
dwarstransportproces tijdens duinafslag

verslag onderzoek

M 1263 deel V

november 1985

dwarstransportproces tijdens duinafslag

verslag onderzoek

M 1263 deel V

november 1985

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Aanpak van het onderzoek.....	2
1.3 Resultaten en conclusies.....	2
 2. <u>Meetgegevens</u>	 4
2.1 Inleiding.....	4
2.2 Scheldegootmetingen.....	4
2.2.1 Algemeen.....	4
2.2.2 Profielontwikkeling.....	4
2.2.3 Snelheden.....	5
2.2.4 Concentraties.....	5
2.2.5 Golfhoogten.....	5
2.3 Deltagootmetingen.....	6
2.3.1 Algemeen.....	6
2.3.2 Profielontwikkeling.....	6
2.3.3 Snelheden.....	6
2.3.4 Concentraties.....	6
2.3.5 Golfhoogten.....	7
 3. <u>Dwarstransportproces</u>	 8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Theorie.....	8
 4 <u>Analyse meetresultaten</u>	 12
4.1 Inleiding.....	12
4.2 Scheldegootmetingen.....	13
4.2.1 Algemeen.....	13
4.2.2 Transport uit profielontwikkeling.....	14
4.2.3 Transport uit snelheids- en concentratieveld.....	14
4.2.3.1 Waterdiepte.....	14
4.2.3.2 Snelheidsprofiel.....	14
4.2.3.3 Concentratieprofiel.....	17
4.2.3.4 Transportberekening.....	18
4.2.4 Vergelijking van transporten.....	19

INHOUD (vervolg)

4.3	Deltagootmetingen.....	20
4.3.1	Algemeen.....	20
4.3.2	Transport uit profielontwikkeling.....	20
4.3.3	Transport uit snelheids- en concentratieveld.....	21
4.3.2.1	Waterdiepte.....	21
4.3.3.2	Snelheidsprofiel.....	21
4.3.3.3	Concentratieprofiel.....	21
4.3.3.4	Transportberekening.....	22
4.3.4	Vergelijking van transporten.....	22
5	<u>Dwarstransportmodellering.....</u>	24
5.1	Inleiding.....	24
5.2	Model OSTRAN.....	24
5.3	Waterbeweging.....	25
5.4	Zandlast.....	26
5.5	Resultaten.....	29
5.6	Conclusies.....	30
6	<u>Evaluatie en aanbevelingen.....</u>	31
6.1	Evaluatie.....	31
6.2	Aanbevelingen.....	32

LITERATUUR

APPENDIX

TABELLEN

- 1 Afslag boven stormvloedpeil in m^3/m^1 voor de Scheldegootmetingen
- 2 Overzicht concentratiemetingen Scheldegoot
- 3 Snelheidsmetingen Scheldegoot
- 4 Golfhoogtemetingen Scheldegoot
- 5 Overzicht concentratiemetingen Deltagoot
- 6 Geaccumuleerde transporten Scheldegootverticalen
- 7 Transportberekeningen verticaal S-1 ($x = 44,30 \text{ m}$)
- 8 Transportberekeningen verticaal S-2 ($x = 42,87 \text{ m}$)
- 9 Transportberekeningen verticaal S-3 ($x = 39,50 \text{ m}$)
- 10 Transportberekeningen verticaal S-4 ($x = 43,60 \text{ m}$)
- 11 Transportberekeningen verticaal S-5 ($x = 41,20 \text{ m}$)
- 12 Geaccumuleerde transporten Deltagootverticalen
- 13 Transportberekeningen verticalen D1-1 t/m 3
- 14 Transportberekeningen verticalen D2-1 t/m 3

FIGUREN

1	Geschematiseerd kustprofiel, referentieprofiel
2	Dwarsprofiel Scheldegootproef T04, overzicht
3	" " T04, detail
4	" " T15, overzicht
5	" " T15, detail
6	" " T16, overzicht
7	" " T16, detail
8	" " T17, overzicht
9	" " T17, detail
10	" " T18, overzicht
11	" " T18, detail
12	" " T19, overzicht
13	" " T19, detail
14	" " T20, overzicht
15	" " T20, detail
16	Afzuigapparaat voor het nemen van water-zand monsters
17 t/m 35	Concentratiemetingen Scheldegoot
36	Scheldegoot verticaal S-1
37	Scheldegoot verticaal S-2
38	Scheldegoot verticaal S-3
39	Scheldegoot verticaal S-4 en 5
40	Profieltransport per verticaal (Scheldegoot)
41	Snelheids- en waterdiepteverloop; Verticaal S-1
42	Snelheids- en waterdiepteverloop; Verticaal S-2
43	Snelheidsprofielen; Verticaal S-2
	a) v_r als functie van z
	b) v_r als functie van d
44	Snelheids- en waterdiepteverloop; Verticaal S-3
45	Gemiddelde snelheidsprofielen; Verticaal S-3
46	Circulatiedebiet als functie van de waterdiepte voor de Scheldegootverticalen
47 a	Overzicht profieltransporten Scheldegoot
b	Vergelijking profieltransport en concentratietransport; Verticaal S-1
48 a	idem; Verticaal S-2
b	idem; Verticaal S-3
49 a	idem; Verticaal S-4
b	idem; Verticaal S-5

FIGUREN (vervolg)

- 50 Overzicht transporten Scheldegootverticalen
- 51 Deltagoot; Verticaal D1-1 t/m 3
- 52 Deltagoot; Verticaal D2-1 t/m 3
- 53 Profieltransport per verticaal in de Deltagoot
- 54 Relatie tussen v_r en d voor de Deltagootverticalen
- 55 a Vergelijking profieltransport en concentratietransport; D1-1
- b Vergelijking profieltransport en concentratietransport; D1-3
- 56 a Vergelijking profieltransport en concentratietransport; D2-1
- b Vergelijking profieltransport en concentratietransport; D2-2
- 57 Golfhoogte en snelheidsveld, metingen en berekeningen (0,3 - 1,0 h)
- 58 Golfhoogte en snelheidsveld, metingen en berekeningen (1,0 - 3,0 h)
- 59 Golfhoogte en snelheidsveld, metingen en berekeningen (3,0 - 6,0 h)
- 60 Golfhoogte en snelheidsveld, metingen en berekeningen (6,0 - 10,0 h)
- 61 Profielontwikkeling metingen
- 62 Profielontwikkeling berekening; $L_s \sim \partial \text{Enc} / \partial x$
- 63 Profielontwikkeling berekening; $L_s \sim \partial \text{Enc} / d \partial x$

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

In de afgelopen jaren is uitgebreid onderzoek in schaalmodellen verricht naar de duinafslag tijdens stormvloeden. Op basis van de resultaten van dit onderzoek is een rekenmodel ontwikkeld, waarmee voor een gegeven kustprofiel en gegeven hydraulische en sedimentologische randvoorwaarden de te verwachten duinafslag is te bepalen [4].

Dit rekenmodel, dat een onderdeel vormt van de "Leidraad voor de beoordeling van duinen als waterkering", is echter alleen toegestaan voor betrekkelijk rechte kusten met een onverdedigd duin. Voor kustvakken met een sterke kromming, zoals bij de koppen van eilanden, en/of een onderbreking van het strand- of duinprofiel, moet rekening worden gehouden met extra duinafslag als gevolg van gradiënten in het langstransport [6].

Voor de berekening van de extra duinafslag tijdens de duur van de stormvloed dient het langstransport als functie van de plaats en de tijd bekend te zijn. Uit een vooronderzoek is gebleken dat het langstransport tijdens duinafslag condities een orde groter is dan onder "normale" condities [5]. Metingen in modellen hebben namelijk aangetoond dat de zandconcentratie, en daarmee dus ook het langstransport, direct samenhangt met de mate van dwarsprofielverandering. Wanneer de waterstand en de golfcondities sterk afwijken van de normale condities treden dwarsprofielveranderingen op die gepaard gaan met hogere zandconcentraties en dus met grotere langstransporten.

Deze samenhang tussen het dwarstransport en het langstransport wordt met de huidige langstransportformules in het geheel niet beschreven. Om te komen tot een redelijk betrouwbare berekeningsmethode van duinafslag bij kustvakken met een gradiënt in het langstransport is het daarom vereist nader onderzoek te verrichten naar het proces van het dwarstransport tijdens duinafslag [5].

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen van Rijkswaterstaat op initiatief en onder begeleiding van Werkgroep 5 "Duinen als Waterkering" van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van metingen die in de periode 1980 tot 1982 werden uitgevoerd. De analyse van de metingen is uitgevoerd door ir. P. Vellinga en ir. H.J. Steetzel, welke laatste tezamen met ir. R. Reinalda het rapport heeft opgesteld.

1.2 Aanpak van het onderzoek

Tijdens de duinafslagproeven in de Scheldegoot [2] en de Deltagoot [3] in de periode 1980 tot 1982 zijn naast de peilingen van het kustprofiel, in verschillende raaien metingen verricht naar de waterbeweging en de zandconcentraties. Deze metingen zijn geïnventariseerd en geanalyseerd teneinde tot een beschrijving te komen van de grootte en de verdeling over de hoogte van de resulterende stromingen dwars op de kust en van de zandconcentraties. Vervolgens is het dwarstransport berekend als het product van het tijdsgemiddelde snelheidsveld en het tijdsgemiddelde concentratieveld. De resultaten hiervan zijn vergeleken met de dwarstransporten zoals die kunnen worden berekend uit de gemeten profielveranderingen.

Tot slot is een eerste versie van een tijdsafhankelijk dwarstransportmodel ontwikkeld, waarmee het verloop van de zandconcentraties in het dwarsprofiel kan worden vastgesteld. Met de bekende methoden voor de berekening van de langsstroom is het hiermee in principe mogelijk de langstransporten te berekenen.

1.3 Resultaten en conclusies

Uit het onderzoek komt naar voren dat het zinvol is voor het dwarstransportproces tijdens duinafslag twee gebieden te onderscheiden. De grens tussen deze twee gebieden is niet scherp, maar ligt op een relatief kleine waterdiepte. Het kenmerkende van het zeewaartse gebied is dat hierin het dwarstransport in significante mate beheerst blijkt te worden door het suspensietransport dat beschreven kan worden als het product van tijdsgemiddelde snelheids- en tijdsgemiddelde concentratieveld. In het landwaartse gebied, dat ook het duin omvat waarvan het afgeslagen zand afkomstig is, gaat de genoemde beschrijving van het dwarstransport niet op.

Het onderzoek heeft zich tot nu toe beperkt tot het zeewaartse gebied, en dit geldt eveneens voor de gepresenteerde eerste versie van de dwarstransportmodellerings. Dit model is opgebouwd uit twee componenten, namelijk de retourstroomsnelheid en de zandlast, dit is de hoeveelheid zand in suspensie. De modellerings van de retourstroomsnelheid is relatief het meest betrouwbaar. De hoeveelheid zand in suspensie, alsmede de invloed van de verdeling van de zandconcentratie en de snelheden over de hoogte op het dwarstransport, zijn vooralsnog minder goed bekend.

Aangezien er goede perspectieven zijn om tot een bevredigende dwarstransport-modellering te komen is nader onderzoek naar concentratieverdelingen in plaats en tijd zeer zinvol.

2 Meetgegevens

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn alle relevante meetgegevens van reeds uitgevoerde proeven, welke bruikbaar zijn voor nadere analyse van het dwarstransport, bijeengebracht.

Onder bruikbaar wordt in dit verband verstaan dat er, bij voorkeur simultane metingen bekend zijn over profielontwikkeling, snelheids- en concentratieveld, zo mogelijk nog aangevuld met golfhoogtemetingen.

Metingen die aan dit criterium voldoen zijn uitgevoerd tijdens duinafslagproeven in de Scheldegoot- en de Deltagoot. De Scheldegootmetingen betreffen enkele van de in het kader van M1819 [2] uitgevoerde duinafslagproeven. De Deltagootmetingen zijn uitgevoerd ten behoeve van M1263-III [3].

De gegevens van de Scheldegootproeven zijn onverkort in dit verslag opgenomen (eerste publicatie). Ter voorkoming van onevenredig veel doublures zal voor de metingen in de Deltagoot soms worden verwezen naar de oorspronkelijke publicatie [3].

2.2 Scheldegootmetingen

2.2.1 Algemeen

Tijdens het systematisch onderzoek naar kenmerkende factoren voor duinafslag [2] werd voor 29 situaties de hoeveelheid duinafslag bepaald. Als aanvulling voor later onderzoek werden tijdens vier van deze proeven concentratie- en snelheidsmetingen uitgevoerd.

Het betreft hier de proeven T16 t/m T19, behorend tot een serie van 7 proeven. Deze 7 proeven, aangeduid met T04 en T15 t/m T20, zijn alle uitgevoerd onder nagenoeg gelijke omstandigheden en kunnen als identiek worden aangemerkt.

2.2.2 Profielontwikkeling

De gepeilde profielen zijn gegeven in Fig. 2 t/m 15. Voor iedere proef zijn er twee figuren. In de eerste figuur is voor de tijdstippen 0,0 uur, 1,0 uur en 6,0 uur de gehele profieldoorsnede afgebeeld. De tweede figuur geeft, voor alle gemeten tijdstippen, het profielgedeelte rond de waterlijn.

In Tabel 1 is de cumulatieve afslaghoeveelheid gegeven als functie van het tijdstip van meting. De relatieve spreiding in het afslagresultaat is, zeker op den lange duur, erg klein.

2.2.3 Snelheden

De snelheidsmetingen zijn uitgevoerd met behulp van een akoestische zandtransportmeter (AZTM).

Deze meter is gebaseerd op het Dopplereffect en bestaat uit een zender en een ontvanger. De door de zender uitgezonden geluidsgolven worden, na reflectie tegen bewegende deeltjes, door de ontvanger geregistreerd. De hierbij optredende faseverschuiving is een maat voor de snelheid van de waterdeeltjes.

De snelheidsmetingen zijn steeds gecombineerd met de concentratiemetingen wat betreft tijd en positie t.o.v. het golfschot. Het niveau van de snelheidsmeting werd in stapjes over de verticaal gevarieerd.

Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten van de uitgevoerde snelheidsmetingen.

2.2.4 Concentraties

De zandconcentraties zijn bepaald door middel van dwarse afzuiging. Door buisjes met een opening van 3 mm werd in de richting loodrecht op het orbitaalvlak water aangezogen met een intreesnelheid van circa 0,8 m/s. In de verticaal werd zo, gedurende gemiddeld $2\frac{1}{2}$ minuut, op maximaal zes posities tegelijk afgezogen. Fig 16 geeft een afbeelding van het gebruikte afzuigapparaat.

De uiteindelijke zandconcentratie per afzuigpunt werd, via ijkfactoren, bepaald uit de afgezogen hoeveelheid water en de hoeveelheid bezonken sediment [1].

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde concentratiemetingen. Fig. 17 t/m 35 geven de concentratieverticalen.

2.2.5 Golfhoogten

Metingen betreffende de golfeigenschappen zijn slechts uitgevoerd tijdens proef T04. De resultaten hiervan zijn gegeven in Tabel 4.

2.3 Deltagootmetingen

2.3.1 Algemeen

Ten behoeve van het onderzoek naar schaalrelaties voor duinafslag zijn er proeven op grote schaal uitgevoerd in de Deltagoot [3].

Tabel 5 geeft een overzicht van de uitgevoerde concentratiemetingen.

2.3.2 Profielontwikkeling

De gepeilde profielen zijn weergegeven in Fig. 18 t/m 27 in [3]. Voor elke proef is er zowel een profiel over de gehele lengte als van het gedeelte nabij de waterlijn gegeven.

2.3.3 Snelheden

Voor de snelheidsmetingen in de Deltagoot is dezelfde methode gevolgd als beschreven in Hfdst. 2.2.3.

In totaal zijn er circa 200 snelheidsmetingen uitgevoerd van ongeveer 3 minuten. In tabel 5 in [3] is een overzicht gegeven van de resultaten.

2.3.4 Concentraties

De zandconcentraties zijn bepaald door middel van dwarse afzuiging. Fig. 77 in [3] geeft de meetopstelling, welke bestaat uit zes zuigmondjes met een opening van 6 mm. in het vlak van de orbitaalbeweging. Met behulp van zes pompjes werd het zand/watermengsel van elke afzuigopening in zes verschillende jerrycans gepompt. Per meting van ongeveer 2½ minuut werd 15 à 20 liter mengsel afgezogen. Voor het bepalen van de zandconcentratie werd de inhoud van de jerrycan in een sedimentatieapparaat gegoten (Fig. 78 in [3]). De totale hoeveelheid zand in het afgezogen monster werd gemeten in een verzamelglas om via een gelijke bewerking te worden herleid naar daadwerkelijke concentratie in mg/l [1].

In Tabel 6 in [3] is een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen. De concentratieverticalen zijn gegeven in Fig. 79 t/m 119 in [3].

Mede als gevolg van een (te) korte afzuigtijd is de spreiding erg groot. Voor een golfperiode van ongeveer 5s wordt er immers slechts gemiddeld over circa 30 golven.

Tenslotte moet niet worden uitgesloten dat de gemeten concentraties boven in de verticaal, door af en toe optredende luchtinsluitingen, minder betrouwbaar zijn.

2.3.5 Golfhoogten

De golfhoogte tijdens de proeven is op verschillende plaatsen in de goot gemeten. Hierbij zijn drie golfhoogtemeters toegepast, waarvan twee van het type wateroppervlaktevolger en een derde van het type akoestische golfhoogtemeter. De resultaten van de golfregistraties zijn herleid tot een aantal representatieve grootheden, welke zijn gegeven in Tabel 4 in [3].

3 Dwarstransportproces

3.1 Algemeen

Bij het tot nu toe verrichte onderzoek naar de duinafslag is slechts weinig aandacht besteed aan de processen die hierbij een rol spelen. Het onderzoek was vrijwel geheel gericht op de analyse van profielmetingen in schaalmodellen, op grond waarvan eenvoudige empirische schaalrelaties zijn afgeleid, die toegepast kunnen worden om de duinafslag onder prototype omstandigheden te bepalen. Omtrent de wijze waarop het van het duin afgeslagen zand in zeewaartse richting wordt getransporteerd zijn verschillende ideeën geopperd, zoals zettingsvloeiing, "sheet flow" en suspensietransport. In de loop van het onderzoek werd duidelijk dat het suspensietransport van groot belang is, met name nadat was aangetoond dat de invloed van de korrelgrootte op het proces goed omschreven kon worden met de dimensieloze valsnelheid-parameter H/Tw [3]. Verder is door het Waterloopkundig Laboratorium het wiskundig model OSTRAN ontwikkeld, waarmee het zeewaarts zandtransport onder brekende golven wordt berekend [7]. Dit model is gebaseerd op de aanname dat het transport goed kan worden benaderd door het product van de retourstroomsnelheid en de hoeveelheid zand in suspensie, beide onder het niveau van de golfdalen. Met het model is het mogelijk gebleken de waargenomen, tamelijk langzame profielveranderingen in schaalmodellen als gevolg van zeewaarts transport onder brekende golven te berekenen, waaruit geconcludeerd kan worden dat het uitgangspunt van het model bruikbaar is. Voor kustprofielen die tijdens een stormvloed in korte tijd sterk wijzigen is het echter niet zeker dat het model in een dergelijke situatie zonder meer toepasbaar is. Met name zal in een dergelijke situatie de beschrijving van de verdeling en de grootte van de zandconcentraties wijziging behoeven. Daartoe zullen in het onderhavige onderzoek, de beschikbare metingen met betrekking tot de waterbeweging, de zandconcentraties en de dwarstransporten nader worden geanalyseerd.

3.2 Theorie

Het dwarstransport S als functie van plaats en tijd (x, t) volgt uit het product van snelheidsveld $u(x, z, t)$ en concentratieveld $C(x, z, t)$, volgens:

$$S(x,t) = \overline{\int_{d(x,t)} u(x,z,t) \cdot c(x,z,t) dz}, \quad (1)$$

waarin d de instantane diepte en de overstreping de middeling in de tijd is.

Hierbij moet overigens worden opgemerkt dat in verg. (1) al gebruik gemaakt is van de veronderstelling dat de snelheid van de korrels gelijk is aan die van de waterdeeltjes. Voor korrels met $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ geldt dat bij een oscillerende waterbeweging de korrels iets achterlopen op de waterbeweging $\Delta t \sim D^2$. De tijdmiddeling in verg. (1) heeft betrekking op middeling over meerdere perioden van de waterbeweging. De tijdsinvloed die aanwezig blijft heeft betrekking op de meer grootschalige veranderingen in de tijd en niet meer op de uitgemiddelde fluctuaties.

Uitgaande van dit verband volgt het transport in een bepaalde verticaal en op een bepaald tijdstip uit:

$$S = \overline{\int_d u(z,t) \cdot C(z,t) dz}, \quad (2)$$

waarin t betrekking heeft op de fluctuaties in de tijd.

Uitvoeren van de tijdsmiddeling over meerdere perioden (uitmiddelen van de fluctuaties) betekent:

$$S = \int_{d'} \overline{u(z,t) \cdot C(z,t)} dz \quad (3)$$

waarin d' een gemiddelde waterdiepte is.

Het gemiddelde produkt van $u(z,t)$ en $C(z,t)$ is in benadering gelijk aan het produkt van de gemiddelde waarde van $u(z,t)$ en van $C(z,t)$. Voorwaarde is echter dat voor:

$$u = \bar{u} + u' \text{ en } C = \bar{C} + C'$$

moet gelden:

$$\overline{u' C'} \ll \bar{u} \cdot \bar{C} \quad (4)$$

Als de correlatie tussen snelheidsfluctuatie en concentratiefluctuatie gering is, is de bijdrage $\overline{u'C'}$ verwaarloosbaar. Het resulterende transport, als gevolg van de oscillerende waterbeweging is ondergeschikt aan het transport door de netto retourstroom.

Bij afwezigheid van een correlatie geldt:

$$S = \int_{d'} \overline{u(z,t)} \cdot \overline{C(z,t)} dz = \int_{d'} \overline{u(z)} \cdot \overline{C(z)} dz \quad (5)$$

De gemiddelde snelheid $\overline{u}(z)$ is in het vervolg van dit verslag aangeduid met $v(z)$. De overstreping bij de concentraties is weggelaten; de door afzuiging gemeten concentraties zijn al tijdsgemiddeld.

Het transport is te berekenen uit:

$$S = \int_{d'} v(z) \cdot C(z) \cdot dz \quad (6)$$

waarin: S het gemiddelde transport
 $v(z)$ het gemiddelde snelheidsprofiel
 $C(z)$ het gemiddelde concentratieprofiel
 d' een gemiddelde waterdiepte.

Verg. (6) vormt het (voorlopig) uitgangspunt voor de transportafschatting uit gemiddeld snelheids- en concentratieveld.

Vooruitlopend op het vervolg van deze studie is de laatstgegeven relatie nog verder te vereenvoudigen, mits er aan twee voorwaarden wordt voldaan:

- . De concentraties vlak boven de bodem zijn relatief gezien dermate groot, dat het significante deel van het gesuspendeerde sediment zich vlak boven de bodem bevindt.
- . De gemiddelde snelheid v is vlak boven de bodem in goede benadering uniform over de hoogte verdeeld (retourstroomsnelheid v_r).

In dit geval geldt bij benadering:

$$S = \int_{d'} v(z) \cdot C(z) dz = v_r \cdot \int_{d'} C(z) dz = v_r \cdot L_s \quad (7)$$

Niet voldoen aan de voorwaarden maakt dat het verband volgens verg. (7) niet geldig is als benadering. Er moet een reductiefactor K_1 worden toegevoegd. Deze reductie kan ook worden ingebracht door voor het transport het begrip effectieve zandlast (L_s^*) te introduceren:

$$S = v_r \cdot L_s^* = v_r \cdot K_1 \cdot L_s \quad (\text{kg/ms}) \quad (8)$$

waarin:

L_s^* : de voor het transport karakteristieke zandlast,

K_1 : de reductie factor voor de aanwezige zandlast ($K_1 = L_s^*/L_s$) met
 $0 < K_1 < 1$.

Af te leiden is dat voor de reductiefactor K_1 geldt:

$$K_1 = \frac{\int v(z) \cdot C(z) dz}{v_r \cdot L_s} \quad (9)$$

en afhangt van de verdeling van de snelheid en de concentratie over de hoogte.

Voldoen aan de voorwaarden geldend voor verg. (7) betekent dat $K_1 = 1$, zodat

$$L_s^* \approx L_s, \text{ ofwel } S = v_r \cdot L_s.$$

Bij een steile, nagenoeg verticale concentratieverticaal, zal er evenveel transport in zeewaartse als in landwaartse richting zijn, zodat $K_1 \approx 0$ ofwel $S \approx 0$.

Uitgaan van verg. (7) lijkt correct voor een heftige waterbeweging in relatief diep water. In geval van ondiep water (in/op het strand) en bij zeer geringe concentraties lijkt de invloed van de correlatie tussen snelheid en concentratie niet meer verwaarloosbaar. Asymmetrie van de waterbeweging in combinatie met genoemde factoren lijkt verantwoordelijk voor het onder gematigde omstandigheden optredende landwaarts transport. Verdere studies in deze richting zijn zinvol.

4 Analyse meetresultaten

4.1 Inleiding

Ter verificatie van de hypothese dat het dwarstransport tijdens duinafslag kan worden berekend met verg. (6)

$$S = \int_{d'} v(z).C(z)dz \quad (6)$$

zijn diverse metingen geanalyseerd. De aldus berekende transporten uit de waterdiepte, stroomsnelheid en zandconcentratie zijn getoetst aan de dwarstransporten berekend uit de gemeten profielveranderingen.

Het transport uit de profielveranderingen is berekend met behulp van een programma dat uit de, op verschillende tijdstippen uitgevoerde, peilingen het geaccumuleerde transport voor een bepaalde doorsnede berekent. Uit het verloop van het geaccumuleerde transport als functie van de tijd werd het tijdsgemiddelde transport per tijdsinterval bepaald.

Voor de berekening van het dwarstransport volgens verg. (6) is informatie nodig omtrent:

- de waterdiepte d ;
- het snelheidsprofiel $v(z)$;
- het concentratieprofiel $C(z)$.

Deze informatie is ontleend aan de metingen zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Omdat de metingen in de Scheldegoot van een betere kwaliteit zijn dan die in de Deltagoot, zijn eerst een aantal metingen in de Scheldegoot geselecteerd en geanalyseerd. De informatie die uit deze analyse werd verkregen is toegepast bij de analyse van de Deltagootmetingen.

Zoals vermeld worden de op beide wijzen berekende transporten met elkaar vergeleken ter verificatie van de hypothese dat het dwarstransport kan worden beschreven met verg. (6). De vraag doet zich hierbij voor in hoeverre de transporten met elkaar overeen moeten komen om te besluiten dat een hypothese juist is. Daartoe kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

In 3.2 is reeds beschreven dat in relatief ondiep water, dat wil zeggen dicht bij het duin, met verg. (6) het dwarstransport minder goed zal worden beschreven.

Verder zijn de beide transporten tijdsgemiddelde waarden, maar de tijd van middeling is sterk verschillend. In geval van de uit de profielen afkomstige waarden is de tijd van middeling gelijk aan het tijdsinterval tussen twee peilingen, dat is orde van tientallen minuten tot enkele uren. Voor de transporten uit de snelheden en concentraties is de middelingstijd gelijk aan de duur van de metingen, dat is orde van enkele minuten. Deze korte middelings-tijd veroorzaakt een relatief grote spreiding in de uitkomsten, en bij het trekken van conclusies ten aanzien van een mogelijke overeenkomst tussen de op beide wijzen berekende transporten zullen deze gebaseerd moeten zijn op het gemiddelde verloop van de transporten berekend uit de snelheden en concentraties.

Samenvattend moet gesteld worden dat de juistheid van de hypothese onderschreven kan worden als de orde van grootte van de transporten overeenkomt en de trend in plaats en tijd juist wordt weergegeven.

Wordt aan dit criterium voldaan, dan is de hypothese in ieder geval geen geweld aangedaan en is de gehanteerde benaderingswijze bruikbaar.

4.2 Scheldegootmetingen

4.2.1 Algemeen

Zoals vermeld in 2.2.1 zijn in de Scheldegoot 7 nagenoeg identieke proeven uitgevoerd. Hiervan zijn in 3 proeven (T16, T17, T18) in 3 verticalen simultaan snelheden en concentraties gemeten, terwijl in proef T19 in 2 verticalen alleen concentraties zijn gemeten. In alle 5 verticalen aangeduid met S-1 t/m S-5, is uit de profielmetingen het verloop van het dwarstransport bekend. In de Figuren 36 t/m 39 zijn de posities van de verticalen gegeven, terwijl in onderstaande tabel een overzicht is gegeven van de geanalyseerde verticalen.

Code	Proef	Afstand tot golfschot	Snelheden	Concentraties
S-1	T17	44,30 m	+	+
S-2	T16	42,87 m	+	+
S-3	T18	39,50 m	+	+
S-4	T19	43,60 m	-	+
S-5	T19	41,20 m	-	+

4.2.2 Transport uit profielontwikkeling

Uit de gemeten profielveranderingen zijn de geaccumuleerde transporten berekend in de verticalen S-1 t/m S-5 op de tijdstippen dat de peilingen zijn uitgevoerd. De resultaten zijn vermeld in Tabel 6. Uit deze geaccumuleerde transporten zijn de tijdsgemiddelde transporten per tijdsinterval berekend (zie Fig. 40). Zoals verwacht mocht worden nemen de transporten sterk af in de tijd en met de afstand tot het duin.

4.2.3 Transport uit snelheids- en concentratieveld

In 4.1. is reeds vermeld dat voor de berekening van het transport informatie nodig is van:

- de waterdiepte d ;
- het snelheidsprofiel $v(z)$;
- het concentratieprofiel $C(z)$.

In de volgende paragrafen worden deze parameters nader onderzocht.

4.2.3.1 Waterdiepte

De lokale waterdiepte beneden het stilwaterniveau volgt uit de peilingen als gegeven in Fig. 36 t/m 39. Het verloop van de waterdiepte in de verticalen S-1 t/m S-3 is gegeven in Fig. 41, 42 en 43.

Als gevolg van de afslag van zand van het duin neemt de waterdiepte op de vooroever veelal af in de tijd.

4.2.3.2 Snelheidsprofiel

Snelheidsmetingen zijn uitgevoerd in de verticalen S-1 t/m S-3. De metingen zijn verricht op verschillende tijdstippen en op verschillende niveau's met het laagste meetpunt op 3,3 cm boven de bodem. Gewoonlijk was de meetduur in elk punt 3 minuten, maar in verticaal S-1 zijn langere meetduren toegepast, tot 1 uur. De resultaten van de metingen zijn gegeven in de Figuren 41, 42 en 43.

Bij de analyse van de metingen is de nadruk gelegd op twee aspecten, te weten:

- de grootte van de snelheden;
- de vorm van het snelheidsprofiel.

Het eerste aspect is met name van belang voor de grootte van de transporten en het verloop daarvan in plaats en tijd. Het tweede aspect speelt een grote rol in de uit te voeren integratie van verg. (6).

Uit de Figuren 41, 42 en 43, waarin de waterdiepten beneden stilwaterniveau en de tijdsgemiddelde snelheden zijn uitgezet, blijkt dat er een relatie bestaat tussen deze twee grootheden. Een afname van de waterdiepte gaat gepaard met een toename van de snelheid. Deze tendens is ook waar te nemen in Fig. 44b, waarin een aantal snelheidsprofielen gemeten in verticaal S-2 zijn weergegeven. Tijdens het verloop van de proef komt het bodemniveau omhoog, terwijl tegelijkertijd de snelheid toeneemt. Om dit aspect nader te onderzoeken is het product

$$q_c = d.v \quad (10)$$

berekend, waarin

d = waterdiepte beneden stilwaterniveau;

v = over de verticaal gemiddelde zeewaartse stroomsnelheid.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 46, en het blijkt dat de waarde van q_c in redelijke benadering constant is, behalve in verticaal S-1 dichtbij de waterlijn. Fysisch gezien betekent dit, dat er sprake lijkt te zijn van een soort golfgedreven circulatiedebiet. Door de brekende golven wordt er kennelijk een min of meer constant debiet in landwaartse richting opgewekt, welke wordt gecompenseerd door een zeewaarts debiet dicht bij de bodem. In de omgeving van de waterlijn vindt er een overgang plaats tussen deze debieten.

De waarde van q_c zal niet geheel overeenkomen met het circulatiedebiet, omdat de toegepaste waarde voor de gemiddelde snelheid niet geldt voor de gehele waterdiepte onder stilwaterniveau. Nabij de bodem zullen de zeewaarts gerichte stroomsnelheden geringer zijn, terwijl op stilwaterniveau de gemiddelde snelheden mogelijk zelfs al landwaarts gericht zijn.

Een directe toepassing van de relatie $q_c = v.d = \text{constant}$, is dat de niet gemeten gemiddelde snelheden in de verticalen S-4 en S-5 alsnog hiermee kunnen worden berekend.

Over de vorm van het snelheidsprofiel geeft verticaal S-1 nauwelijks informatie. De verticalen S-2 (Fig. 44a) en S-3 (Fig. 45) tonen aan dat de verdeling van de gemiddelde zeewaartse snelheid over de hoogte vrij uniform is, behalve hogerop in de verticaal waar de snelheden afnemen. Onderin de verticaal

($z < 3,3$ cm) zijn geen metingen verricht, maar verwacht mag worden, dat nabij de bodem de snelheden sterk afnemen. Voor de transportberekeningen wordt echter verondersteld dat in dit gebied de snelheden ook in goede benadering uniform over de hoogte zijn.

De mate waarin de overschatting van de snelheden bij de bodem ($z = 0$) tot uitdrukking komt in de transporten is mede afhankelijk van de eveneens onbekende zandconcentraties in de bodemlaag. De aanname van een uniforme snelheidsverdeling ter hoogte van het stilwaterniveau ($z = d$) is voor het zeewaartse transport van minder belang. Het grootste deel van dit transport vindt immers op lagere niveau's plaats.

Wanneer wordt uitgegaan van een uniform snelheidsprofiel onder stilwaterniveau, dan moet er in een tijdsgemiddelde evenwichtssituatie voldaan worden aan de continuïteitsvoorwaarde:

$$\int_{z=0}^d v \, dz + \int_{z=d}^{n'} v(z) \, dz = 0$$

De eerste term heeft betrekking op het zeewaartse debiet onder stilwaterniveau, de tweede term op het landwaartse debiet boven stilwaterniveau. De componenten van de tweede term zijn onbekend, maar de grootte van de integraal is:

$$\int_{z=d}^{n'} v(z) \, dz = - \int_{z=0}^d v \, dz = -d \cdot v = -q_c \quad (11)$$

Onder het stilwaterniveau is sprake van een uniform verdeelde stroomsnelheid die zeewaarts zandtransport oplevert. Boven het stilwaterniveau treedt een landwaarts transport op. Het niet kennen van de snelheidsverdeling boven het stilwaterniveau is voor de berekening van het landwaartse transport niet ernstig. Door de brekende golven zal de concentratieverdeling vrij uniform zijn, waardoor het landwaartse transport goed benaderd kan worden met:

$$S_1 = \int_{z=d}^{n'} v(z) \cdot C(z) \cdot dz = C_d \cdot \int_{z=d}^{n'} v(z) \, dz = -C_d \cdot q_c \quad (12)$$

waarin C_d = karakteristieke concentratie op het niveau $z = d$.

4.2.3.3 Concentratieprofiel

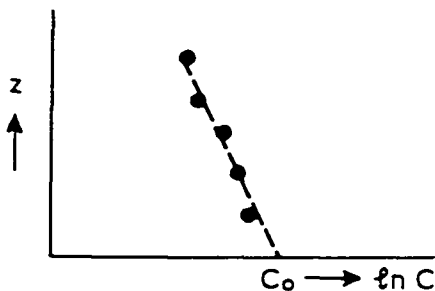
Concentratiemetingen zijn verricht in de verticalen S-1 t/m S-5. Veelal kan het concentratieprofiel redelijk worden beschreven met een enkelvoudig exponentieel verband

$$C(z) = C_0 \cdot \exp.(-z/r_c) \quad (13)$$

waarin :

C_0 = de concentratie op het referentieniveau $z = 0$;

r_c = de concentratie afnamelengte.



Door middel van regressie-analyse kunnen de waarden van C_0 en r_c worden bepaald. Daarmee is tevens de waarde van C_d in Verg. (12) bekend, n.l.

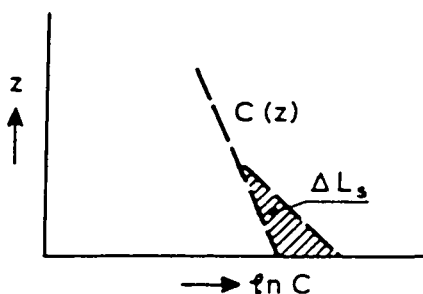
$$C_d = C_0 \cdot \exp (-d/r_c) \quad (14)$$

Verder is de hoeveelheid zand in suspensie beneden het stilwaterniveau

$$L_s = \int_{z=0}^d C(z) dz = r_c (C_0 - C_d) \quad (15)$$

Dichtbij de duinvoet in verticaal S-1 lijkt het enkelvoudig exponentieel verband volgens verg. (13) redelijk te voldoen, maar in de verticalen verder zee- waarts treden afwijkingen op. De invloed van de aan de bodemgeometrie gerelateerde wervels op het suspensiemechanisme tekent zich hier af, waardoor nabij de bodem een laag met relatief hoge concentraties optreedt.

Door het negeren van deze verhoging van de concentraties in de bodemlaag wordt de hoeveelheid zand in suspensie onderschat en daarmee tevens de transporten. Daarom is naast de waarde van L_s volgens verg. (15) tevens de waarde van een extra ΔL_s bepaald.



ΔL_s is berekend door een lijn door de onderste twee meetpunten te trekken en deze te laten snijden met het verband voor $C(z)$ en vervolgens het ingesloten oppervlak te integreren. Het totaal aan gesuspendeerd zand onder het stilwaterniveau is dan:

$$L_{s,tot} = L_s + \Delta L_s \quad (16)$$

4.2.3.4 Transportberekening

Het totale dwarstransport bestaat uit een zeewaarts gericht transport S_z en een landwaarts gericht transport S_1 :

$$S = S_z - S_1 = v \cdot L_s - q_c \cdot C_d \quad (17)$$

waarin:

v = de uniforme snelheid voor $0 < z < d$,

L_s = het gesuspendeerde sediment voor $0 < z < d$ (zie verg. (15)),

q_c = het circulatiedebiet = $v \cdot d$ (zie verg. (11)),

C_d = de concentratie op stilwaterniveau $z = d$ (zie verg. (14)).

In geval van een twee-lagen systeem moet voor de berekening van S_z nog rekening worden gehouden met ΔL_s , zodat

$$S_z = v(L_s + \Delta L_s) \quad (18)$$

Voor een vergelijking van de op bovenbeschreven wijze berekende transporten in kg/m.s met die berekend uit de profielveranderingen in $m^3/m.s$ moet nog een omrekening plaatsvinden. Daartoe kan verg. (17) worden geschreven als:

$$S = \frac{1}{\rho_s} (v \cdot L_s - q_c \cdot C_d) \quad (19)$$

waarin $\rho_s = 1670 \text{ kg/m}^3$ is de dichtheid van het afgezette sediment.

De resultaten van de berekeningen staan vermeld in Tabel 9 t/m 13.

Om meer inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de diverse parameters is in de Appendix de benadering van het dwarstransport volgens Verg (17) verder uitgewerkt.

4.2.4 Vergelijking van transporten

Zowel de transporten uit de profielveranderingen als die uit de snelheids- en concentratiemetingen zijn nu bekend. Omdat de laatstgenoemde transporten veelal alleen betrekking hebben op de eerste twee uren van de proeven wordt de aandacht beperkt tot dat tijdsinterval.

De figuren 47, 48 en 49 geven het transportverloop voor de vijf verticalen zoals dit volgt uit de profielveranderingen. De verbindingslijnen tussen de meetpunten mogen hierbij natuurlijk niet als een gegeven worden beschouwd; samen met de meetpunten geven zij slechts een indruk van het kwantitatieve verloop van de transporten.

Tevens zijn in de figuren 47, 48 en 49 de transporten gegeven die volgen uit de snelheden en de concentraties. De concentratietransporten zijn voorgesteld door o-symbolen; voor een twee-lagensysteem door een dicht o-symbool.

Verticaal S1 in fig. 47 laat zien dat zowel de orde van grootte als de trend in redelijke benadering gelijk is. Deze conclusie is eveneens van toepassing op de andere verticalen.

Fig. 50 geeft een kwalitatief beter beeld van de overeenkomst tussen de transporten. De transporten zijn hier uitgezet op een logaritmische schaal waardoor de relatieve verschillen genormeerd zijn. Ongeacht de grootte van het transport wordt eenzelfde relatieve afwijking weergegeven door een gelijk interval. De spreiding is veelal kleiner dan een factor 2, ongeacht de grootte van het transport.

Op basis van de analyse van de metingen in de Scheldegoot mag worden geconcludeerd dat de benadering van Verg. (6), welke geleid heeft tot Verg. (17) bruikbaar is voor de berekening van het transport dwars op de kust.

4.3 Deltagootmetingen

4.3.1 Algemeen

De resultaten van met name de concentratiemetingen in de Deltagoot zijn veel minder goed bruikbaar dan die van de metingen in de Scheldegoot. Dit is te wijten aan de te korte tijd van afzuigen.

Om toch tot redelijk betrouwbare waarden van het transport uit de gemeten snelheden en concentraties te komen, is gebruik gemaakt van de in de Appendix gegeven benaderingswijze voor de berekening van dit transport.

Tijdens de proeven in de Deltagoot zijn in diverse raaien snelheden en concentraties gemeten. Voor de analyse zijn een aantal metingen geselecteerd (in afslaggebied en met simultaan gemeten snelheden en concentraties), die zijn uitgevoerd tijdens de proeven T1 en T2. De posities van de verticalen, die aangeduid zijn met D1-1 t/m D1-3 en D2-1 t/m D2-3, zijn aangegeven in de figuren 51 en 52. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de geanalyseerde verticalen

Code	Proef	Afstand tot golfschot	Snelheden	Concentraties
D1-1	T1	182,5 m	+	+
D1-2	T1	170,0 m	+	+
D1-3	T1	156,5 m	+	+
D2-1	T2	186,0 m	+	+
D2-2	T2	180,0 m	+	+
D2-3	T2	162,0 m	+	+

4.3.2 Transport uit profielontwikkeling

Op analoge wijze als bij de Scheldegoot-metingen zijn de transporten berekend uit de peilingen. De geaccumuleerde transporten zijn gegeven in Tabel 12, de tijdsgemiddelde transporten in Fig. 53.

4.3.3 Transport uit snelheids- en concentratieveld

Ten behoeve van de berekening van het transport wordt in de volgende paragrafen ingegaan op:

- de waterdiepte d ;
- het snelheidsprofiel $v(z)$;
- het concentratieprofiel $C(z)$.

4.3.2.1 Waterdiepte

De benodigde informatie omtrent het verloop van de waterdiepte in de tijd is bepaald aan de hand van de in Fig. 51 en 52 gegeven profielontwikkeling.

4.3.3.2 Snelheidsprofiel

Uit de verrichte metingen blijkt dat ook in de Deltagoot het snelheidsprofiel onder de golfdalen in goede benadering uniform is. In proef D2 is het product van snelheid en waterdiepte, wat het circulatiedebiet oplevert, eveneens in goede benadering constant. Hoewel dit in proef D1 in mindere mate het geval is, wordt voor de verdere analyse ook hier een uniform snelheidsprofiel aangehouden.

4.3.3.3 Concentratieprofiel

De gebruikte concentratieverticalen zijn aangegeven in de Figuren 51 en 52 en Tabel 5. Opvallend is de vaak grote spreiding in de gemeten concentraties, terwijl het aantal punten in de verticaal vrij gering is. Omdat er op basis van deze metingen weinig duidelijk wordt over het concentratieprofiel is uitgegaan van een enkelvoudig exponentieel verband volgens verg. (13).

$$C(z) = C_o \exp (-z/r_c) \quad (13)$$

Uit de figuren werden de concentraties C_o aan de bodem en C_d op het stilwater-niveau geschat, waarna met behulp van een logarithmische relatie de waarde van de parameter α werd berekend (zie Appendix):

$$\alpha = (d/r_c)^{-1} = [\ln (C_o/C_d)]^{-1} \quad (20)$$

De concentratieverticaal ligt nu voldoende vast door middel van de parameters C_0 en α .

4.3.3.4 Transportberekening

Het transport wordt berekend met de relatie (zie Appendix):

$$S = \frac{1}{\rho_s} q_c C^* \quad (21)$$

waarin C^* de voor het transport karakteristieke concentratie. De karakteristieke concentratie C^* volgt uit:

$$C^* = K_c \cdot C_0 \quad (22)$$

met:

$$K_c = \alpha - \frac{(1+\alpha)}{\exp(1/\alpha)} \quad (23)$$

Met de waarden van C_0 en α die volgen uit de concentratieverticaal kunnen dus C^* en S worden berekend. Waar mogelijk zijn de op deze wijze berekende transporten gegeven in de Tabellen 15 en 16.

Opvallend is dat de waarde van de correctiefactor voor de concentratie K_c veelal ongeveer 0.3 is. De voor het transport karakteristieke concentratie is kennelijk in goede benadering gelijk aan 30% van de bodemconcentratie.

4.3.4 Vergelijking van transporten

De transporten berekend uit de profielveranderingen en die uit de snelheid- en concentratiemetingen zijn samen gebracht in de figuren 55 en 56.

Verticaal D1-1 laat zien dat de transporten soms aanzienlijk verschillen. Verticaal D1-2 levert te weinig informatie om te presenteren, terwijl in verticaal D1-3 de transporten vrij aardig met elkaar overeenstemmen.

Verticaal D2-1 toont een kwalitatief redelijke overeenkomst, terwijl in D2-2 deze overeenkomst zelfs goed is te noemen. De transporten in verticaal D2-3 berekend uit de profielveranderingen zijn klein, terwijl die uit de snelheids- en concentratiemetingen eveneens klein zijn. Deze laatstgenoemde transporten zijn zelfs negatief, dat wil zeggen landwaarts gericht, als gevolg van de ge-

meten concentratieverdeling waarbij de bodemconcentratie C_0 kleiner is dan C_d op het stilwaterniveau.

Ondanks de geconstateerde verschillen lijkt de mate van overeenstemming voldoende om de bruikbaarheid van verg. (6) te onderschrijven.

5 Dwarstransportmodellering

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komt de stand van zaken met betrekking tot de modelvorming van het dwarstransportmechanisme aan de orde. Gegeven een bepaald concept waarmee afhankelijk van de relatieve parameters het dwarstransport als functie van tijd en plaats bepaald kan worden, kan als toets voor dit concept de bij duinafslag optredende profielontwikkeling worden nagerekend. Een goede overeenkomst met de gemeten profielontwikkeling betekent dat de transportformulering correct en klaarblijkelijk ook fysisch reëel is.

Uitgangspunt voor de transportmodellering is voorlopig dat het transport overheersend bepaald wordt door het produkt van tijdsgemiddeld snelheidsveld en tijdsgemiddeld concentratieveld.

5.2 Model OSTRAN

De basis van het dwarstransportmodel is OSTRAN, een programma dat gegeven een moduul voor retourstroomsnelheid v_r en sedimentlast L_s , de transporten en daaruit de profielveranderingen berekent. Het vastleggen van de retoursnelheid en de sedimentlast als functie van de relevante parameters completeert het model.

Opgemerkt moet worden dat, al zouden retourstroomsnelheid en sedimentlast exact bekend zijn als functie van de specifieke omstandigheden, het model, afgezien van de onvolledigheid, onjuist blijft. Er moet immers nog een reductiefactor worden toegevoegd, welke de invloed van het achterwege laten van de integratie van snelheids- en concentratieverticaal verrekent. Deze reductiefactor K_1 (zie Appendix) is voorlopig gelijk gesteld aan de eenheid.

De werking van het OSTRAN-programma berust op een aantal opeenvolgende stappen welke per tijdstap worden herhaald, te weten:

- 1) gegeven bodemprofiel;
- 2) berekenen waterbeweging;
- 3) berekenen sedimentbeweging;
- 4) berekenen bodemveranderingen;
- 5) berekenen nieuw bodemprofiel en opnieuw 1).

De waterbeweging wordt berekend met behulp van een golfhoogteaafnamemodel (zie Hfdst. 5.3).

De sedimentbeweging volgt uit het produkt van een module voor de retoursnelheid en een module voor de zandlast, welke beide zijn gebaseerd op de berekende waterbeweging.

5.3 Waterbeweging

Centraal in de transportberekening staat de waterbeweging. Deze met behulp van een golfhoogteaafnamemodel berekende beweging resulteert in o.a.:

- $H_{rms}(x)$ = rms-golfhoogte,
- $H_b(x)$ = hoogte brekende golven,
- $\tilde{Q}_b(x)$ = percentage brekende golven.

Via de lineaire golftheorie wordt de lokale waterbeweging uitgerekend:

- $u_{rms}(x)$

De retourstroamsnelheid optredend boven de bodem wordt verondersteld te voldoen aan:

$$v_r = \bar{u}_{b,p} \cdot \tilde{Q}_b, \quad (24)$$

waarin:

- v_r = de gemiddelde retourstroamsnelheid onder invloed van onregelmatige brekende golven
- $\bar{u}_{b,p}$ = idem, doch regelmatige golven
- $\tilde{Q}_b$ = de fractie van de golven die breken

Met:

$$\bar{u}_{b,p} = 1/8 \cdot (g/d)^{1/2} \cdot H_b \quad (25)$$

en:

$$\tilde{Q}_b = 20 (H_{rms}/d)^5 \quad \text{met} \quad \tilde{Q}_b < 1 \quad (26)$$

waarin:

d = de lokale waterdiepte,

H_b = de hoogte van de brekende golf, $H_b = \frac{0.88}{k} \cdot \tanh\left(\frac{\gamma k d}{0.88}\right)$

H_{rms} = de rms-golfhoogte,

volgt uit (5.1)

$$v_r = \frac{20}{8} \cdot \left(\frac{g}{d}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot H_b \cdot \left(\frac{H_{rms}}{d}\right)^5 = f(d) \quad (27)$$

In geval van ondiep water geldt:

$$\bar{Q}_b = 1 \text{ en } H_b = \gamma \cdot d \quad (\gamma = \text{brekerindex})$$

zodat:

$$v_r = \frac{1}{8} \cdot \gamma \cdot \sqrt{g \cdot d}. \quad (28)$$

Zoals opgemerkt lijkt het aannemelijk dat de retoursnelheid duidelijk niet alleen lokaal bepaald is, maar dat enigermate uitsmeren van het "bovenstrooms" (landzijde) circulatiedebiet fysisch reëler is.

Samenvattend geeft de uitgevoerde berekening informatie over golfhoogte, snelheidsamplitude en retoursnelheid. De juistheid van deze componenten is getoetst aan de hand van Deltagootproef T2. Fig. 57 t/m 60 geven een vergelijking van gemeten en berekende waterbewegingsparameters. De overeenkomst is redelijk tot goed te noemen.

5.4 Zandlast

In de oorspronkelijke benadering is de sedimentlast gerelateerd aan een Shieldsparameter. Berekeningen laten, in vergelijking tot gemeten concentraties, zien dat, afgezien van een kwantitatieve onderschatting van de grootte van de sedimentlast, bovendien de afhankelijkheid met de plaats in de verspreidingszone duidelijk onvoldoende wordt weergegeven.

Berekening van de sedimentlast voor Deltagootproef 2 geeft over het voor duin-afslag relevante gebied ($x < 150\text{m}$) hoogstens een factor 2 voor de variatie van de sedimentlast. Gemeten concentraties laten zien dat de gradiënt in de

sedimentlast veel groter is; tussen veraf en dichterbij het duin gelegen posities ligt de verhouding eerder in de orde 10. De oorspronkelijke zandlastmodule voldoet blijkbaar slecht.

De huidige benadering is gebaseerd op de veronderstelling, dat de hoeveelheid sediment in suspensie in geval van een intensief gebeuren als bij duinafslag, overheersend gerelateerd is aan de vrijkomende energie. De energie die nodig is om het concentratieprofiel in evenwicht te houden is hierbij dus afkomstig van de energiedissipatie in de brandingszone, welke uniform over de hoogte verdeeld wordt gedacht.

De hoeveelheid potentiële energie op een zeker moment volgt uit

$$E_{\text{pot}} = \int m_1 \cdot g \cdot h_1 = L_s \cdot g \cdot (\beta d) \quad (29)$$

waarin:

L_s = de massa van het gesuspendeerde sediment per m^2 ,

g = de versnelling van de zwaartekracht,

βd = de ligging van het zwaartepunt van de massa L_s .

De sedimentdeeltjes ondervinden twee invloeden, te weten de zwaartekrachtsinvloed en de invloed van de turbulente diffusie. In een evenwichtssituatie blijft de hoeveelheid potentiële energie constant, de afname als gevolg van de valsnelheid moet worden gecompenseerd door de toename als gevolg van turbulente diffusie.

De verandering van de potentiële energie per tijdseenheid ($J/sm^2 = W/m^2$) is:

$$\frac{\Delta E_{\text{pot}}}{\Delta t} \sim \frac{\Delta [L_s \cdot g \cdot (\beta d)]}{\Delta t} \quad (30)$$

De energiedissipatie per m^1 brandingszone:

$$\frac{\Delta E_{\text{cgr}}}{\Delta x} = \frac{\Delta E_{\text{nc}}}{\Delta x} \quad (31)$$

Er moet gelden:

$$g \cdot \frac{\Delta [L_s \cdot (\beta d)]}{\Delta t} \sim \frac{\Delta E_{\text{nc}}}{\Delta x} \quad (32)$$

De linkerterm moet nog verder worden uitgewerkt.

In benadering kan worden uitgegaan van een verlaging van het zwaartepunt met Δz , waarbij $\Delta z/\Delta t$ gelijk is aan de valsnelheid w :

$$\frac{L_s \cdot g \cdot \Delta z}{\Delta t} \sim \frac{\Delta E_{\text{Enc}}}{\Delta x}, \quad (33)$$

$$\text{ofwel } L_s \sim \frac{1}{g \cdot w} \cdot \frac{\Delta E_{\text{Enc}}}{\Delta x} \quad (34)$$

Omdat slechts een deel van de vrijkomende energie ten goede komt aan de suspensie moet er een evenredigheidsfactor $\gamma_2 < 1$ worden toegevoegd.

$$L_s \sim \gamma_2 \cdot \frac{1}{g \cdot w} \cdot \frac{\Delta E_{\text{Enc}}}{\Delta x} \quad (35)$$

Tot besluit enige opmerkingen:

- . Zoals al in Hfdst. 5.2 gesteld werd is er in het OSTRAN model geen rekening gehouden met de verdelingen van $v(z)$ en $C(z)$ m.a.w. er wordt verondersteld dat de totale zandlast ten goede komt aan het zeewaartse transport ($L_s^* = L_s$).
 - . Zou blijken dat het transport op onvoldoende wijze vast te leggen is door gebruik te maken van L_s , dan lijkt de relatie van L_s met de waterbeweging, via energiedissipatie, toch nog zeer bruikbaar voor langstransportberekeningen.
 - . De evenredigheidsconstante γ_2 in de relatie van L_s met $\Delta E_{\text{Enc}}/\Delta x$ is in principe onbekend. Er zal immers slechts een gedeelte van de vrijkomende energie ten goede komen aan de sedimentlast. Het andere deel komt ten goede aan warmte, geluid enz.
- Uit berekeningen volgt dat de grootte van de evenredigheidsconstante γ orde 10^{-5} bedraagt, hetgeen betekent dat slechts een zeer gering deel van de vrijkomende energie gebruikt wordt voor het in suspensie houden van het sediment. De fractie is dus te zien als een restfractie ten opzichte van andere factoren en derhalve zeer variabel. De bruikbaarheid van een constante evenredigheidsfactor in Vgl. (35) is derhalve aanvechtbaar.
- . De veronderstelling dat de energie uniform over de verticaal gedissipeerd wordt is eveneens aanvechtbaar. Relatief zal er op de hogere niveaus meer energie vrijkomen en derhalve ook meer sediment in suspensie worden gehouden. Dit kan resulteren in een steilere concentratieverticaal. Dit zou zelfs de overhellende concentratieverticalen kunnen verklaren, die in sommige gevallen zijn gemeten.

5.5 Resultaten

Aan de hand van de genoemde snelheids- en transport modulen is het transport en de daaruit volgende profielverandering te berekenen. Ter verificatie van dit model is geprobeerd de profielontwikkeling van proef T2 van de Deltagoot-serie achteraf te berekenen. Figuur 61 geeft de profielontwikkeling van proef 2 zoals deze optrad tijdens de modeltest.

Het OSTRAN-programma is in de originele versie alleen geschikt voor de berekening van het transport onder de waterspiegel. Het transport boven de waterspiegel betreft een heel ander mechanisme en moet derhalve ook anders gemodelleerd worden.

De gebruikte transportmodellering voor het strand en het duin is in principe eenvoudig. Na berekening van alle transporten aan de zeezijde is het transport vlak naast het strandpunt ook bekend. Dit transport moet afkomstig zijn van het duin. Per rekentijdstap betekent dit dat een hoeveelheid sediment van het duin afgeslagen is en de achteruitgang van de duinvoet is dus te berekenen. Voor de strandhelling is hierbij in eerste benadering een constante helling van 1:12 aangehouden. Het principe van deze aanpak is dat het gevraagde transport ook door het duin wordt geleverd.

Het aangepaste OSTRAN-programma kan nu worden toegepast op het beginprofiel van de Deltagootproef. De evenredigheidsfactor voor de zandlastmodule is zo gekozen dat de afslaghoeveelheid op een zeker tijdstip (1 uur) redelijk gelijk was aan dat van de Deltagootproef. De grootte van de factor ($\gamma_2 = 0,00002$) impliceert overigens dat er, bij juistheid van het model, slechts een zeer gering percentage van de vrijkomende energie ten goede komt aan het in suspensie houden van het sediment.

Fig. 62 geeft het resultaat van de profielontwikkeling bij gebruikmaking van een zandlastmodule volgens:

$$L_s = \gamma_2 \cdot \frac{1}{w \cdot g} \cdot \frac{\partial E_{nc}}{\partial x}, \quad (36)$$

waarin γ_2 de evenredigheidsfactor is. Het sediment verdwijnt te snel en om dit enigszins tegen te gaan werd de zandlast evenredig gesteld aan de energiedissipatie per eenheid van volume:

$$L_s = \gamma_2' \cdot \frac{1}{g \cdot w} \cdot \frac{\partial \text{Enc}}{\partial x} \cdot \quad (37)$$

In Fig. 63 is de dan optredende profielontwikkeling gegeven.

Deze beide figuren geven de voornaamste resultaten van de duinafslagmodellering tot nog toe.

5.6 Conclusies

Kijkend naar Fig. 62 en 63 in vergelijking tot Fig. 61 kan gesteld worden dat het wel een ontwikkeling in de goede richting is, maar nog verre van voldoende.

De snelheids- en/of sedimentlastmodule is blijkbaar nog niet correct. De transporten nemen niet in voldoende mate met de diepte af, waardoor het sediment te snel verdwijnt in zeewaartse richting. Ook aan de landzijde zijn de afslaghoeveelheden niet in overeenstemming met de werkelijkheid.

Een conclusie ten aanzien van de stand van zaken m.b.t. de transportmodellering tijdens duinafslag is dat verder onderzoek zeker nodig is.

Enkele suggesties en opmerkingen m.b.t. de transportmodellering.

Naast de snelheids- en sedimentlastmodule dient er nog een correctiemoduul in het OSTRAN-programma te worden toegevoegd. De waarde van de reductiefactor is hierbij een functie van de relatieve steilheid van de concentratieverticaal α (zie Appendix) en de vorm van de snelheidsverticaal. Tenslotte lijkt het niet ondenkbaar dat ook de evenredigheidsfactor γ_2 afhankelijk is van de lokale hydraulische omstandigheden, bijvoorbeeld afhankelijk van de intensiteit en wijze van breken van de golven.

Bij afnemende suspensietransporten wordt het gebeuren in de bodemlaag van relatief groter belang. Het hier klaarblijkelijk aanwezige landwaartse transport gaat er voor zorgen dat het resulterende transport wordt gereduceerd en zelfs negatief, d.w.z. landwaarts, wordt.

6 Evaluatie en aanbevelingen

6.1 Evaluatie

Met als doel het voorspellen van de profielontwikkeling met inbegrip van alle relevante parameters tijdens een stormvloed lijkt een goede weg ingeslagen te zijn.

Voor de profielontwikkeling en de daaraan ten grondslag liggende transporten moet een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen het transport in zee en het transport t.p.v. het strand en het duin. Hoewel dit verslag voornamelijk gericht is op het transport in zee lijkt het nuttig om beide facetten onder de aandacht te brengen.

Zoals in Hfdst. 3.2 werd gesteld lijkt het transportmodel volgens Vgl. 6 alleen toelaatbaar voor omstandigheden waarbij slechts een geringe correlatie bestaat tussen snelheid en concentratie. In ondiep water en op het strand lijkt het transport dus anders bepaald, met andere woorden het transportmodel zoals dat geldt voor de zee is niet toepasbaar in de directe omgeving van het strand.

De afslag van het duin zelf is weer een heel ander mechanisme. Een mogelijk goed resultaat kan worden verkregen door de hoeveelheid afslag te relateren aan de restenergie ter plaatse van de duinvoet. Hierbij is er, uitgaande van een zekere hoeveelheid op het strand aankomende energie, een dissipatie op het strand. Wat er nog rest ter plaatse van de duinvoet zal ten goede komen aan de aanval op het duin en hier dus een bepaalde mate van afslag tot gevolg hebben. Het transport in zee vraagt voorlopig de grootste aandacht.

Uit de resultaten van Hfdst. 4 blijkt dat het transport in significante mate wordt bepaald door het produkt van gemiddeld snelheidsveld en gemiddeld concentratieveld. De vereenvoudiging tot het produkt van gemiddelde retoursnelheid en gemiddelde zandlast gaat echter veel te ver vanwege de grote relatieve steilheid van de concentratieverticaal (zie Appendix).

De snelste manier om het transport af te schatten is het produkt berekenen van circulatiedebiet en referentieconcentratie, omdat de van de relatieve steilheid van de concentratieverticaal afhankelijke evenredigheidsfactor K_c dan vrijwel constant is.

De aangewezen weg om meer inzicht te krijgen in het transport is echter het nader bekijken van de profielontwikkeling van een Deltagootproef. Het proberen te berekenen van de profielontwikkeling als aangegeven in Hfdst. 3 lijkt voorts nog weinig zinvol omdat er dan te veel onbekende factoren een rol spelen, zoals: het afslagproces ter plaatse van het duin, het transport op het strand, enz. enz.

6.2 Aanbevelingen

Het grootste inzicht in het dwarstransportproces kan worden verkregen door nadere analyse van de profielontwikkeling van de Deltagootproeven.

Voorgesteld wordt om de transportverdeling in de tijd en plaats op grond van de profielveranderingen te berekenen en het verband te onderzoeken met de eveneens te berekenen waterbeweging.

De hieruit afkomstige afhankelijkheid voor het transport kan worden getoetst door de profielontwikkeling met behulp van het OSTRAN-programma en de gevonden transportmodellering, te berekenen. Hierbij moet het toetsingsgebied beperkt blijven tot de zeezijde van het strand, waarbij ter plaatse van de grens voor het transport en de bodemligging de uit de Deltagootproef afkomstige waarden kunnen worden toegekend. Hierbij moet tevens rekening gehouden worden met een mogelijk versturende invloed van de uitsmeerfactor voor de bodemligging.

Verder kan de afhankelijkheid van de referentieconcentratie C_0 met betrekking tot de lokale waterbeweging nader worden onderzocht. Hieruit kan op de aangegeven methode het transportmodel worden geformuleerd.

Het proberen te relateren van de sedimentlast L_s aan de lokale energiedissipatie is ook zinvol. Niet zozeer vanwege de directe bruikbaarheid voor het dwarstransport, maar meer ten behoeve van de invloed van gradiënten in het langstransport. Voor het langstransport voldoet de veronderstelling dat het transport gelijk is aan de gemiddelde (uniforme) snelheid en de hoeveelheid gesuspendeerd sediment duidelijk beter.

Na vaststelling van een bruikbare relatie voor de sedimentlast als functie van plaats en tijd, ofwel lokale waterbeweging, kan dit als quasi 2 DV-model worden gecombineerd met een 2DH-model om zodoende de invloed van duinafslag ook bij gebogen kusten beter te kunnen voorspellen.

LITERATUUR

1. Waterloopkundig Laboratorium
Bepaling zandconcentratie door dwarse afzuiging,
Concept-nota M 1627, juni 1981.
2. Waterloopkundig Laboratorium
Systematisch onderzoek naar duinafslag bepalende factoren,
Verslag modelonderzoek M1819, deel I, december 1982.
3. Waterloopkundig Laboratorium
Schaalserie duinafslag; proeven op grote schaal in de Deltagoot,
Verslag modelonderzoek M1263, deel III, mei 1984.
4. Waterloopkundig Laboratorium
Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed
Verslagonderzoek M1263, deel IV, november 1982.
5. Waterloopkundig Laboratorium
Duinafslag bij gebogen kusten; Orde-grootte bepaling van de gradiënt in
langstransport tijdens duinafslag aan een gebogen kust,
Conceptverslag M1263, deel V, januari 1983.
6. Technische Adviescommissie voor de waterkeringen
Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1984.
7. Stive, M.J.F. and Battjes, J.A.,
A model for offshore sediment transport,
Paper presented at 19th International Conference on Coastal Engineering,
3-7 September 1984, Houston.

proefnummer		tijdfase golfschot (h)	positie t.o.v. verticalen (m)	aantal (-)	Fig. nr.
T16	*	0 -0,5	42,87	6	17
	*	1,0-1,5	42,87	5	18
		3,0-3,5	5,40	3	19
		3,5-4,0	9,60	3	20
		4,0-4,5	20,40	3	21
	*	5,0-5,5	42,87	4	22
T17	*	0 -1,5	44,30	11	23
		3 -3,5	14,95	3	24
		3,5-4,0	22,90	3	25
		4,0-4,5	26,10	3	26
	*	5,0-6,0	44,30	5	27
T18	*	0 -2,0	39,50	10	28
		3,0-3,5	29,30	3	29
		3,5-4,0	32,50	3	30
		4,0-4,5	35,70	3	31
	*	5,0-6,0	39,50	4	32
T19	*	0 -0,5	41,20	5	33
	*	0,5-1,5	43,60	5	34
	*	1,5-2,0	41,20	2	35

*) gebruikt t.b.v. analyse dwarstransport (Hfdst. 4.2.3)

Tabel 2 Overzicht concentratiemetingen Scheldegoot

hoeveelheid afslag boven stormvloedpeil (m^3/m^1)					
proefnummer	tijdstip in uren model tijd				
	0,1	0,3	1,0	3,0	6,0
T04	0,0834	0,1595	0,2348	0,3178	0,3687
T15	0,0618	0,1375	0,2513	0,3178	0,3660
T16	0,0763	0,1708	0,2483	0,3356	0,3650
T17	0,0601	0,1215	0,2447	0,3215	0,3663
T18	0,0510	0,1177	0,2315	0,3138	0,3481
T19	0,0626	0,1369	0,2343	0,3252	0,3601
T20	0,0564	0,1296	0,2346	0,3196	0,3605
gemiddeld	0,0645	0,1391	0,2399	0,3216	0,3621
standafw	0,0114	0,0195	0,0080	0,0071	0,0069
relatief(%)	17,7	14,0	3,3	2,2	1,9

Tabel 1 Afslag boven stormvloedpeil in m^3/m^1 voor de Scheldegootmetingen

proefnummer	positie t.o.v. golfschot	tijdstip	hoogte AZTM boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	U _{max} ⁺ (landwaarts ± overst.)	U _{max} ⁻ (zeewaarts ± overst.)	U _{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T16 A	42,87	0h01	0,033	23	0,225	0,598 (4)	0,692 (4)	0,082
T16 A	42,87	0h03	0,066	36	0,231	0,658 (2,5)	0,636 (2,5)	0,081
T16 A	42,87	0h05	0,099	46	0,250	0,684 (2)	0,618 (2)	0,068
T16 B	42,87	0h07	0,033	32	0,236	0,660 (3)	0,559 (3)	0,092
T16 B	42,87	0h09	0,066	44	0,218	0,591 (2)	0,610 (2)	0,092
T16 B	42,87	0h11	0,099	54	0,229	0,718 (1,8)	0,771 (1,8)	0,059
T16 B	42,87	0h13	0,132	52	0,237	0,730 (1,8)	0,570 (1,8)	0,075
T16 B	42,87	0h15	0,099	52	0,226	0,620 (1,8)	0,657 (1,8)	0,075
T16 B	42,87	0h17	0,066	46	0,231	0,650 (2)	0,658 (2)	0,080
T16 C	42,87	0h24	0,033	51	0,236	0,551 (1,8)	0,766 (1,8)	0,095
T16 C	42,87	0h26	0,066	44	0,261	0,675 (2)	0,624 (2)	0,061
T16 C	42,87	0h28	0,099	39	0,263	0,728 (2,5)	0,564 (2,5)	0,060
T16 C	42,87	0h30	0,066	51	0,228	0,555 (1,8)	0,683 (1,8)	0,092
T16 C	42,87	0h32	0,033	59	0,218	0,529 (1,6)	0,704 (1,6)	0,091
T16 C	42,87	0h34	0,066	43	0,236	0,573 (2)	0,619 (2)	0,070
T16 C	42,87	0h36	0,099	44	0,282	0,668 (2)	0,719 (2)	0,048
T16 C	42,87	0h38	0,066	39	0,255	0,775 (2,5)	0,690 (2,5)	0,081
T16 C	42,87	0h40	0,033	46	0,254	0,755 (2)	0,644 (2)	0,087
T16 C	42,87	0h42	0,066	38	0,238	0,650 (2,5)	0,790 (2,5)	0,077
T16 C	42,87	0h44	0,099	53	0,237	0,646 (1,8)	0,571 (1,8)	0,076
T16 C	42,87	0h46	0,066	55	0,221	0,550 (1,8)	0,662 (1,8)	0,091
T16 C	42,87	0h48	0,033	43	0,241	0,694 (2)	0,634 (2)	0,100
T16 C	42,87	0h50	0,066	51	0,244	0,624 (1,8)	0,680 (1,8)	0,081
T16 C	42,87	0h52	0,099	47	0,248	0,588 (2)	0,717 (2)	0,083
T16 D	42,87	1h01	0,033	39	0,267	0,668 (2,5)	0,725 (2,5)	-0,091
T16 D	42,87	1h03	0,066	41	0,279	0,709 (2)	0,700 (2)	-0,113
T16 D	42,87	1h05	0,033	47	0,276	0,729 (2)	0,716 (2)	-0,099
T16 D	42,87	1h07	0,066	40	0,276	0,646 (2)	0,762 (2)	-0,090
T16 D	42,87	1h10	0,033	103	0,262	0,649 (0,9)	0,758 (0,5)	-0,094
T16 D	42,87	1h13	0,066	47	0,255	0,604 (2)	0,644 (2)	-0,104
T16 D	42,87	1h15	0,066	45	0,272	0,604 (2)	0,803 (2)	-0,090
T16 D	42,87	1h17	0,066	45	0,245	0,662 (2)	0,736 (2)	-0,092
T16 D	42,87	1h19	0,033	47	0,277	0,614 (2)	0,815 (2)	-0,100
T16 D	42,87	1h21	0,066	47	0,262	0,808 (2)	-0,832 (2)	-0,083
T16 D	42,87	1h23	0,033	41	0,295	0,711 (2)	-0,859 (2)	-0,106
T16 D	42,87	1h25	0,066	51	0,264	0,614 (1,8)	-0,689 (1,8)	-0,095
T16 D	42,87	1h27	0,033	38	0,284	0,785 (2,5)	-0,740 (2,5)	-0,102
T16 D	42,87	1h29	0,066	42	0,290	0,726 (2)	-0,662 (2)	-0,080
T16 D	42,87	1h31	0,033	45	0,291	0,816 (2)	-0,842 (2)	-0,085
T16 D	42,87	1h33	0,066	46	0,277	0,781 (2)	-0,905 (2)	-0,121
T16 D	42,87	1h35	0,033	38	0,286	0,594 (2,5)	-0,859 (2,5)	-0,122
T16 D	42,87	1h37	0,066	50	0,258	0,721 (1,8)	-0,865 (1,8)	-0,098

Tabel 3 Snelheidsmetingen Scheldegootproeven

vervolg tabel 3

proefnummer	positie t.o.v. golfshot	tijdstip	hoogte AZTM boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	U_{max}^+ (landwaarts Z overst.)	U_{max}^- (zeewaarts Z overst.)	U_{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T16 D	42,87	1h39	0,033	47	0,260	0,582 (2)	-0,717 (2)	-0,085
T16 D	42,87	1h41	0,066	43	0,291	0,651 (2)	-0,837 (2)	-0,097
T16 D	42,87	1h43	0,033	40	0,289	0,689 (2)	-0,776 (2)	-0,113
T16 D	42,87	1h45	0,066	51	0,291	0,694 (1,8)	-0,721 (1,8)	-0,084
T16 D	42,87	1h47	0,033	46	0,259	0,627 (2)	-0,718 (2)	-0,082
T16 D	42,87	1h49	0,066	45	0,290	0,685 (2)	-0,777 (2)	-0,101
T16 D	42,87	1h51	0,033	39	0,288	0,735 (2,5)	-0,760 (2,5)	-0,100
T16 D	42,87	1h53	0,066	47	0,272	0,698 (2)	-0,866 (2)	-0,096
T16 D	42,87	1h55	0,033	45	0,282	0,585 (2)	-0,788 (2)	-0,114
T16 D	42,87	1h57	0,066	44	0,266	0,614 (2)	-0,958 (2)	-0,105
T16 D	42,87	1h59	0,033	44	0,283	0,908 (2)	-0,789 (2)	-0,103
T16 E	5,43	3h01	0,033	54	0,206	0,471 (1,8)	+0,507 (1,8)	+0,023
T16 E	5,43	3h03	0,066	56	0,216	0,479 (1,6)	+0,567 (1,6)	+0,045
T16 E	5,43	3h05	0,099	56	0,219	0,544 (1,6)	+0,498 (1,6)	+0,040
T16 E	5,43	3h07	0,122	52	0,207	0,448 (1,8)	+0,555 (1,8)	+0,044
T16 E	5,43	3h09	0,155	57	0,217	0,520 (1,6)	+0,555 (1,6)	+0,051
T16 E	5,43	3h11	0,188	53	0,208	0,559 (1,8)	+0,555 (1,8)	+0,035
T16 E	5,43	3h13	0,221	56	0,231	0,476 (1,6)	+0,559 (1,6)	+0,079
T16 E	5,43	3h15	0,254	56	0,201	0,490 (1,6)	+0,509 (1,6)	+0,061
T16 E	5,43	3h17	0,287	60	0,222	0,508 (1,6)	+0,596 (1,6)	+0,061
T16 E	5,43	3h19	0,320	59	0,214	0,534 (1,6)	+0,534 (1,6)	+0,040
T16 E	5,43	3h11	0,353	56	0,242	0,649 (1,8)	+0,596 (1,8)	+0,070
T16 E	5,43	3h23	0,386	63	0,233	0,587 (1,4)	+0,720 (1,4)	+0,064
T16 E	5,43	3h25	0,419	65	0,247	0,569 (1,4)	+0,644 (1,4)	+0,076
T16 E	5,43	3h27	0,452	61	0,267	0,622 (1,6)	+0,555 (1,6)	+0,070
T16 E	5,43	3h29	0,485	62	0,245	0,651 (1,6)	+0,592 (1,6)	+0,120
T16 E	9,68	3h36	0,033	54	0,233	0,550 (1,8)	-0,606 (1,8)	-0,043
T16 E	9,68	3h38	0,066	60	0,212	0,520 (1,6)	-0,502 (1,6)	-0,030
T16 E	9,68	3h40	0,099	60	0,228	0,535 (1,6)	-0,502 (1,6)	-0,049
T16 E	9,68	3h42	0,122	58	0,234	0,597 (1,6)	-0,563 (1,6)	-0,046
T16 E	9,68	3h44	0,155	59	0,223	0,552 (1,6)	-0,598 (1,6)	-0,060
T16 E	9,68	3h46	0,188	59	0,220	0,519 (1,6)	-0,608 (1,6)	-0,065
T16 E	9,68	3h48	0,221	56	0,242	0,560 (1,6)	-0,590 (1,6)	-0,069
T16 E	9,68	3h50	0,254	57	0,256	0,641 (1,6)	-0,589 (1,6)	-0,068
T16 E	9,68	3h52	0,287	61	0,245	0,661 (1,6)	-0,580 (1,6)	-0,082
T16 E	9,68	3h54	0,320	55	0,258	0,646 (1,8)	-0,551 (1,8)	-0,071
T16 E	9,68	3h56	0,353	60	0,268	0,613 (1,6)	-0,623 (1,6)	-0,092
T16 E	9,68	3h58	0,386	61	0,260	0,595 (1,6)	-0,630 (1,6)	-0,080
T16 E	20,51	4h04	0,033	49	0,238	0,582 (1,8)	-0,536 (1,8)	-0,038
T16 E	20,51	4h08	0,099	54	0,223	0,561 (1,8)	-0,483 (1,8)	-0,051
T16 E	20,51	4h10	0,122	64	0,217	0,583 (1,4)	-0,529 (1,4)	-0,045
T16 E	20,51	4h12	0,155	56	0,228	0,597 (1,6)	-0,522 (1,6)	-0,048

vervolg tabel 3

proefnummer	positie t.o.v. golfschot	tijdstip	hoogte AZIM boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	$U_{\max}^+$ (landwaarts % overst.)	$U_{\max}^-$ (zeewaarts % overst.)	U_{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T16 E	20,51	4h14	0,188	61	0,226	0,486 (1,6)	-0,484 (1,6)	-0,048
T16 E	20,51	4h16	0,221	56	0,236	0,554 (1,6)	-0,544 (1,6)	-0,062
T16 E	20,51	4h18	0,254	51	0,246	0,711 (1,8)	-0,542 (1,8)	-0,053
T16 E	20,51	4h20	0,287	56	0,251	0,614 (1,6)	-0,524 (1,6)	-0,068
T16 F	42,87	5h02	0,033	93	0,283	0,770 (1)	-0,853 (1)	-0,102
T16 F	42,87	5h06	0,066	82	0,317	0,744 (1,2)	-0,913 (1,2)	-0,104
T16 F	42,87	5h10	0,033	86	0,308	0,843 (1)	-0,806 (1)	-0,096
T16 F	42,87	5h14	0,066	97	0,283	0,760 (1)	-0,727 (1)	-0,104
T16 F	42,87	5h18	0,033	97	0,277	0,849 (1)	-0,836 (1)	-0,105
T16 F	42,87	5h22	0,066	95	0,295	0,778 (1)	-0,829 (1)	-0,104
T16 F	42,87	5h26	0,033	93	0,290	0,826 (1)	-0,769 (1)	-0,111
T16 F	42,87	5h30	0,066	99	0,273	0,732 (1)	-0,103 (1)	-0,103
T16 F	42,87	5h34	0,033	81	0,303	0,814 (1,2)	-0,792 (1,2)	-0,119
T16 F	42,87	5h38	0,066	77	0,328	0,829 (1,2)	-0,981 (1,2)	-0,091
T16 F	42,87	5h42	0,033	93	0,284	0,769 (1)	-0,769 (1)	-0,093
T16 F	42,87	5h46	0,066	87	0,287	0,861 (1)	-0,969 (1)	-0,098
T16 F	42,87	5h50	0,033	91	0,296	0,812 (1)	-0,806 (1)	-0,105
T16 F	42,87	5h54	0,066	86	0,315	0,821 (1)	-0,109 (1)	-0,099
T16 F	42,87	5h58	0,033	79	0,310	0,949 (1,2)	-0,910 (1,2)	-0,082
T17 A	44,30	0h01	0,033	34	0,240	0,614 (2,5)	-0,804 (2,5)	-0,075
T17 A	44,30	0h03	0,066	32	0,292	0,577 (3)	-0,790 (3)	-0,074
T17 A	44,30	0h05	0,033	37	0,289	0,771 (2,5)	-0,802 (2,5)	-0,113
T17 B	44,30	0h06	0,033	223	0,269	0,726 (0,4)	-0,883 (0,4)	-0,133
T17 C	44,30	0h18	0,033	178	0,266	0,603 (0,5)	-0,711 (0,5)	-0,151
T17 C	44,30	0h33	0,049	389	0,280	0,738 (0,3)	-0,836 (0,3)	-0,147
T17 D	44,30	1h00	0,033	938	0,297	0,614 (0,1)	-0,744 (1)	-0,128
T17 E	14,95	3h01	0,033	48	0,229	0,516 (2)	-0,539 (2)	-0,050
T17 E	14,95	3h03	0,066	49	0,210	0,505 (2)	-0,454 (2)	-0,053
T17 E	14,95	3h05	0,099	53	0,224	0,522 (1,8)	-0,541 (1,8)	-0,053
T17 E	14,95	3h07	0,122	53	0,217	0,564 (1,8)	-0,473 (1,8)	-0,062
T17 E	14,95	3h09	0,155	49	0,221	0,475 (2)	-0,450 (2)	-0,054
T17 E	14,95	3h11	0,188	52	0,224	0,605 (1,8)	-0,491 (1,8)	-0,059
T17 E	14,95	3h13	0,211	56	0,224	0,550 (1,6)	-0,542 (1,6)	-0,056
T17 E	14,95	3h15	0,254	53	0,231	0,532 (1,8)	-0,462 (1,8)	-0,062
T17 E	14,95	3h17	0,287	56	0,232	0,607 (1,6)	-0,587 (1,6)	-0,075
T17 E	14,95	3h19	0,320	56	0,236	0,630 (1,6)	-0,543 (1,6)	-0,061
T17 E	14,95	3h21	0,353	53	0,249	0,532 (1,8)	-0,547 (1,8)	-0,064

vervolg tabel 3

proefnummer	positie t.o.v. golfschot	tijdstip	hoogte AZTM boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	U _{max} ⁺ (landwaarts Z overst.)	U _{max} ⁻ (zeewaarts Z overst.)	U _{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T17 E	14,95	3h23	0,386	61	0,248	0,733 (1,6)	-0,618 (1,6)	-0,061
T17 E	14,95	3h25	0,419	56	0,256	0,762 (1,6)	-0,525 (1,6)	-0,057
T17 E	22,90	3h33	0,033	50	0,229	0,577 (1,8)	-0,455 (1,8)	-0,044
T17 E	22,90	3h35	0,066	49	0,242	0,498 (2)	-0,522 (2)	-0,041
T17 E	22,90	3h37	0,099	54	0,227	0,521 (1,8)	-0,570 (1,8)	-0,044
T17 E	22,90	3h39	0,122	61	0,233	0,535 (1,6)	-0,537 (1,6)	-0,065
T17 E	22,90	3h41	0,155	59	0,226	0,594 (1,6)	-0,526 (1,6)	-0,056
T17 E	22,90	3h23	0,188	53	0,233	0,592 (1,8)	-0,539 (1,8)	-0,058
T17 E	22,90	3h25	0,211	57	0,245	0,550 (1,6)	-0,529 (1,6)	-0,054
T17 E	22,90	3h27	0,244	57	0,246	0,571 (1,6)	-0,617 (1,6)	-0,058
T17 E	22,90	3h29	0,277	56	0,261	0,652 (1,6)	-0,607 (1,6)	-0,071
T17 E	22,90	3h31	0,310	56	0,273	0,687 (1,6)	-0,585 (1,6)	-0,061
T17 E	22,90	3h33	0,343	61	0,262	0,715 (1,6)	-0,502 (1,6)	-0,065
T17 E	26,10	4h01	0,033	53	0,229	0,616 (1,8)	-0,491 (1,8)	-0,036
T17 E	26,10	4h03	0,066	52	0,243	0,702 (1,8)	-0,678 (1,8)	-0,057
T17 E	26,10	4h05	0,099	50	0,225	0,539 (1,8)	-0,550 (1,8)	-0,044
T17 E	26,10	4h07	0,122	54	0,227	0,512 (1,8)	-0,530 (1,8)	-0,066
T17 E	26,10	4h09	0,155	59	0,237	0,502 (1,6)	-0,543 (1,6)	-0,047
T17 E	26,10	4h11	0,188	55	0,242	0,628 (1,8)	-0,503 (1,8)	-0,060
T17 E	26,10	4h13	0,221	58	0,254	0,600 (1,6)	-0,636 (1,6)	-0,074
T17 E	26,10	4h15	0,254	57	0,262	0,640 (1,6)	-0,571 (1,6)	-0,072
T17 E	26,10	4h17	0,287	62	0,254	0,687 (1,6)	-0,667 (1,6)	-0,070
T17 E	26,10	4h19	0,320	56	0,265	0,732 (1,6)	-0,514 (1,6)	-0,073
T17 E	44,30	5h0-6h0	0,033	1060	0,28*	0,884 (0,8)	-0,798 (0,8)	-0,091
T18 A	39,53	0h01	0,033	27	0,195	0,518 (3,5)	-0,463 (3,5)	-0,068
T18 A	39,53	0h03	0,066	49	0,225	0,552 (2)	-0,638 (2)	-0,059
T18 A	39,53	0h05	0,099	49	0,225	0,574 (2)	-0,499 (2)	-0,050
T18 B	39,53	0h09	0,066	38	0,231	0,646 (2,5)	-0,553 (2,5)	-0,052
T18 B	39,53	0h11	0,099	48	0,202	0,598 (2)	-0,487 (2)	-0,069
T18 B	39,53	0h13	0,132	44	0,228	0,611 (2)	-0,594 (2)	-0,065
T18 B	39,53	0h15	0,165	50	0,217	0,670 (1,8)	-0,480 (1,8)	-0,061
T18 B	39,53	0h17	0,198	48	0,237	0,626 (2)	-0,601 (2)	-0,055
T18 C	39,53	0h24	0,033	59	0,216	0,558 (1,6)	-0,530 (1,6)	-0,066
T18 C	39,53	0h26	0,066	47	0,227	0,622 (2)	-0,700 (2)	-0,042
T18 C	39,53	0h28	0,099	50	0,205	0,544 (1,8)	-0,578 (1,8)	-0,068
T18 C	39,53	0h30	0,132	44	0,233	0,588 (2)	-0,555 (2)	-0,041
T18 C	39,53	0h32	0,165	47	0,225	0,674 (2)	-0,637 (2)	-0,057
T18 C	39,53	0h34	0,198	53	0,235	0,752 (1,8)	-0,589 (1,8)	-0,055
T18 C	39,53	0h36	0,165	47	0,232	0,580 (2)	-0,555 (2)	-0,058
T18 C	39,53	0h38	0,132	50	0,217	0,613 (1,8)	-0,541 (1,8)	-0,055

vervolg tabel 3

proefnummer	positie t.o.v. golfschot	tijdstip	hoogte AZTH boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	U _{max} ⁺ (landwaarts % overst.)	U _{max} ⁻ (zeewaarts % overst.)	U _{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T18 C	39,53	0h40	0,099	52	0,203	0,573 (1,8)	-0,472 (1,8)	-0,062
T18 C	39,53	0h42	0,066	47	0,229	0,574 (2)	-0,490 (2)	-0,041
T18 C	39,53	0h44	0,033	47	0,220	0,584 (2)	-0,582 (2)	-0,073
T18 C	39,53	0h46	0,066	47	0,225	0,569 (2)	-0,544 (2)	-0,056
T18 C	39,53	0h48	0,099	46	0,120	0,482 (4)	-0,503 (2)	-0,074
T18 C	39,53	0h50	0,132	43	0,240	0,611 (2)	-0,623 (2)	-0,049
T18 C	39,53	0h52	0,165	54	0,214	0,538 (1,8)	-0,468 (1,8)	-0,045
T18 D	39,53	1h01	0,033	40	0,204	0,523 (2)	-0,574 (2)	-0,072
T18 D	39,53	1h03	0,066	44	0,217	0,511 (2)	-0,577 (2)	-0,061
T18 D	39,53	1h05	0,099	47	0,220	0,673 (2)	-0,545 (2)	-0,053
T18 D	39,53	1h07	0,132	47	0,222	0,600 (2)	-0,464 (2)	-0,062
T18 D	39,53	1h09	0,165	44	0,240	0,660 (2)	-0,596 (2)	-0,058
T18 D	39,53	1h11	0,198	53	0,243	0,707 (1,8)	-0,594 (1,8)	-0,052
T18 D	39,53	1h13	0,165	50	0,222	0,627 (1,8)	-0,529 (1,8)	-0,067
T18 D	39,53	1h15	0,132	46	0,232	0,597 (2)	-0,588 (2)	-0,054
T18 D	39,53	1h17	0,099	50	0,207	0,586 (1,8)	-0,518 (1,8)	-0,041
T18 D	39,53	1h19	0,066	55	0,207	0,524 (1,8)	-0,597 (1,8)	-0,061
T18 D	39,53	1h21	0,033	47	0,228	0,509 (2)	-0,670 (2)	-0,050
T18 D	39,53	1h23	0,066	48	0,211	0,576 (2)	-0,532 (2)	-0,054
T18 D	39,53	1h25	0,099	50	0,203	0,563 (1,8)	-0,512 (1,8)	-0,069
T18 D	39,53	1h27	0,132	53	0,231	0,561 (1,8)	-0,668 (1,8)	-0,078
T18 D	39,53	1h29	0,165	53	0,214	0,549 (1,8)	-0,534 (1,8)	-0,063
T18 D	39,53	1h31	0,198	48	0,247	0,630 (2)	-0,596 (2)	-0,065
T18 D	39,53	1h33	0,165	51	0,217	0,568 (1,8)	-0,589 (1,8)	-0,052
T18 D	39,53	1h35	0,132	55	0,203	0,551 (1,8)	-0,508 (1,8)	-0,054
T18 D	39,53	1h37	0,099	48	0,207	0,462 (2)	-0,520 (2)	-0,078
T18 D	39,53	1h39	0,066	45	0,213	0,626 (2)	-0,518 (2)	-0,057
T18 D	39,53	1h41	0,033	48	0,225	0,535 (2)	-0,616 (2)	-0,052
T18 D	39,53	1h43	0,066	42	0,252	0,593 (2)	-0,607 (2)	-0,052
T18 D	39,53	1h45	0,099	51	0,214	0,543 (1,8)	-0,562 (1,8)	-0,050
T18 D	39,53	1h47	0,132	45	0,225	0,557 (2)	-0,619 (2)	-0,071
T18 D	39,53	1h49	0,165	47	0,239	0,580 (2)	-0,692 (2)	-0,063
T18 D	39,53	1h51	0,132	47	0,239	0,618 (2)	-0,551 (2)	-0,057
T18 D	39,53	1h53	0,066	52	0,229	0,628 (1,8)	-0,538 (1,8)	-0,047
T18 D	39,53	1h55	0,033	47	0,219	0,584 (2)	-0,511 (2)	-0,059
T18 D	39,53	1h57	0,066	53	0,206	0,541 (1,8)	-0,501 (1,8)	-0,050
T18 E	29,30	3h23	0,033	68	0,225	0,603 (1,4)	-0,531 (1,4)	-0,061
T18 E	29,30	3h25	0,066	74	0,228	0,534 (1,2)	-0,592 (1,2)	-0,078
T18 E	29,30	3h28	0,099	71	0,230	0,630 (1,4)	-0,521 (1,4)	-0,062
T18 E	29,30	3h31	0,132	65	0,221	0,587 (1,4)	-0,564 (1,4)	-0,078
T18 E	32,50	3h39	0,033	79	0,213	0,600 (1,2)	-0,475 (1,2)	-0,050

vervolg tabel 3

proefnummer	positie t.o.v. golfschot	tijdstip	hoogte AZTM boven bodem	aantal golven	standaard deviatie	U _{max} ⁺ (landwaarts Σ overst.)	U _{max} ⁻ (zeewaarts Σ overst.)	U _{res} (zeewaarts)
-	(m)	(h,min)	m	-	m/s	m/s	m/s	m/s
T18 E	32,50	3h41	0,066	69	0,217	0,532 (1,4)	-0,476 (1,4)	-0,051
T18 E	32,50	3h44	0,099	65	0,204	0,514 (1,4)	-0,466 (1,4)	-0,057
T18 E	32,50	3h46	0,132	68	0,215	0,575 (1,4)	-0,520 (1,4)	-0,052
T18 E	32,50	3h59	0,165	74	0,220	0,651 (1,2)	-0,570 (1,2)	-0,076
T18 E	32,50	3h51	0,198	75	0,225	0,550 (1,2)	-0,563 (1,2)	-0,074
T18 E	32,50	3h54	0,221	71	0,230	0,641 (1,4)	-0,469 (1,4)	-0,058
T18 E	32,50	3h56	0,264	73	0,250	0,679 (1,2)	-0,711 (1,2)	-0,050
T18 E	35,70	4h02	0,033	65	0,226	0,545 (1,4)	-0,446 (1,4)	-0,052
T18 E	35,70	4h05	0,066	59	0,218	0,626 (1,6)	-0,518 (1,6)	-0,058
T18 E	35,70	4h07	0,099	67	0,215	0,545 (1,4)	-0,536 (1,4)	-0,065
T18 E	35,70	4h10	0,122	66	0,216	0,547 (1,4)	-0,579 (1,4)	-0,050
T18 E	35,70	4h12	0,155	67	0,212	0,608 (1,4)	-0,430 (1,4)	-0,052
T18 E	35,70	4h15	0,188	71	0,208	0,653 (1,4)	-0,511 (1,4)	-0,058
T18 E	35,70	4h17	0,221	76	0,245	0,700 (1,2)	-0,592 (1,2)	-0,053
T18 E	35,70	4h20	0,254	70	0,234	0,762 (1,4)	-0,603 (1,4)	-0,057
T18 E	35,70	4h22	0,033	65	0,212	0,525 (1,4)	+0,651 (1,4)	+0,048
T18 F	39,53	5h01	0,033	55	0,231	0,595 (1,8)	+0,583 (1,8)	+0,054
T18 F	39,53	5h04	0,066	57	0,214	0,596 (1,6)	+0,513 (1,6)	+0,050
T18 F	39,53	5h06	0,099	59	0,228	0,572 (1,6)	+0,555 (1,6)	-0,064
T18 F	39,53	5h09	0,132	63	0,214	0,566 (1,4)	+0,517 (1,4)	-0,053
T18 F	39,53	5h11	0,165	74	0,234	0,625 (1,2)	+0,625 (1,2)	-0,066
T18 F	39,53	5h14	0,198	61	0,234	0,720 (1,6)	+0,608 (1,6)	-0,048
T18 F	39,53	5h16	0,165	67	0,226	0,546 (1,4)	+0,697 (1,4)	-0,072
T18 F	39,53	5h19	0,132	59	0,234	0,653 (1,6)	+0,649 (1,6)	-0,049
T18 F	39,53	5h21	0,099	75	0,211	0,560 (1,2)	+0,622 (1,2)	-0,067
T18 F	39,53	5h24	0,066	66	0,218	0,604 (1,4)	-0,507 (1,4)	-0,053
T18 F	39,53	5h26	0,033	61	0,218	0,633 (1,6)	-0,529 (1,6)	-0,049
T18 F	39,53	5h29	0,066	62	0,227	0,571 (1,6)	-0,611 (1,6)	-0,060
T18 F	39,53	5h31	0,099	63	0,216	0,526 (1,4)	-0,708 (1,4)	-0,055
T18 F	39,53	5h33	0,132	66	0,216	0,582 (1,4)	-0,579 (1,4)	-0,065
T18 F	39,53	5h36	0,165	61	0,235	0,735 (1,6)	-0,640 (1,6)	-0,065
T18 F	39,53	5h39	0,198	62	0,244	0,632 (1,6)	-0,655 (1,6)	-0,063
T18 F	39,53	5h41	0,165	65	0,232	0,582 (1,4)	-0,681 (1,4)	-0,068
T18 F	39,53	5h44	0,132	65	0,212	0,567 (1,4)	-0,535 (1,4)	-0,077
T18 F	39,53	5h46	0,099	65	0,222	0,565 (1,4)	-0,628 (1,4)	-0,064
T18 F	39,53	5h49	0,066	64	0,205	0,506 (1,4)	-0,571 (1,4)	-0,056
T18 F	39,53	5h51	0,033	65	0,228	0,600 (1,4)	-0,743 (1,4)	-0,034
T18 F	39,53	5h54	0,066	58	0,218	0,551 (1,6)	-0,641 (1,6)	-0,063
T18 F	39,53	5h56	0,099	56	0,237	0,627 (1,6)	-0,617 (1,6)	-0,072
T19 A	41,20	0h01	0,033	35	0,221	0,481 (2,5)	+0,541 (2,5)	+0,077
T19 A	41,20	0h03	0,066	48	0,218	0,598 (2)	+0,548 (2)	+0,070
T19 A	41,20	0h05	0,099	59	0,231	0,614 (1,6)	+0,635 (1,6)	+0,061

proefnummer	afst. t.o.v. golfschot (m)	tijdfase (h)	golfhoogte H_s (m)	golfperiode T (s)
T04	8,00	0,3-1,0	0,286	2,15
	14,50*	0,3-1,0	0,247	2,22
	30,00	0,3-1,0	0,207	2,43
	40,00	0,3-1,0	0,160	2,99

*) plaats waar $d = 2 H_{0s}$

Tabel 4 Golfhoogtemetingen Scheldegoot

proefnummer		tijdfase	positie t.o.v. golfschot	aantal vert.	Fig nr. [3]
(-)		(h)	(m)	(-)	(-)
T 1	*	0 -1,0	182,5	9	79
	*	1,0-2,0	156,5	7	80
	*	2,0-3,0	182,5	5	81
	*	6,0-6,5	182,5	2	82
	*	6,5-7,0	170,0	2	83
	*	7,0-7,5	157,5	1	84
		8,0-8,5	132,5	1	85
		8,5-9,5	90,0	2	86
T 2	*	0 -1,0	186,5	10	87
	*	1,0-1,7	180,0	8	88
	*	1,7-2,5	186,0	5	89
	*	6 -6,5	110,0	3	90
	*	7 -7,5	162,0	3	91
	*	8 -8,5	180,0	3	92
	*	8,5-9,5	186,0	3	93
T 3		0,5-1,0	155,4	3	94
		1,5-2,0	172,0	3	95
		4,0-4,5	161,7	3	96
		5,0-5,5	172,0	6	97
		6,5-7,0	179,0	6	98
		7,0-7,5	186,0	3	99
		8,0-8,5	179,0	6	100
		8,5-9,0	172,0	6	101
		9,5-10,5	161,7	9	102
		12 -12,5	172,0	3	103
		13,5-14,0	155,4	3	104

Tabel 5 Overzicht concentratiemetingen Deltagoot

vervolg tabel 5

proefnummer (-)	tijdfase (h)	positie t.o.v. golfschot (m)	aantal vert. (-)	Fig nr. [3] (-)
T 4	1,0-2,0	175,0	11	105
	2,0-3,5	175,0	10	106
	6,0-7,0	184,0	10	107
	7,0-7,5	184,0	5	108
	7,5-8,0	184,0	5	109
	8,0-8,5	184,0	6	110
	8,5-9,5	184,0	6	111
	10,0-10,5	165,0	6	112
	10,5-11,5	165,0	6	113
	11,5-12,5	165,0	9	114
T 5	0 -0,5	175,0	1	115
	1,0-1,5	160,0	5	116
	2,0-2,5	120,0	8	117
	3,0-3,5	160,0	8	118
	4,0-5,0	160,0	8	119

*) gebruikt t.b.v. analyse dwarstransport (Hfdst 4.3.3.4)

Tabel 5 Overzicht concentratiemetingen Deltagoot

tijd (h)	$\sum S \text{ (m}^3\text{m)}$				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
0	0	0	0	0	0
0,1	0,032	0,014	0,004	0,021	0,002
0,3	0,086	0,054	0,016	0,050	0,021
1,0	0,180	0,105	0,043	0,120	0,050
3,0	0,272	0,190	0,093	0,212	0,110
6,0	0,324	0,265	0,151	0,274	0,167

Tabel 6 Geaccumuleerde transporten Scheldegootverticalen.

tijd (h:m)	d (m)	v_r (m/s)	q_c (m ² /s)	C_o (kg/m ³)	r_c (m)	C_d (kg/m ³)	L_s (kg/m ²)	ΔL_s (kg/m ²)	$S_z \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S_1 \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S' \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)
0:02	0,15	0,09	0,0135	18,0	0,218	9,0	1,97	0,53	106,3	72,8	33,5	62,1
0:08	0,11	0,22	0,0134	21,4	0,237	13,5	1,88	-	137,6	108,3	29,3	29,3
0:15	0,102	0,137	0,0140	34,8	0,067	7,6	1,82	-	149,5	63,7	85,8	85,8
0:20	0,098	0,144	0,0141	29,7	0,116	12,8	1,97	-	169,4	108,1	61,4	61,4
0:25	0,097	0,150	0,0146	35,8	0,084	11,3	2,06	-	184,9	98,8	86,2	86,2
0:33	0,096	0,152	0,0146	31,4	0,124	14,5	2,10	-	191,0	126,8	64,2	64,2
0:52	0,096	0,145	0,0139	29,3	0,088	9,8	1,71	-	148,7	81,6	67,1	67,1
1:02	0,095	0,140	0,0133	14,3	0,163	7,9	1,03	-	86,3	62,9	23,4	23,4
1:06	0,095	0,138	0,0131	15,4	0,210	9,8	1,18	-	97,2	76,9	20,4	20,4
1:16	0,094	0,134	0,0126	22,1	0,084	7,2	1,25	-	100,3	54,3	45,9	45,9
1:31	0,092	0,126	0,0116	17,5	0,107	7,4	1,08	-	81,5	51,4	30,1	30,1

Tabel 7 Transportberekeningen verticaal S-1 (x = 44,30 m)

tijd (h:m)	d (m)	v_r (m/s)	q_c (m ² /s)	C_o (kg/m ³)	r_c (m)	C_d (kg/m ³)	L_B (kg/m ²)	ΔL_B (kg/m ²)	$S_z \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S_1 \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S' \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)
0:02	0,193	0,080	0,0154	6,5	0,29	3,3	0,92	0,12	43,8	30,4	13,4	19,1
0:08	0,186	0,085	0,0158	8,7	0,18	3,1	1,01	0,17	51,3	29,3	22,0	30,5
0:11	0,184	0,085	0,0156	11,2	0,15	4,4	1,02	0,06	51,9	41,1	10,8	13,7
0:14	0,180	0,08	0,0144	7,3	0,22	3,2	0,90	0,15	43,0	27,6	15,4	22,6
0:21	0,178	0,085	0,0151	12,7	0,12	2,9	1,18	—	59,9	26,2	33,6	33,6
0:29	0,172	0,090	0,0155	11,5	0,14	3,4	1,14	0,06	61,4	31,6	29,8	33,1
1:02	0,160	0,095	0,0152	10,0	0,19	4,3	1,08	0,04	61,5	39,1	22,4	24,4
1:07	0,156	0,100	0,0156	10,0	0,17	4,0	1,02	0,12	61,1	37,4	23,7	30,6
1:13	0,156	0,100	0,0156	10,1	0,15	3,6	0,98	0,04	58,7	33,6	25,0	27,1
1:26	0,152	0,100	0,0152	9,8	0,19	4,4	1,03	0,04	61,4	40,0	21,4	23,5
1:30	0,144	0,100	0,0144	7,0	0,57	5,4	0,91	0,09	54,6	46,6	8,0	13,3
5:01	0,138	0,100	0,0138	9	0,13							
5:11	0,138	0,100	0,0138	9	0,13							
5:31	0,138	0,100	0,0138	9	0,13							
5:36	0,138	0,100	0,0138	9	0,13							

Tabel 8 Transportberekeningen verticaal S-2 (x = 42,87 m)

tijd (h:m)	d (m)	v_r (m/s)	q_c (m ² /s)	C_o (kg/m ³)	r_c (m)	C_d (kg/m ³)	L_s (kg/m ²)	ΔL_s (kg/m ²)	$S_z \cdot 10^6$ (m ³ /ms)	$S_1 \cdot 10^6$ (m ³ /ms)	$S \cdot 10^6$ (m ³ /ms)	$S' \cdot 10^6$ (m ³ /ms)
0:03	0,260	0,06	0,0156	1,05	0,396	0,54	0,200	0,094	7,2	5,0	2,2	5,6
0:09	0,260	0,06	0,0156	2,08	0,272	0,80	0,348	0,123	12,5	7,5	5,0	9,4
0:14	0,260	0,06	0,0156	3,32	0,267	1,25	0,552	0,094	19,8	11,7	8,1	11,5
0:21	0,260	0,06	0,0156	2,41	0,267	0,91	0,400	0,106	14,4	8,5	5,9	9,7
0:27	0,260	0,06	0,0156	3,72	0,257	1,35	0,608	0,091	21,9	12,6	9,2	12,5
0:50	0,260	0,06	0,0156	2,75	0,344	1,29	0,502	0,152	18,0	12,1	5,9	11,4
1:04	0,255	0,06	0,0153	2,06	0,231	0,68	0,318	0,236	11,4	6,2	5,2	13,7
1:09	0,255	0,06	0,0153	2,36	0,187	0,60	0,328	0,212	11,8	5,5	6,3	13,9
1:41	0,255	0,06	0,0153	2,17	0,145	0,37	0,261	0,163	9,4	3,4	6,0	11,8
1:49	0,255	0,06	0,0153	2,23	0,144	0,38	0,266	0,144	9,6	3,5	6,1	11,3
5:03	0,250	0,06	0,0150	2,92	0,119	0,36	0,305		10,9	3,2	7,7	
5:09	0,250	0,06	0,0150	2,57	0,128	0,36	0,282		10,1	3,2	6,9	
5:31	0,250	0,06	0,0150	2,47	0,112	0,27	0,246		8,9	2,4	6,4	
5:41	0,250	0,06	0,0150	2,35	0,121	0,30	0,248		8,9	2,7	6,2	

Tabel 9 Transportberekeningen verticaal S-3 (x = 39,50 m)

tijd (h:m)	d (m)	v_r (m/s)	q_c (m ² /s)	C_o (kg/m ³)	r_c (m)	C_d (kg/m ³)	L_s (kg/m ²)	ΔL_s (kg/m ²)	$S_z \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S_1 \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S' \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)
0:37	0,128	0,117	0,0150	17,5	0,207	9,4	1,67	—	117,0	84,4	32,6	32,6
0:44	0,126	0,119	"	18,4	0,187	9,4	1,69	—	120,2	84,4	35,8	35,8
1:03	0,121	0,124	"	15,3	0,209	8,6	1,41	—	104,4	77,2	27,1	27,1
1:16	0,119	0,126	"	18,6	0,148	8,3	1,52	—	114,7	74,6	40,2	40,2
1:26	0,118	0,127	"	15,8	0,173	8,0	1,35	—	102,8	71,9	30,9	30,9

Tabel 10 Transportberekeningen verticaal S-4 (x = 43,60 m)

tijd (h:m)	d (m)	v_r (m/s)	q_c (m ² /s)	C_o (kg/m ³)	r_c (m)	C_d (kg/m ³)	L_g (kg/m ²)	ΔL_g (kg/m ²)	$S_z \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S_1 \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)	$S' \cdot 10^{+6}$ (m ³ /ms)
0:03	0,236	0,064	0,0152	3,05	0,140	0,57	0,35	0,08	13,3	5,2	8,1	11,0
0:09	0,234	0,065	"	3,42	0,126	0,53	0,36	0,11	14,2	4,8	9,3	13,7
0:13	0,233	0,065	"	5,54	0,148	1,15	0,65	0,14	25,3	10,5	14,8	20,1
0:21	0,232	0,066	"	3,57	0,203	1,14	0,49	0,31	19,5	10,4	9,1	21,5
0:26	0,232	0,066	"	3,89	0,171	1,00	0,49	0,23	19,5	9,1	10,4	19,6
1:46	0,224	0,068	"	4,38	0,107	0,54	0,41	0,30	16,7	4,9	11,8	24,1
1:51	0,223	0,068	"	5,05	0,102	0,57	0,46	0,39	18,6	4,9	13,7	29,4

Tabel 11 Transportberekeningen verticaal S-5 (x = 41,20 m)

tijd (h)	$\sum S \text{ (m}^3/\text{m}^1)$					
	D-1			D-2		
	182,50	170,00	156,50	186,00	180,00	162,00
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,50	-	-	0,40	0,25	0,15
0,3	1,10	0,05	0,25	1,05	0,70	0,45
1,0	4,35	0,90	0,45	2,25	0,85	0,40
3,0	9,50	2,90	1,20	5,45	2,70	0,80
6,0	13,05	5,65	1,55	8,15	5,25	1,10
10,0	15,95	8,60	2,65	10,30	7,35	1,05

Tabel 12 Geaccumuleerde transporten Deltagootverticalen

verti- caal	tijd	d	q _c	C _o	C _d	α	K _c	C*	S.10 ⁶
(-)	(h:m)	(m)	(m ³ /ms)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(-)	(-)	(kg/m ³)	(m ³ /ms)
D1-1	0:02	1,31	0,26	5	0,5	0,43	0,29	1,45	226
	0:08	1,26	0,26	5,5	0,8	0,52	0,30	1,64	255
	0:20	1,11	0,23	6	1	0,56	0,30	1,79	247
	0:27	1,06	0,23	40	1,5	0,30	0,26	10,23	1408
	0:32	1,04	0,23	12	7	1,86	0,19	2,28	313
	0:37 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	0:44 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	0:49	0,94	0,21	30	0,5	0,25	0,22	6,72	843
	0:53	0,90	0,21	50	0,9	0,25	0,23	11,32	1423
	2:17	0,78	0,19	10,2	5	1,40	0,22	2,29	261
	2:24 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2:30 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2:44 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	2:50 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	6:03 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	6:10 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
D1-2	6:39	1,15	0,36	10,1	0,15	0,24	0,22	2,21	477
	6:45	1,15	0,36	5	0,3	0,36	0,27	1,37	295
D1-3	1:15	1,89	0,35	3	1,6	1,60	0,21	0,63	131
	1:21	"	"	1,8	0,5	0,78	0,29	0,51	108
	1:28	"	"	7	2,6	1,01	0,26	1,84	387
	1:37	1,88	"	0,8	0,7	7,49	0,06	0,05	10
	1:43	"	"	2	0,2	0,43	0,29	0,58	122
	1:48	"	"	1,4	0,5	0,97	0,27	0,37	78
	1:54	1,87	"	1	0,5	1,44	0,22	0,22	46
	7:24	1,78	0,23	2,2	0,15	0,37	0,28	0,61	84

- te weinig informatie

1) hoge concentraties grote transporten

2) afnemende concentraties

Tabel 13 Transportberekeningen verticalen D1-1 t/m 3

verti- caal	tijd	d	q _c	C _o	C _d	α	K _c	C*	S.10 ⁶
(-)	(h:m)	(m)	(m ³ /ms)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(-)	(-)	(kg/m ³)	(m ³ /ms)
D2-1	0:07	1,16	0,24	4	0,1	0,27	0,24	0,96	138
	0:12	1,14	0,25	6	0,2	0,29	0,25	1,51	225
	0:20	1,06	0,24	3,2	0,4	0,48	0,30	0,95	136
	0:23	1,04	0,25	6	0,5	0,40	0,29	1,74	261
	0:28	1,00	0,24	9	2,1	0,69	0,29	2,64	380
	0:31	0,98	0,24	17,5	1,1	0,36	0,28	4,83	694
	0:38 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	0:41 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	0:48 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	0:51 1)	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:50	0,77	0,23	32	3,5	0,45	0,29	9,38	1292
	1:54	0,76	0,23	10,2	0,9	0,41	0,29	2,93	404
	2:02	0,76	0,23	10,2	0,7	0,37	0,28	2,85	392
	2:06	0,76	0,23	30	3	0,43	0,29	8,73	1202
	2:25	0,74	0,23	20	2,1	0,44	0,29	5,84	805
	2:29	0,74	0,23	23	5	0,66	0,30	6,80	936
	8:57 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	9:01 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
	9:04 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
D2-2	1:02	1,26	0,24	2	0,4	0,62	0,30	0,59	89
	1:06	1,25	0,24	2,5	0,4	0,55	0,30	0,75	107
	1:14	1,23	0,25	2,3	0,7	0,84	0,28	0,65	97
	1:17	1,22	0,24	4	0,6	0,53	0,30	1,19	171
	1:25	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:37	1,17	0,25	7	0,8	0,46	0,29	2,06	308
	1:41	1,16	0,25	6	1,2	0,62	0,30	1,78	267
	8:03	-	-	-	-	-	-	-	-
	8:07	0,86	0,25	5	1,7	0,93	0,27	0,82	122
	8:11	-	-	-	-	-	-	-	-
D2-3	7:04	1,68	0,29	0,4	2	-0,62	-2,5	-1,0	-175 3)
	7:08	1,68	0,29	0,5	0,8	-2,13	-0,3	-0,16	- 28 3)
	7:11	1,68	0,29	0,4	0,8	-1,44	-0,6	0,24	- 42 3)

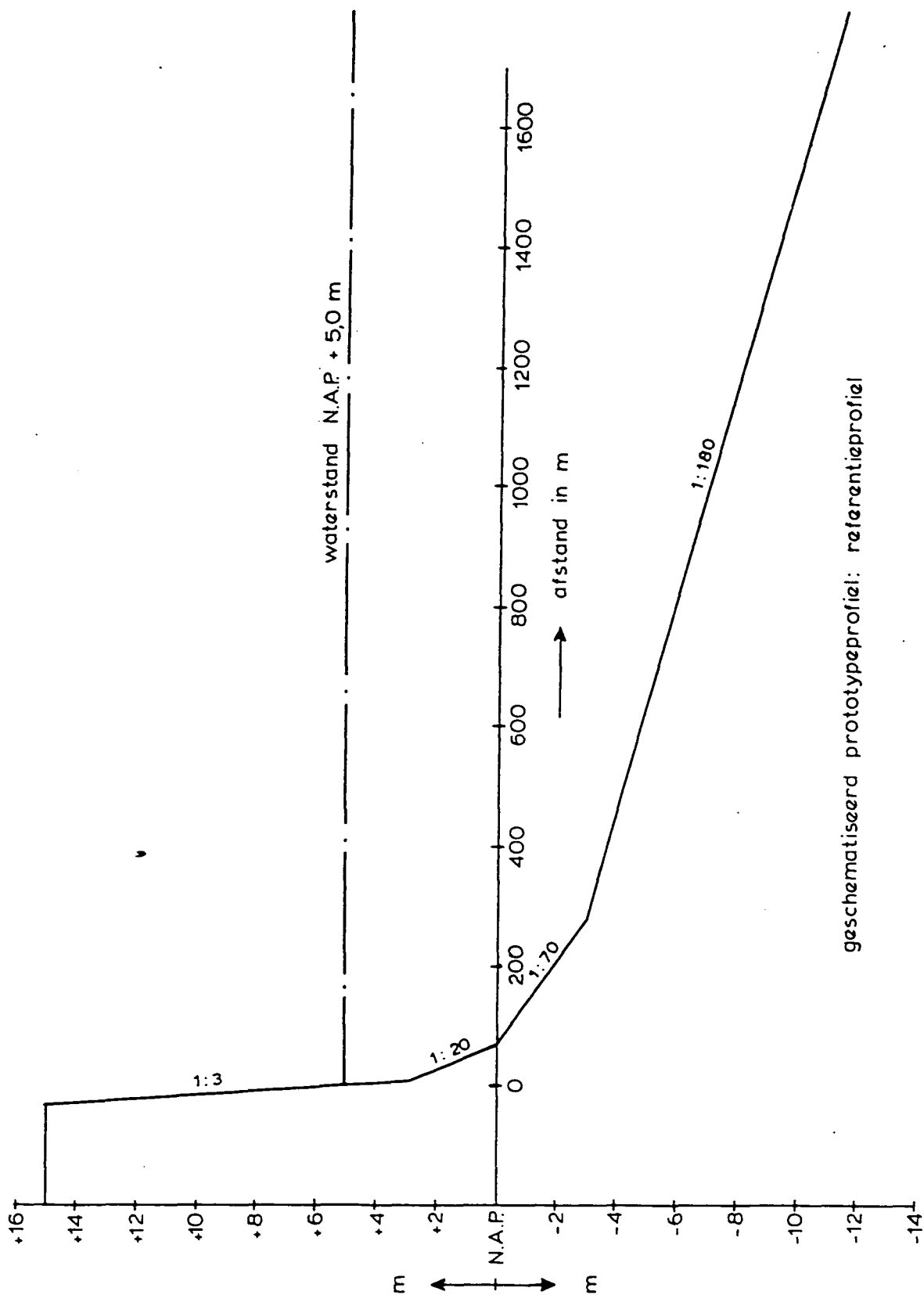
- te weinig informatie

1) hoge concentraties: grote transporten

2) klein tot negatief transport

3) uit profiel: klein tot negatief transport

Tabel 14 Transportberekeningen verticalen Deltagootproef T2



geschematiseerd prototypeprofiel: referentieprofiel

GESCHEMATISEERD KUSTPROFIEL,
REFERENTIEPROFIEL

PROTOTYPE

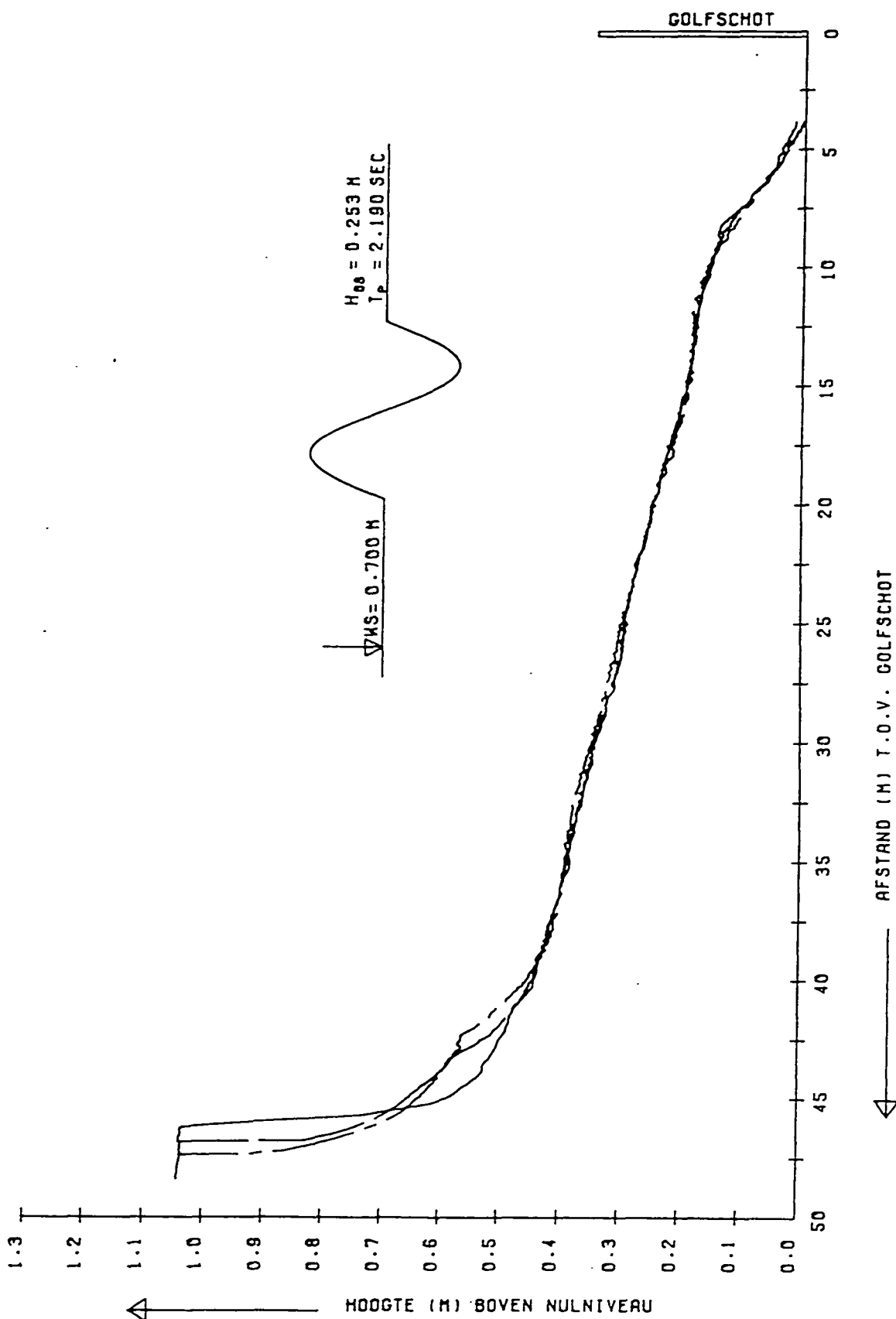
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG 1

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
1.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T04

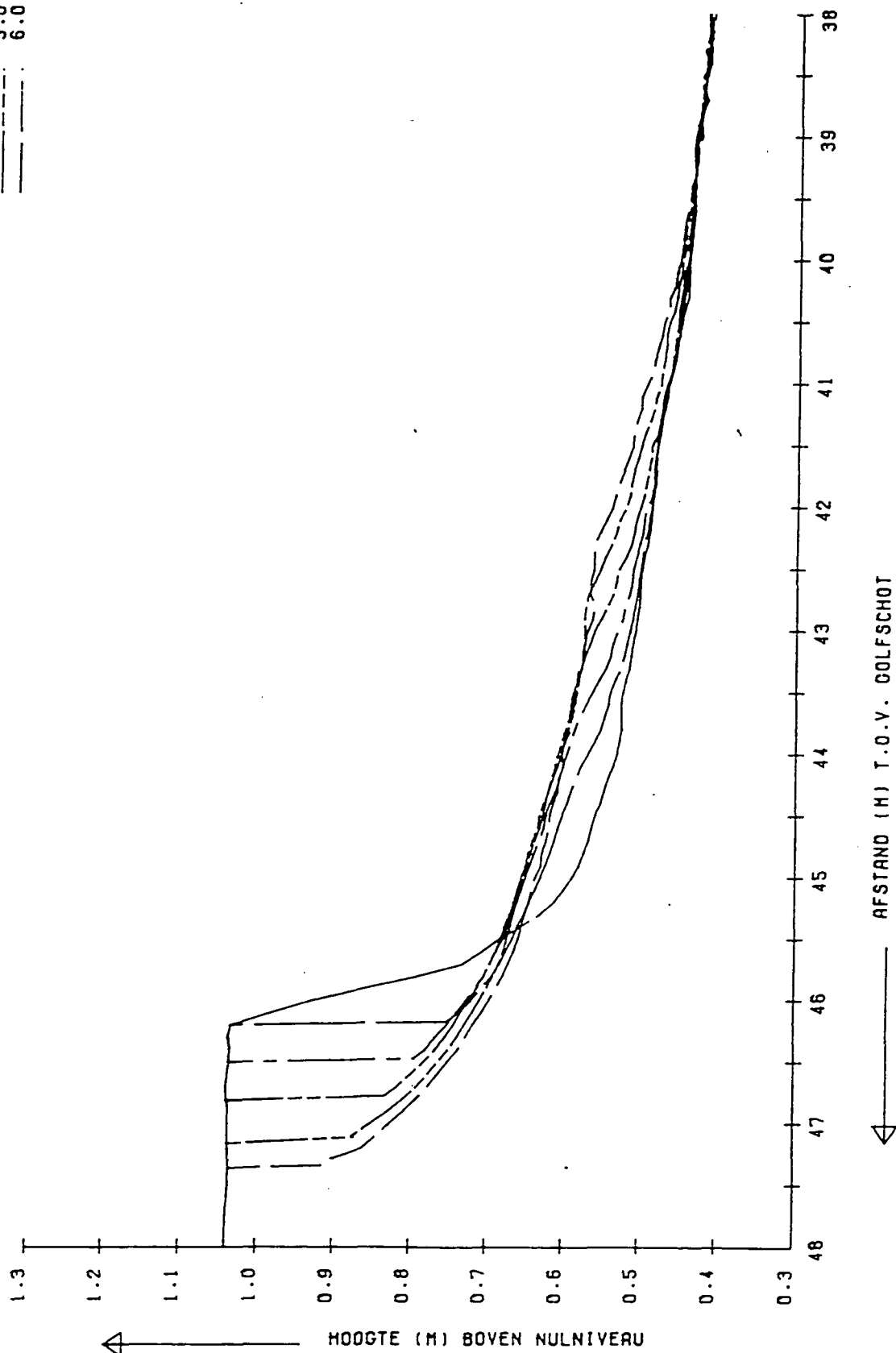
SCHAAL

HOR . 1:250

VERT. 1:10

TIJD IN UREN NA START:

_____ 0.0 UUR
 _____ 0.1 UUR
 _____ 0.3 UUR
 _____ 1.0 UUR
 _____ 3.0 UUR
 _____ 6.0 UUR



DWARSPROFIELEN

T04

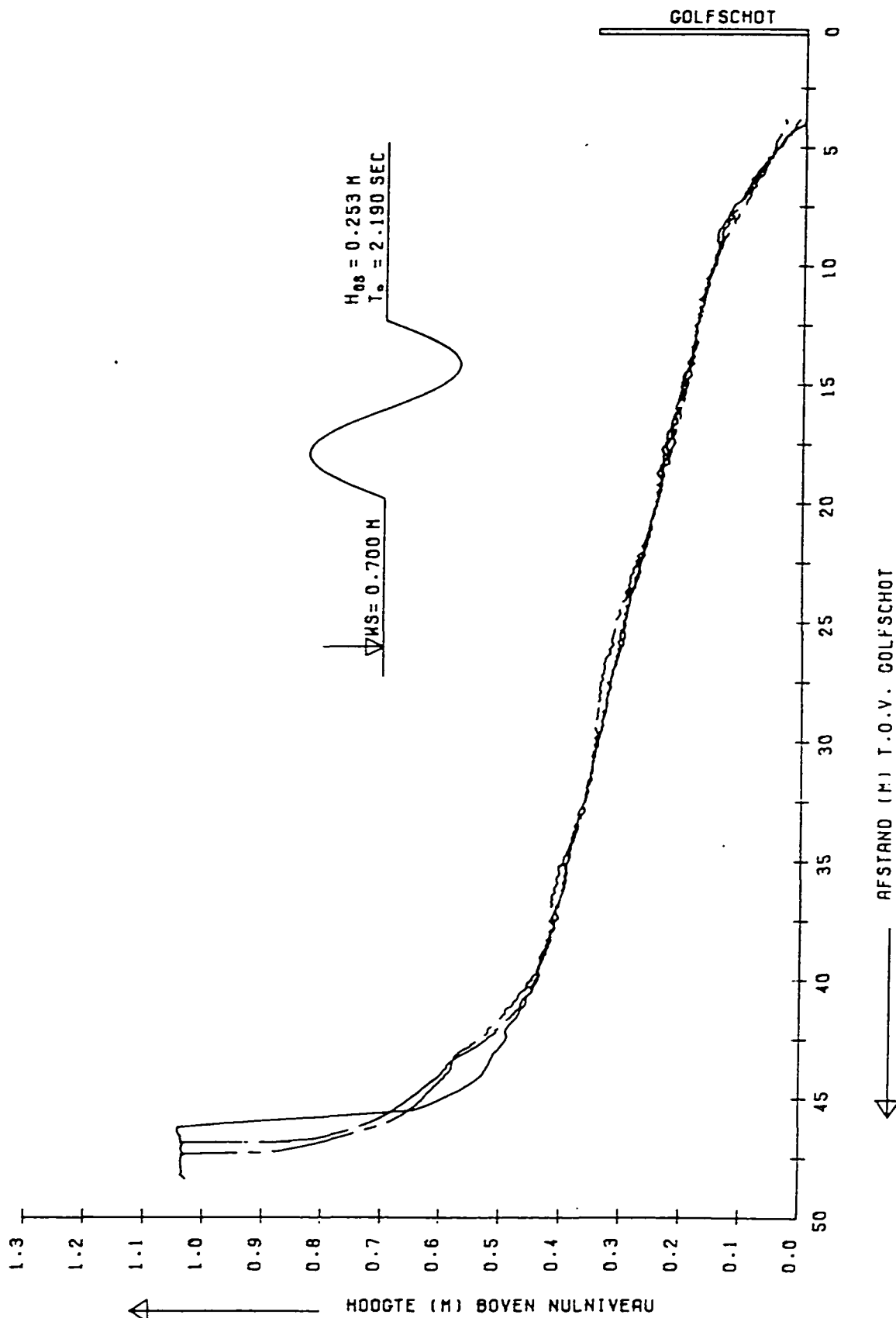
SCHAAL

HOR . 1:50

VERT. 1:8

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
1.00 UUR
6.00 UUR



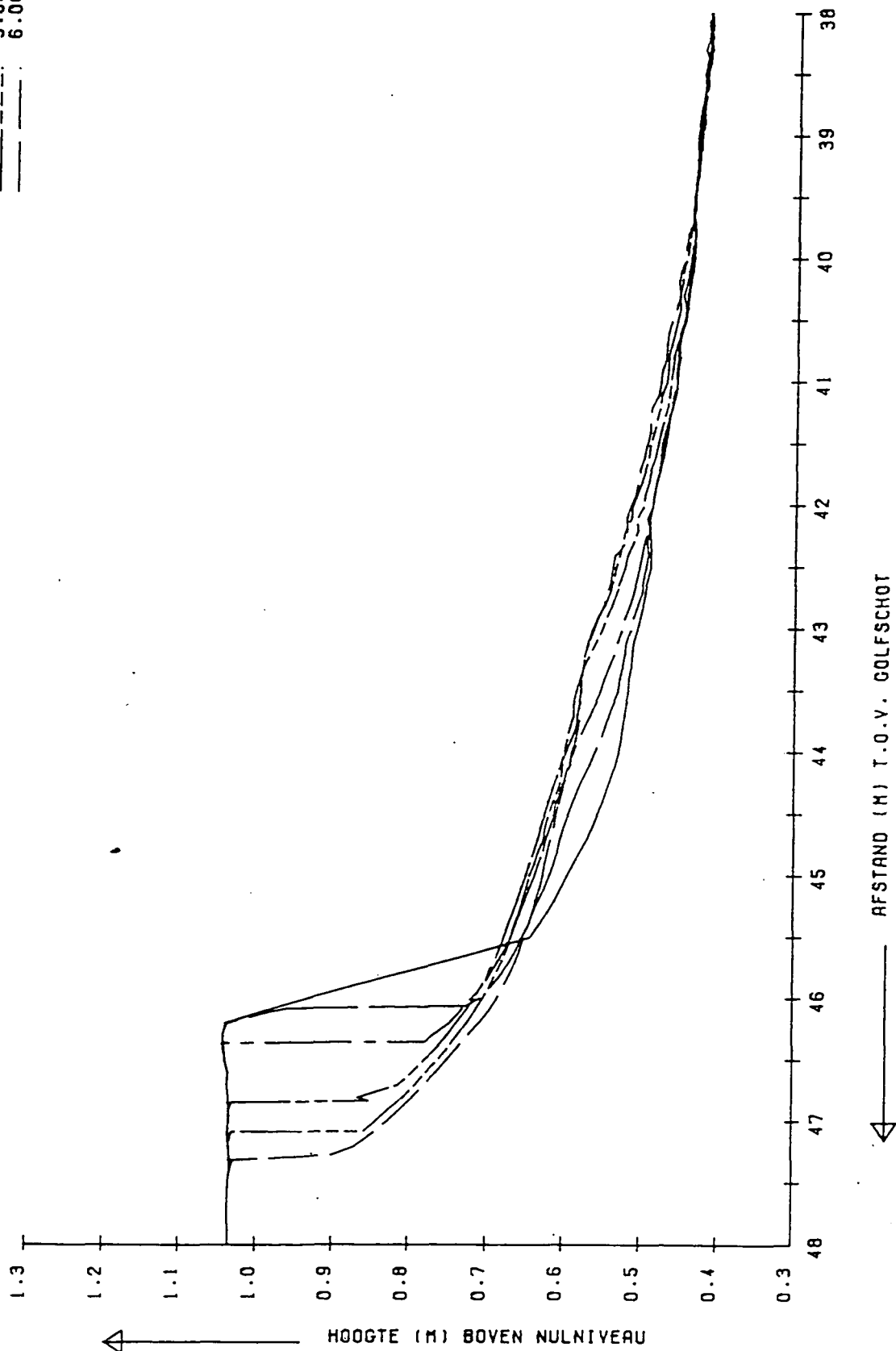
DWARSPROFIELEN

T15

SCHAAL HOR . 1:250
VERT. 1:10

TIJD IN JREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

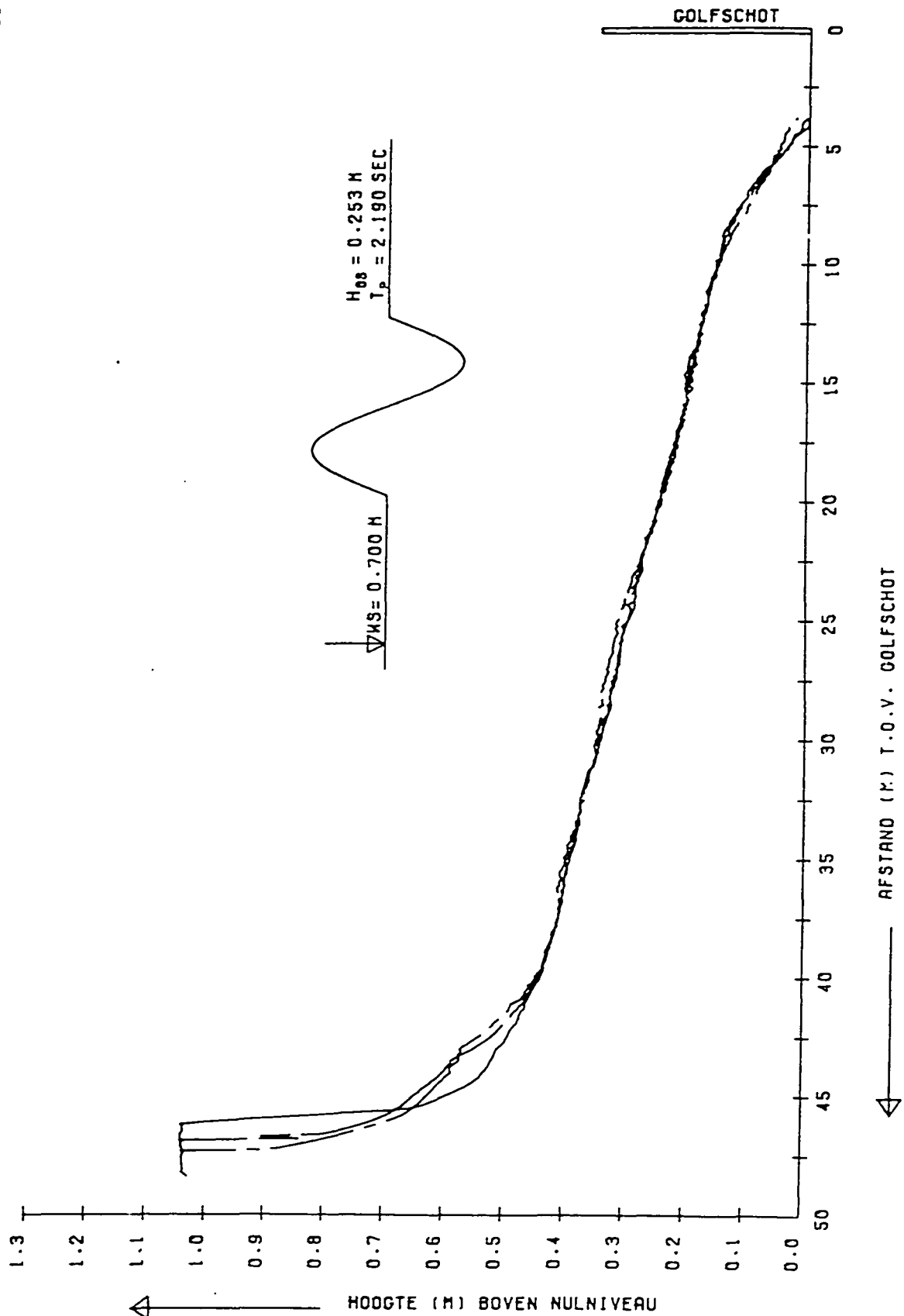
T15

SCHAAL

HOR . 1:50

VERT. 1:8

TIJD IN UREN NA START:
 _____ 0.00 UUR
 _____ 1.00 UUR
 _____ 6.00 UUR



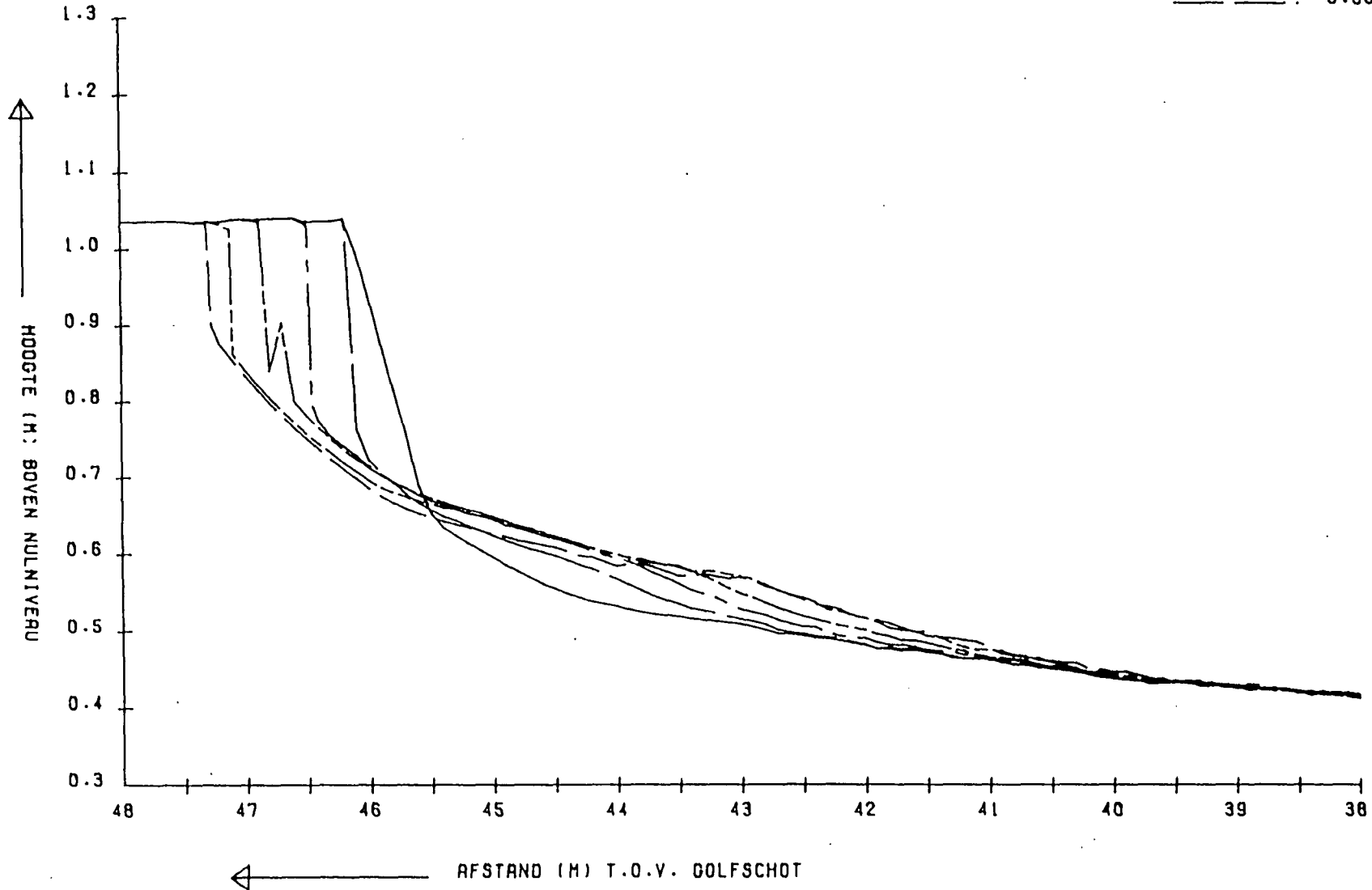
DWARSPROFIELEN

T16

SCHAAL HOR . 1:250
 VERT. 1:10

TIJD IN UREN NA START:

————	0.00	JUR
————	0.10	UUR
————	0.30	UUR
————	1.00	UUR
————	3.00	UUR
————	6.00	UUR



DWARSPROFIELEN

T16

SCHAKL

HOR. 1:50
VERT. 1:8

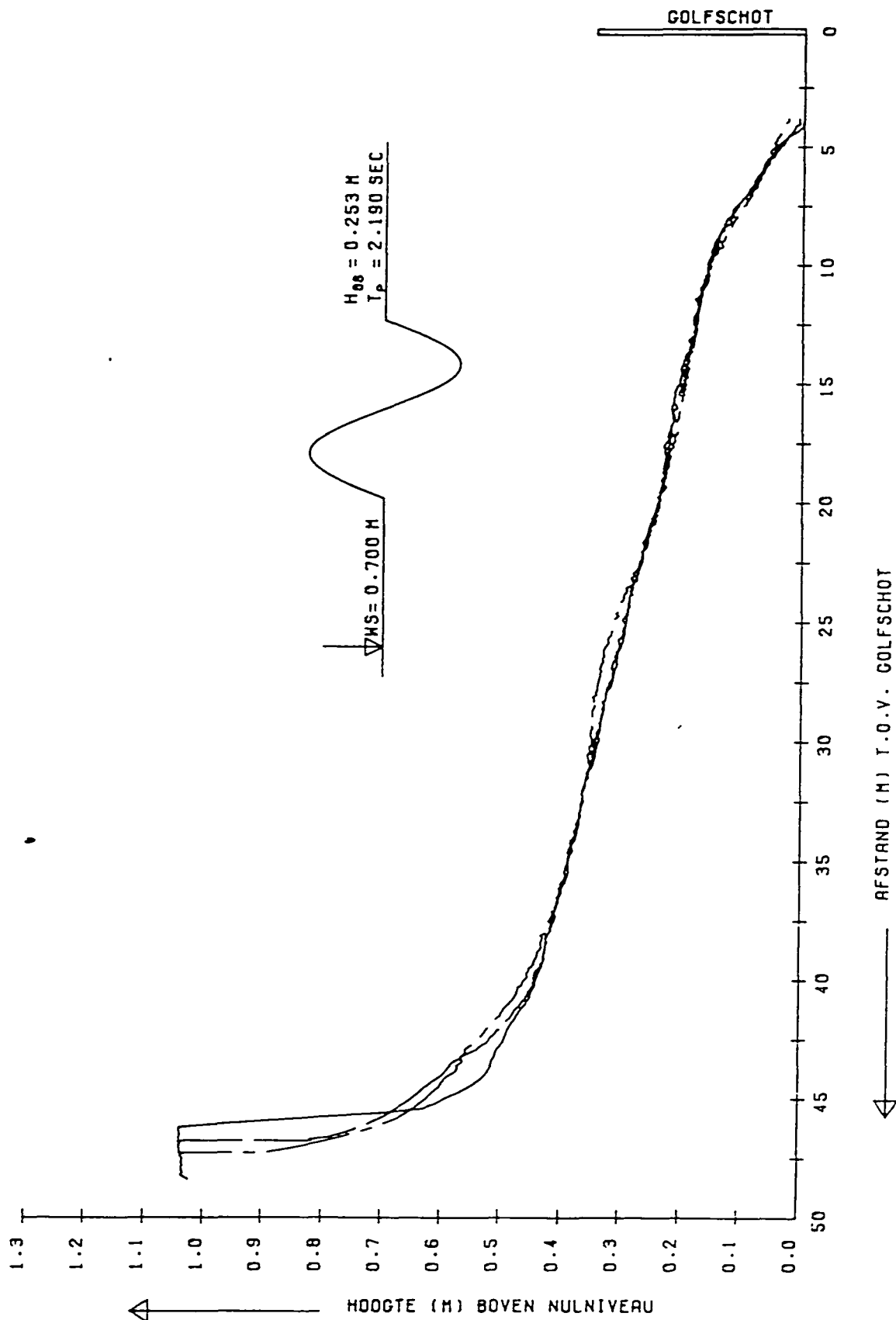
WATERI ONPKIINDIG. I ARBORATORIUM

M 1263

FIG. 7

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
1.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T17

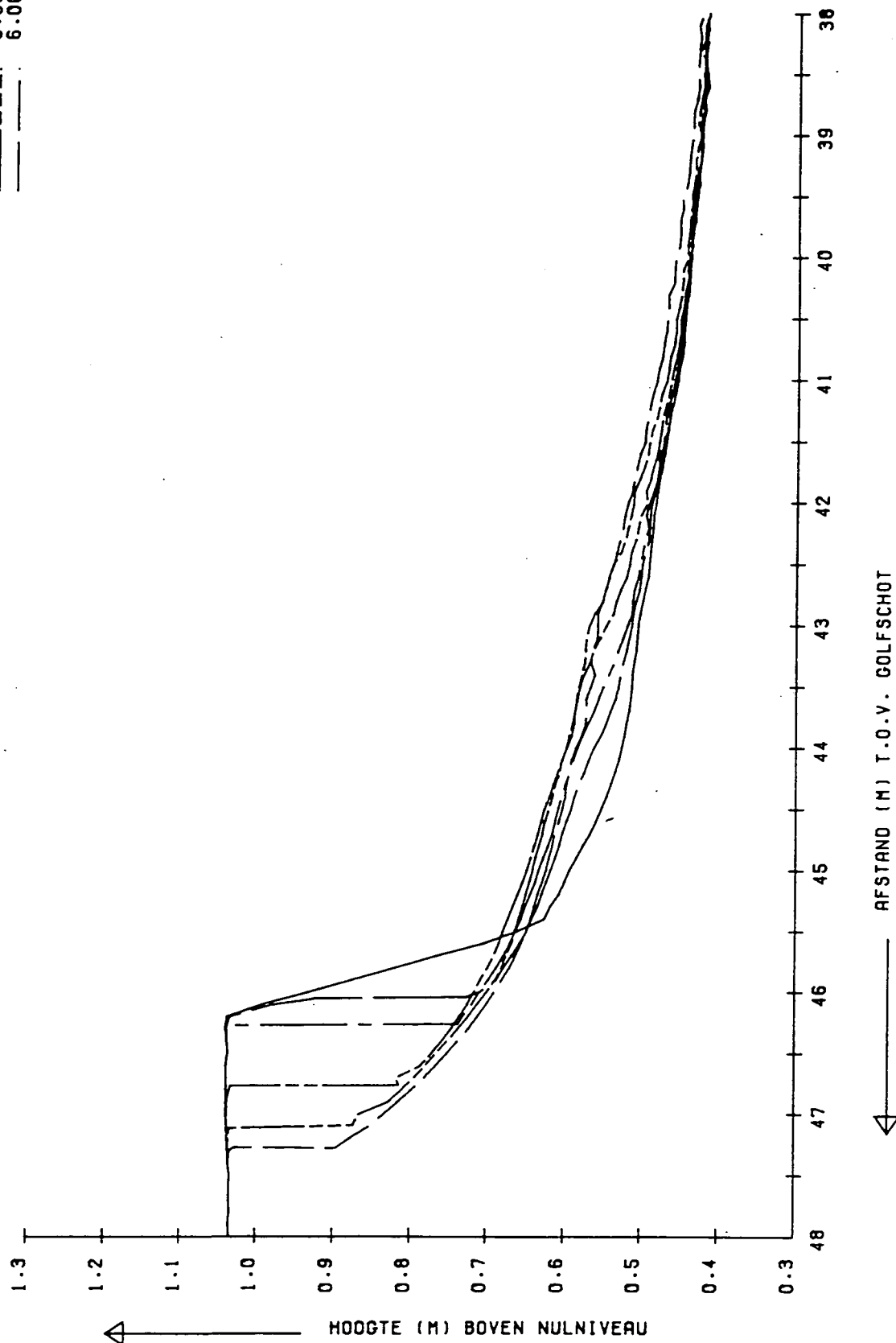
SCHAAL

HOR. 1:250

VERT. 1:10

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
 0.10 UUR
 0.30 UUR
 1.00 UUR
 3.00 UUR
 6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T17

SCHAAL

HOR . 1:50
 VERT. 1:8

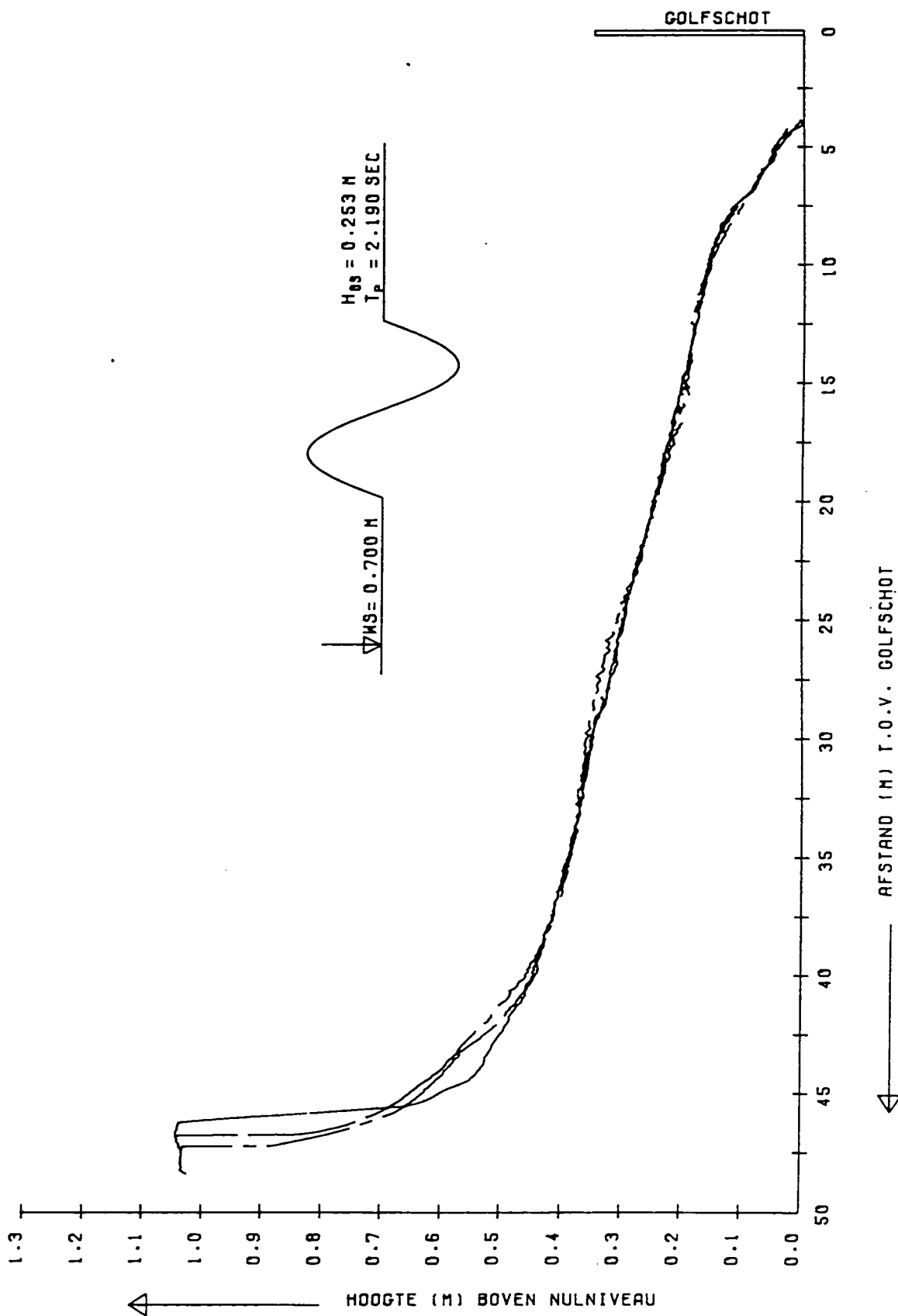
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 9

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
 1.00 UUR
 6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T18

SCHAAL HOR . 1:250
 VERT . 1:10

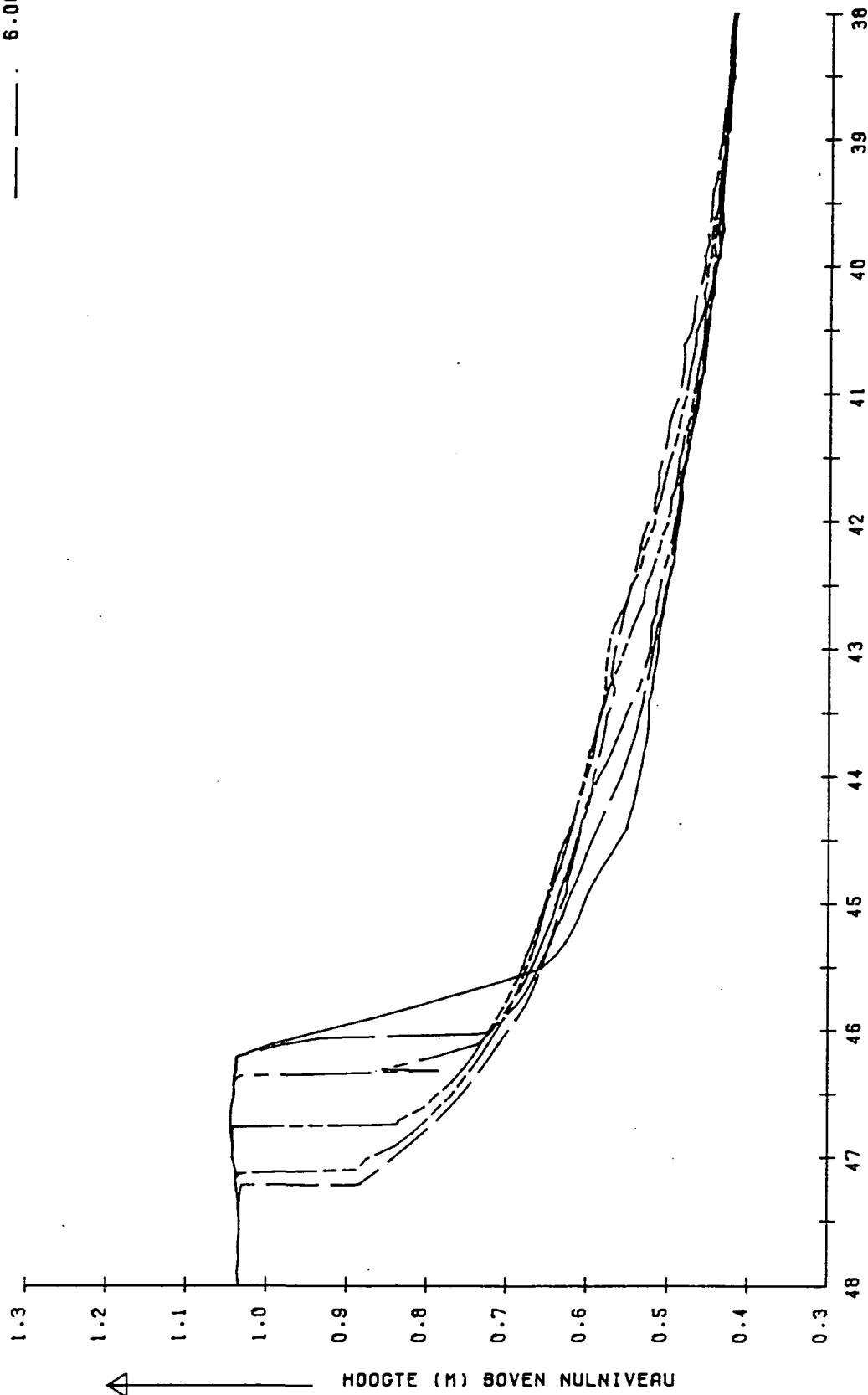
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 10

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T18

SCHAAL

HOR . 1:50

VERT. 1:8

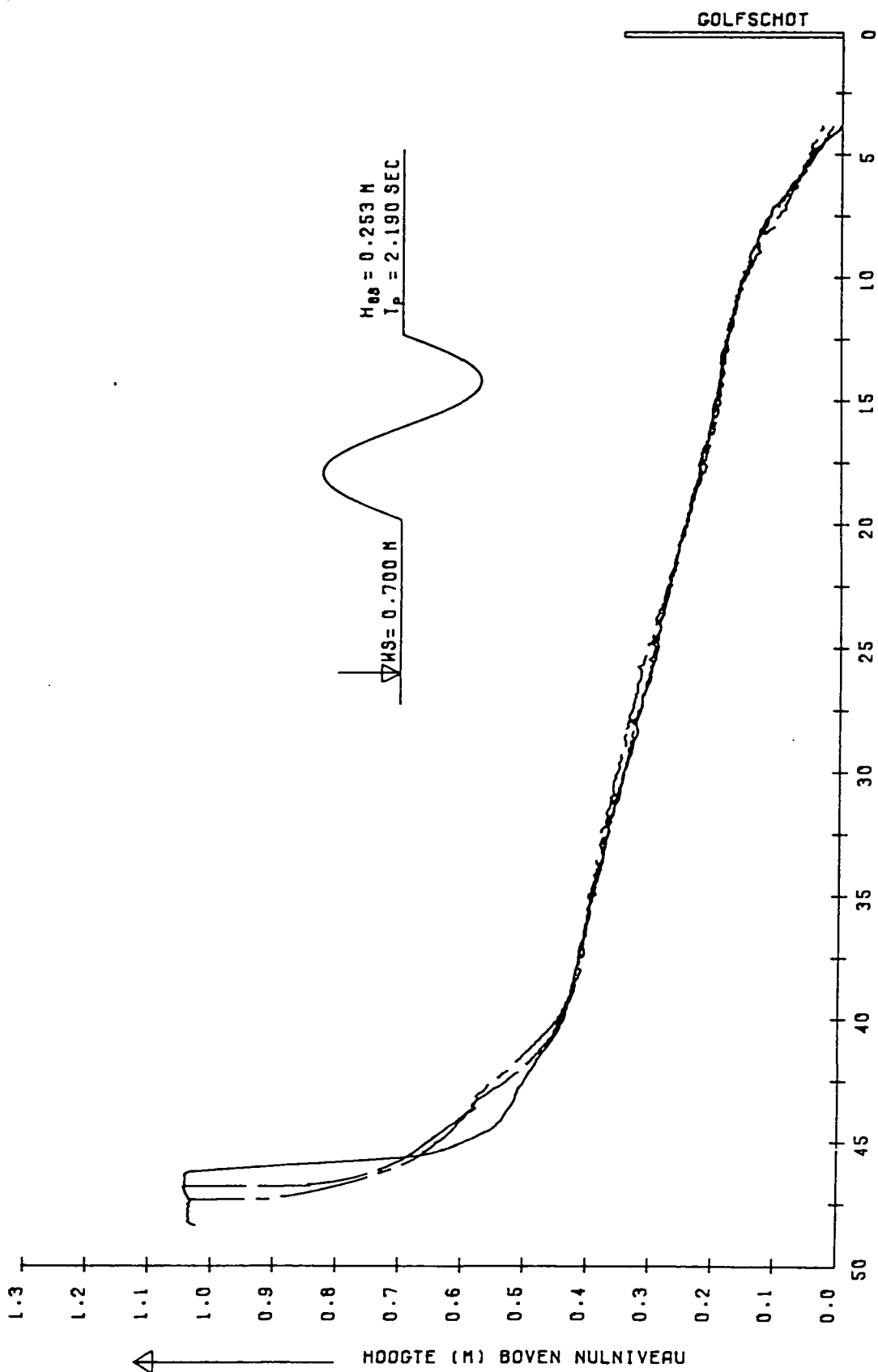
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 11

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
1.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T19

SCHAAL

HOR . 1:250

VERT. 1:10

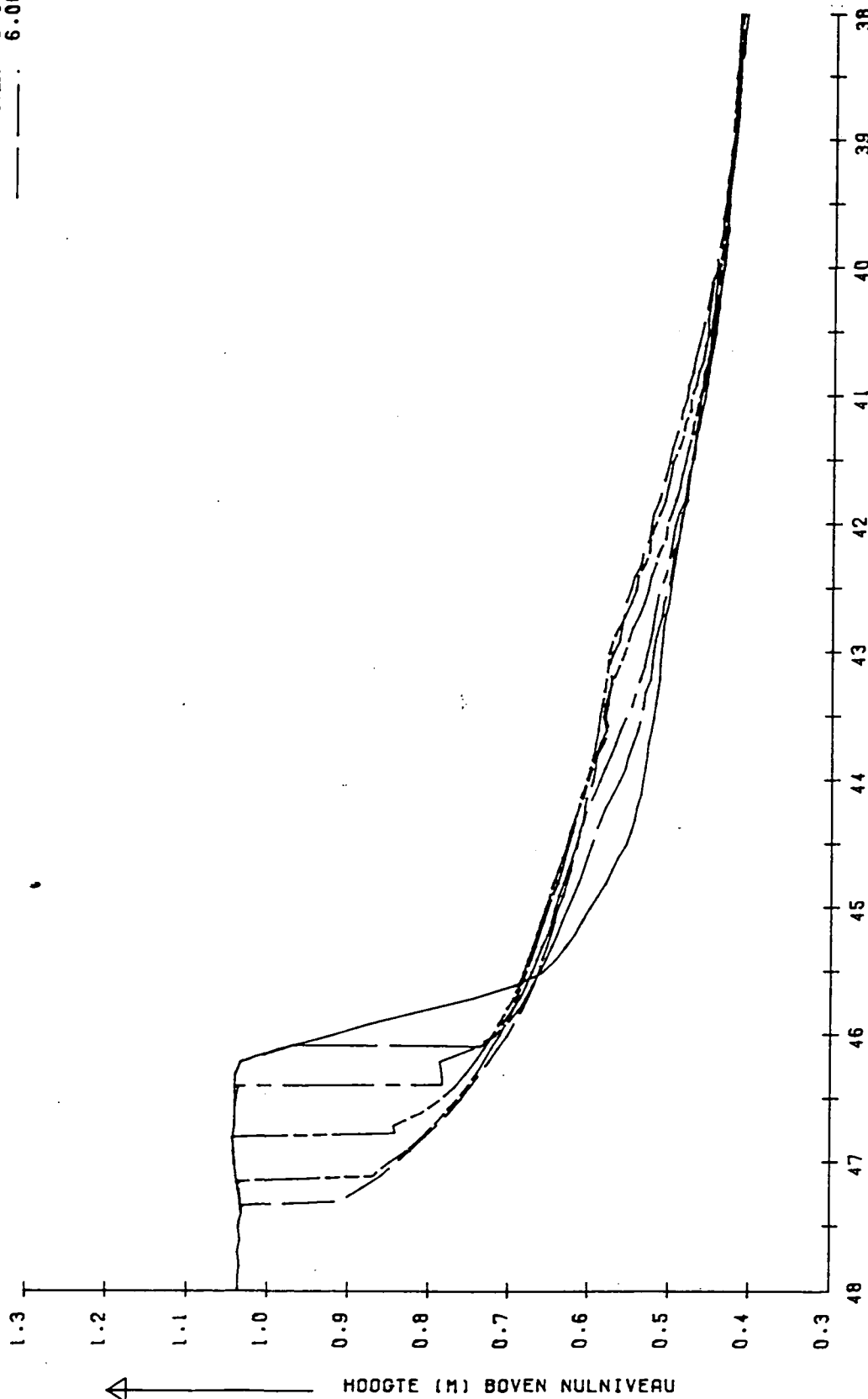
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 12

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T19

SCHAAL

HOR. 1:50

VERT. 1:8

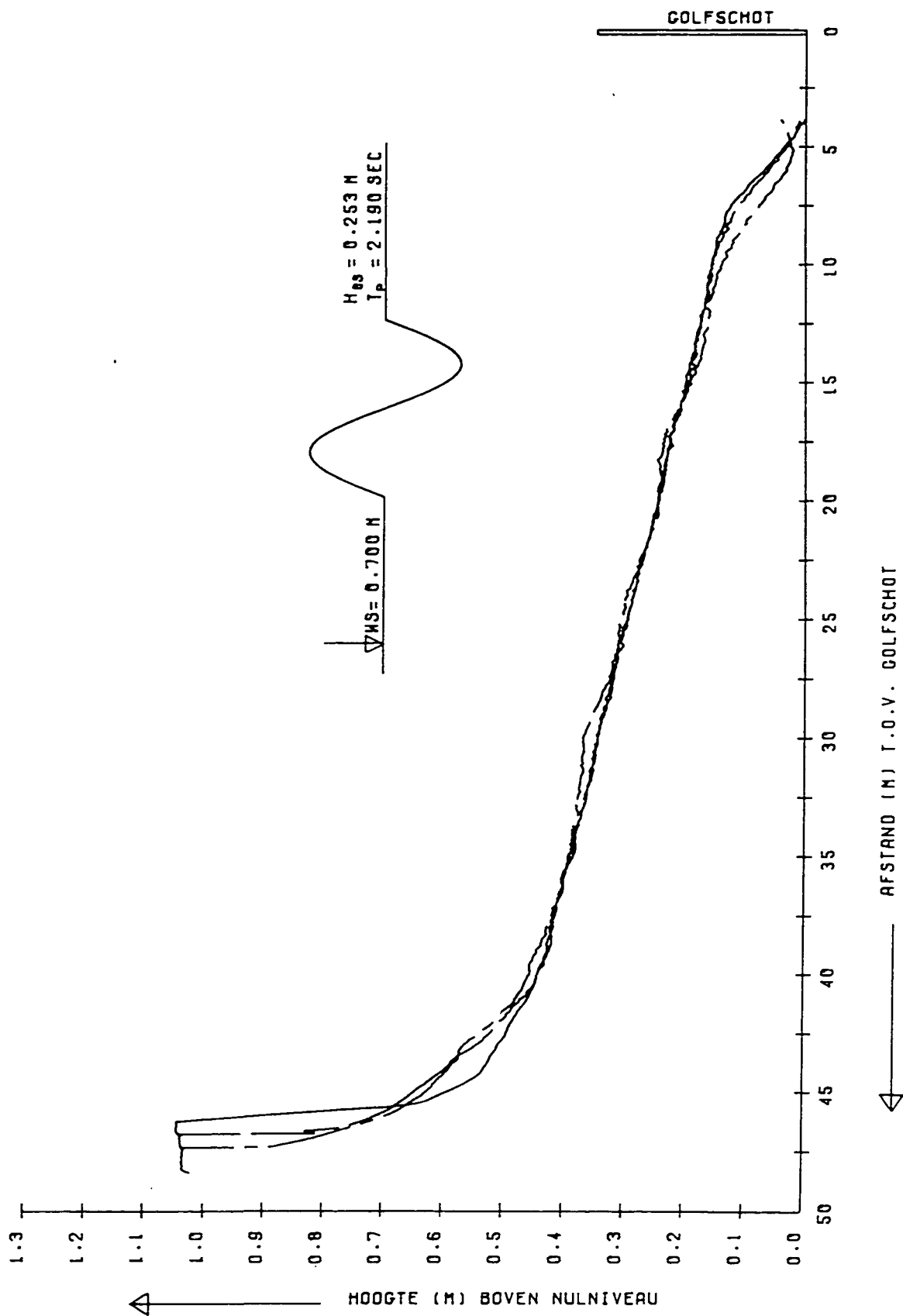
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 13

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
1.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T20

SCHAAL

HOR . 1:250
VERT. 1:10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 14

($z < 3,3$ cm) zijn geen metingen verricht, maar verwacht mag worden, dat nabij de bodem de snelheden sterk afnemen. Voor de transportberekeningen wordt echter verondersteld dat in dit gebied de snelheden ook in goede benadering uniform over de hoogte zijn.

De mate waarin de overschatting van de snelheden bij de bodem ($z = 0$) tot uitdrukking komt in de transporten is mede afhankelijk van de eveneens onbekende zandconcentraties in de bodemlaag. De aanname van een uniforme snelheidsverdeling ter hoogte van het stilwaterniveau ($z = d$) is voor het zeewaartse transport van minder belang. Het grootste deel van dit transport vindt immers op lagere niveau's plaats.

Wanneer wordt uitgegaan van een uniform snelheidsprofiel onder stilwaterniveau, dan moet er in een tijdsgemiddelde evenwichtssituatie voldaan worden aan de continuïteitsvoorwaarde:

$$\int_{z=0}^d v \, dz + \int_{z=d}^{\eta'} v(z) \, dz = 0$$

De eerste term heeft betrekking op het zeewaartse debiet onder stilwaterniveau, de tweede term op het landwaartse debiet boven stilwaterniveau. De componenten van de tweede term zijn onbekend, maar de grootte van de integraal is:

$$\int_{z=d}^{\eta'} v(z) \, dz = - \int_{z=0}^d v \, dz = -d \cdot v = -q_c \quad (11)$$

Onder het stilwaterniveau is sprake van een uniform verdeelde stroomsnelheid die zeewaarts zandtransport oplevert. Boven het stilwaterniveau treedt een landwaarts transport op. Het niet kennen van de snelheidsverdeling boven het stilwaterniveau is voor de berekening van het landwaartse transport niet ernstig. Door de brekende golven zal de concentratieverdeling vrij uniform zijn, waardoor het landwaartse transport goed benaderd kan worden met:

$$S_1 = \int_{z=d}^{\eta'} v(z) \cdot C(z) \cdot dz = C_d \cdot \int_{z=d}^{\eta'} v(z) \, dz = -C_d \cdot q_c \quad (12)$$

waarin C_d = karakteristieke concentratie op het niveau $z = d$.

4.2.3.3 Concentratieprofiel

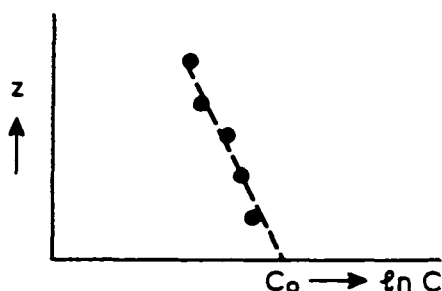
Concentratiemetingen zijn verricht in de verticalen S-1 t/m S-5. Veelal kan het concentratieprofiel redelijk worden beschreven met een enkelvoudig exponentieel verband

$$C(z) = C_0 \cdot \exp.(-z/r_c) \quad (13)$$

waarin :

C_0 = de concentratie op het referentieniveau $z = 0$;

r_c = de concentratie afnamelengte.



Door middel van regressie-analyse kunnen de waarden van C_0 en r_c worden bepaald. Daarmee is tevens de waarde van C_d in Verg. (12) bekend, n.l.

$$C_d = C_0 \cdot \exp.(-d/r_c) \quad (14)$$

Verder is de hoeveelheid zand in suspensie beneden het stilwaterniveau

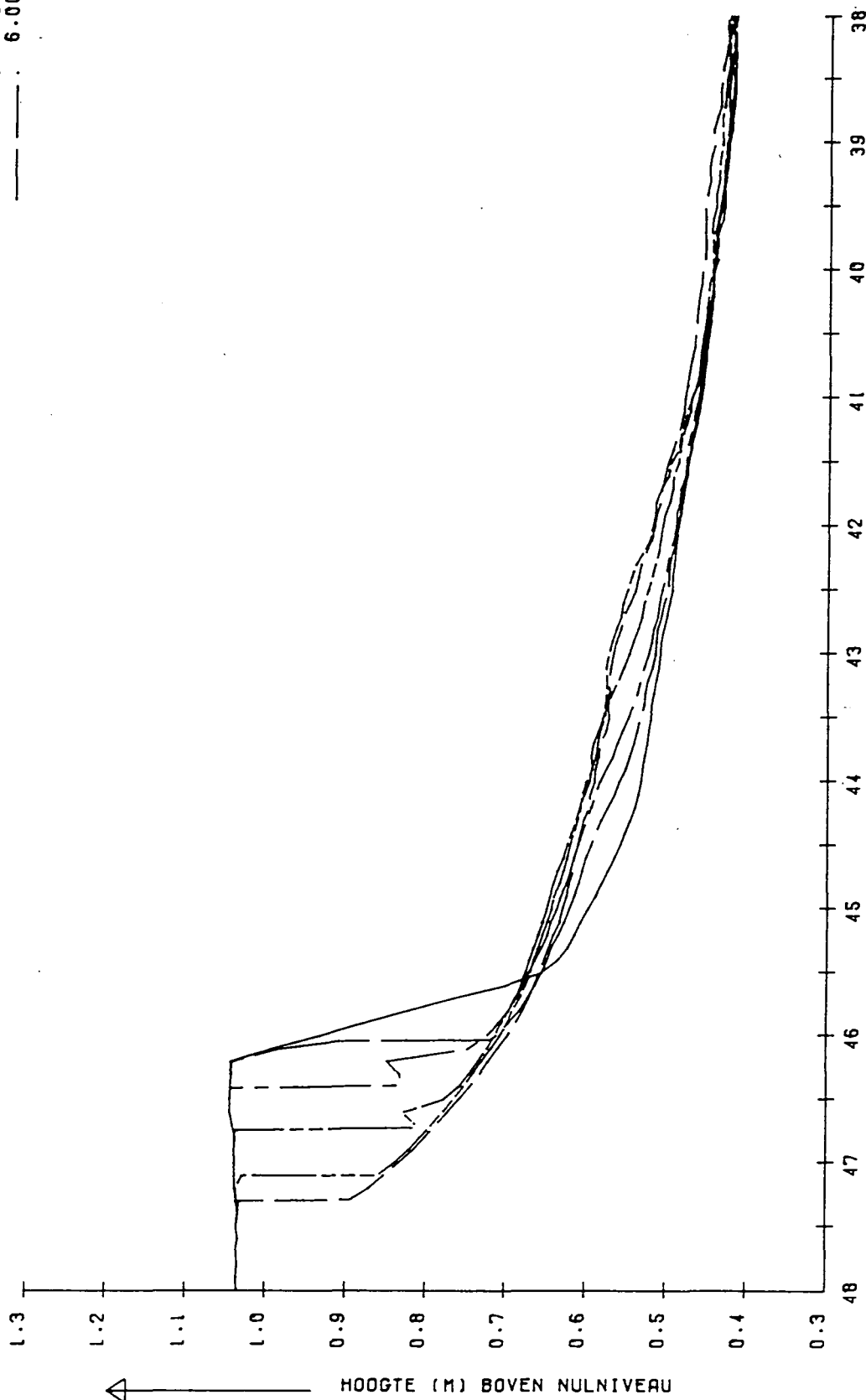
$$L_s = \int_{z=0}^d C(z) dz = r_c (C_0 - C_d) \quad (15)$$

Dichtbij de duinvoet in verticaal S-1 lijkt het enkelvoudig exponentieel verband volgens verg. (13) redelijk te voldoen, maar in de verticalen verder zee-wards treden afwijkingen op. De invloed van de aan de bodemgeometrie gerelateerde wervels op het suspensiemechanisme tekent zich hier af, waardoor nabij de bodem een laag met relatief hoge concentraties optreedt.

Door het negeren van deze verhoging van de concentraties in de bodemlaag wordt de hoeveelheid zand in suspensie onderschat en daarmee tevens de transporten. Daarom is naast de waarde van L_s volgens verg. (15) tevens de waarde van een extra ΔL_s bepaald.

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



DWARSPROFIELEN

T20

SCHAAL

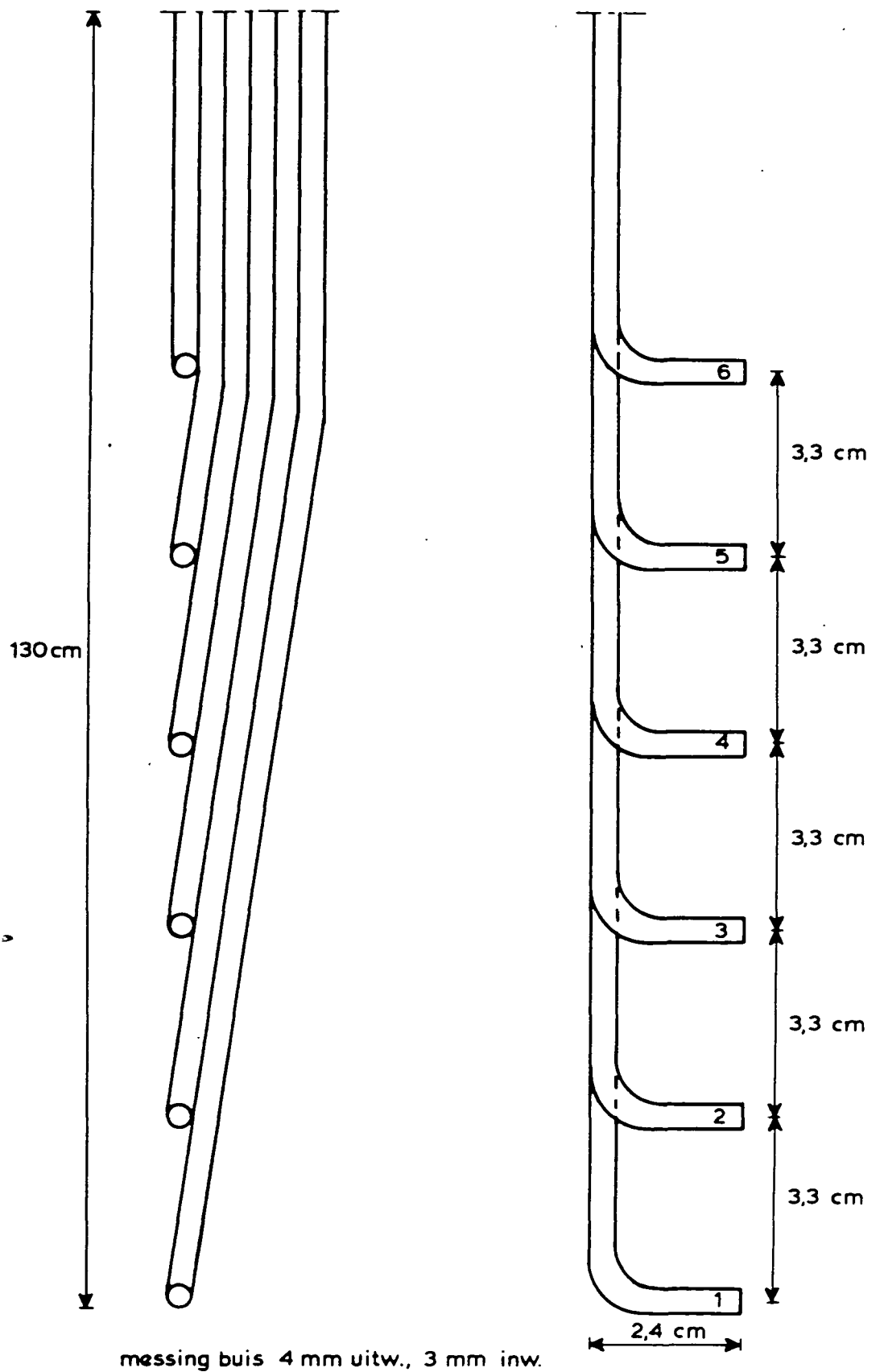
HOR . 1:50

VERT. 1:8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 15

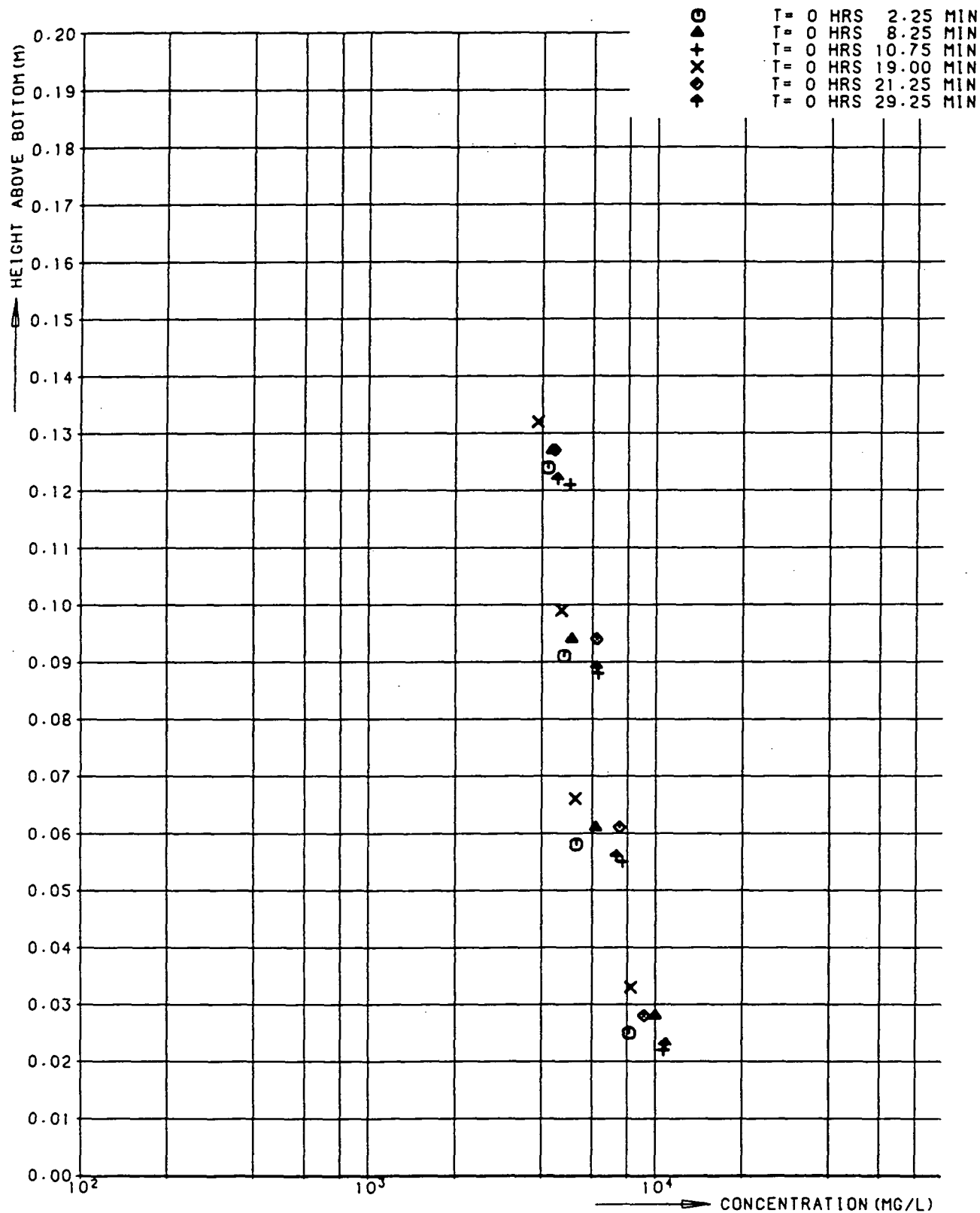


AFZUIGAPPARAAT VOOR HET NEMEN
VAN WATER-ZAND MONSTERS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

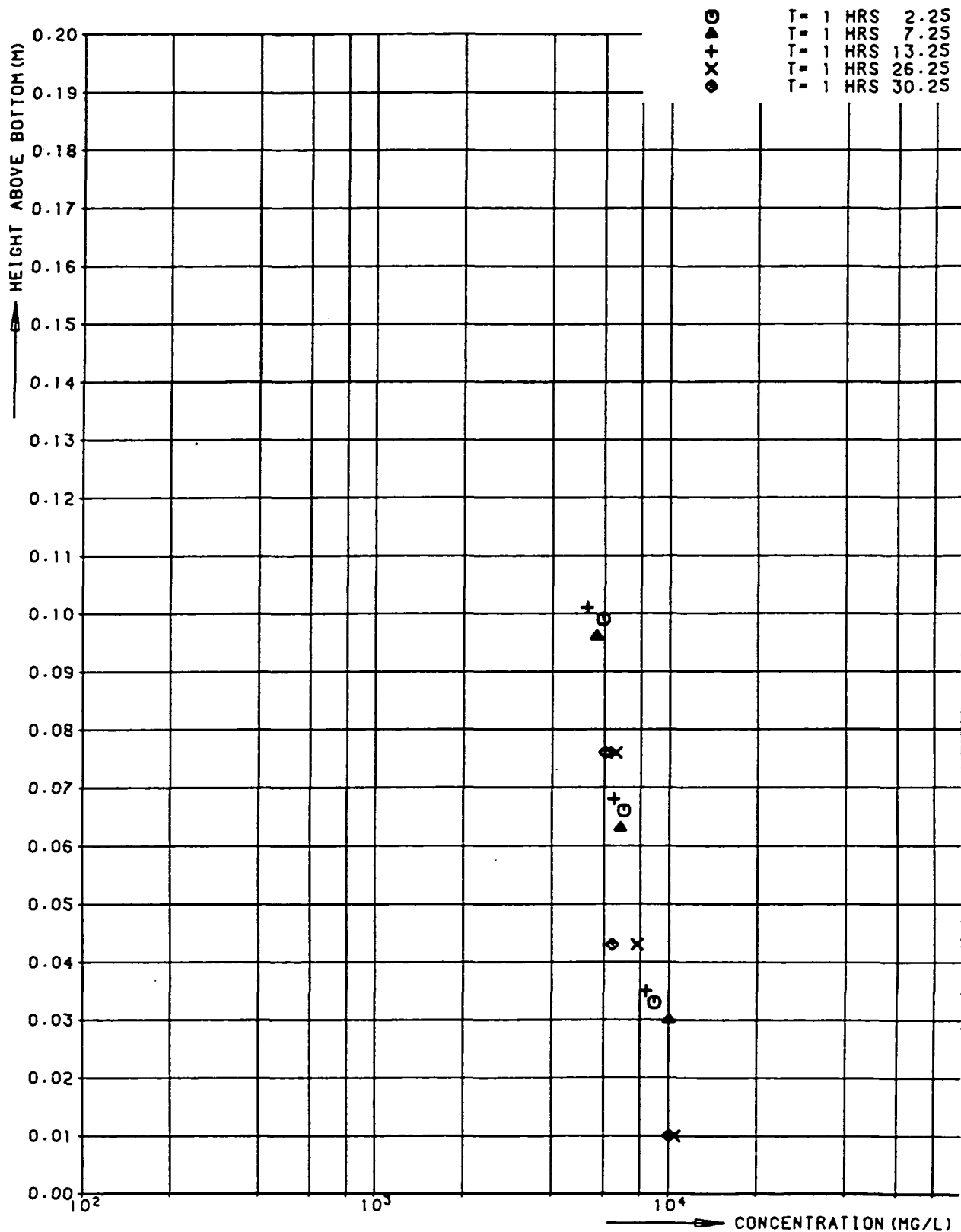
M 1263

FIG. 16



POSITION = 42.87 M
 WATERDEPTH = 0.182 M
 U(15PCT) = 0.452 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 0.0 HRS) = 1:40
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 1.0 HRS) = 1:16

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGROOT



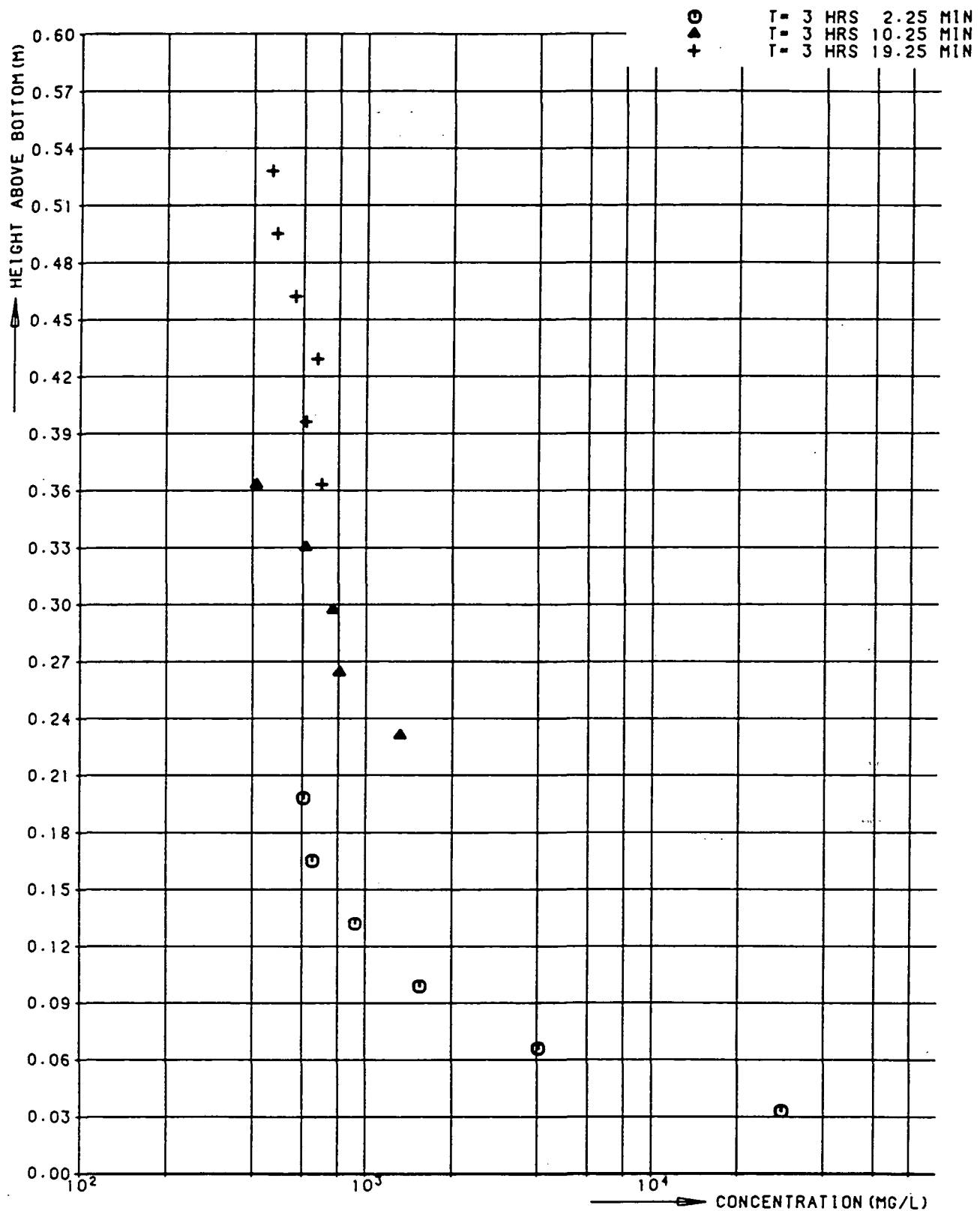
POSITION = 42.87
 WATERDEPTH = 0.156
 U(15PCT) = 0.506
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 1.0 HRS) = 1:16
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:17

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 1



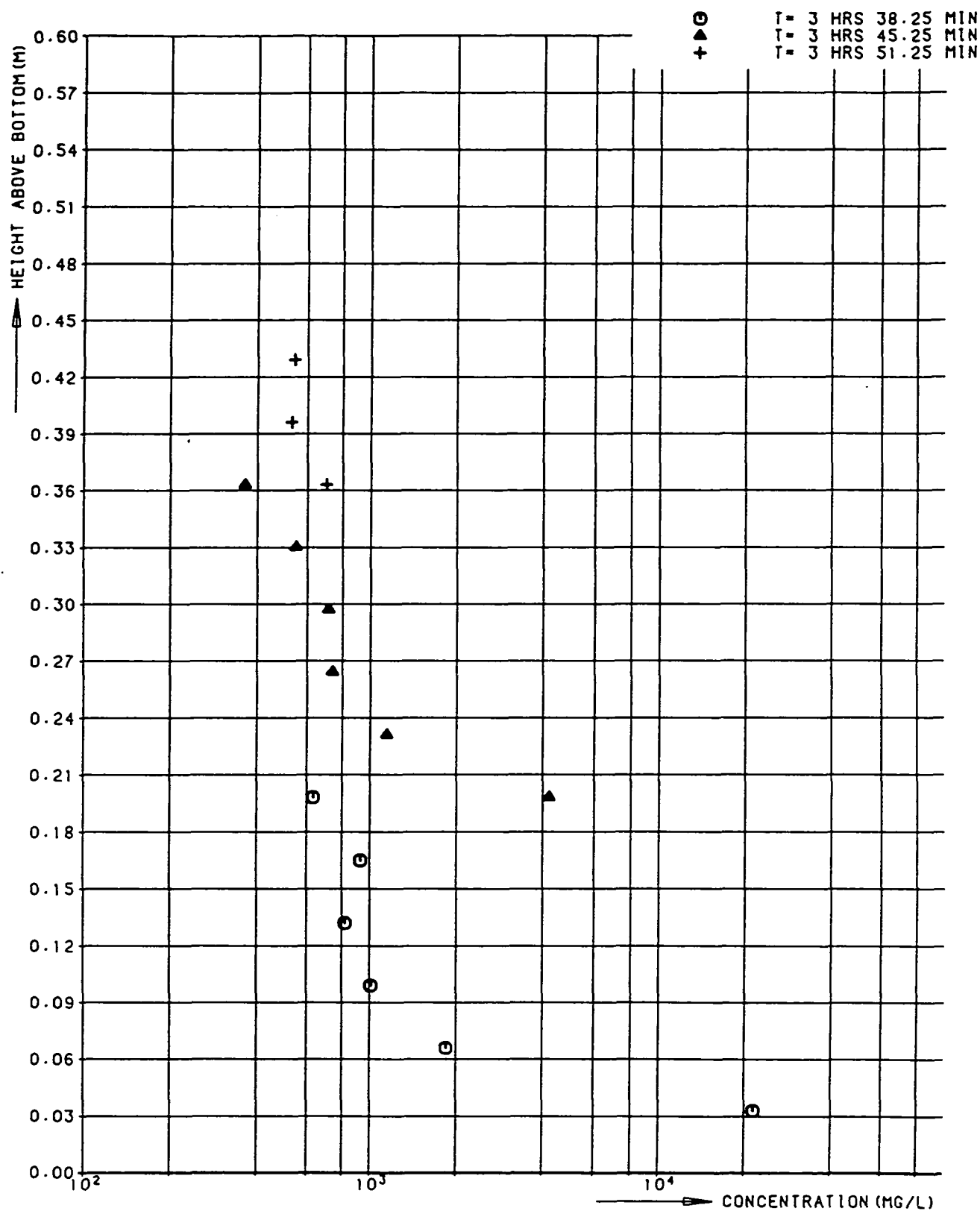
POSITION = 5.40 M
 WATERDEPTH = 0.652 M
 U(15PCT) = 0.409 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:33
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:33

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 19



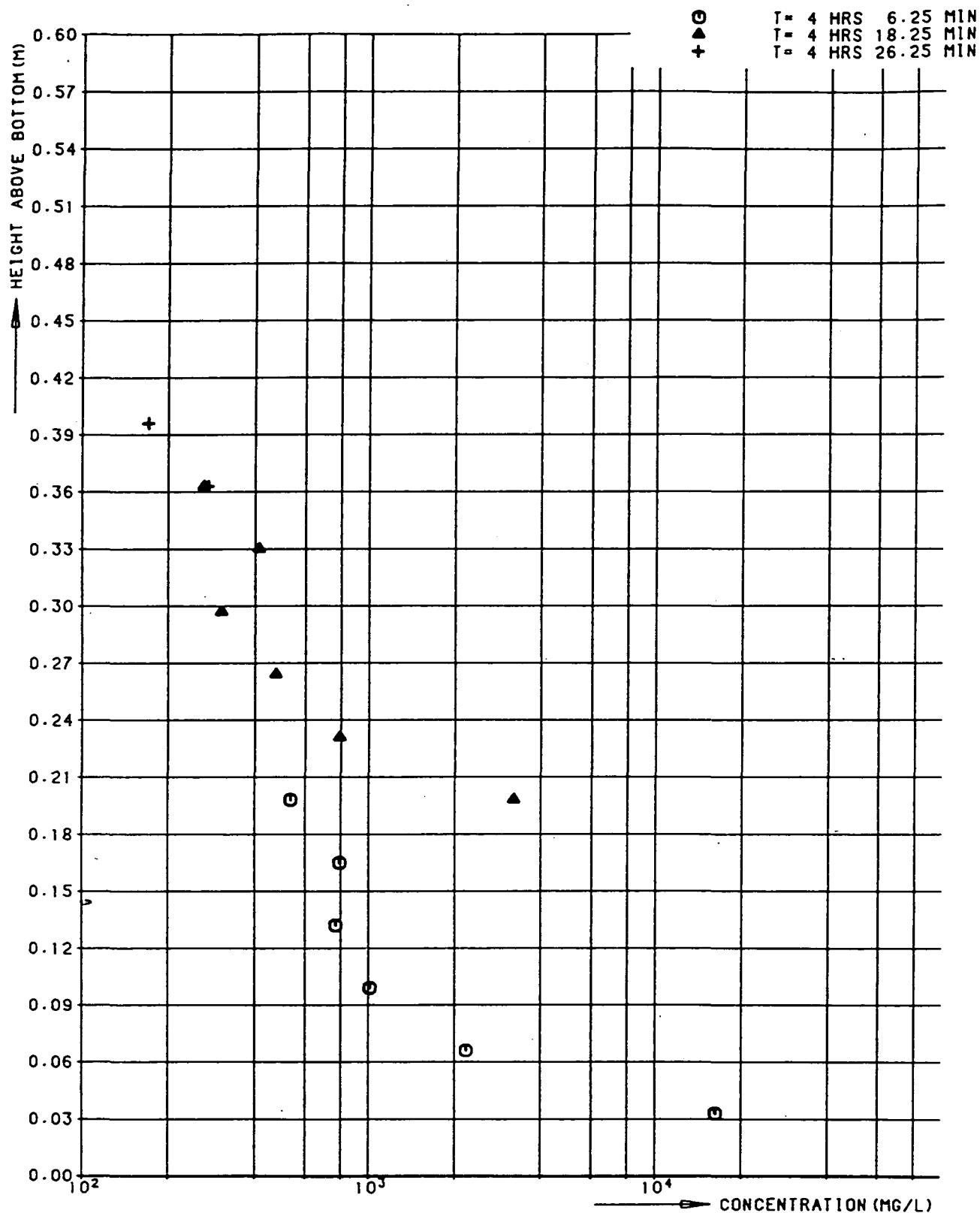
POSITION = 9.60 M
 WATERDEPTH = 0.551 M
 U (15PCT) = 0.409 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:89
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:89

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 20



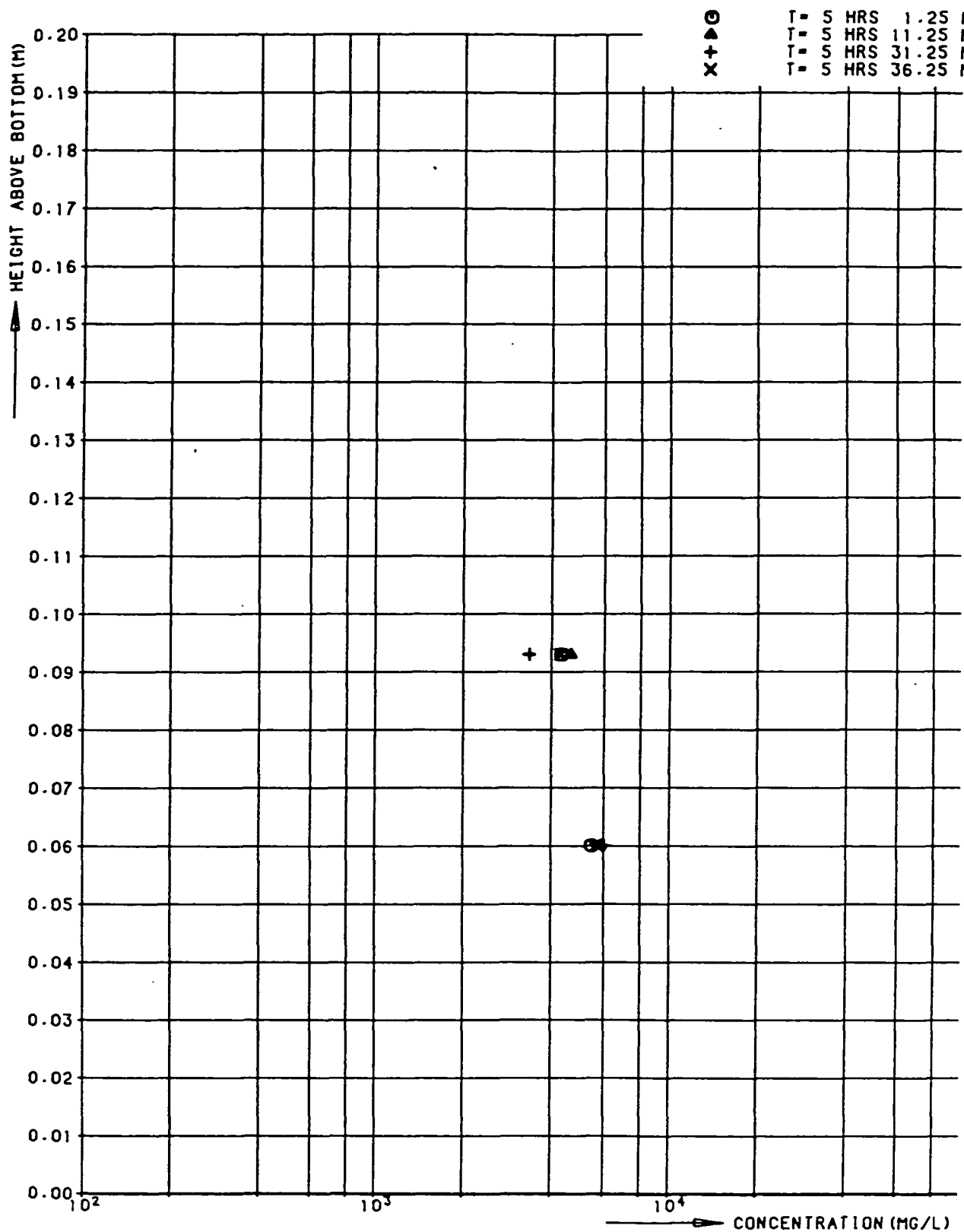
POSITION = 20.40 M
 WATERDEPTH = 0.452 M
 U(15PCT) = 0.409 M
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:100
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:100

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 21



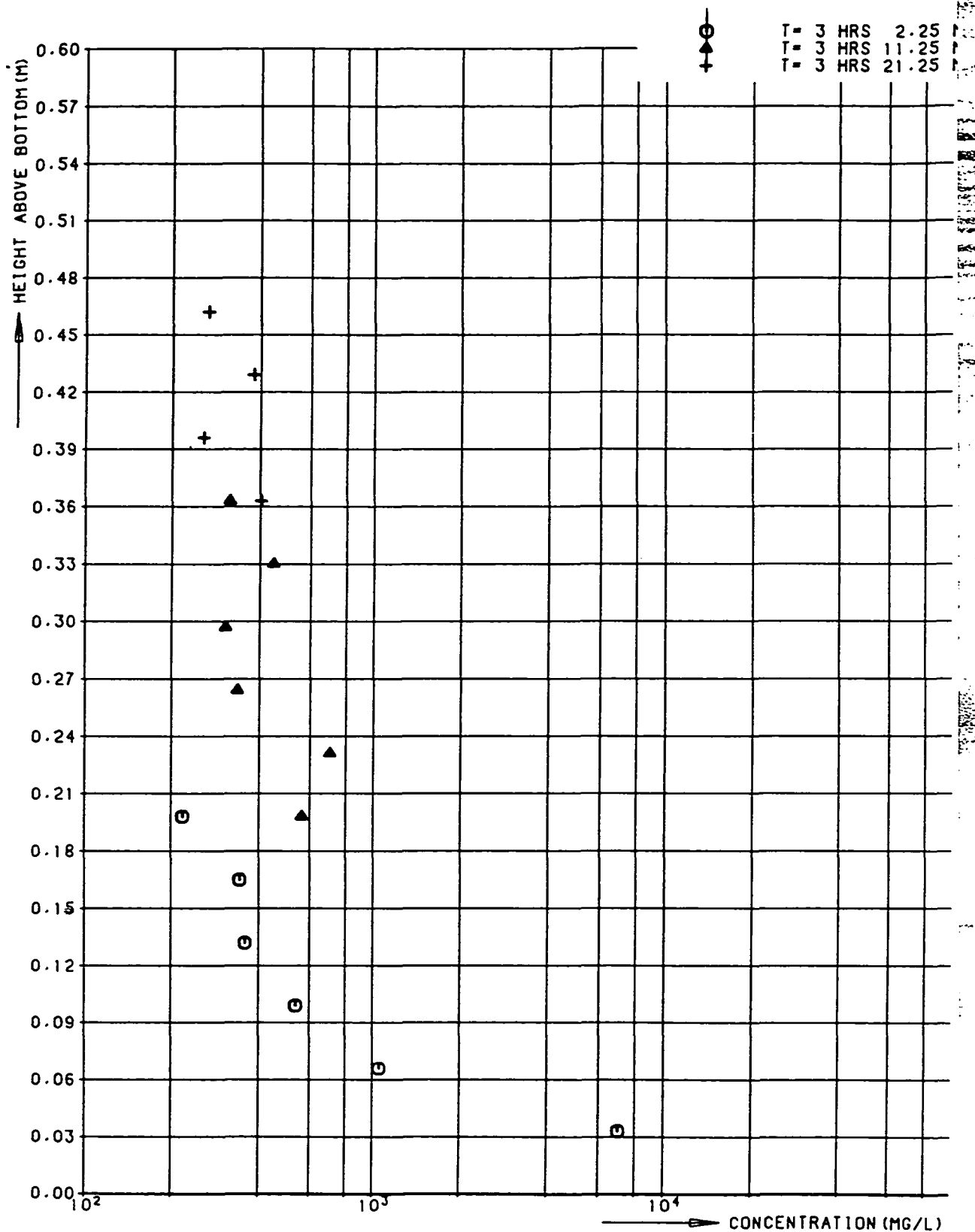
POSITION = 42.87
 WATERDEPTH = 0.142
 U(1SPCT) = 0.577
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:18
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:18

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 22



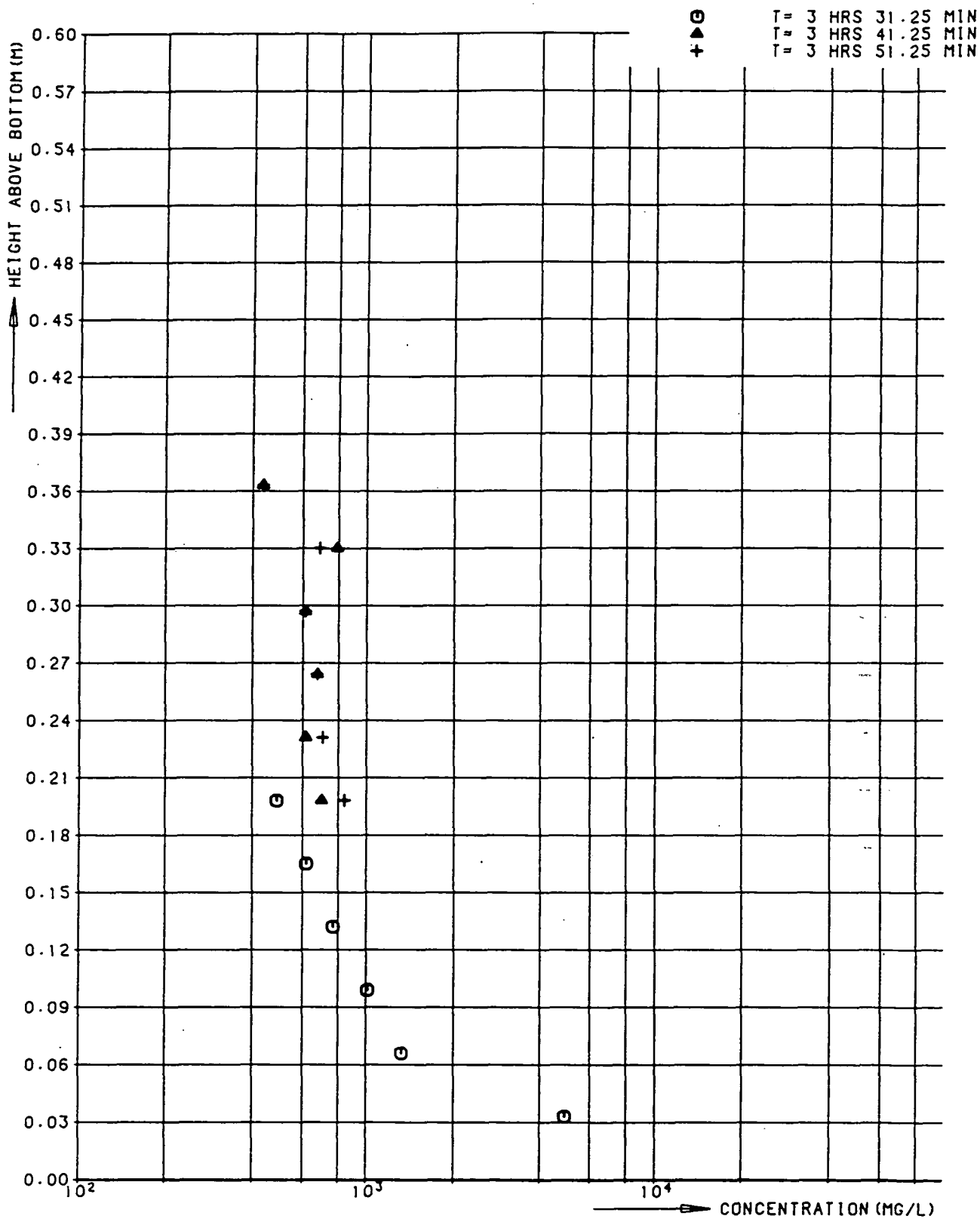
POSITION = 14.95
 WATERDEPTH = 0.503
 U(15PCT) = 0.458
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:133
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:133

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 2



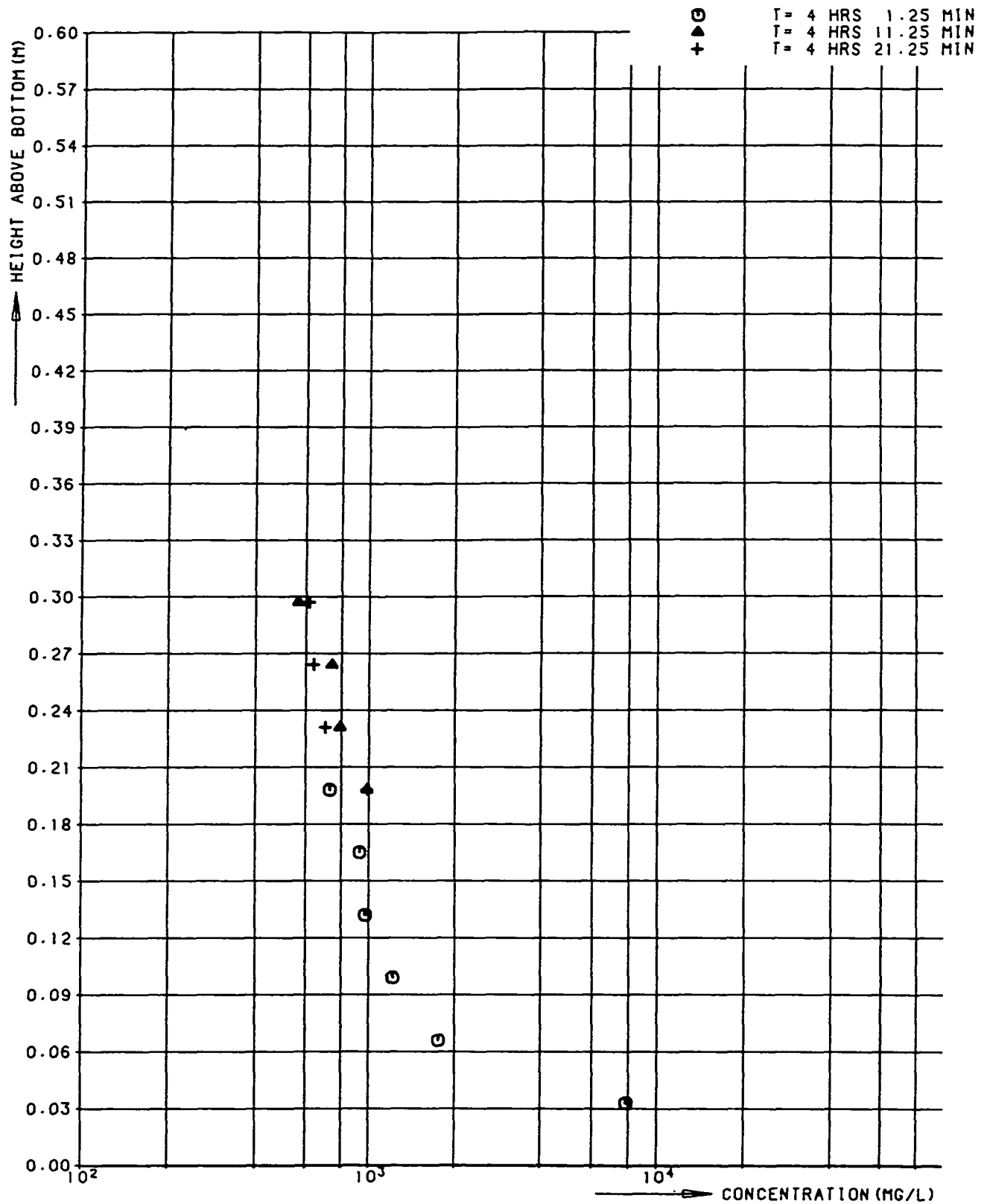
POSITION = 22.90 M
 WATERDEPTH = 0.422 M
 U (15PCT) = 0.458 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T= 3.0 HRS) = 1:107
 LOCAL BEACH SLOPE (T= 6.0 HRS) = 1:107

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 25



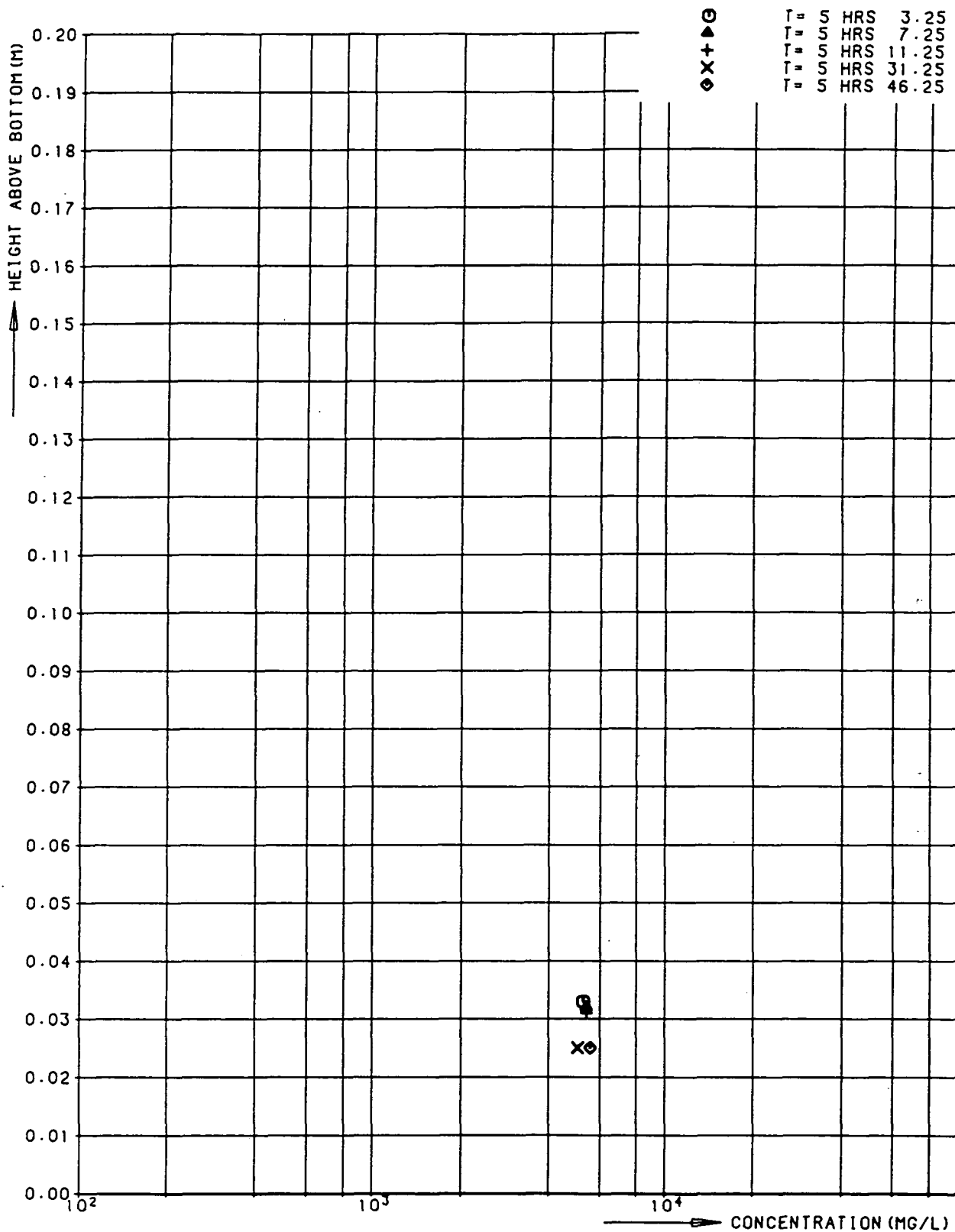
POSITION = 26.10 M
 WATERDEPTH = 0.37 M
 U (15PCT) = 0.453 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:107
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:107

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 26



POSITION = 44.30 M
 WATERDEPTH = 0.099 M
 U (15PCT) = 0.032 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:24
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:24

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 27

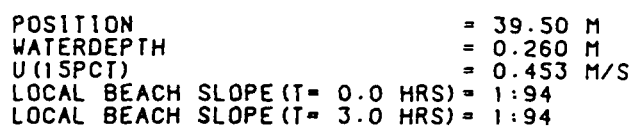
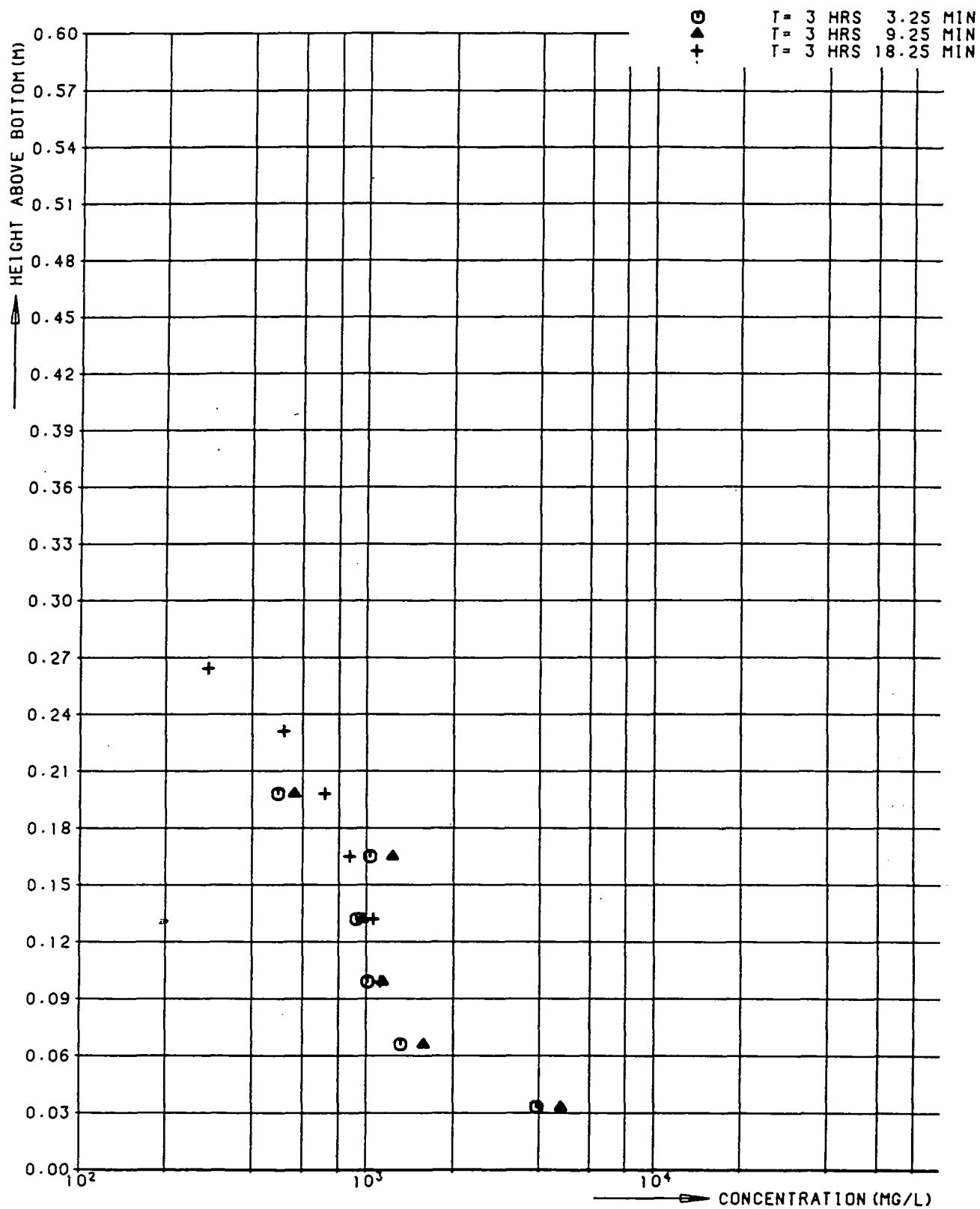


FIG. 28



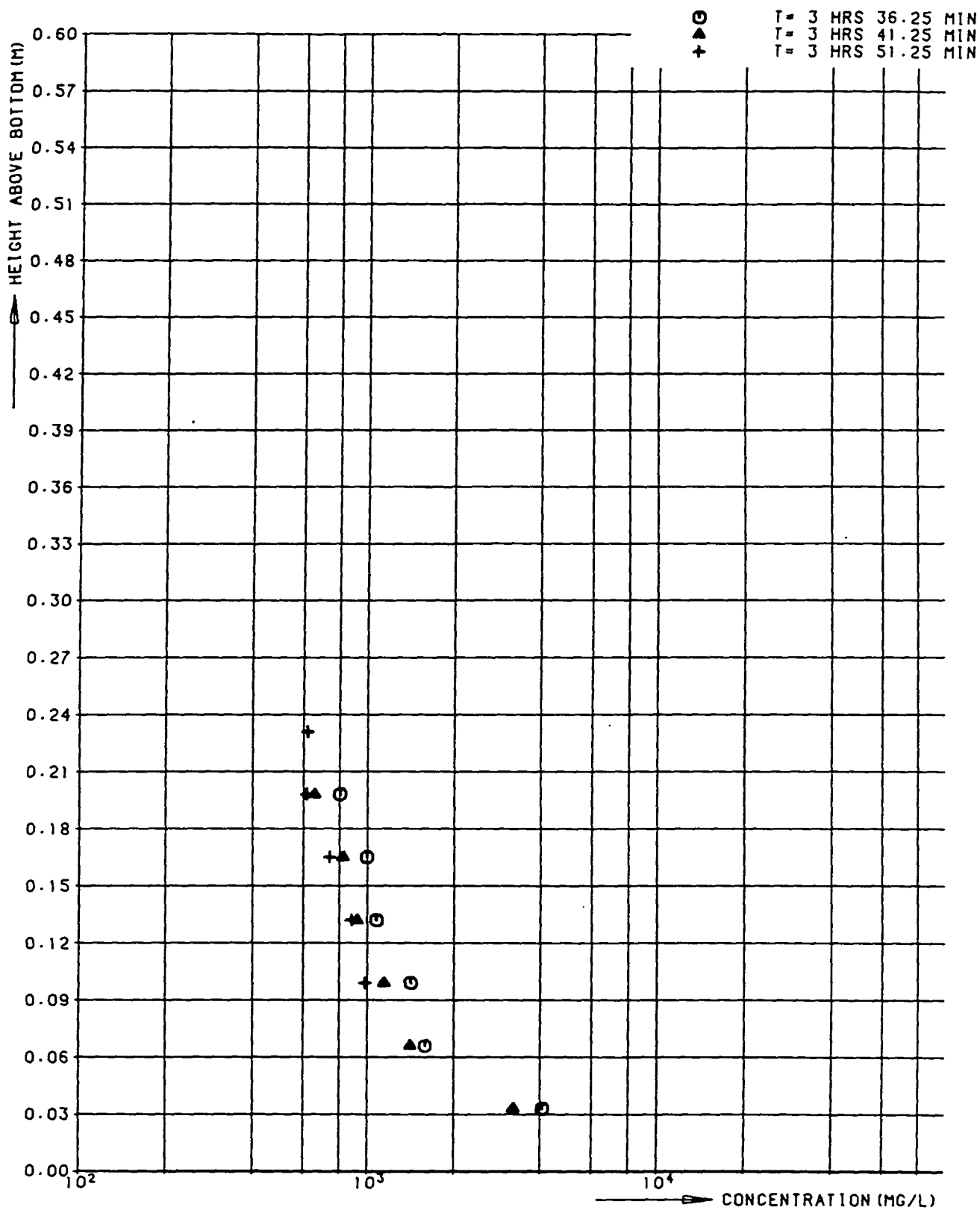
POSITION = 29.30 M
 WATERDEPTH = 0.356 M
 U(15PCT) = 0.455 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:103
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:103

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 29



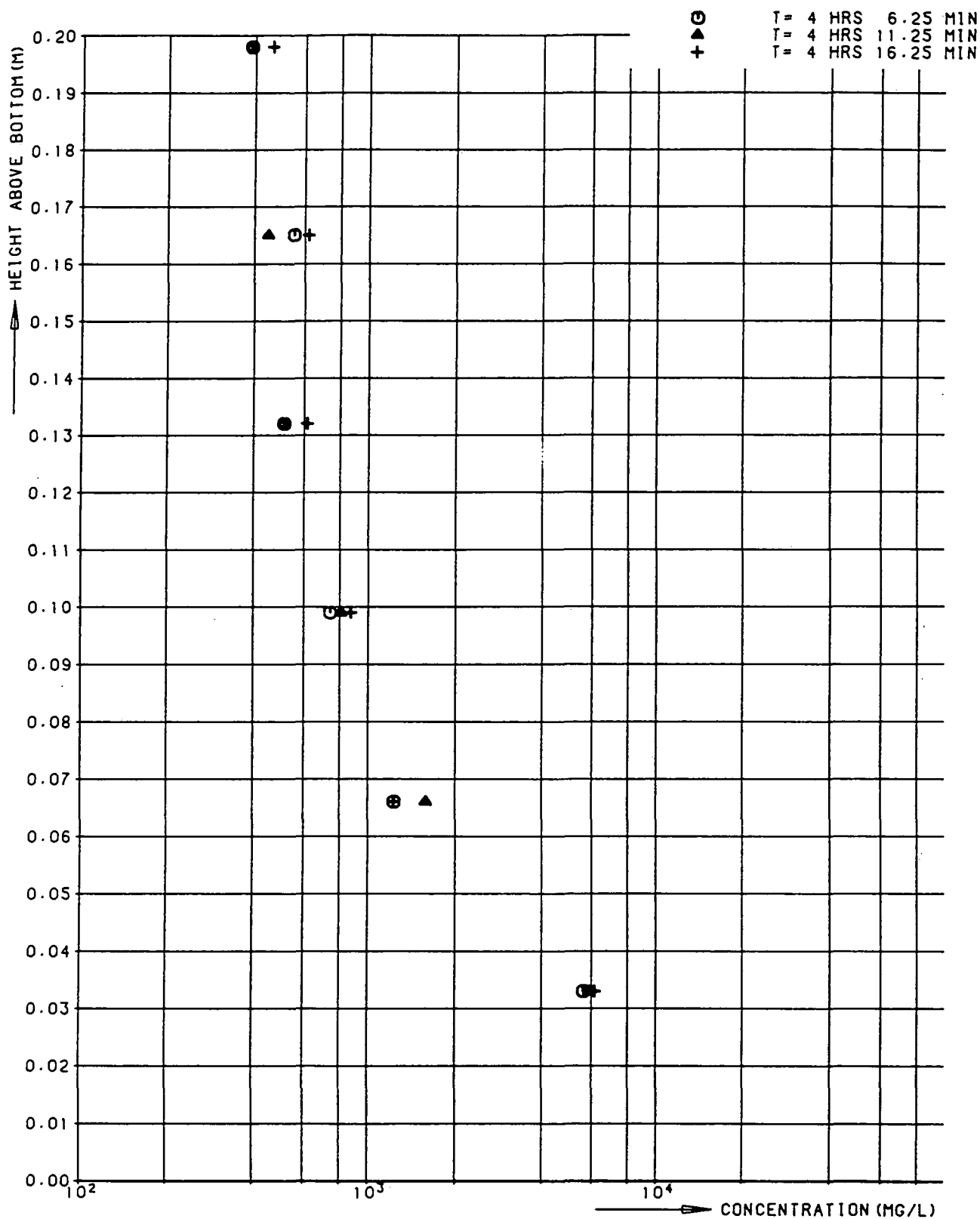
POSITION = 32.50 M
 WATERDEPTH = 0.317 M
 U (15PCT) = 0.455 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:139
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:139

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 30



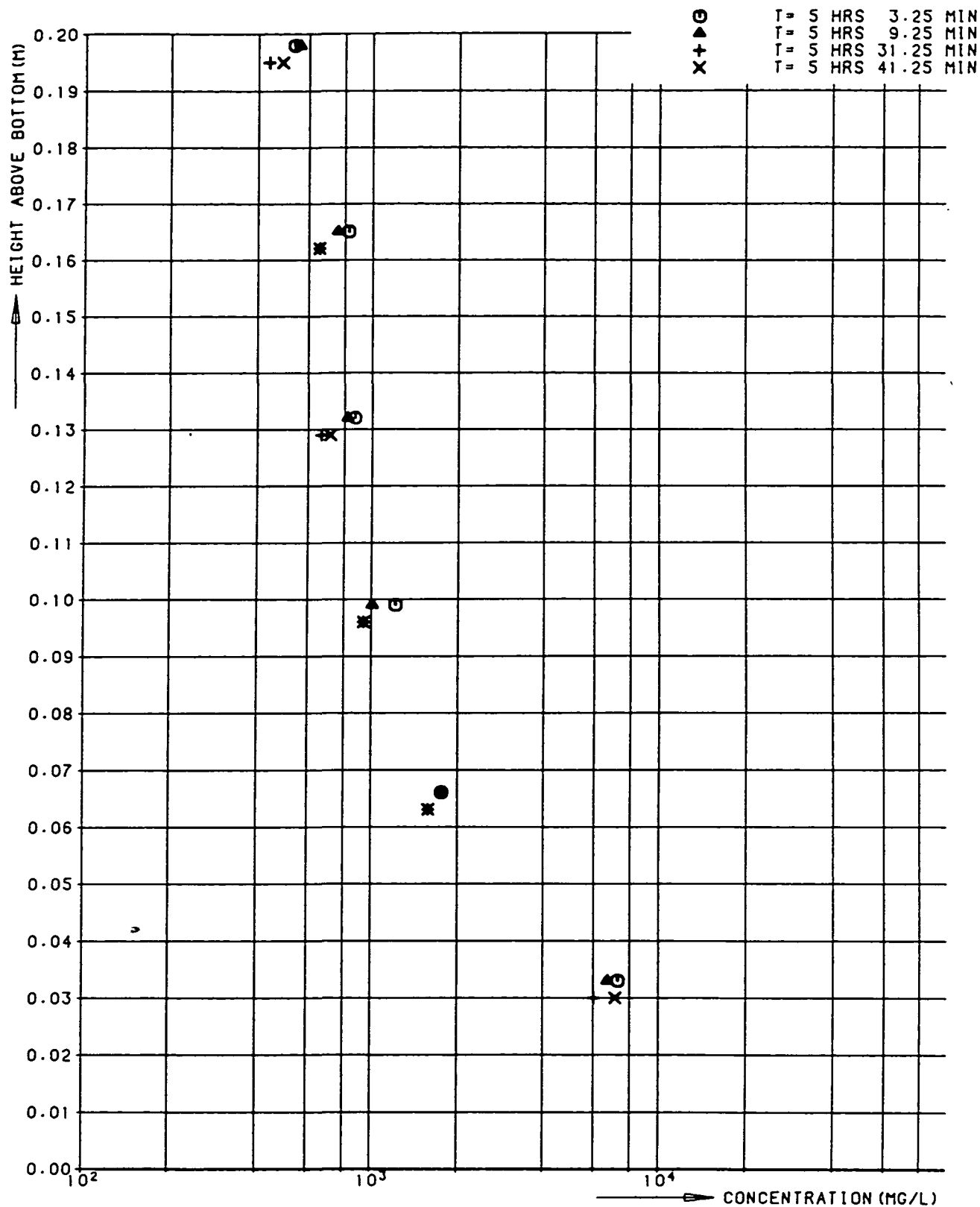
POSITION = 35.70 M
 WATERDEPTH = 0.307 M
 U(15PCT) = 0.455 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:146
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:146

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 31



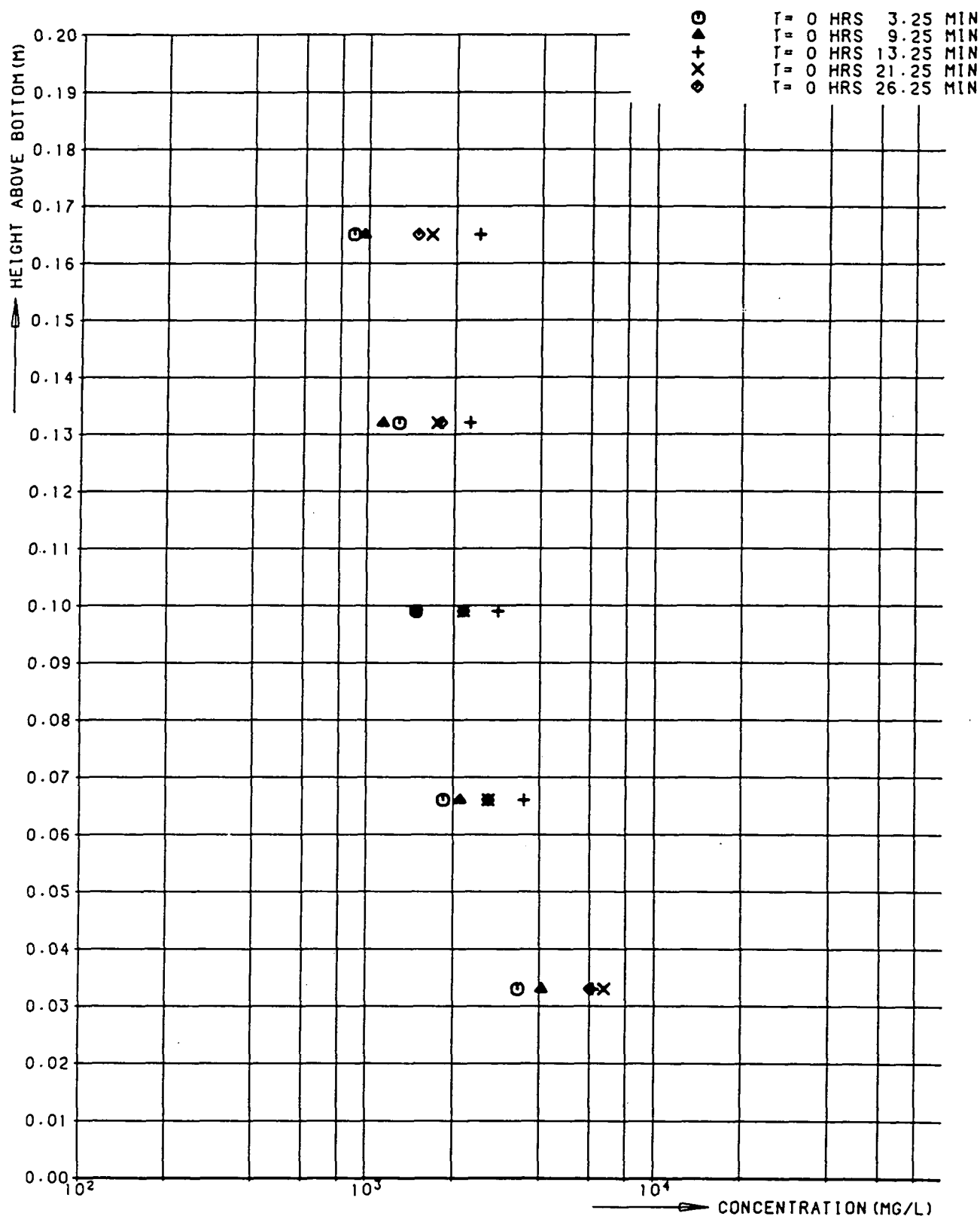
POSITION = 39.50 M
 WATERDEPTH = 0.252 M
 U (1SPCT) = 0.466 M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:94
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 6.0 HRS) = 1:94

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 32



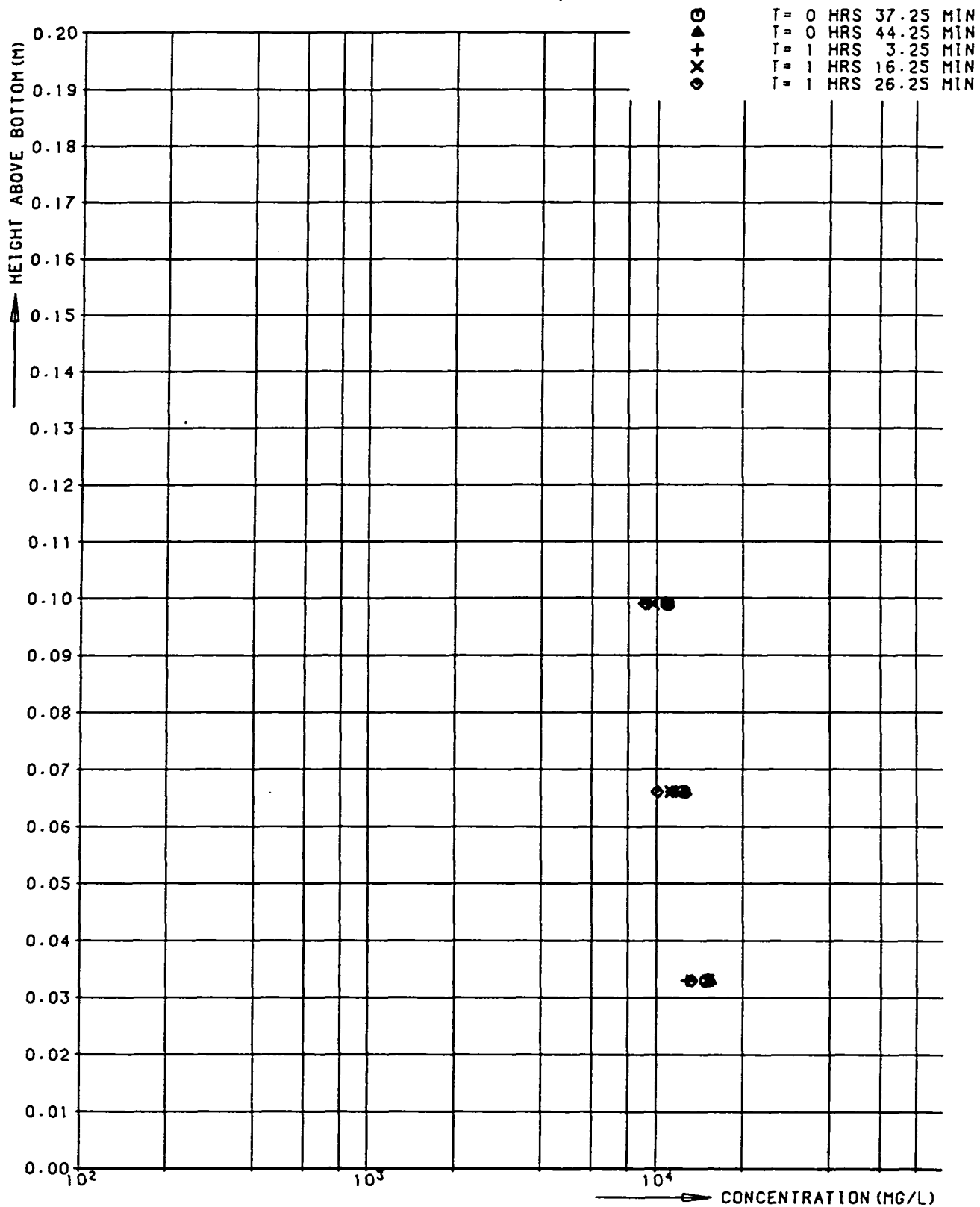
POSITION = 41.20 M
 WATERDEPTH = 0.232 M
 U (15PCT) = M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T= 0.0 HRS) = 1:36
 LOCAL BEACH SLOPE (T= 1.0 HRS) = 1:29

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGROOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 33



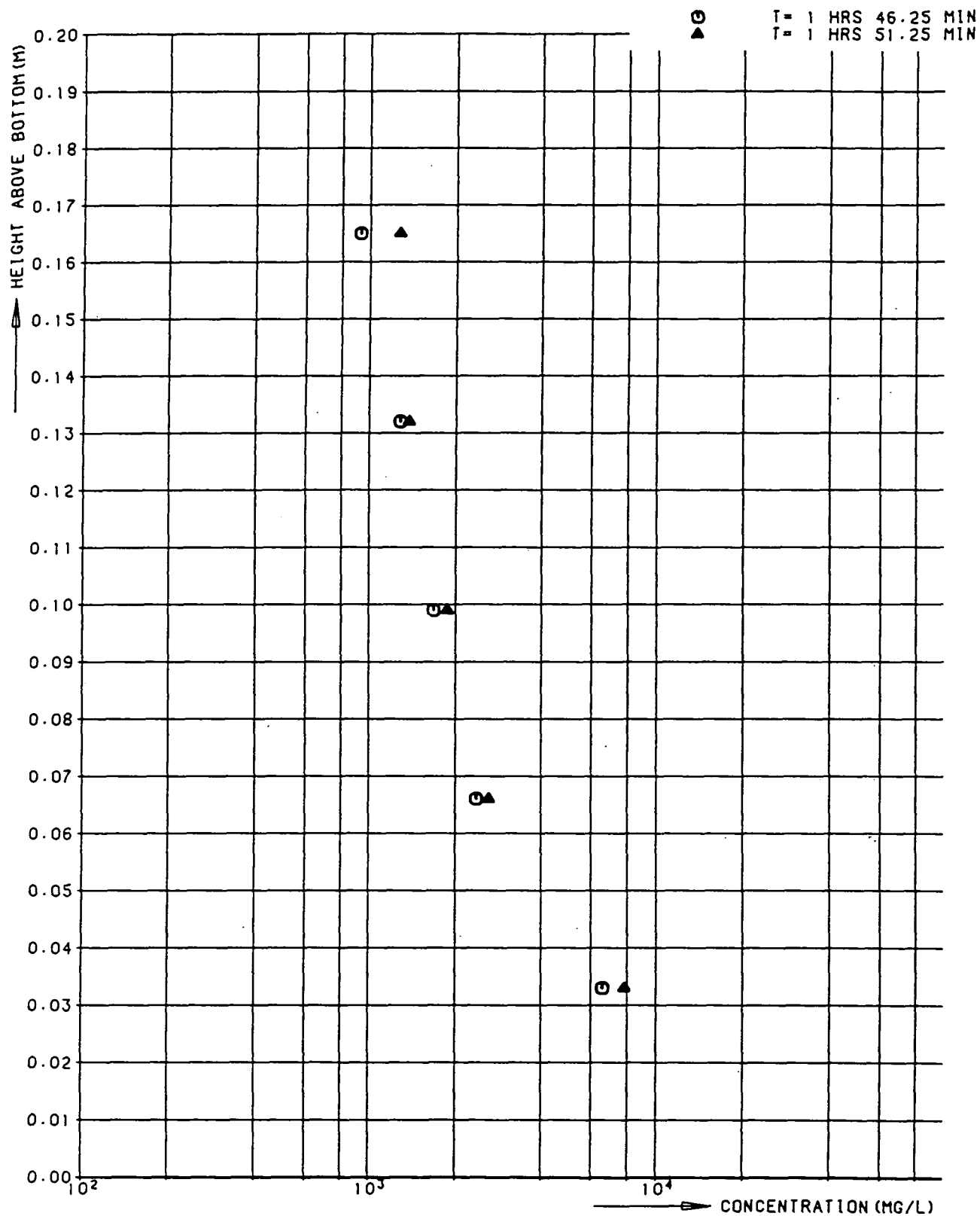
POSITION = 43.60 M
 WATERDEPTH = 0.123 M
 U (15PCT) = M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 0.0 HRS) = 1:40
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:23

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 34



POSITION = 41.20 M
 WATERDEPTH = 0.223 M
 U(1SPCT) = M/S
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 1.0 HRS) = 1:29
 LOCAL BEACH SLOPE (T = 3.0 HRS) = 1:26

CONCENTRATIEMETINGEN SCHELDEGOOT

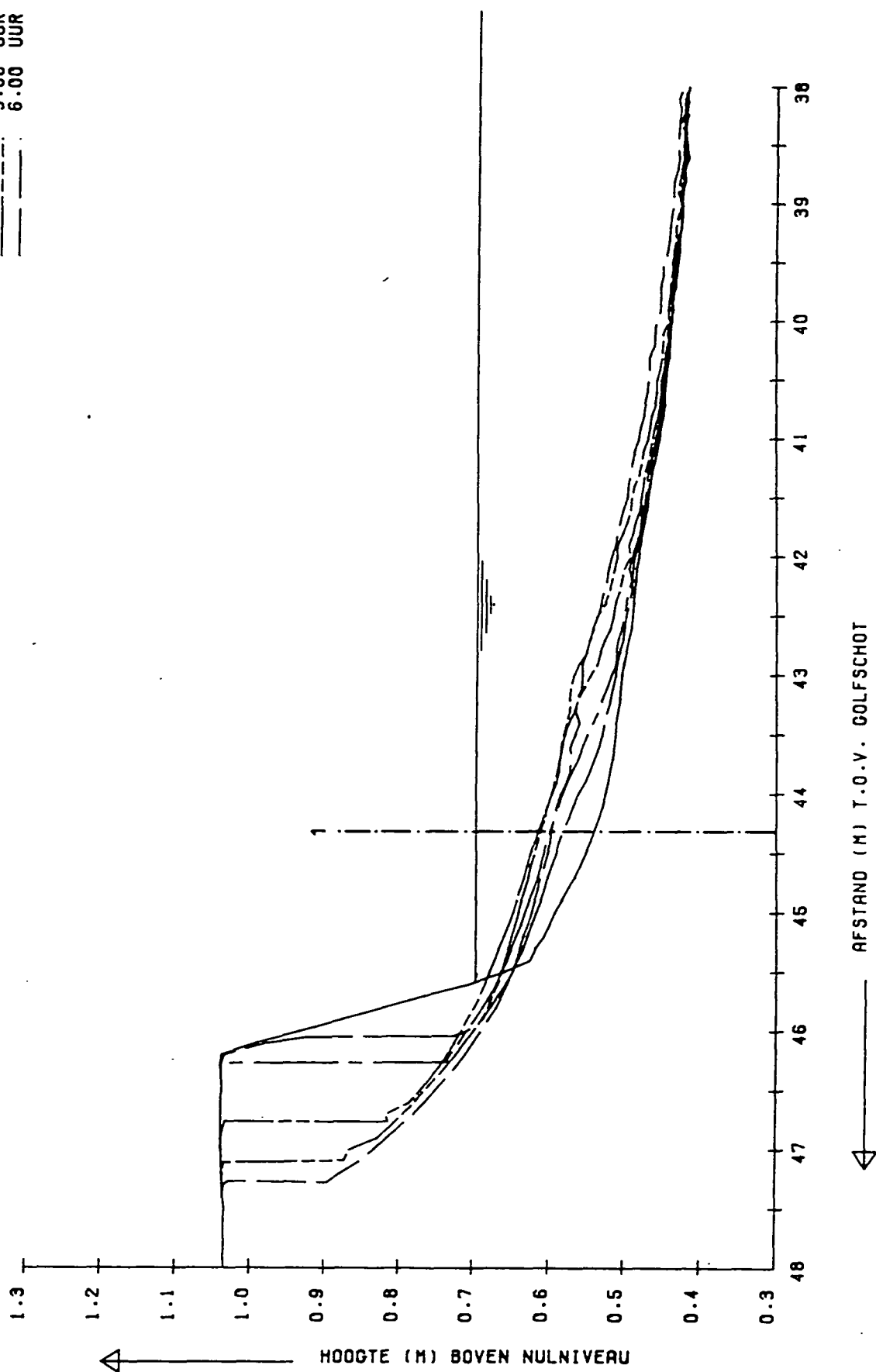
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 35

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



VERTICAAL S-1

T17

SCHAAL

HOR . 1:50
VERT. 1:8

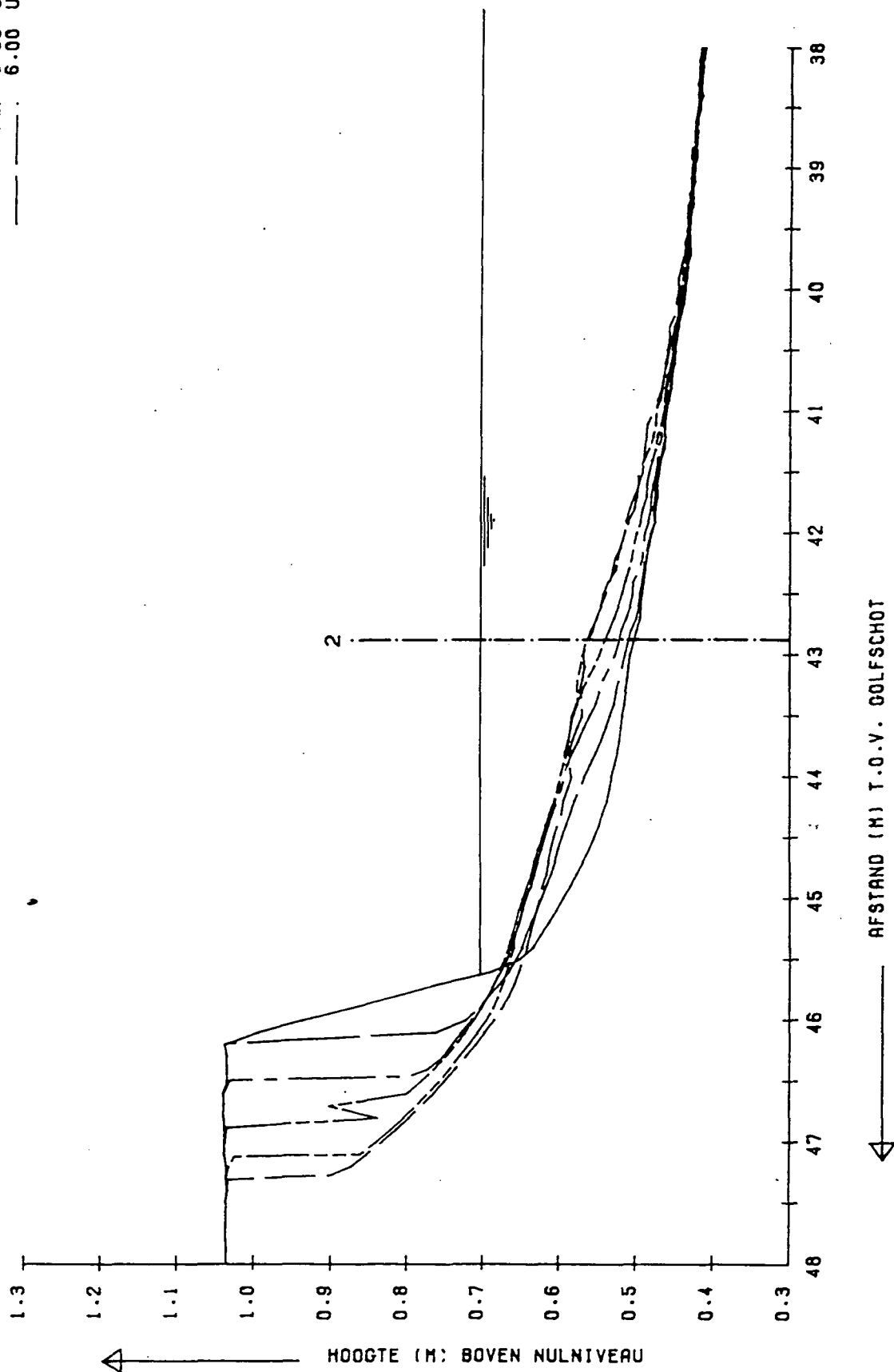
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 36

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



VERTICAAL S-2

T16

SCHAAL

HOR . 1:50

VERT. 1:8

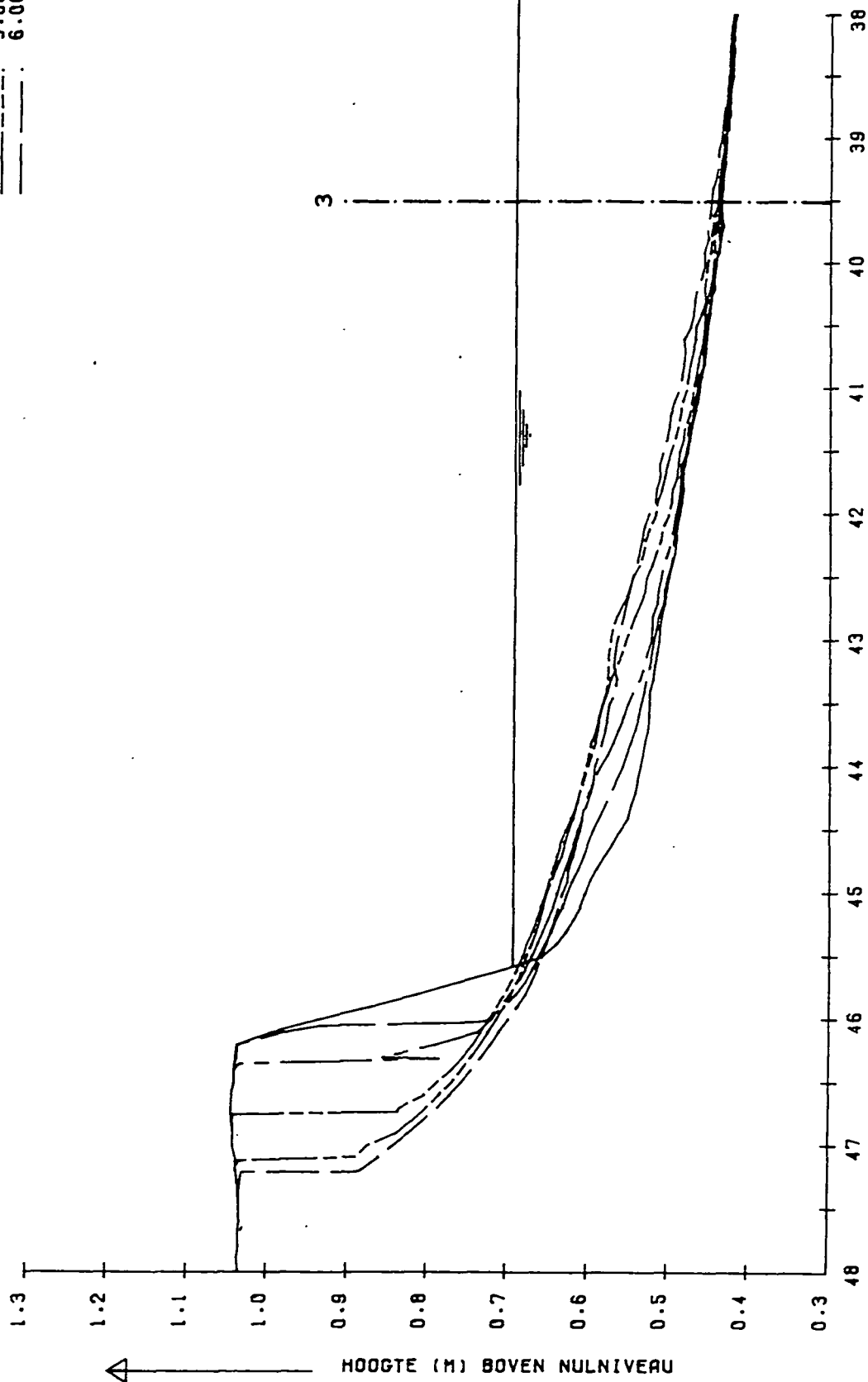
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 37

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
0.10 UUR
0.30 UUR
1.00 UUR
3.00 UUR
6.00 UUR



VERTICAAL S-3

T18

SCHAAL

HOR. 1:50

VERT. 1:8

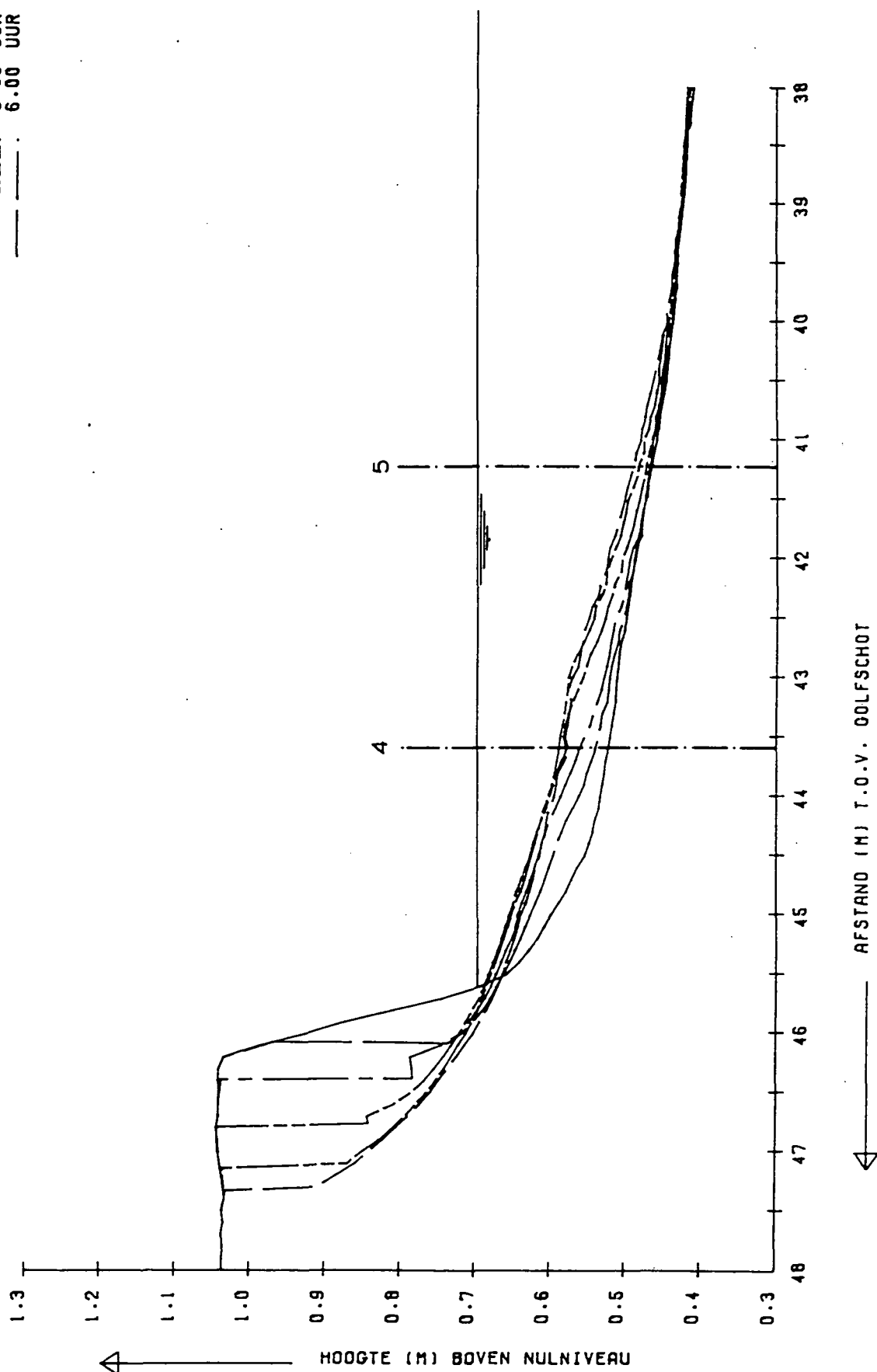
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 38

TIJD IN UREN NA START:

0.00 UUR
 0.10 UUR
 0.30 UUR
 1.00 UUR
 3.00 UUR
 6.00 UUR



VERTICAAL S-4 EN S-5

T19

SCHAAL

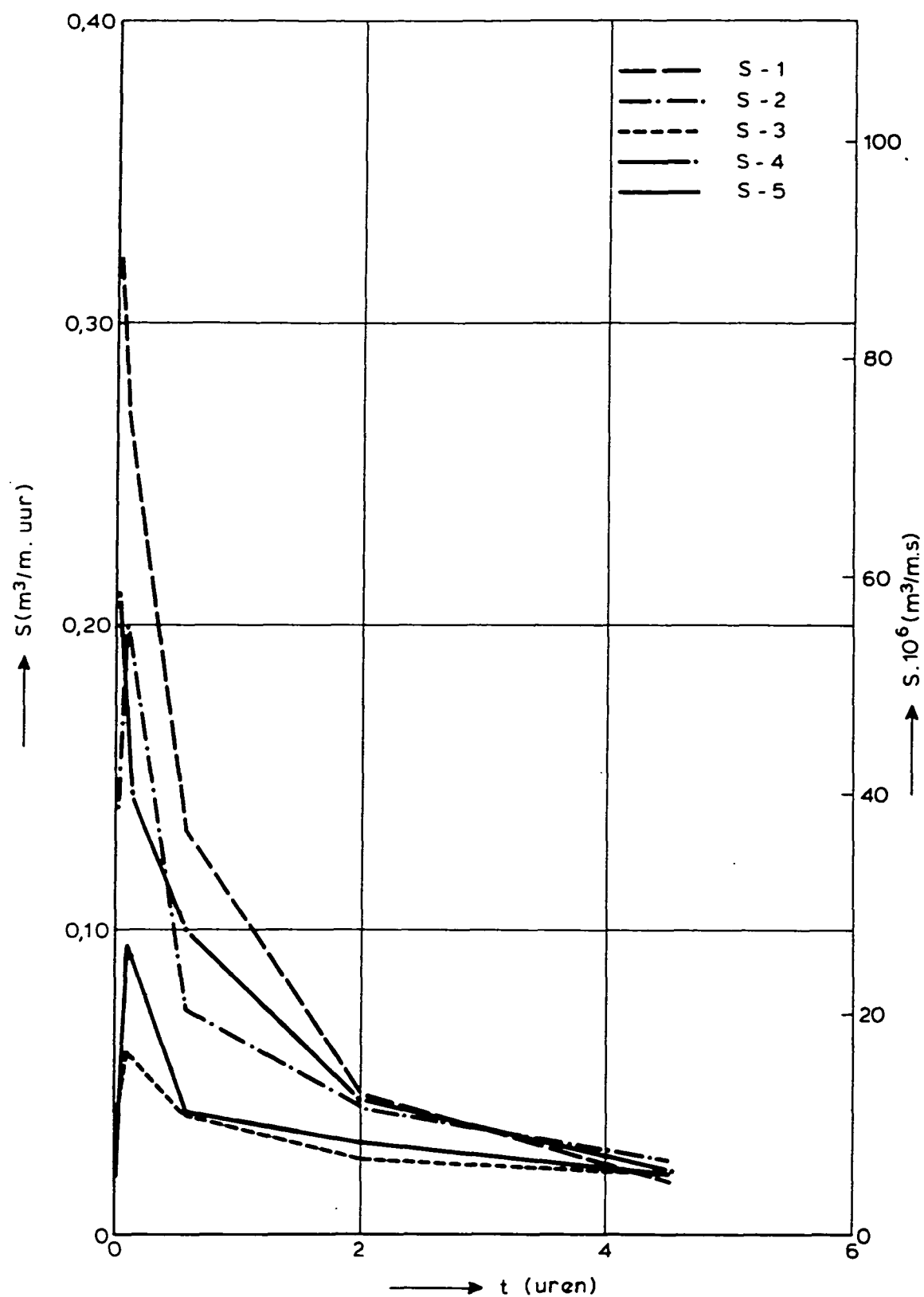
HOR . 1:50

VERT. 1:8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 39

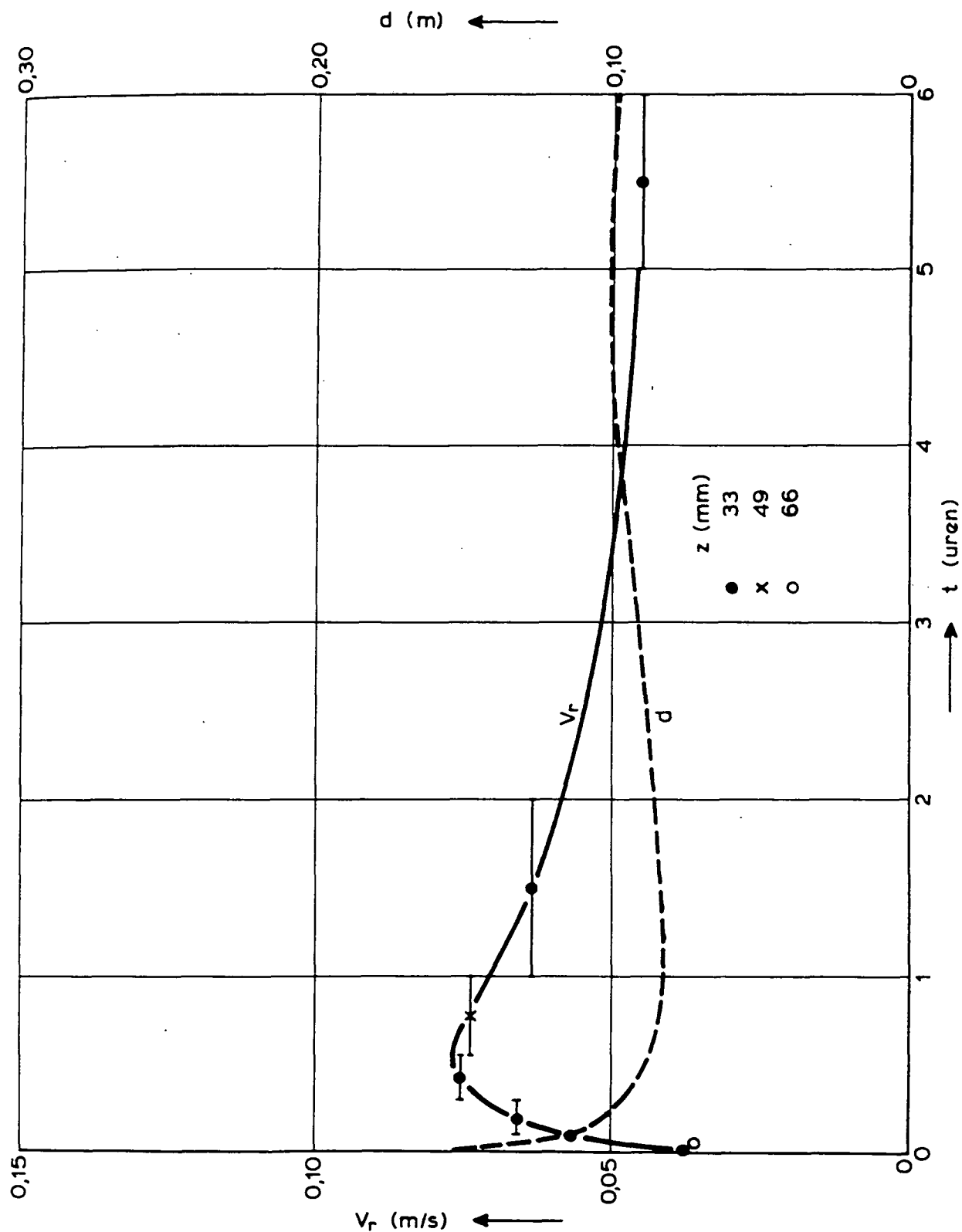


PROFIELTRANSPORT PER VERTICAAL
IN SCHELDEGOOT

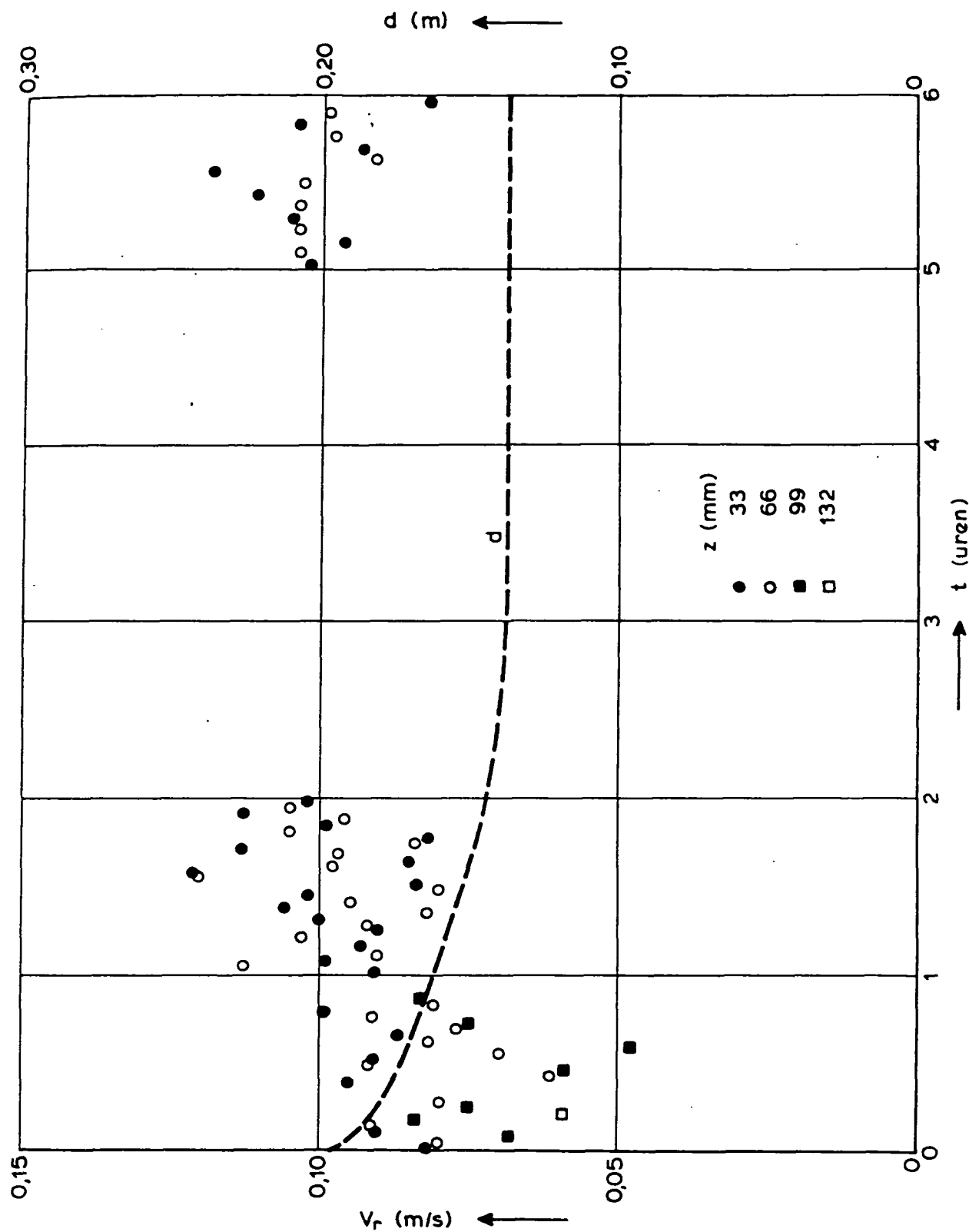
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

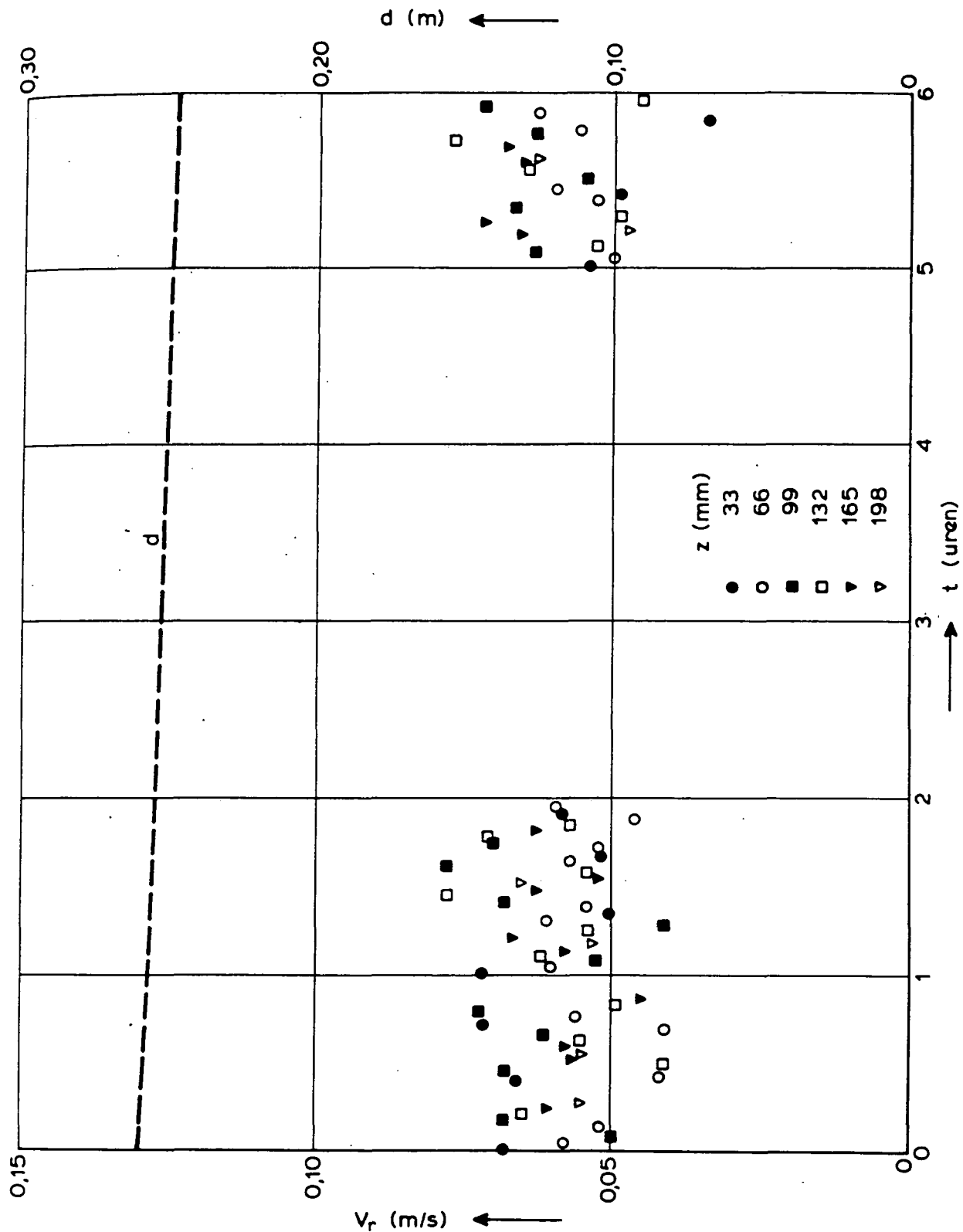
FIG. 40



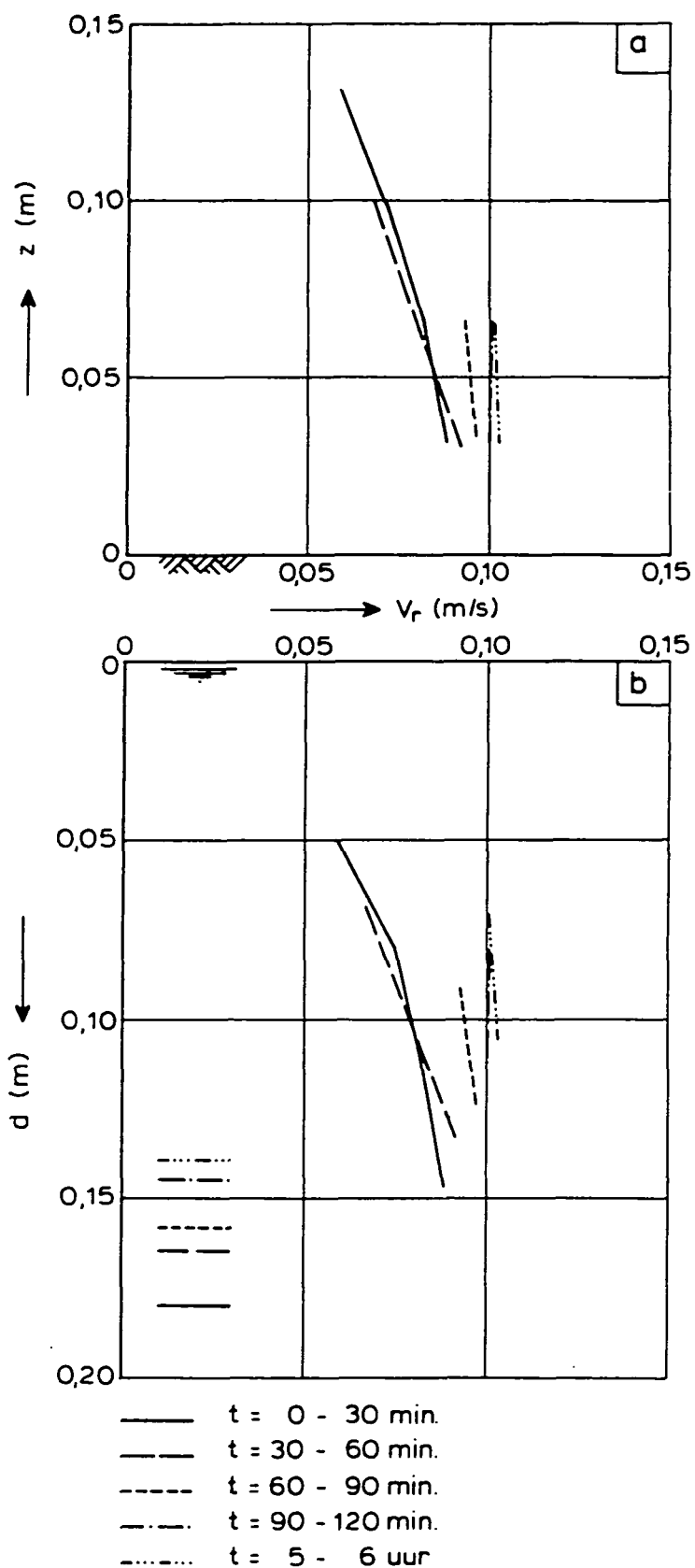
SNELHEIDS- EN WATERDIEPTEVERLOOP;
VERTICAAL S-1



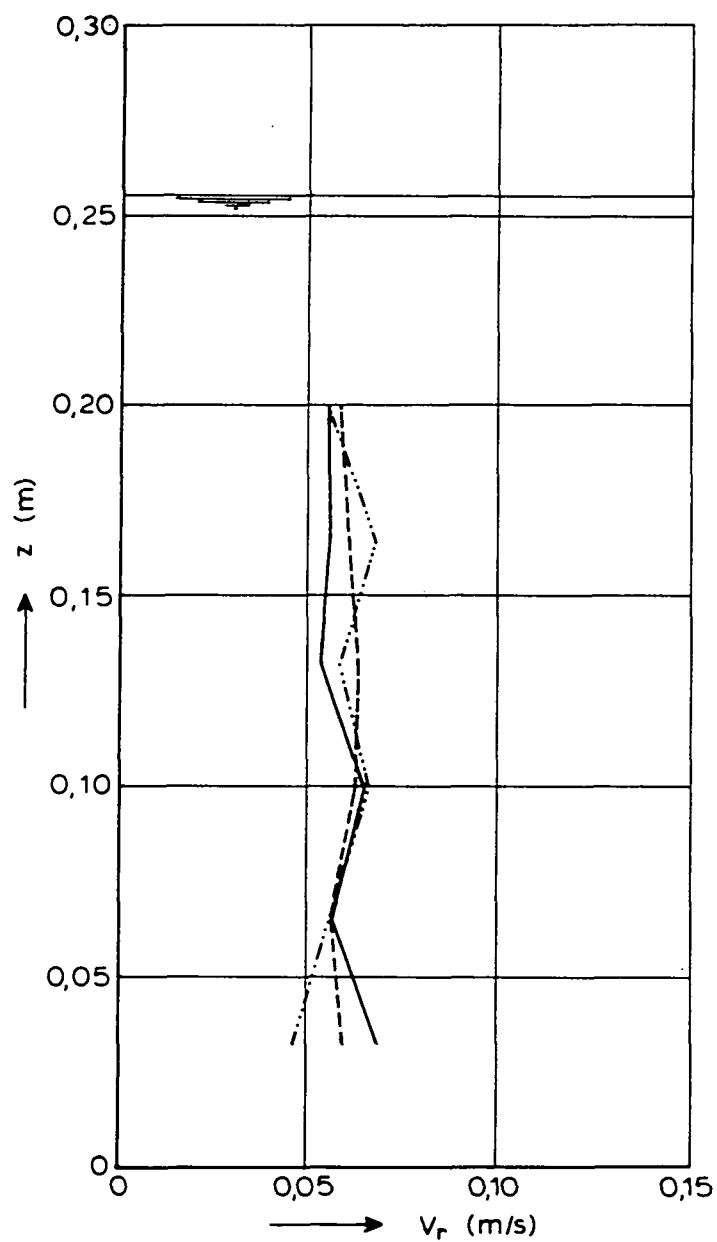
SNELHEIDS- EN WATERDIEPTEVERLOOP;
VERTICAAL S - 2



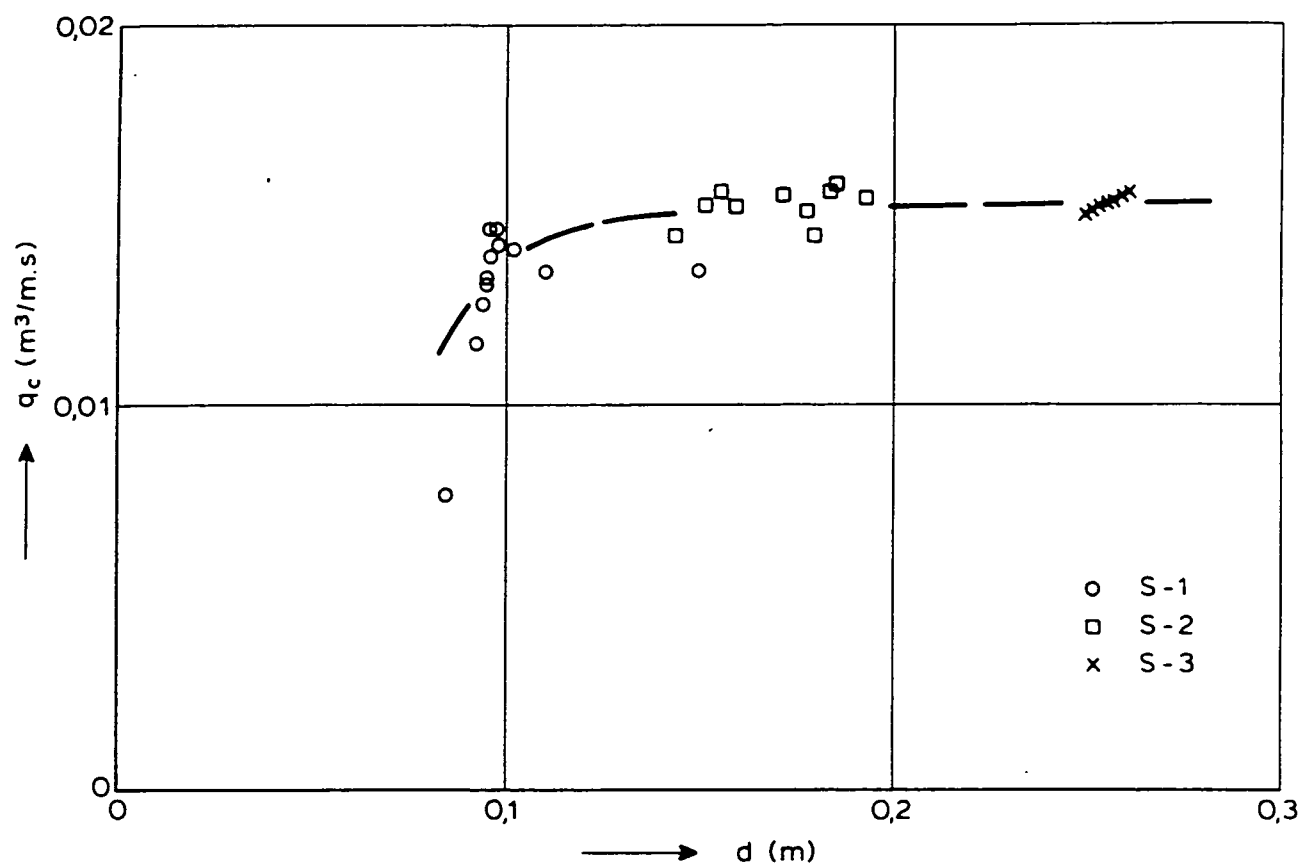
SNELHEIDS- EN WATERDIEPTEVERLOOP;
VERTICAAL S - 3



SNELHEIDSPROFIELEN; VERTICAAL S - 2



GEMIDDELDE SNELHEIDSPROFIELEN;
VERTICAAL S-3

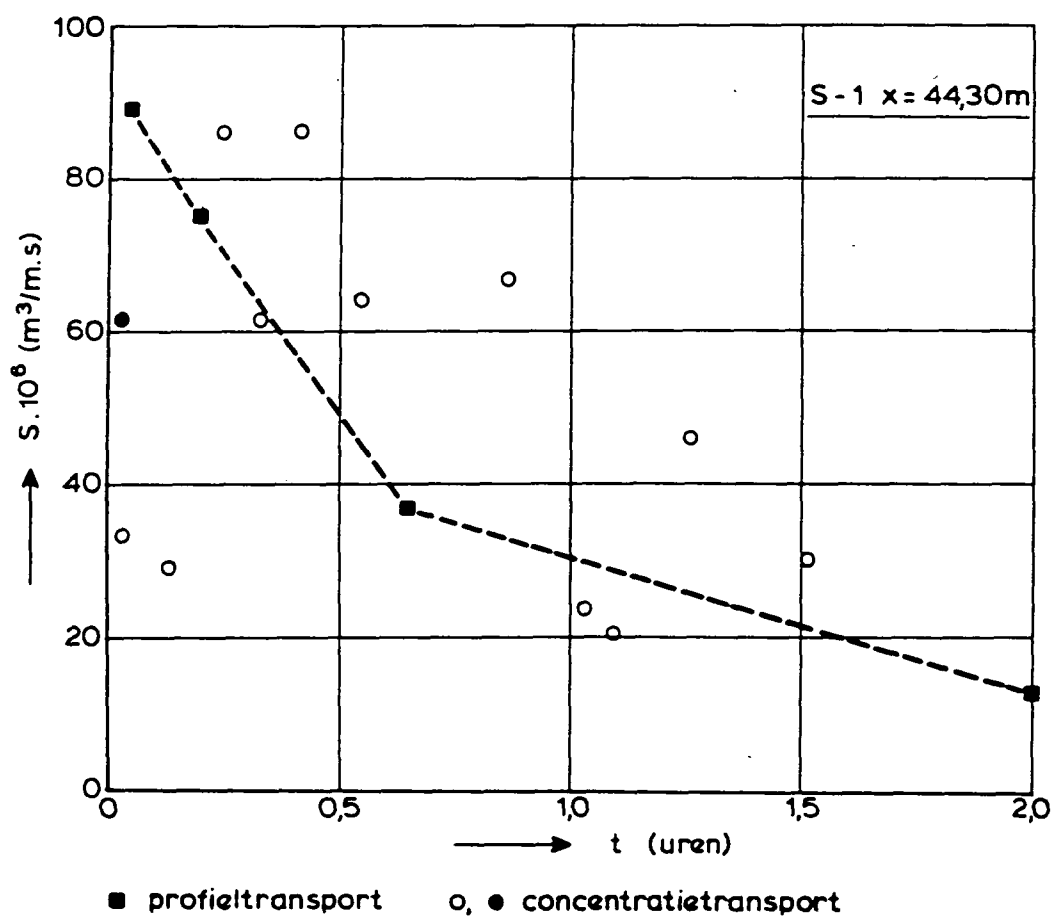
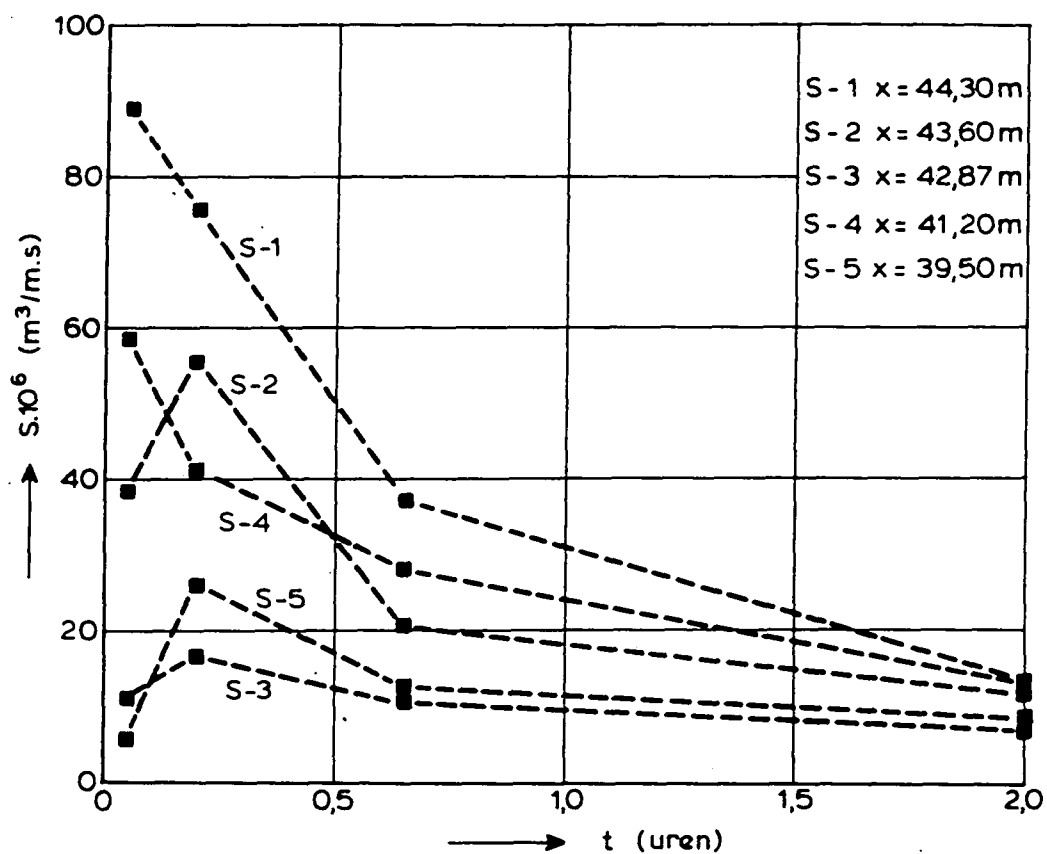


CIRCULATIEDEBIET ALS FUNCTIE VAN
WATERDIEPTE IN SCHELDEGOOT

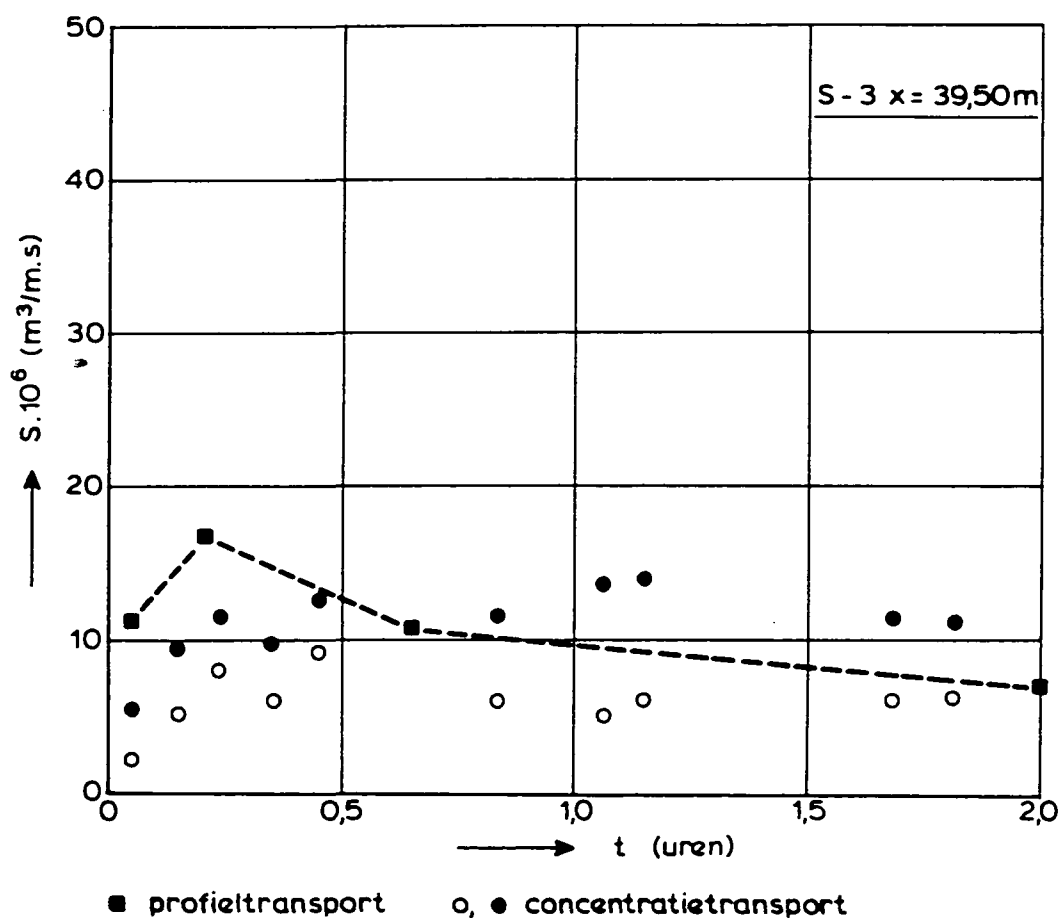
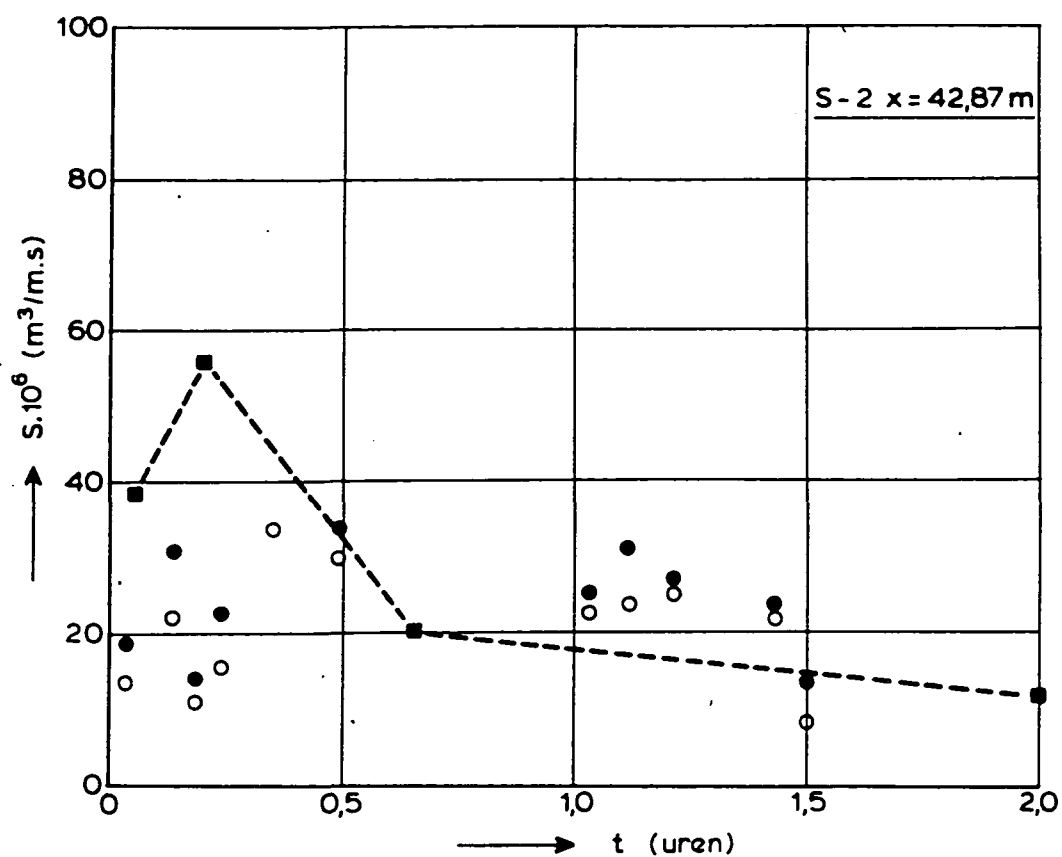
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

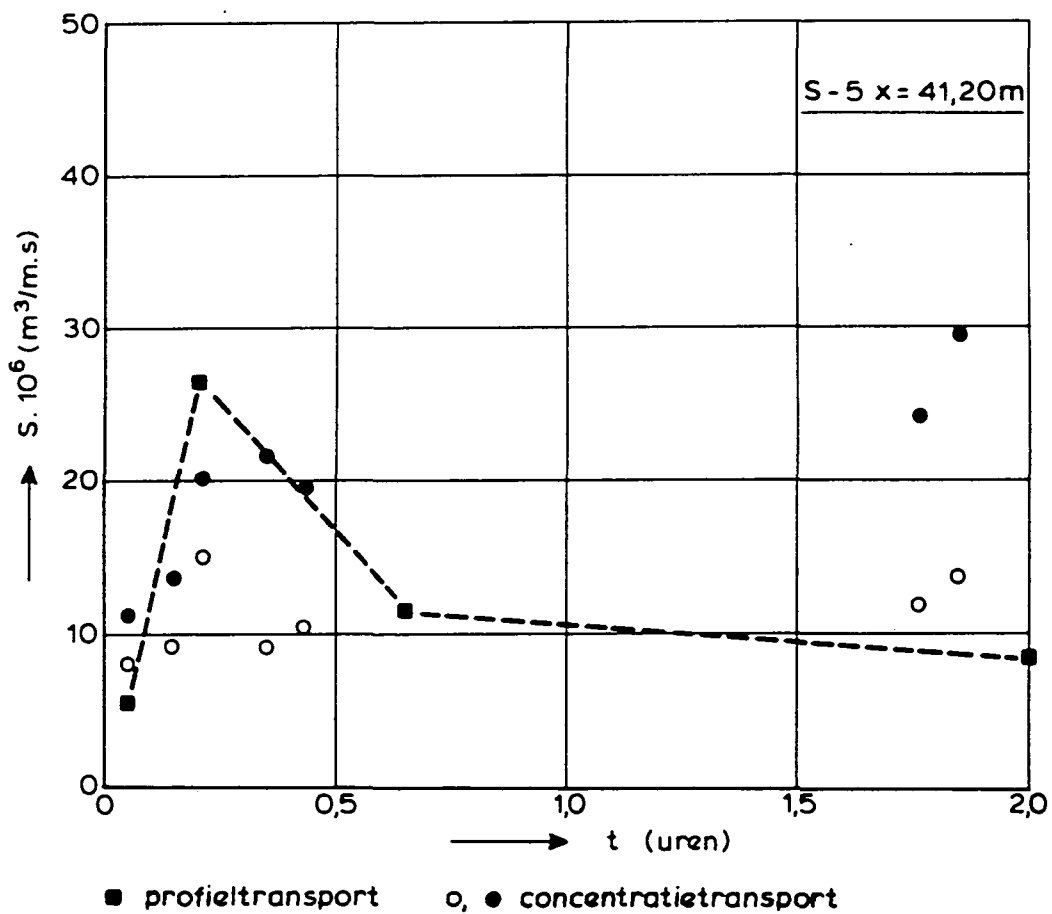
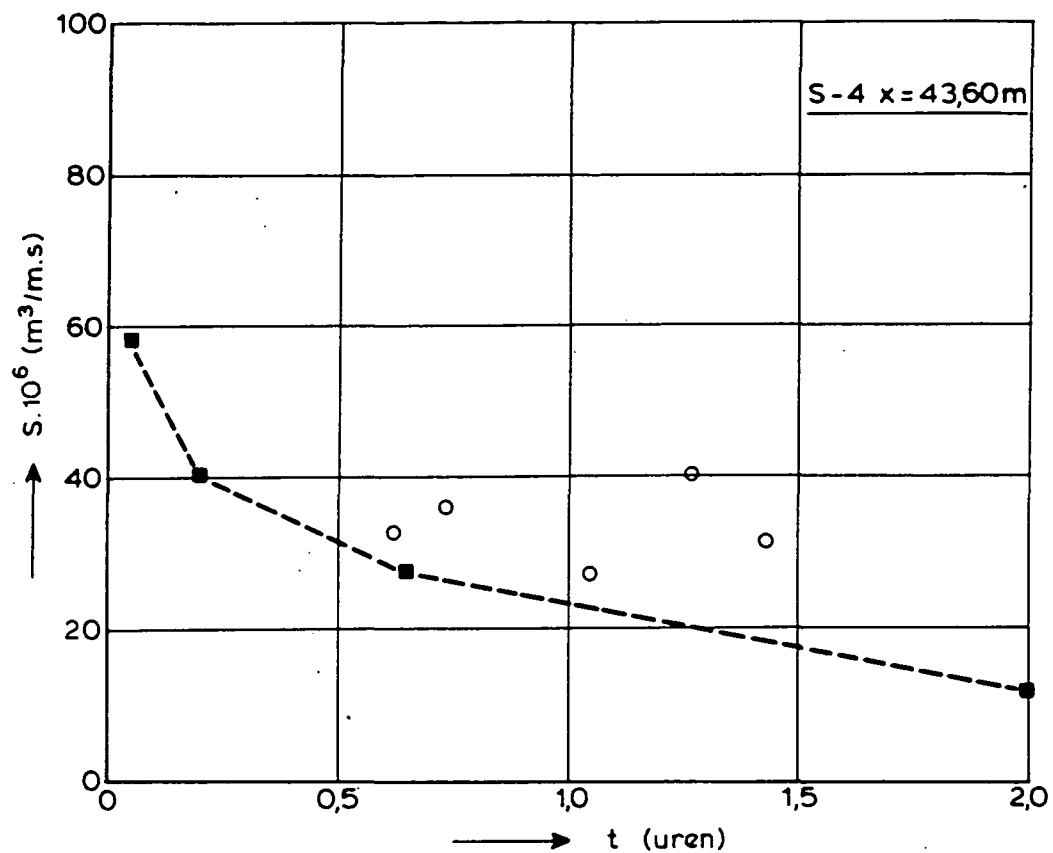
FIG. 46



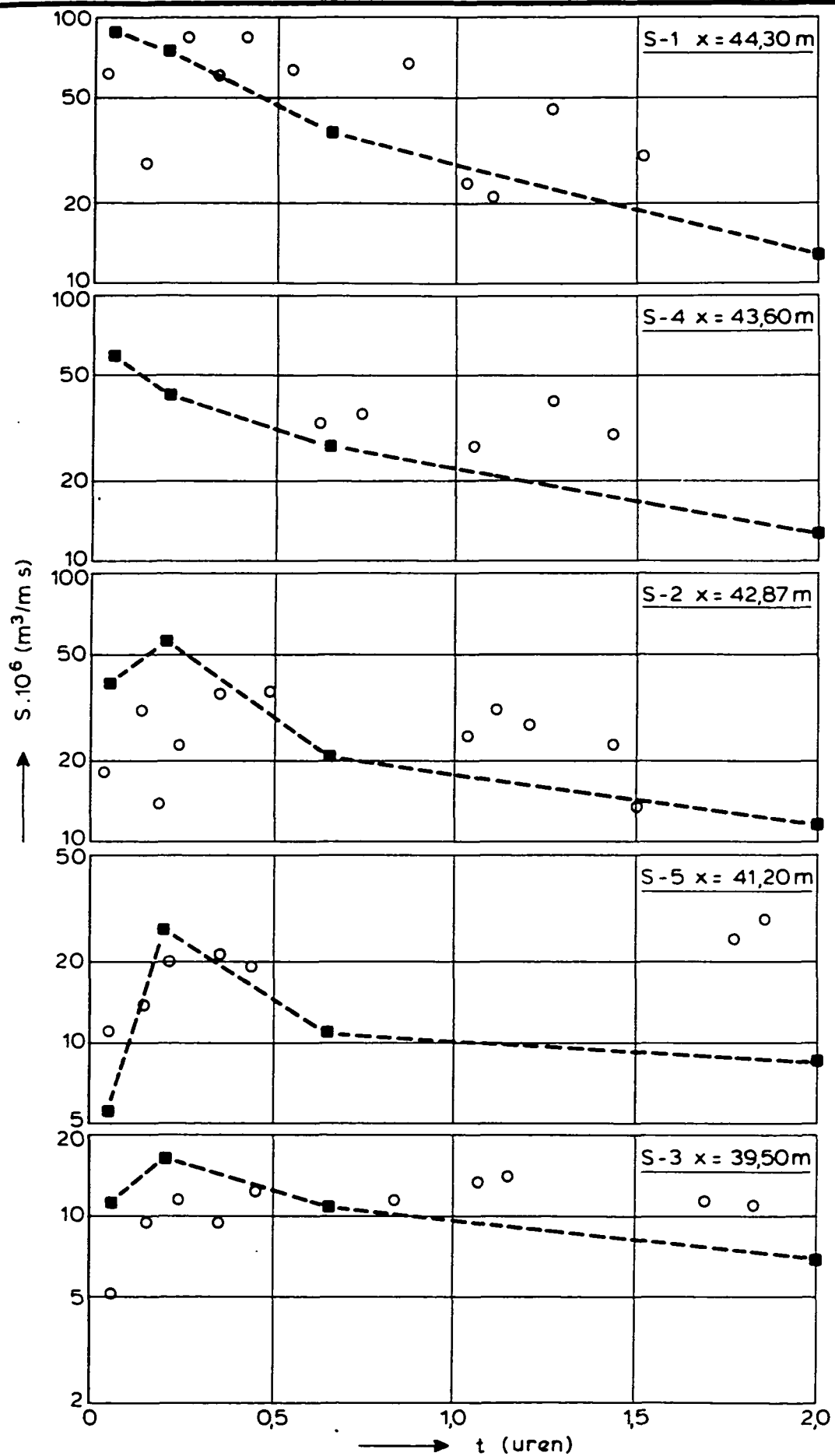
OVERZICHT PROFIELTRANSPORTEN EN
VERGELIJKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT



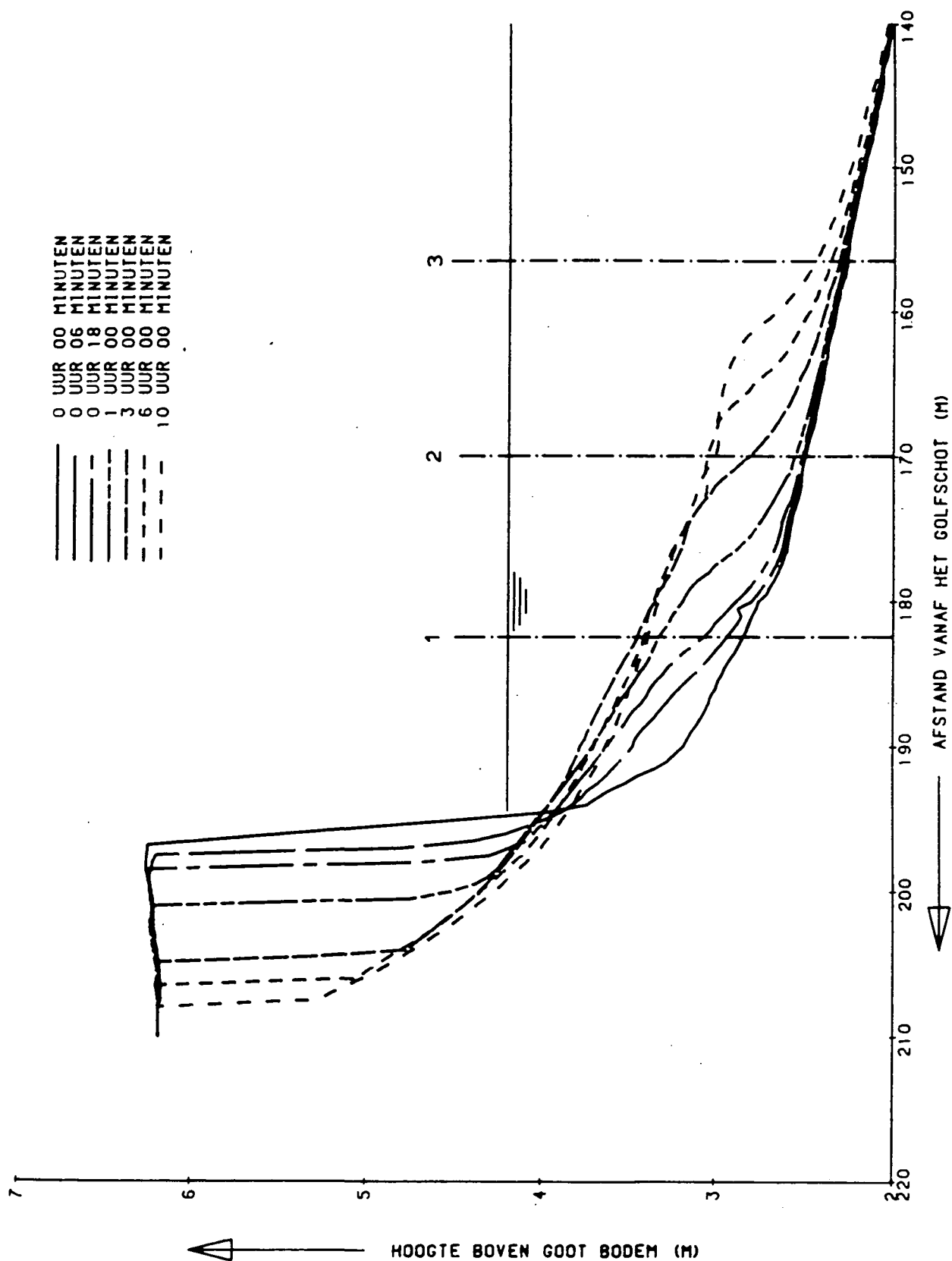
VERGELIJKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT



VERGELUKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT



VERGELIJKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT



VERTICAAL D1-1 t/m D1-3

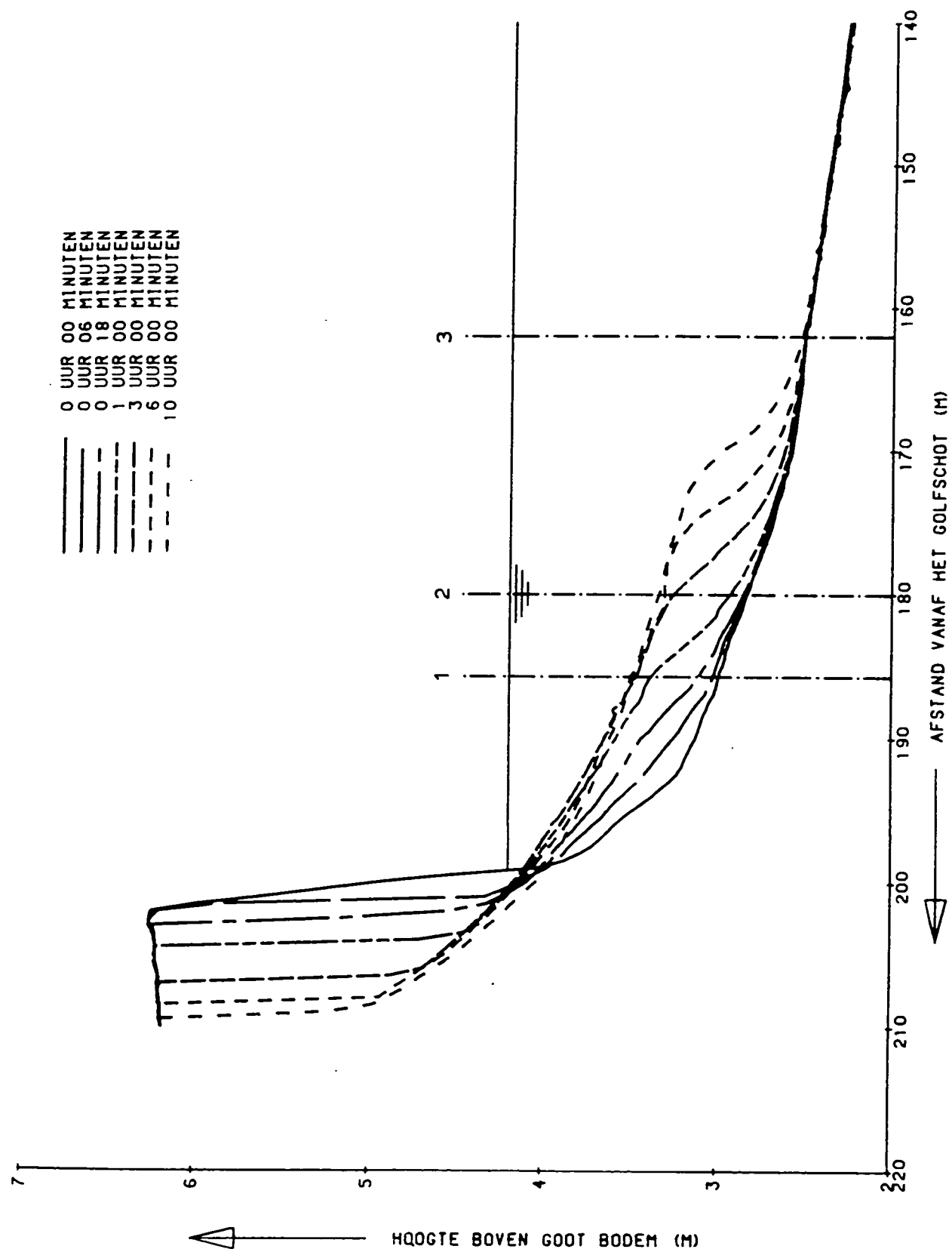
PROEF 1

ND = 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 51



VERTICAAL D2-1 t/m D2-3

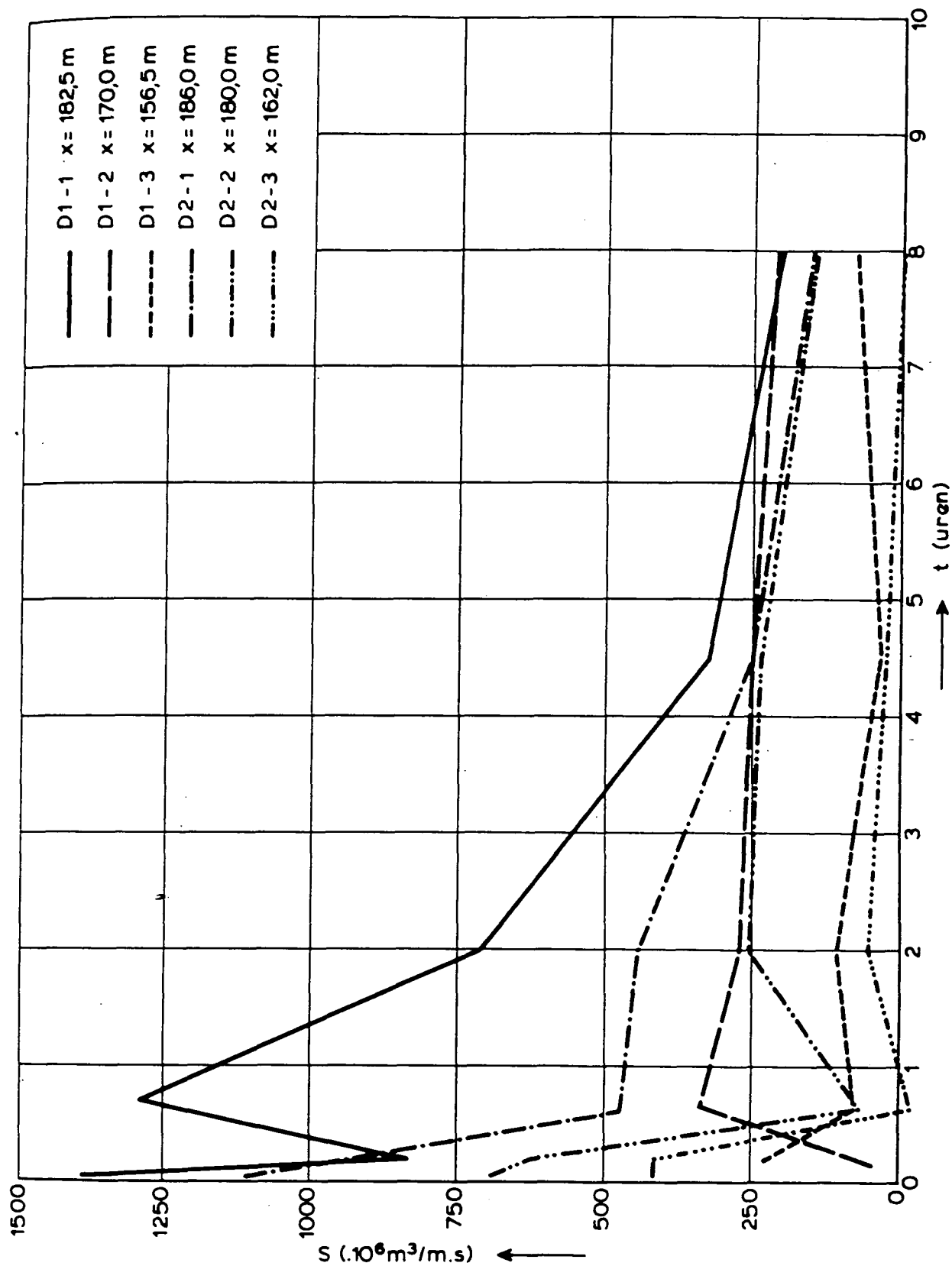
PROEF 2

ND = 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 52

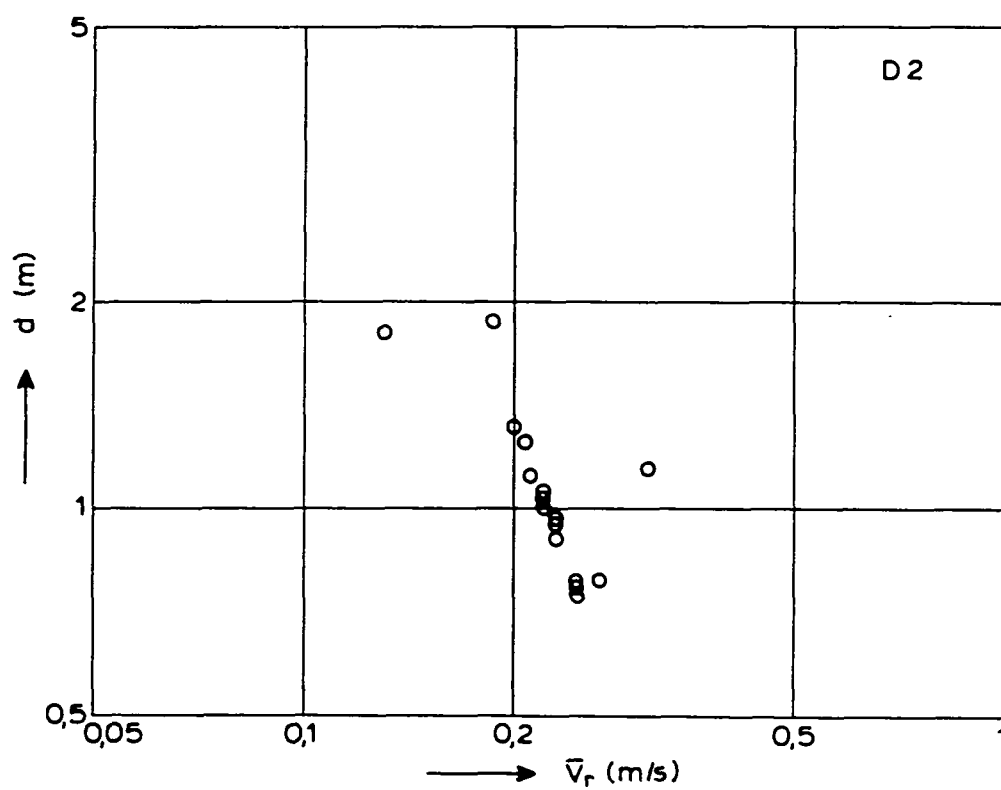
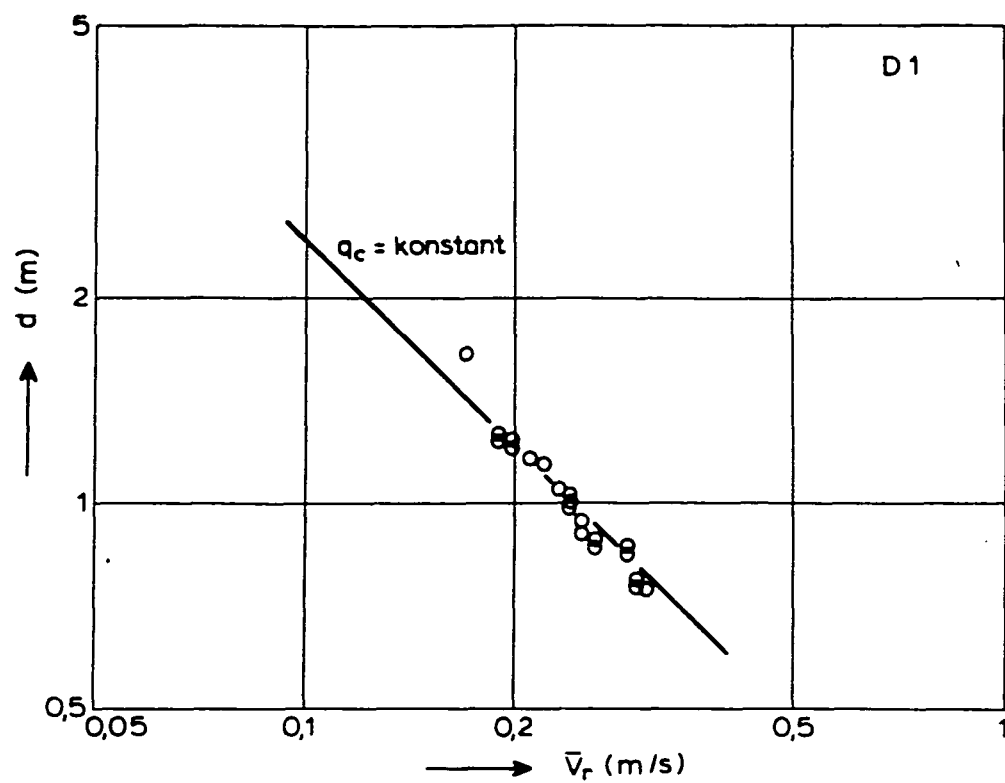


PROFIELTRANSPORT PER VERTICAAL
IN DELTAGOOT

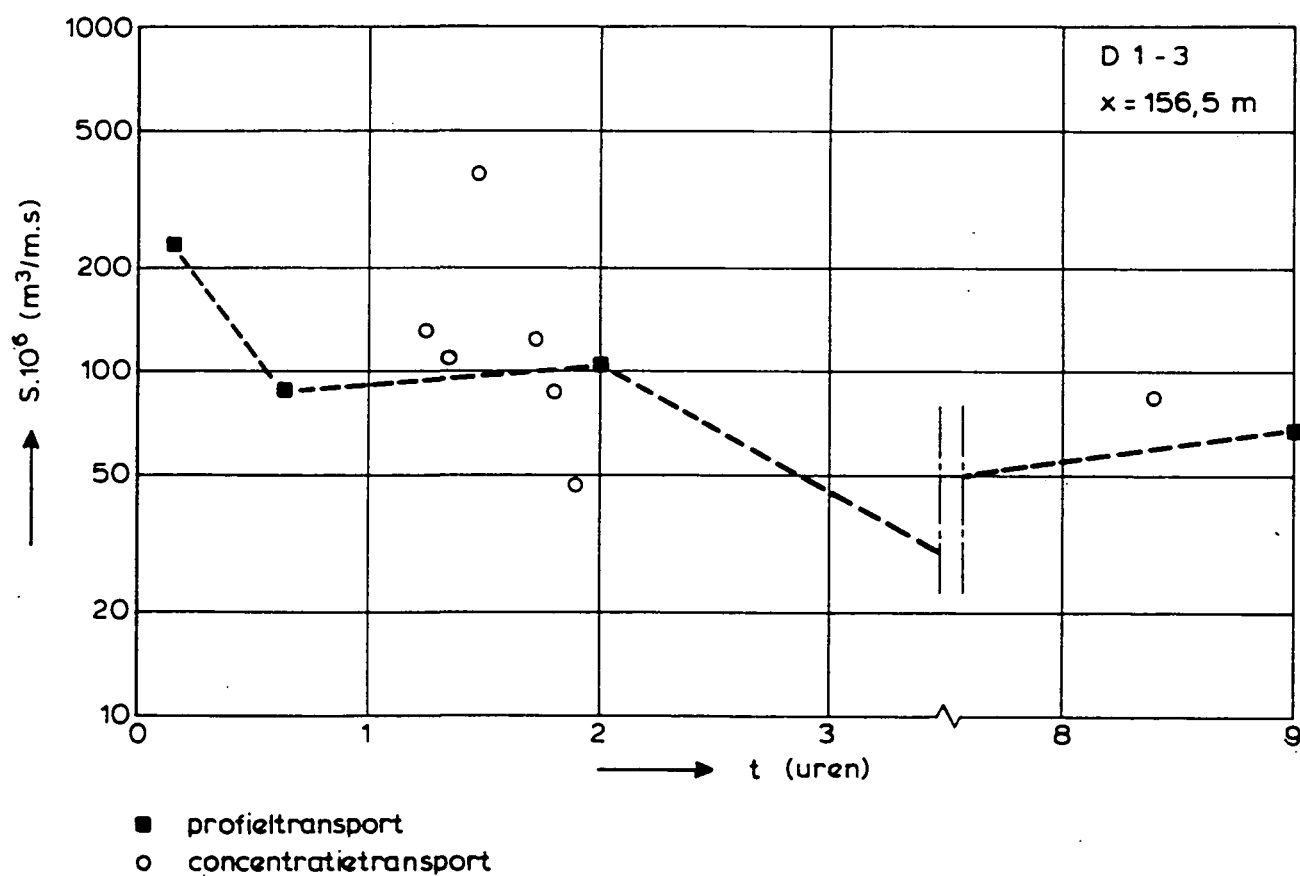
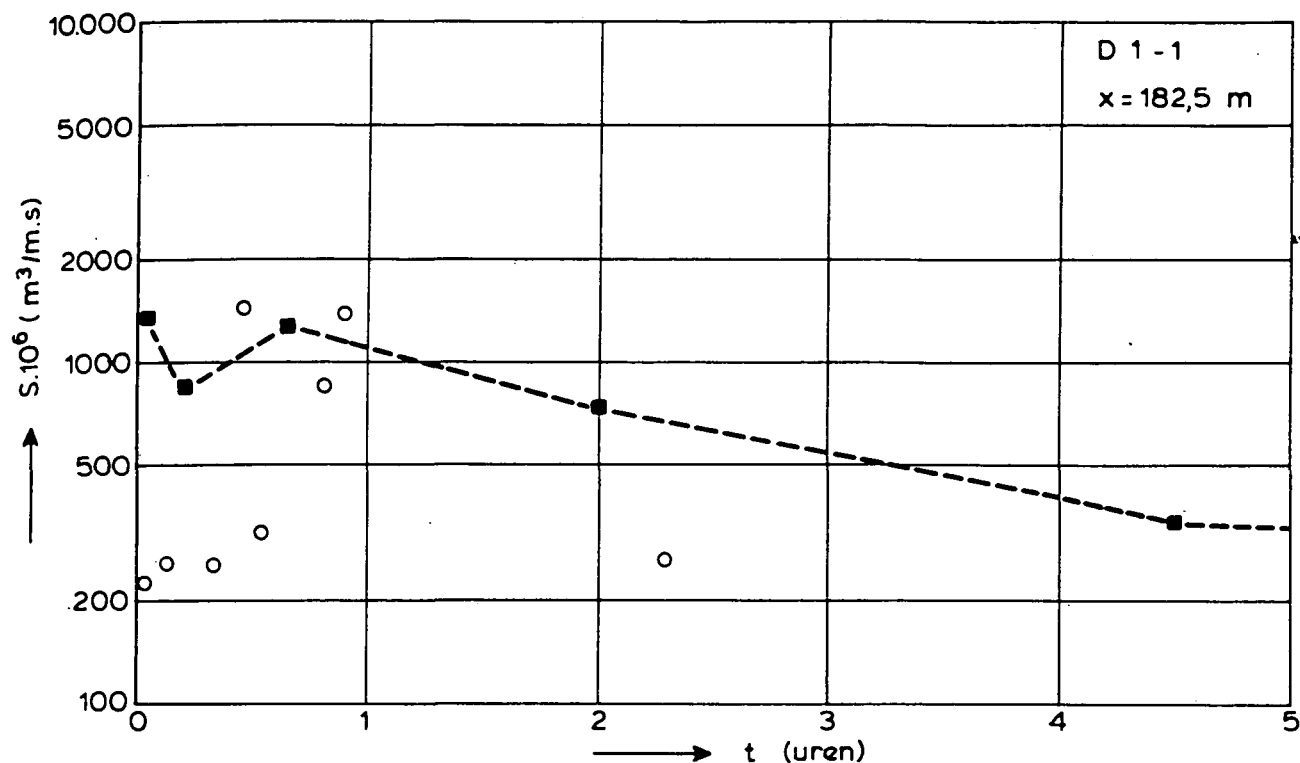
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 53



RELATIE TUSSEN $\bar{V}_r$ EN d VOOR
DELTA GOOTVERTICALEN

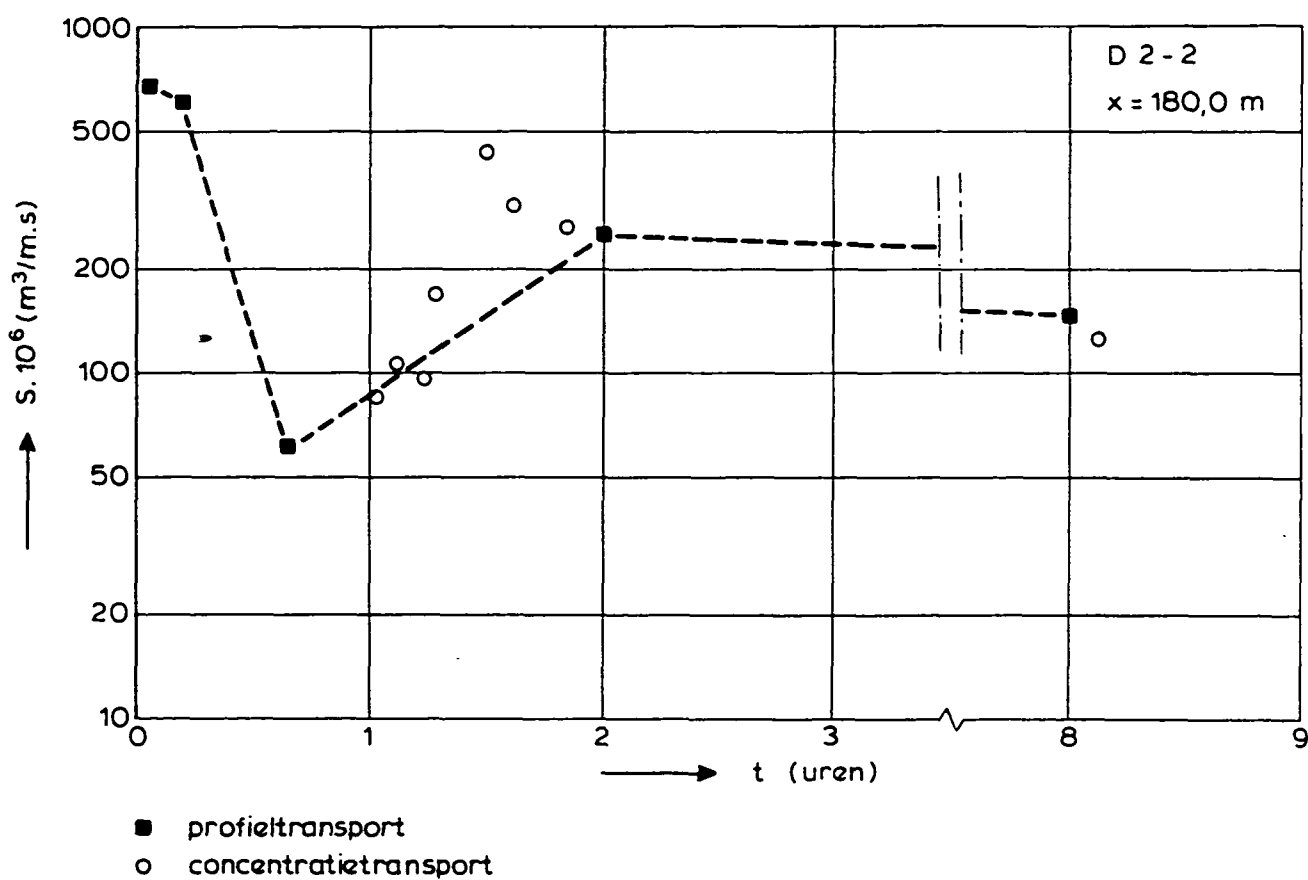
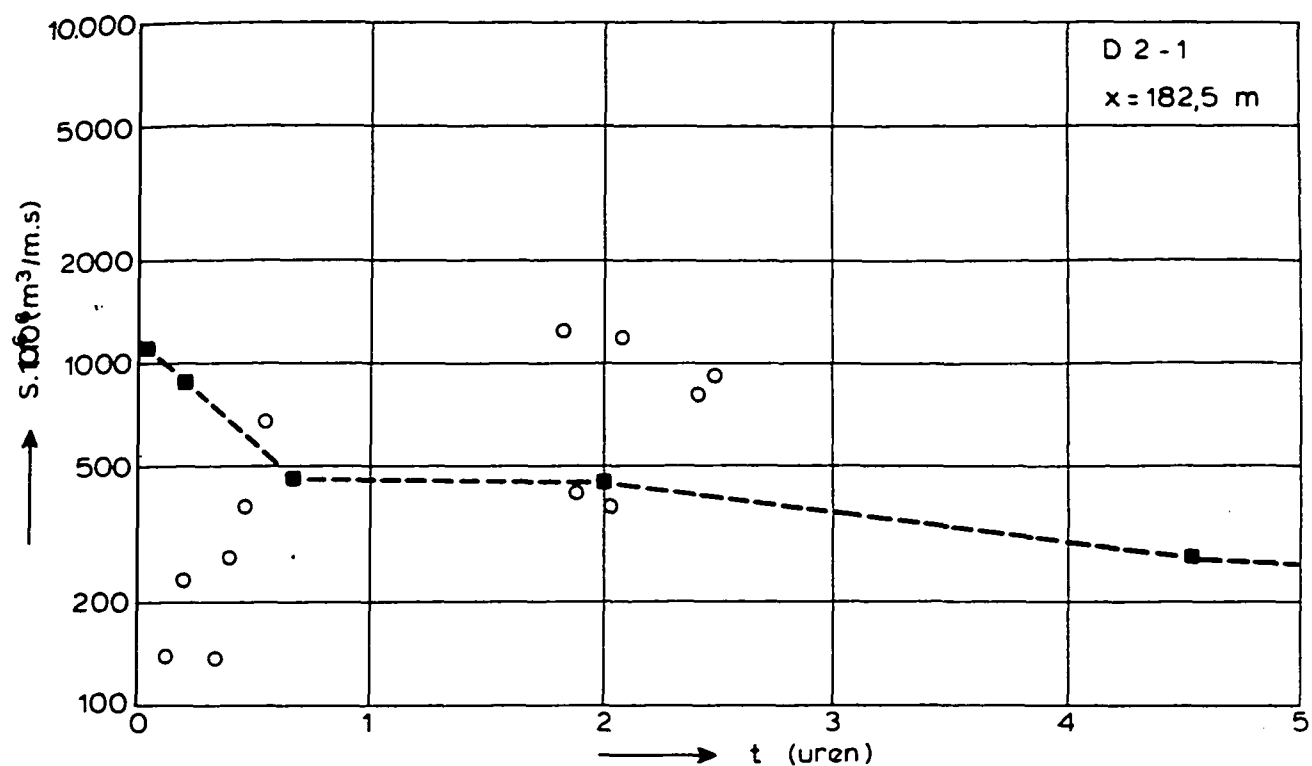


VERGELIJKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT

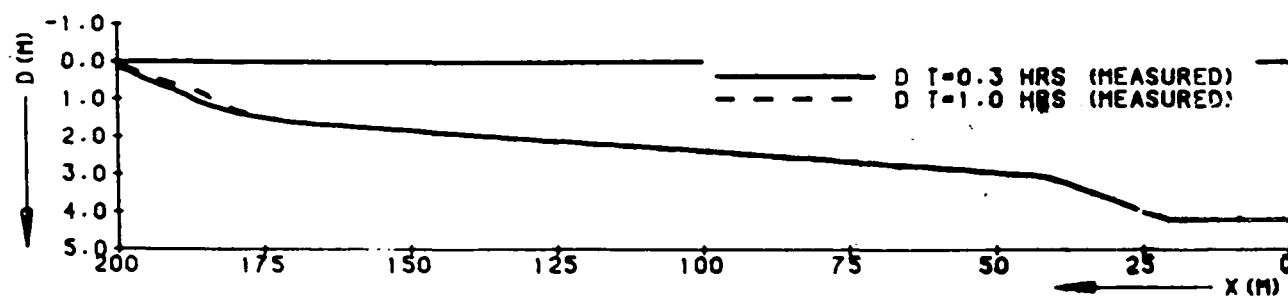
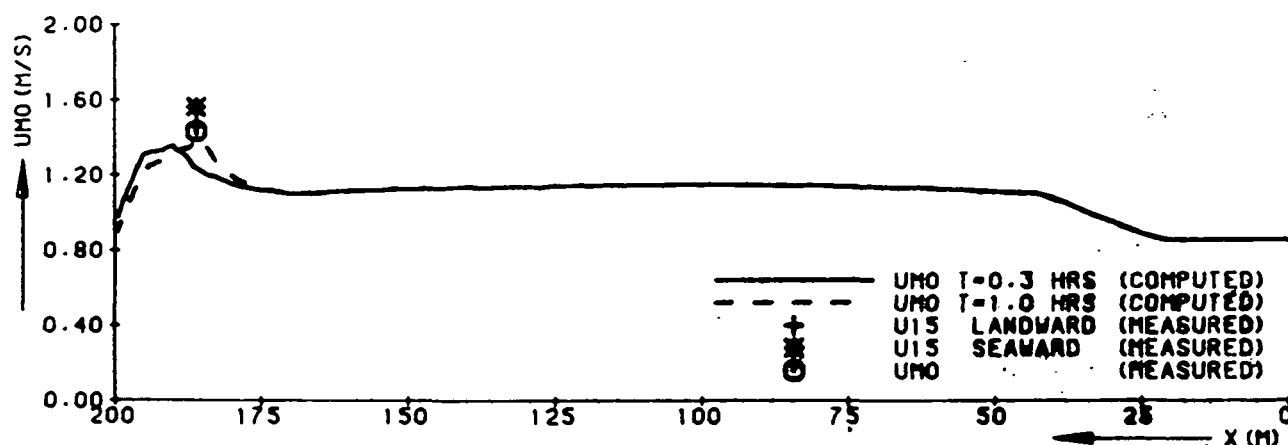
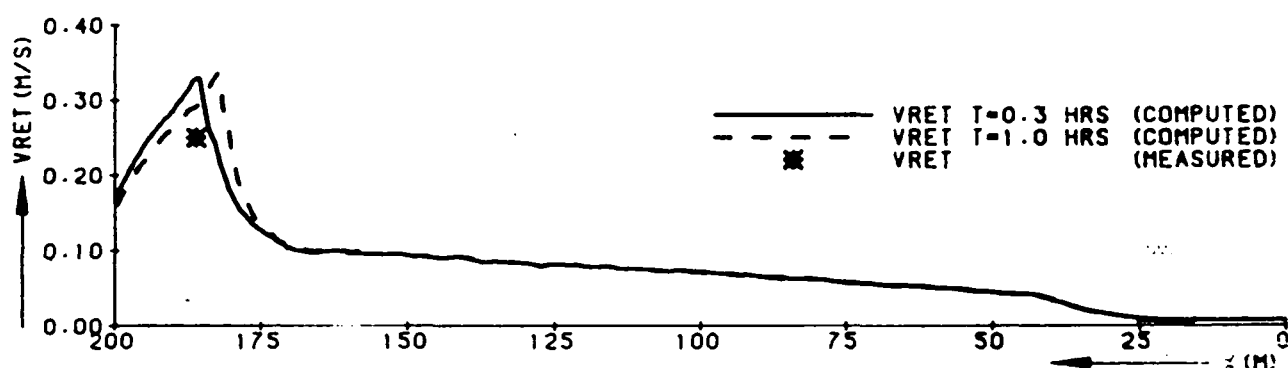
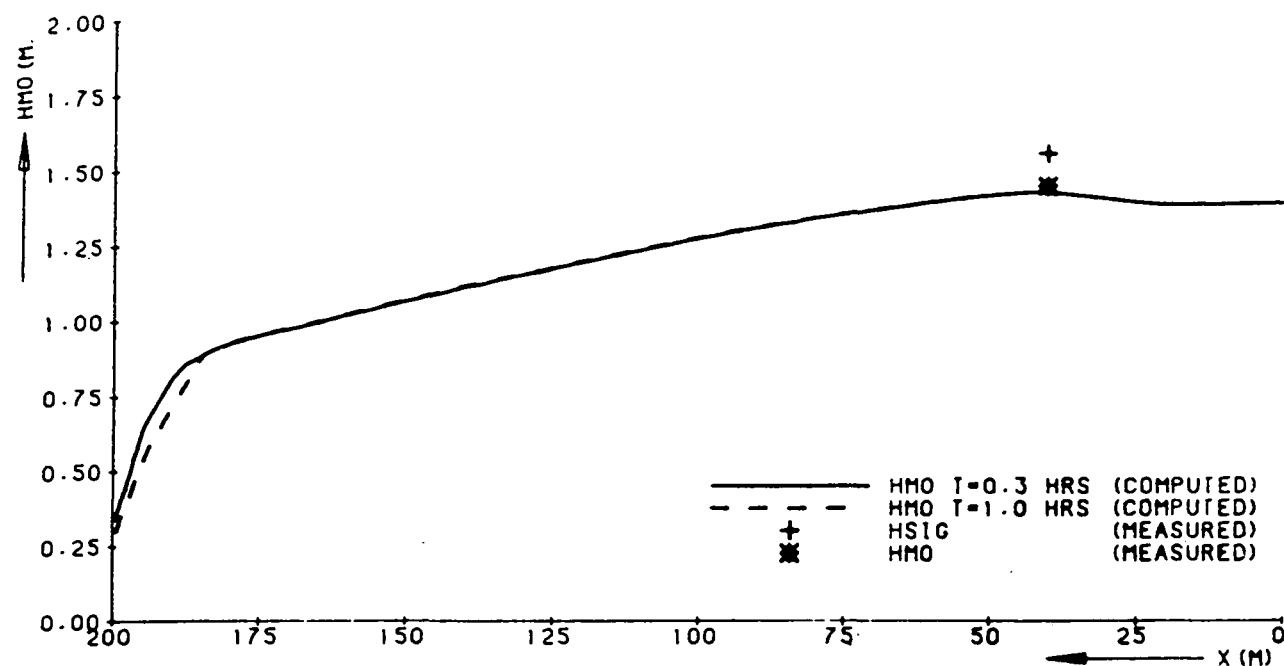
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 55



VERGELUKING PROFIELTRANSPORT EN
CONCENTRATIETRANSPORT.

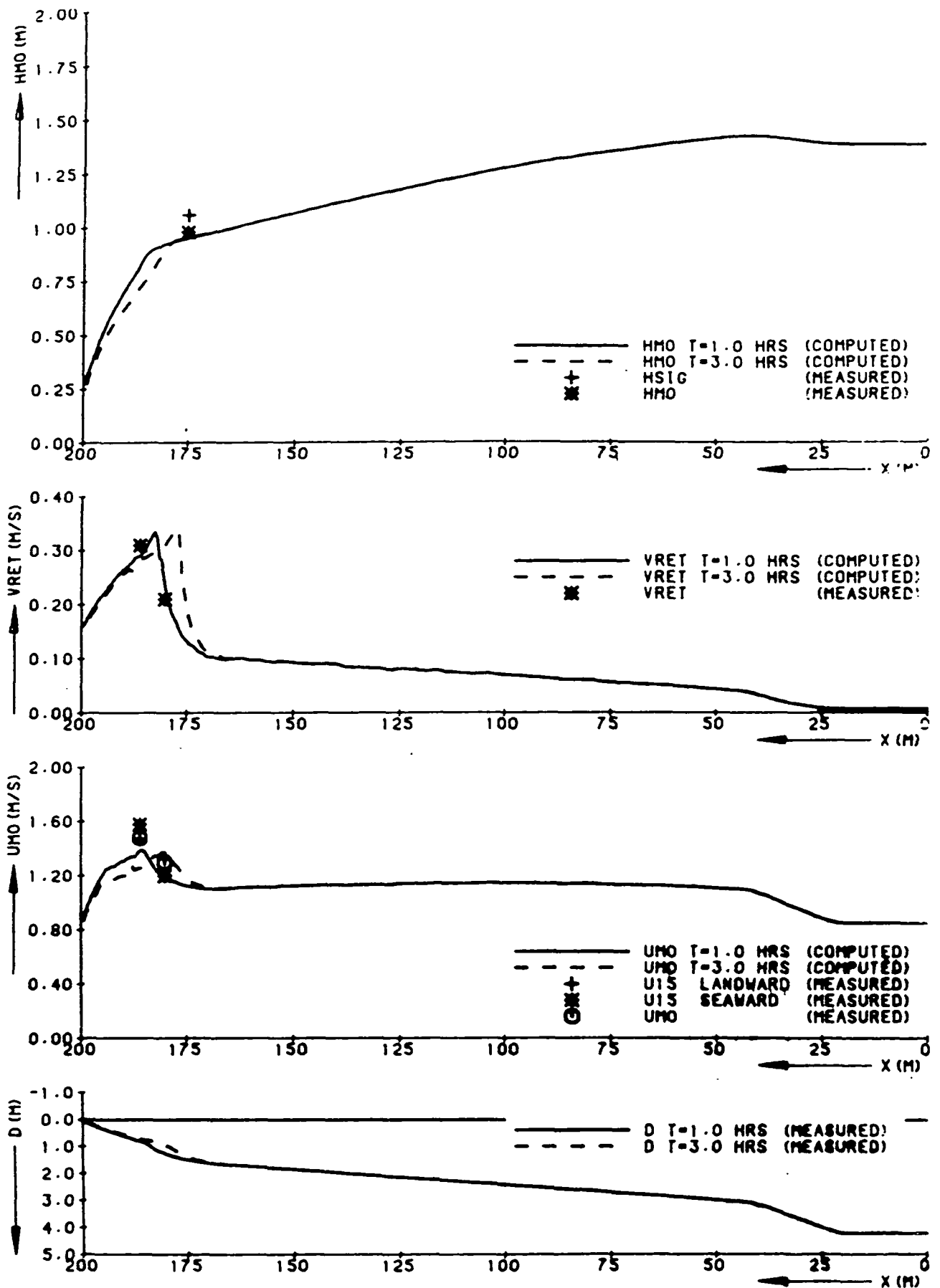


GOLFHOOGTE EN SNELHEIDSVELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 57

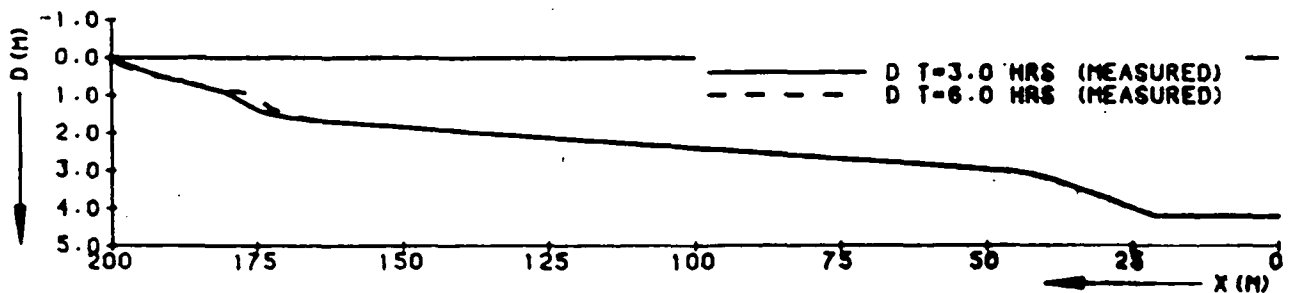
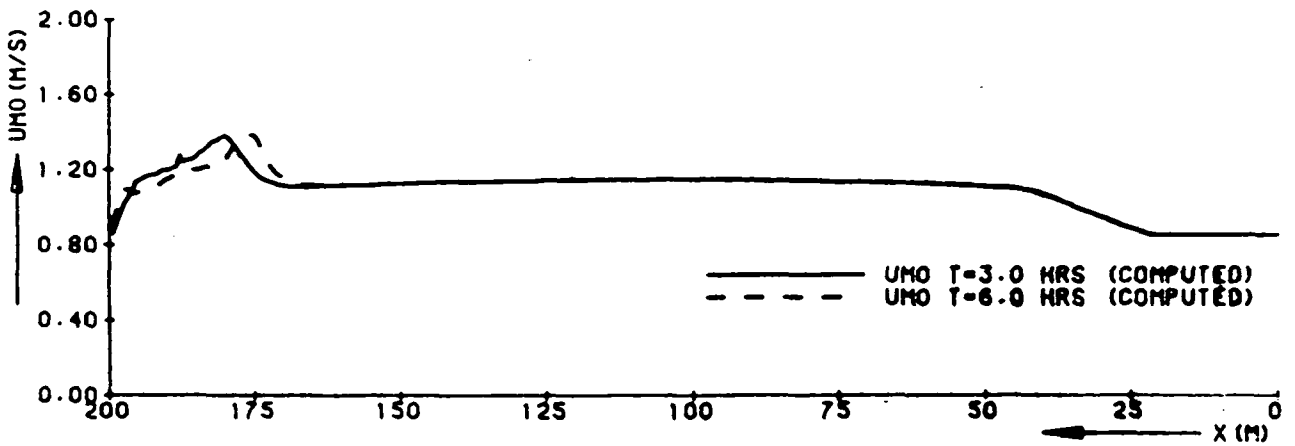
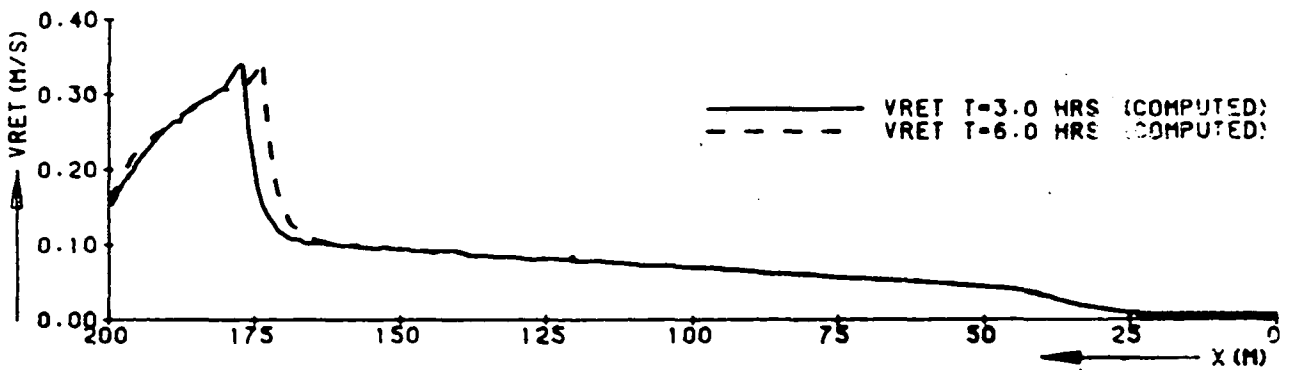
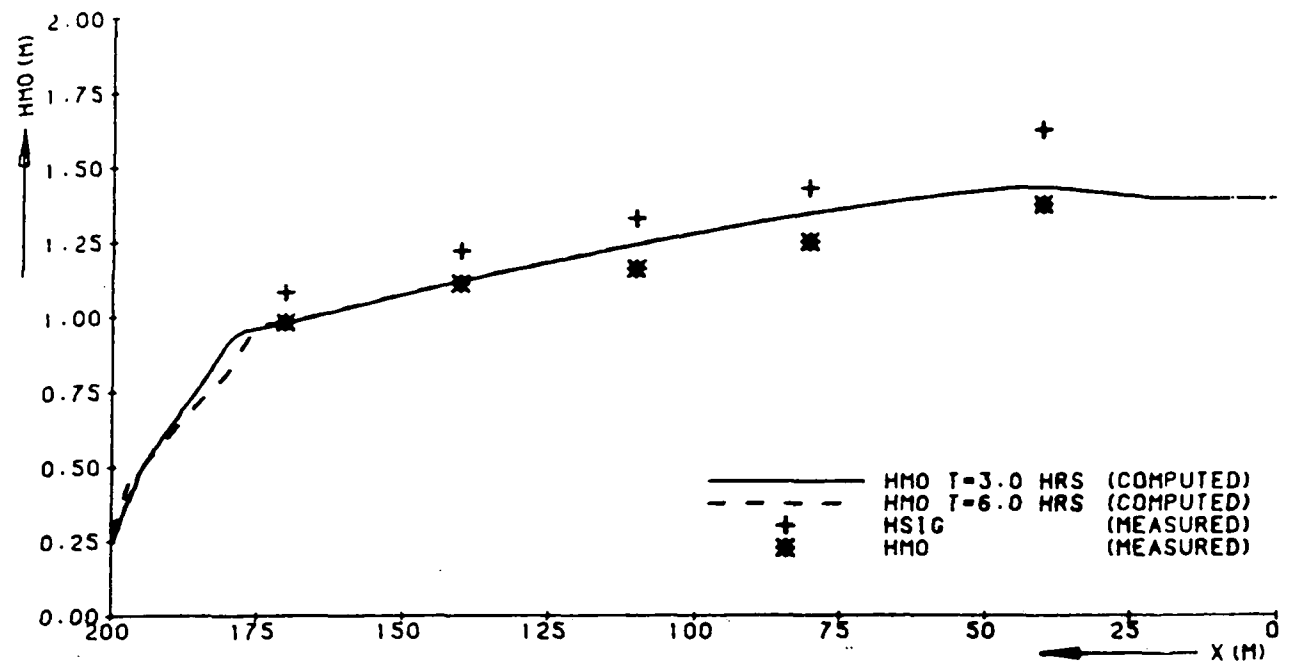


GOLFHOOGTE EN SNELHEIDSVELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 58

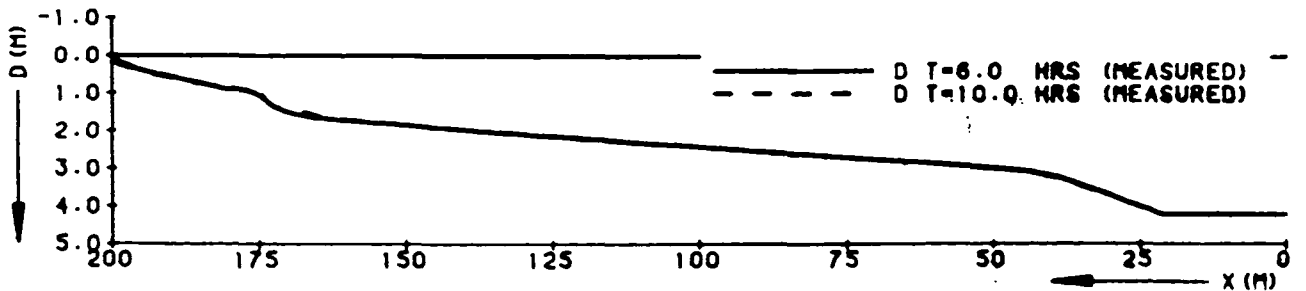
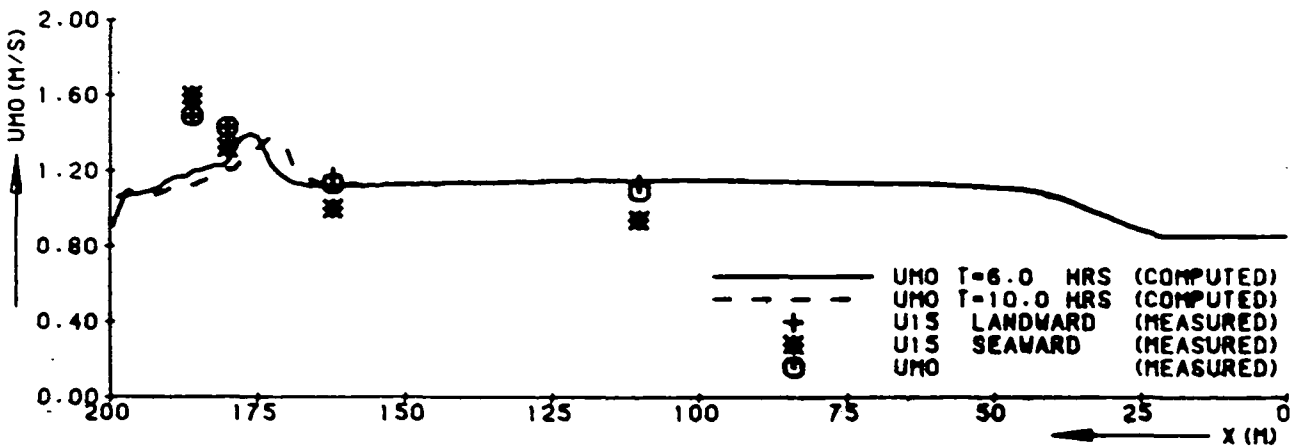
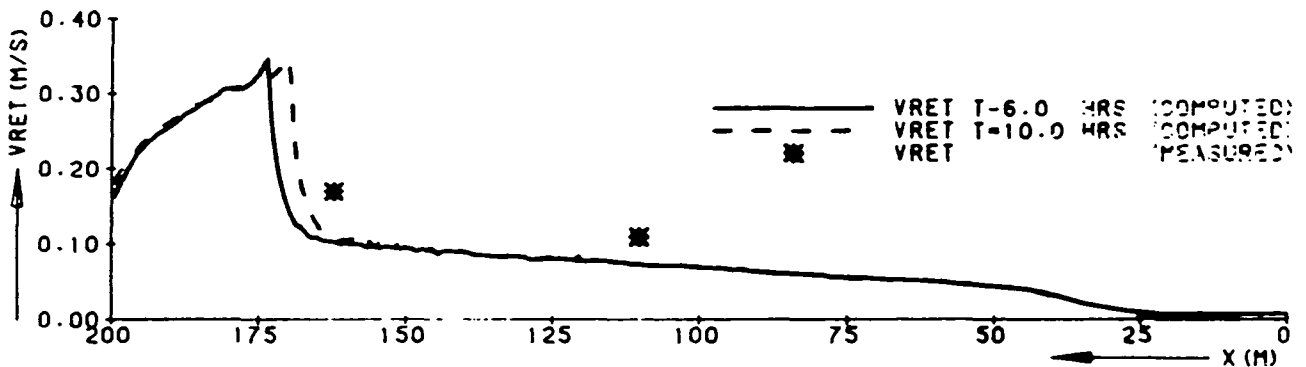
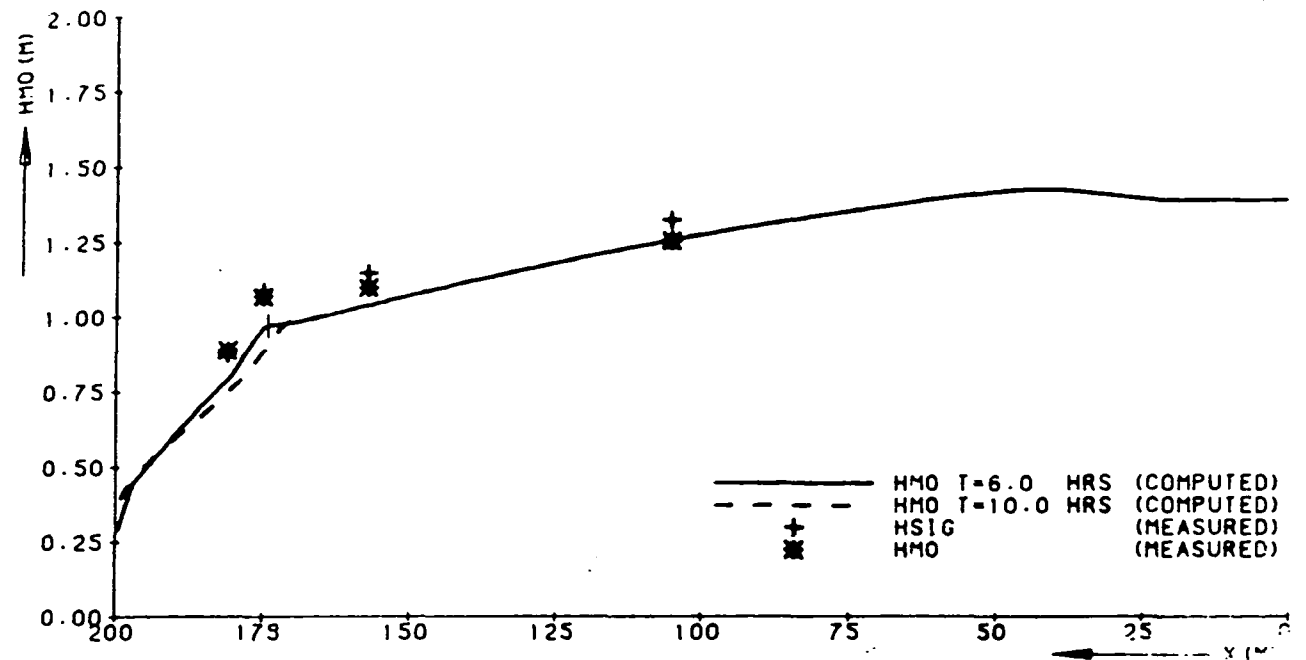


GOLFHOOGTE EN SNELHEIDSVELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 59

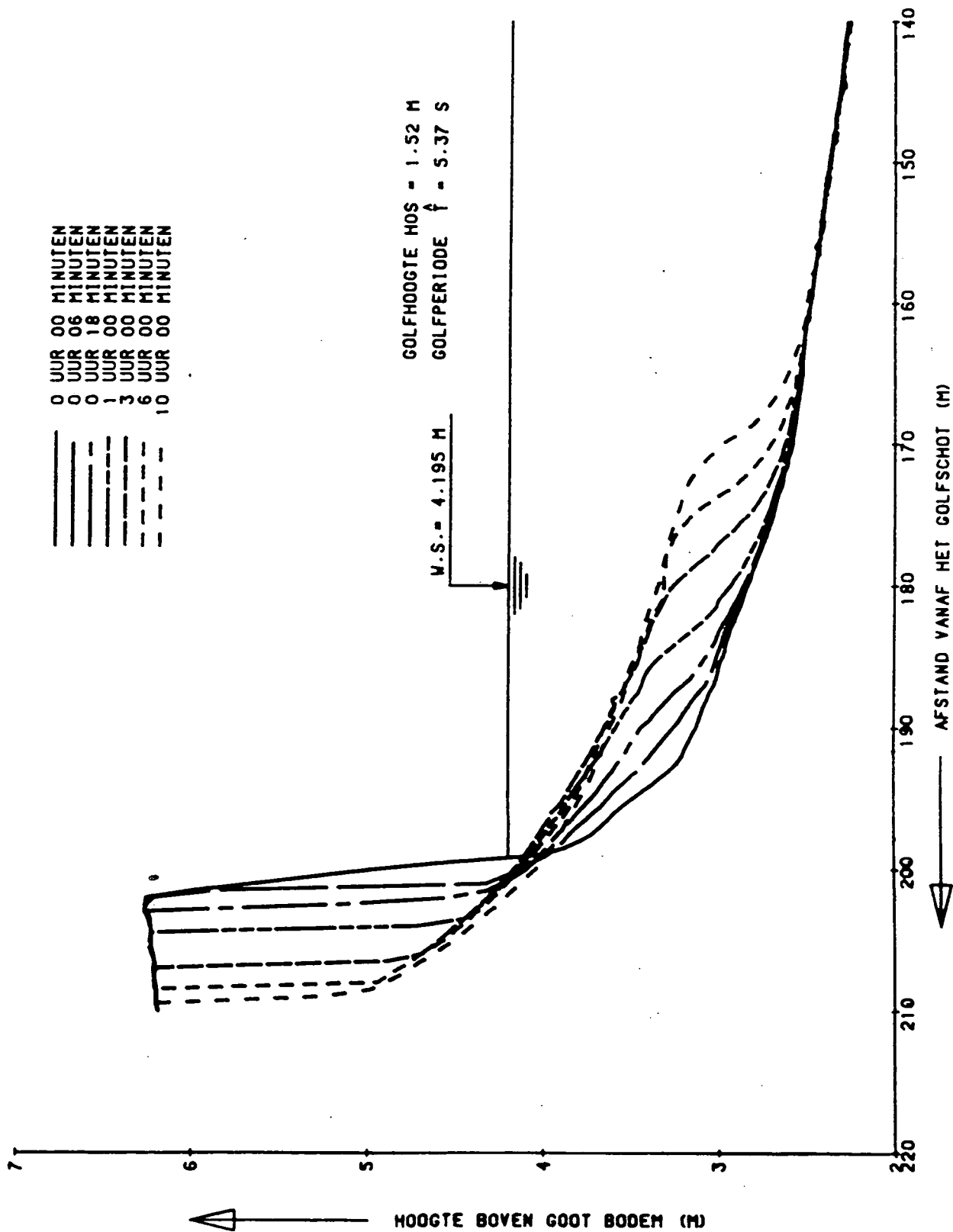


GOLFHOOGTE EN SNELHEIDSVELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 60



PROFIELONTWIKKELING PROEF 2
DETAIL

ND = 5

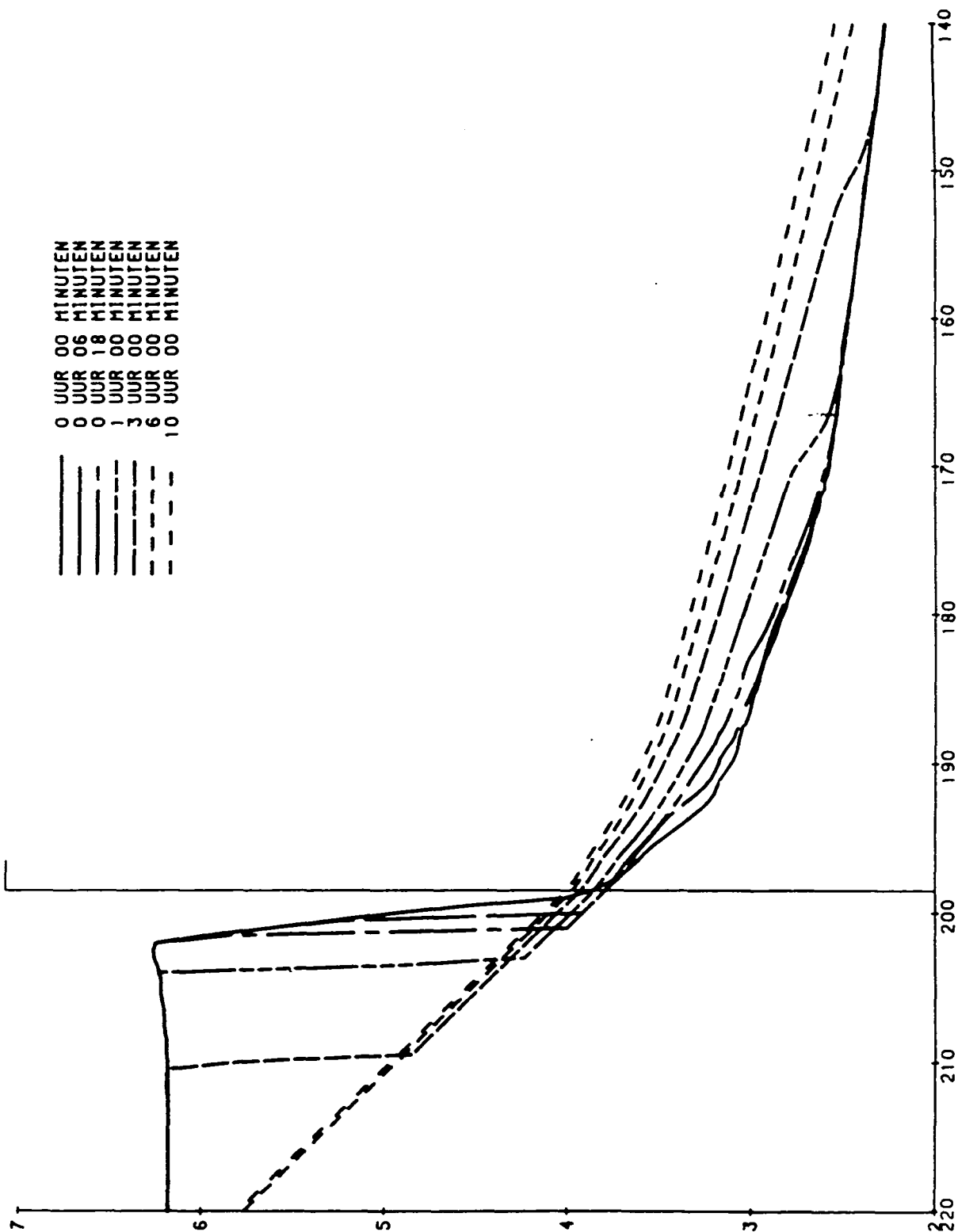
MODEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 61

12 HELLING 1/12 DT=0.01



0 UUR 00 MINUTEN
 0 UUR 06 MINUTEN
 0 UUR 18 MINUTEN
 1 UUR 00 MINUTEN
 3 UUR 00 MINUTEN
 6 UUR 00 MINUTEN
 10 UUR 00 MINUTEN

—
 —
 - -
 - -
 - -
 - -
 - -

PROFIELONTWIKKELING, BEREKENING

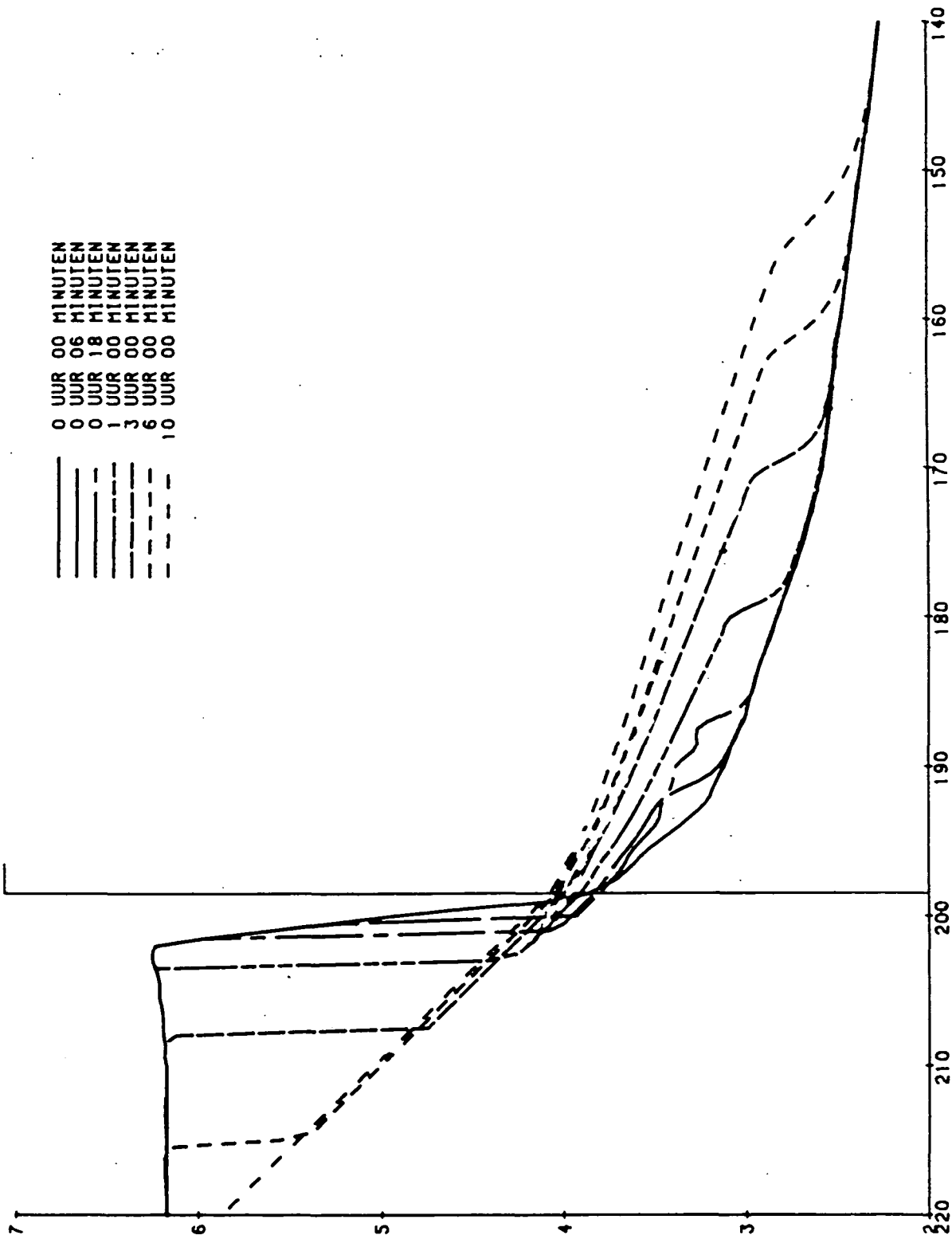
$L_s \sim \partial \text{ENC} / \partial x$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 62

12 HELLING 1/12 DT=0.01



PROFIELONTWIKKELING, BEREKENING

$L_s \sim \partial \text{ENC} / \partial x$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1263

FIG. 63

Appendix

* Transportberekening:

Uitgaande van een enkelvoudig exponentiële verband voor de concentraties kan de invloed van de waterdiepte, de concentratie aan de bodem en de concentratiegradiënt op het transport worden afgeschat.

Het concentratieprofiel wordt verondersteld te voldoen aan:

$$C(z) = C_o \cdot \exp(-z/r_c) \quad (A1)$$

Het transport voldoet aan

$$S = \frac{1}{\rho_s} \cdot q_c \cdot \left[\frac{L_s}{d} - C_d \right] = \frac{1}{\rho_s} \cdot q_c \cdot C^* \quad (A2)$$

waarin:

C^* = de voor het transport karakteristieke concentratie ($C^* = \bar{C} - C_d$; $\bar{C}$ is de gemiddelde concentratie in de verticaal)

Na uitschrijven van de relaties voor L_s en C_d volgt dan C^* :

$$C^* = \frac{1}{d} \cdot \int_0^d C(z) dz - C_d = C_o \left[\frac{r_c}{d} \cdot (1 - \exp(-d/r_c)) - \exp(-d/r_c) \right] \quad (A3)$$

Introduceren van een parameter α voor de relatieve steilheid van de concentratie verticaal volgens:

$$\alpha = r_c / d, \quad (A4)$$

levert voor C^* :

$$C^* = C_o \cdot \left[\alpha (1 - \exp(-1/\alpha)) - \exp(-1/\alpha) \right] = K_c \cdot C_o \quad (A5)$$

$$\text{met: } K_c = \alpha - \left[\frac{1+\alpha}{\exp(1/\alpha)} \right] \quad (A6)$$

Zowel de parameter α als de parameterfunctie K_c verdienen enige aandacht.

* parameter α

De parameter α is een maat voor de relatieve steilheid van de concentratiever-
ticaal en zegt iets over de mate waarin de concentraties over de verticaal
verdeeld zijn.

$$\alpha = \frac{r_c}{d} \quad (A4)$$

Veel turbulente uitwisseling	}	hogere α
Een "steilere" verticaal		
Relatief ondiepwater		
Weinig turbulente uitwisseling	}	lagere α
Een "vlakke" verticaal		
Relatief diepwater		

Nadere beschouwing van deze verhouding is zinvol omdat deze bepalend is voor
de absolute grootte van het transport.

Een andere, bruikbare schrijfwijze voor de parameter α is: (gebruik makend van
Vgl. A1):

$$\alpha = [\ln[C_o/C_d]]^{-1} \quad (A4a)$$

* verhoudingsfactor K_c

De grootte van K_c is een maat voor de verhouding tussen de concentratie C^* en
de referentieconcentratie C_o waarin C^* de voor het transport karakteristieke
concentratie is.

Voor deze functie geldt:

$$K_c = \alpha - \left[\frac{1+\alpha}{\exp(1/\alpha)} \right], \quad \text{met } \alpha = r_c/d \quad (A6)$$

Karakteristieken:

- $\alpha \rightarrow \infty$; concentratieverdeling wordt min of meer uniform ($C(z) = C$); $K_c \rightarrow 0$
d.w.z. $S \rightarrow 0$ omdat er immers evenveel landwaarts als zeewaarts gericht
transport is ($S_1 = S_z$)
- $\alpha \rightarrow 0$; alleen concentraties op hele lage niveaus, zodat $S_1 = 0$ maar tevens
 $S_z \rightarrow 0$ zodat $S \rightarrow 0$ m.a.w. $K_c \rightarrow 0$.

De parameterfunctie K_c geeft de invloed van de verdeling van de concentraties over de verticaal aan op het resulterende transport.

In Fig. A1 is K_c gegeven als functie van α

In het verloop van $K_c(\alpha)$ zijn een drietal verschillende trajecten te onderscheiden:

$0 < \alpha < 0,3$ toenemende K_c ; $K_c \approx \alpha$

$0,3 < \alpha < 1,1$ ongeveer constante K_c ; $K_c \approx 0,28 \pm 10\%$

$\alpha > 1,1$ afnemende K_c (A7)

Blijkbaar geldt voor een constante C_o en q_c dat het resulterend zeewaarts transport maximaal is voor $0,3 < \alpha < 1,1$ en dat voor grotere en kleinere waarden van α het transport afneemt.

Binnen het gegeven interval kan α enigermate variëren zonder grote invloed te hebben op de grootte van het transport.

Bij een gegeven waterdiepte d mag de afname lengte r_c variëren tussen $r_c = 0,3d$ ($\alpha = 0,3$) en $r_c = 1,1d$ ($\alpha = 1,1$). Bij gegeven afnamelengte r_c mag de waterdiepte variëren van $d = r_o/0,3$ ($\alpha = 0,3$) tot $d = r_c/1,1$ ($\alpha = 1,1$).

Zolang de concentratie aan het oppervlak varieert tussen $0,035 C_o$ en $0,40 C_o$ is er een bijna constante verhouding tussen C^* en C_o , te weten:

$$C^* = (0,28 \pm 0,02) \cdot C_o.$$

Beperking tot de kleinere α -waarden ($\alpha < 0,3 \rightarrow r_c < 0,3 d$) laat zien:

$$K_c \approx \alpha \rightarrow C^* = \alpha \cdot C_o = \frac{r_c}{d} \cdot C_o,$$

zodat:

$$S = \frac{1}{\rho_s} \cdot q_c \cdot \frac{r_c}{d} C_o = \frac{1}{\rho_s} \cdot v \cdot L_s \quad (\alpha < 0,3) \quad (A8)$$

Omdat al het sediment zich vlak boven het bed bevindt wordt het transport bepaald door het produkt van snelheid en sedimentlast. Deze benadering is alleen gerechtvaardigd bij een kleinere relatieve steilheid van de concentratieverticaal. In alle andere gevallen moet er een reductiefactor K_c worden toegevoegd.

In het algemeen geldt:

$$S = \frac{1}{\rho_s} \cdot q_c \cdot C^* = \frac{1}{\rho_s} \cdot q_c \cdot K_c \cdot C_o \quad (A9)$$

In termen van sedimentlast L_s :

$$S = \frac{1}{\rho_s} \cdot v \cdot [L_s^*], \quad (A10)$$

waarin:

$$L_s^* = K_1 \cdot L_s \quad (A11)$$

De grootte van de korrektiefactor voor de sedimentlast volgt uit:

$$K_1 = \frac{d \cdot K_c \cdot C_o}{L_s} = 1 - \frac{1}{\alpha(\exp(1/\alpha) - 1)} \quad (A12)$$

Fig. A1 geeft K_1 als functie van α , K_1 geeft het percentage van de totale hoeveelheid gesuspendeerd sediment aan dat effectief in zeewaartse richting wordt getransporteerd.

Gaat voor $\alpha < 0,2$ (weinig turbulentie) nog de volledige hoeveelheid gesuspendeerd sediment in zeewaartse richting ($K_1 = 1$), voor $\alpha = 0,8$ is dit slechts de helft ($K_1 = 0,5$) en voor $\alpha = 1,5$ nog maar 30%.

Het produkt van snelheid en sedimentlast geeft blijkbaar veelal een overschatting van het transport.

Op grond van de beschreven benaderingswijze kan het volgende worden geconcludeerd.

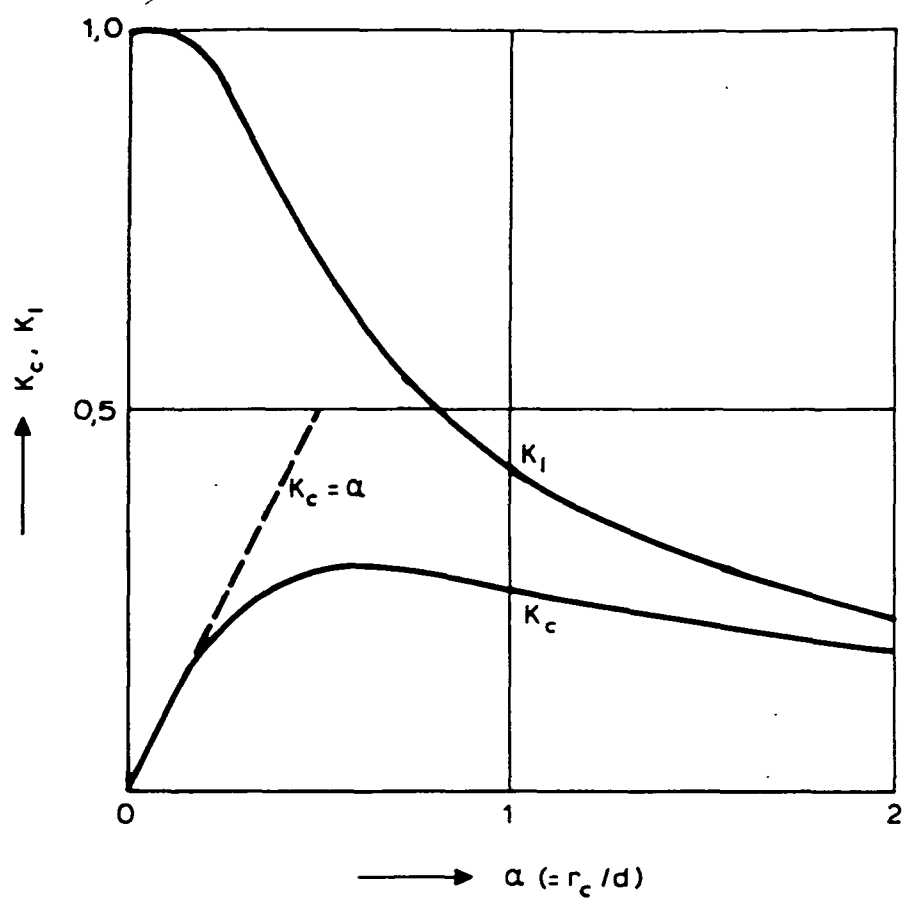
Het transport is, bij constante veronderstelde q_c , afhankelijk van C_o en $\alpha (= r_c/d)$.

Voor $0,3 < \alpha < 1,1$ is de invloed van de α -waarde relatief gering en is het transport in hoofdzaak afhankelijk van de referentieconcentratie C_o . Deze zal waarschijnlijk afnemen met toename van de diepte en bovendien gerelateerd zijn aan de relatieve energiedissipatie welke op zijn beurt weer afhangt van de bodemhelling. Deze afhankelijkheid lijkt vrij complex.

Ter illustratie zal voor een gegeven hoeveelheid sediment in suspensie (vaste L_s) bij toename van de turbulentie graad α toenemen en K_1 afnemen. ($= L_s^*/L_s$).

Meer turbulentie, d.w.z. meer brekende golven betekent derhalve niet dat er per definitie meer transport is, een afname van het resulterende transport lijkt zelfs niet ondenkbaar!

Dit aspect zal een rol kunnen gaan spelen ter plaatse van grotere variaties in de profielvorm en minder bij geleidelijke variaties.



K_c EN K_I ALS FUNCTIE VAN α