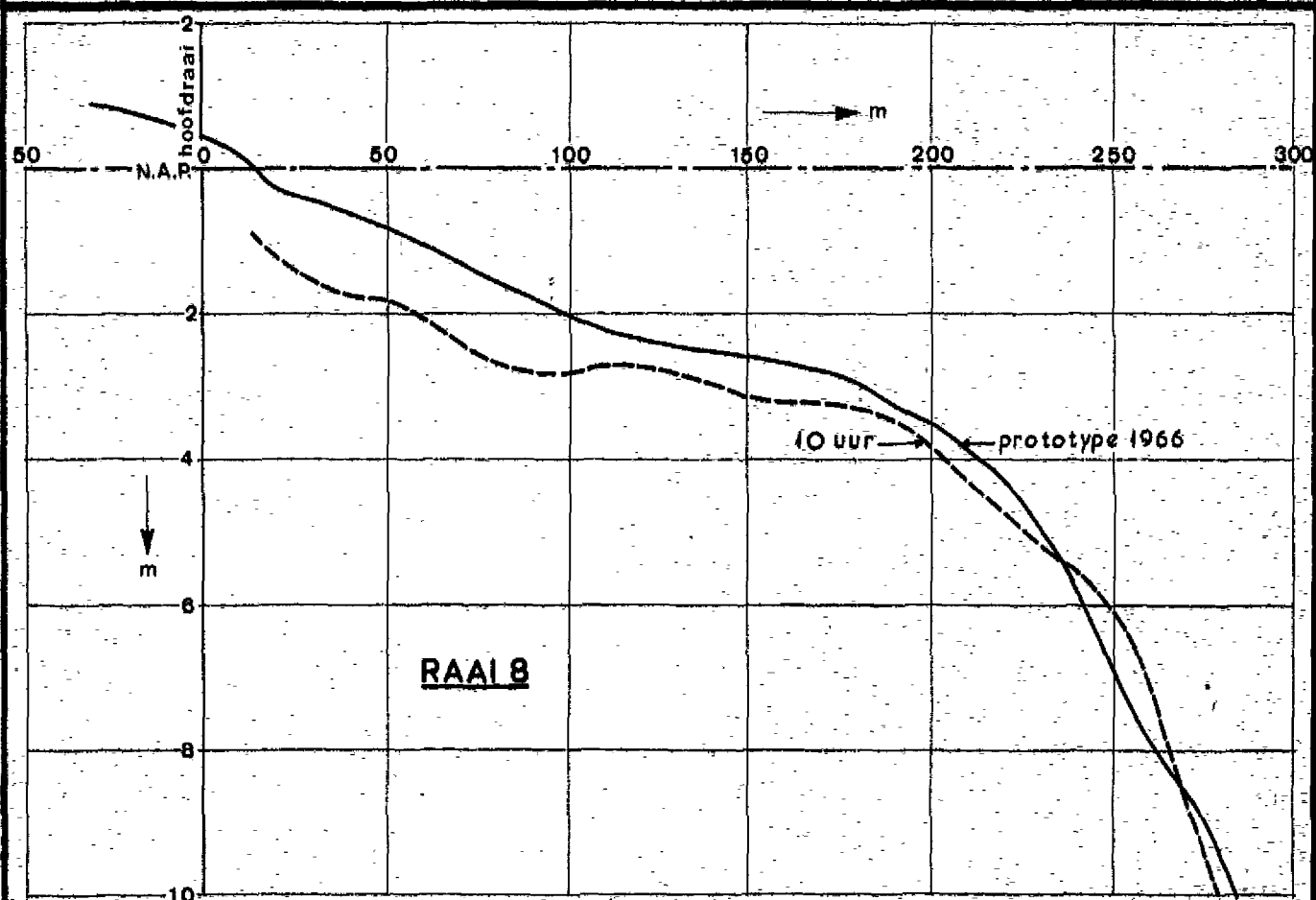
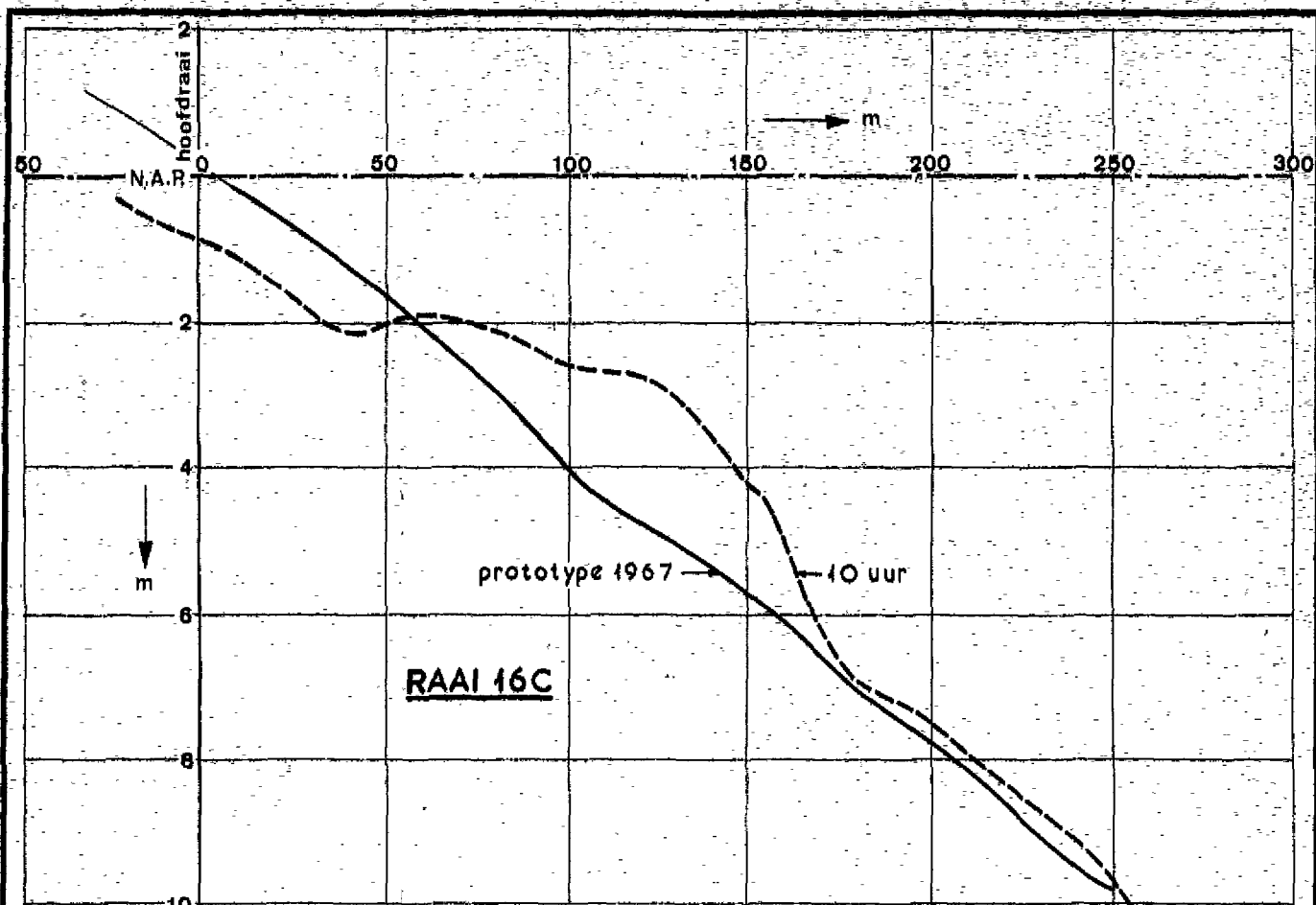
FREQUENTIES VAN GOLFHOOGTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 11

gegevens lichtschip Goeree (1949-1957)



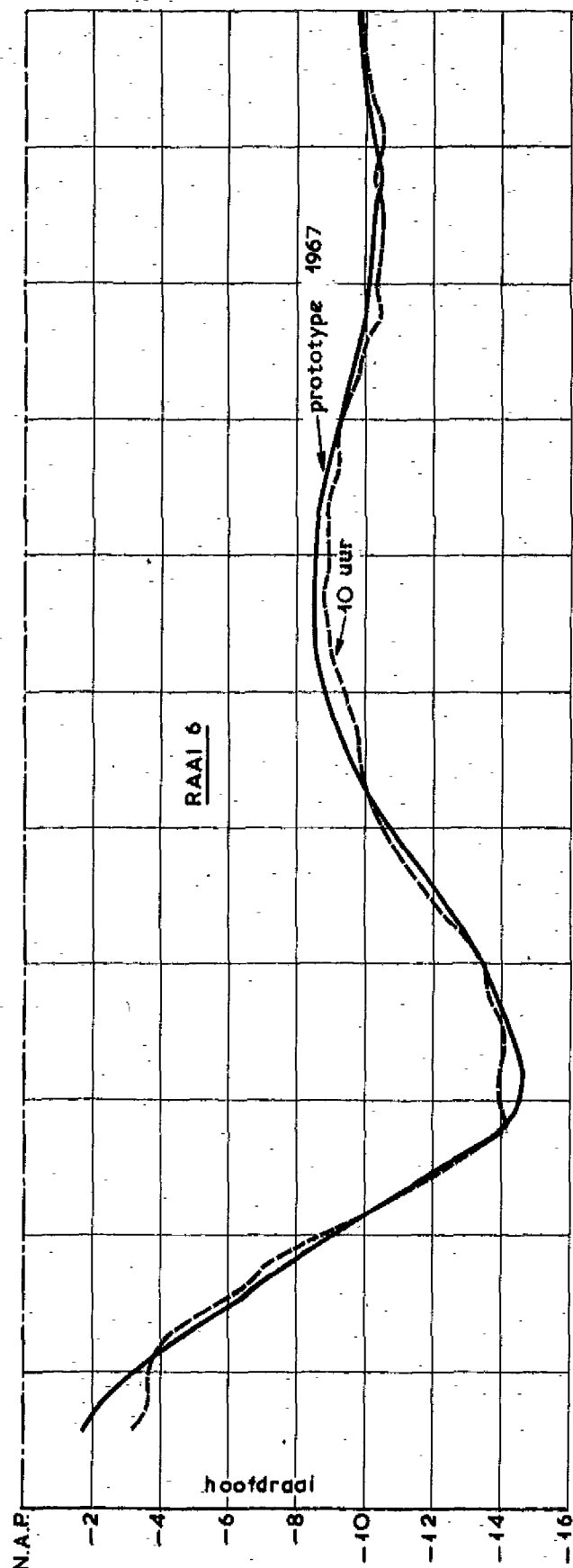
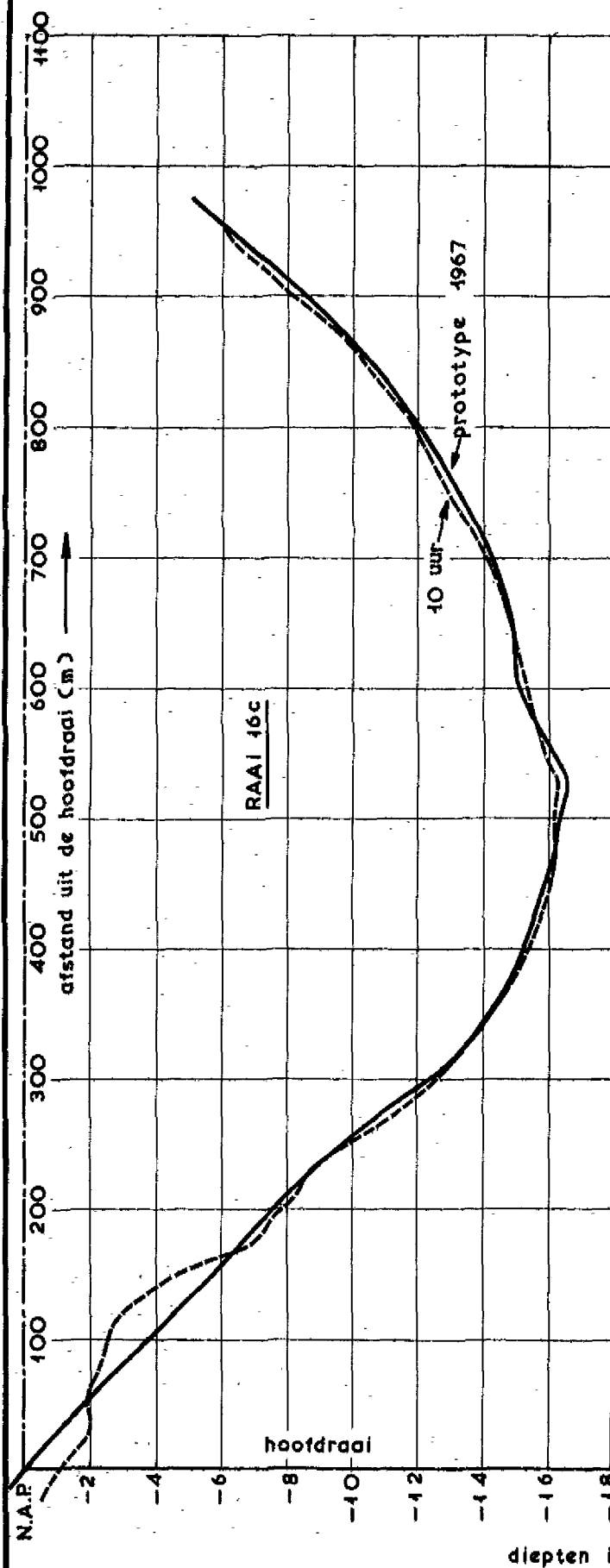
STRANDPROFIELEN

TO-1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 12



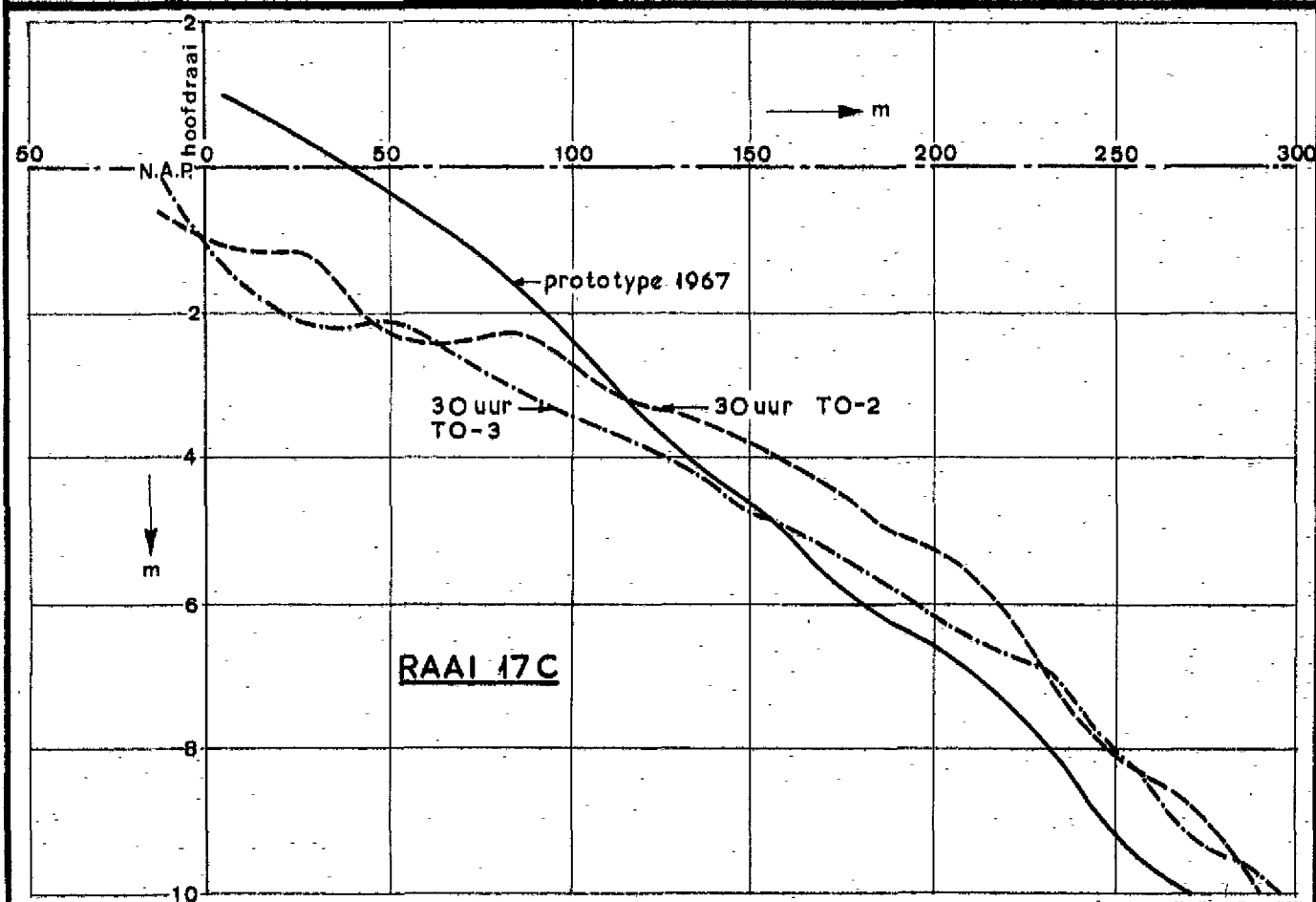
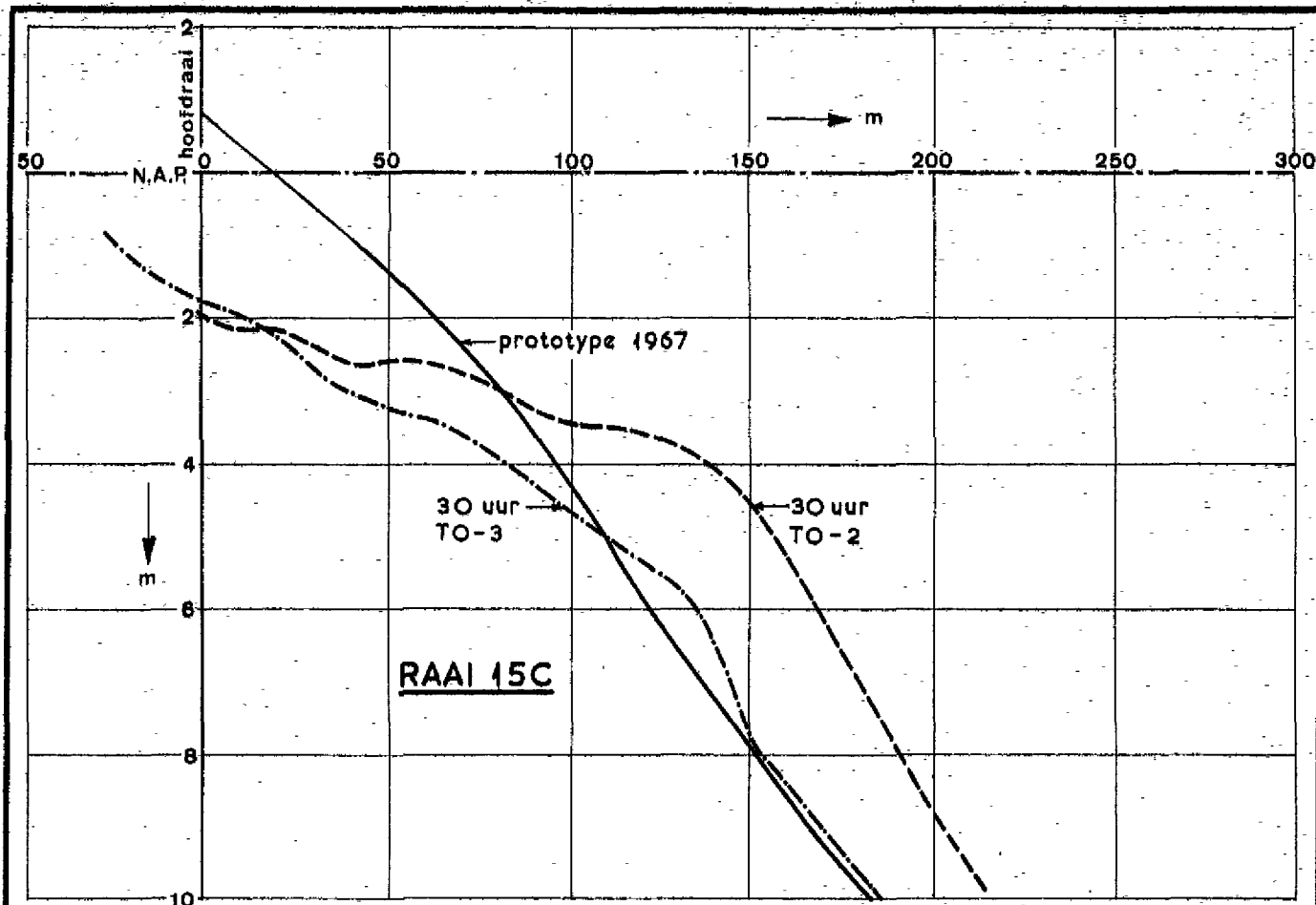
DWARSPROFIELEN

TO-1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 13



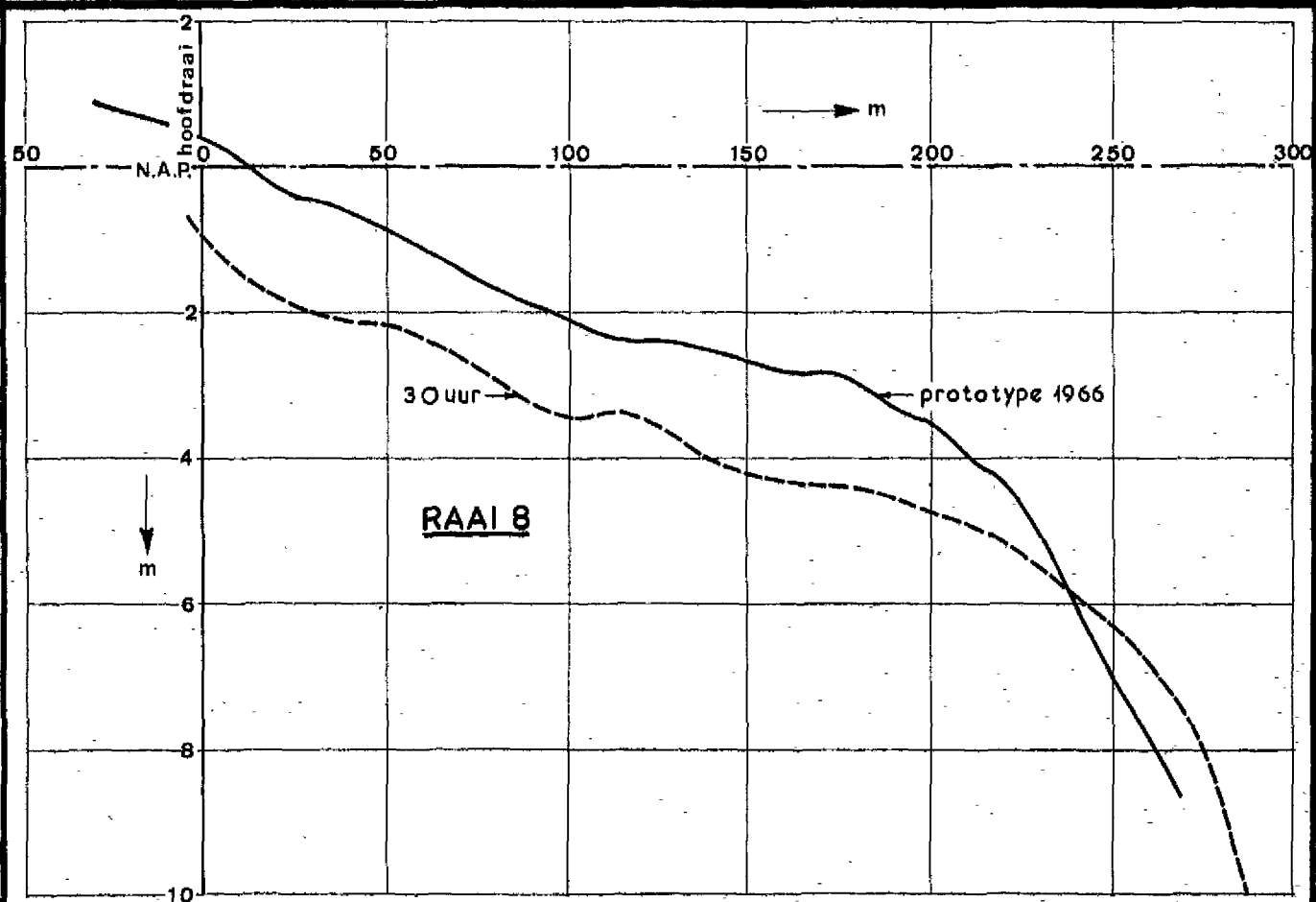
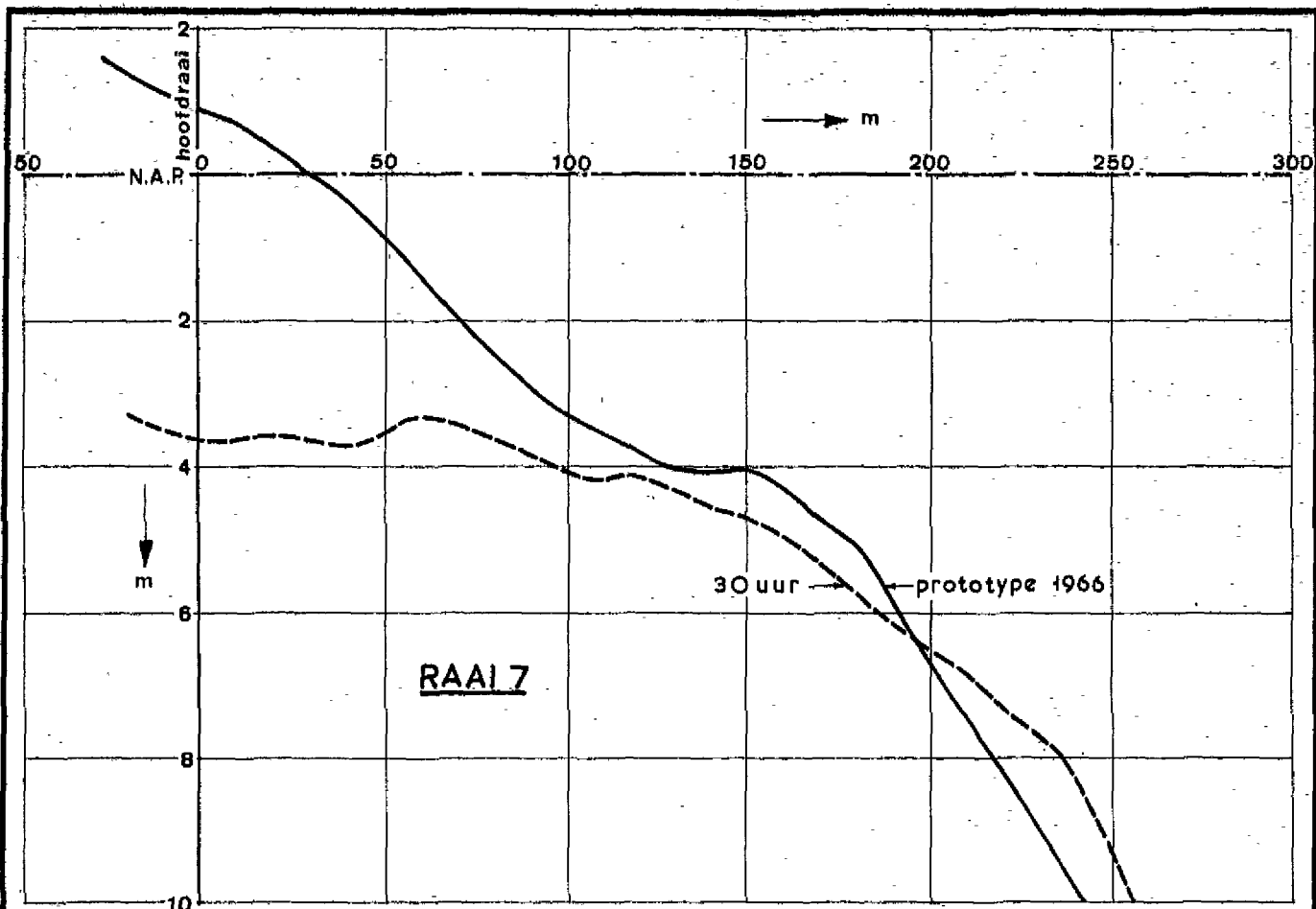
STRANDPROFIELEN

TO-2; TO-3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 14



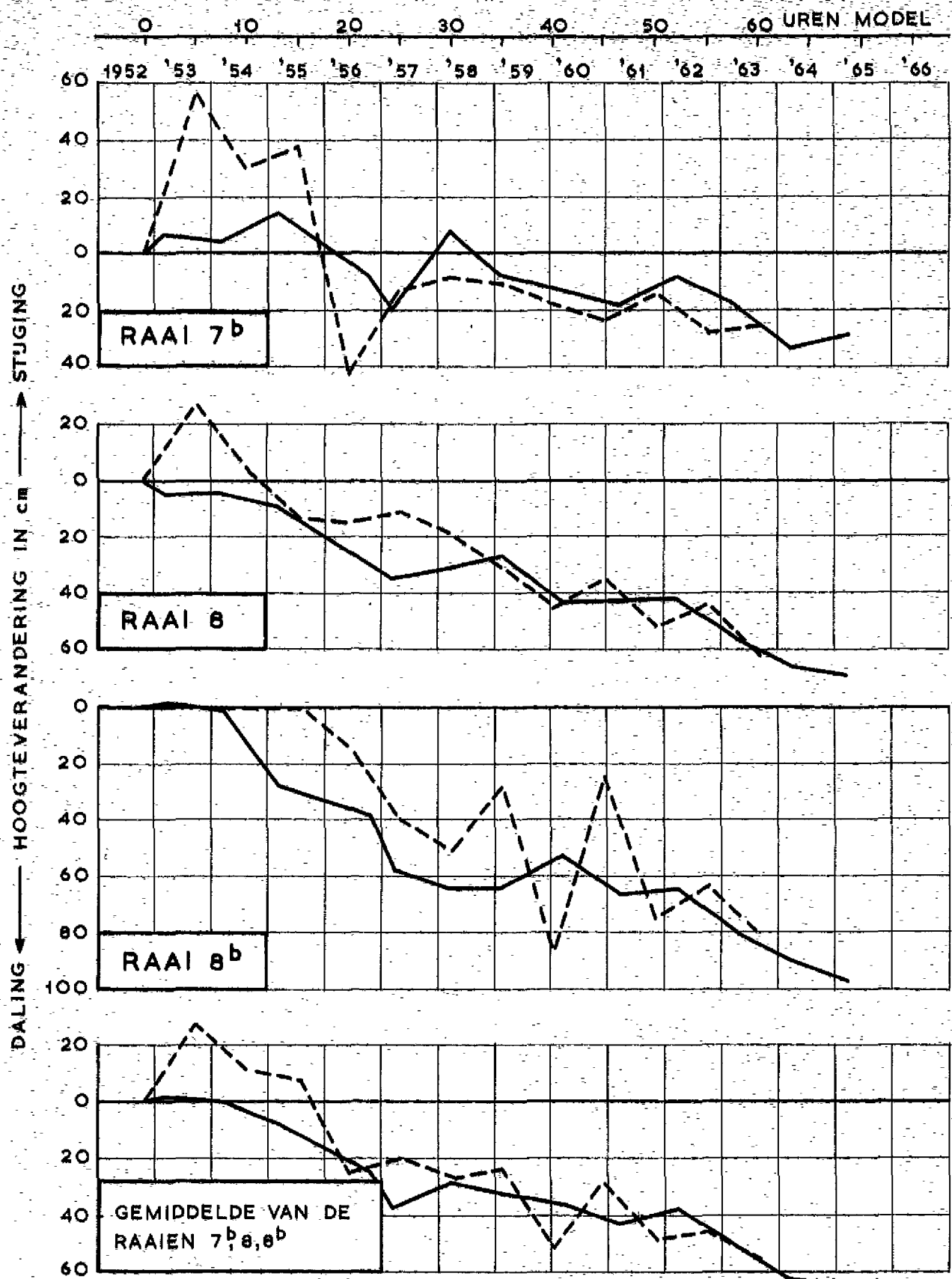
STRANDPROFIELEN

TO-3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 15

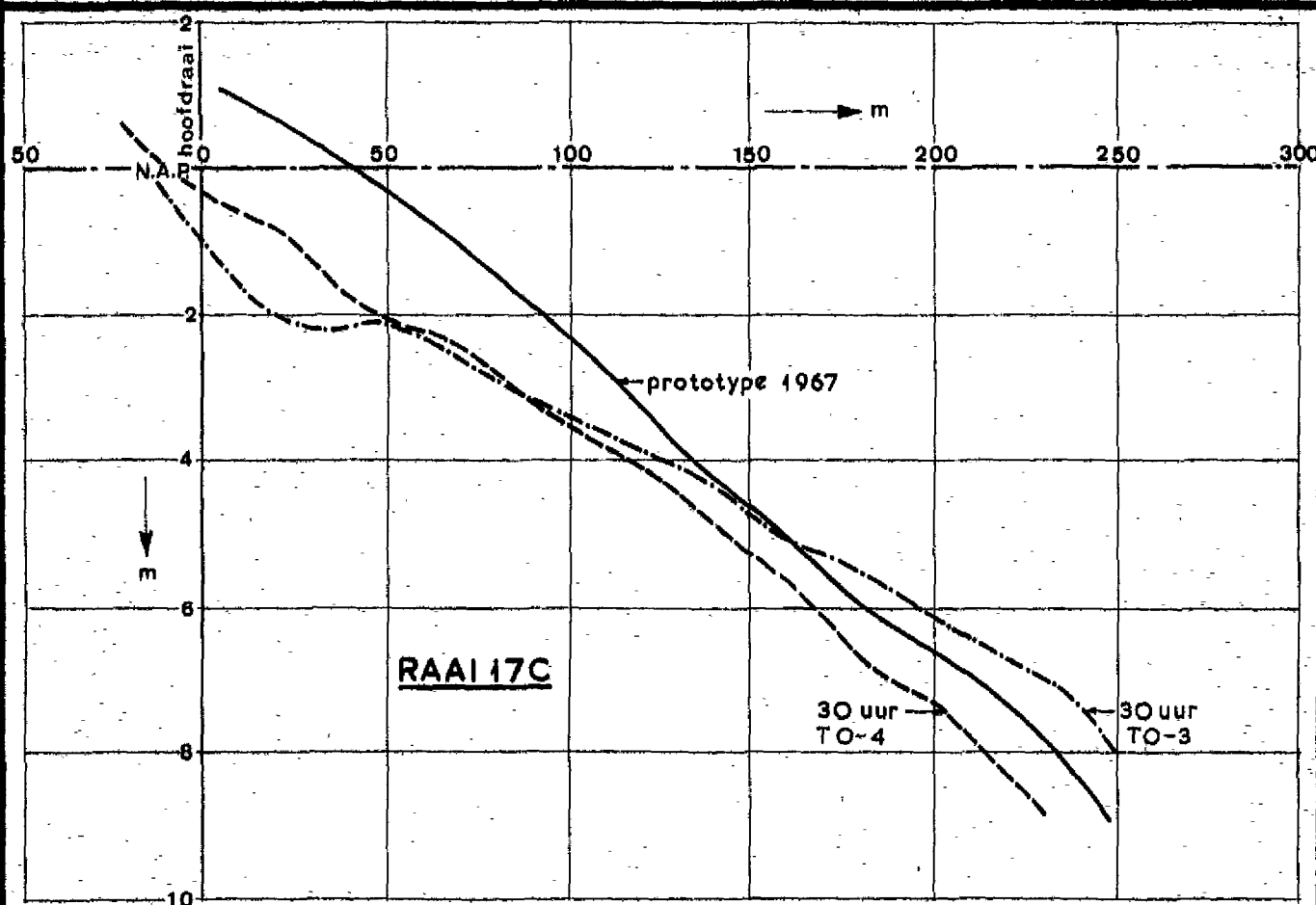
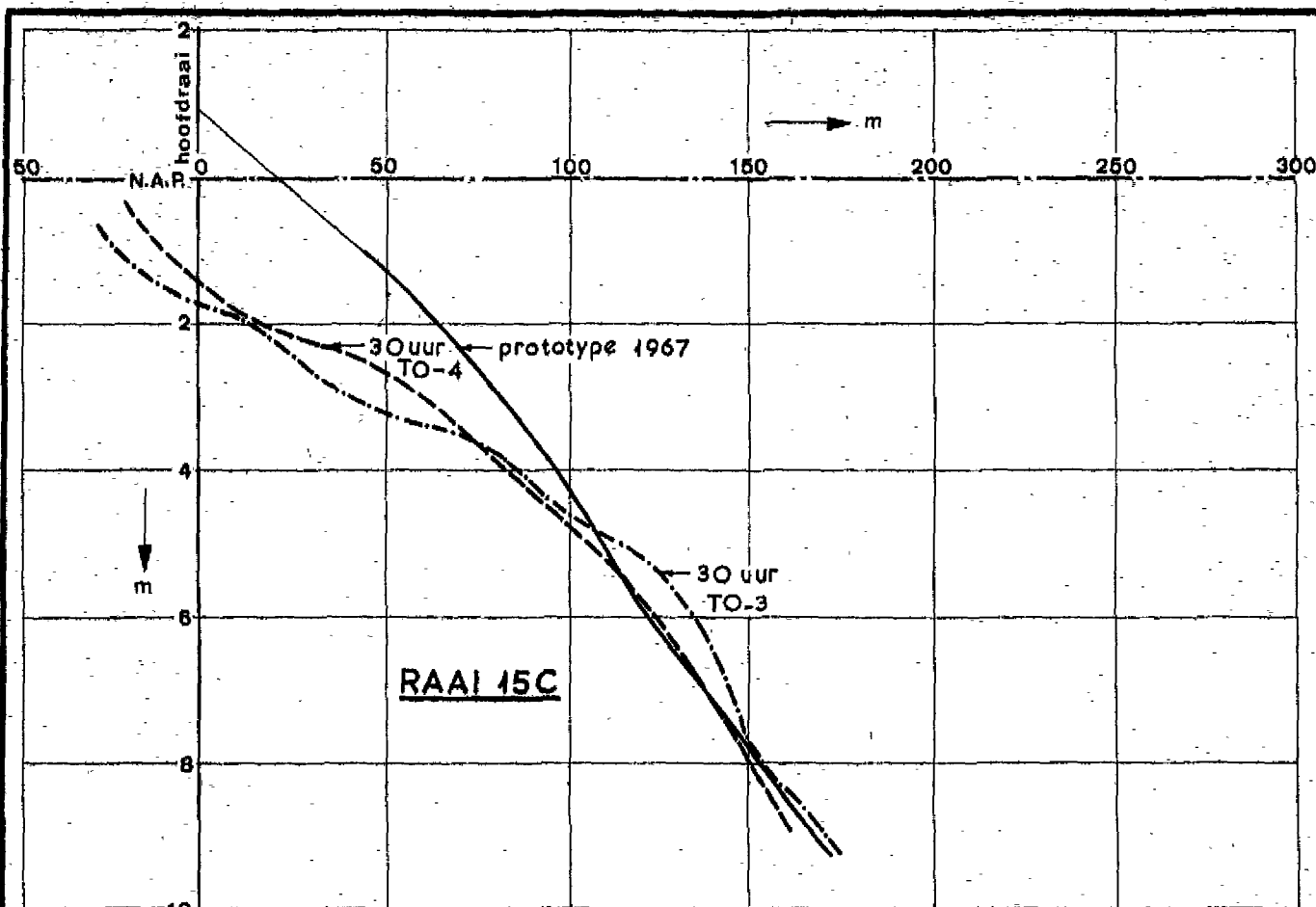


HOOGTEVERANDERING VAN HET STRAND
TUSSEN H.R. EN H.R. + 50 m (zeewaarts)

— PROTOTYPE
--- MODEL

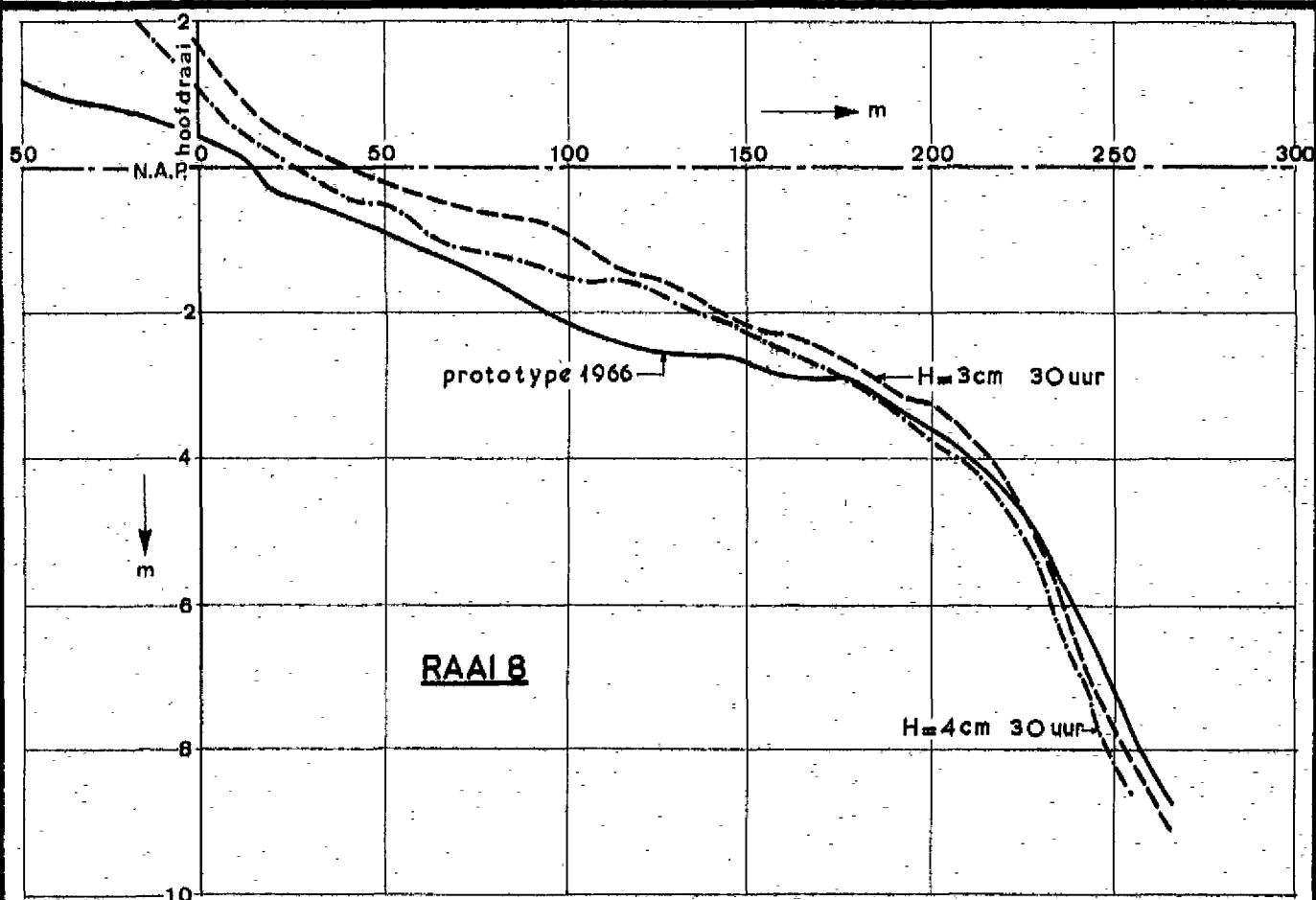
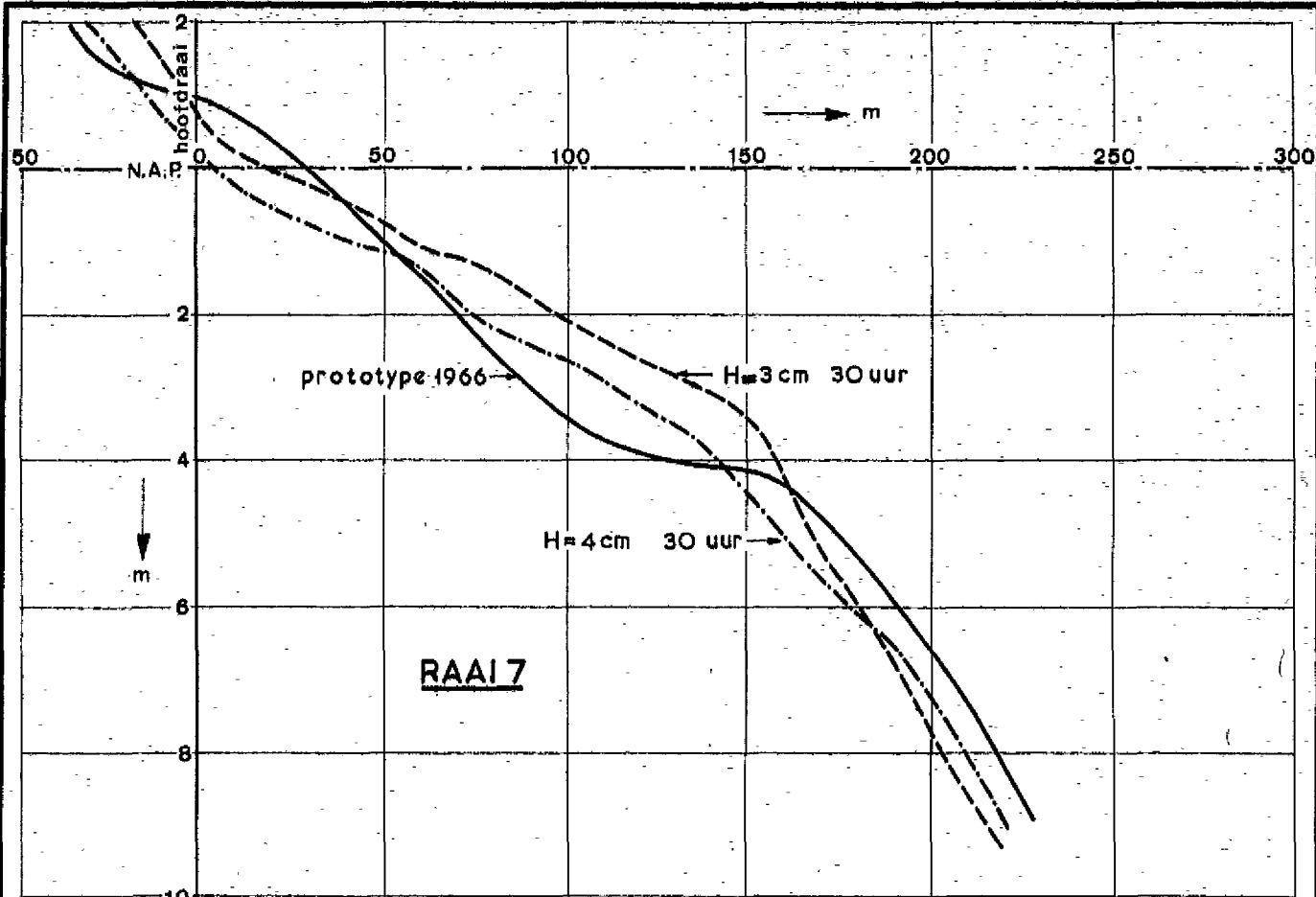
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

TO- 3



STRANDPROFIELEN

TO-3; TO-4



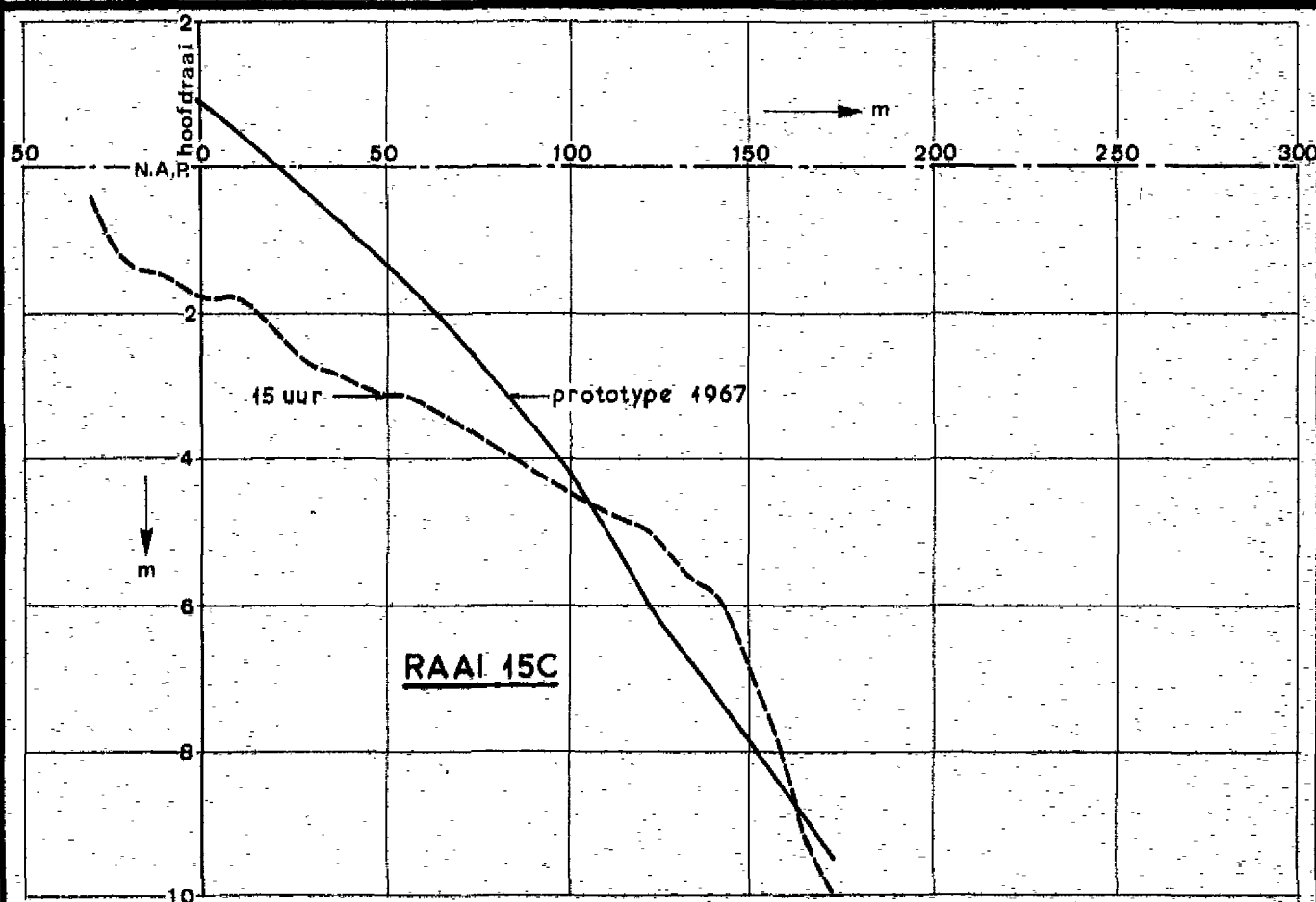
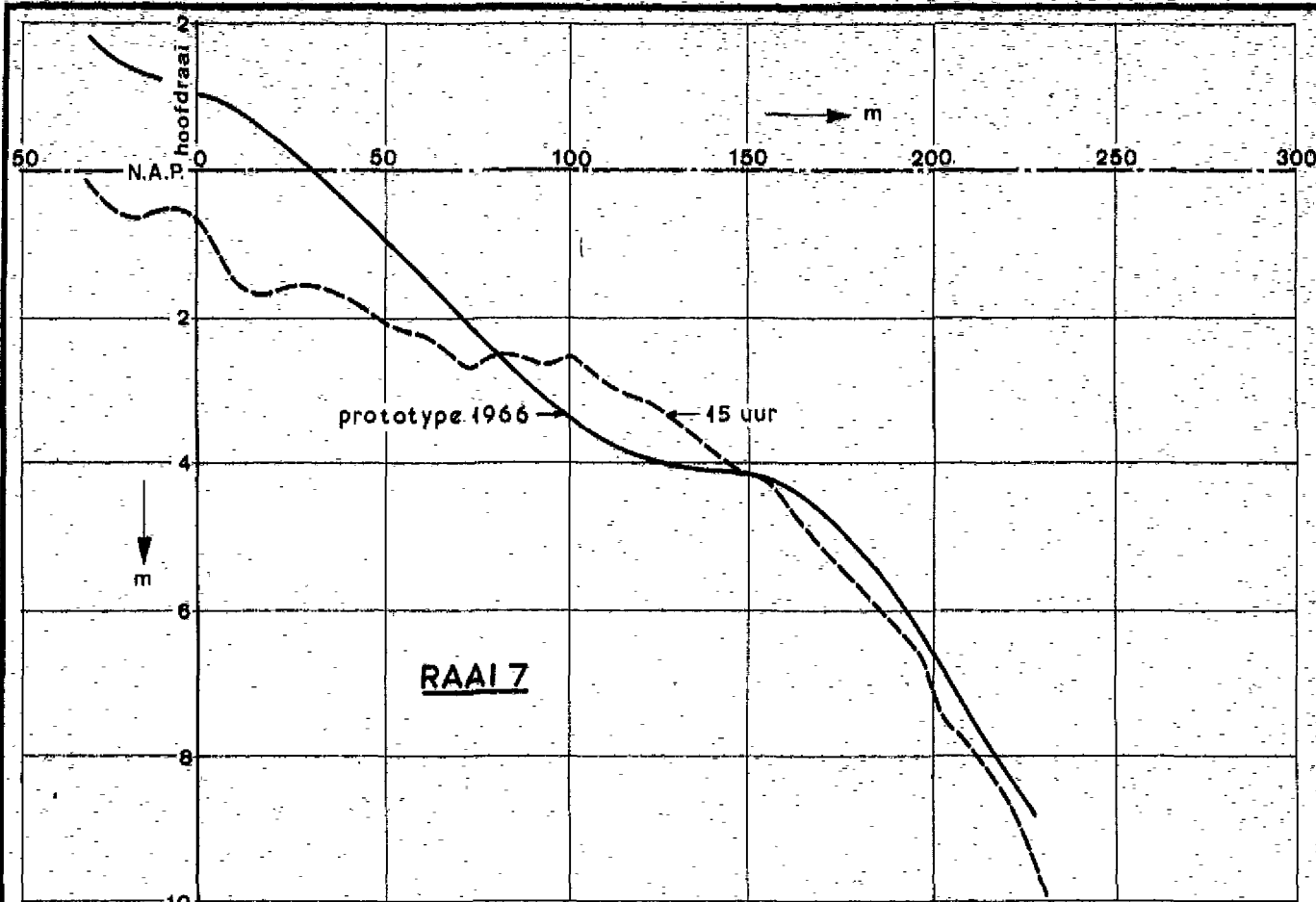
STRANDPROFIELEN

TO-4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 18



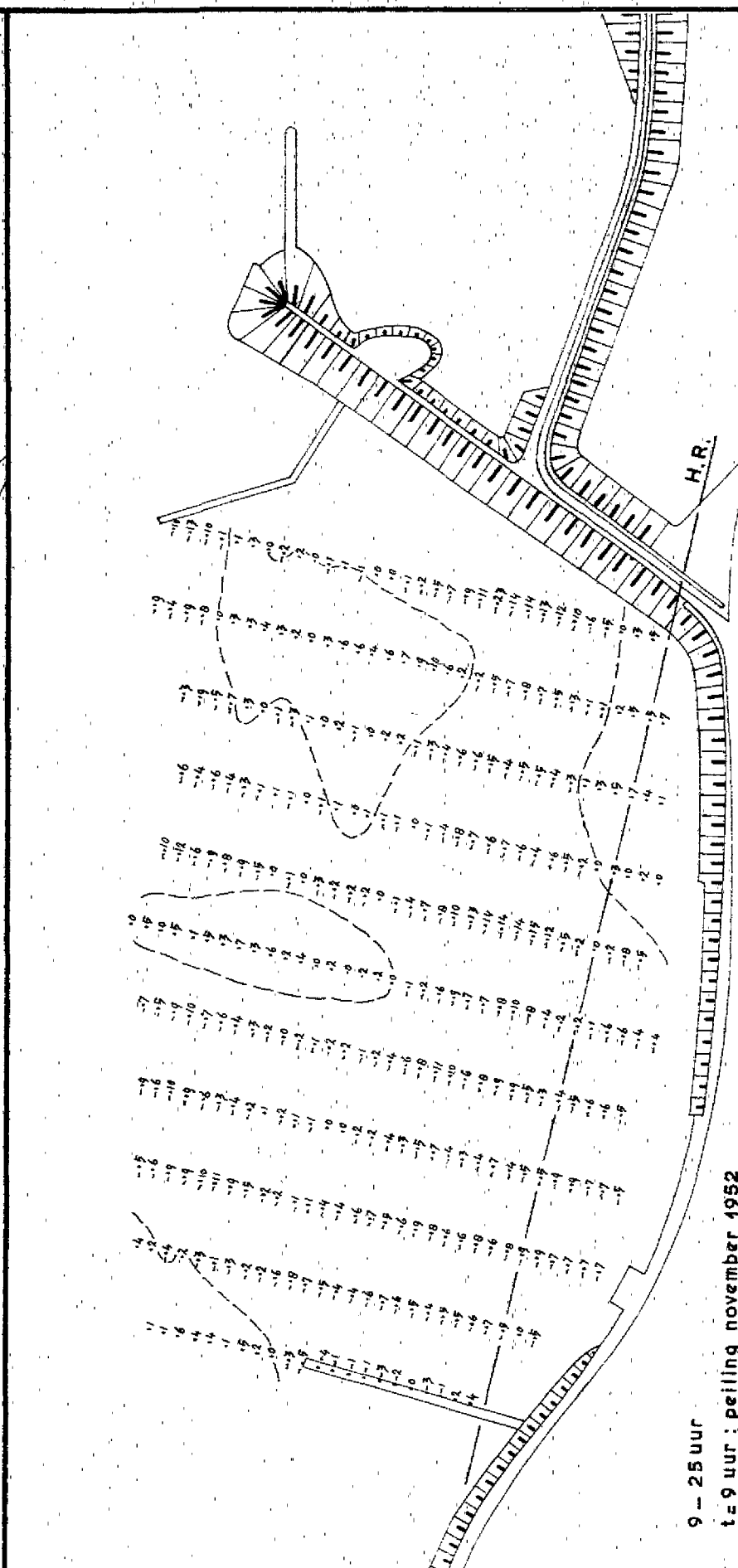
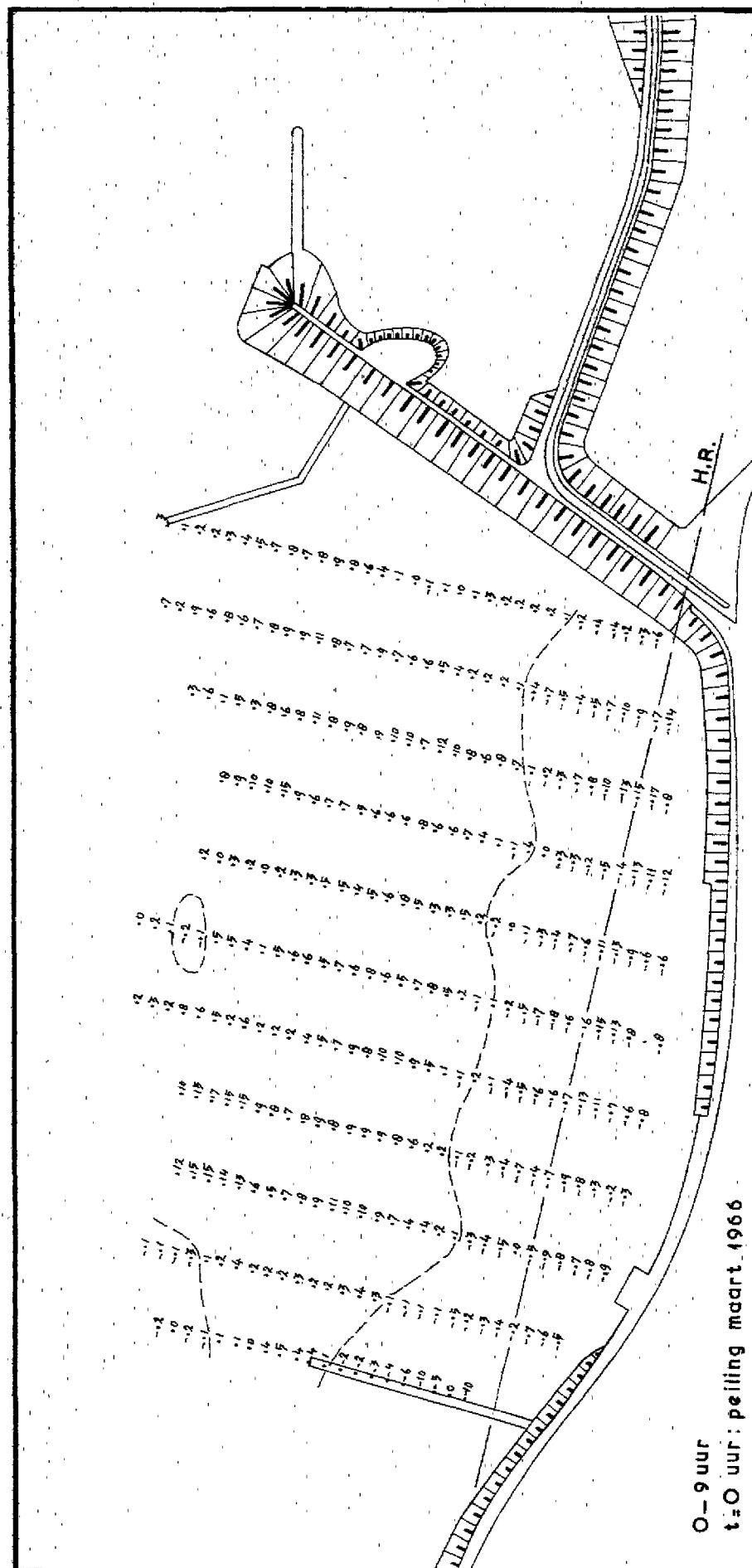
STRANDPROFIELEN

TO-5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 19



VERSCHIL TUSSEN DIVERSE PEILINGEN

T O - 6

SCHAAL 1:4000

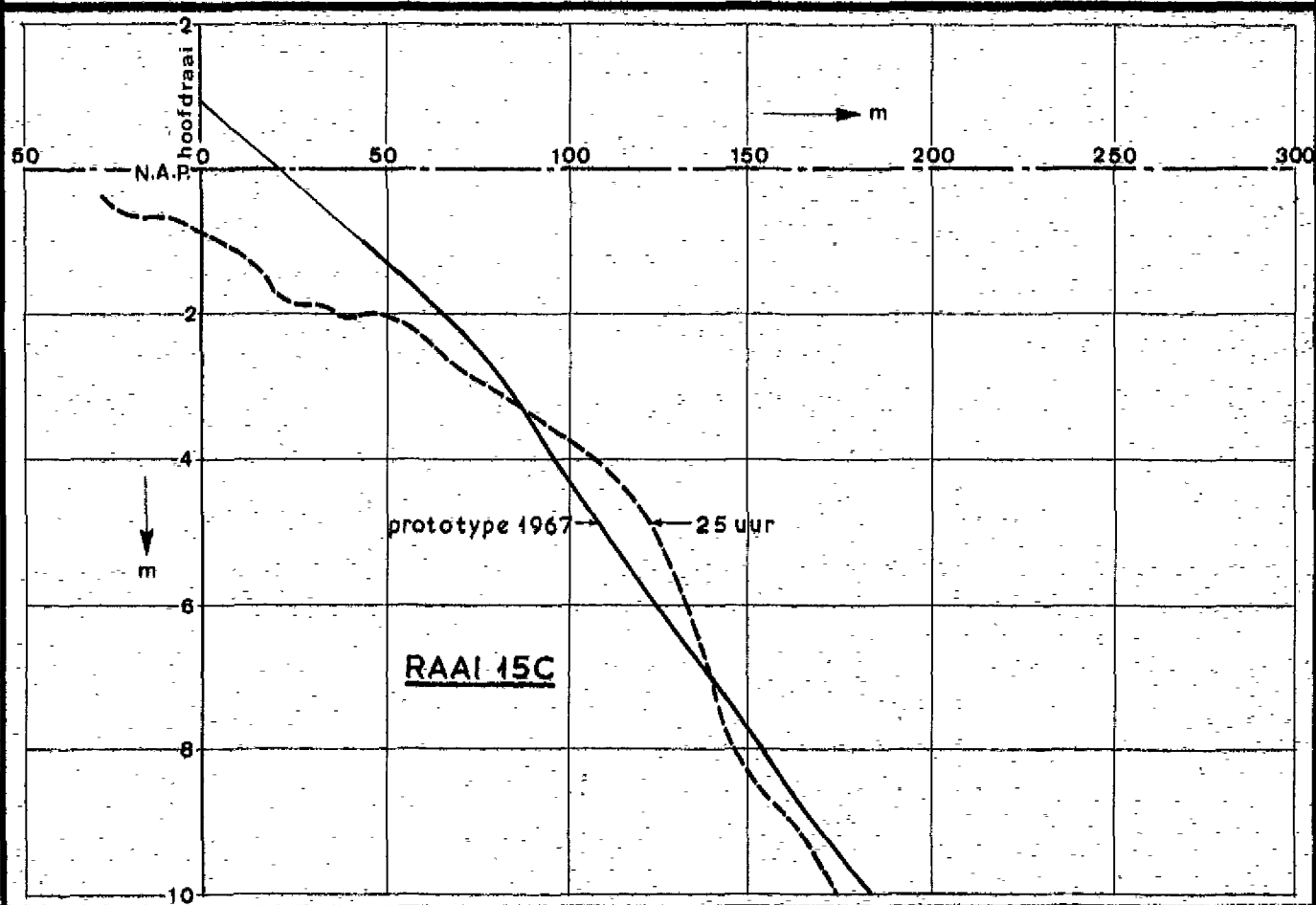
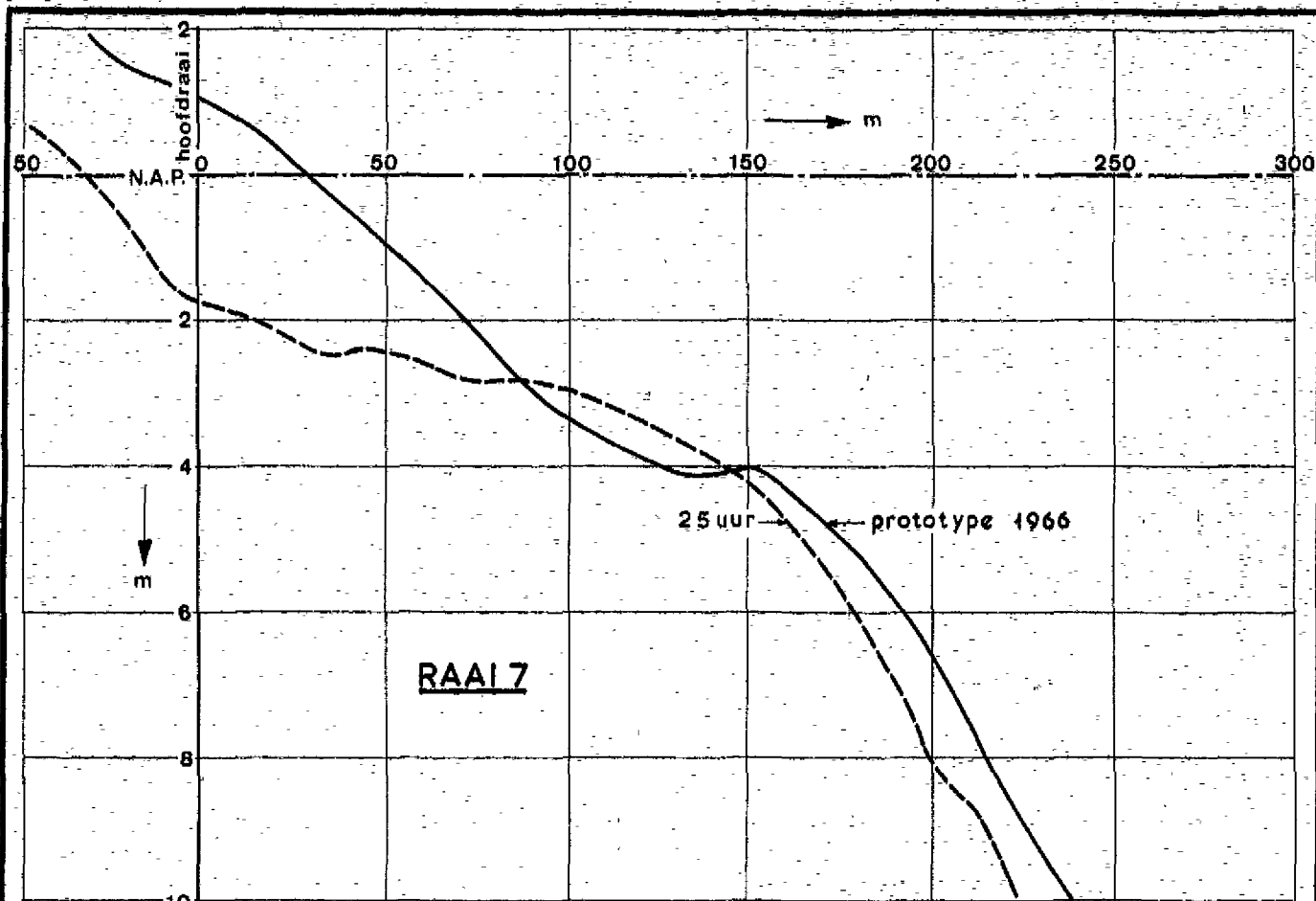
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 20

hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



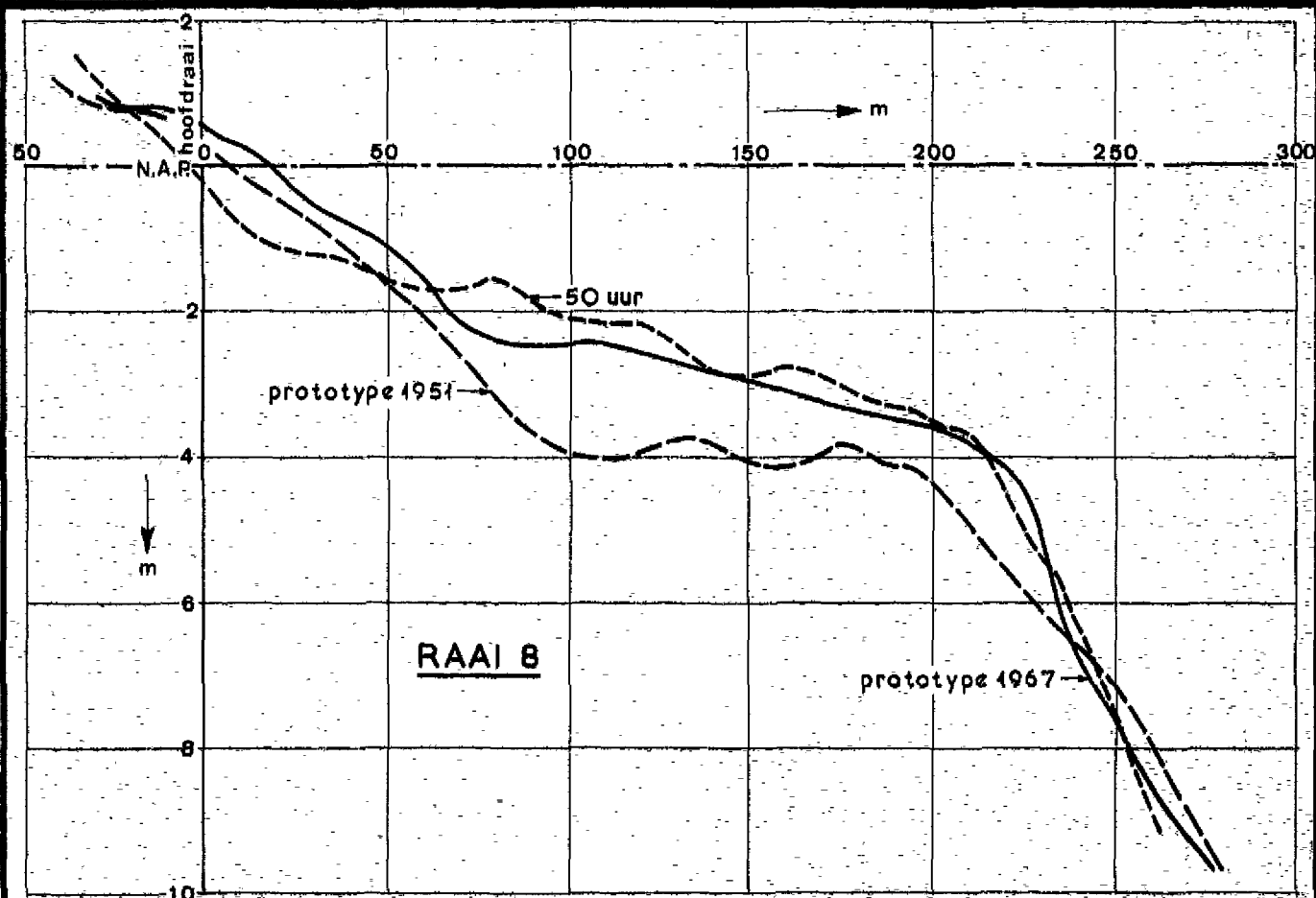
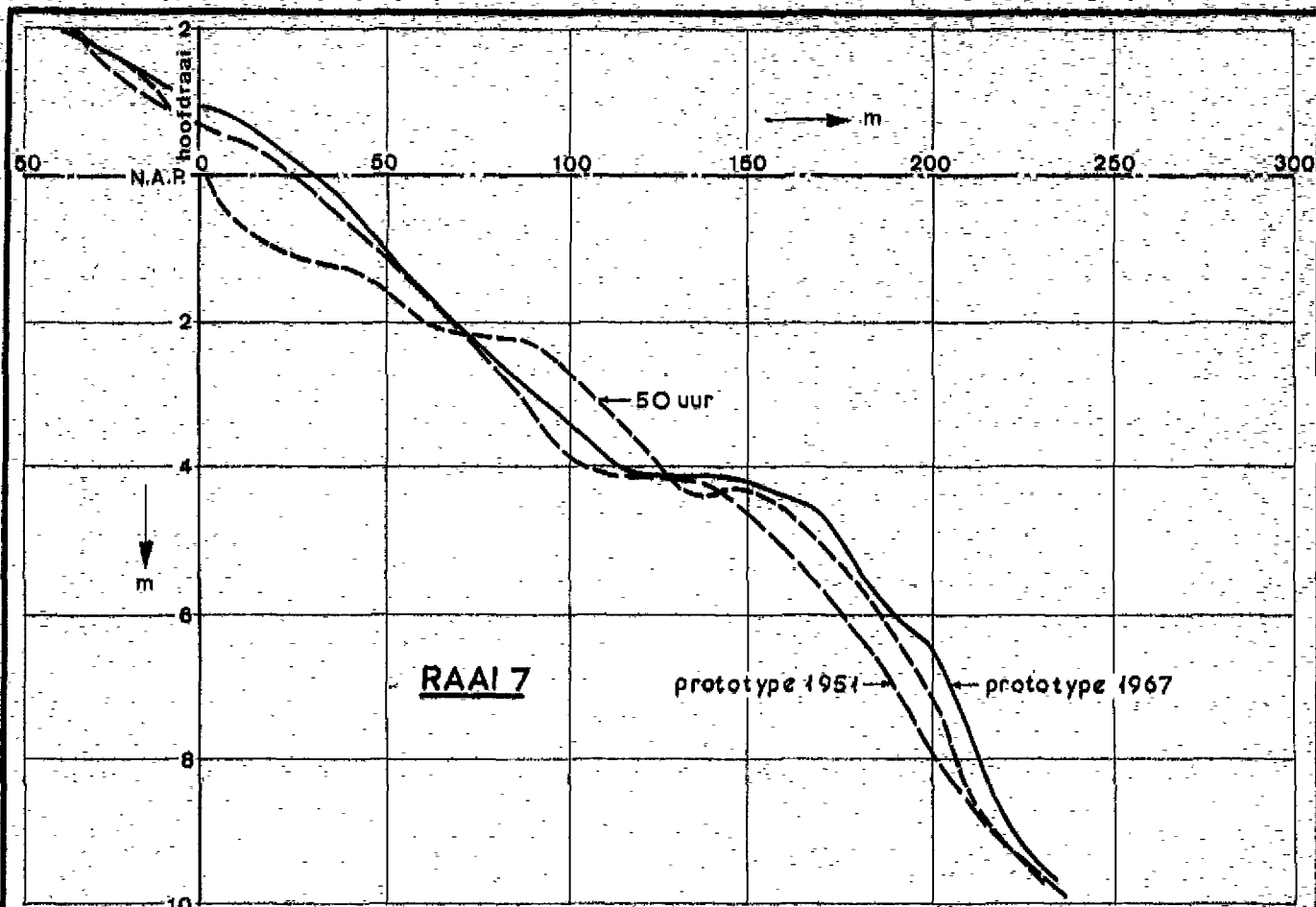
STRANDPROFIELEN

TO-6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 21



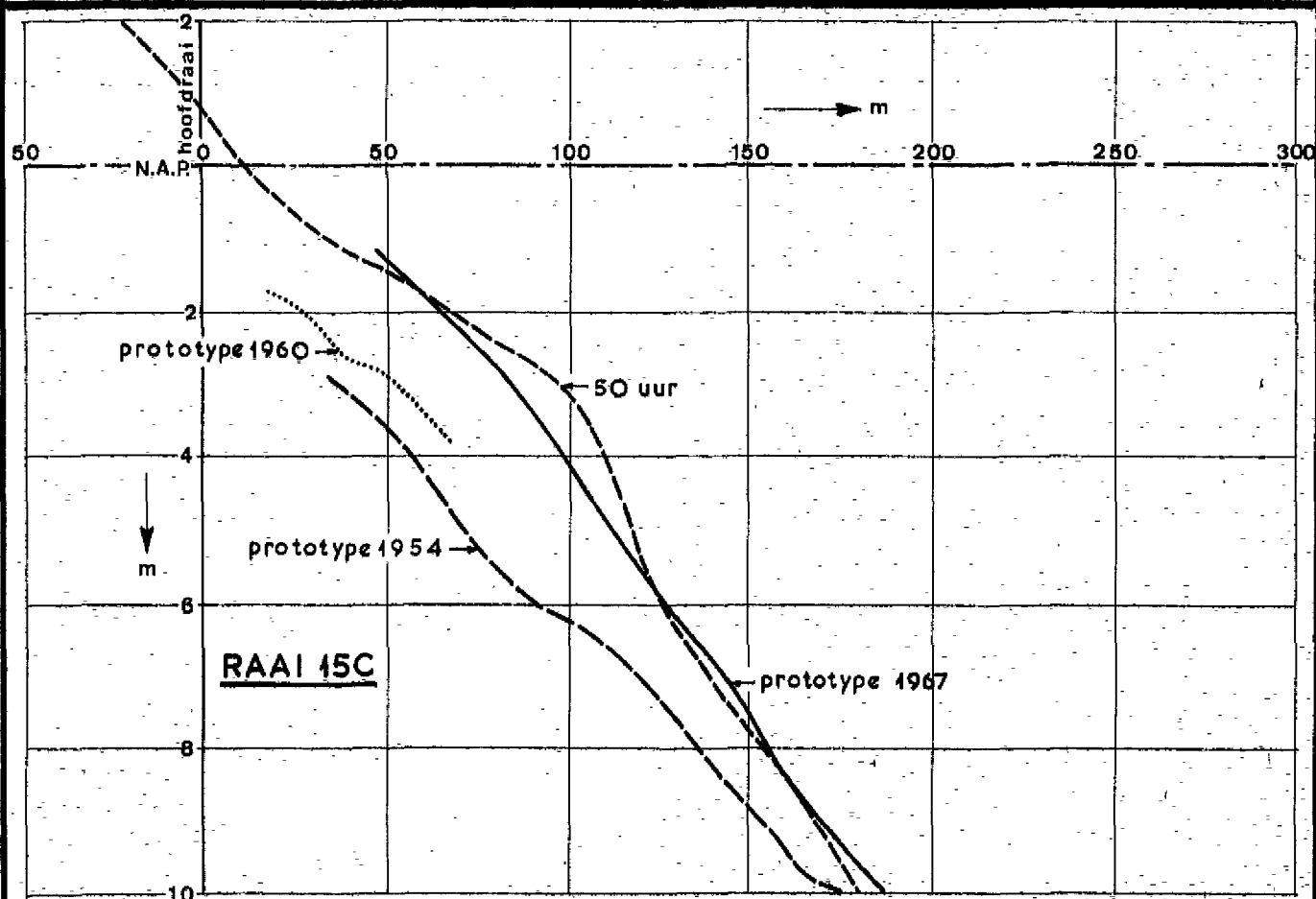
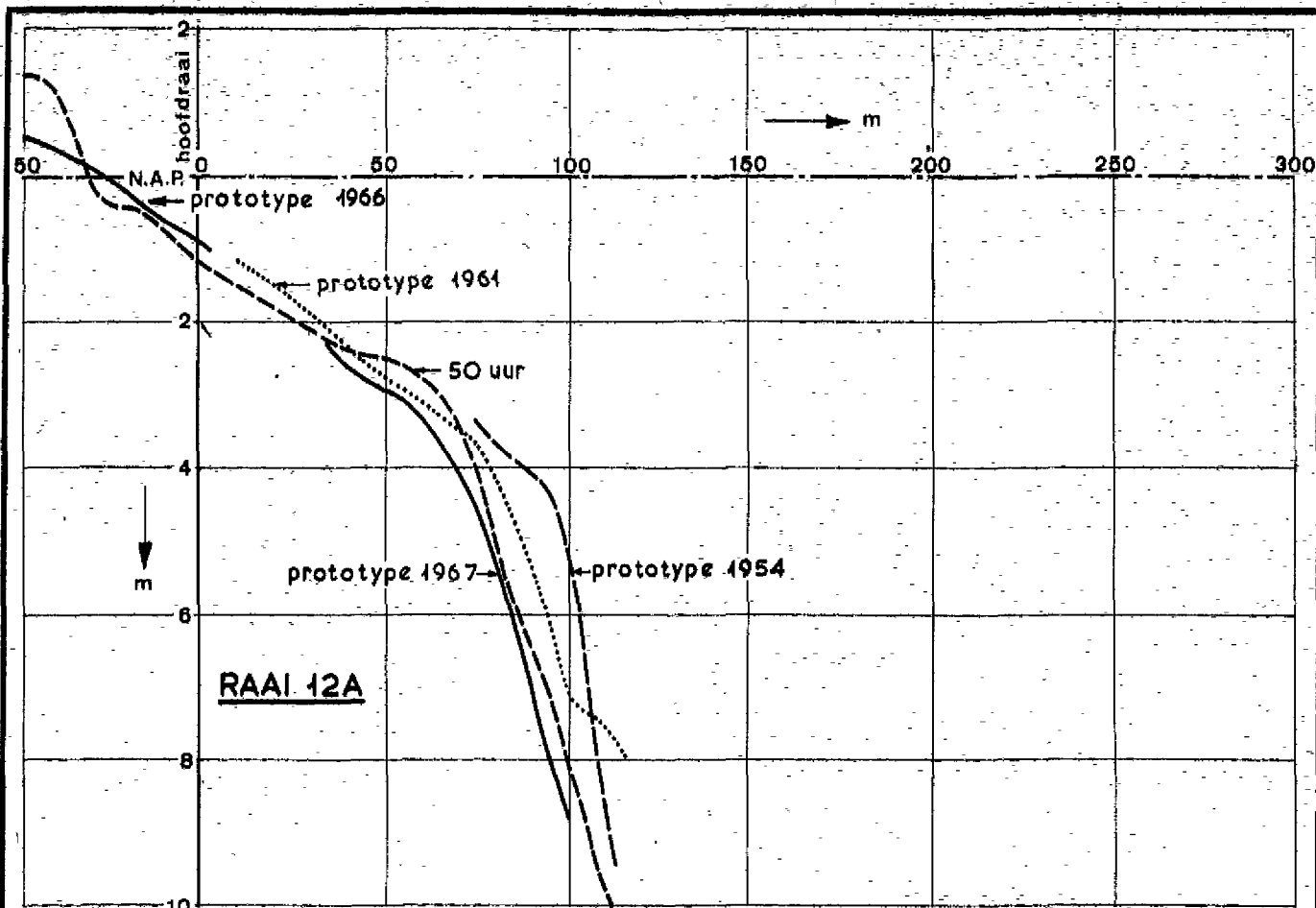
STRANDPROFIELEN

TO-7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 22



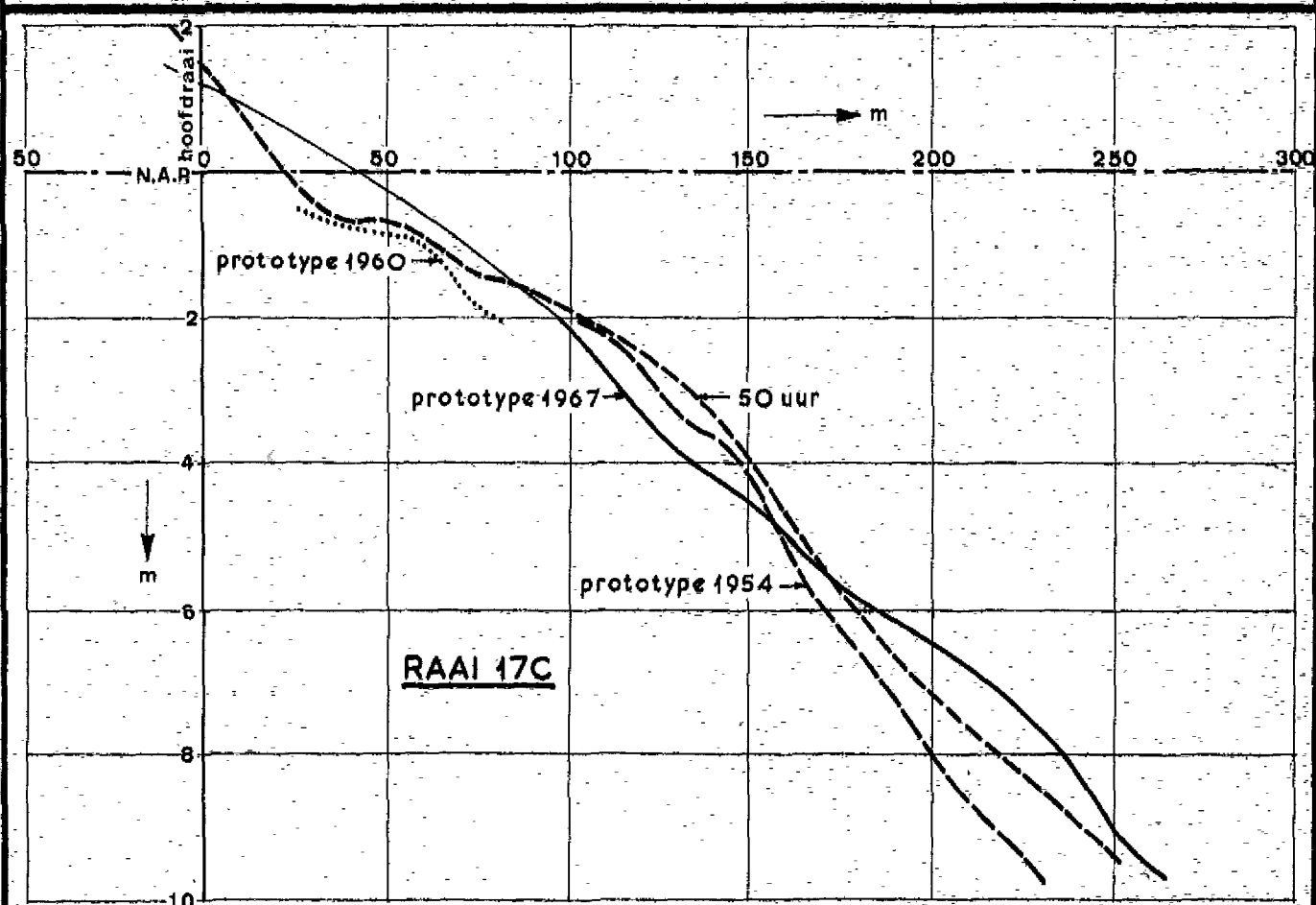
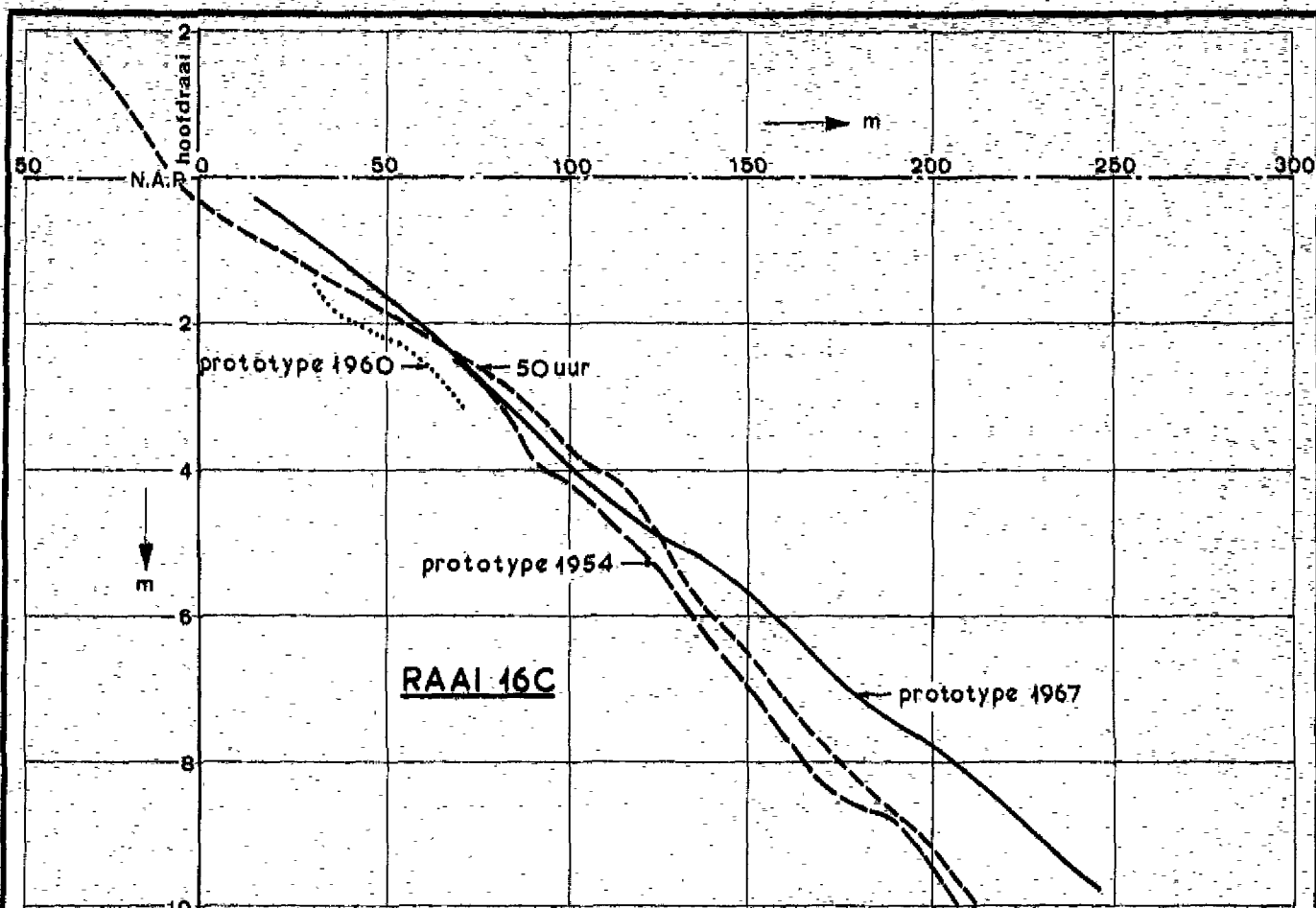
STRANDPROFIELEN

TO-7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 23



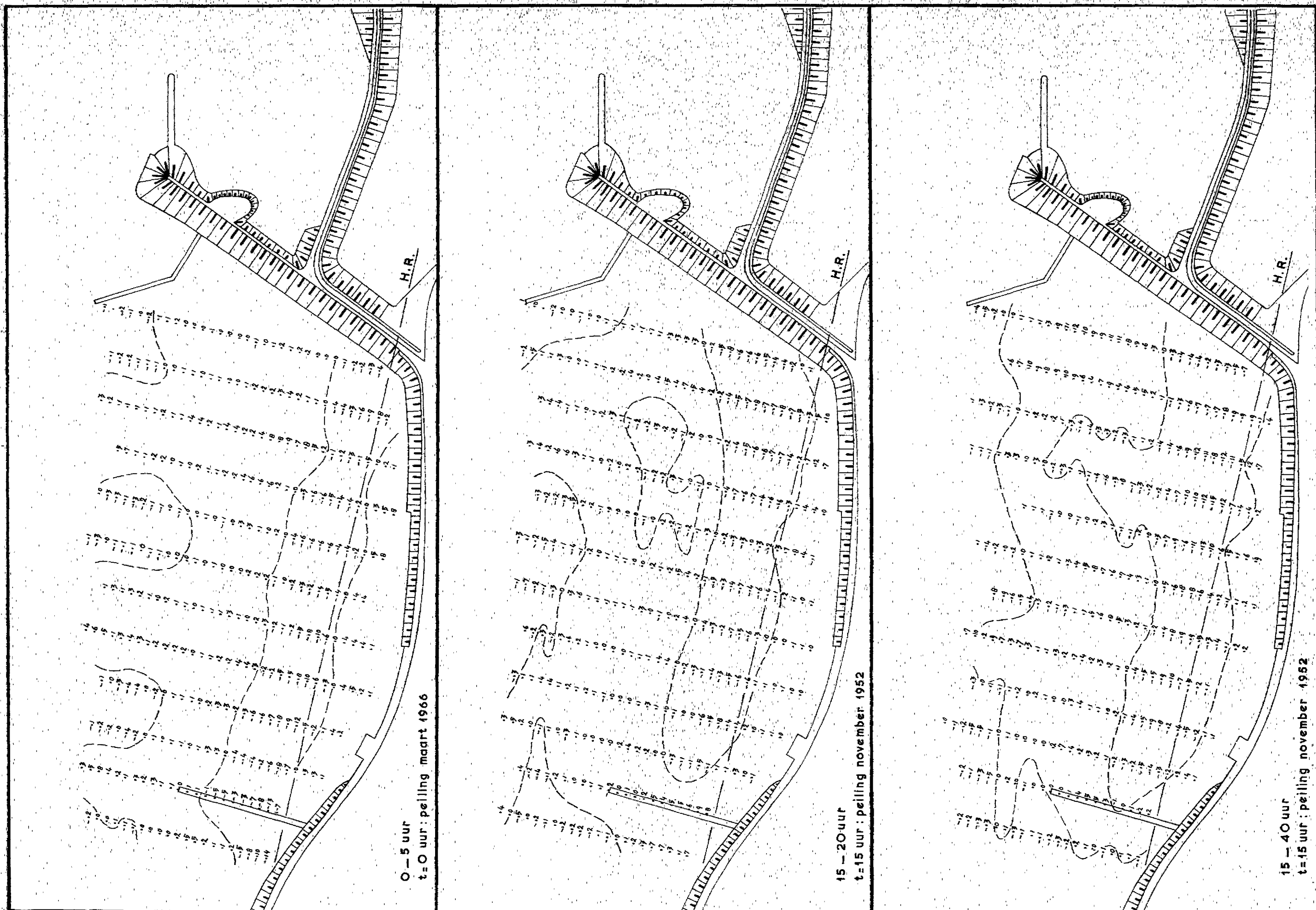
STRANDPROFIELEN

TO-7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 24



VERSCHIL TUSSEN DIVERSE PEILINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

TO-7

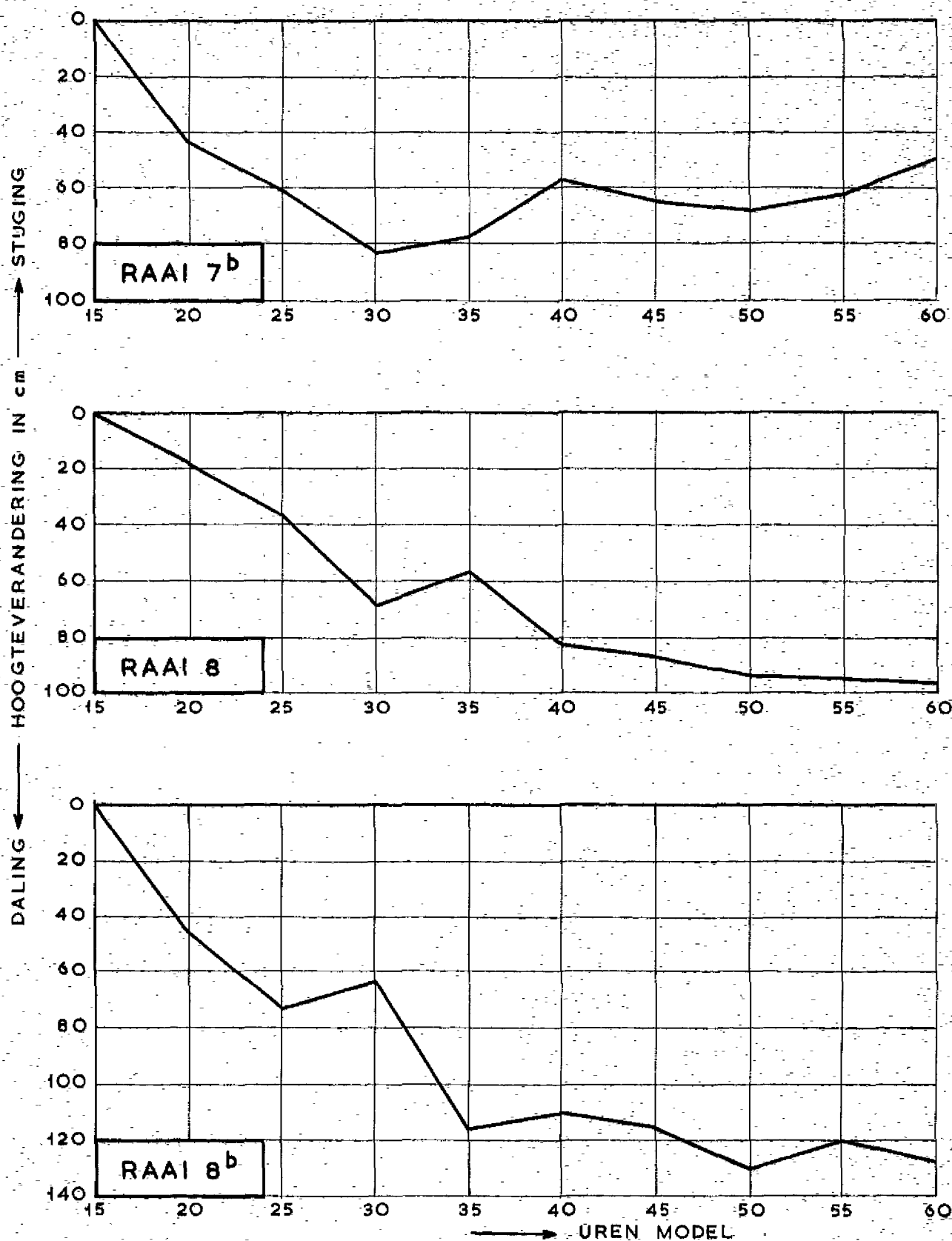
SCHAAL 1:4000

M. 963

FIG. 25

hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



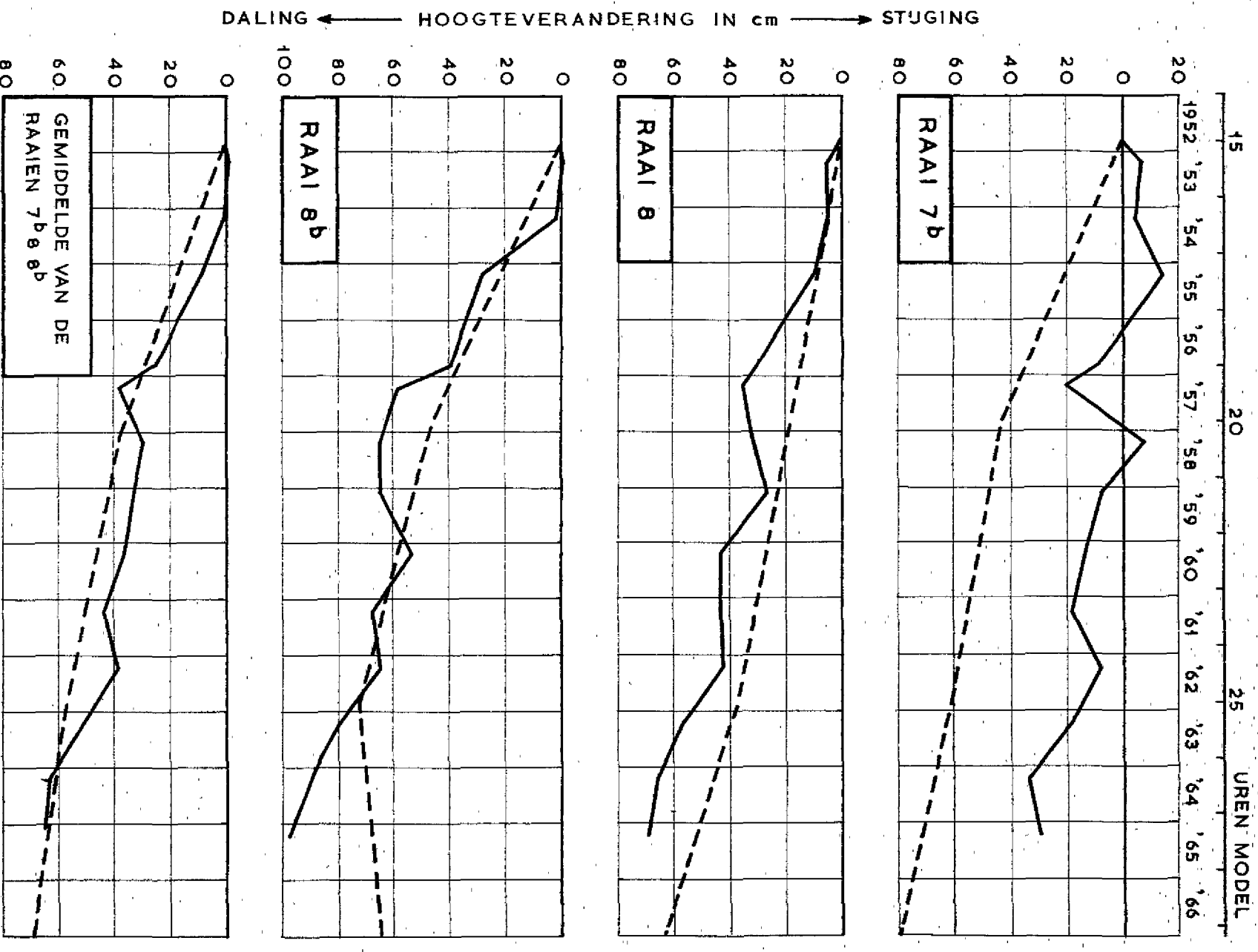
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

TO-7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 26



HOOGTEVERANDERING VAN HET STRAND
TUSSEN H.R. EN H.R. + 50 m (zeewaarts)

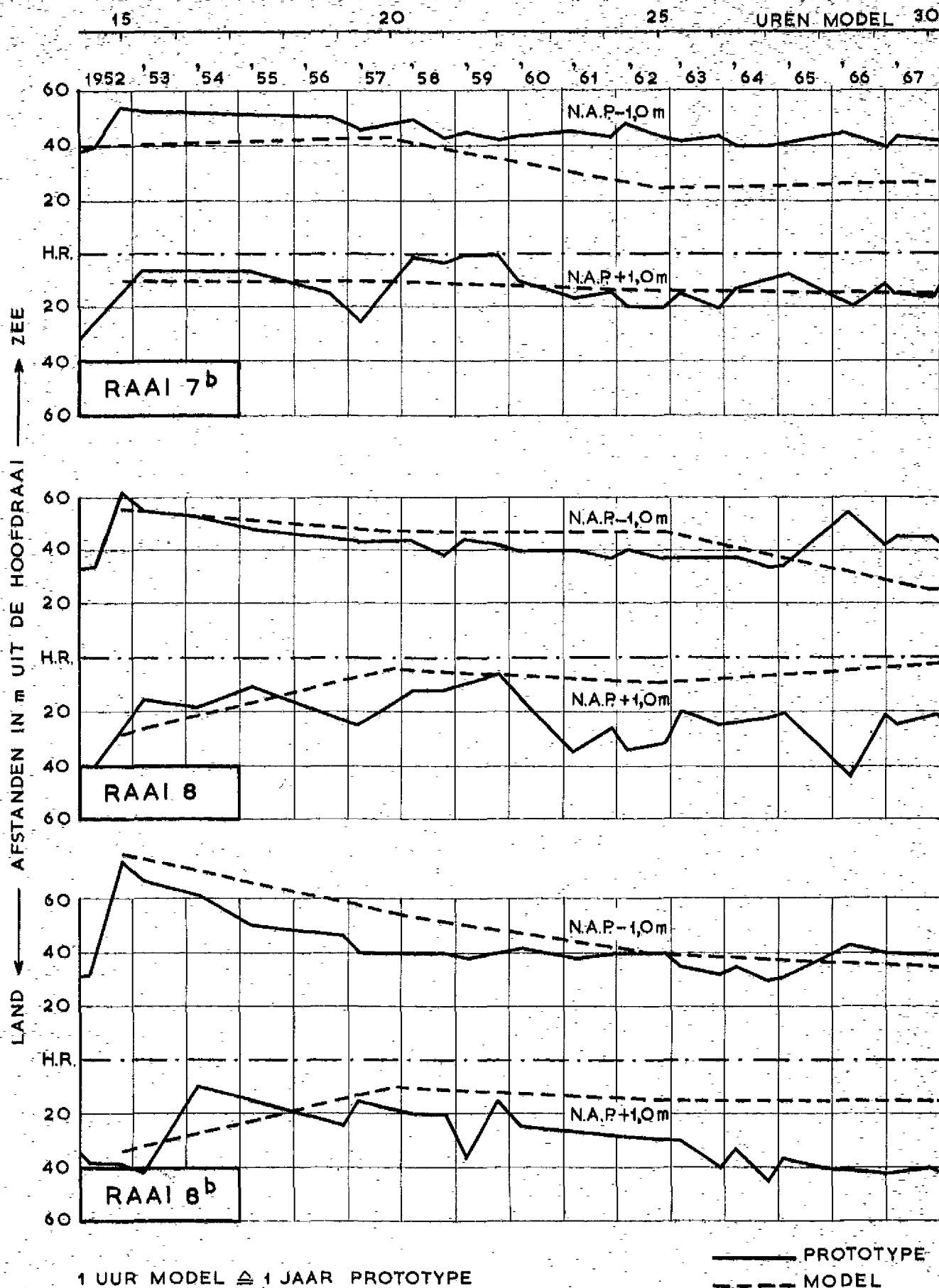
BEPALING VAN DE TUDSCHAAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

TO-7

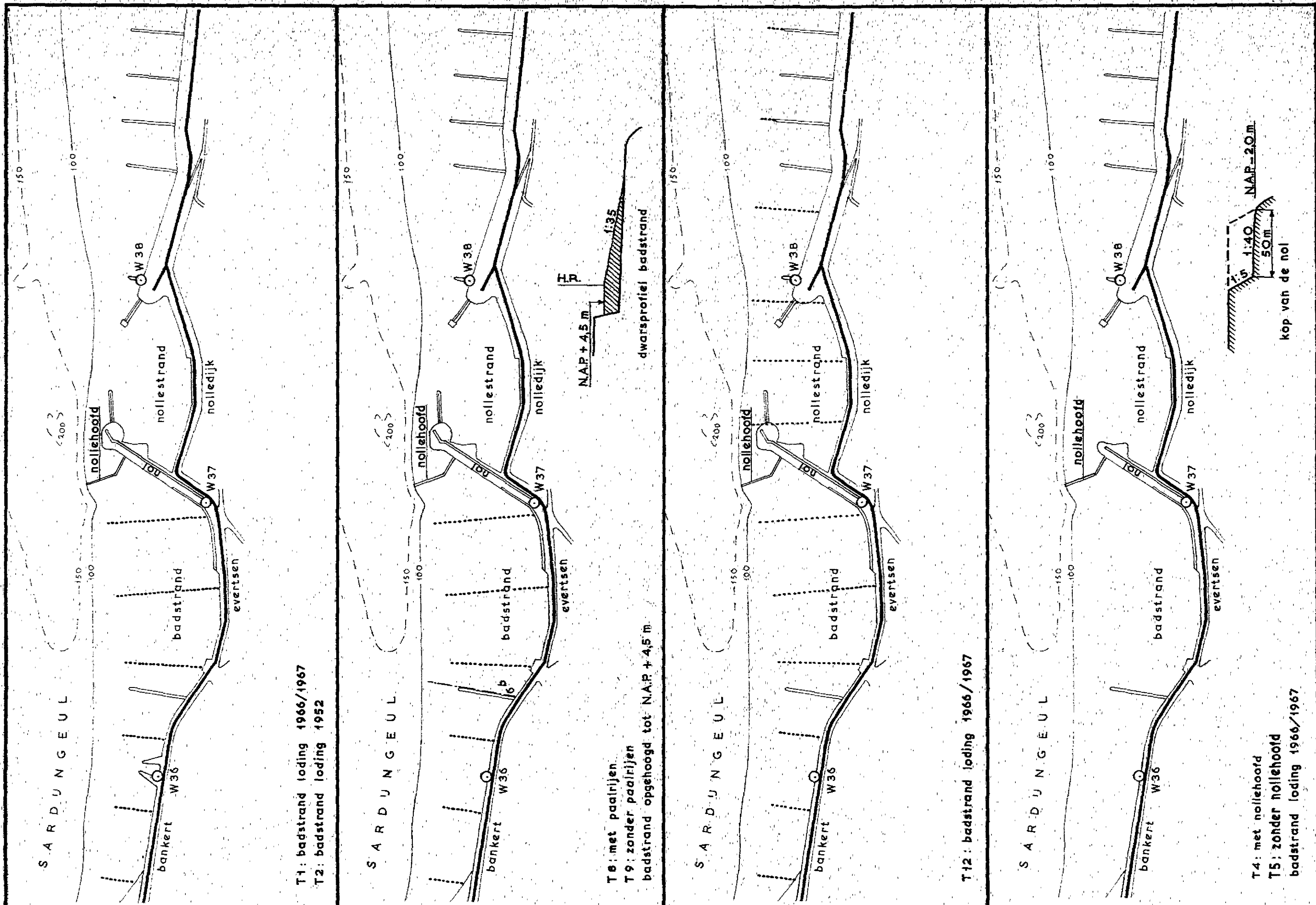
M. 963

FIG. 27



VERPLAATSING VAN DE DIEPTELIJNEN

TO-7



OVERZICHT ONDERZOCHE TOESTANDEN

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

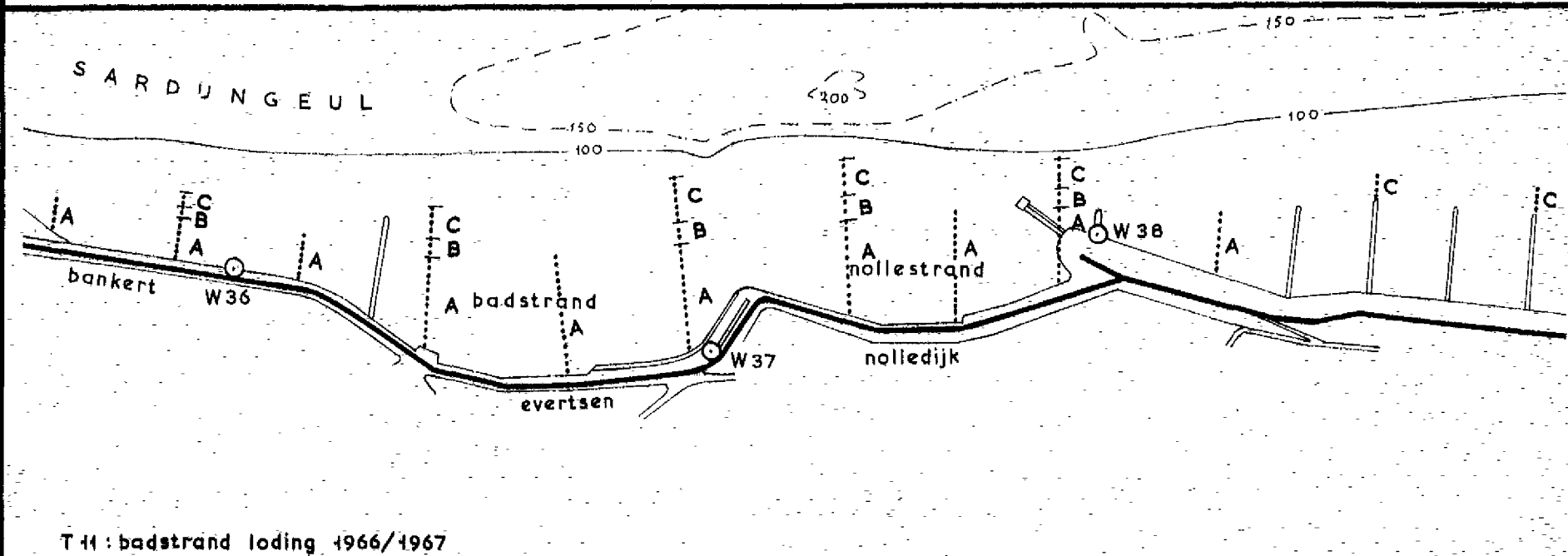
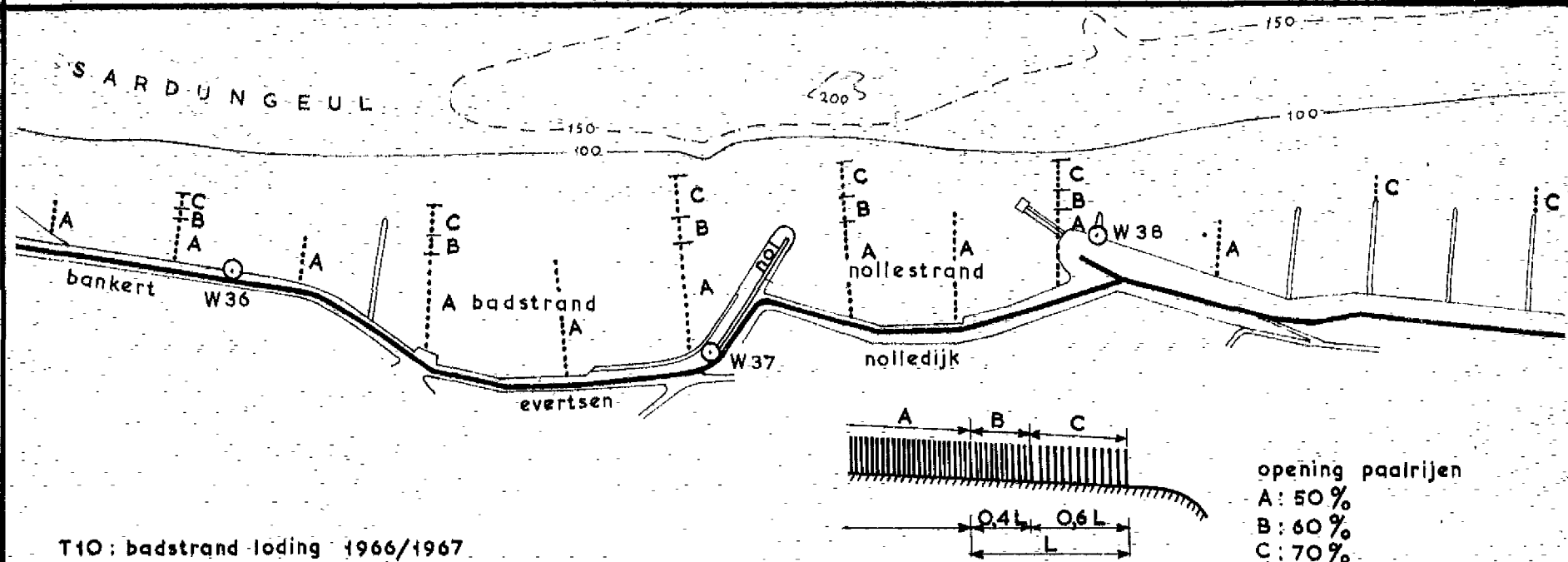
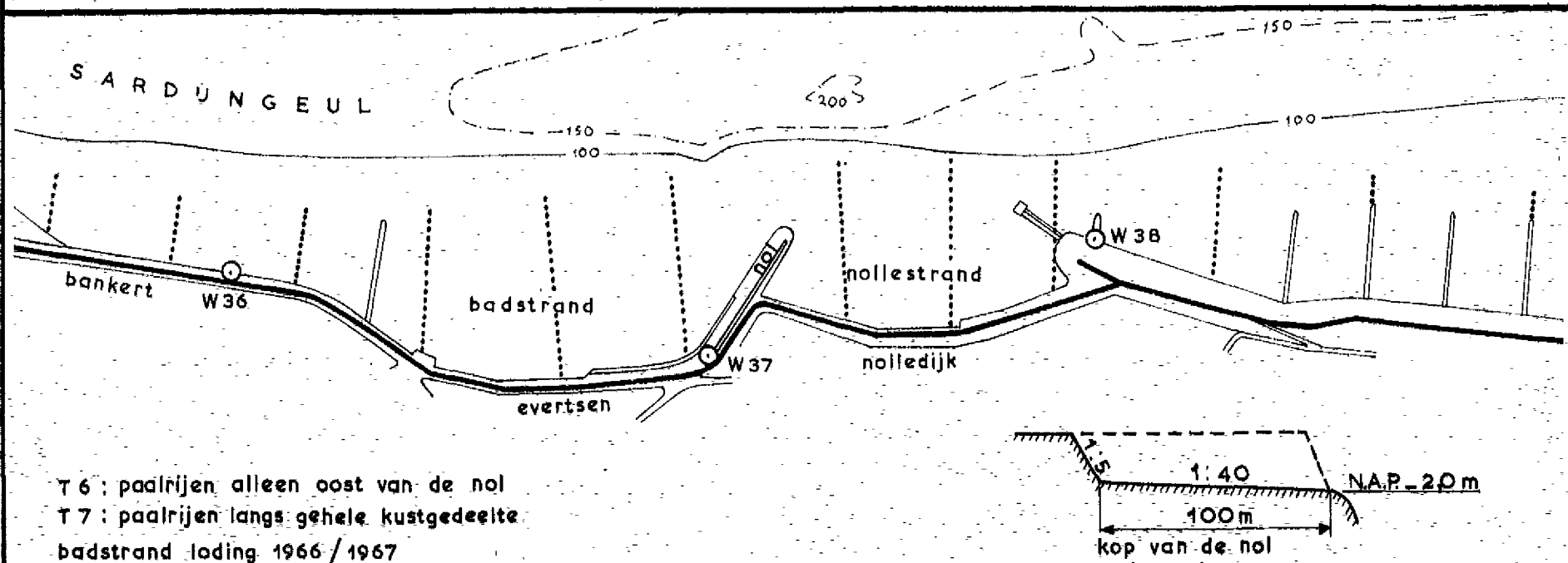
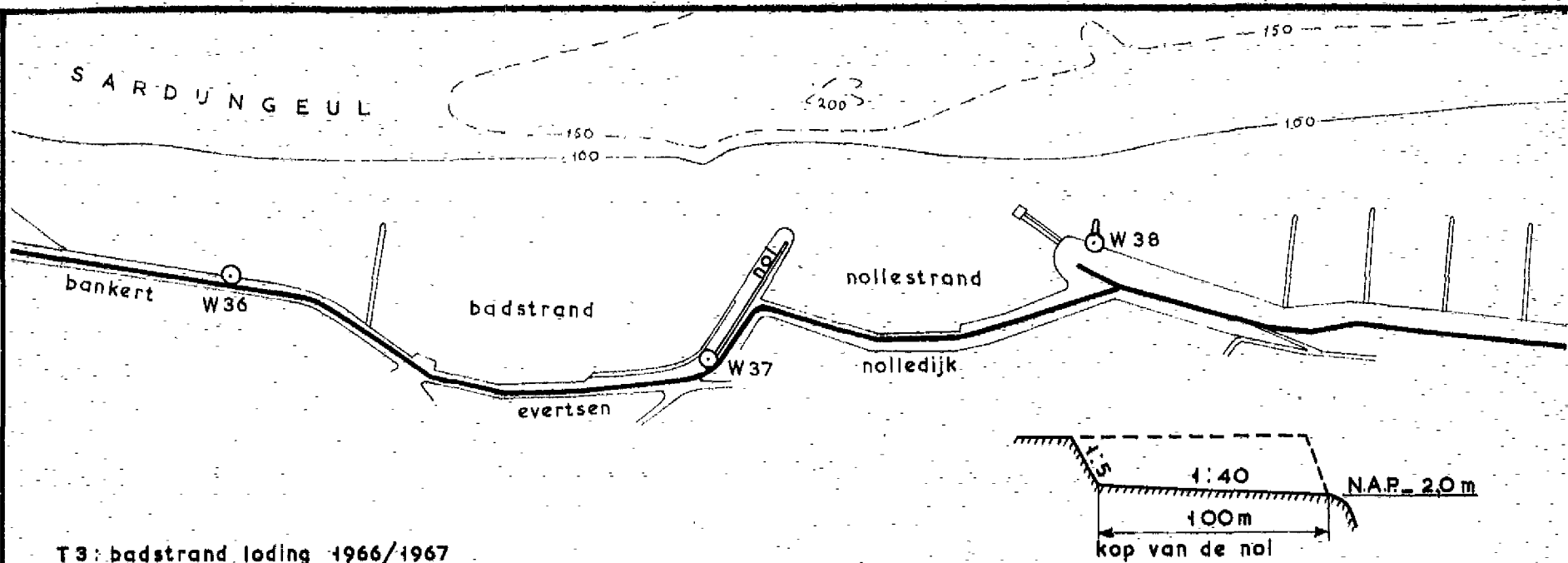
FIG. 29

OVERZICHT ONDERZOCHE TOESTANDEN

M. 963

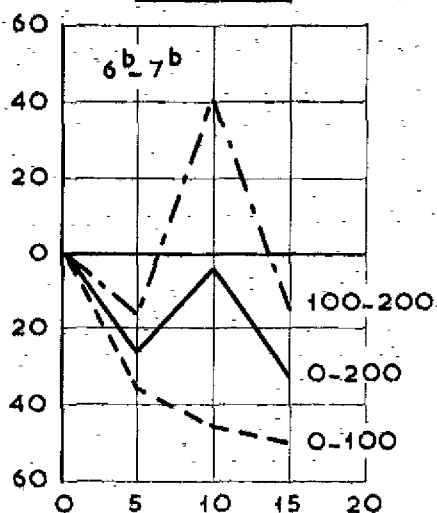
FIG. 30

SCHAAAL 1:10.000

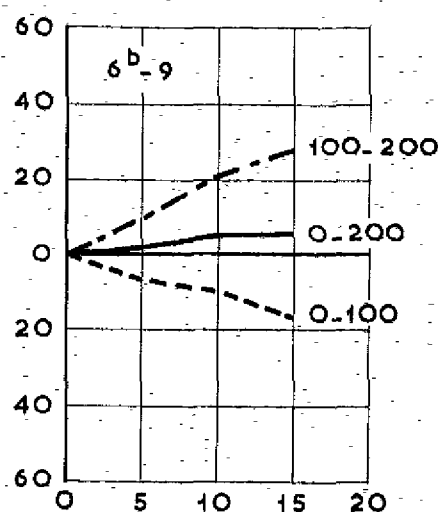
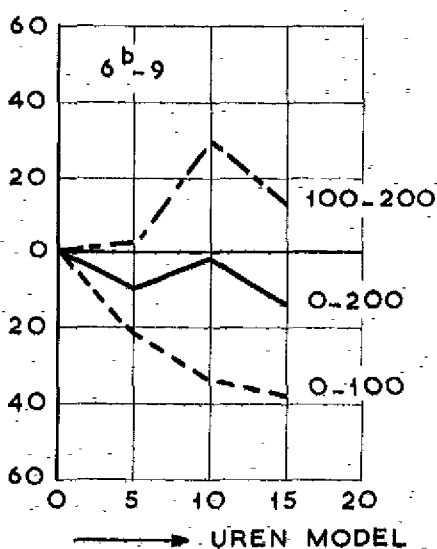
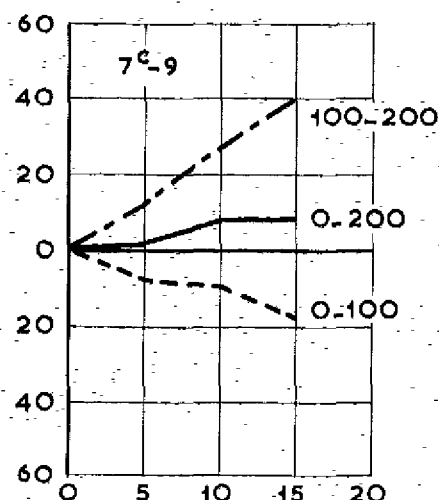
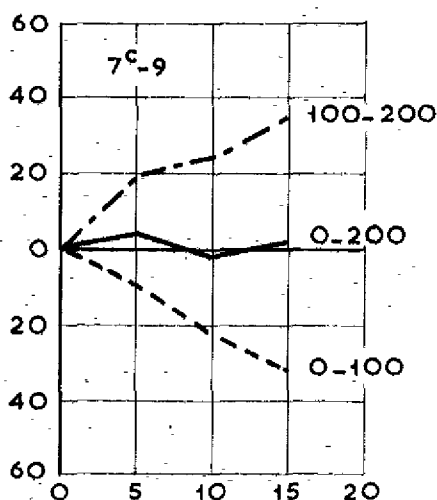
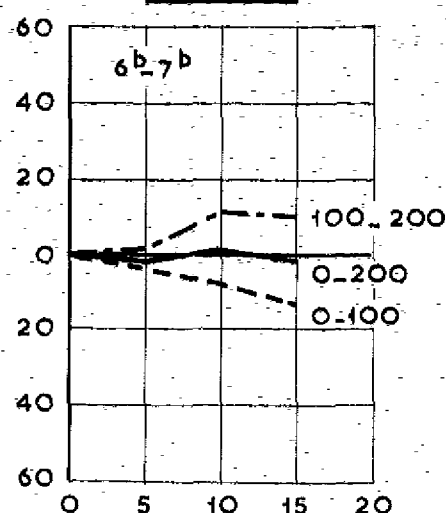


HOOGTEVERANDERING IN cm
 —————
 DALING

TO-7



TO-8



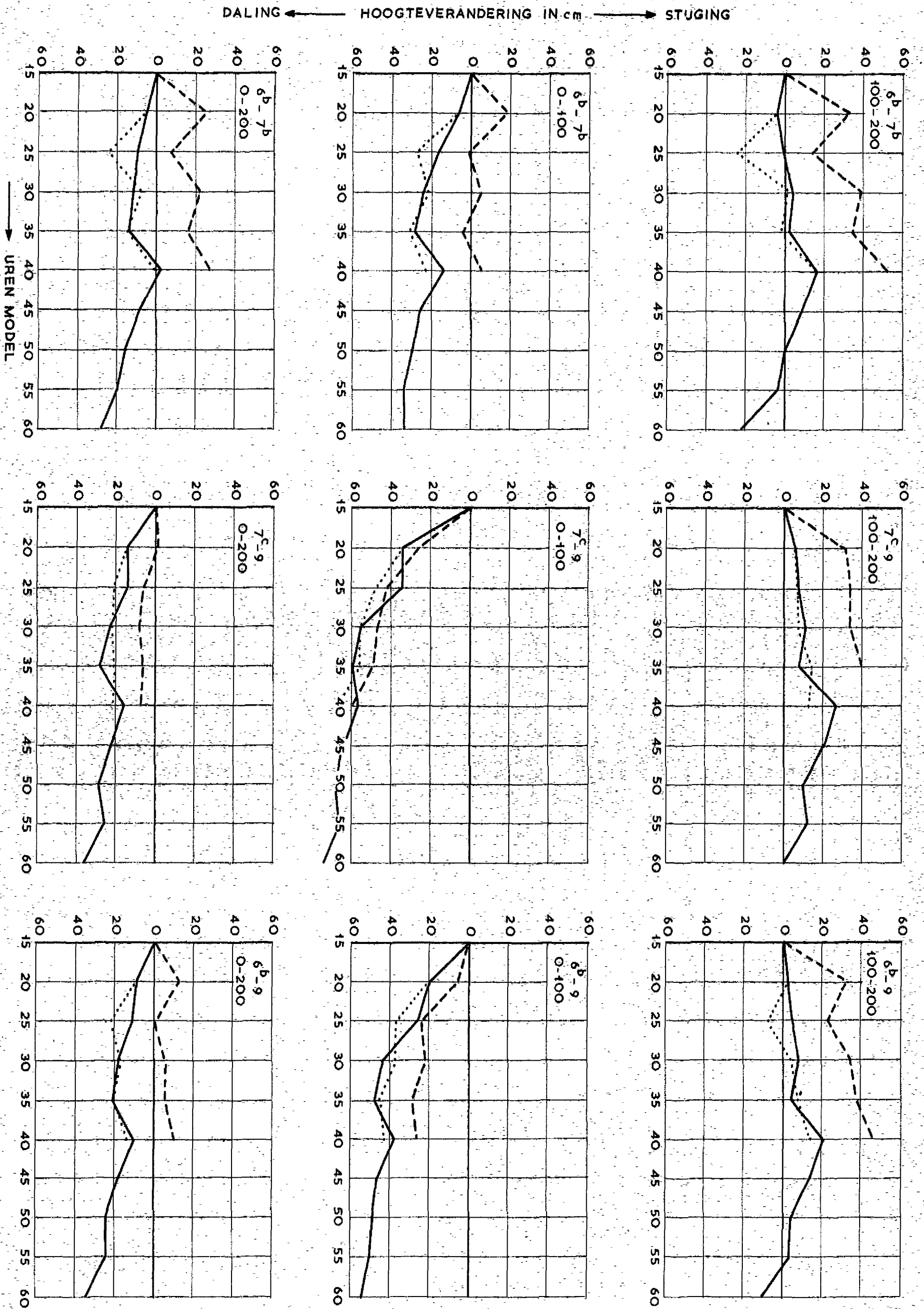
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

TO-7, TO-8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 31

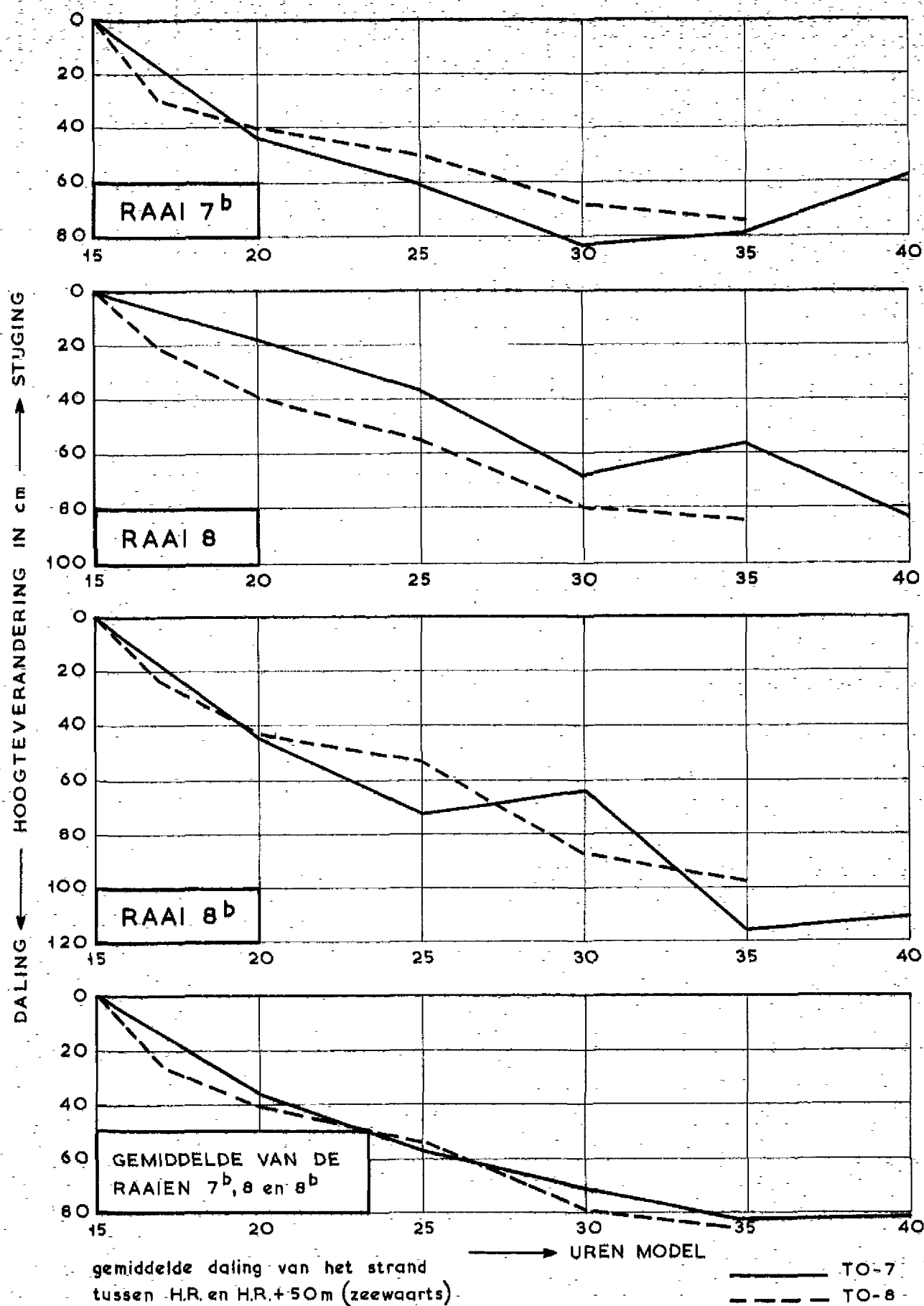


HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FG. 32



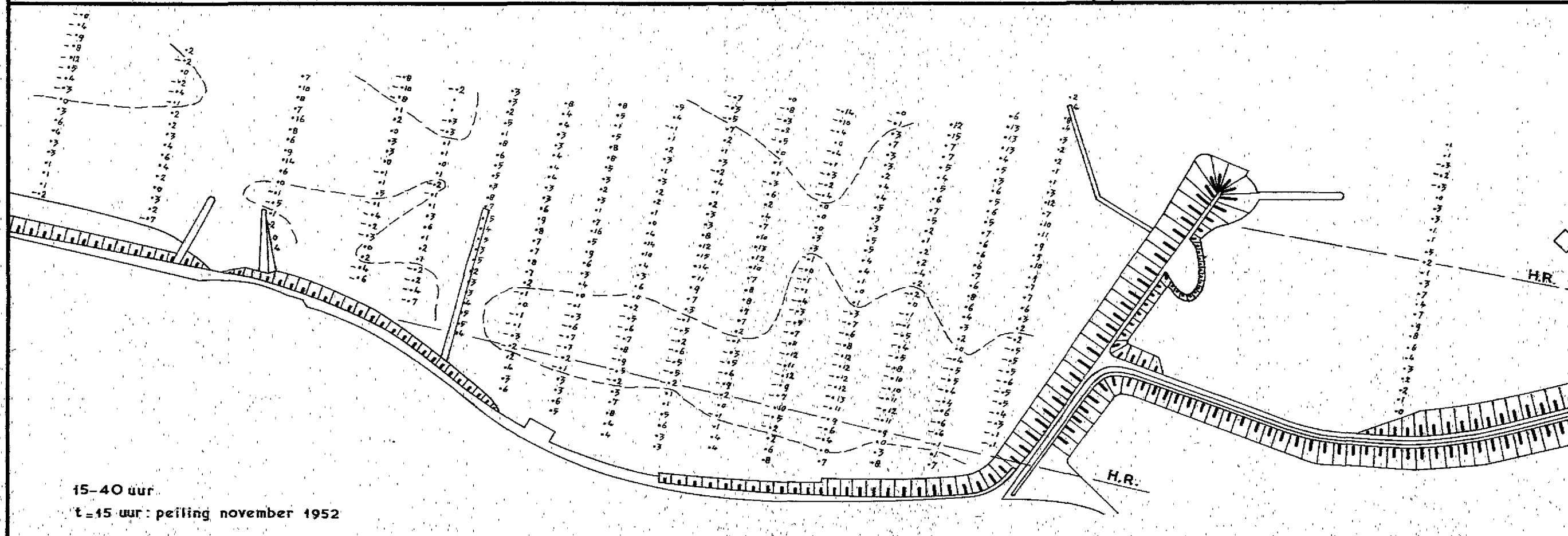
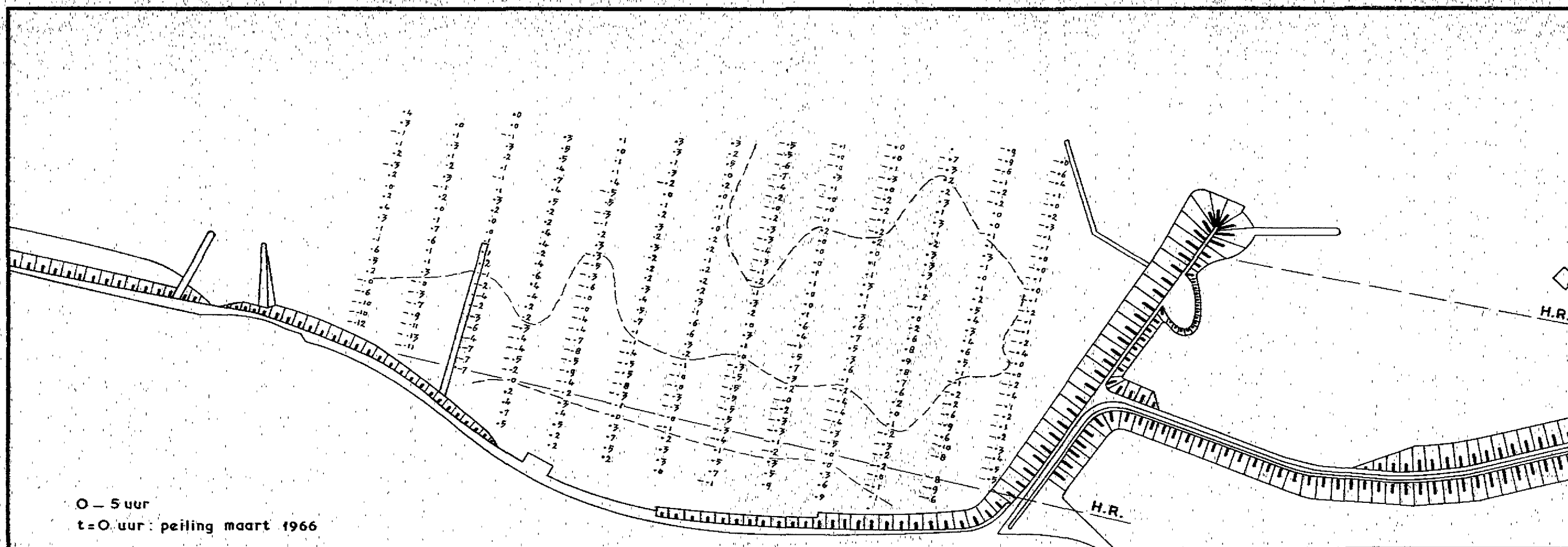
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

TO-7 TO-8

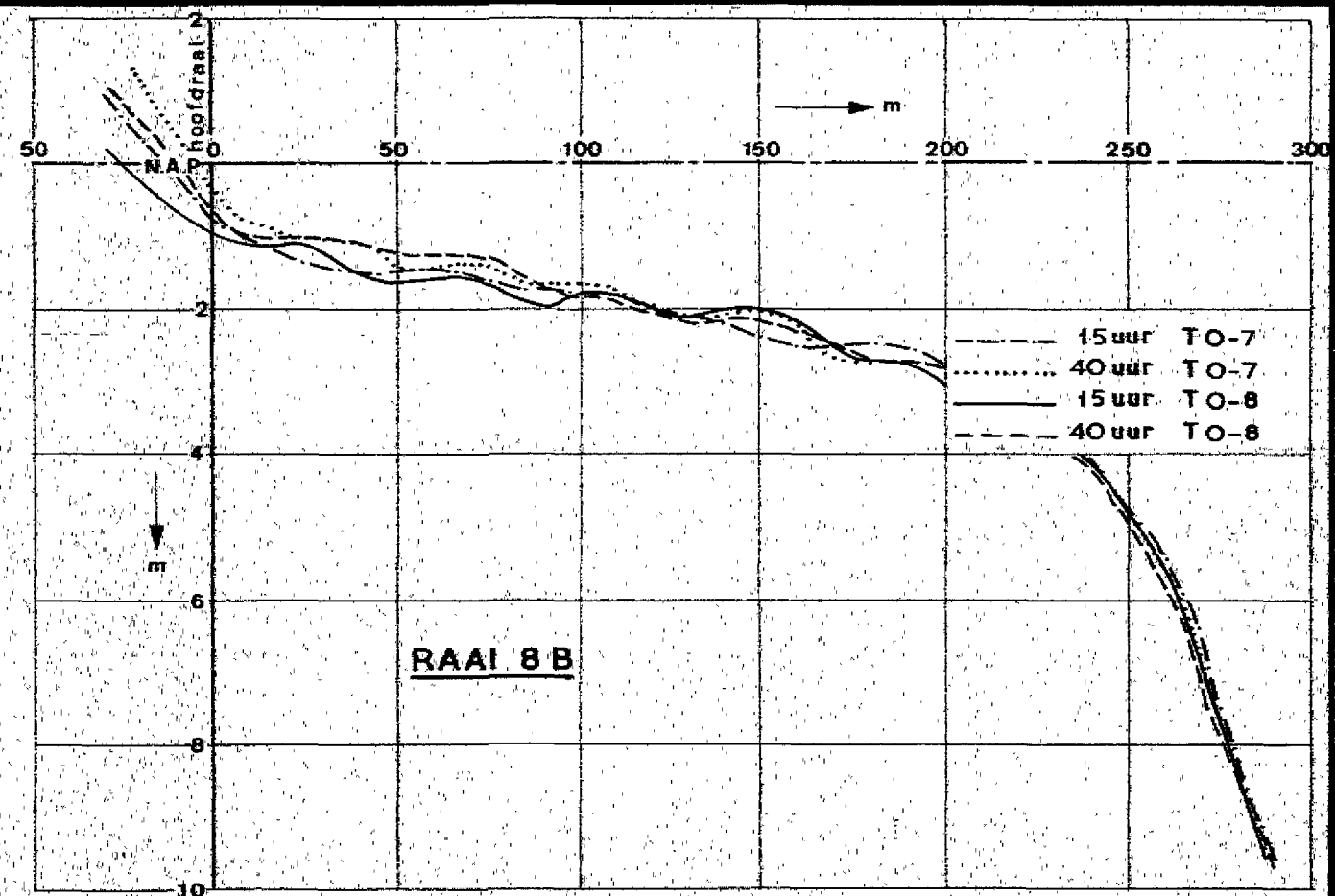
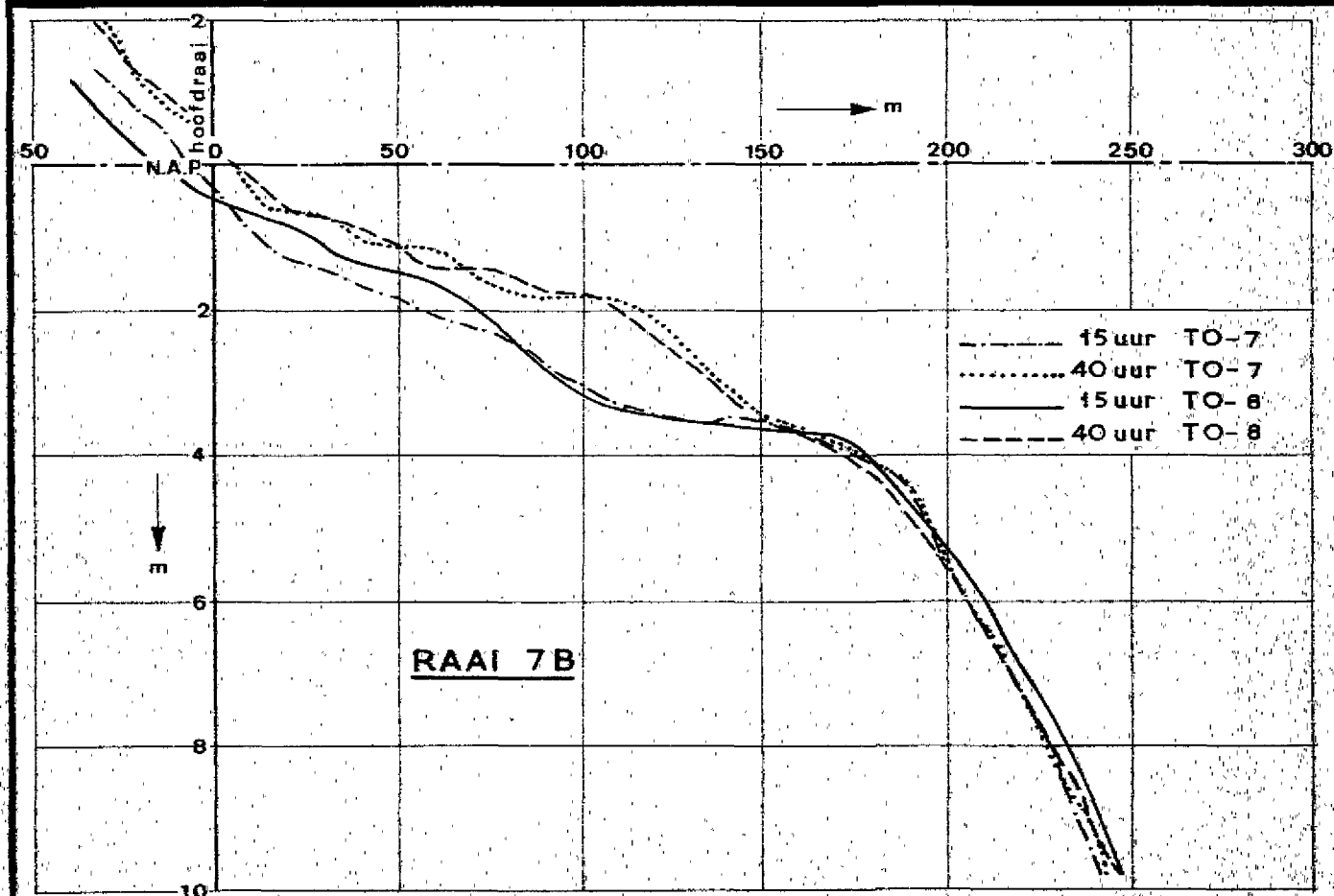
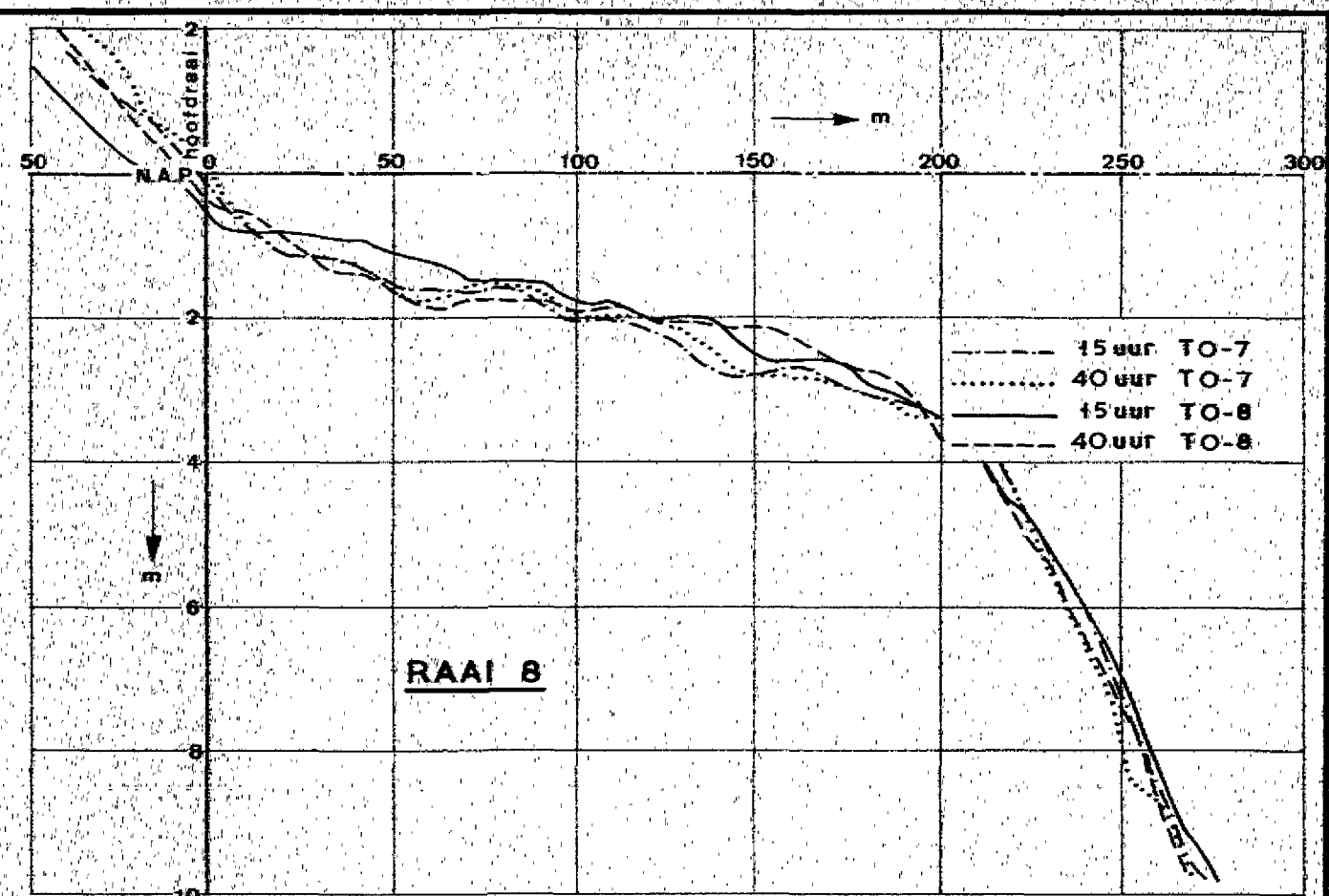
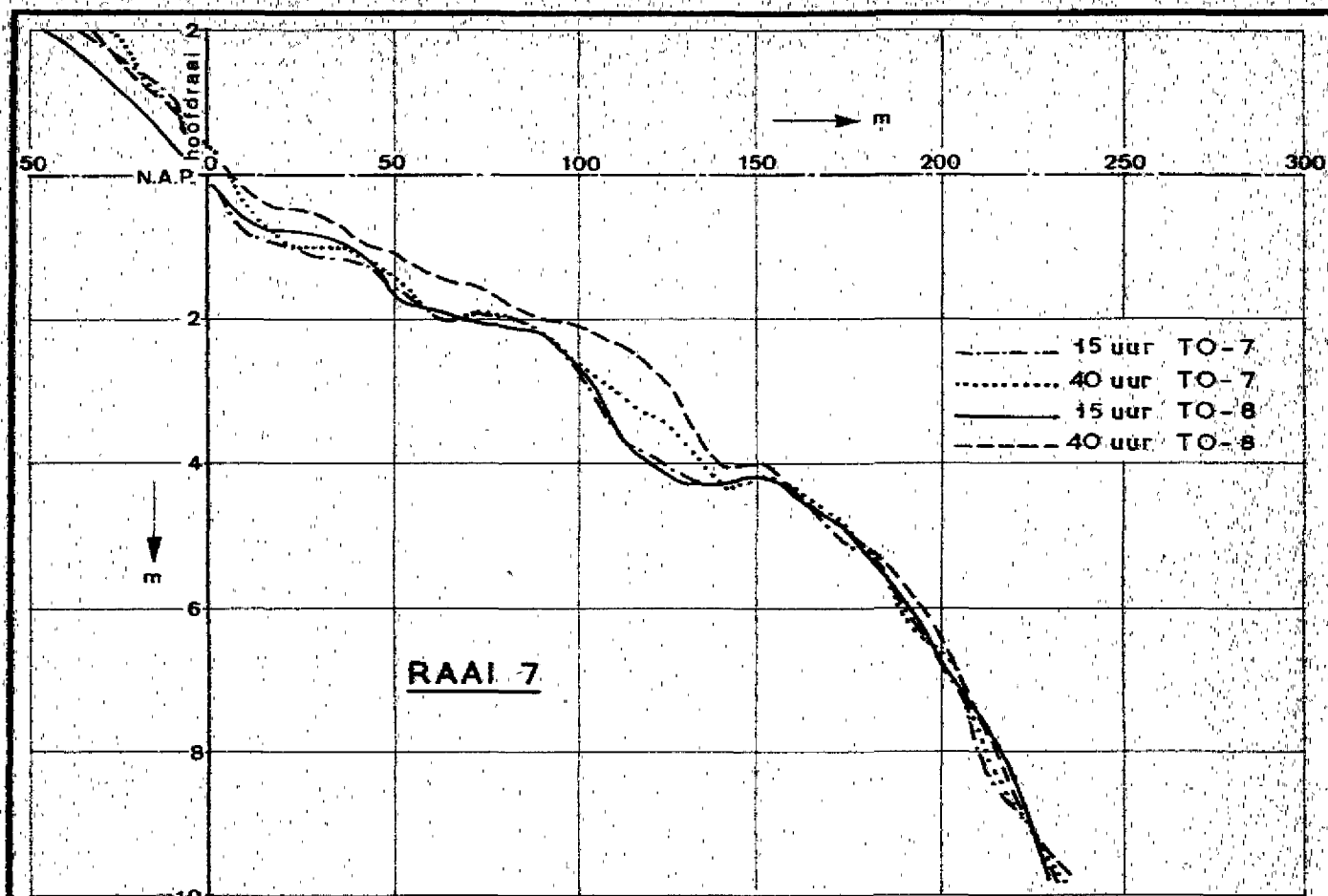
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 33



VERSCHILKAARTEN	TO-8	
	SCHAAL 1:4000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 34
	hoogteverschillen in dm - = verdieping + = verhoging	



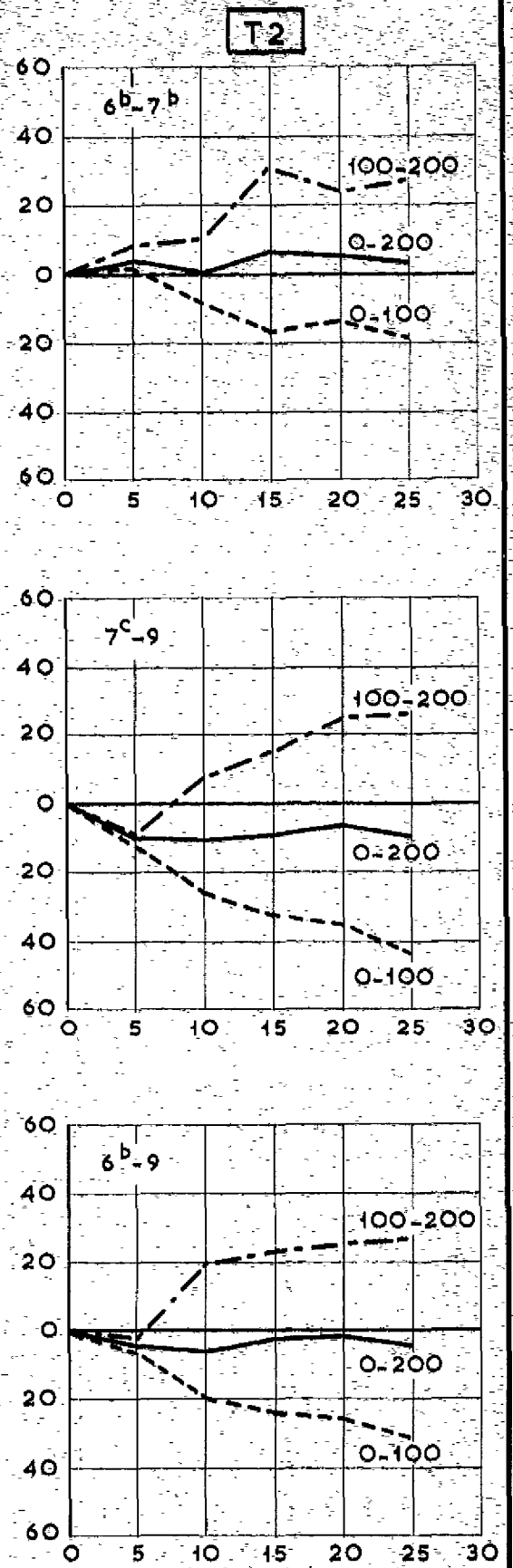
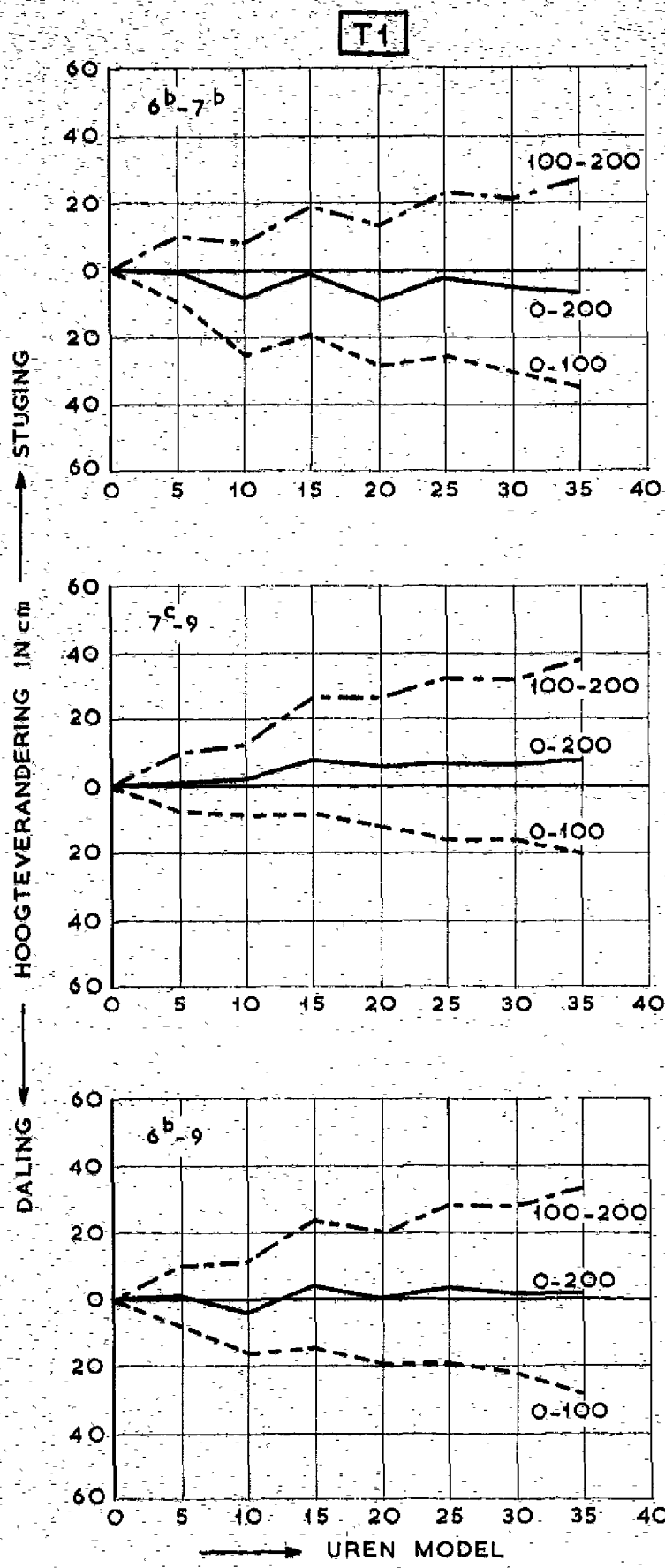
PROFIELEN BADSTRAND

TO-7, TO-8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

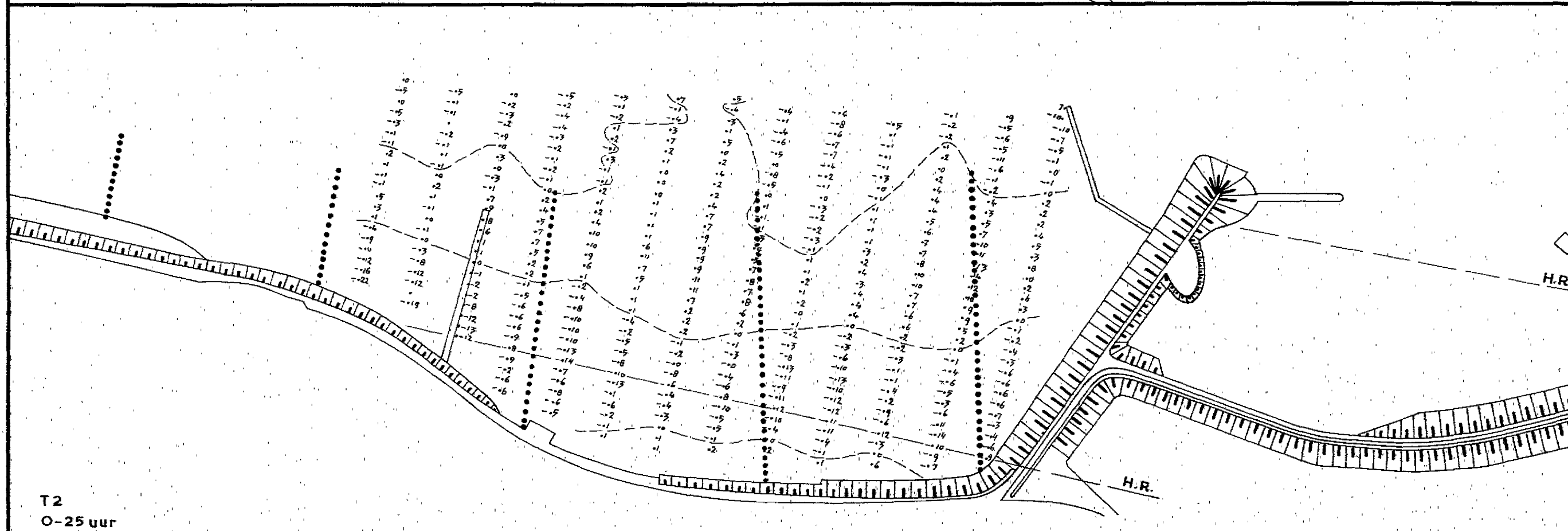
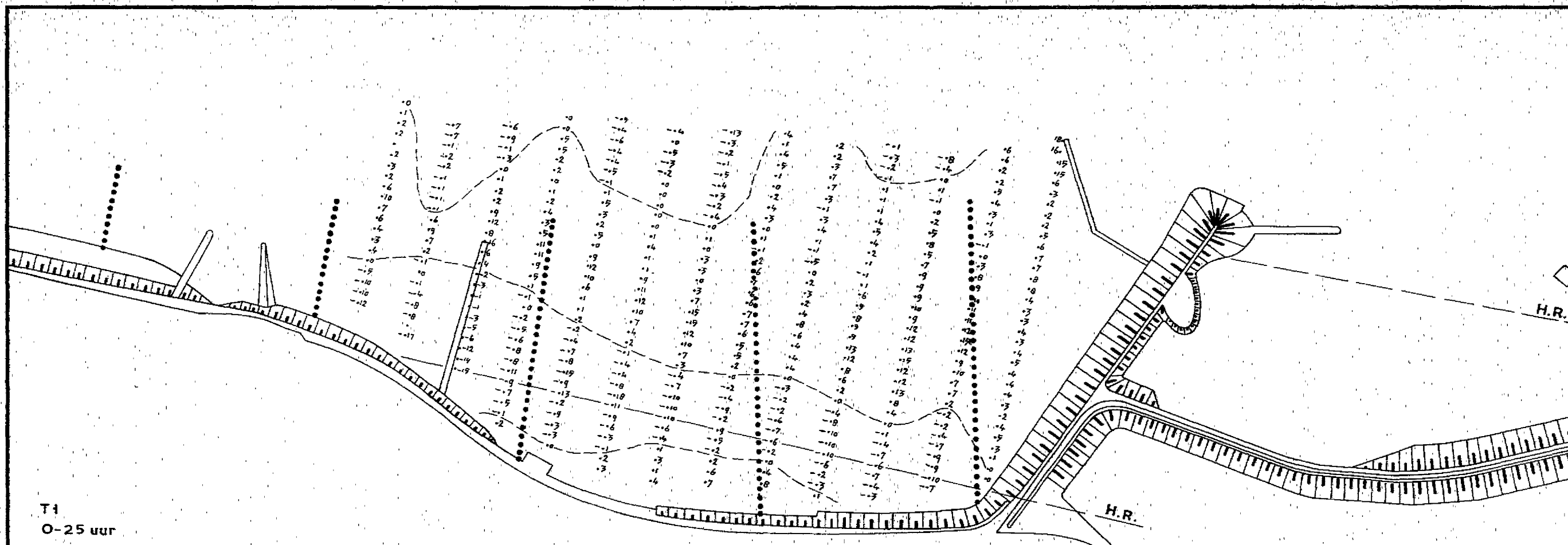
M. 963

FIG. 35



HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

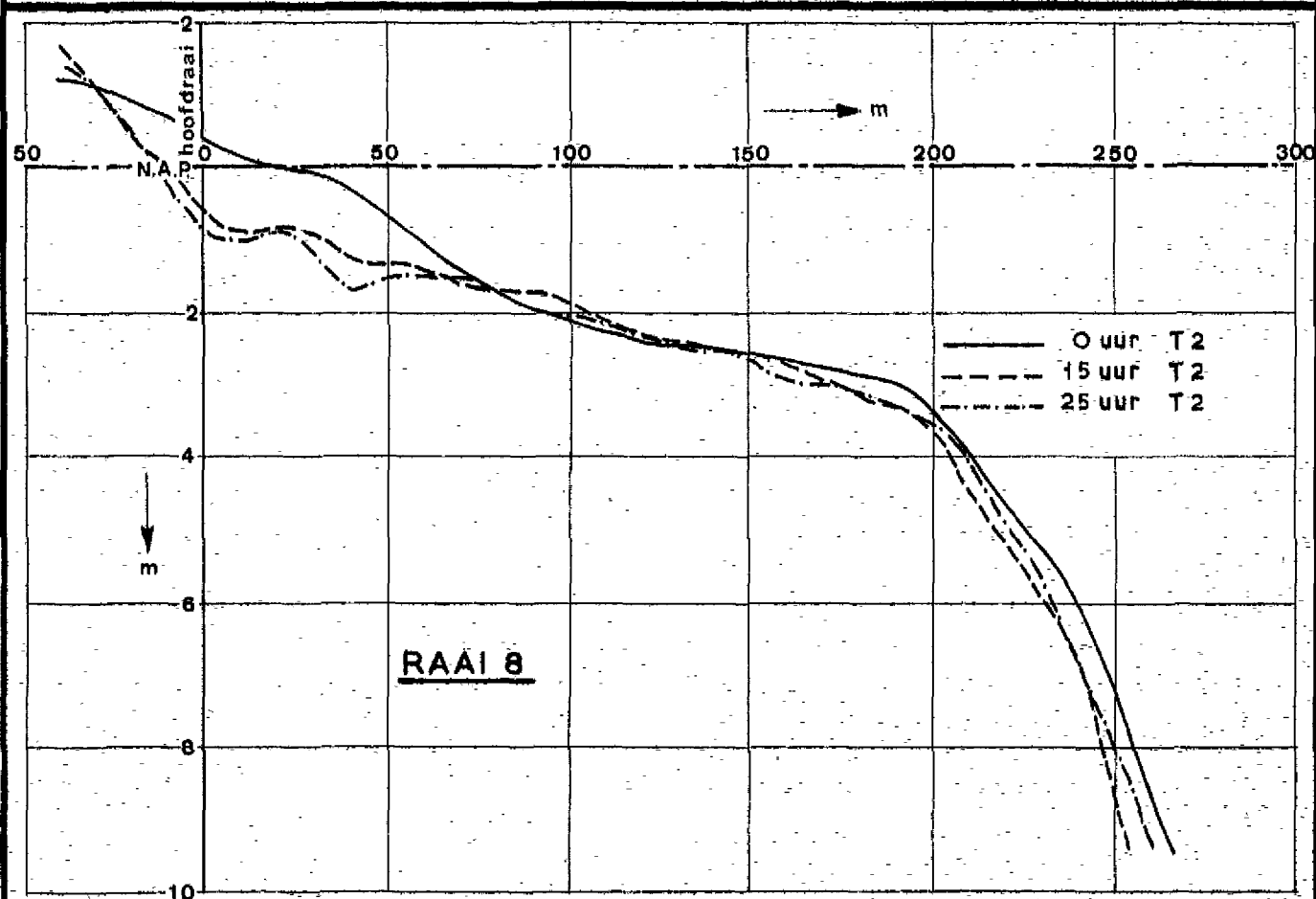
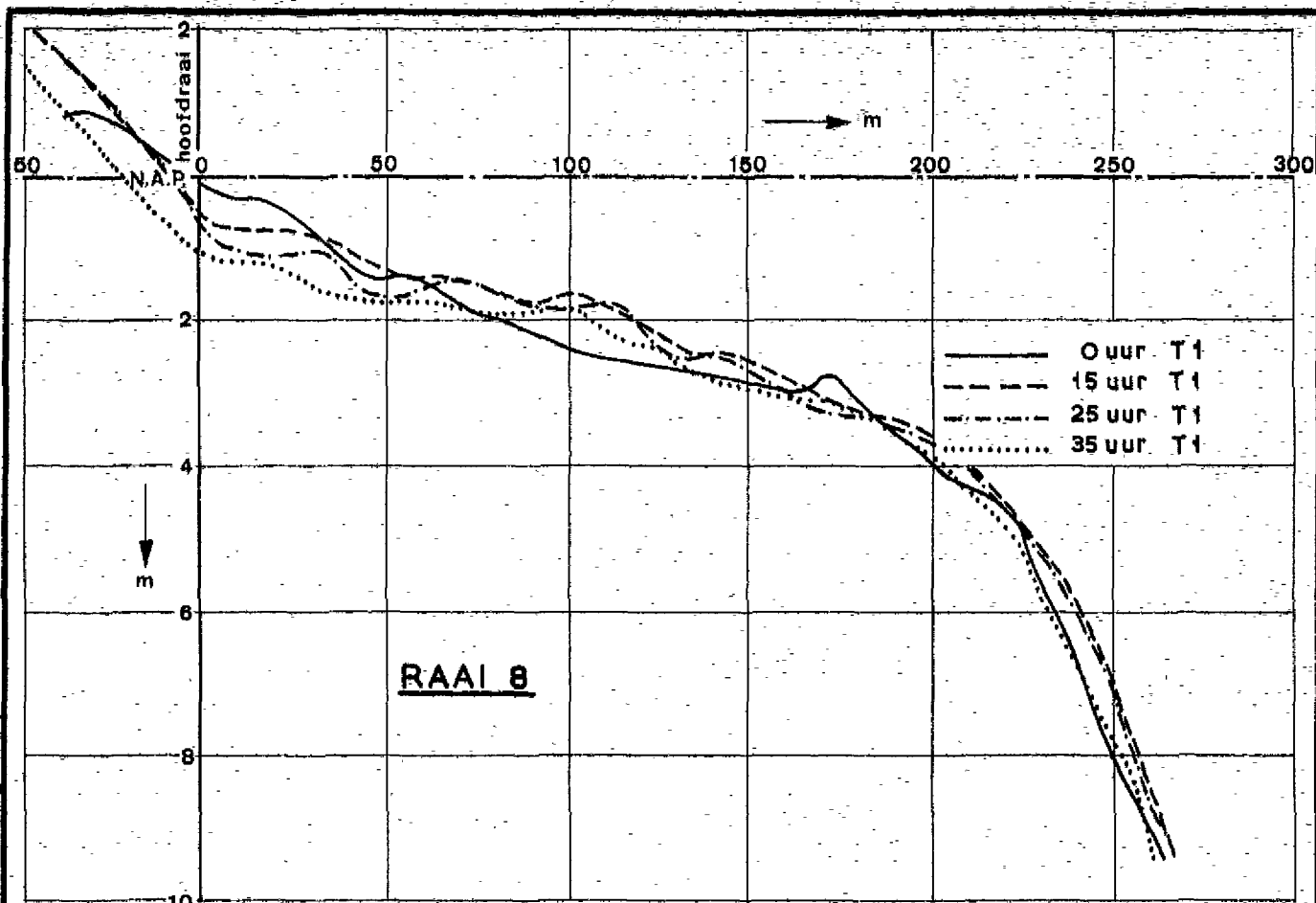
T1, T2



VERSCHILKAARTEN	T1,T2	
	SCHAAL 1:4000	
	M. 963	FIG. 37
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		

hoogteverschillen in dm

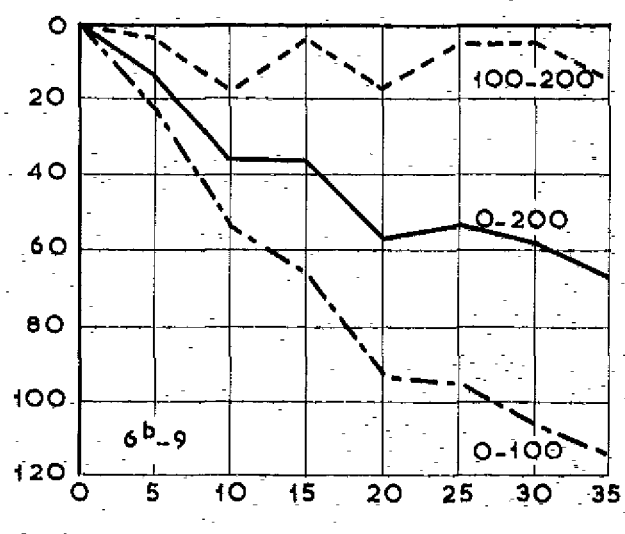
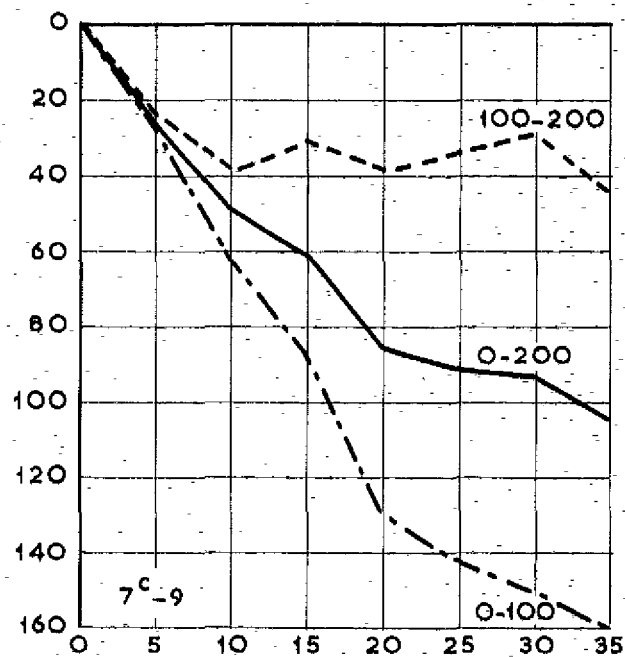
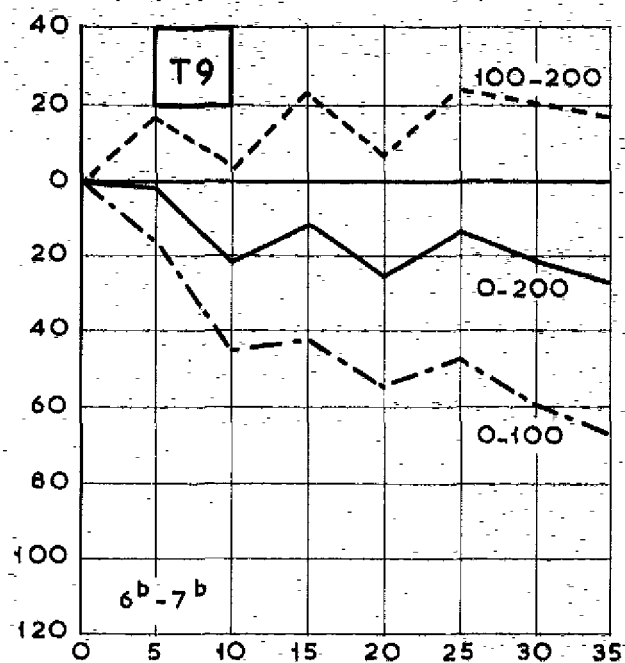
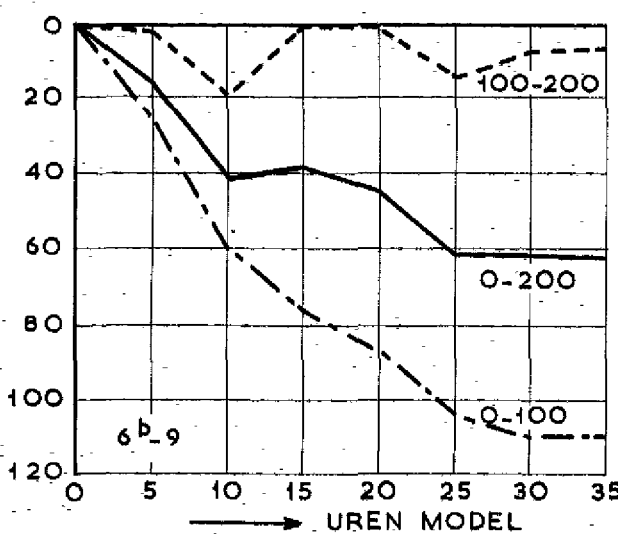
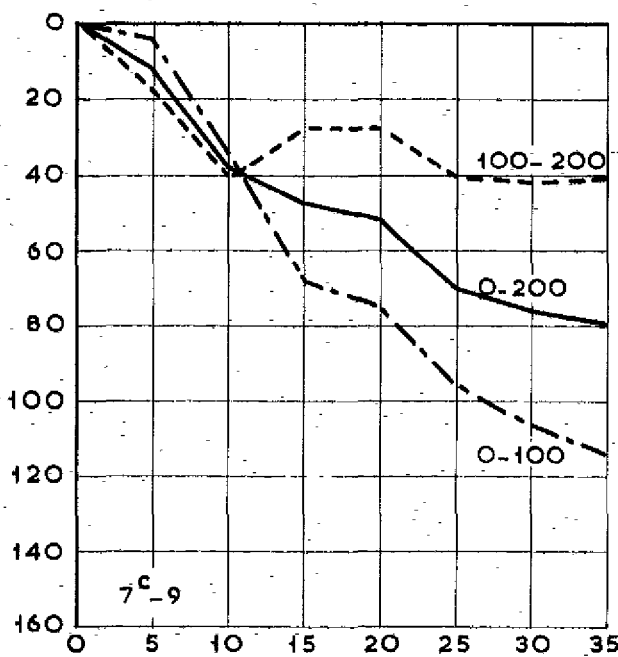
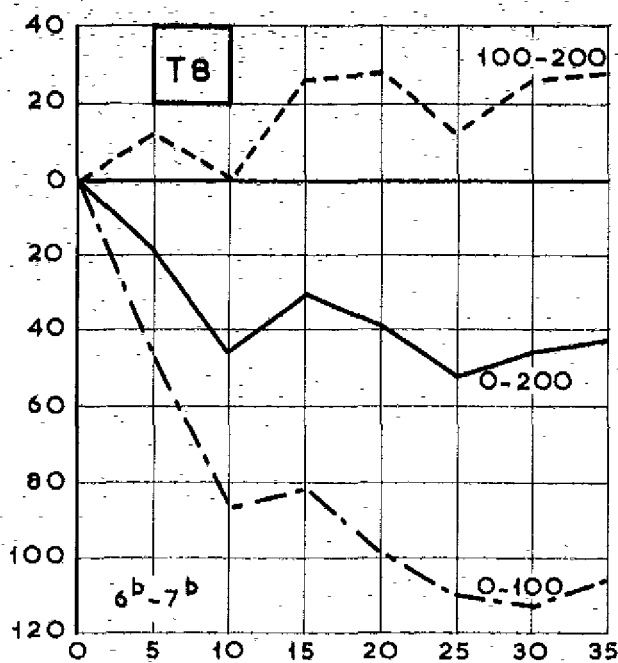
- = verdieping
+ = verhoging



STRANDPROFIELEN

T1, T2

STUGING
↑
HOOGTEVERANDERING IN cm
↓
DALING



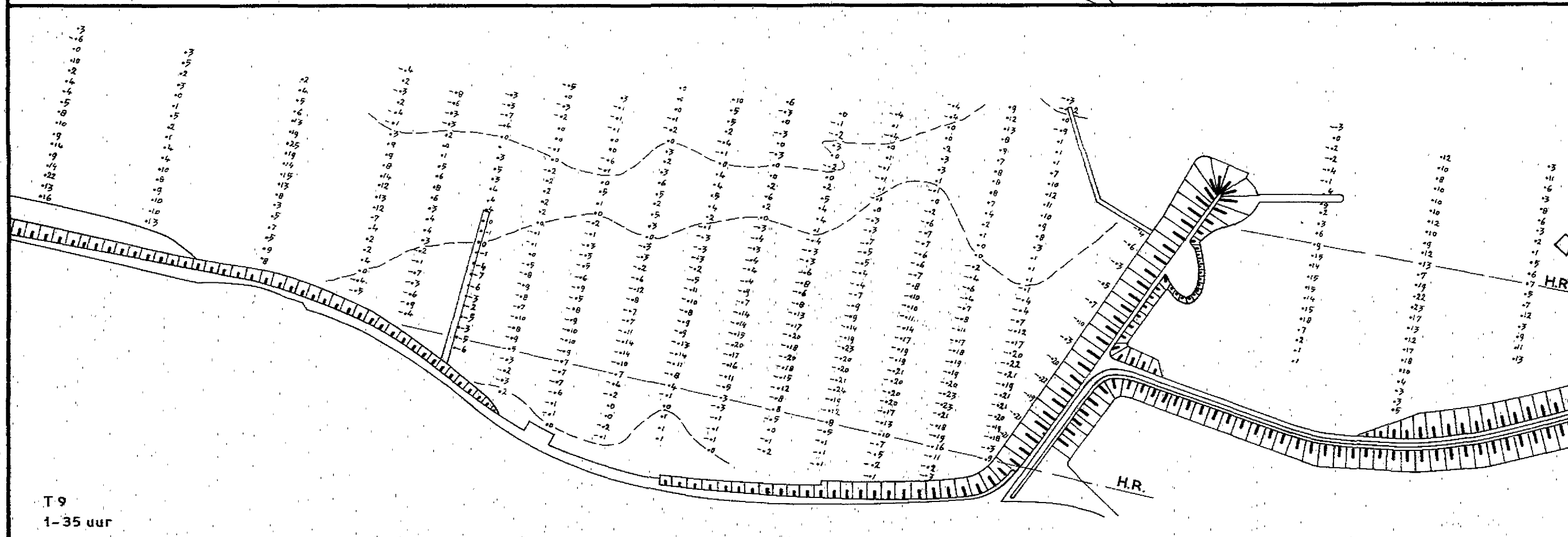
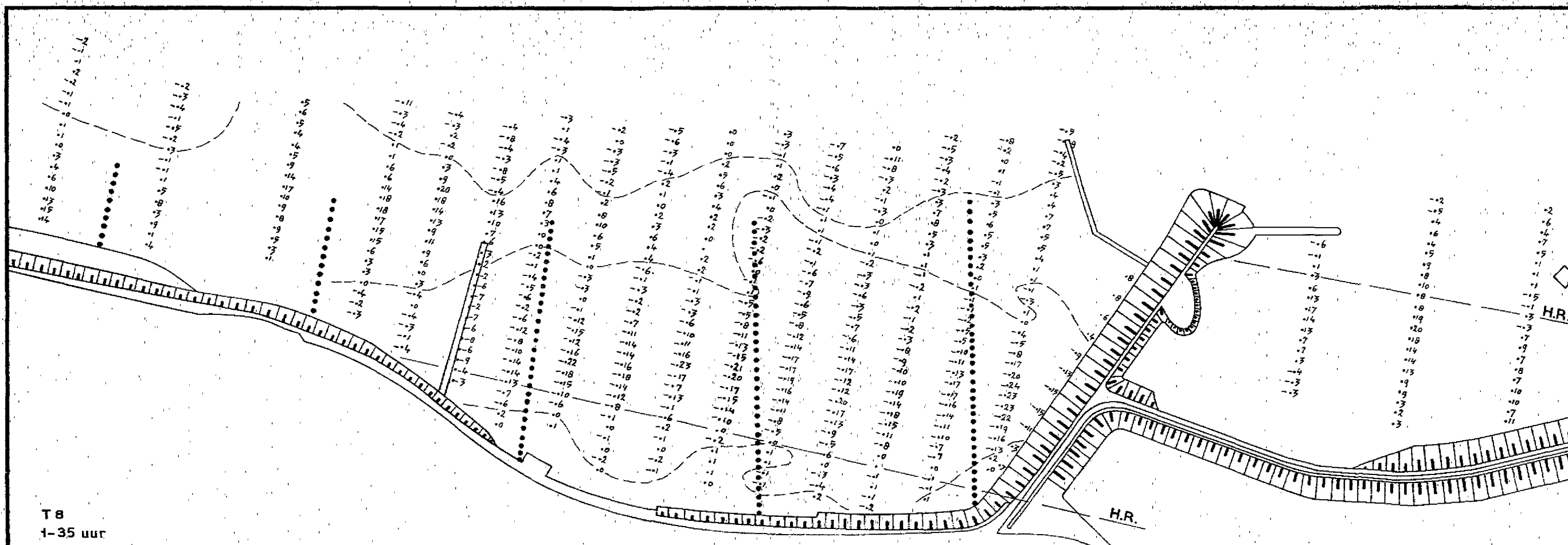
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

T8, T9

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

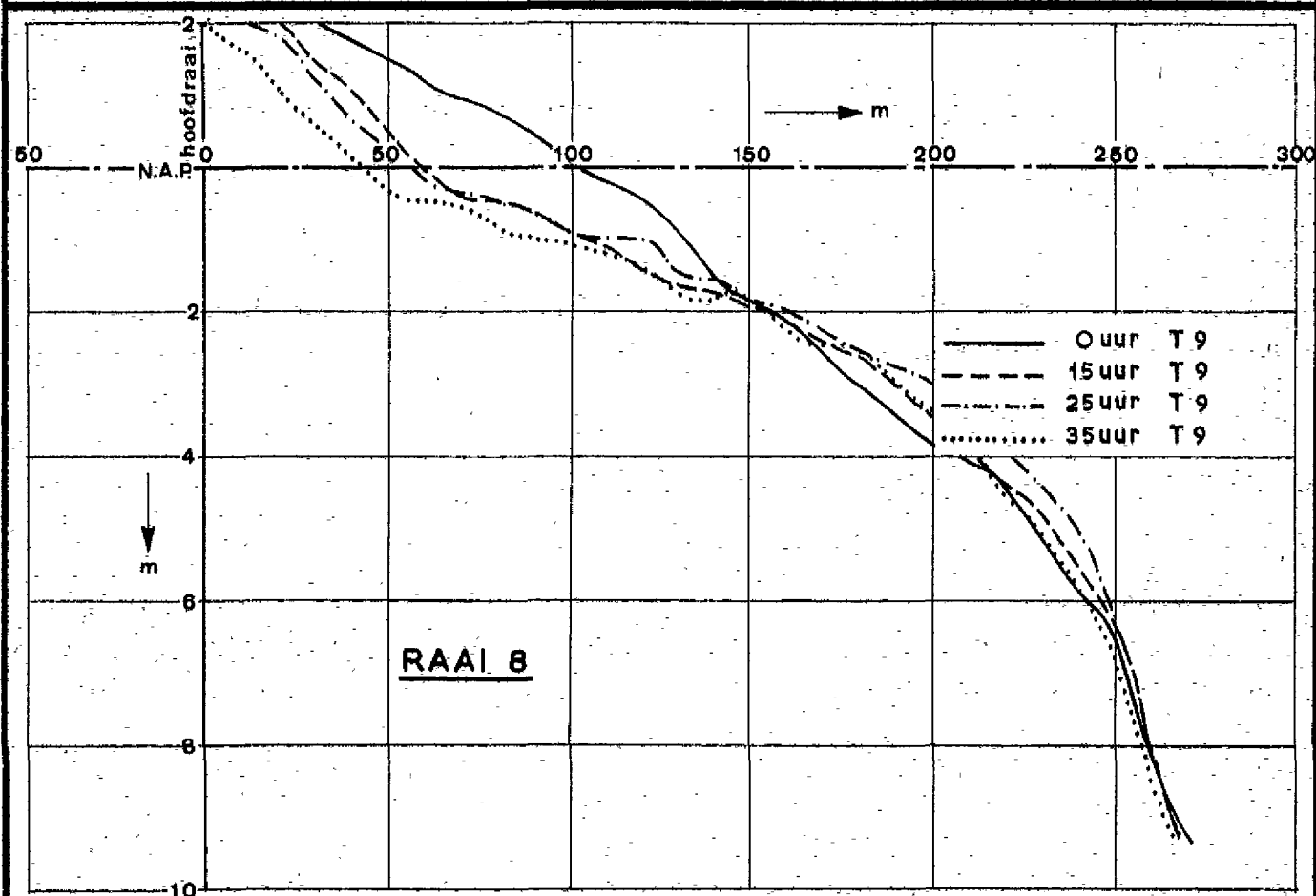
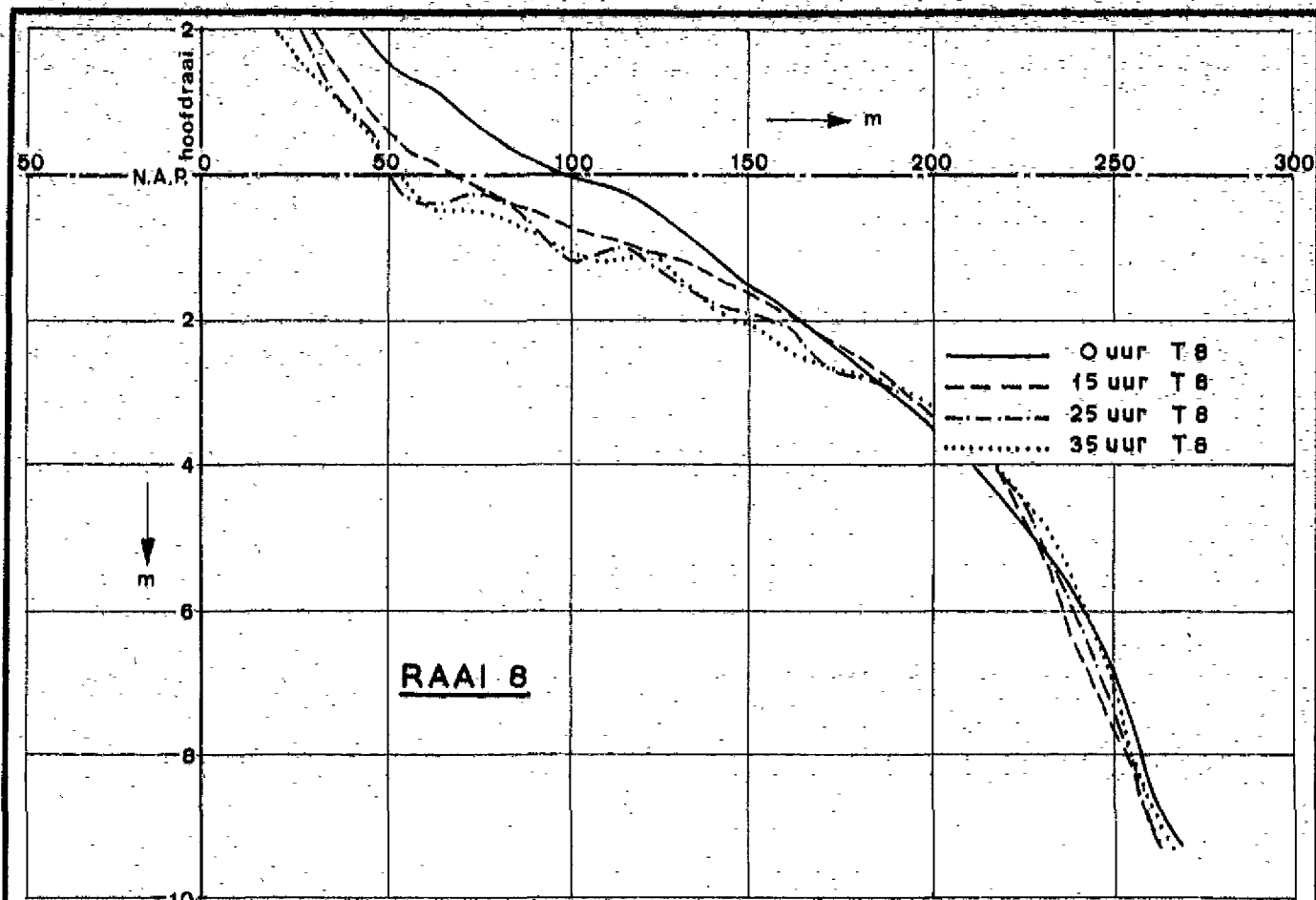
FIG. 39



VERSCHILKAARTEN	T8,T9	
	SCHAAL 1:4000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 40

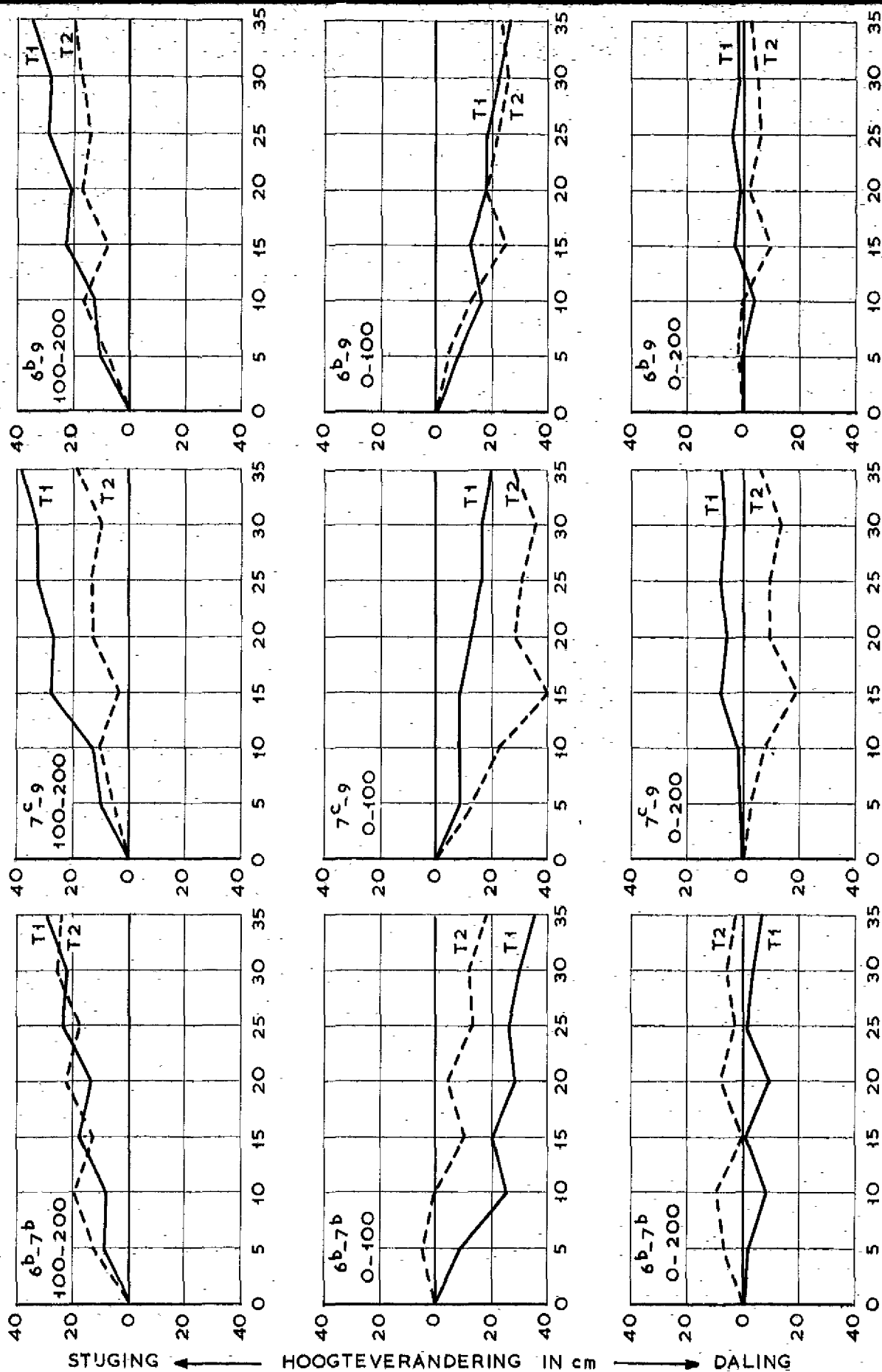
hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



STRANDPROFIELEN

T 8, T 9



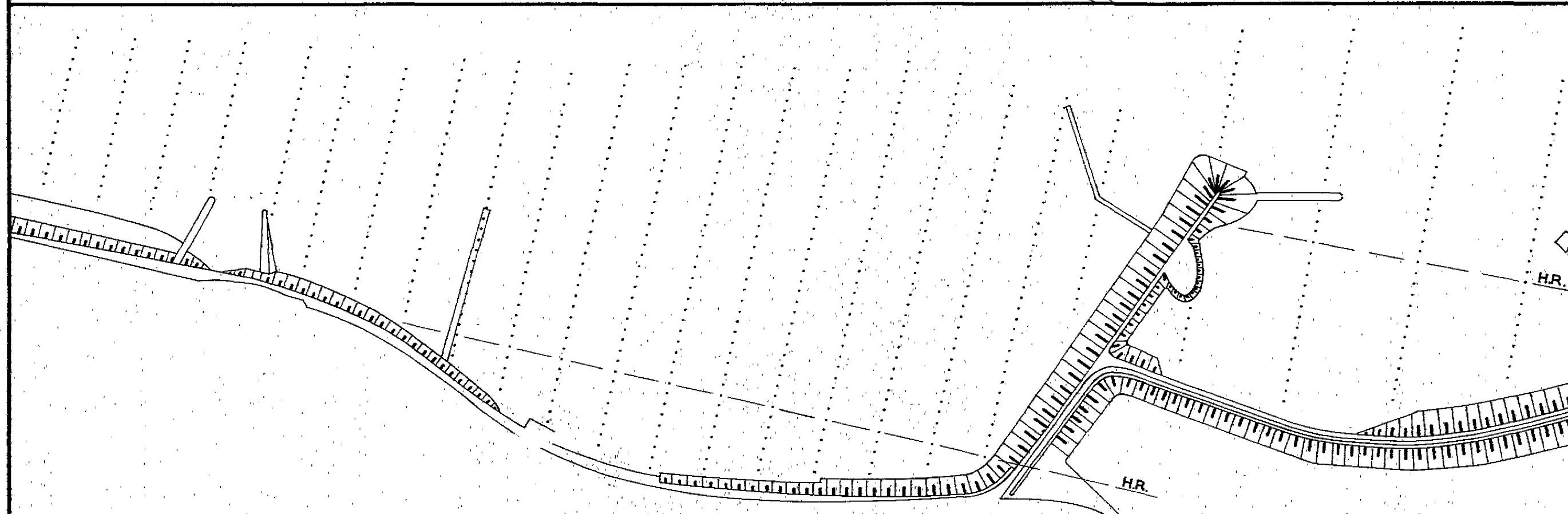
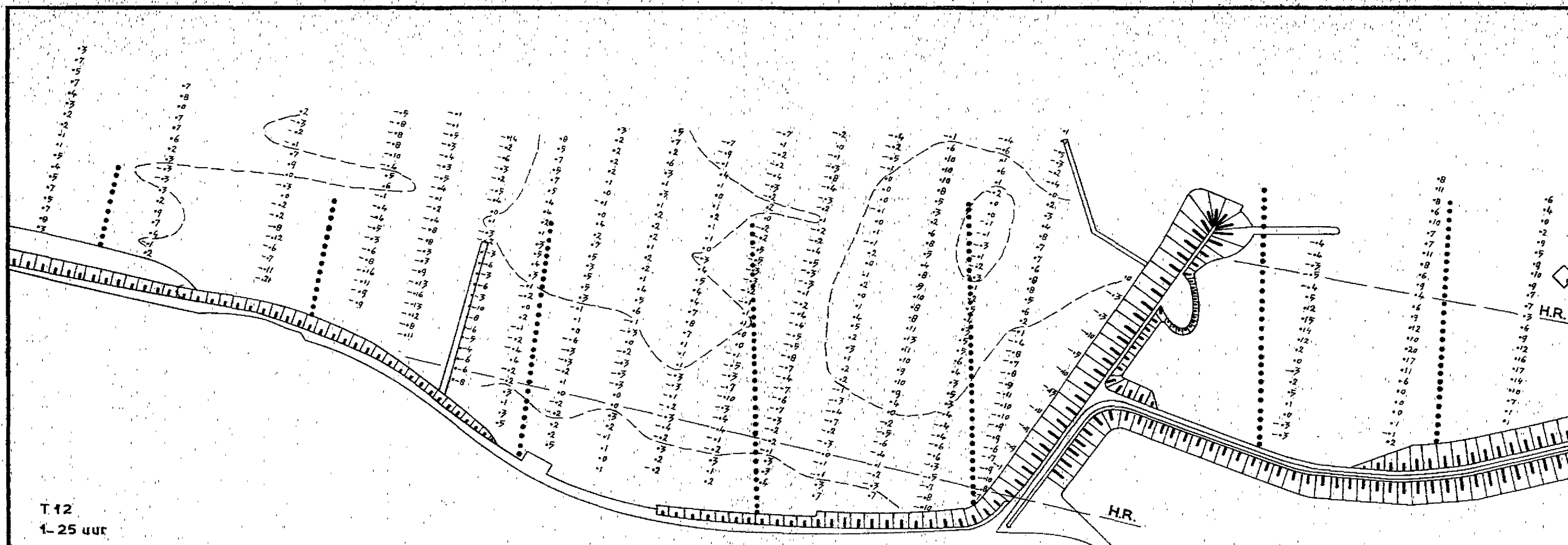
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 12

M. 963

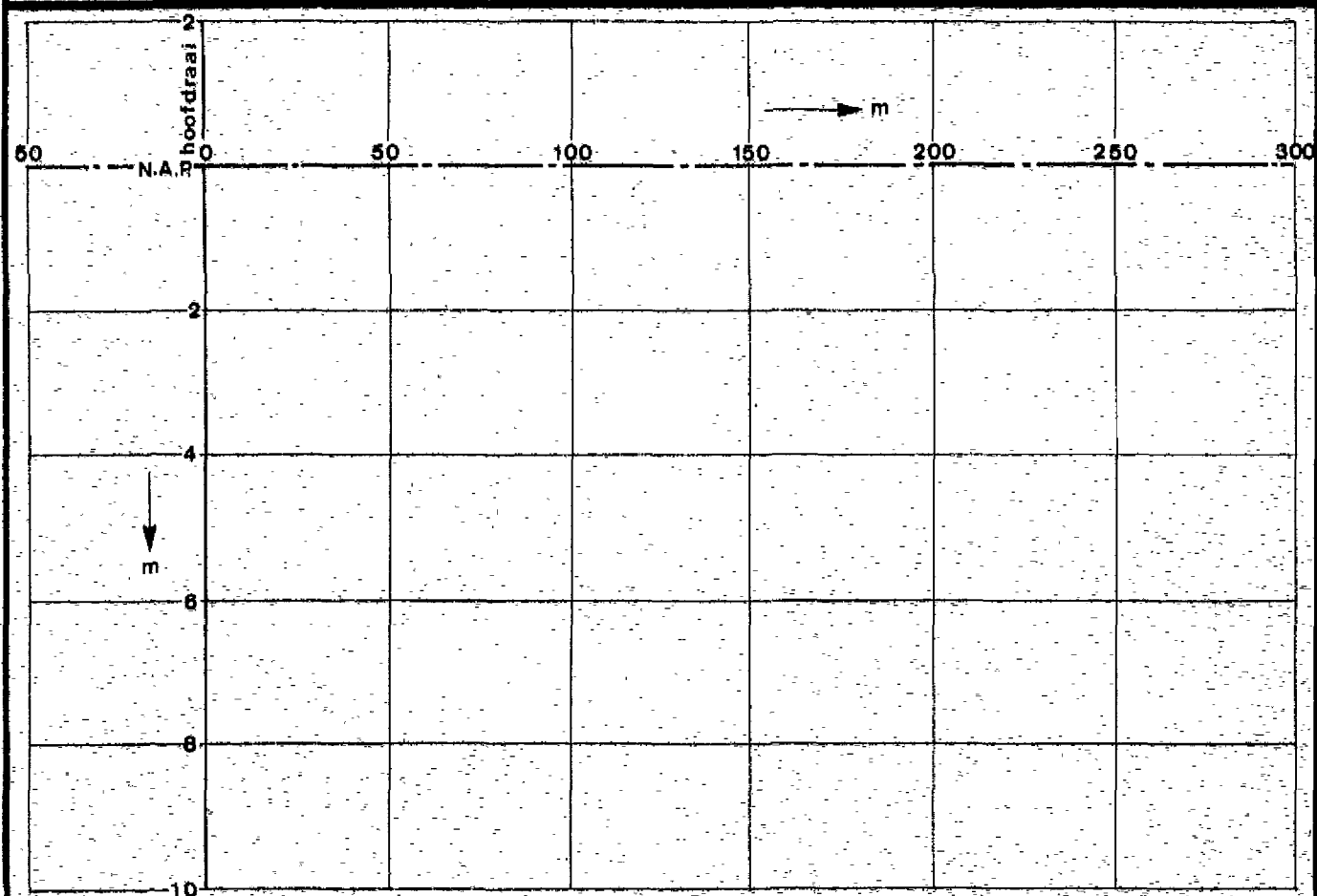
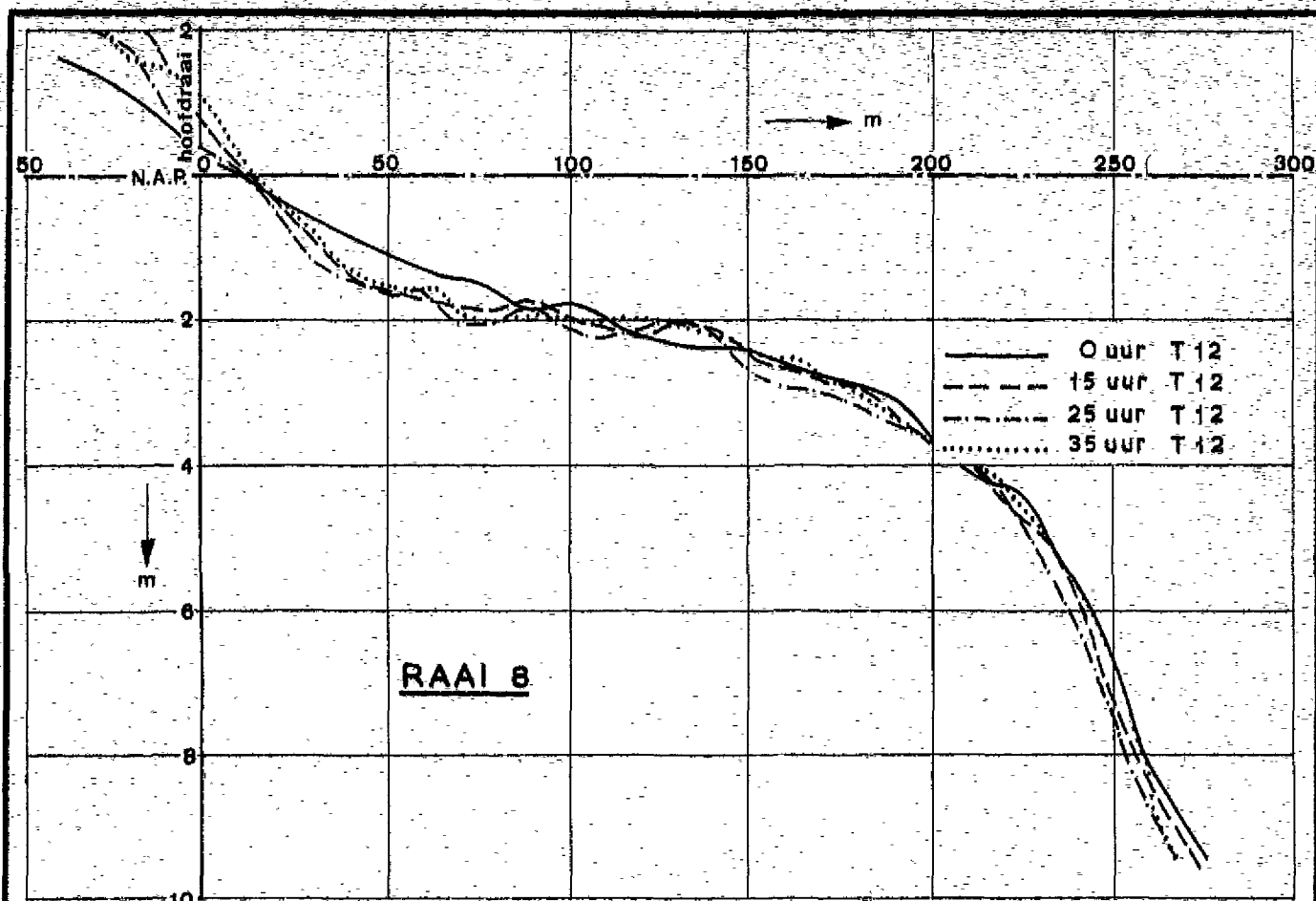
FIG. 42



VERSCHILKAARTEN	T 12	
	SCHAAL 1:4000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 43

hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



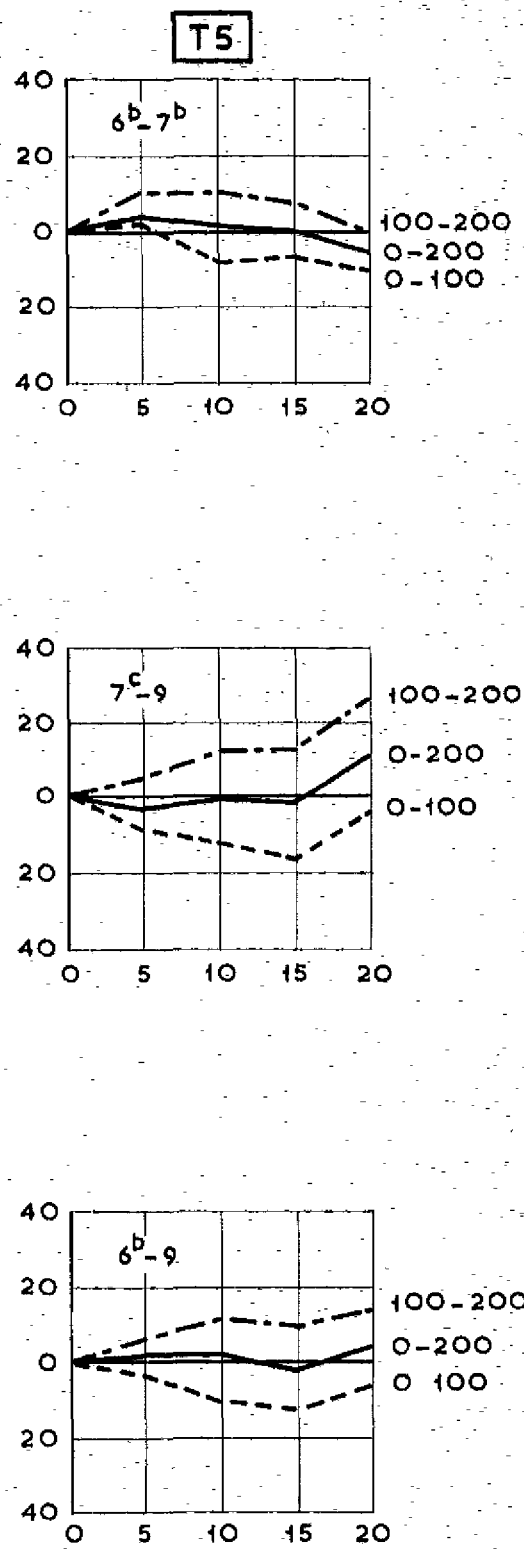
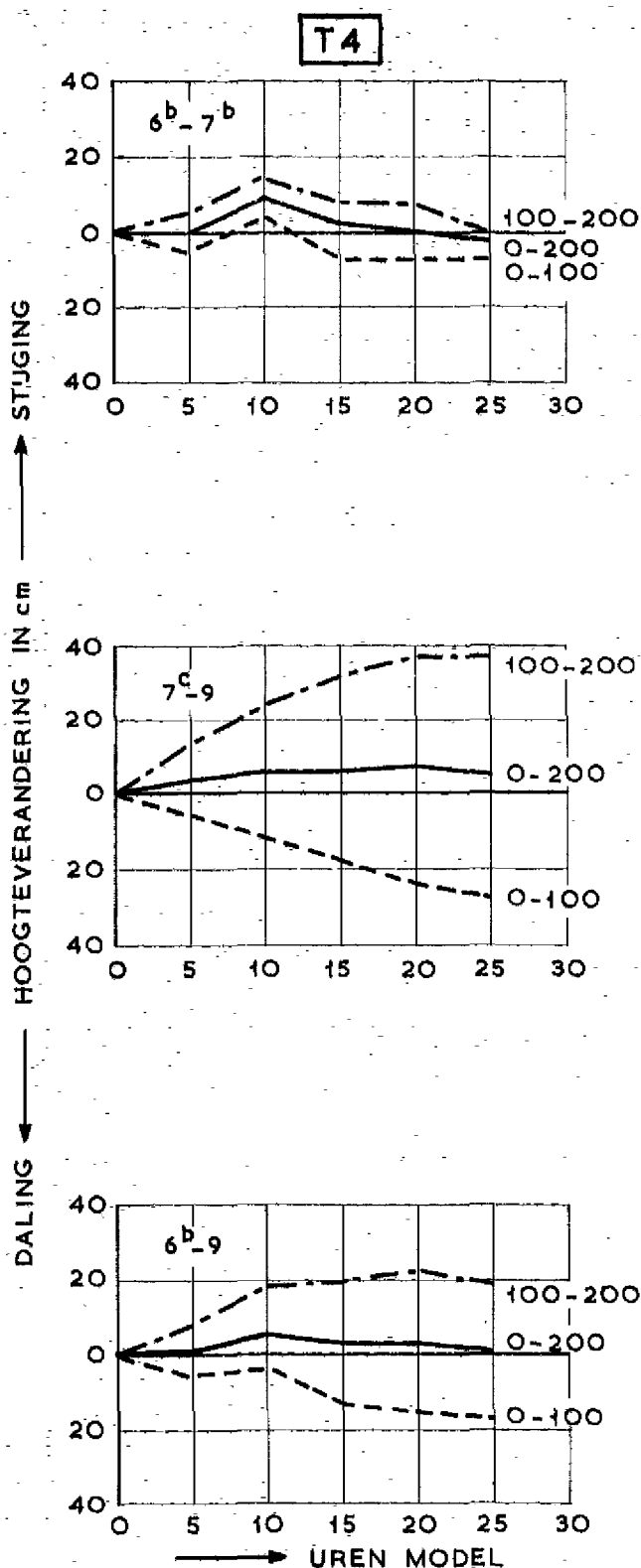
STRANDPROFIELEN

T 12

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

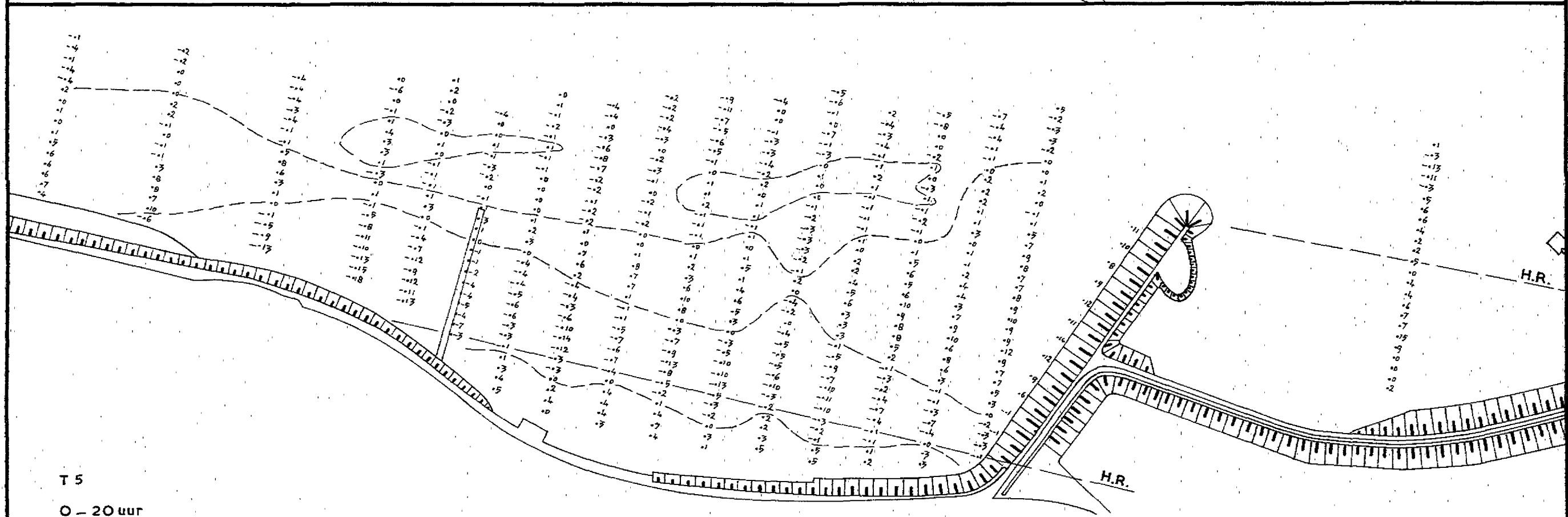
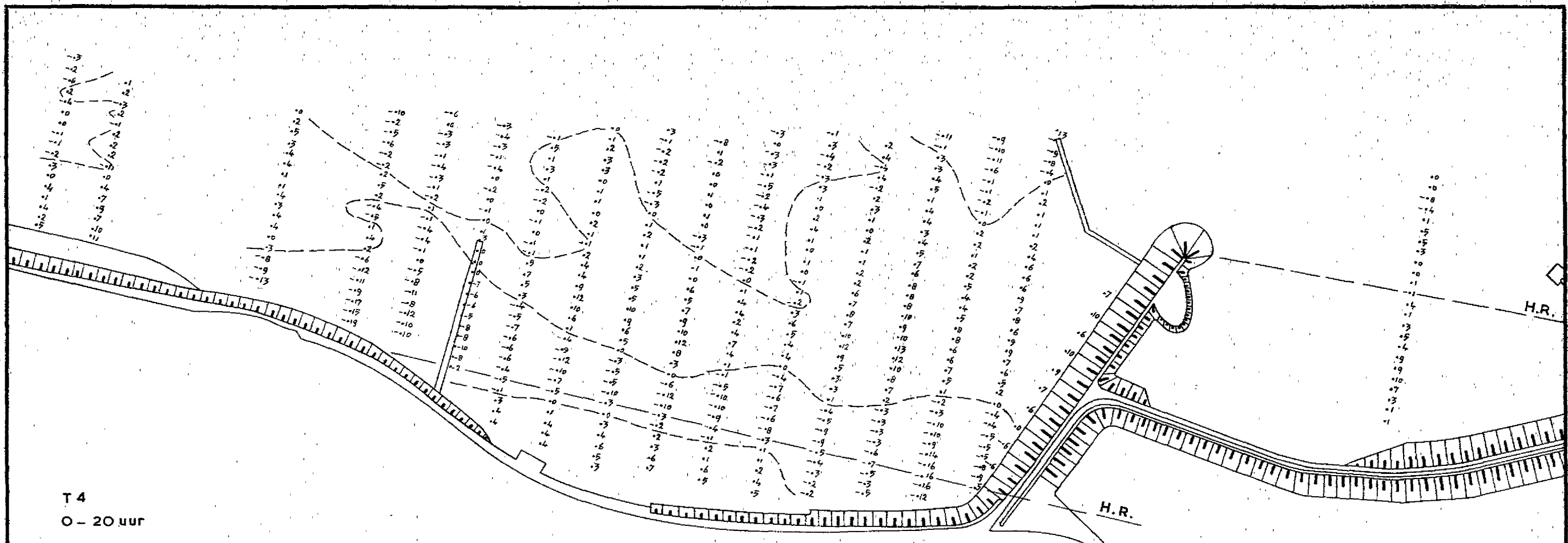
M. 963

FIG. 44



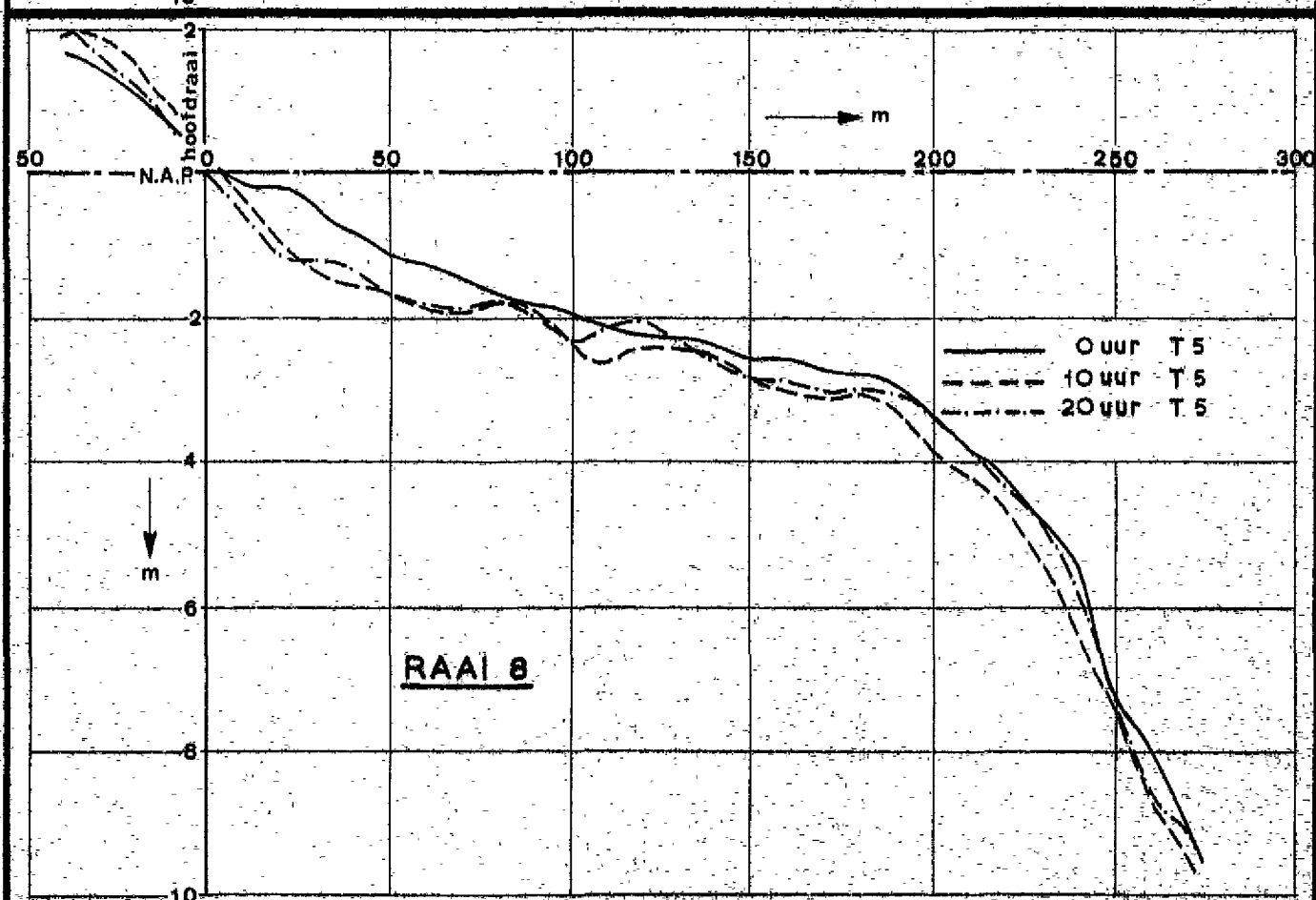
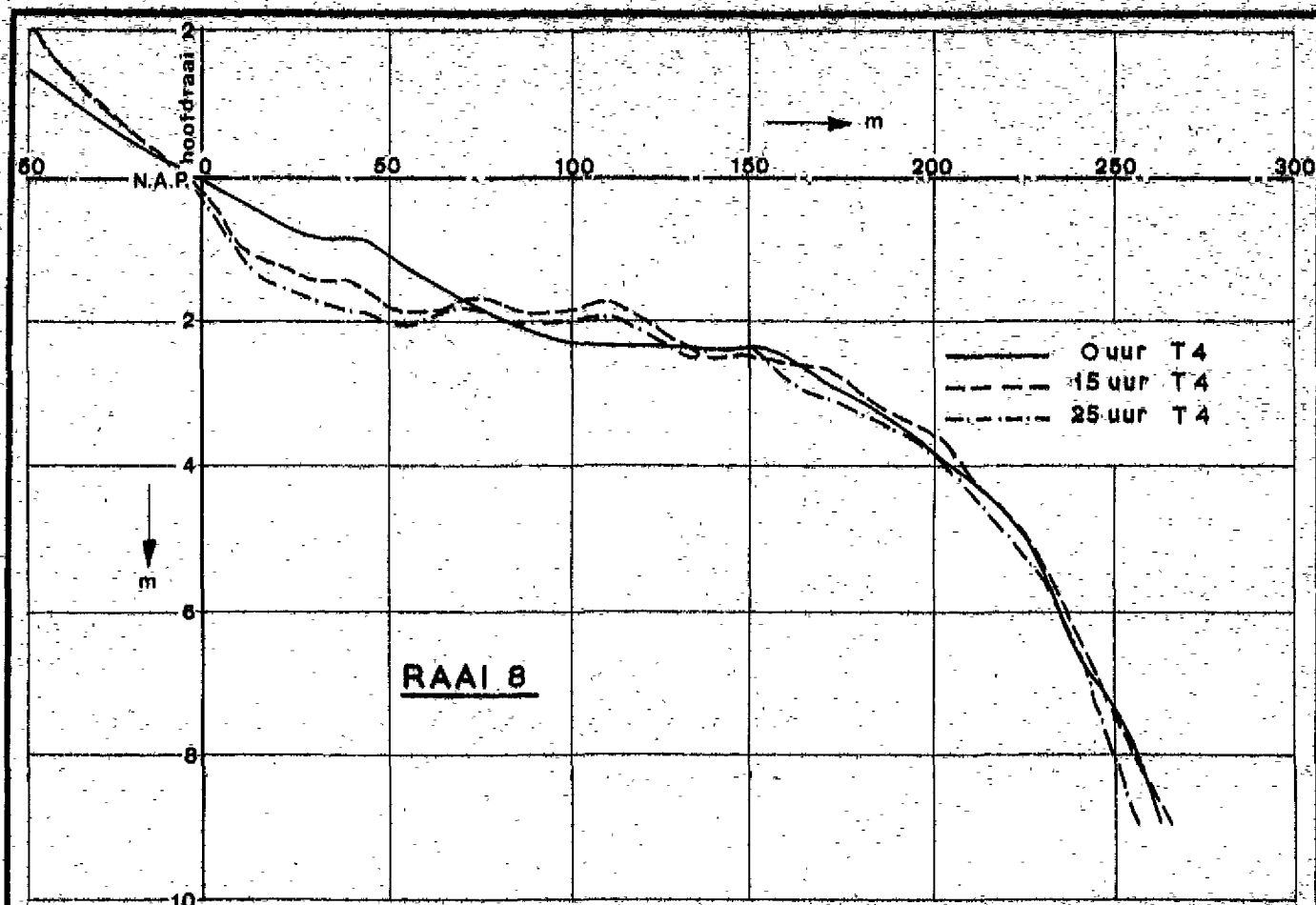
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

T4, T5



VERSCHILKAARTEN	T 4 , T 5	
	SCHAAL 1:4000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 46

hoogteverschillen in dm
- = verdieping
+ = verhoging



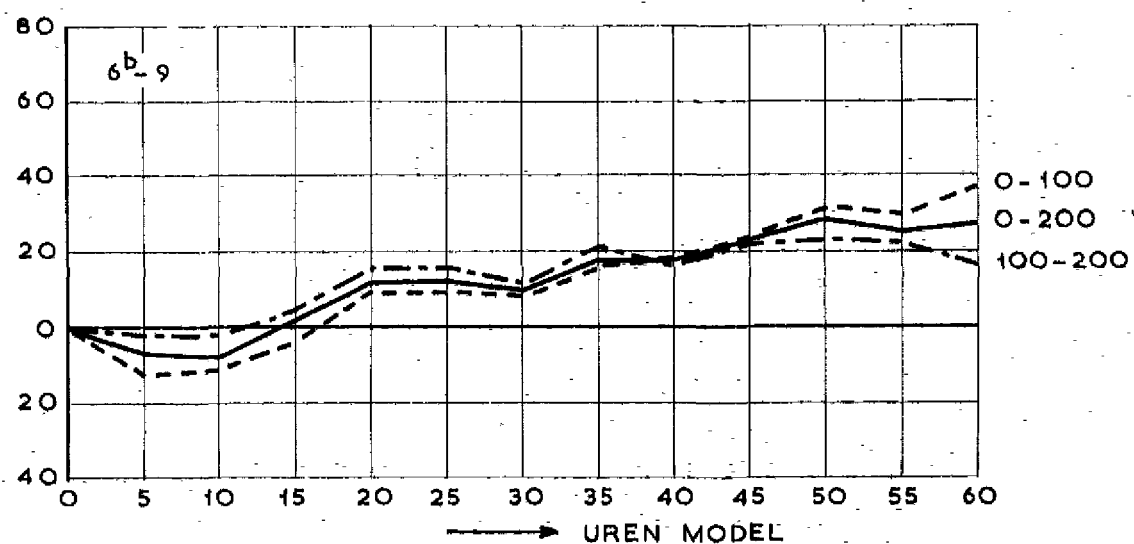
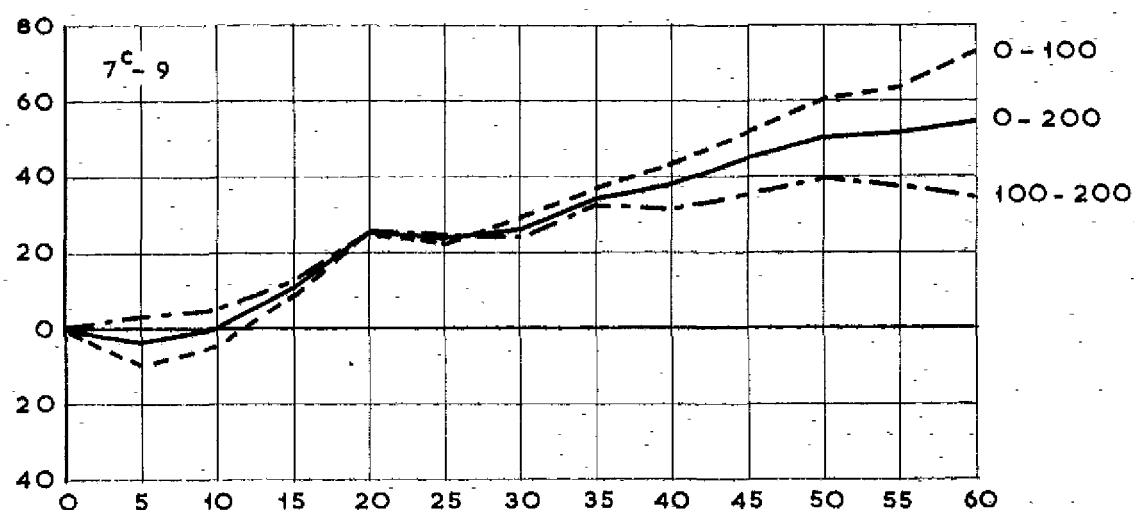
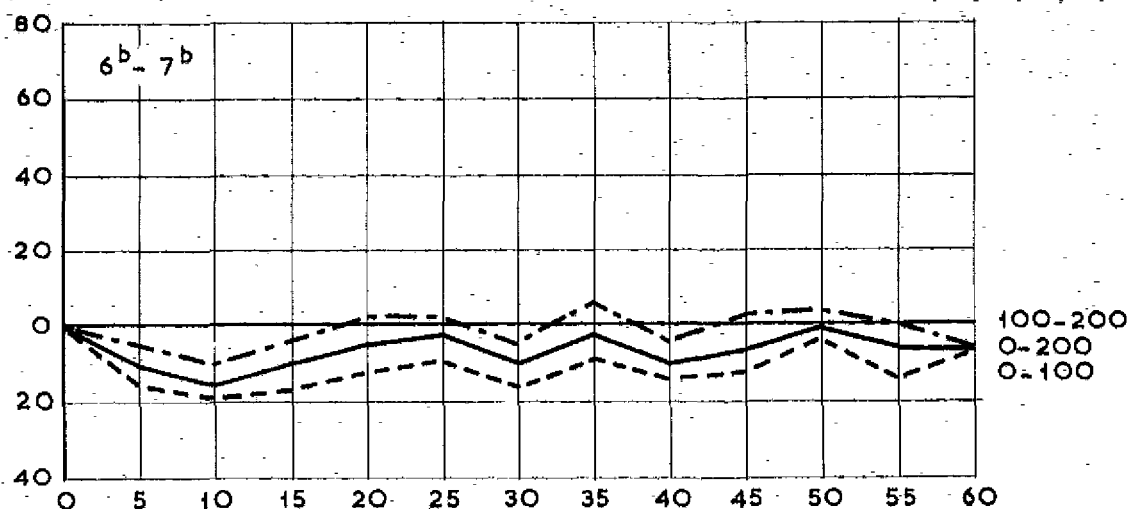
STRANDPROFIELEN

T4, T5

STUING

HOOGTEVERANDERING IN cm

DALING



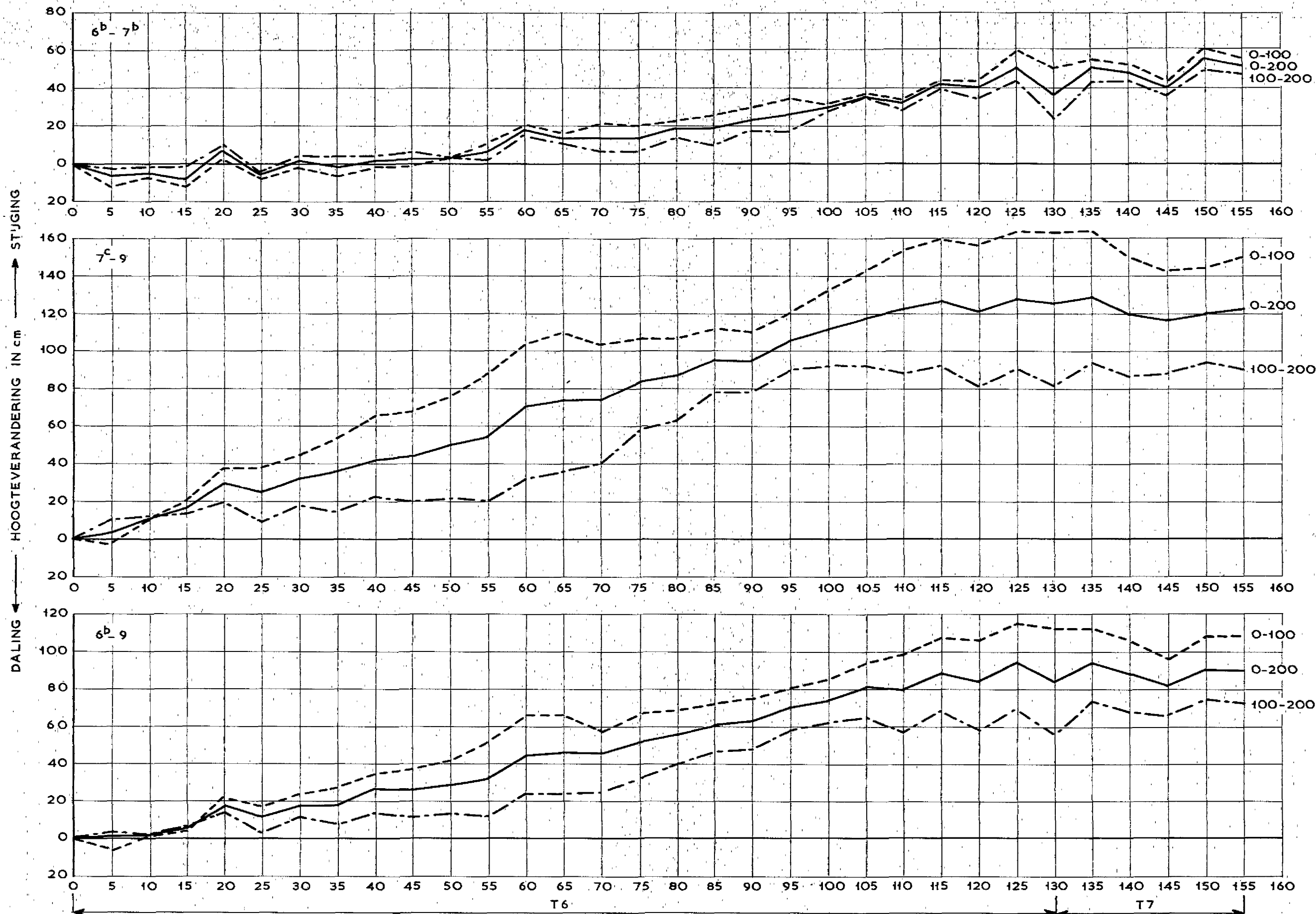
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

T 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 48



HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

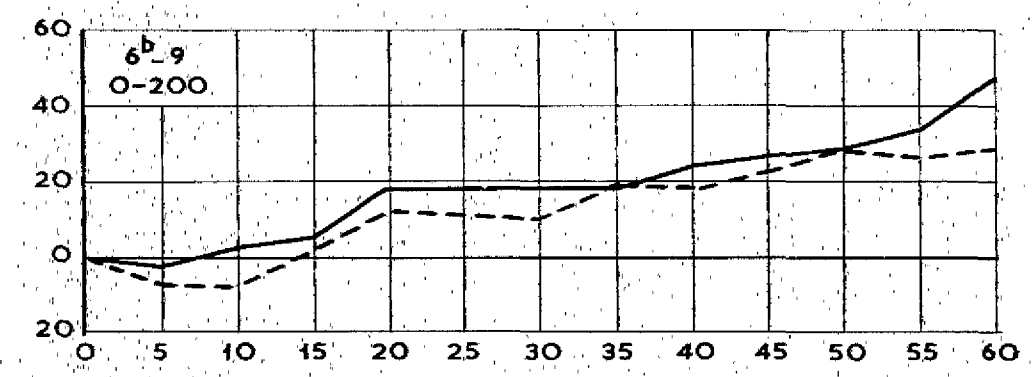
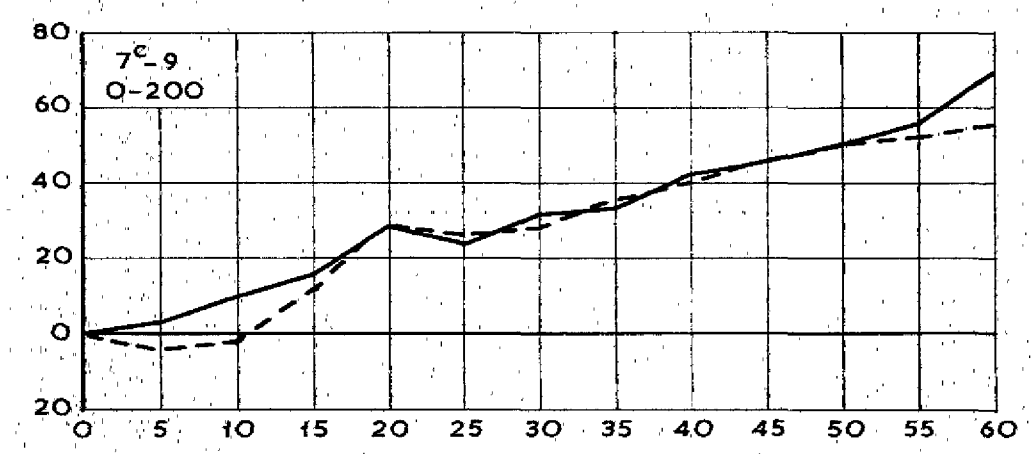
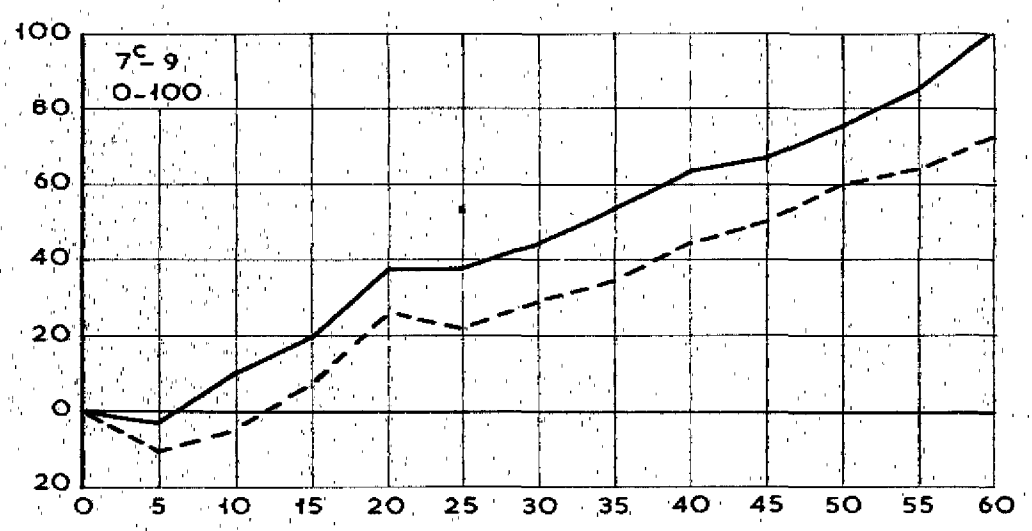
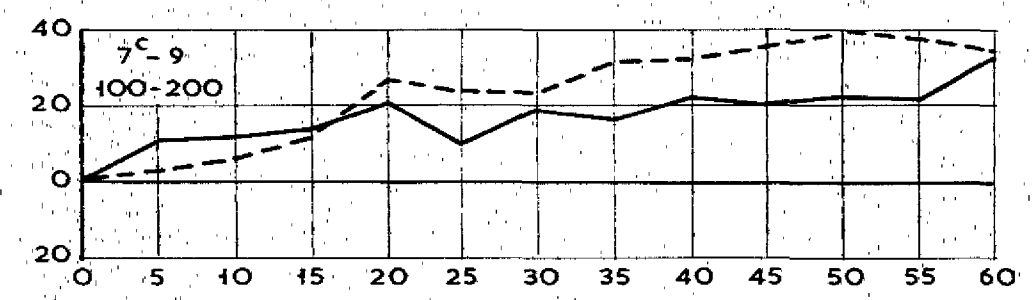
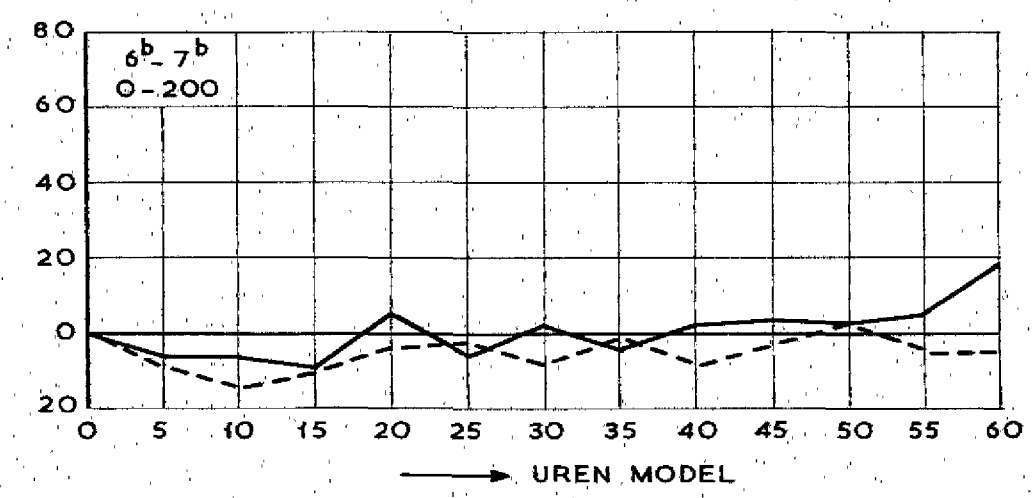
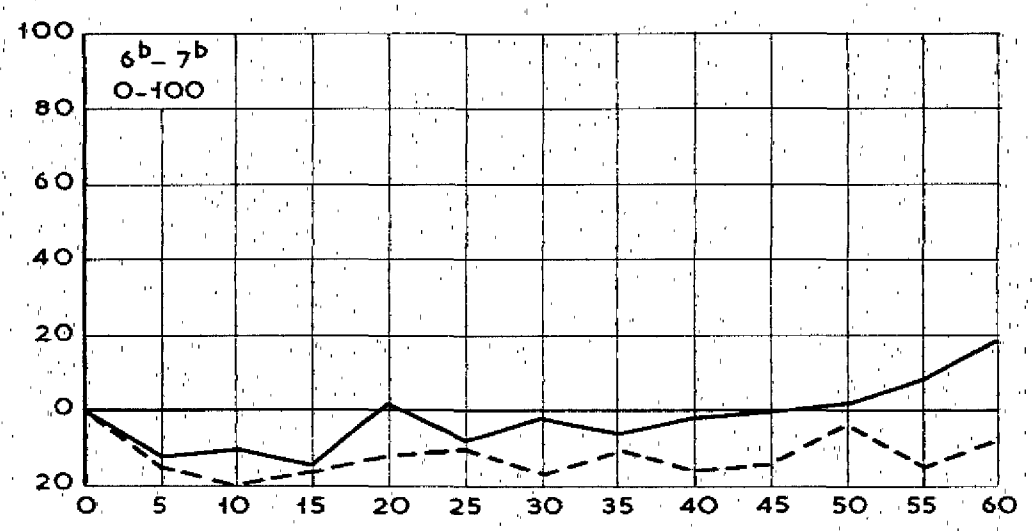
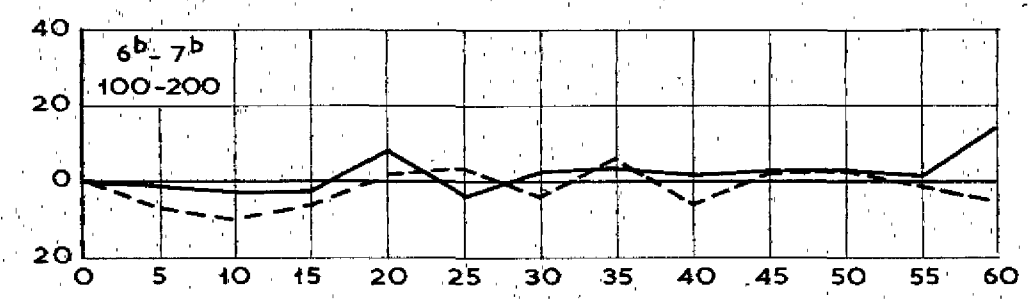
T6,T7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

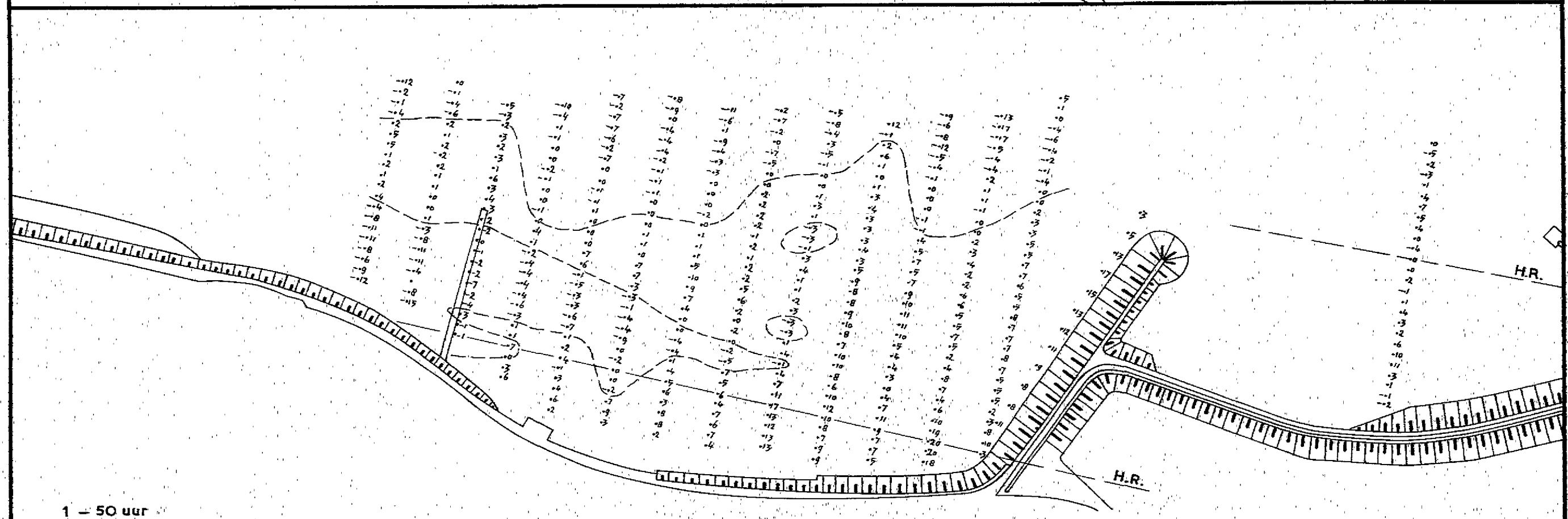
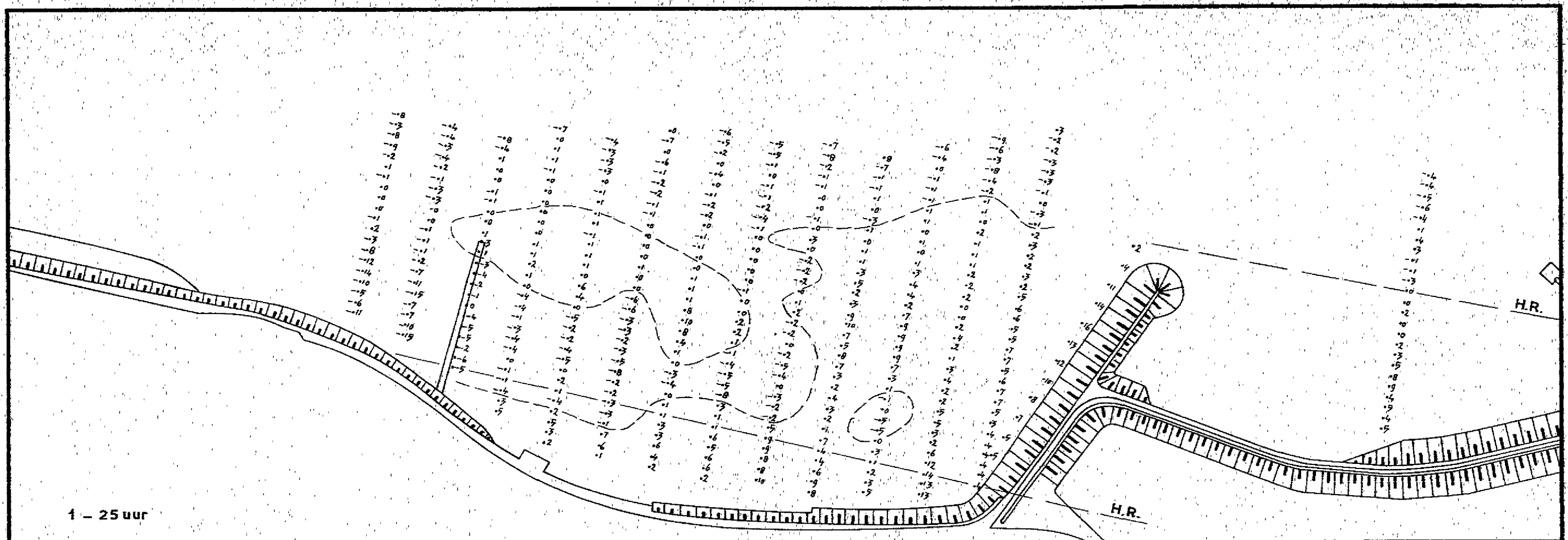
FIG. 49

↑ STUING
HOOGTEVERANDERING IN cm
↓ DALING



--- T3
— T6

HOOGTEVERANDERING BADSTRAND	T3,T6	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 50



VERSCHILKAARTEN

T 3

SCHAAL 1:4000

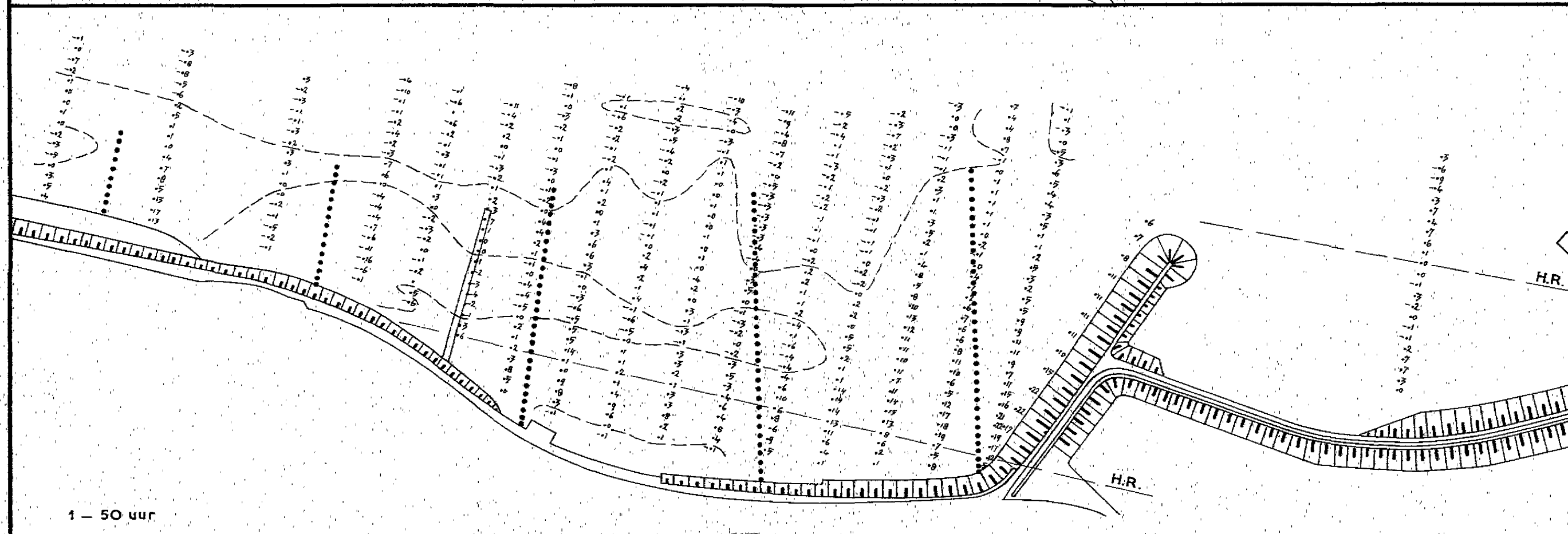
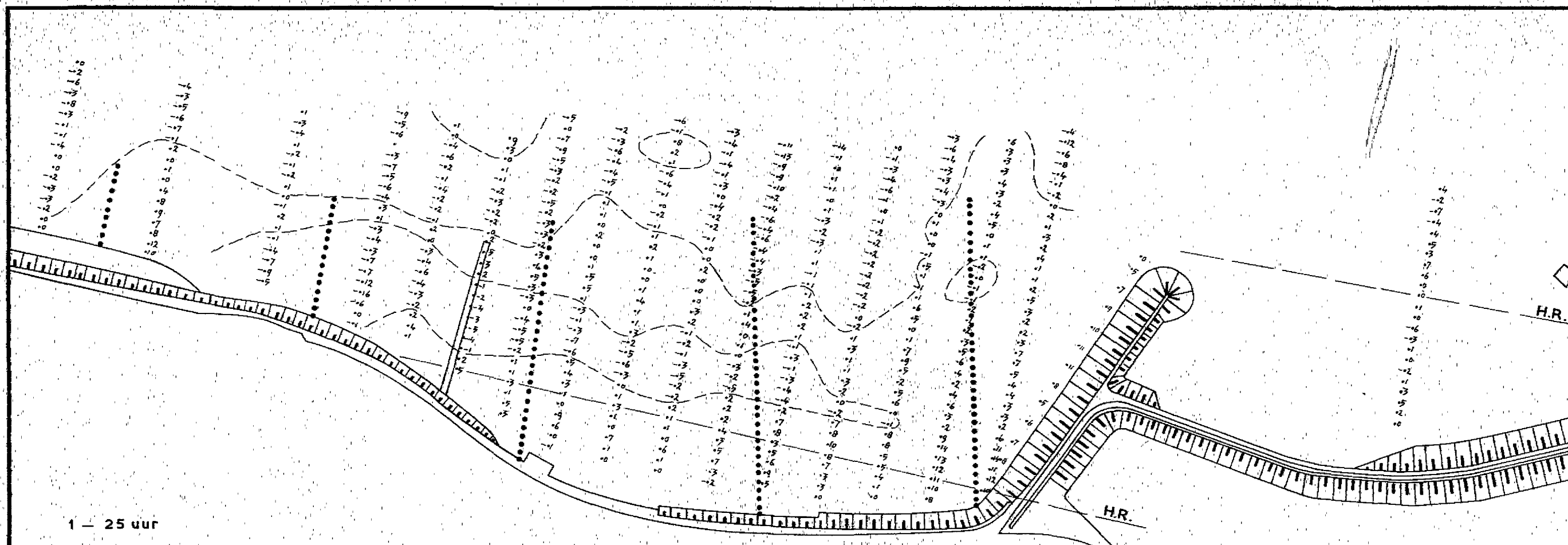
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 51

hoogteverschillen in dm

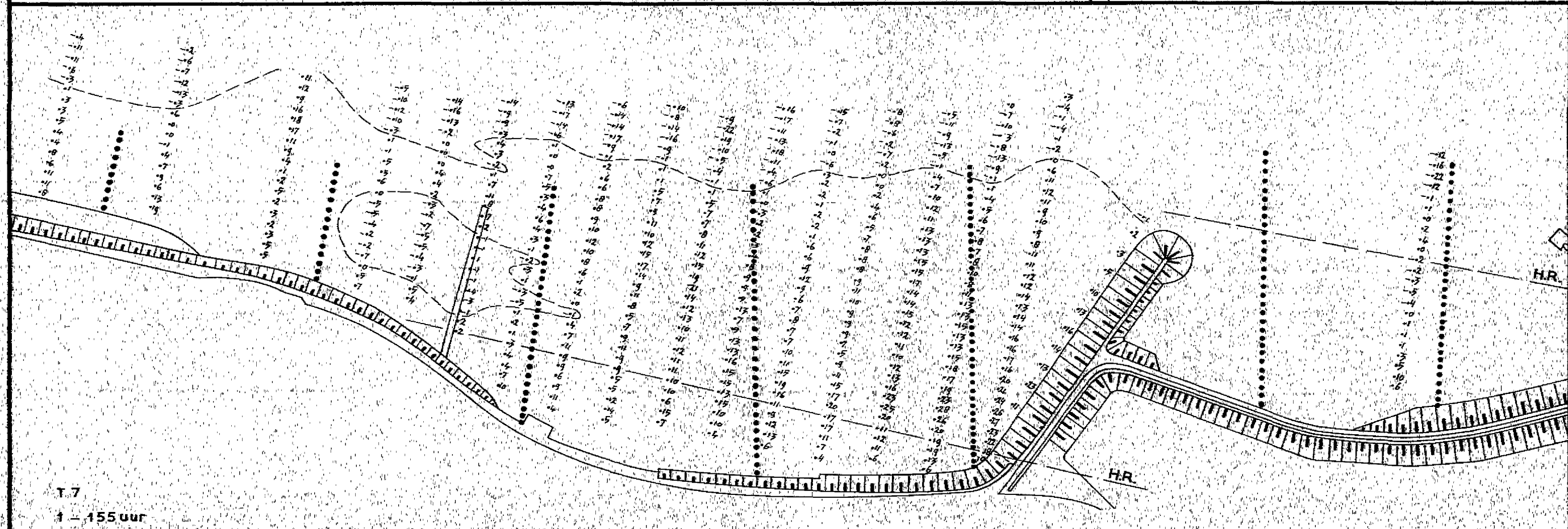
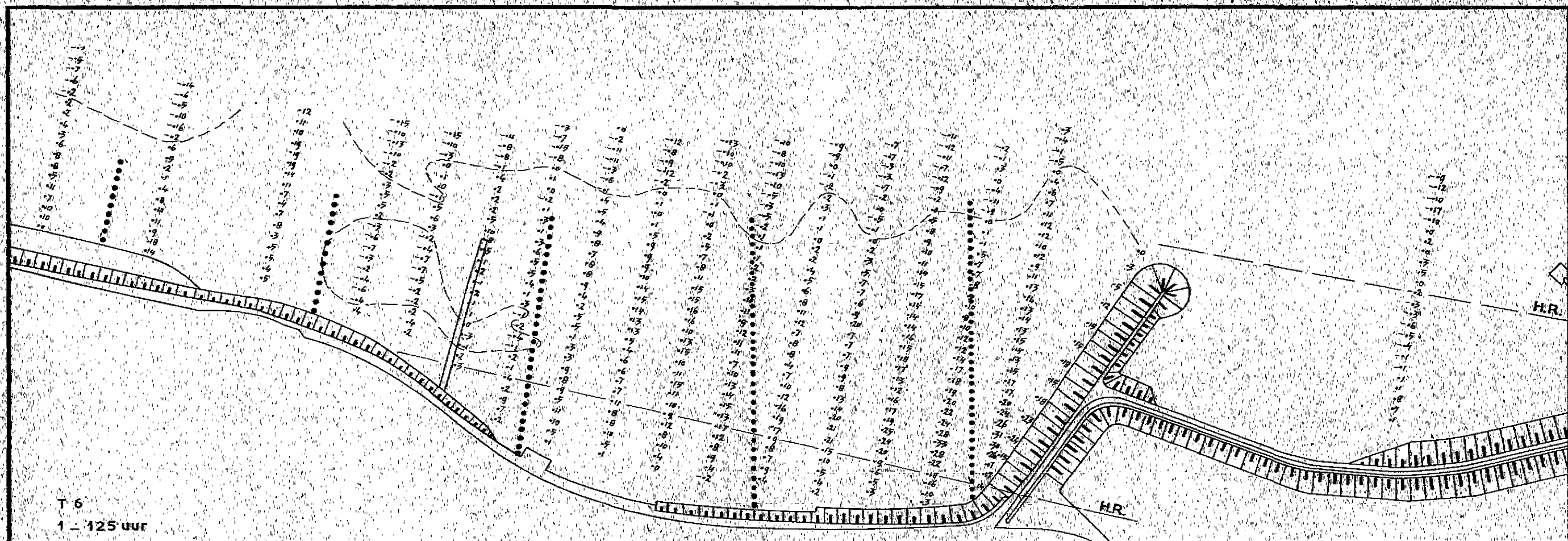
- = verdieping
+ = verhoging



VERSCHILKAARTEN	T 6	
	SCHAAL 1:4000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 963	FIG. 52

hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



VERSCHILKAARTEN

T.6, T.7

SCHAAL 1:4000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

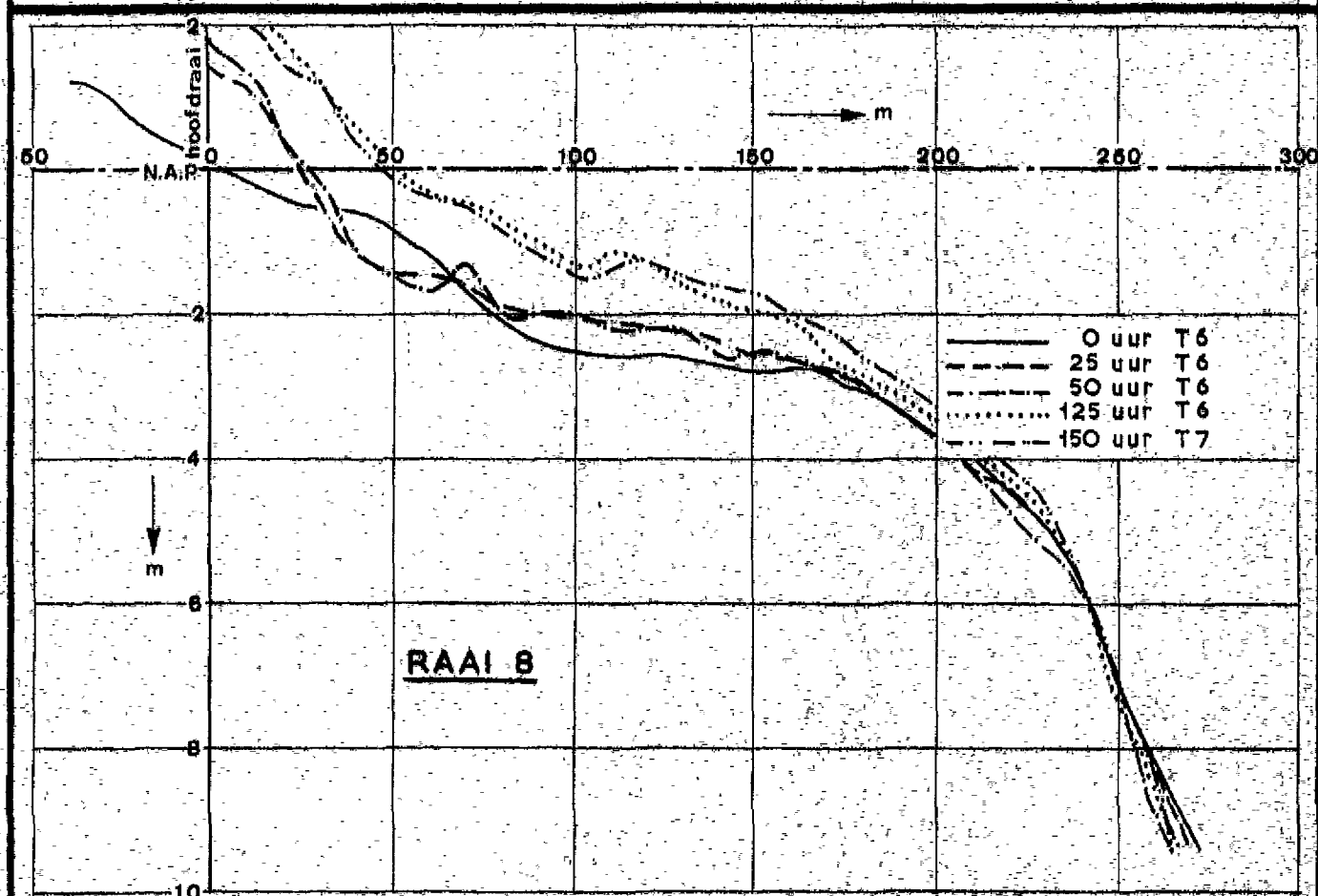
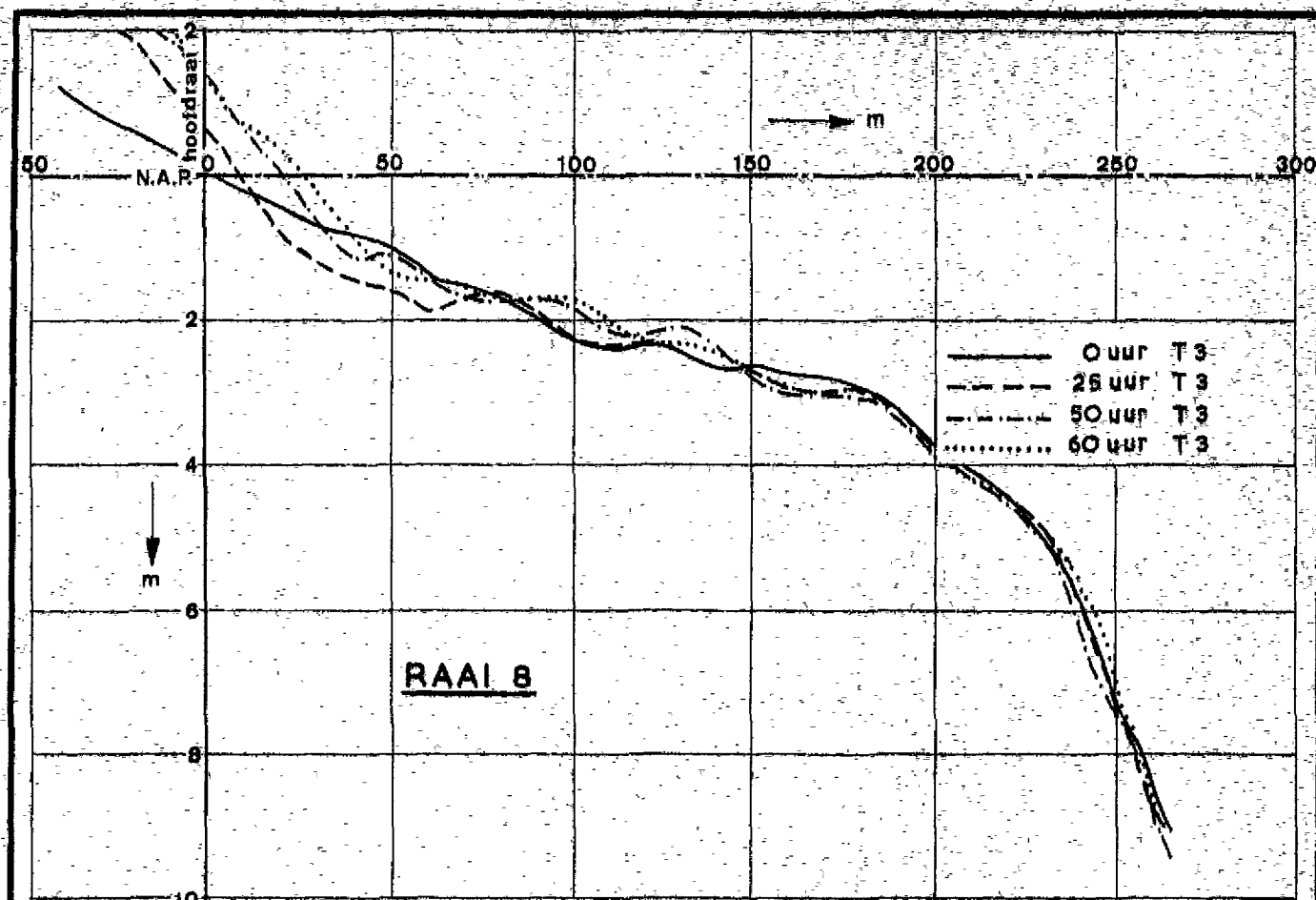
M. 963

FIG. 53

hoogteverschillen in dm

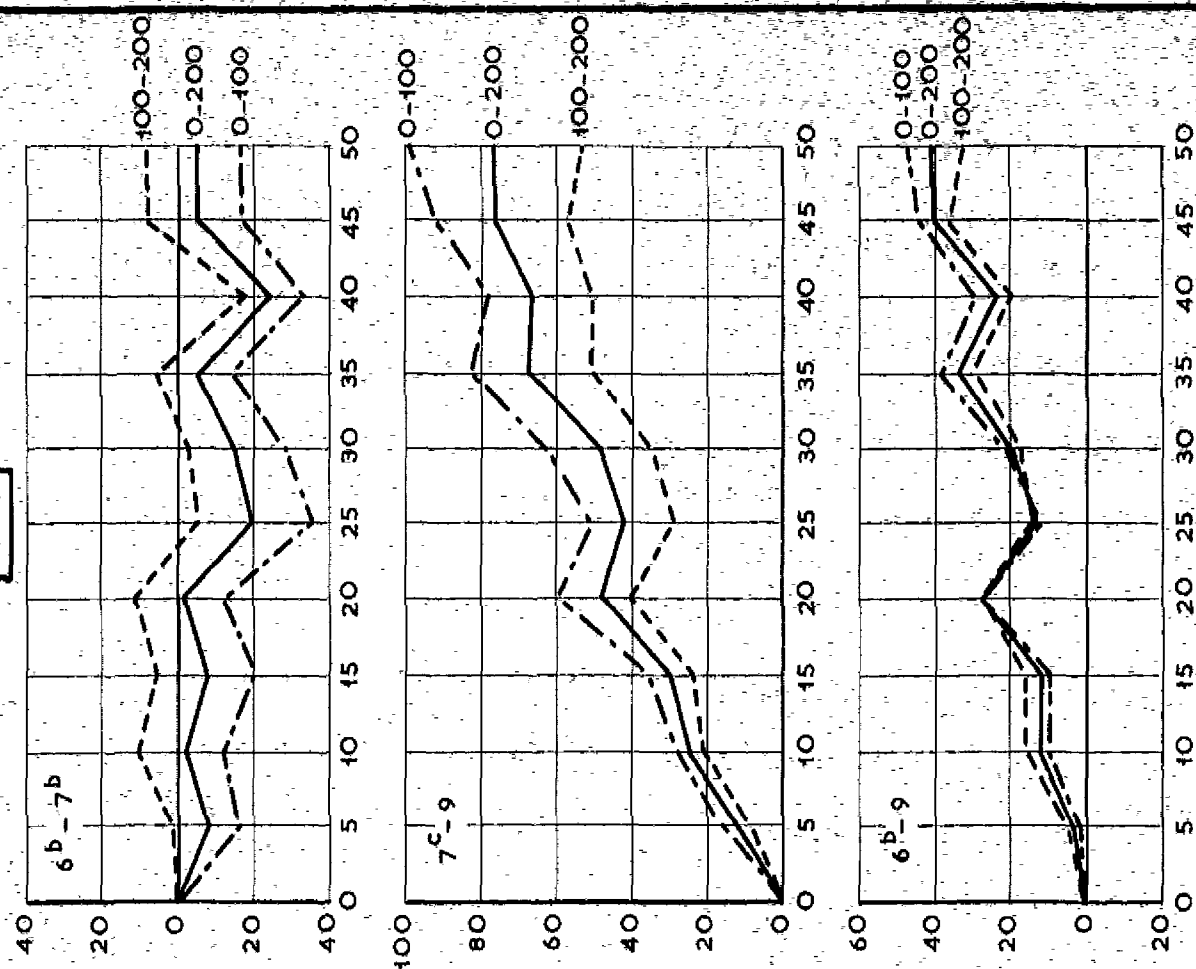
- = verdieping

+ = verhoging



STRANDPROFIELEN

T3, T6, T7



STUGING ← HOOGTEVERANDERING IN cm → DALING

→ UREN MODEL

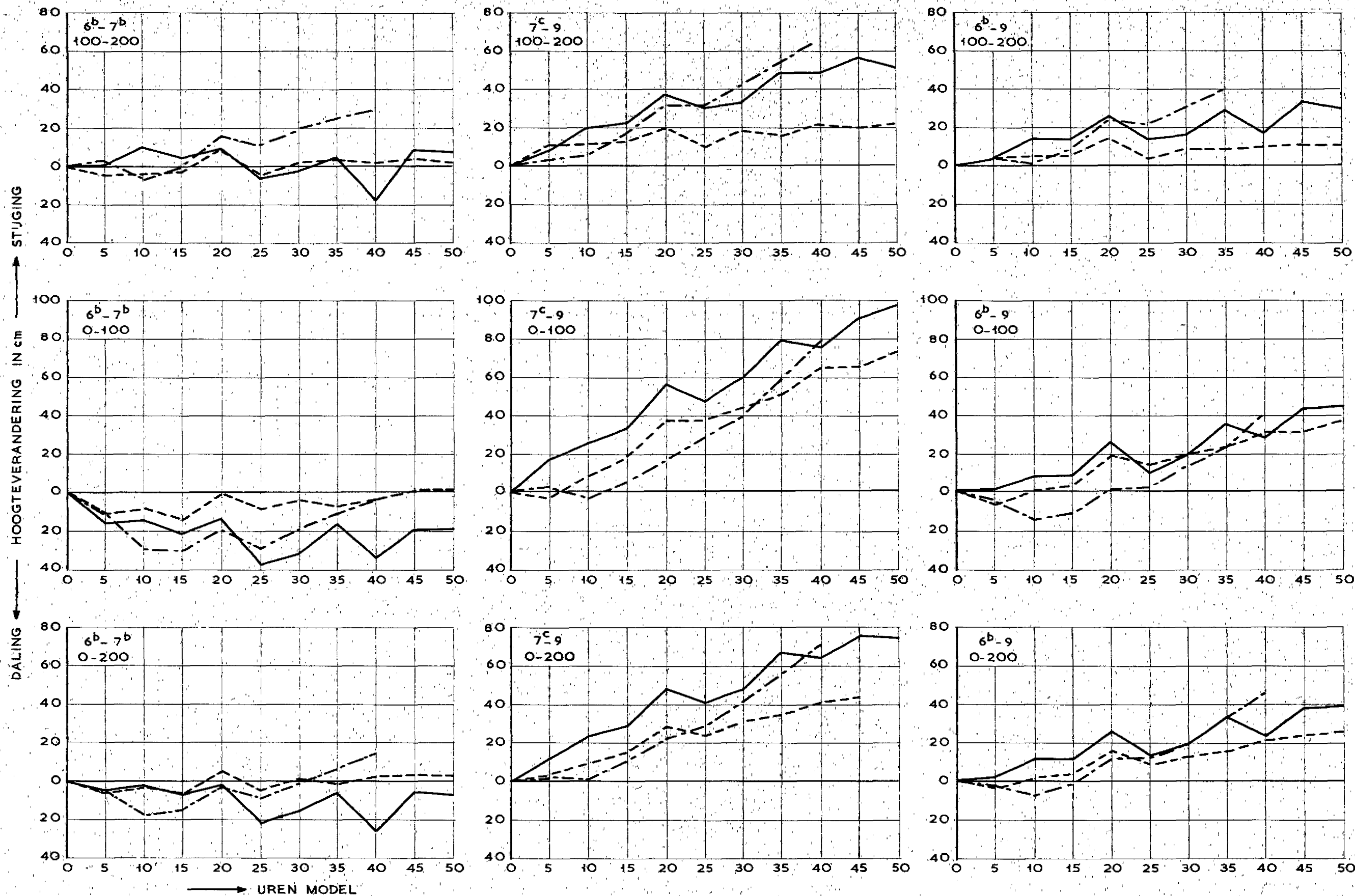
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

T10, T11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 55



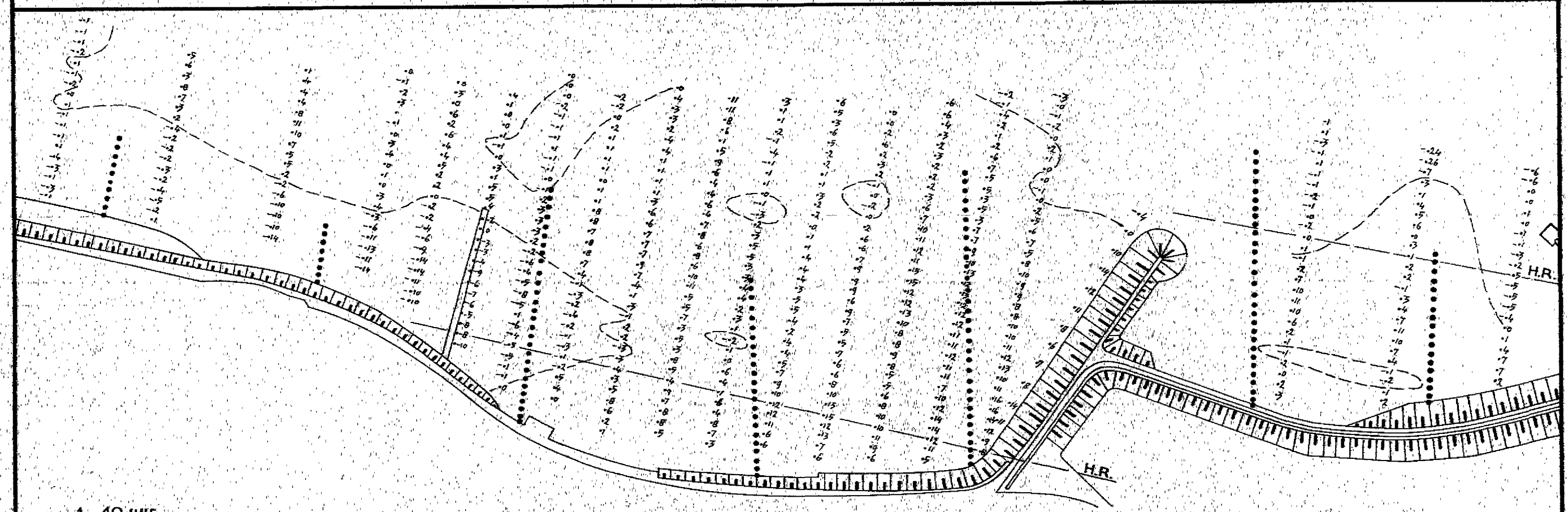
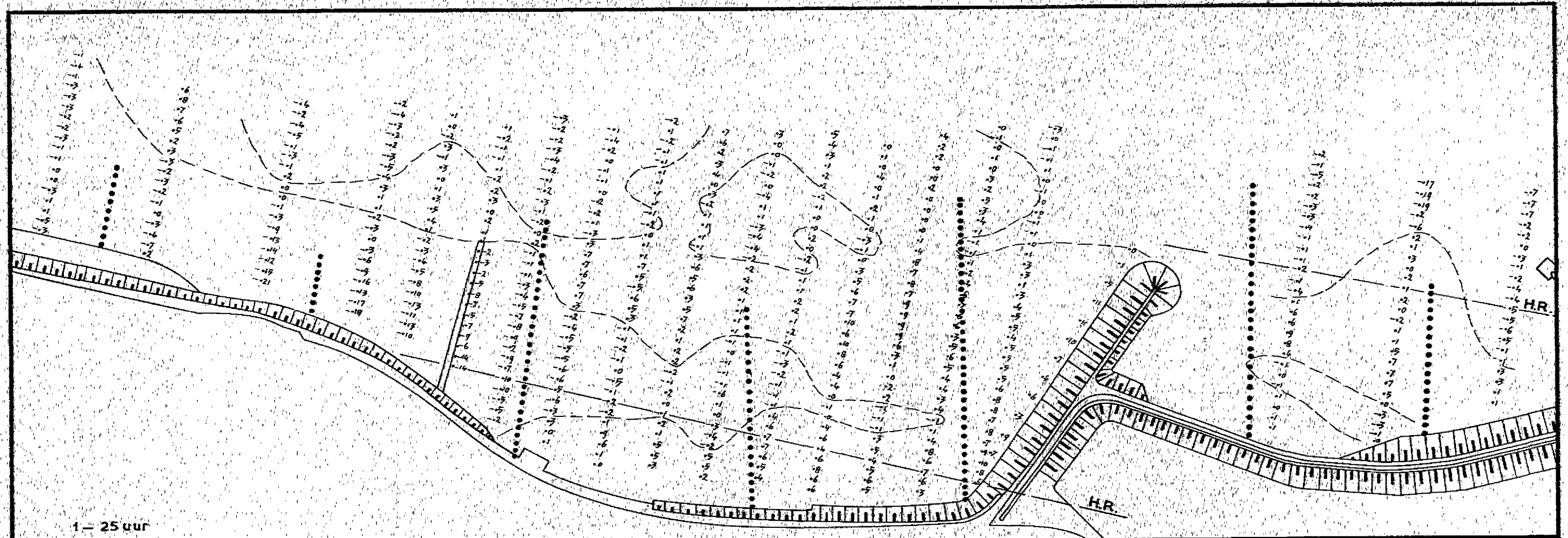
HOOGTEVERANDERING BADSTRAND

T6, T10, T11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 56



VERSCHILKAARTEN

T 10

SCHAAL 1:4000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

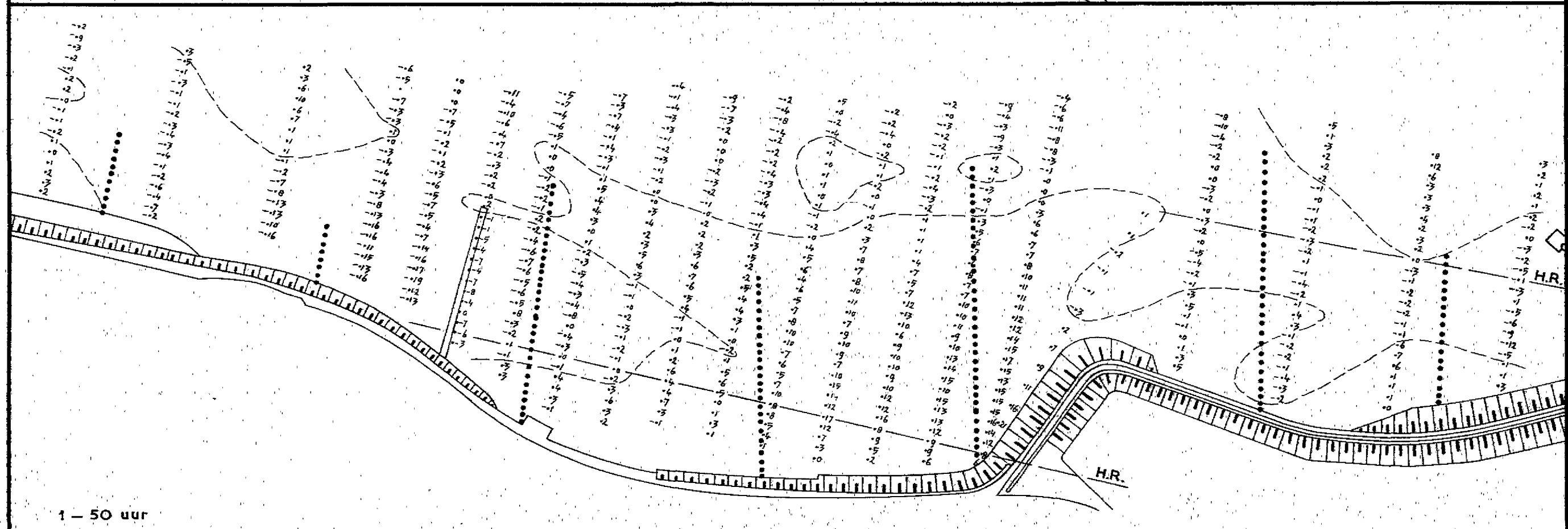
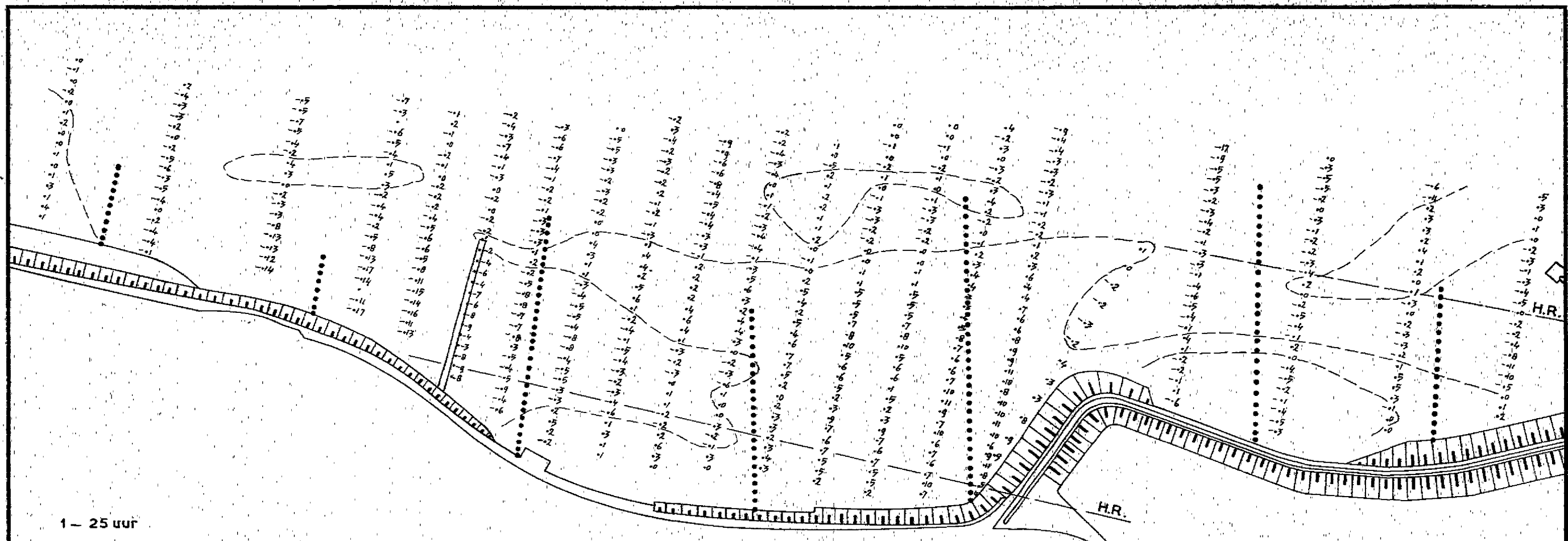
M. 963

FIG. 57

hoogteverschillen in dm

- = verdieping

+ = verhoging



VERSCHILKAARTEN

T 11

SCHAAL 1:4000

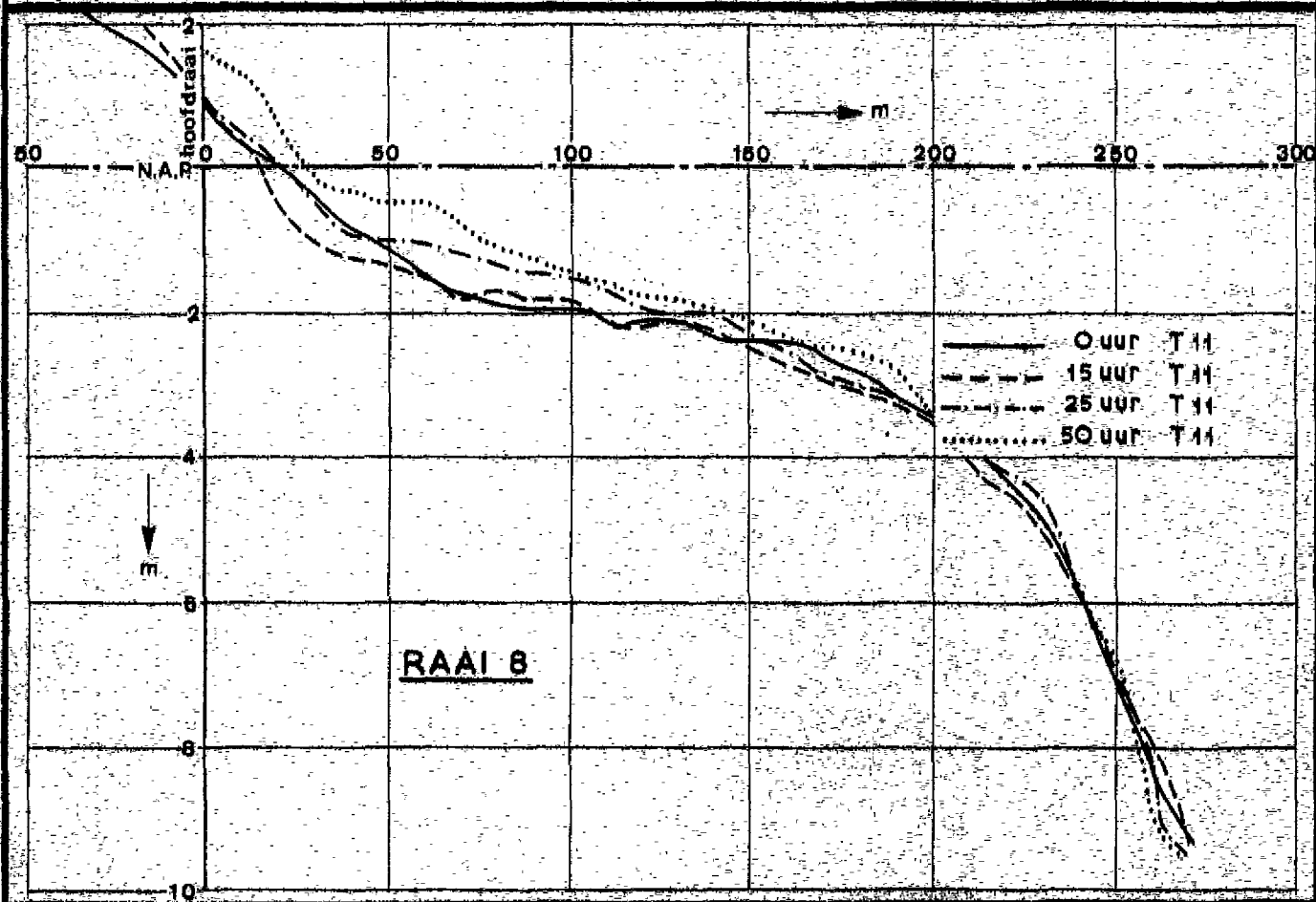
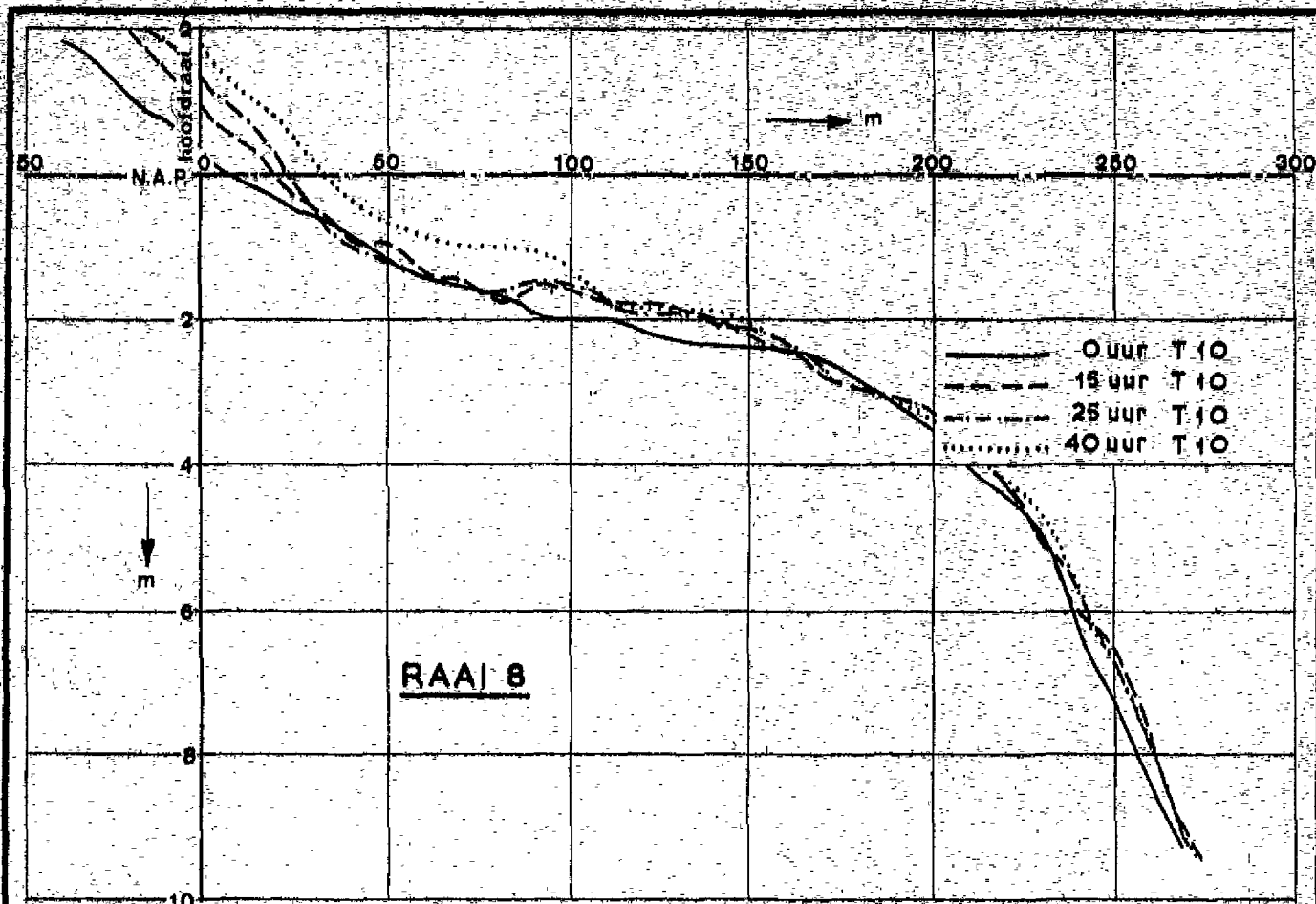
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 58

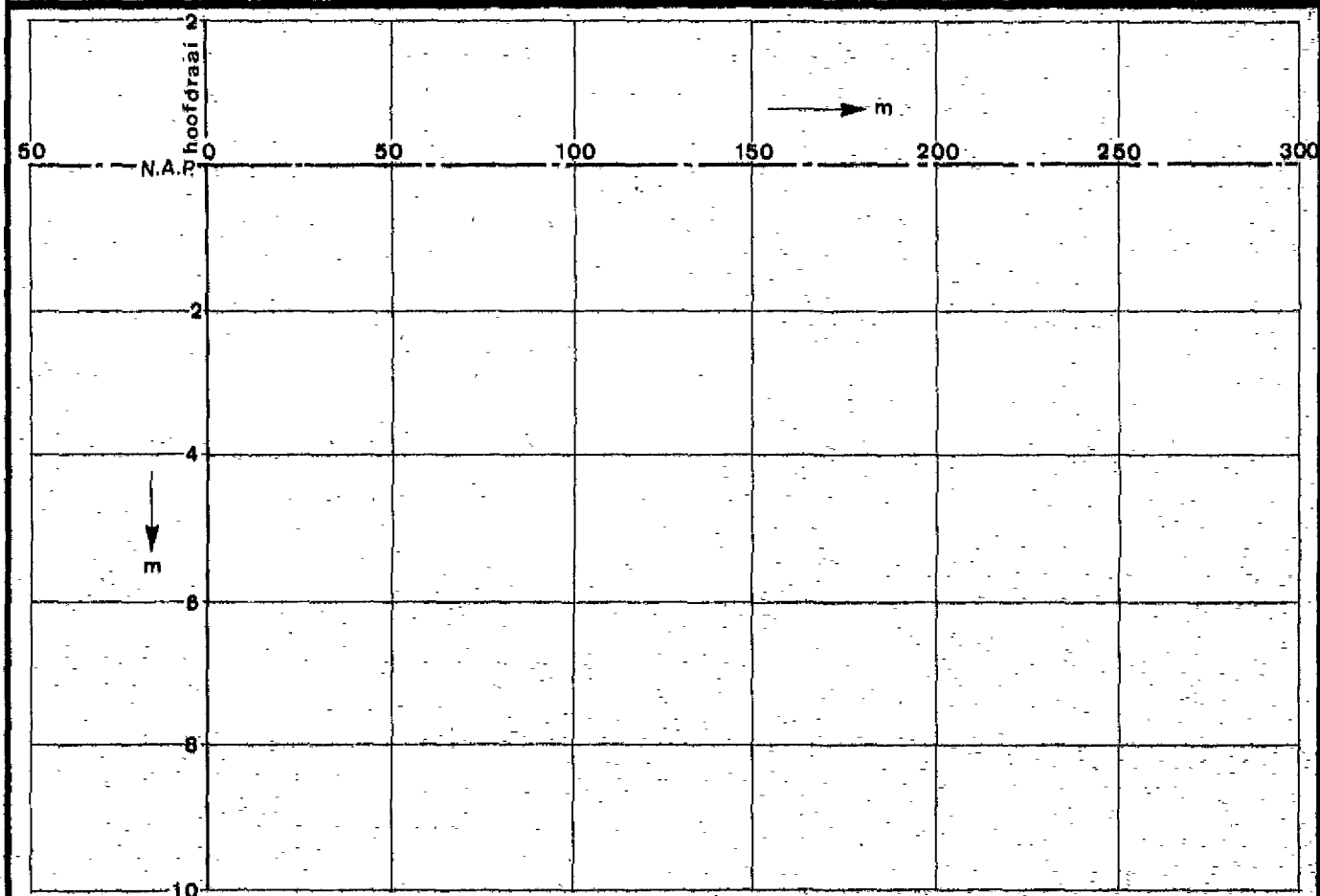
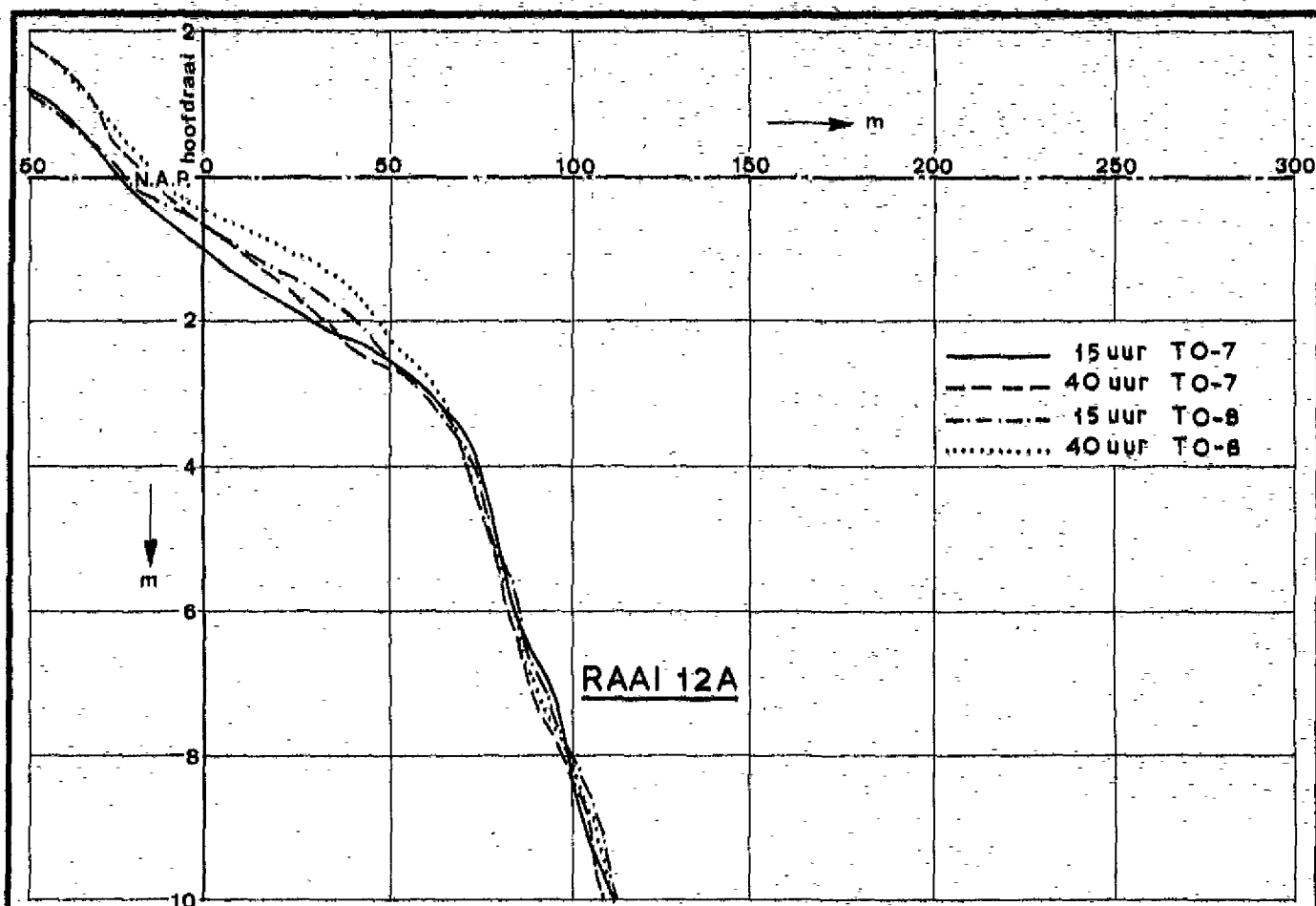
hoogteverschillen in dm

- = verdieping
+ = verhoging



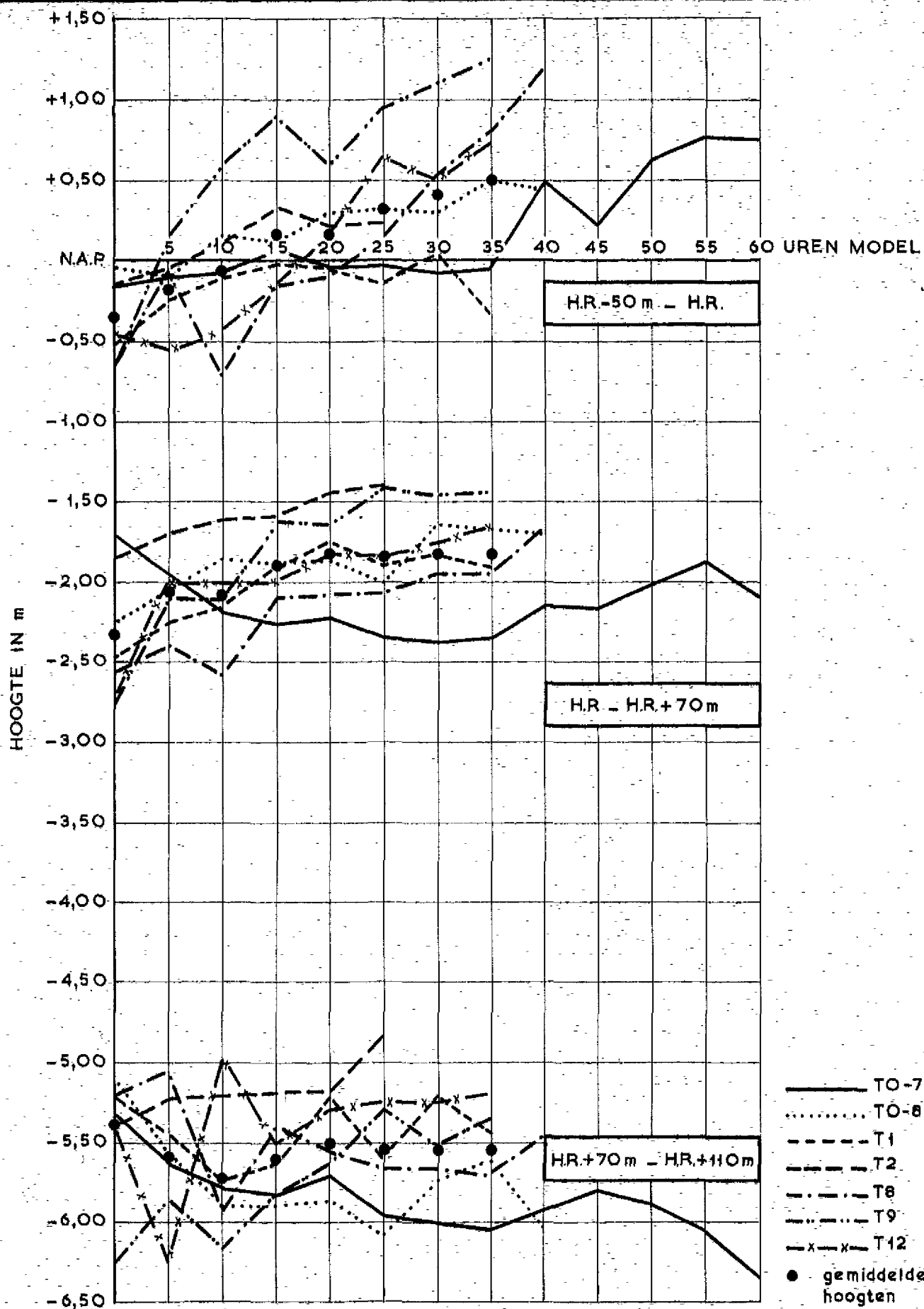
STRANDPROFIELEN

T10, T11



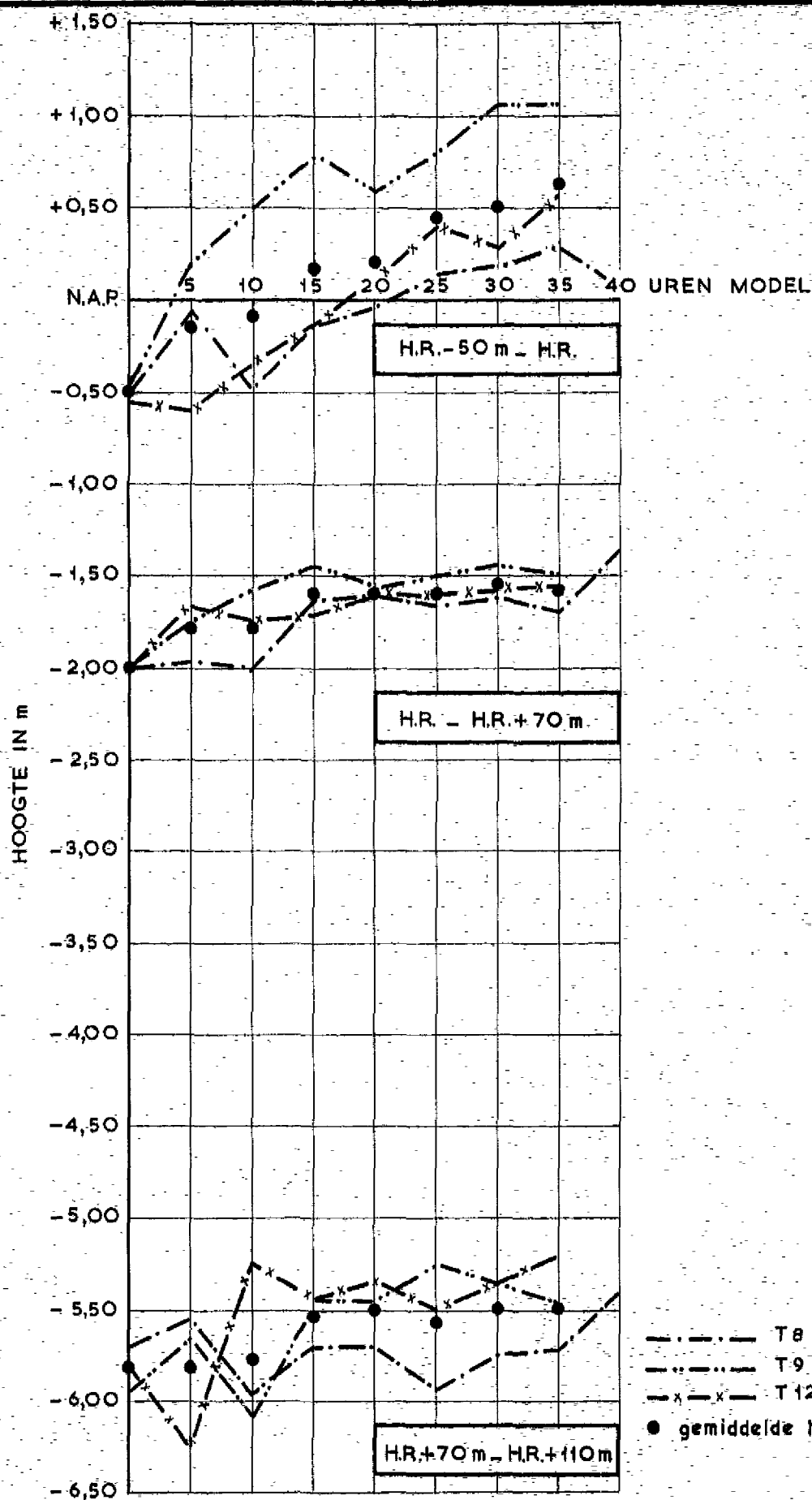
STRANDPROFIELEN

TO-7, TO-8



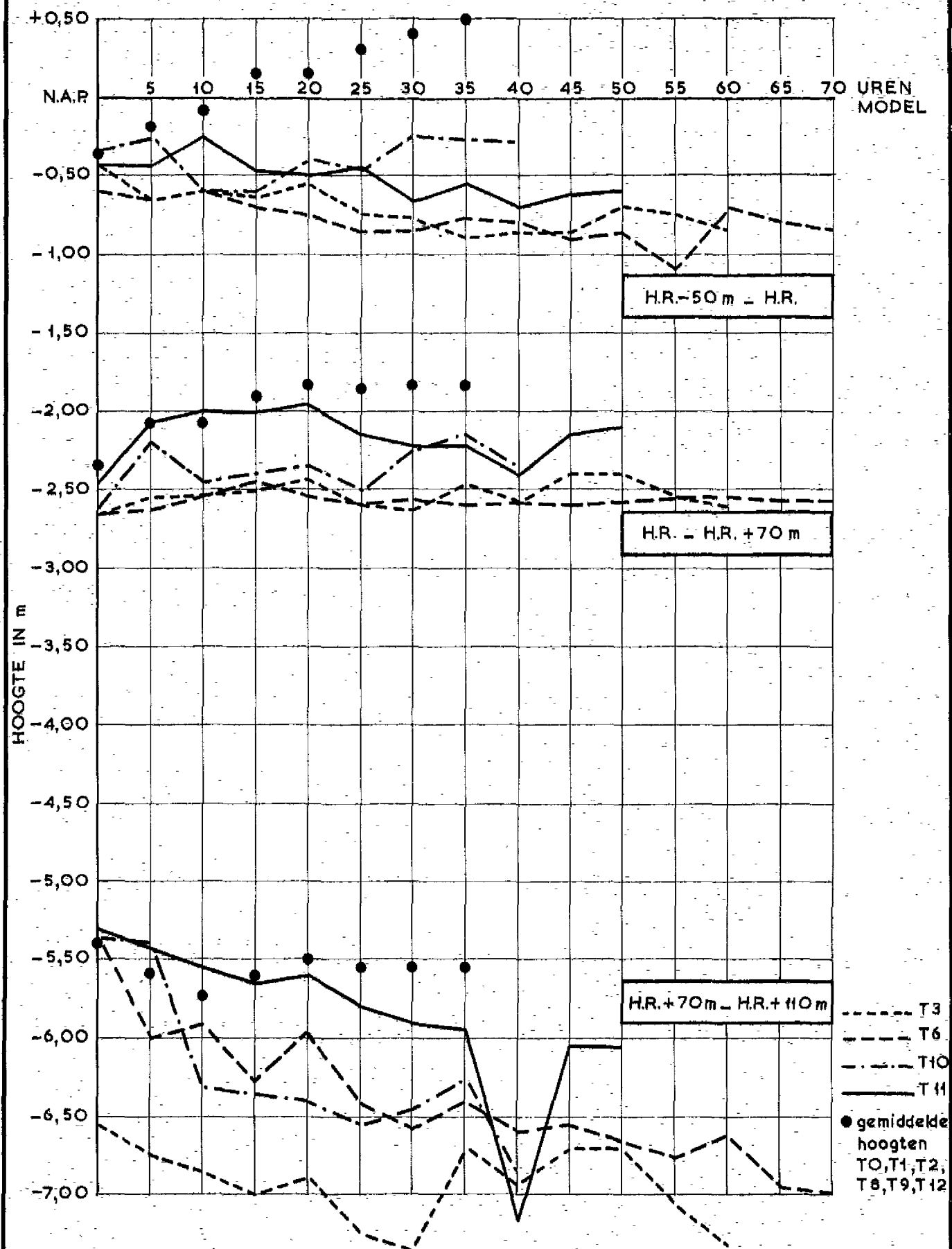
HOOGTEVERANDERING NOLLESTRAND
RAAI 12 a

TO, T1, T2, T8, T9, T12



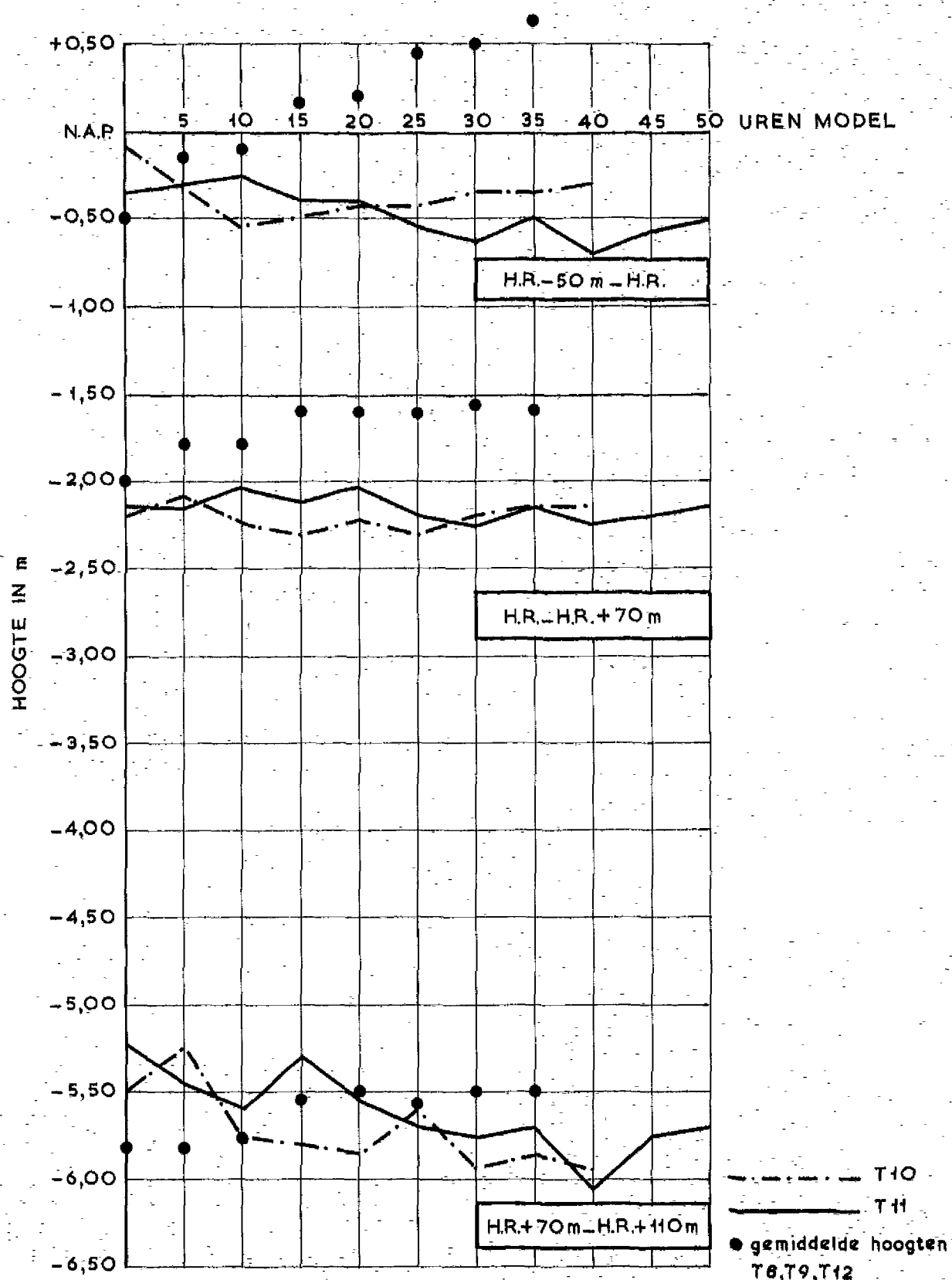
HOOGTEVERANDERING NOLLESTRAND
RAAIEN 11a, 12a, 13a

T8, T9, T12



HOOGTEVERANDERING NOLLESTRAND
RAAI 12 a

T3, T6, T10, T11



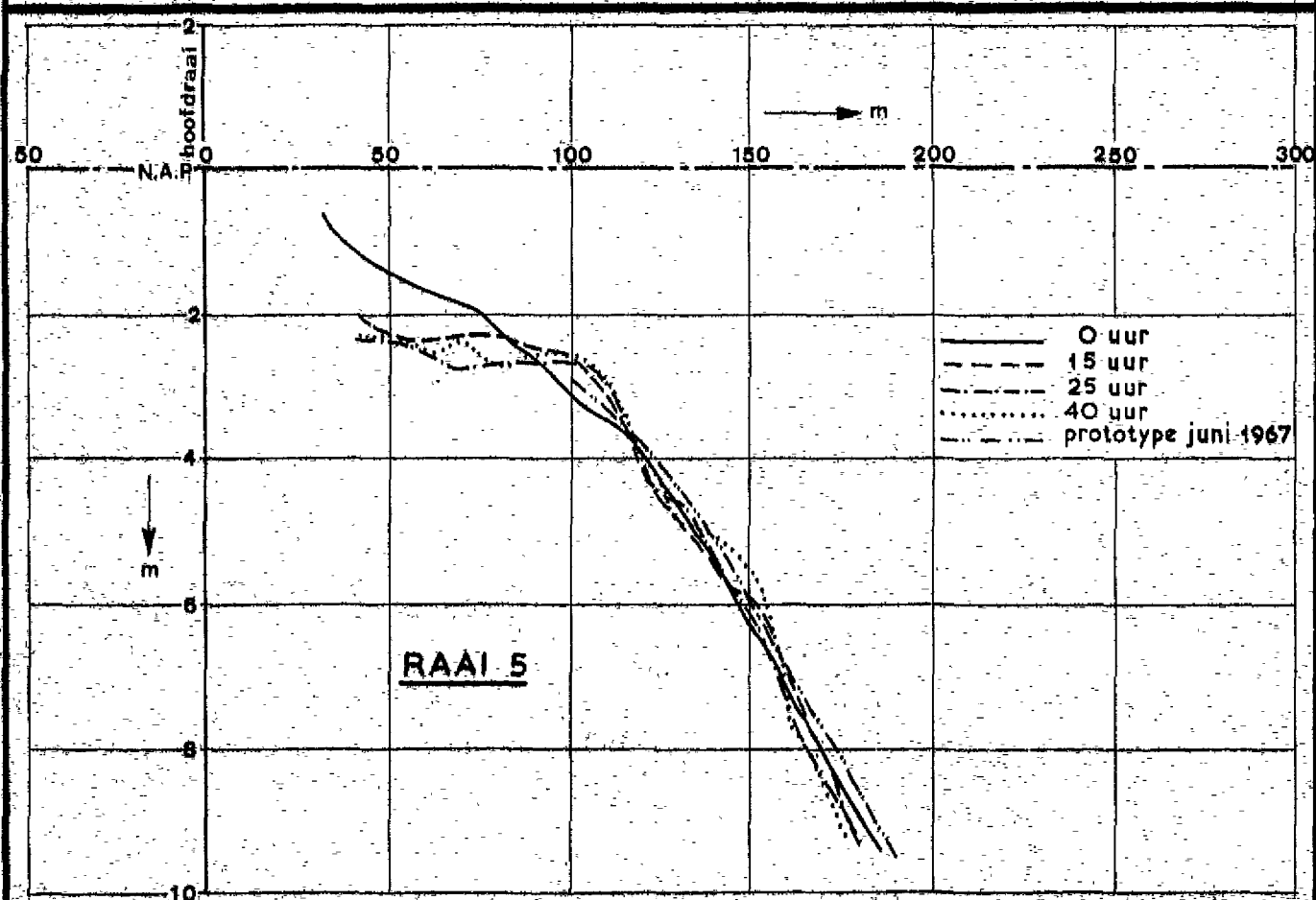
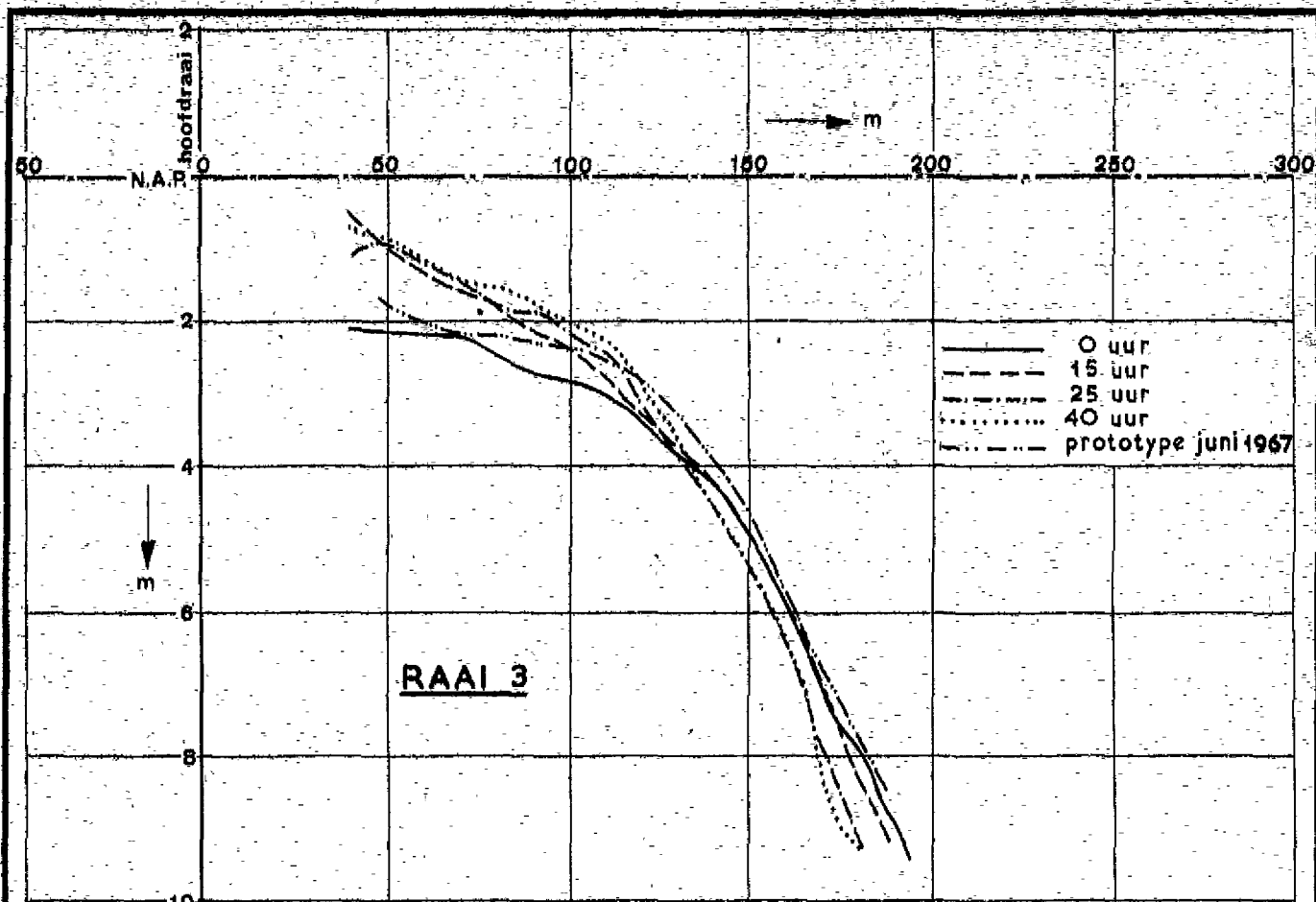
HOOGTEVERANDERING NOLLESTRAND
RAAIEN 11a, 12a, 13a

T10, T11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 65



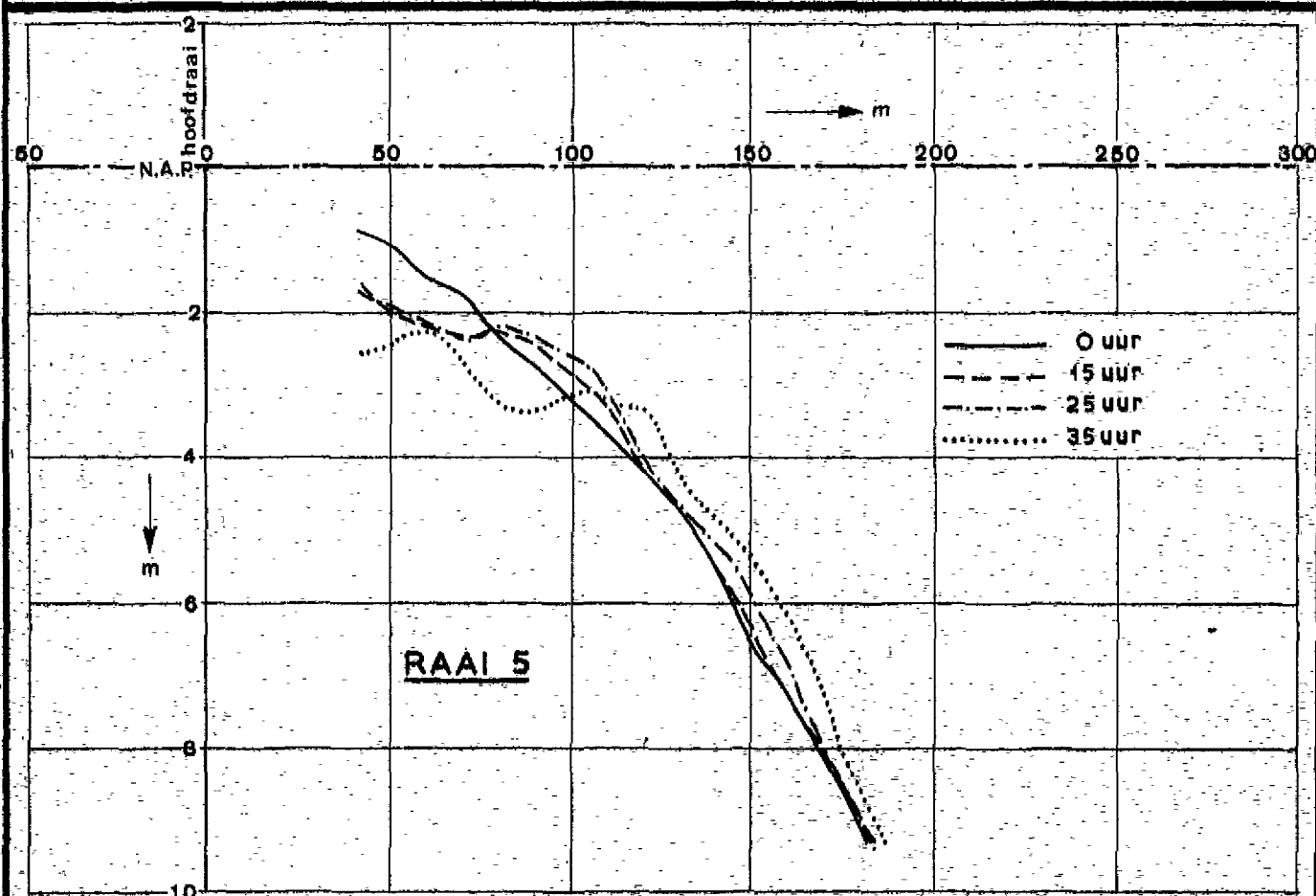
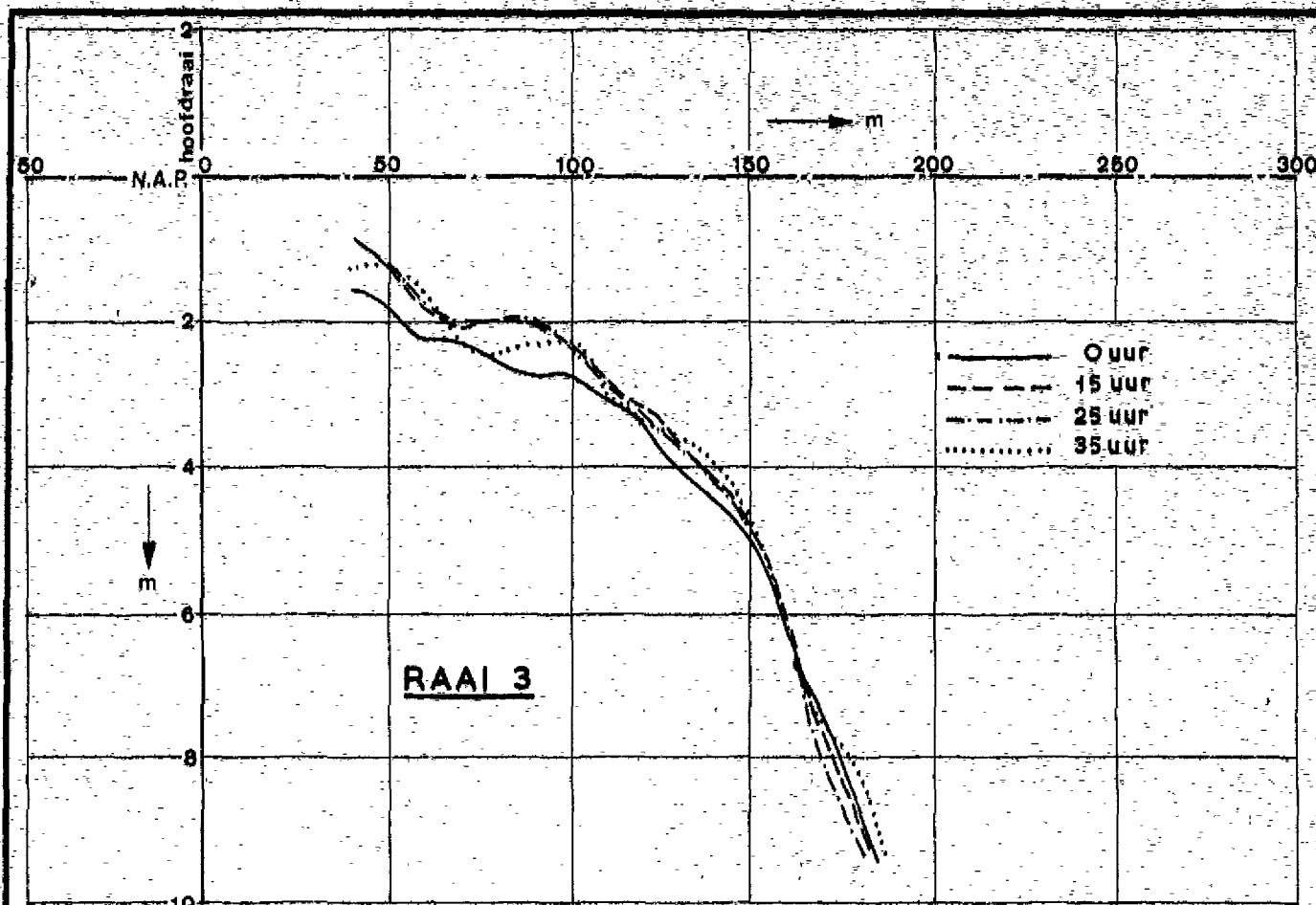
STRANDPROFIELEN

TO-8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

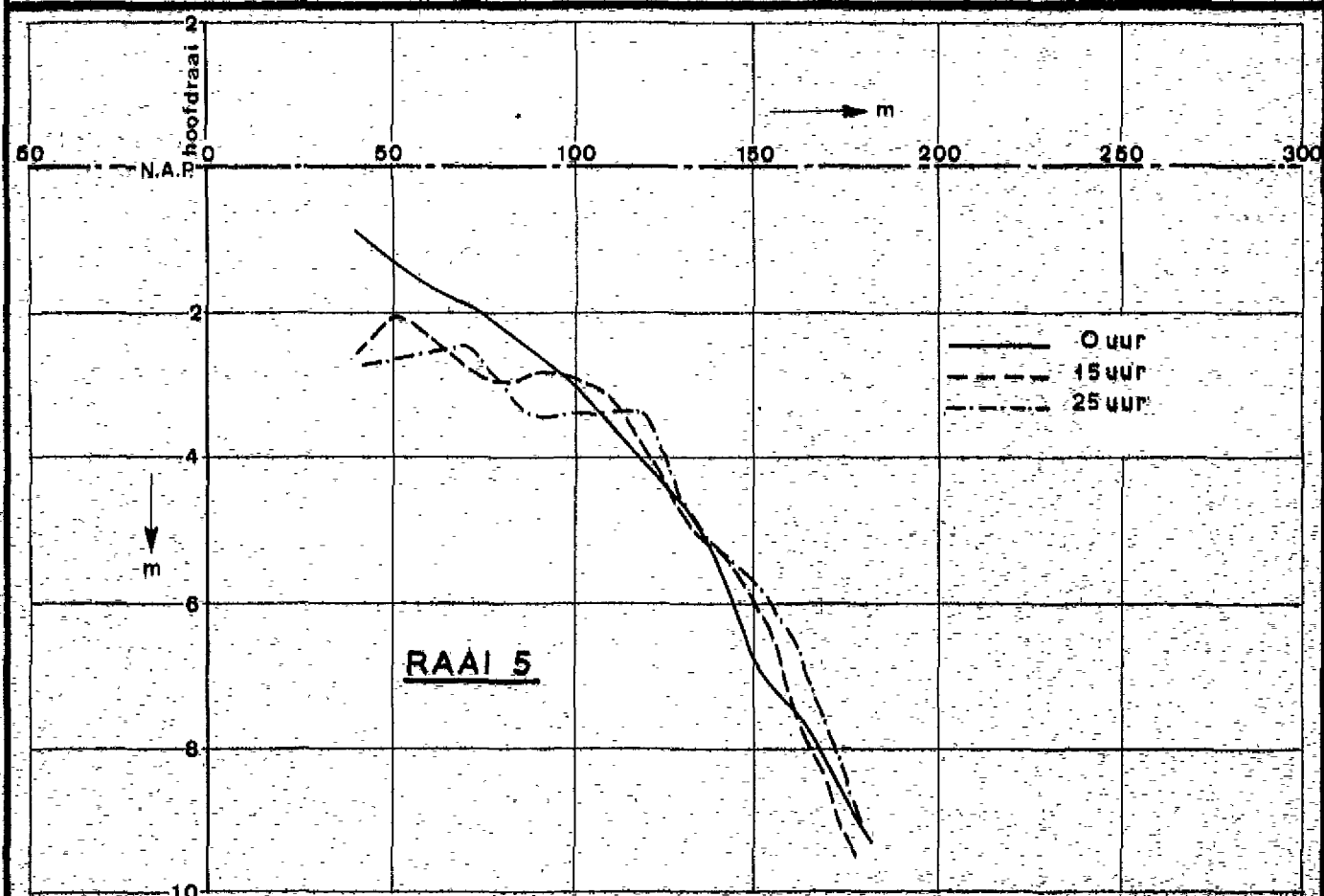
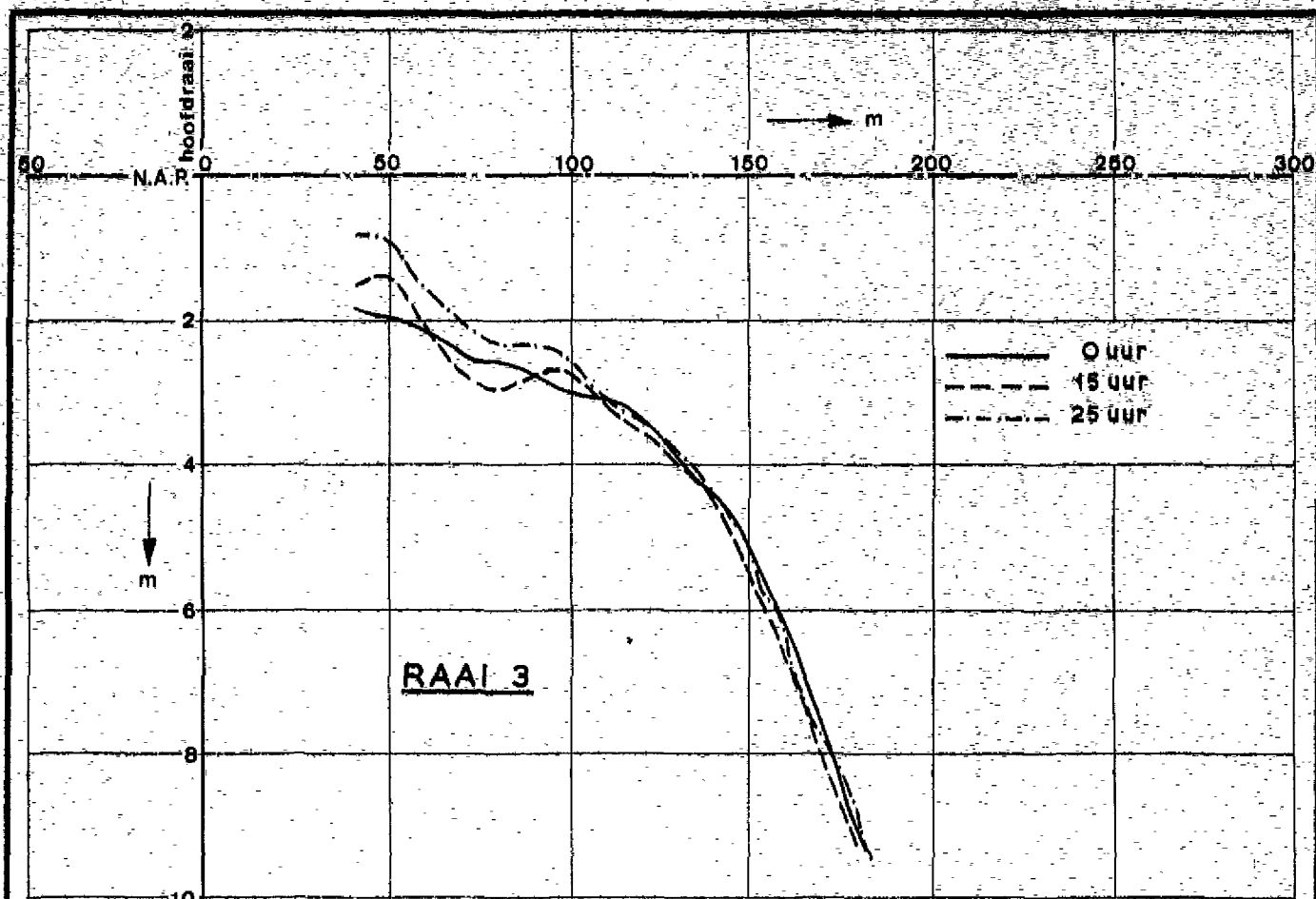
M. 963

FIG. 66



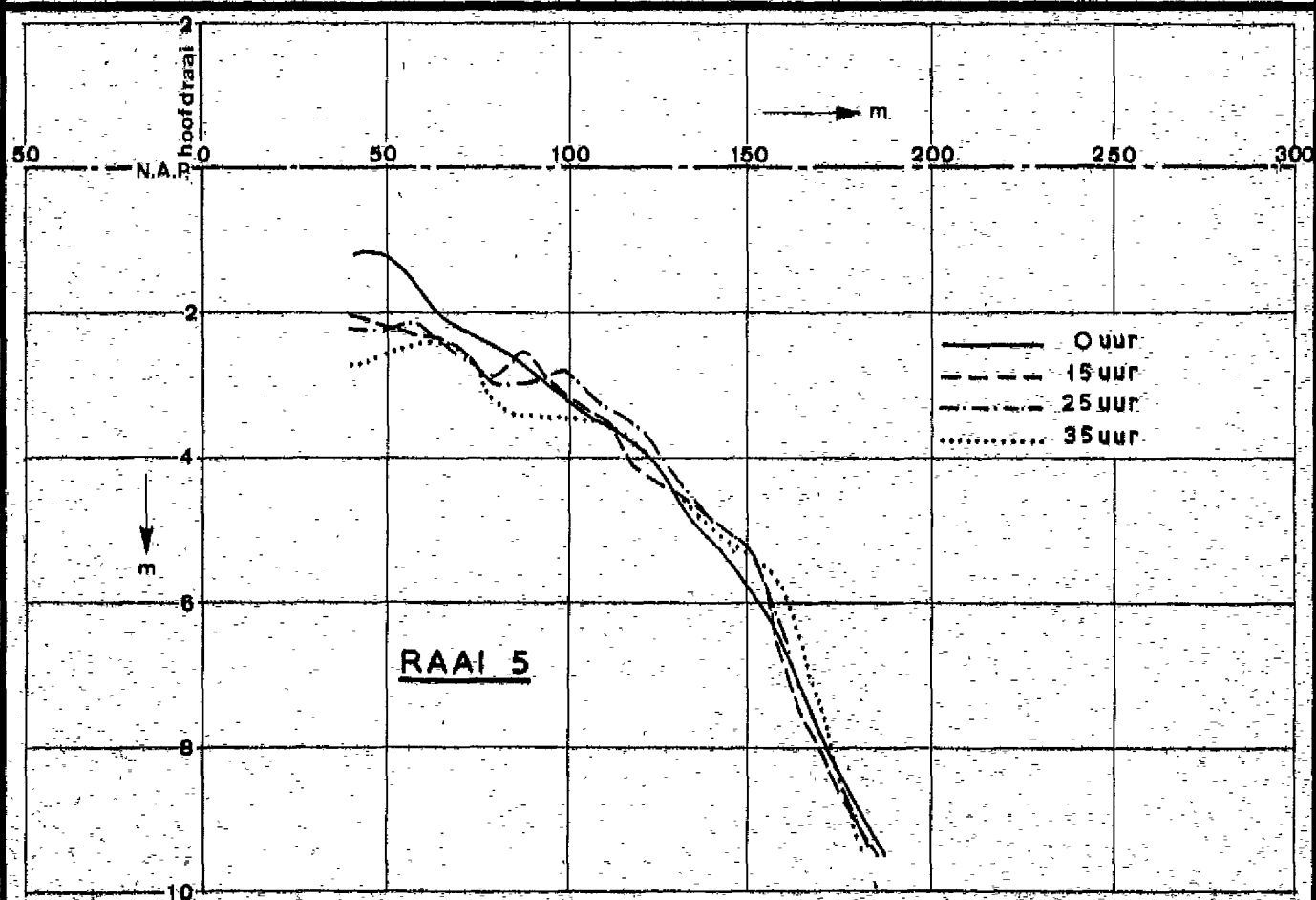
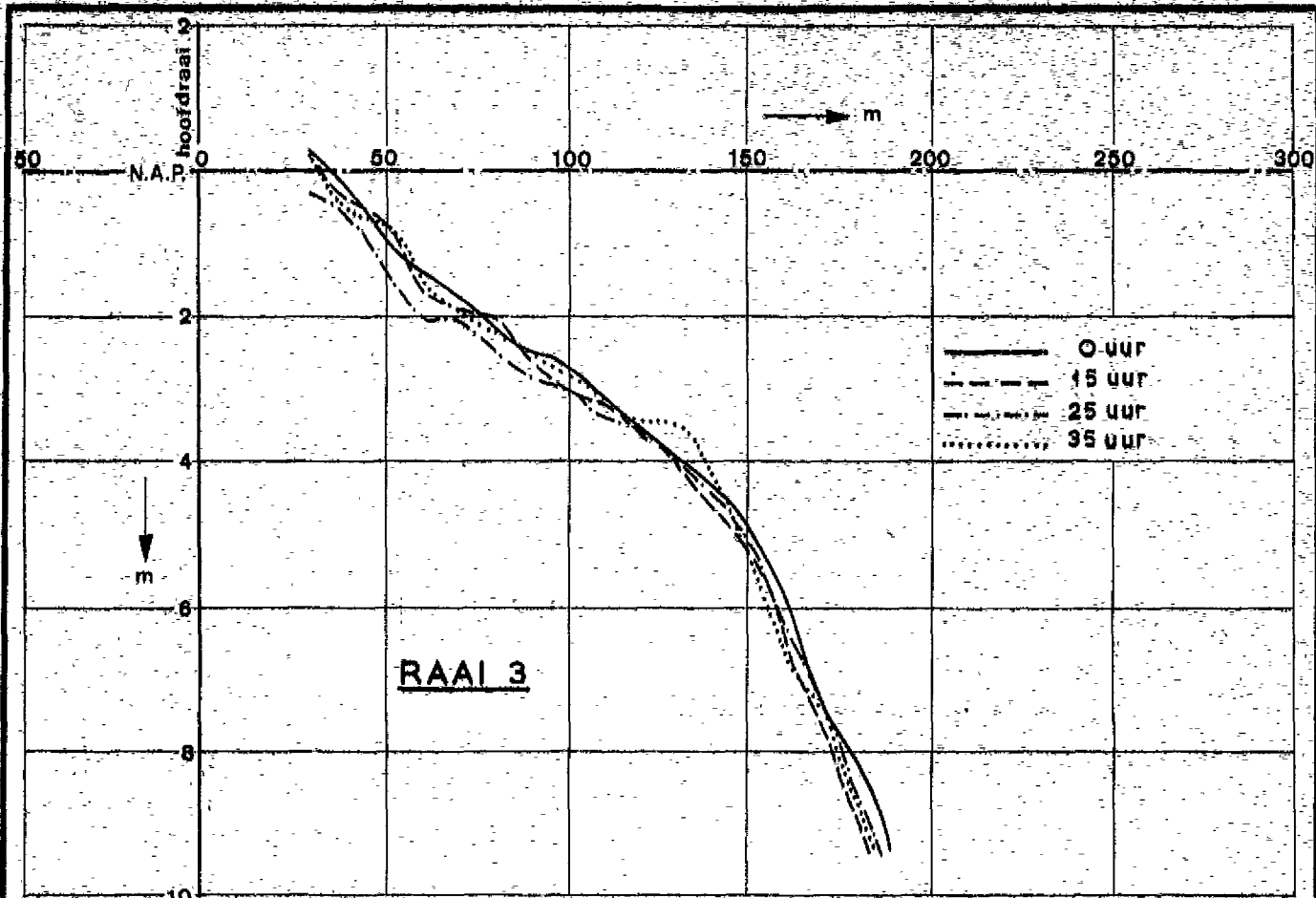
STRANDPROFIELEN

T 1



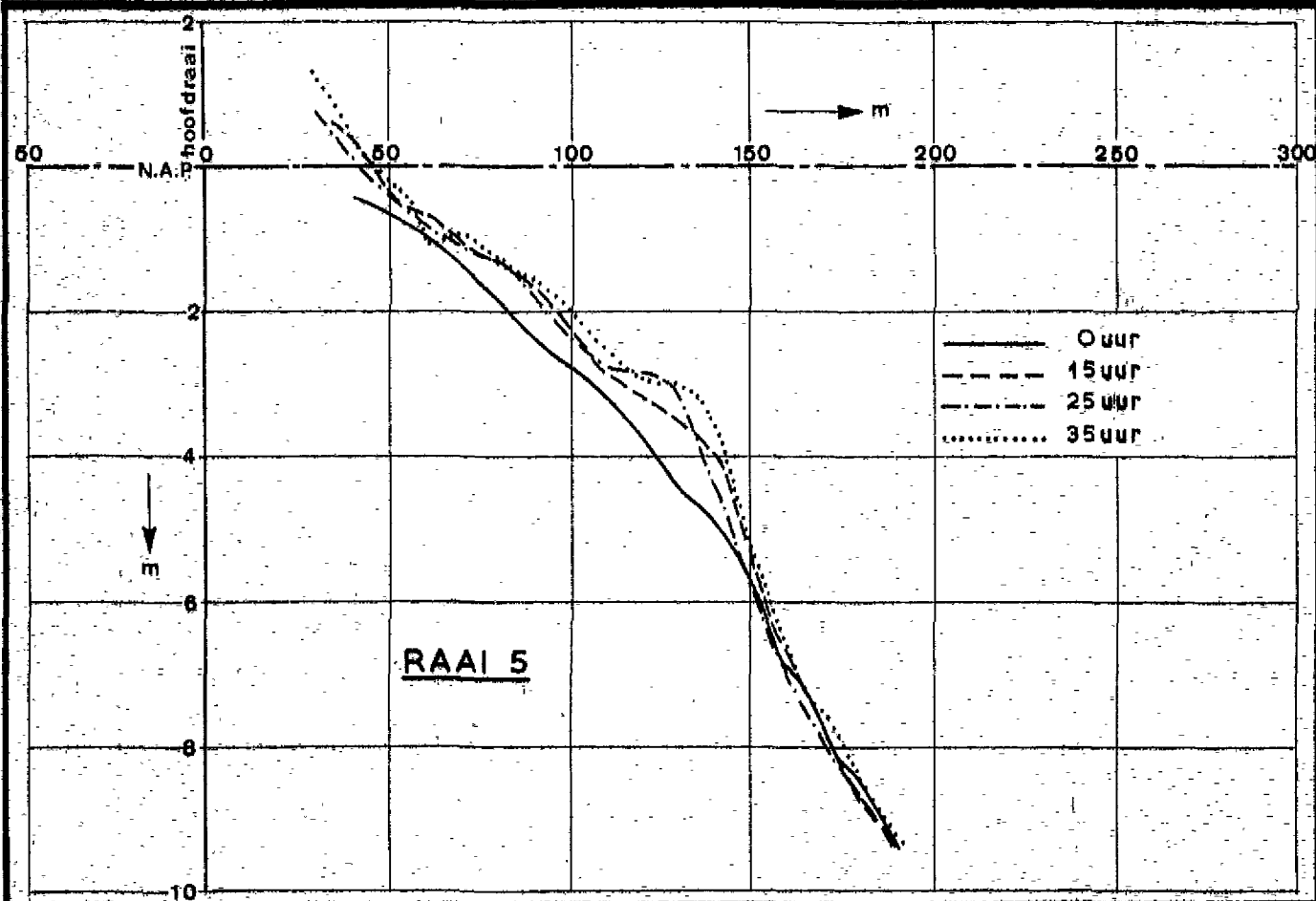
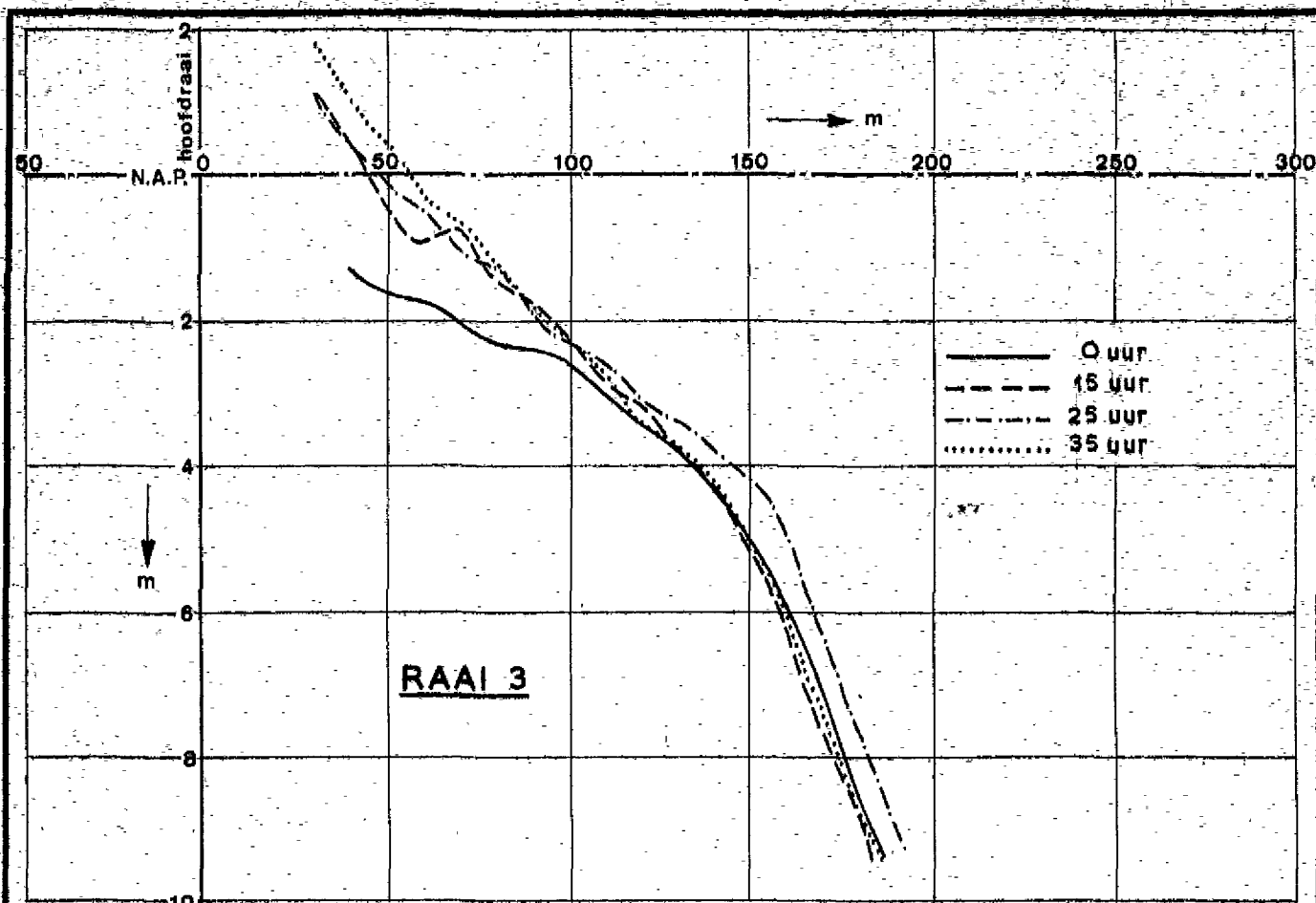
STRANDPROFIELEN

T 2



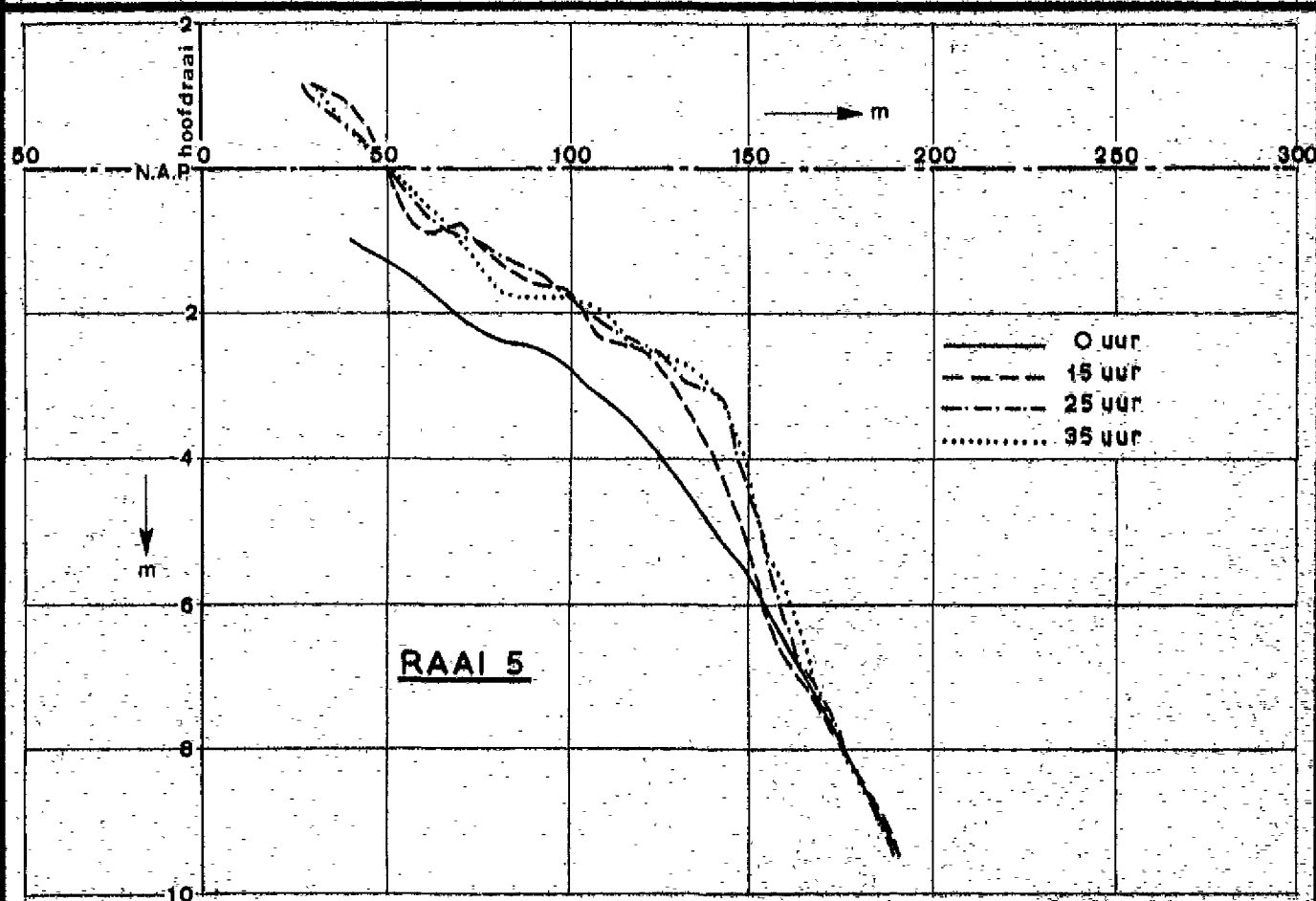
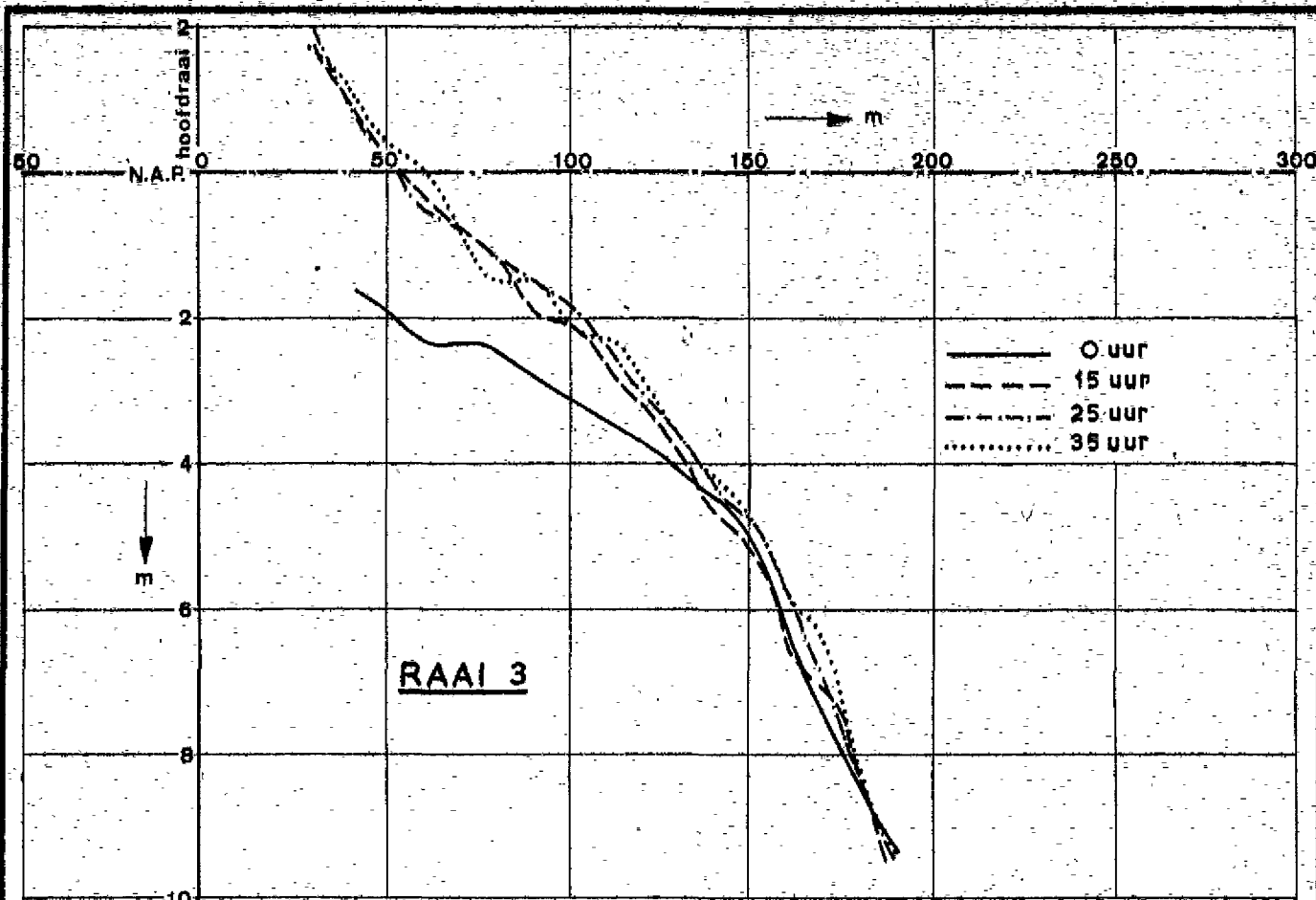
STRANDPROFIELEN

T. 12



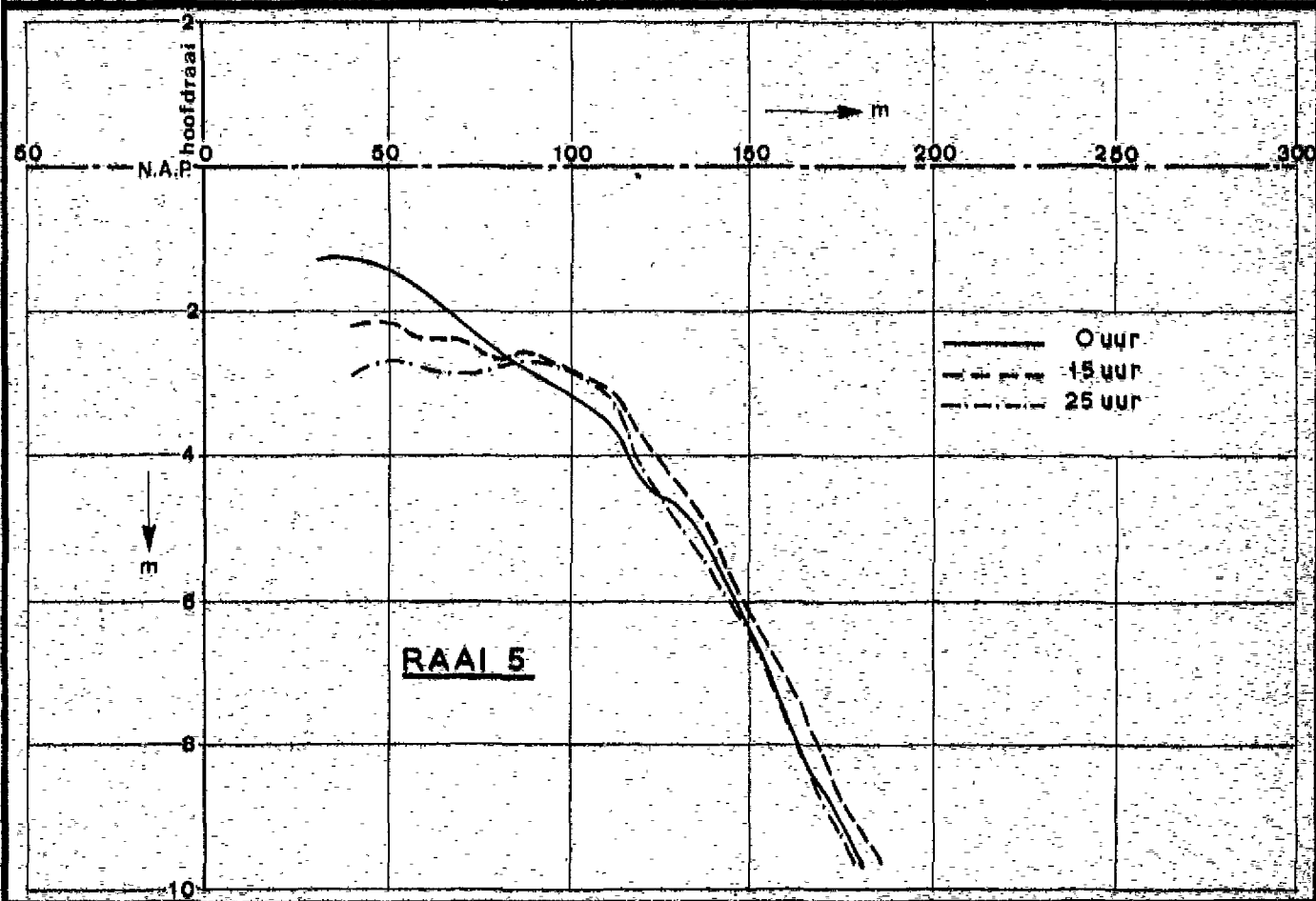
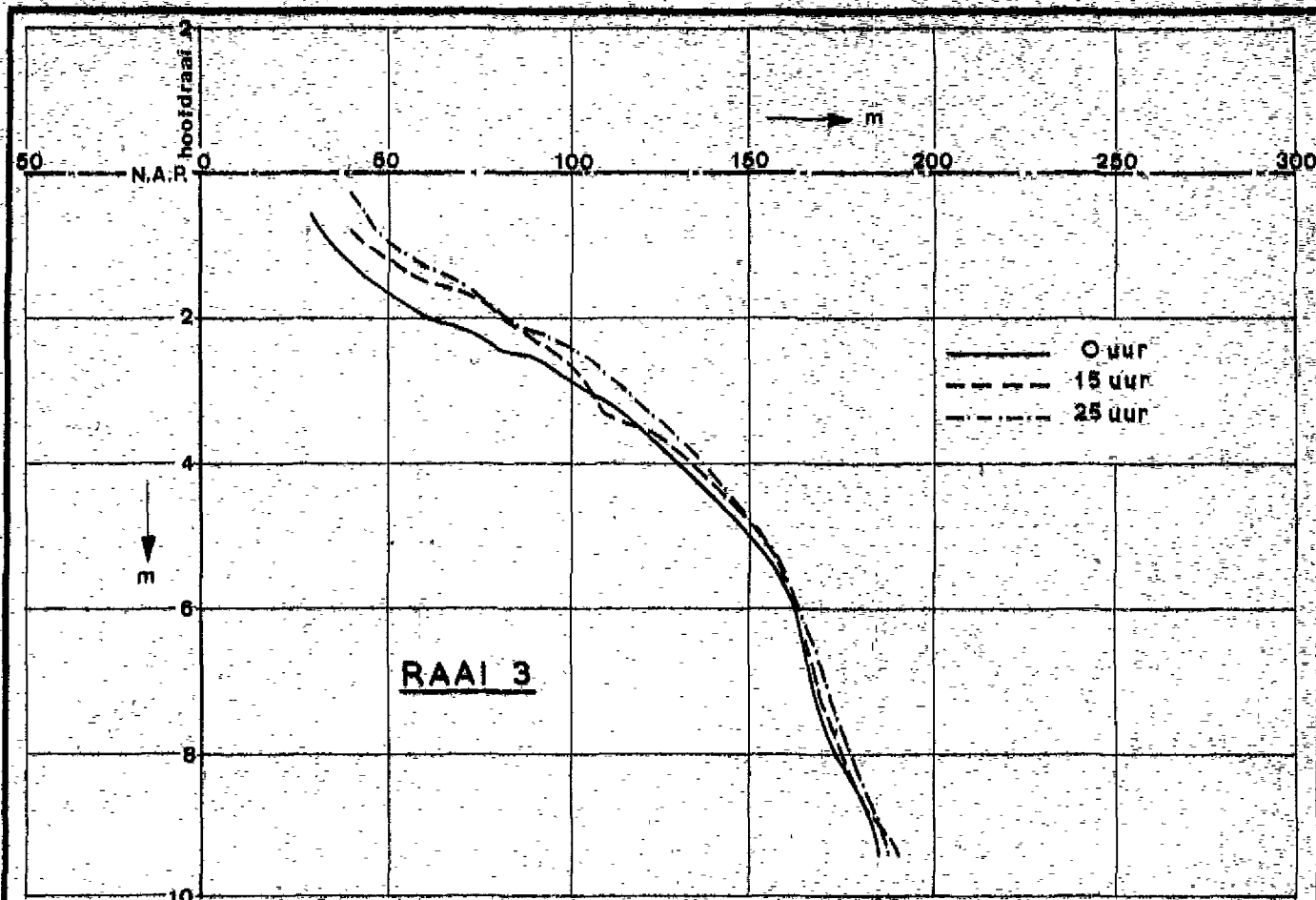
STRANDPROFIELEN

T 8



STRANDPROFIELEN

T 9



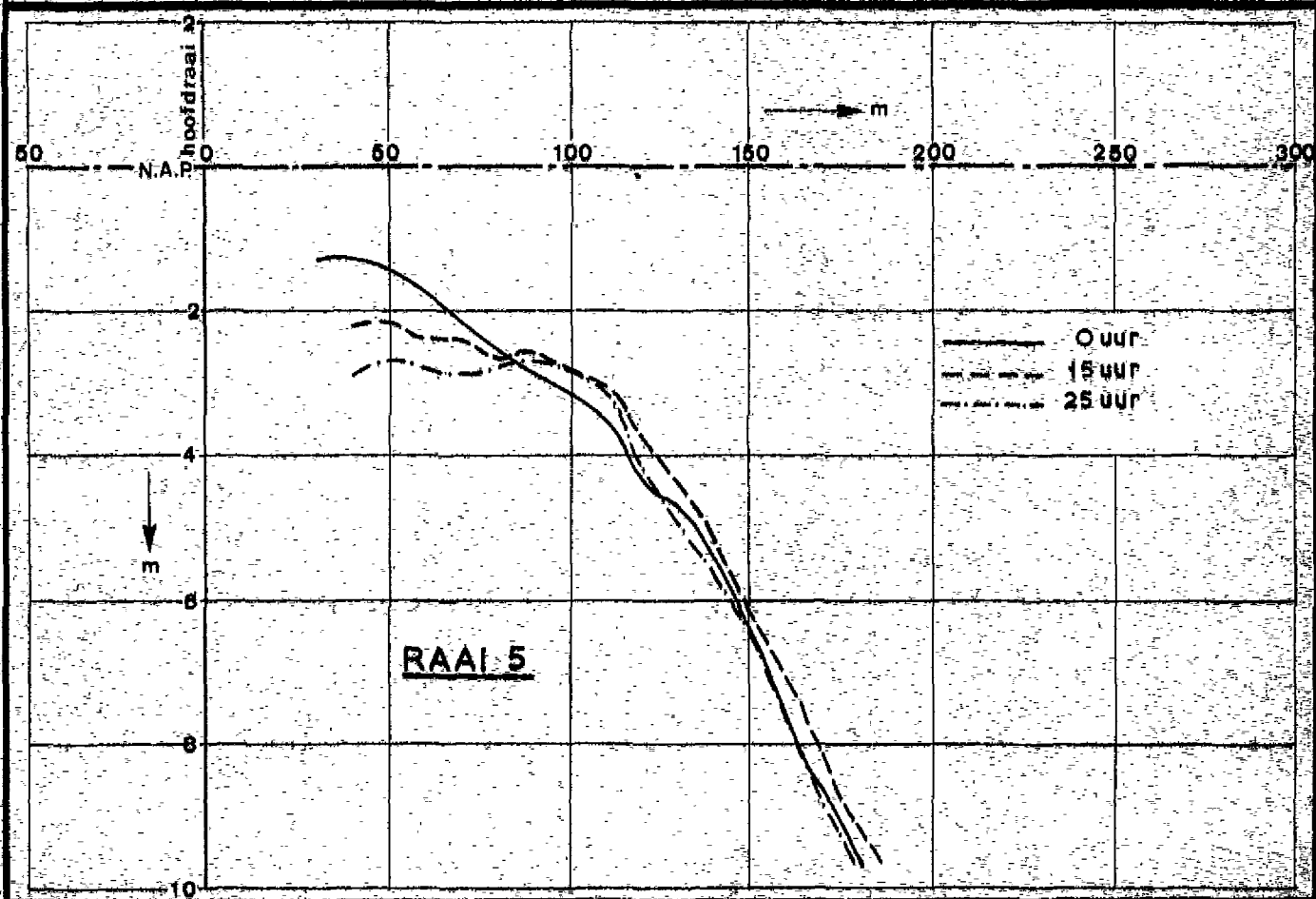
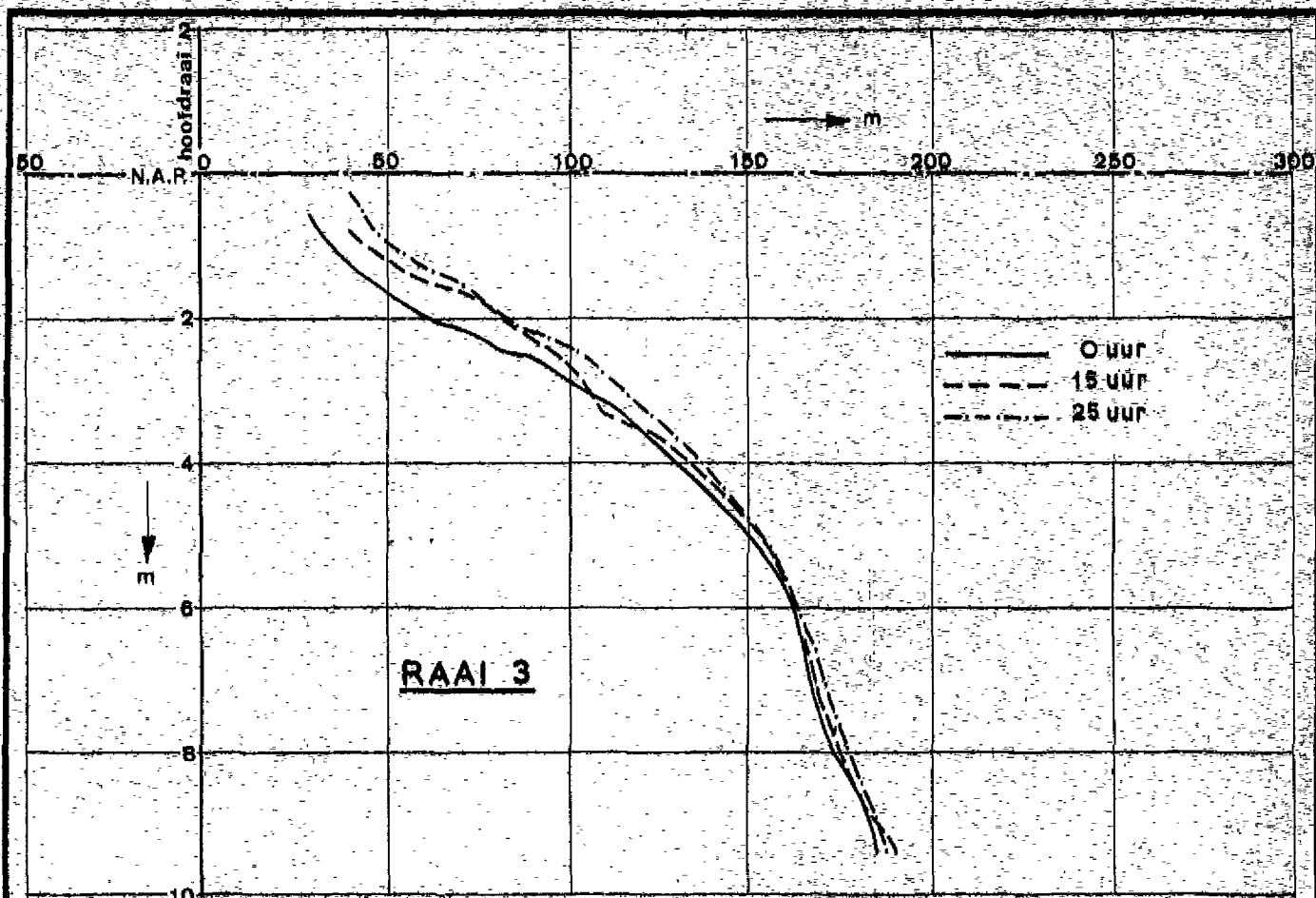
STRANDPROFIELEN

T 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

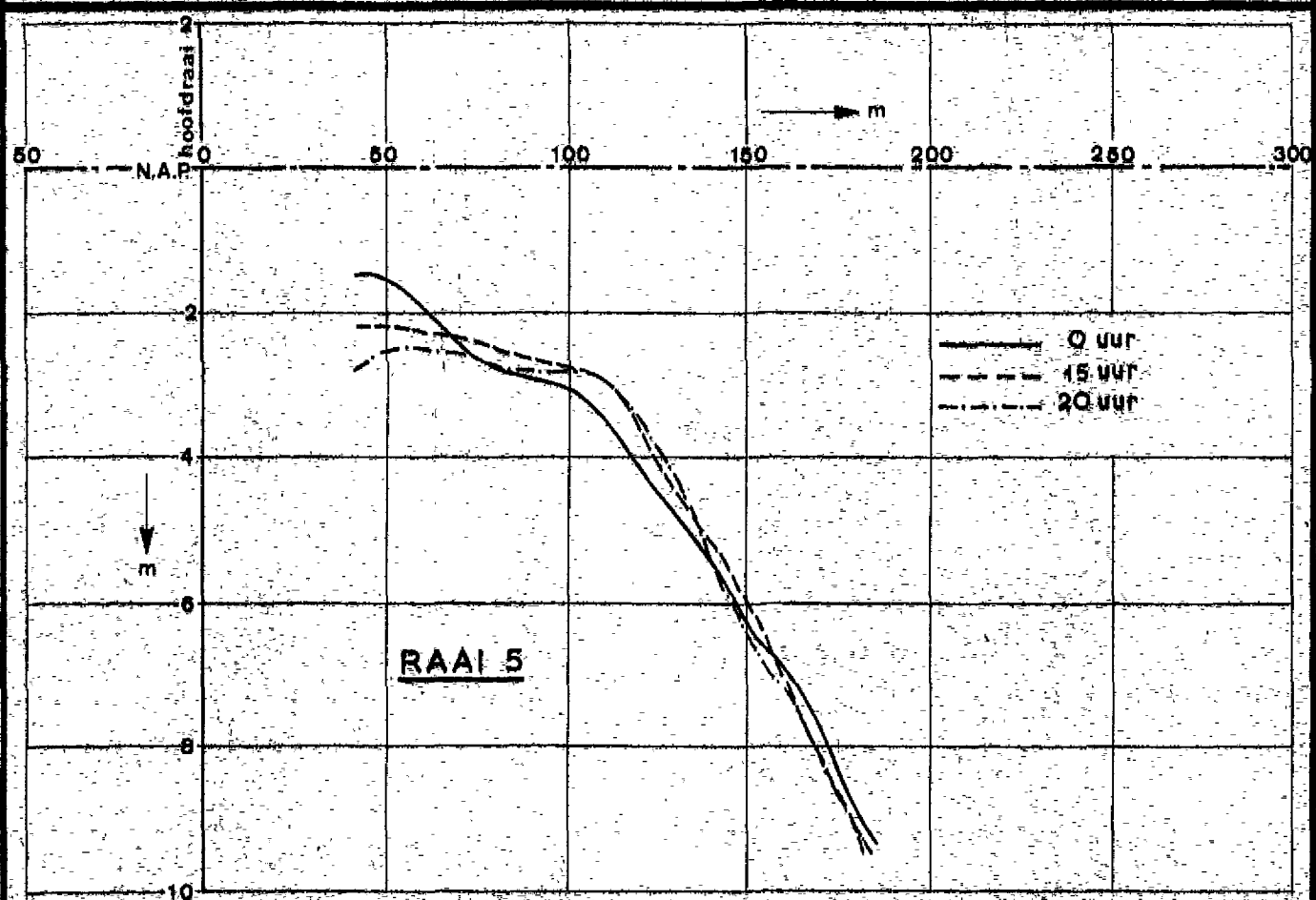
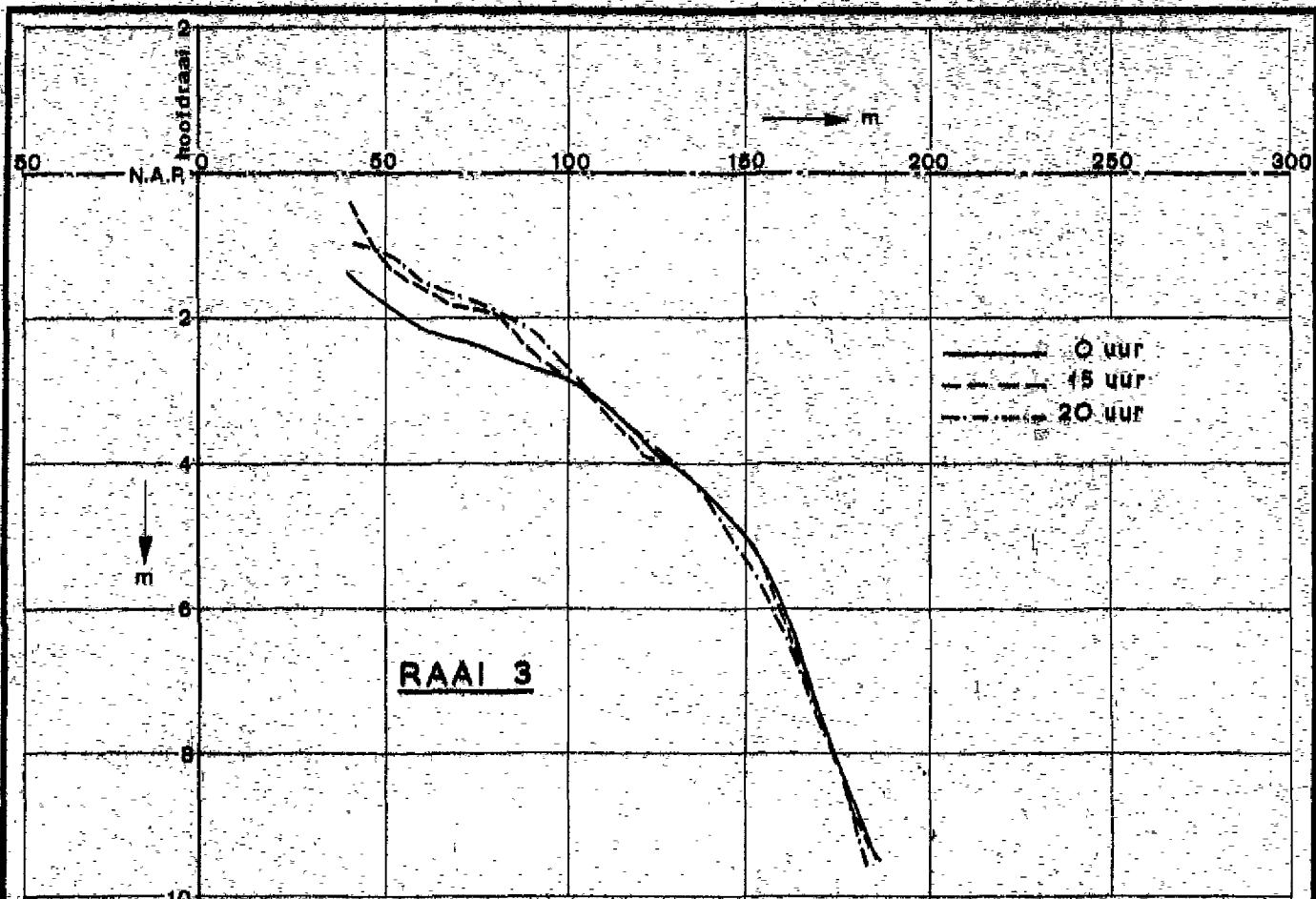
M. 963

FIG. 72



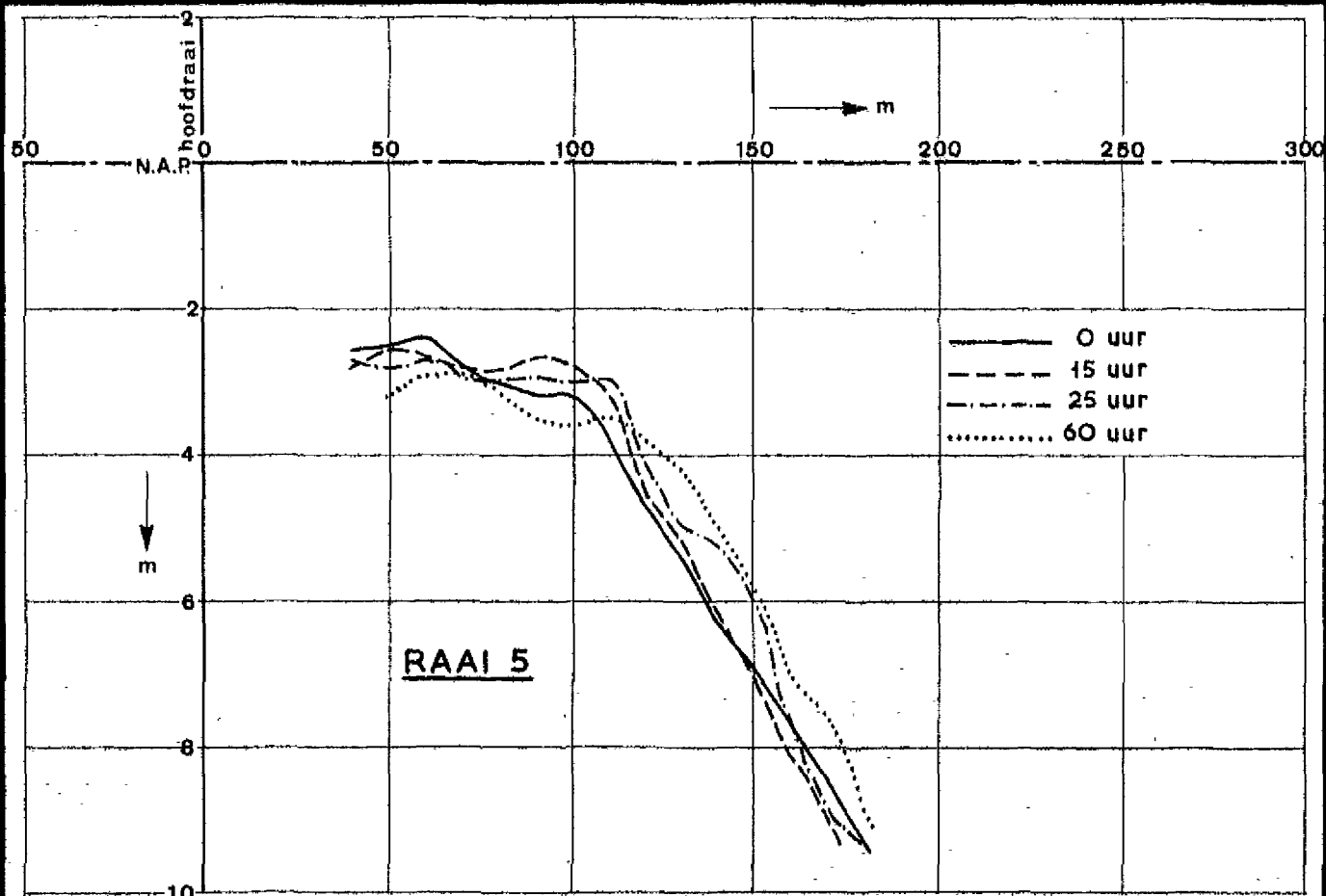
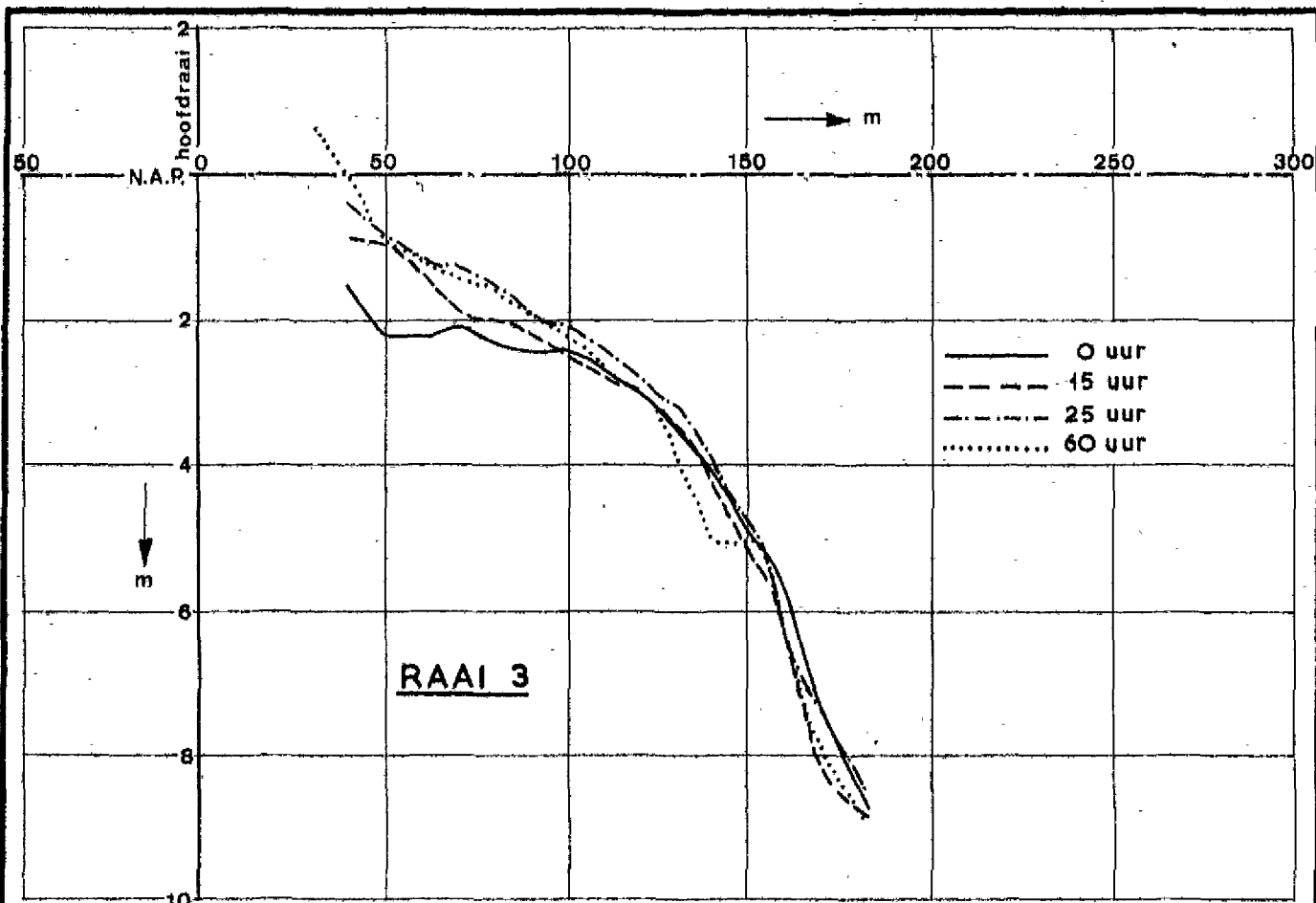
STRANDPROFIELEN

T.4



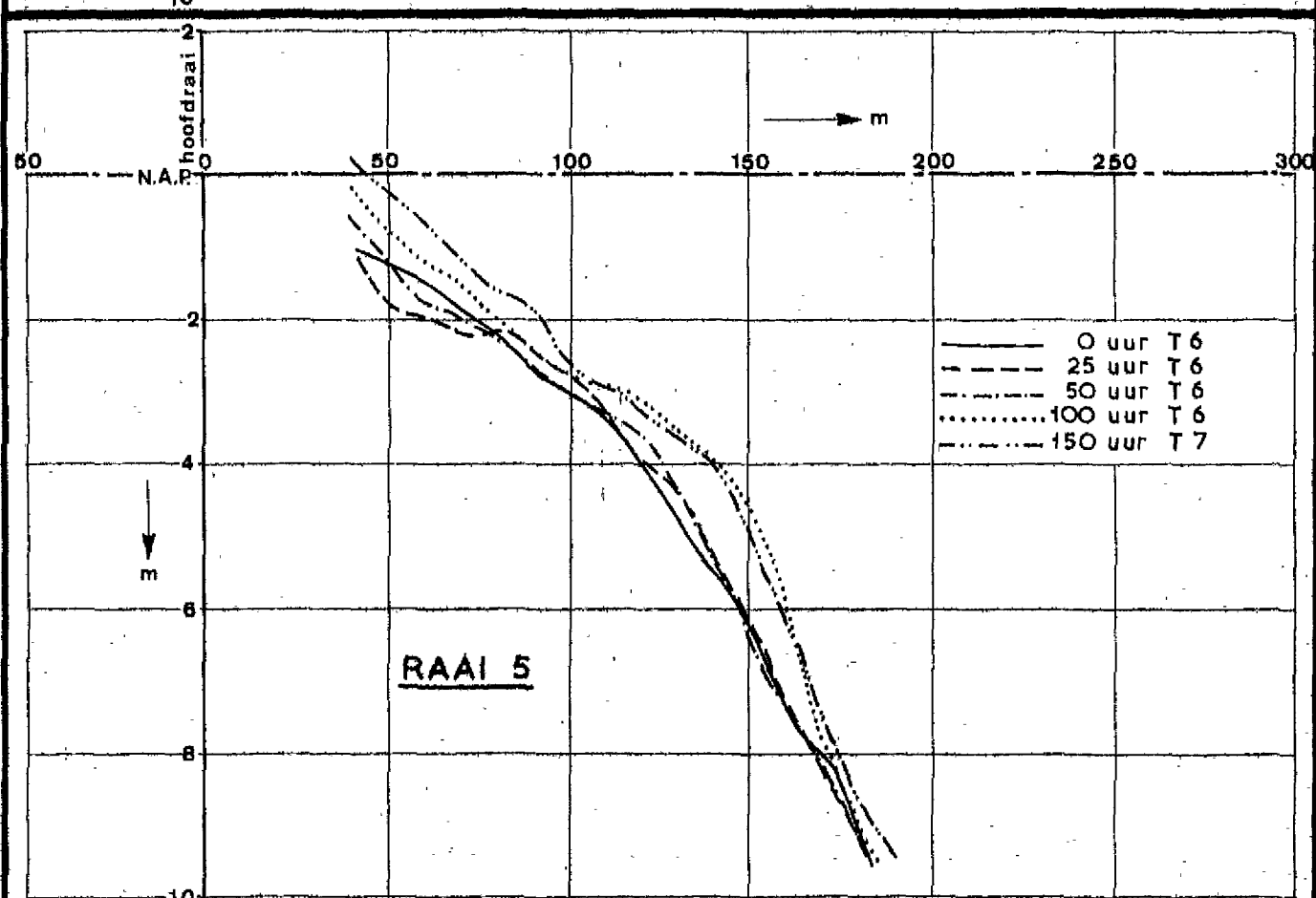
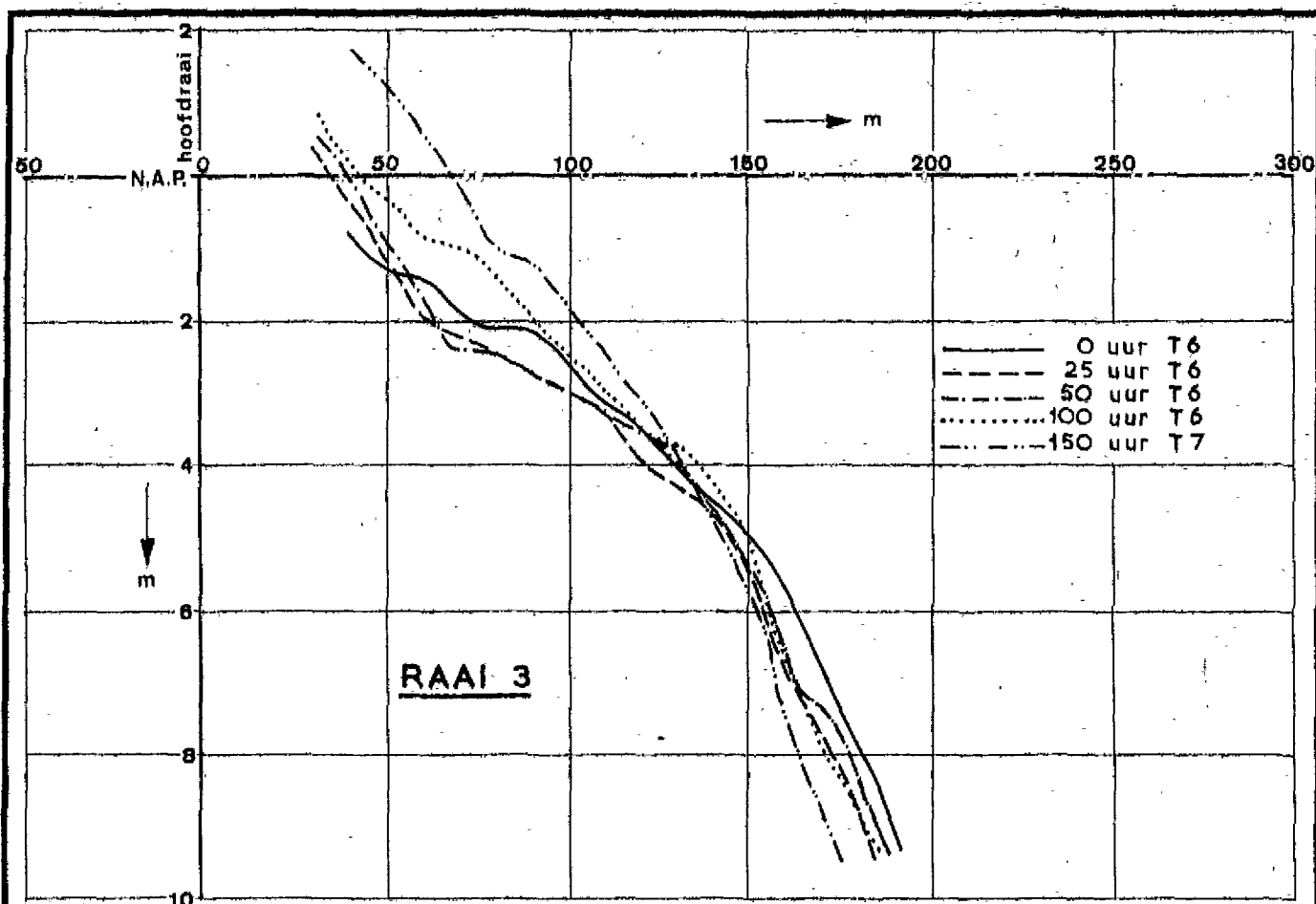
STRANDPROFIELEN

T-5



STRANDPROFIELEN

T 3



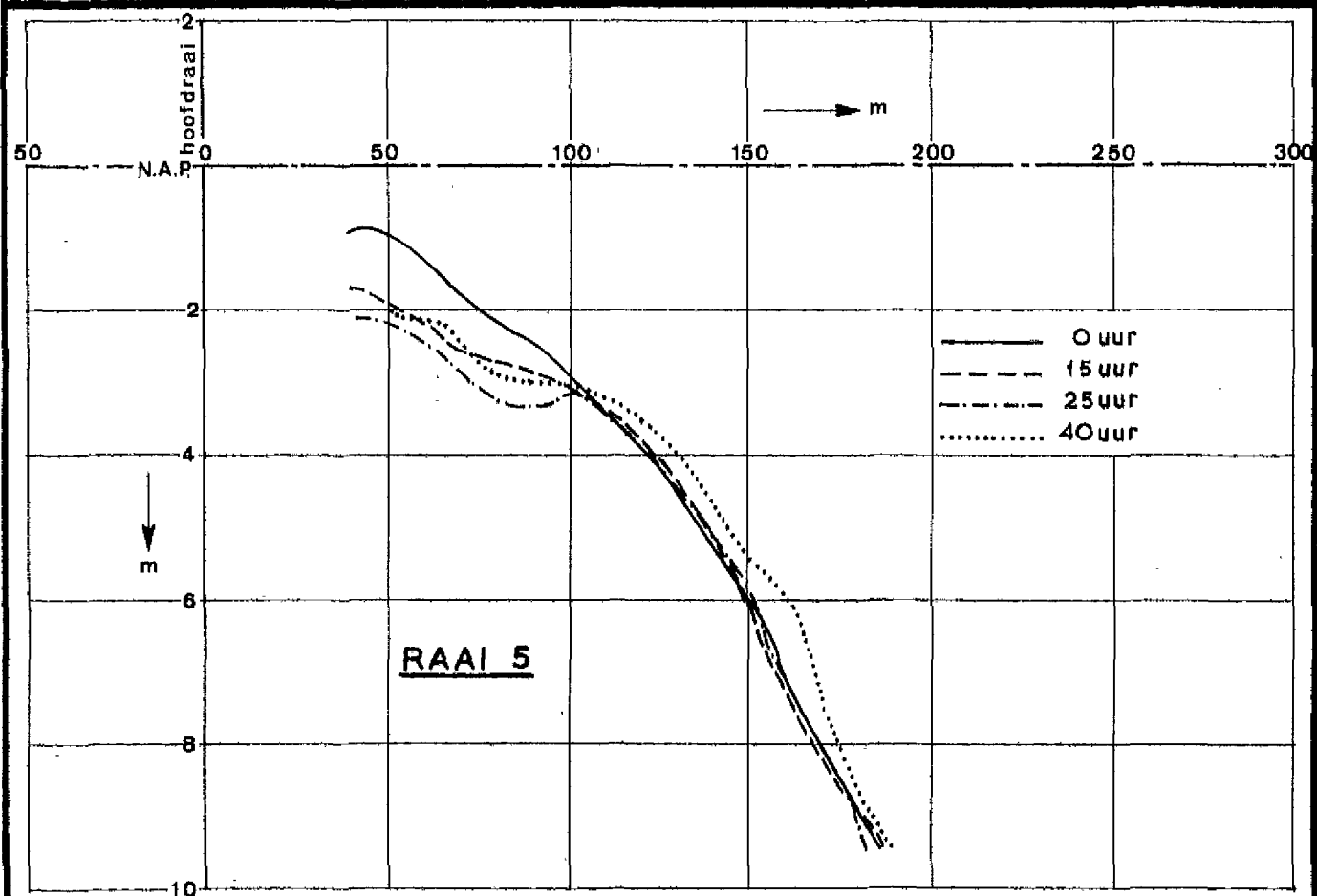
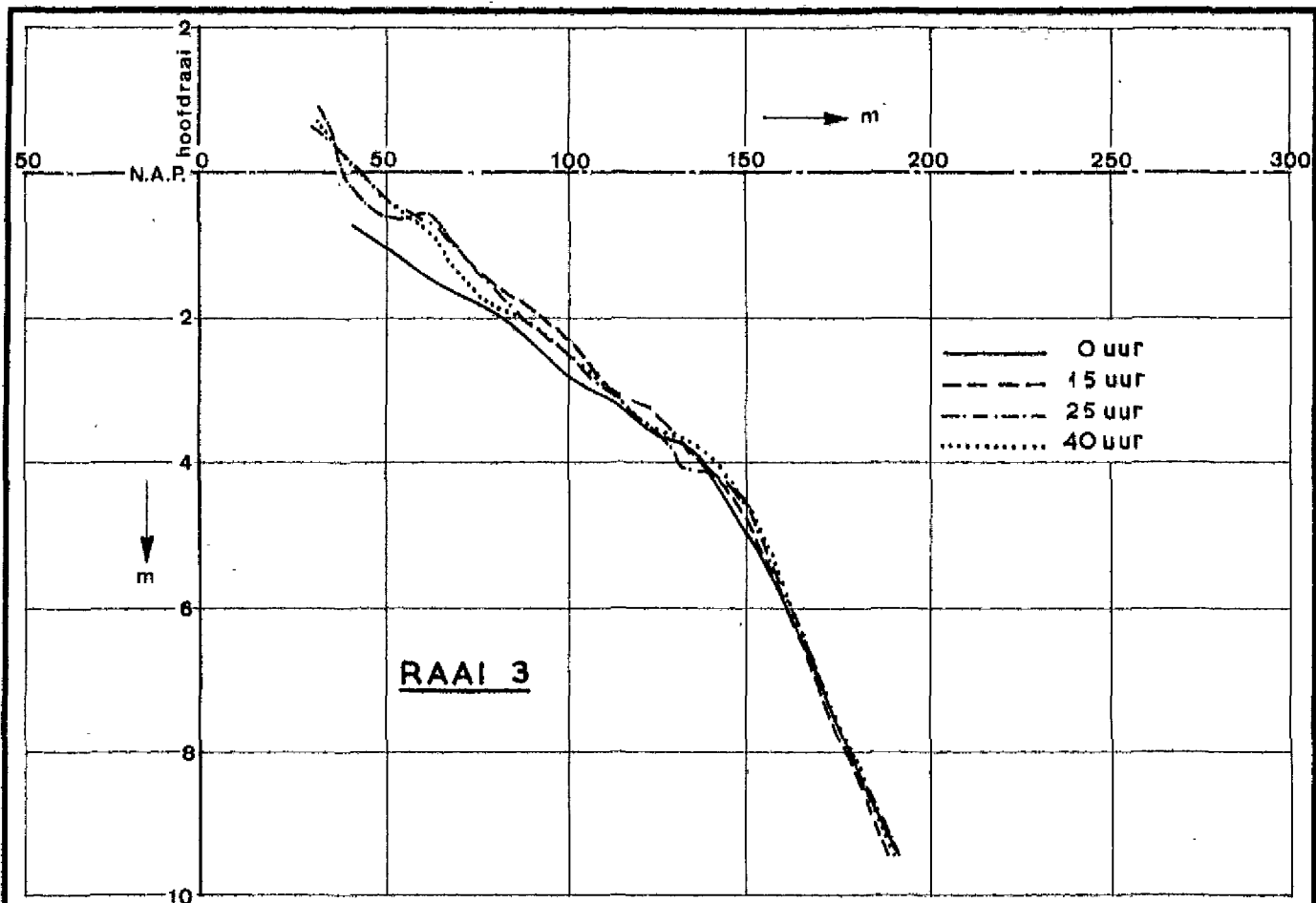
STRANDPROFIELEN

T6, T7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 75



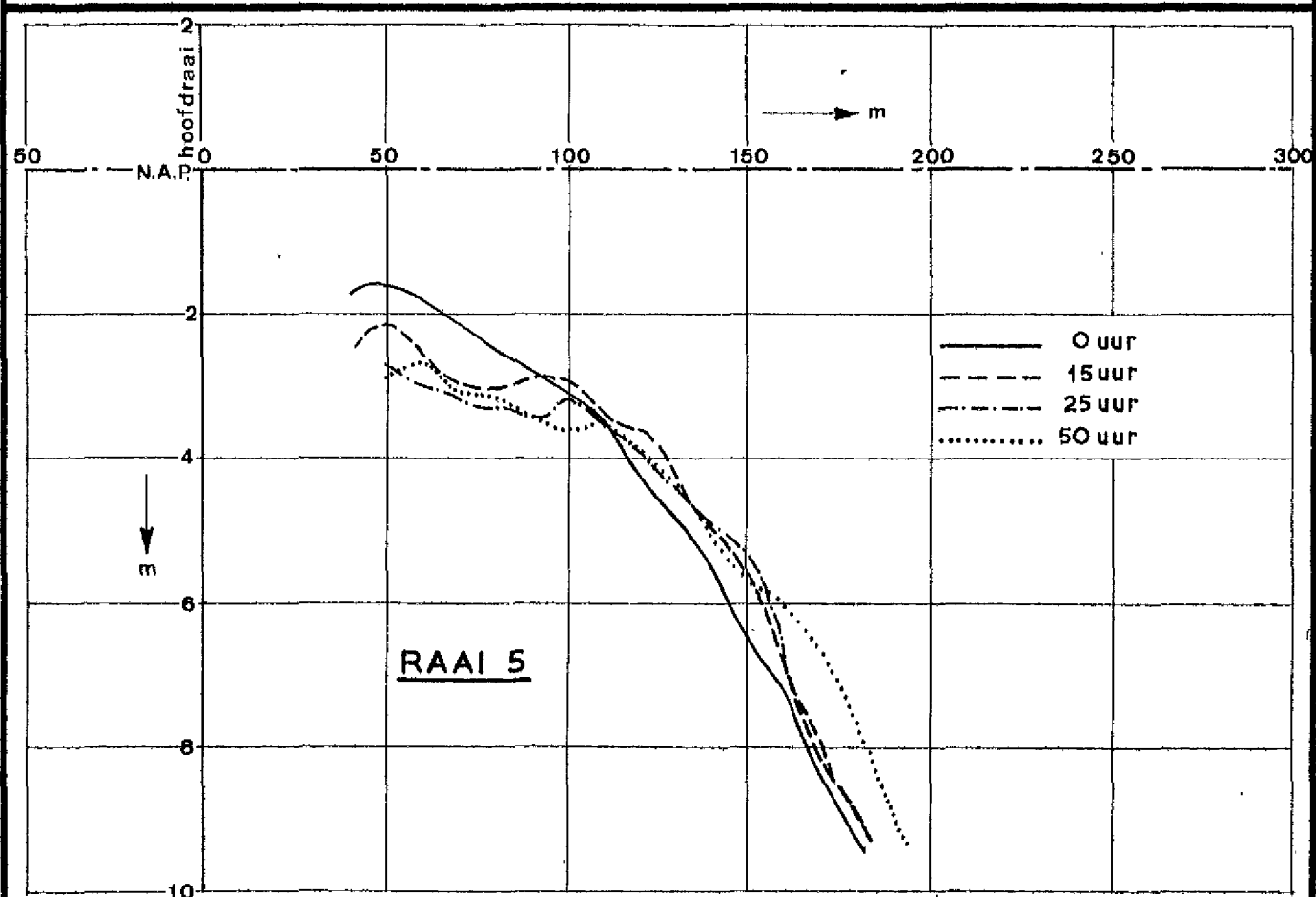
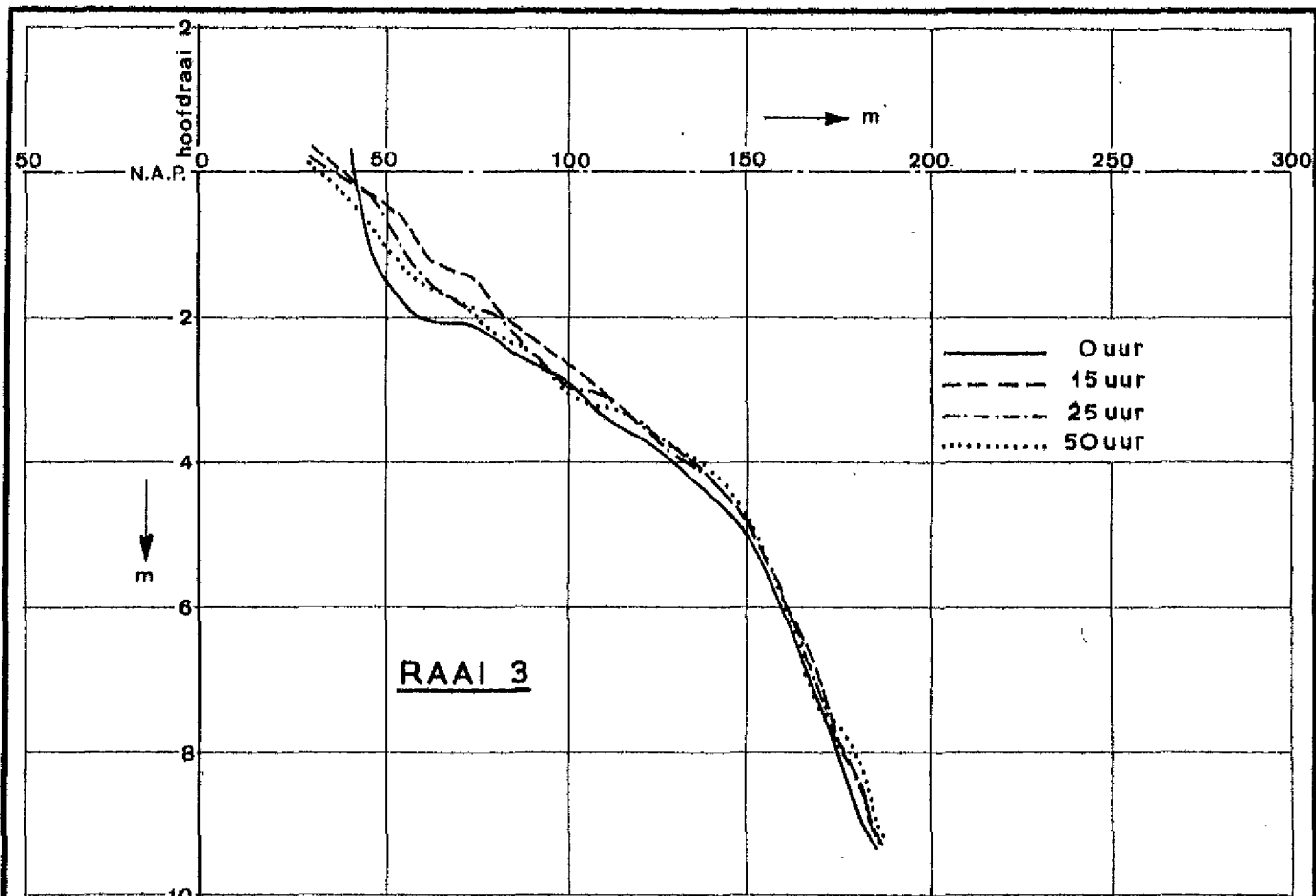
STRANDPROFIELEN

T 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

FIG. 76



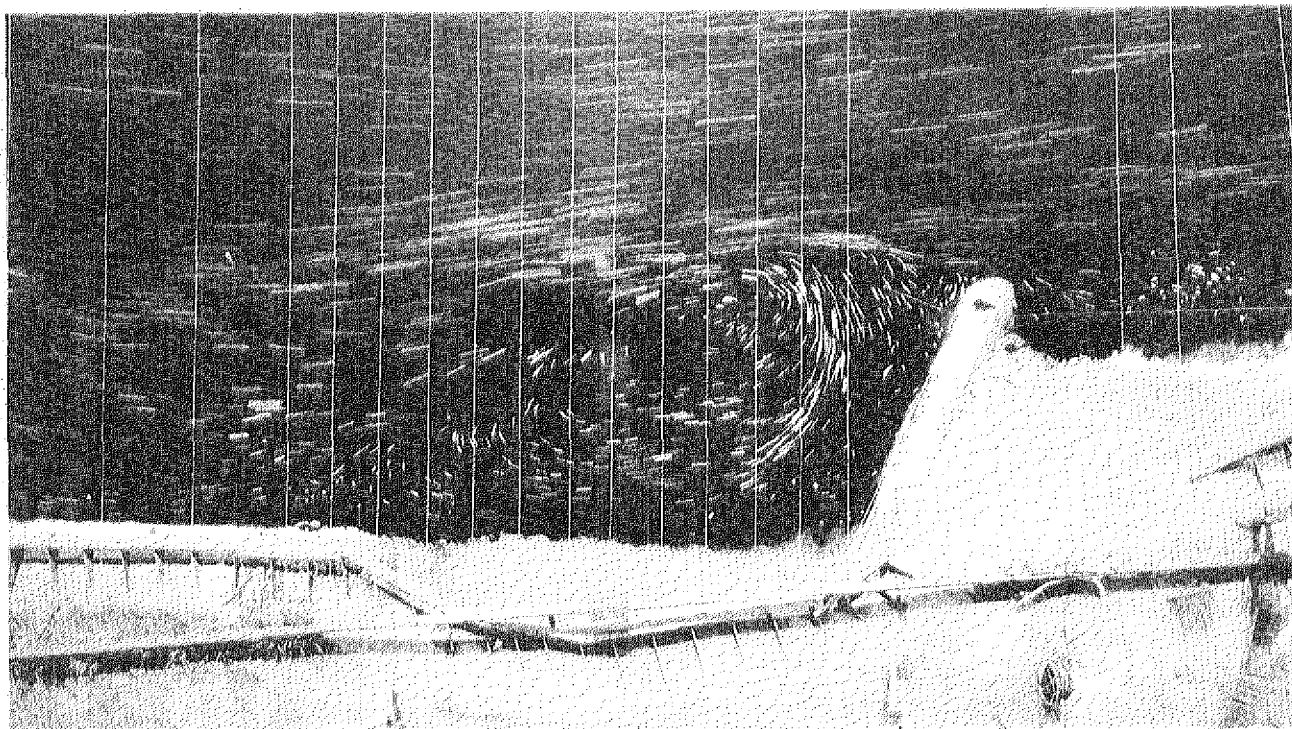
STRANDPROFIELEN

T 11

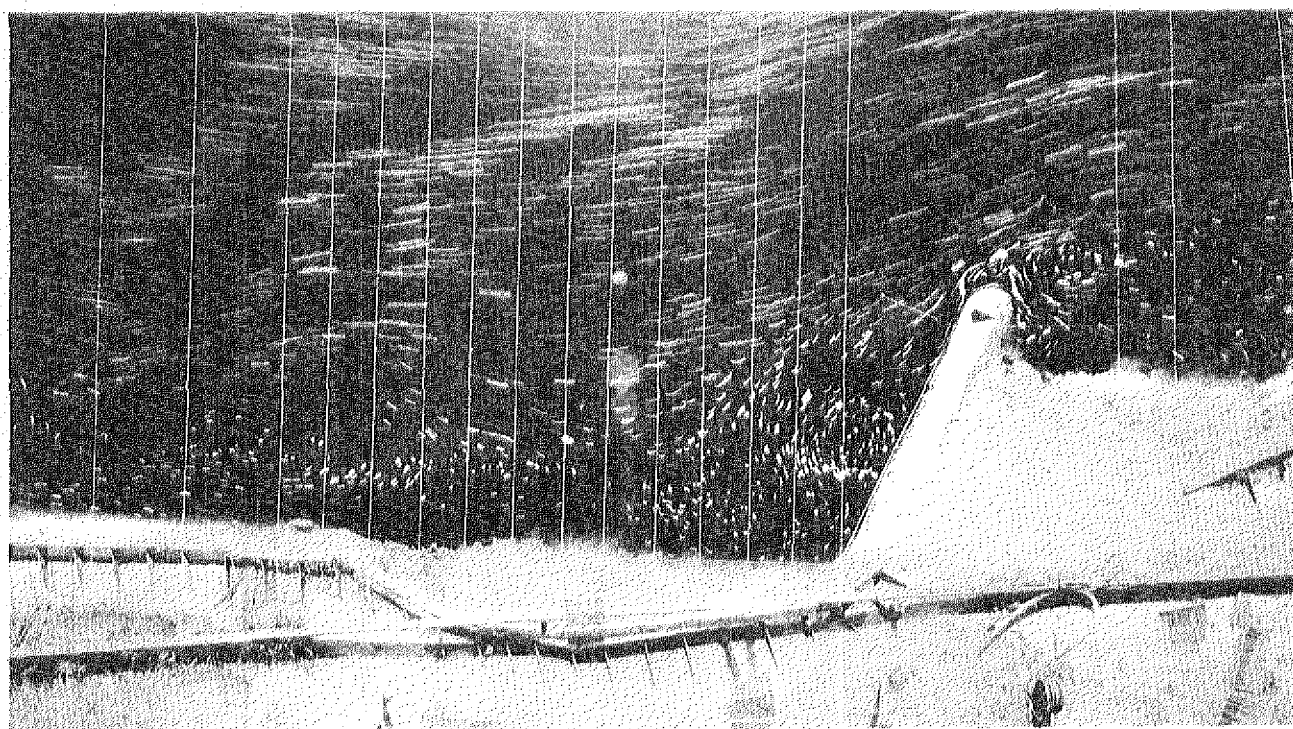
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 963

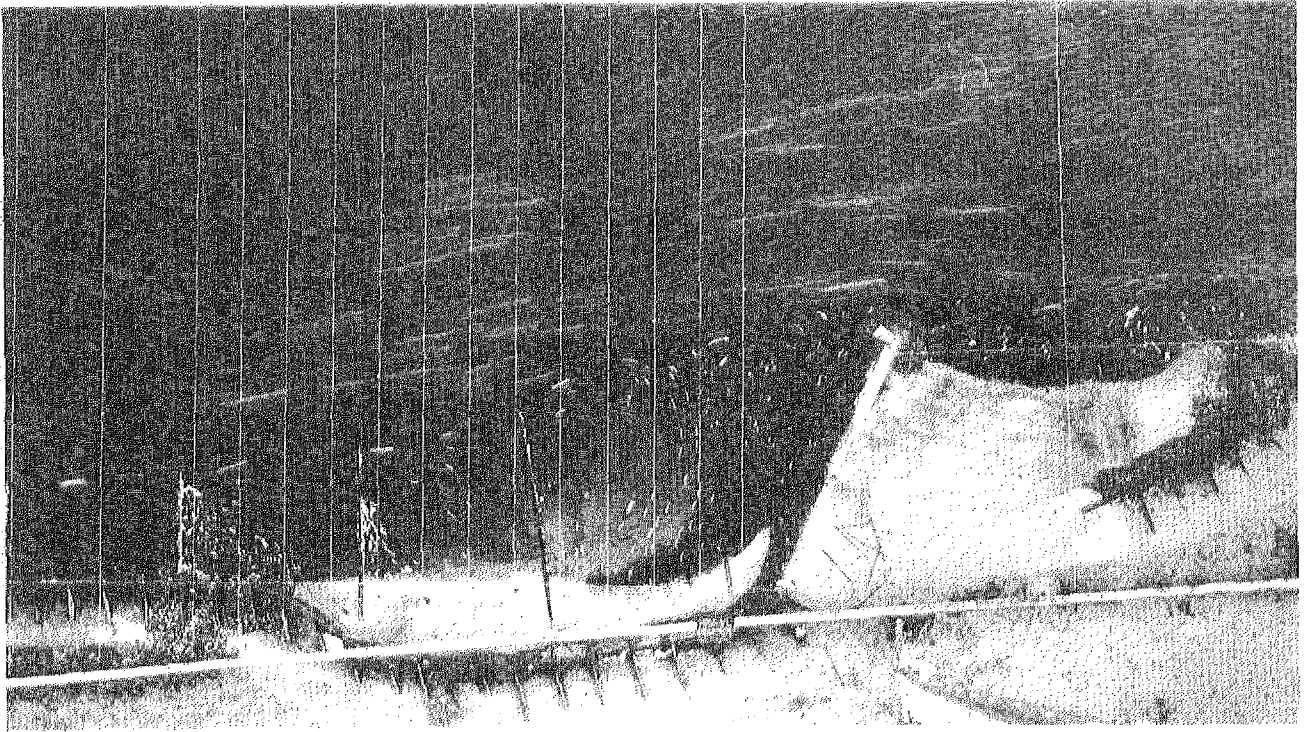
FIG. 77



Vloed



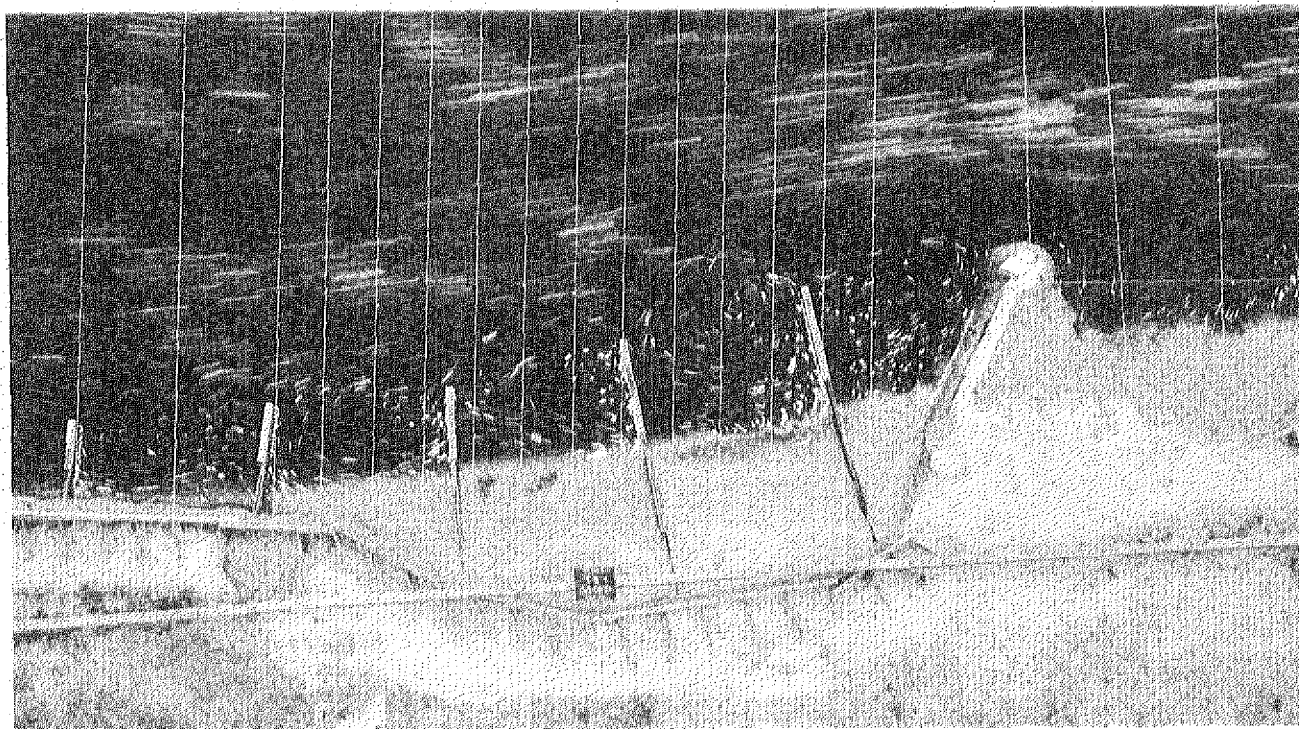
Eb



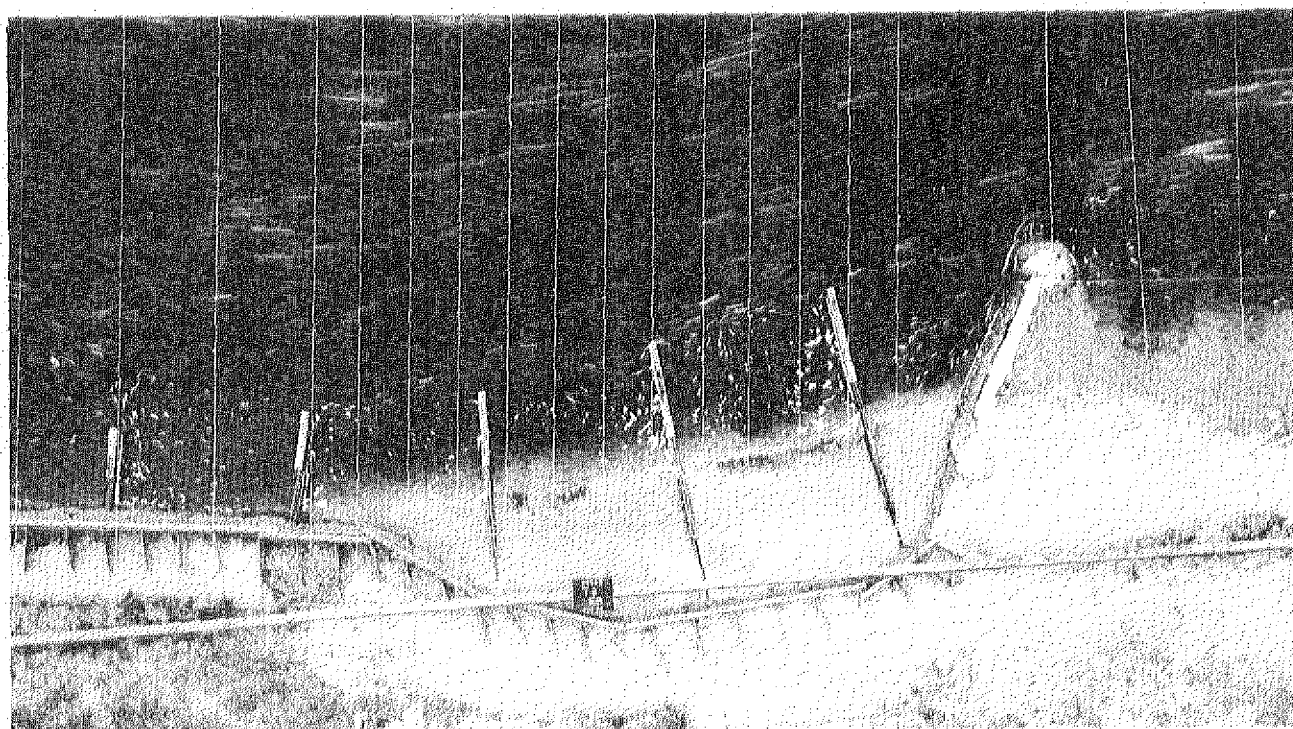
Vloed



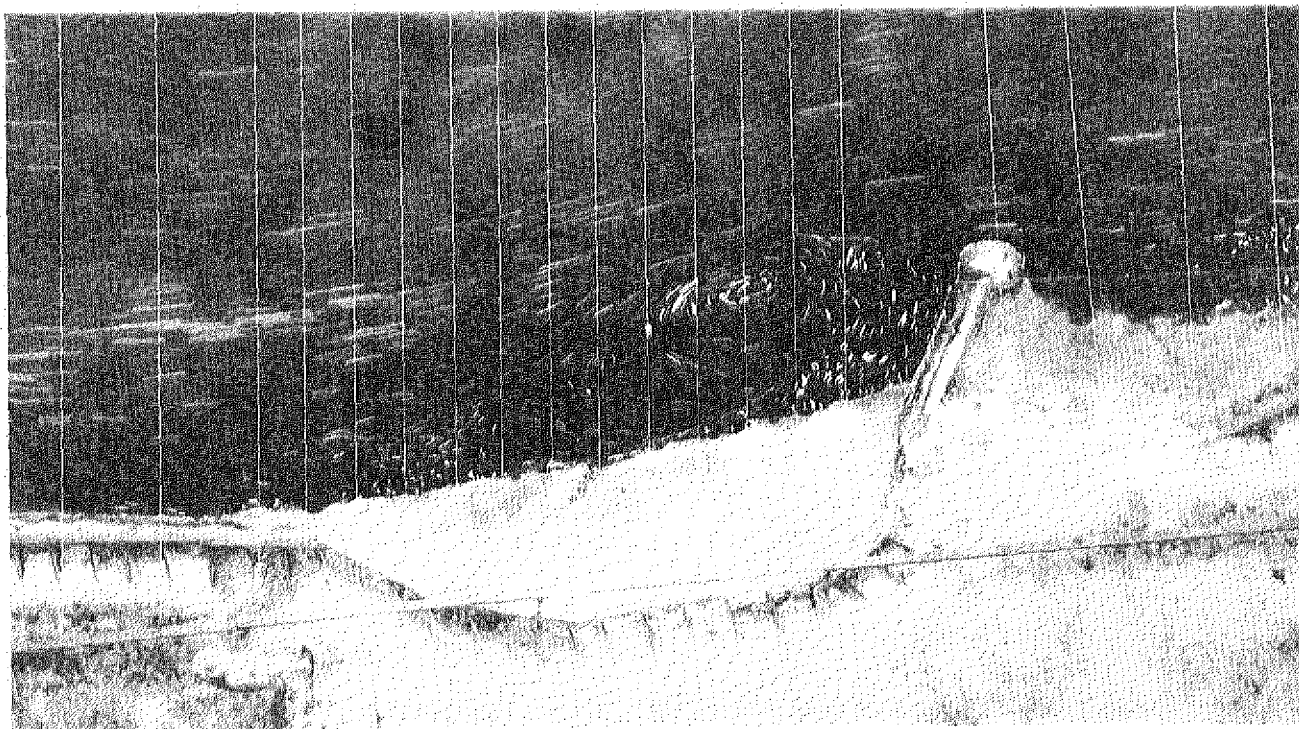
Eb



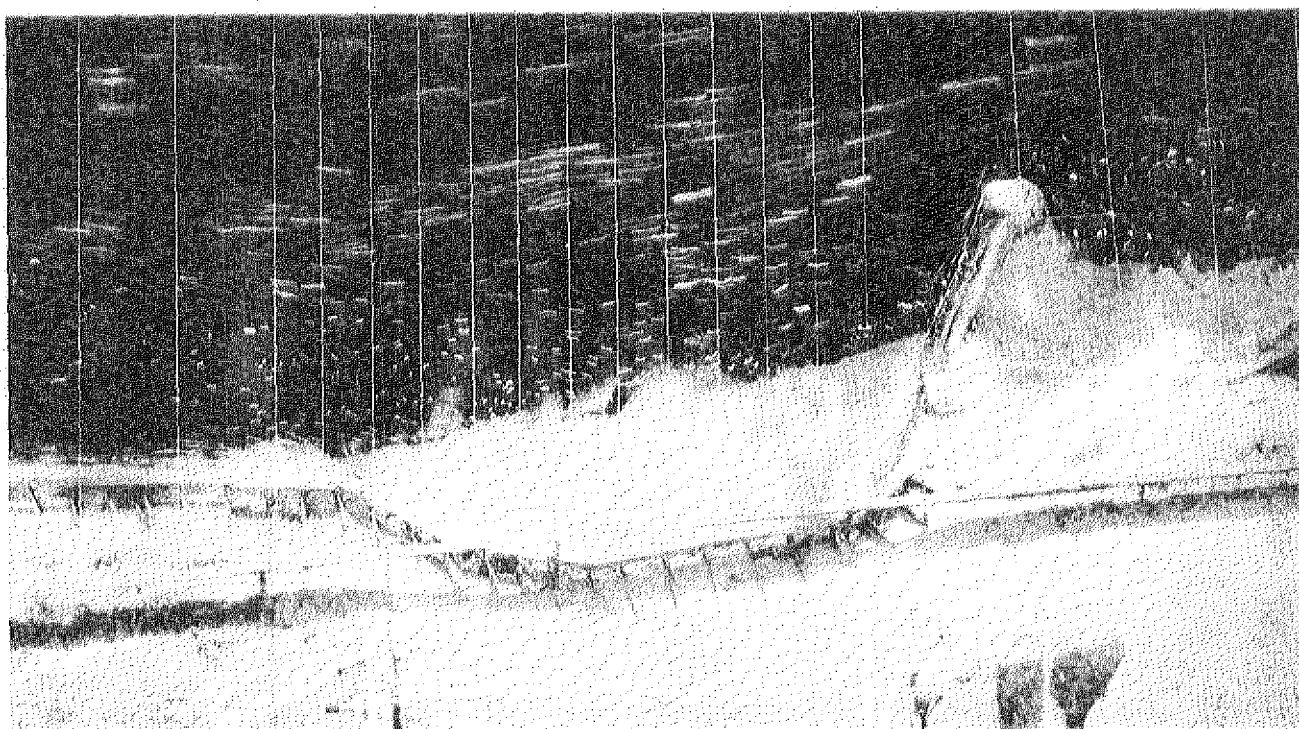
Vloed



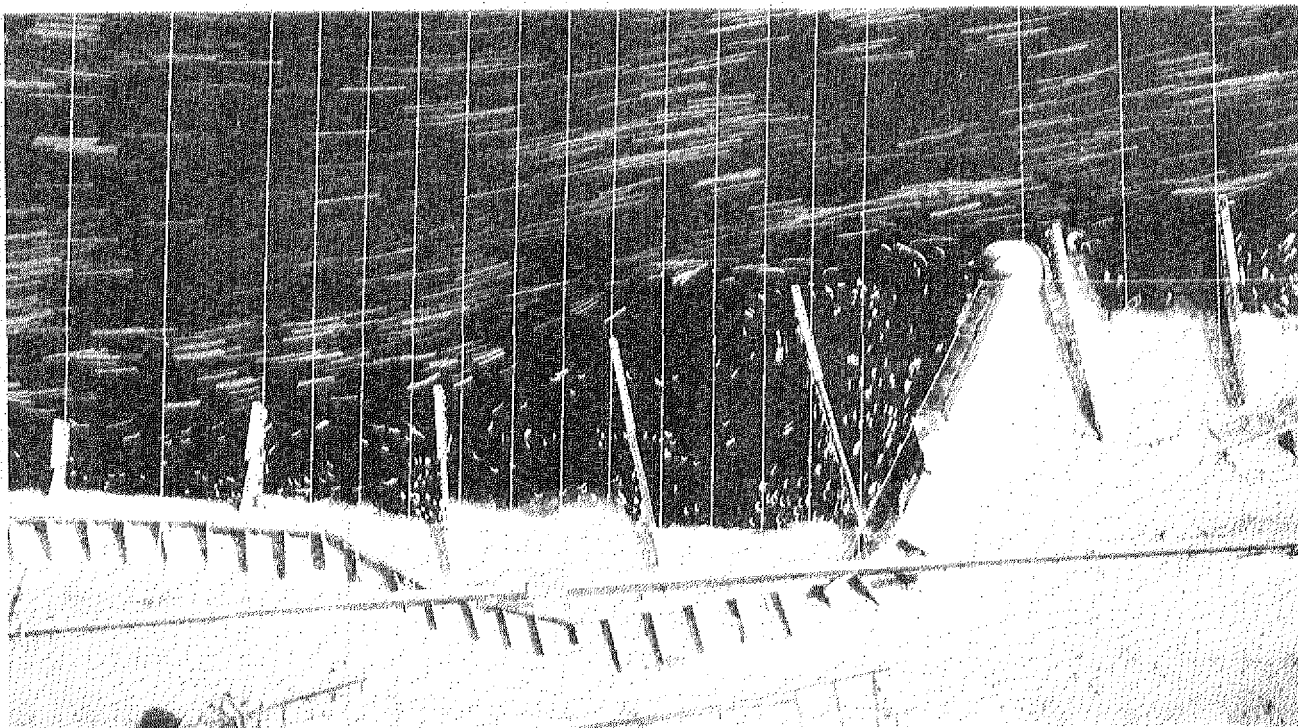
Eb



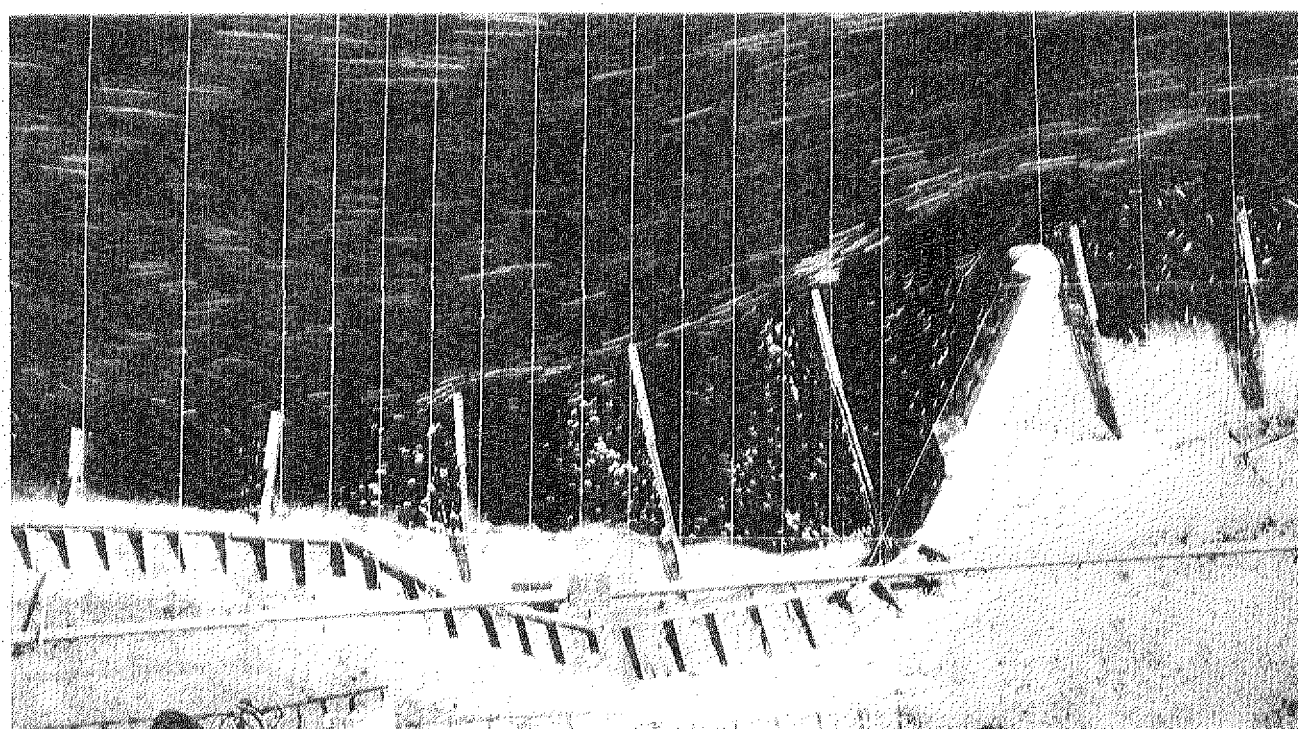
Vloed



Eb



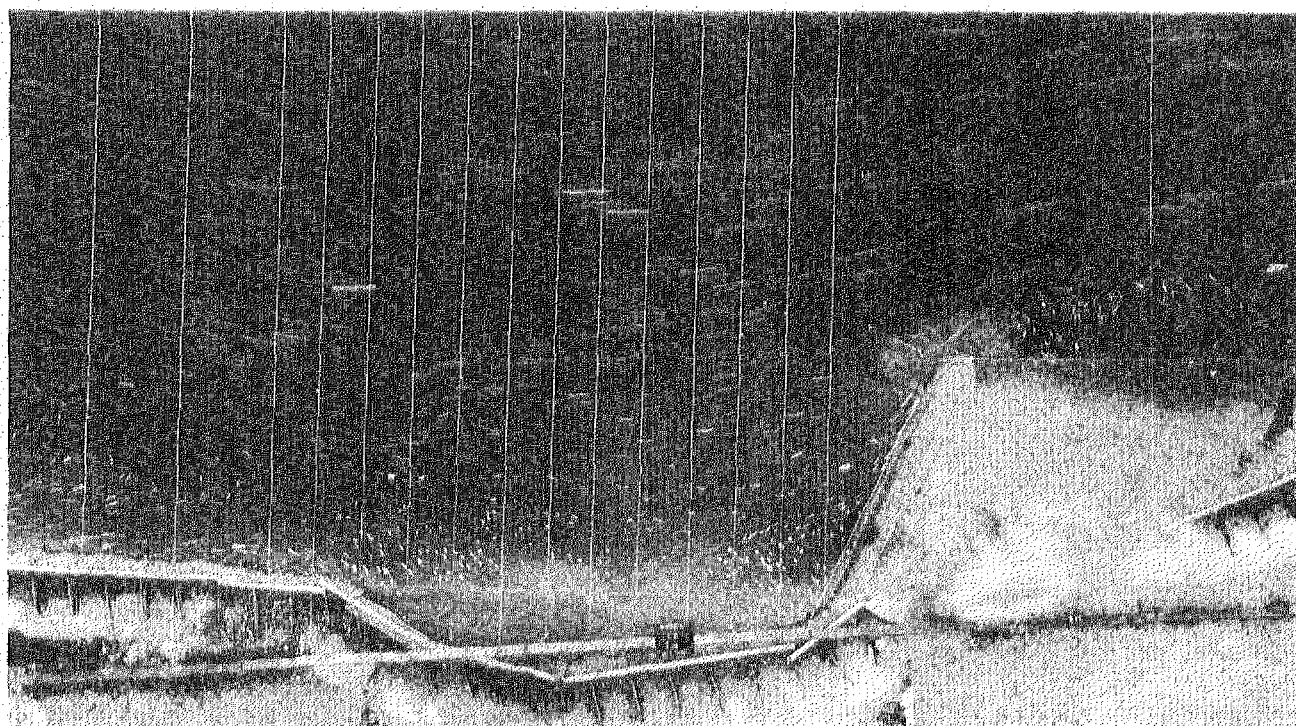
Vloed



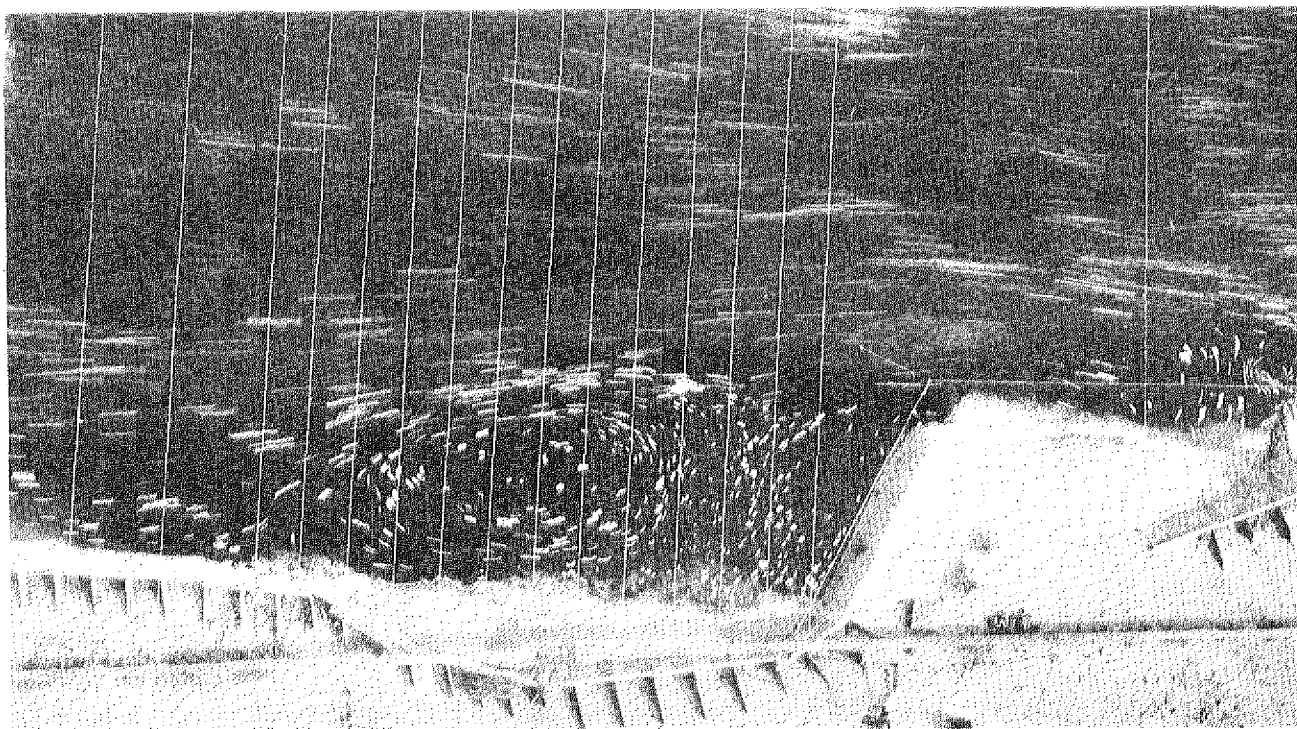
Eb



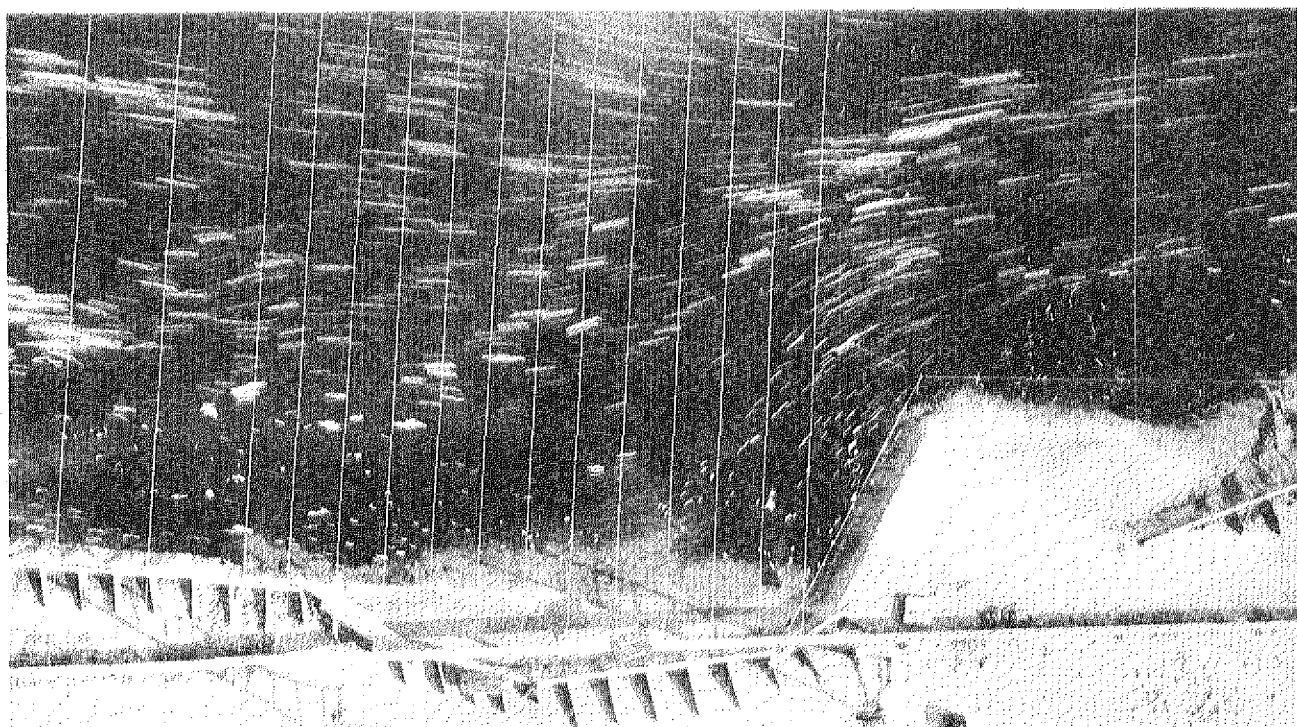
Vloed



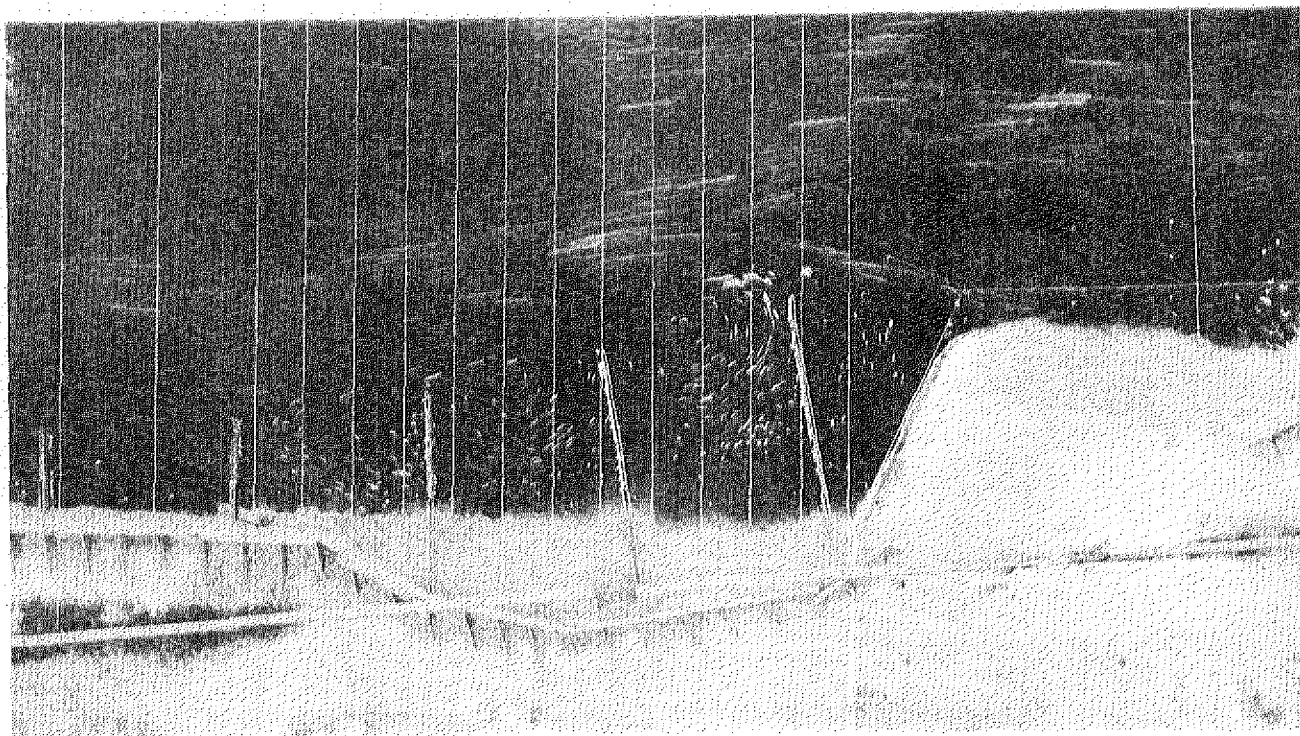
Eb



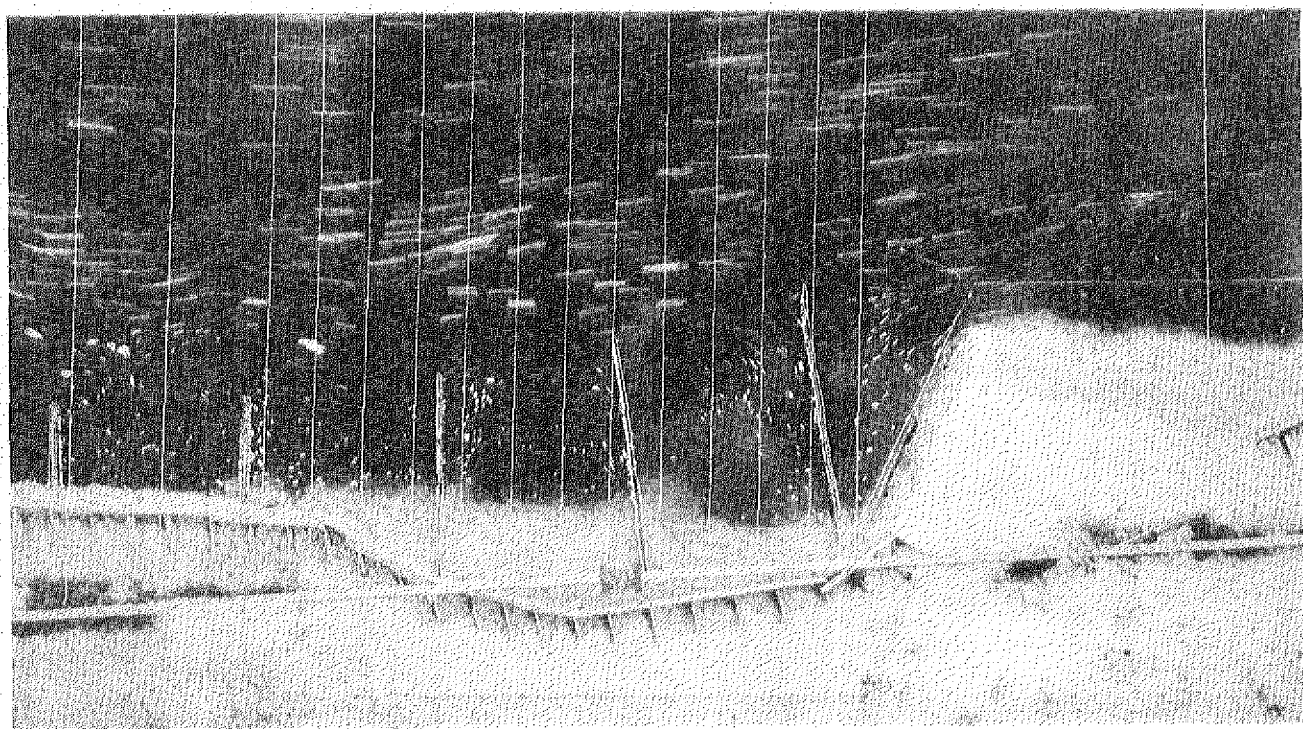
Vloed



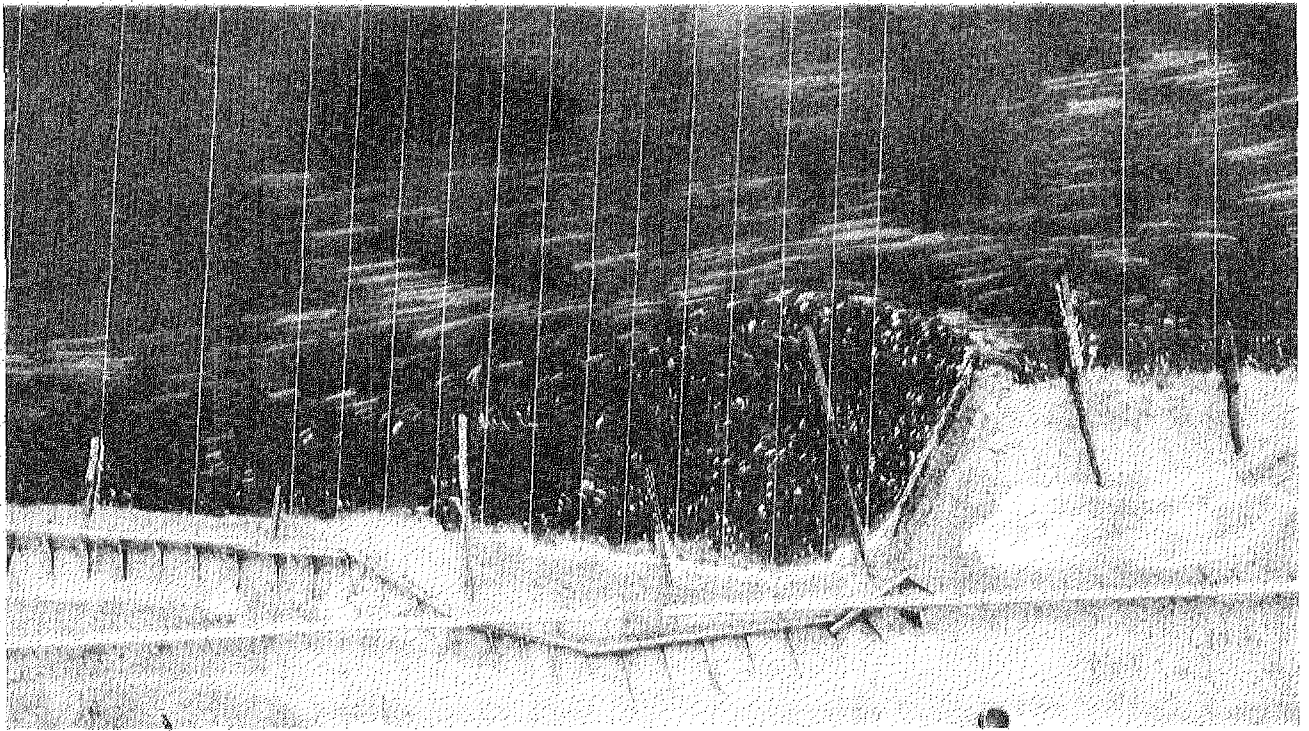
Eb



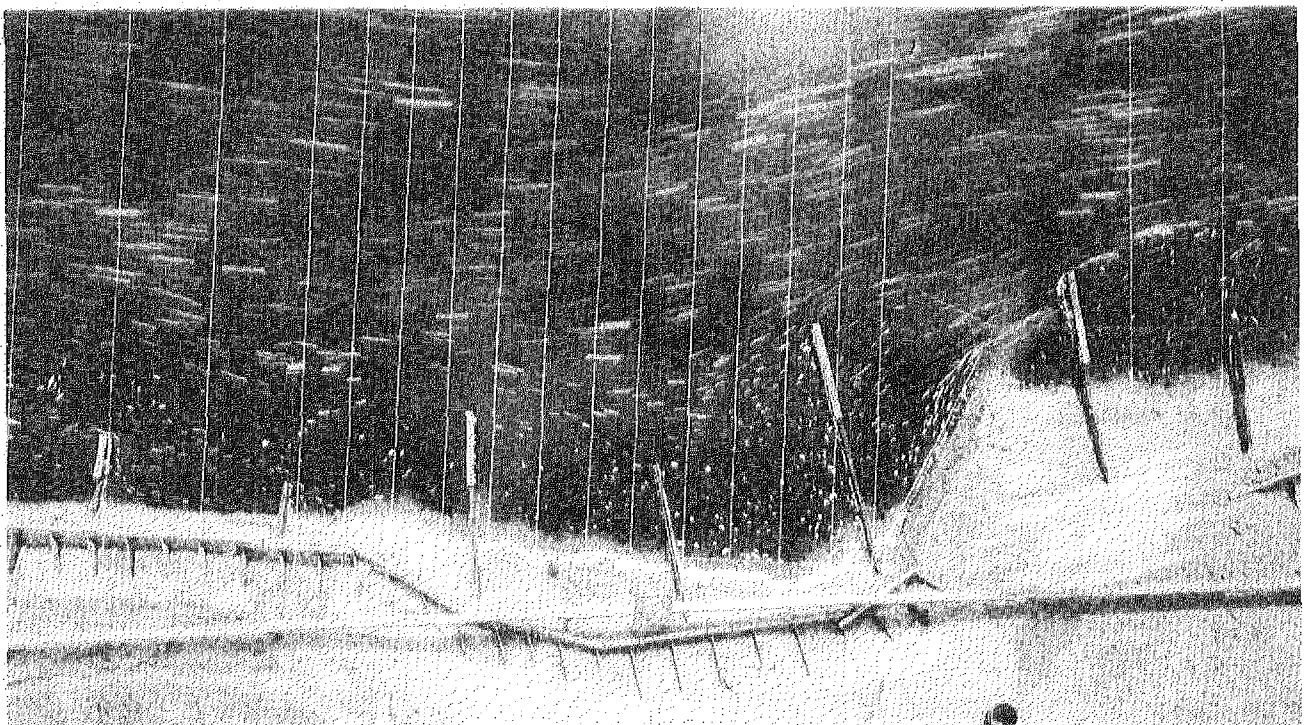
Vloed



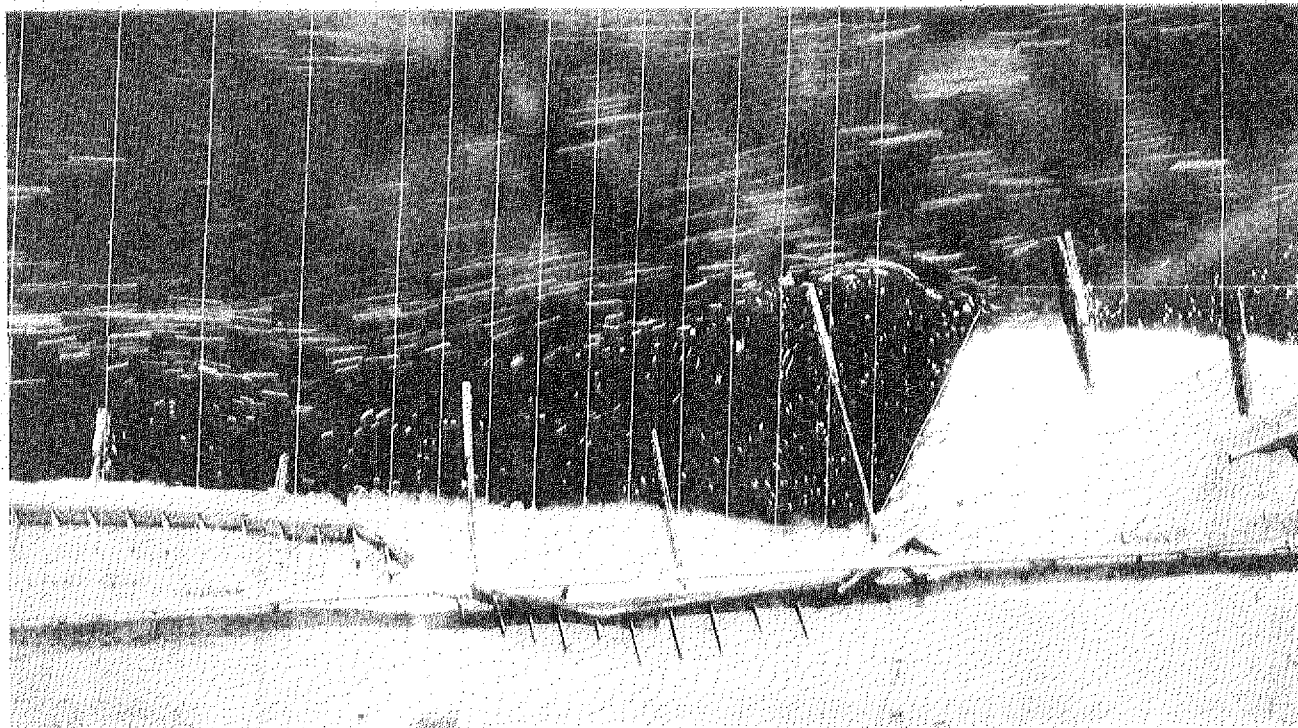
Eb



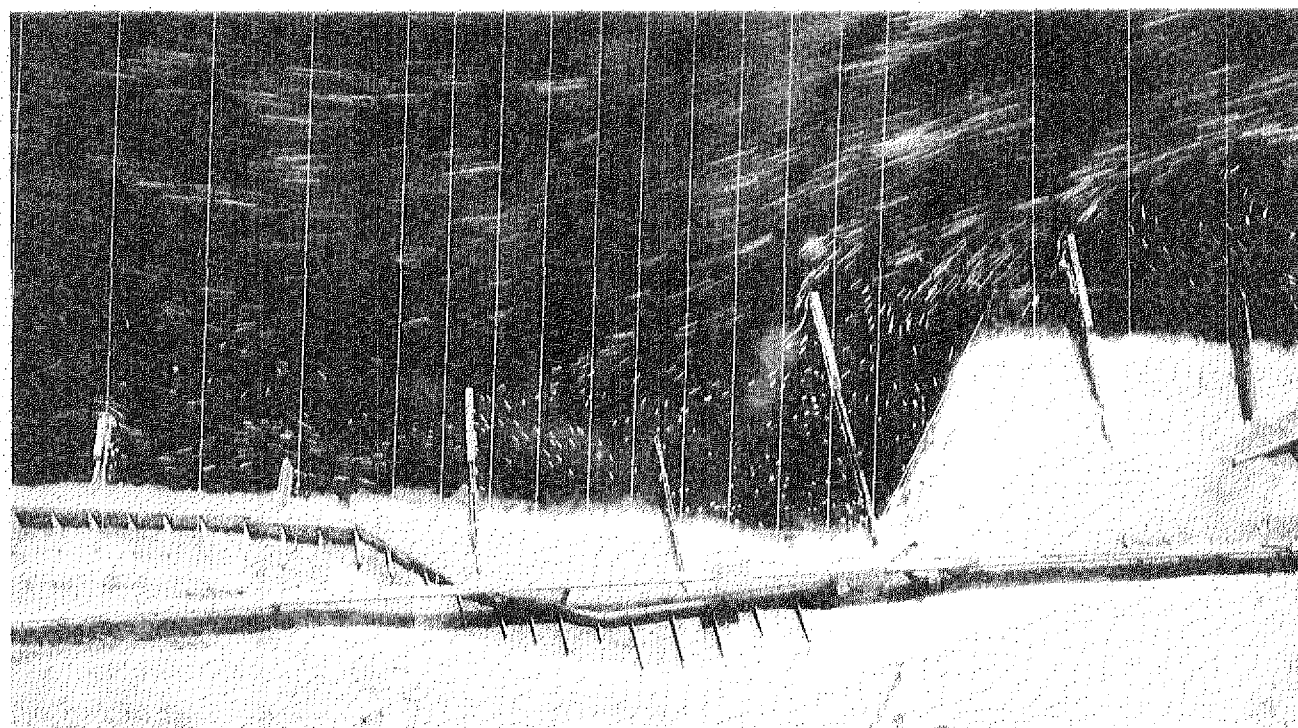
Vloed



Eb



Vloed



Eb