

# waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

---

stormvloedkering Oosterschelde

relatie lengte bodembescherming en  
toegestane maximale ontgrondingsdiepte

verslag berekeningen

---

M 1001-4

november 1986

Overzicht verslagen M 1001 in ringband

1. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 11.500 \text{ m}^2$  en  $\mu A = 20.000 \text{ m}^2$ .  
Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek.
2. Nauwkeurighedsanalyse van het ontgrondingsonderzoek.
3. Toetsing berekeningsmethode aanvangsdiepte.
4. Relatie lengte bodembescherming en toegestane maximale ontgrondings-  
diepte.
5. Invloed van stroombalken op de ontgrondingen.
6. Waterspiegelfluctuaties tussen de pijlers.
7. Pijlersplaatsingen in de Schaar en Hammen vanuit het zuiden.
8. Onderzoek naar de evenwichtsdiepte van ontgrondingen.
9. Oriënterend onderzoek naar de lengte van het vaste stortebed in verband  
met weigerende schuif.
10. Toetsing van het ontgrondingsonderzoek.
11. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 20.000 \text{ m}^2$ .  
Gewijzigde dorpelliging in Roompot  
Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek.
12. Aanzethellingen.
13. Reduktie van de ontgrondingen tengevolge van aanvoer van bodemmateriaal  
in de Roompot.
14. Ontgrondingsonderzoek ten behoeve van plaatsing van de dorpels in de  
Roompot.

15. Invloed van morfologische ontwikkelingen op de ontgroningen in de Schaar van Roggenplaat.
16. Stroomsnelheden en richtingen in het cunet en het kale sluitgat in de Roompot.
17. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 15.000 \text{ m}^2$ .  
Stroomgatversmalling in de Hammen  
Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek
18. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 17.500 \text{ m}^2$ .  
Stroombeeldonderzoek.
19. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 17.500 \text{ m}^2$   
Gedeeltelijk gesloten schuiven in Roompot.  
Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek
20. Eindsituatie pijlerdam,  $\mu A = 16.500 \text{ m}^2$   
Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek
21. Eindsituatie pijlerdam, variant  $\mu A = 16.500 \text{ m}^2$   
Ontgrondingsonderzoek in de Hammen.
22. Onderzoek naar de stabiliteit van de stortebedden bij weigerende schuif.
23. Stroombeeldonderzoek bij weigerende schuif.
24. Overzicht verslagen met betrekking tot het detailmodel van de stroomgeulen.

## INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Konklusies</u> .....	2
3. <u>Principe van de berekeningen</u> .....	3
4. <u>Relatie tussen <math>\alpha</math> en L</u> .....	6
5. <u>Bepaling ontgrondingsdiepte na de bouwfase (<math>h_a</math>, Roompot, vloed, A1)</u>	7
6. <u>Bepaling ontgrondingsdiepte na 10 jaar eindsituatie (<math>h_{max}</math>, Roompot, vloed, A1)</u> .....	9
7. <u>Ontgrondingsdiepten <math>h_a</math> en <math>h_{max}</math> voor overige gevallen</u> .....	11
8. <u>Gevoeligheid van de berekening</u> .....	17
9. <u>Berekeningen met programma C 135</u> .....	18

## FIGUREN



## FIGUREN

- a heeft betrekking op de Roompot
- b heeft betrekking op de Schaar
- c heeft betrekking op de Hammen

1 Relatie tussen  $\alpha$  en L

2 In figuur 1 beschouwde situaties

Toegestane ontgrondingsdiepte als functie van lengte bodembescherming

3a Eb - gevoeligheid

4a Vloed - gevoeligheid

5a,b,c Eb

6a,b,c Vloed

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

RELATIE LENGTEBODEMBESCHERMING EN TOEGESTANE MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE

1. Inleiding

In november 1976 werd door Rijkswaterstaat de vraag gesteld of het mogelijk was met behulp van de ervaring op het gebied van ontgrondingen een relatie aan te geven tussen de benodigde lengte van de bodembescherming en de toegestane maximale ontgrondingsdiepte.

De toegestane maximale ontgrondingsdiepte van 25 m werd vooral bepaald door de maximale verdichtingsdiepte.

Dit waren echter ongekend grote ontgrondingen hetgeen een belangrijke extrapolatie inhield van de aanwezige kennis op diverse gebieden. Men vroeg zich daarom af of een kleinere toegestane maximale ontgrondingsdiepte wellicht een nog aanvaardbare verlenging van de bodembescherming kon inhouden.

Bij het Waterloopkundig Laboratorium is een rekenprogramma (C 135) aanwezig waarmee op vrij eenvoudige wijze de benodigde verlenging te berekenen is. Dit programma dient echter slechts voor relatief kleine verlengingen van de bodembescherming gebruikt te worden. Aangezien het hier ging om grotere verlengingen, is gezocht naar een andere benadering die in dit verslag is uiteengezet. Ondanks de genoemde beperking in de toepassing van dit programma, is dit toch gebruikt en zijn de resultaten ter vergelijking in dit verslag opgenomen.

Het onderzoek is uitgevoerd door ir. A.F.F. de Graauw, die tevens dit verslag heeft samengesteld. De eindredactie is verzorgd door ir. T. v.d. Meulen.

## 2. Konklusies

1. De afname van de maximale ontgrondingsdiepte na 10 jaar eindsituatie bij verlenging van de bodembescherming blijkt per sluitgat enigszins te variëren (figuur 5 en 6). Om de ontgrondingen te verlagen van 25 naar 20 m is in de Roompot per meter vermindering een verlenging van 40 m bodembescherming nodig (1:40) voor de Schaar en de Hammen ligt deze verhouding globaal op 1:25.  
Voor een verdere verlaging van 20 naar 15 m worden de verhoudingsgetallen groter: bij de Roompot 1:60, bij de Schaar 1:30 en bij de Hammen 1:35.
2. Vergeleken met de uiteengezette handberekeningen blijken de berekeningen met het programma C 135 vooral bij langere bodembescherming, enigszins aan de optimistische kant te zijn voor de maximale ontgrondingsdiepte.
3. Met nadruk wordt er op gewezen dat deze berekeningen slechts voor 2-dimensionale toestanden te gebruiken zijn. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat bij het maatgevend zijn van 3-dimensionale ontgrondingen bij korte bodembeschermingen deze maatgevendheid meestal snel verdwijnt bij verlenging van de bodembescherming.
4. Gezien de vele aannamen en benaderingen bij deze berekeningen dienen de resultaten met de nodige voorzichtigheid gehanteerd te worden, hoewel uit de gevoeligheidsbeschouwingen blijkt dat het doorwerken van foutieve aannamen in de eindresultaten meevalt.

### 3. Principe van de berekeningen

De berekeningen gaan uit van de ontgrondingsformule:

$$t_x = \frac{k_x \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o^2}{(\alpha \bar{u} - u_{kr})^{4,3}} \quad (1)$$

waarin:

$$k_x = 330 \left( \frac{h_{\max}}{h_o} \right)^{2,53} \quad (1a)$$

en:

$t_x$	= tijdstip waarop $h_{\max}/h_o = x$	(uren)
$h_{\max}$	= max. ontgrondingsdiepte	(m)
$h_o$	= gemiddelde waterdiepte ter plaatse van rand bodembescherming	(m)
$\Delta$	= relatieve dichtheid van het bodemmateriaal	(-)
$u_{kr}$	= kritieke stroomsnelheid voor begin van beweging	(m/s)
$\bar{u}$	= gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van rand bodembescherming	(m/s)
$\alpha$	= dimensieloze ontgrondingsfaktor	(-)

Substitutie van (1a) in (1) levert de volgende uitdrukking:

$$h_{\max} = \frac{t_x^{0,4} \cdot h_o^{0,21}}{10 \cdot \Delta^{0,67}} (\alpha \bar{u} - u_{kr})^{1,70} \quad (2)$$

Het principe van de onderhavige berekeningen is als volgt:

Uitgaande van modelproeven (T48 voor de Roompot en T51 voor de Schaar en Hammen) waarin de maximale ontgrondingsdiepte ( $h_{\max}$ ) gevonden is voor een bepaalde lengte van de bodembescherming ( $L_o$ ), is de bijbehorende waarde van  $\alpha$  te bepalen indien de gemiddelde stroomsnelheid  $\bar{u}$  en de overige parameters bekend zijn.

Indien een relatie bekend is tussen  $\alpha$  en de lengte van de bodembescherming  $L$  en indien alle overige parameters konstant blijven bij verlenging van de bodembescherming, dan is met behulp van (2)  $h_{\max}$  te bepalen voor iedere  $L$ .



De volgende opmerkingen dienen hierbij gemaakt te worden:

- a. In (2) is te zien dat :  $h_{\max} :: t_x^{0,4}$ . Dit is een gevolg van de gebruikte relatie (1a) voor  $k_x$ . Deze relatie volgde uit een optimalisatie over vele proeven van het systematisch onderzoek en is als zodanig slechts als hulpmiddel bedoeld voor de automatische gegevensverwerking.

Deze relatie geeft zeker niet een juist beeld voor alle (2- en 3-dimensionale) ontgrondingsprocessen, maar is slechts een optimalisering. In die zin wordt de relatie (1a) hier dus misbruikt. Daartegenover staat dat de verhouding  $h_{\max} :: t_x^{0,4}$  goed opgaat voor 2-dimensionale ontgrondingsprocessen. In deze berekeningen zullen dus slechts die processen in aanmerking komen, hetgeen niet een belangrijke beperking inhoudt, omdat eventuele sterke (maatgevende) 3-dimensionale ontgrondingen sneller in betekenis afnemen bij verlenging van de bodembescherming.

- b. Er is gesteld dat alle parameters behalve  $\alpha$  in (2) konstant blijven bij verlenging van de bodembescherming. Voor  $t_x$  en  $\Delta$  geldt dit inderdaad, en voor  $h_0$  en  $u_{KR}$  geldt dit bij benadering (bij verlenging van de bodembescherming kan  $h_0$  ter plaatse van de rand bodembescherming enigszins variëren, en daarmee ook  $u_{KR}$ ). Aangezien  $\bar{u} = Q/A$  en zowel het debiet  $Q$  als het doorstroomoppervlak  $A$  niet veranderen, zal  $\bar{u}$  eveneens konstant zijn bij verlenging van de bodembescherming.

- c. Het zal duidelijk zijn dat  $\bar{u}$  sterk veranderlijk is tijdens de bouw van de pijlerdam, maar het is mogelijk een, over de tijd gemiddelde,  $\bar{u}$  te vinden met behulp van metingen in het model en deze verder als rekengrootheid aan te houden.

In dit verband had het dus zin om een onderscheid te maken tussen de ontgrondingen tijdens de bouwfase (tot en met plaatsing dorpels) en de ontgrondingen in de 10 jaren daarna (eindsituatie). De volgende definities worden aangehouden:

- $h_a$  = maximale ontgrondingsdiepte na plaatsing dorpels  
 $h_{\max}$  = maximale ontgrondingsdiepte 10 jaar na plaatsing dorpels  
 $\bar{u}_a$  = gemiddelde stroomsnelheid in het sluitgat tijdens bouwfasen  
 $\bar{u}_e$  = gemiddelde stroomsnelheid in het sluitgat tijdens de eindsituatie

Om toch enige spreiding in de schatting van  $\bar{u}$  in de berekeningen te introduceren zullen steeds twee gevallen (A1 en A2) met verschillende  $\bar{u}$  aangehouden worden.

- d. De ontgrondingstijd  $t_x$  wordt in (2) in uren uitgedrukt. Men moet hier echter bedenken dat slechts tijdens enkele uren per dag de stroomsnelheden ten gevolge van het getij voldoende hoog zijn om materiaal te kunnen transporteren uit de ontgrondingskuil.

In deze berekeningen is aangenomen dat de ontgrondingscapaciteit van een getij overeenkomt met 4 uren ontgronding met de in tabel 1 genoemde stroomsnelheden  $\bar{u}_a$  en  $\bar{u}_e$ .

Hierdoor wordt de ingevoerde duur van beide fasen als volgt:

bouwfase = 6 jaar - 8800 uren

eindfase = 10 jaar - 14600 uren

In onderstaande tabel 1 worden benodigde gegevens vermeld voor alle berekende gevallen. De gegevens voor de eindsituatie volgen uit de genoemde modelproeven met een lengte van de bodembescherming  $L_0 = 450$  m. De gegevens voor de bouw-fase volgen uit schattingen.

Van deze 12 gevallen per situatie zal het geval Roompot, vloed, A1 in het ver- volg nader toegelicht worden. De berekening met betrekking tot de overige ge- vallen verlopen volkomen analoog, en de resultaten daarvan zullen slechts in verkorte vorm worden weergegeven.

	BOUWFASE				EINDSITUATIE			
			$\bar{u}_a$ $h_a$				$\bar{h}_e$ $h_{max}$	
	eb		vloed		eb		vloed	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Roompot ( $h_0=25$ m)	1,15 20	1,25 20	1,15 20	1,25 20	0,85 33,5	1,05 33,5	0,95 36	1,10 36
Schaar ( $h_0=17,5$ m)	1,10 15	1,20 20	1,10 15	1,20 20	0,70 35	0,90 38	0,80 35	0,95 37
Hammen ( $h_0=20$ m)	1,05 15	1,10 15	1,05 15	1,10 15	0,75 30	0,90 30	0,80 25	0,95 25

Tabel 1 Benodigde gegevens bij  $L_0 = 450$  m



#### 4. Relatie tussen $\alpha$ en L

Voor het uitvoeren van de berekeningen was het uiteraard van primair belang een relatie te vinden tussen  $\alpha$  en de lengte van de bodembescherming L. Deze relatie moest tevens voor grote verlengingen van de bodembescherming blijven gelden, hetgeen een twijfelachtige faktor was bij de bestaande relatie tussen  $\alpha$  en L. Voor 2-dimensionale toestanden is hierbij de afname van  $\alpha$  gelijk aan 1 à 1,5% per eenheid van verlenging (=  $h_0$ ) ten opzichte van  $L = 10 h_0$ , zie onder ander verslag M 1001-1.

Een nadere bewerking van de resultaten van het systematisch onderzoek M 847 (deel III, figuur 41) bleek een analytische functie voor  $\alpha$  op te kunnen leveren. Hierbij werd aangenomen dat bij oneindig lange bodembescherming, de waarde van  $\alpha$  tot 1,5 nadert, hetgeen uit eerdere ervaring bleek.

De genoemde analytische functie voor  $\alpha$  kan als volgt worden geschreven:

$$\alpha_{(L/h_0)} = 1,5 + a \cdot e^{-b L/h_0} \quad (3)$$

waarin:

$$b = \text{konstant} = 0,045$$

$$a = 1,57 \alpha_{10} - 2,35$$

$$\alpha_{10} = \alpha \text{ voor } L/h_0 = 10$$

Na invulling gaat (3) over in:

$$\alpha_{L/h_0} = 1,5 + (1,57 \alpha_{10} - 2,35) e^{-0,045 L/h_0} \quad (4)$$

Deze relatie is nog vrij globaal. Zij steunt op een klein aantal proeven maar wel bij uiteenlopende situaties, zie figuren 1 en 2.

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de relatie niet naar zeer kleine L mag worden geëxtrapoleerd omdat daar een toename van L geen reductie van  $\alpha$  tot gevolg heeft. Dit is eenvoudig te verklaren door de aanwezigheid van de bodemneer benedenstrooms van de ingebouwde drempel.

De functie is dus geldig voor het gebied:

$$\underline{\frac{L}{h_0}} > 5 \quad (5)$$

5. Bepaling ontgrondingsdiepte na de bouwfase ( $h_a$ , Roompot, vloed, Al)

Zoals gezegd zal in dit en het volgende hoofdstuk het geval Roompot, vloed, Al nader toegelicht worden.

In tabel 1 is te zien dat voor de bouwfase geldt:

$$\begin{aligned} \text{Bij } L_o = 450 \text{ m: } h_a &= 20 \text{ m} \\ \bar{u}_a &= 1,15 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Uit (2) is nu  $\alpha_a$  ( $\alpha_a$  staat voor  $\alpha$  in de bouwfase) te berekenen:

$$\alpha_a = \frac{1}{\bar{u}_a} \left\{ \frac{10 \cdot h_a \cdot \Delta^{0,67}}{t_x^{0,4} \cdot h_o^{0,21}} \right\}^{1/1,70} + \frac{u_{kr}}{\bar{u}_a} \quad (6)$$

waarin aangehouden wordt:

$$\begin{aligned} h_a &= 20 \text{ m} \\ \bar{u}_a &= 1,15 \text{ m/s} \\ \Delta &= (2,65 - 1,025) / 1,025 = 1,585 \\ t_x &= 8800 \text{ uren} \\ u_{kr} &= 0,45 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{en waaruit volgt: } \underline{\alpha_a = 2,26 \quad \text{bij } L/h_o = 18}$$

Na omwerking van (3) is  $\alpha_{10}$  te vinden:

$$\alpha_{10} = \frac{2,35 + (\alpha_a - 1,5) e^{0,045 L/h_o}}{1,57} \quad (7)$$

waarin aangehouden wordt:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= 2,26 \\ L/h_o &= 18 \end{aligned}$$

$$\text{en waaruit volgt: } \underline{\alpha_a = 2,62 \quad \text{bij } L/h_o = 10}$$

Hiermee is nu voor iedere L een nieuwe  $\alpha_a$  te vinden met behulp van(4):

L	L/h <sub>o</sub>	α <sub>a</sub>
250	10	2,62
<u>450</u>	<u>18</u>	<u>2,26</u>
650	26	2,03
850	34	1,87
1050	42	1,76

Tabel 2 Variatie van α<sub>a</sub> met L  
(Roompot, vloed, A1)

Door nu in (2) de bekende gegevens te substitueren volgt:

$$h_a = \frac{8800^{0,4} \cdot 250^{0,21}}{10 \cdot 1,58^{0,67}} (1,15 \alpha_a - 0,45)^{1,70} \quad (8)$$

$$h_a = 5,46 (1,15 \alpha_a - 0,45)^{1,70} \quad (9)$$

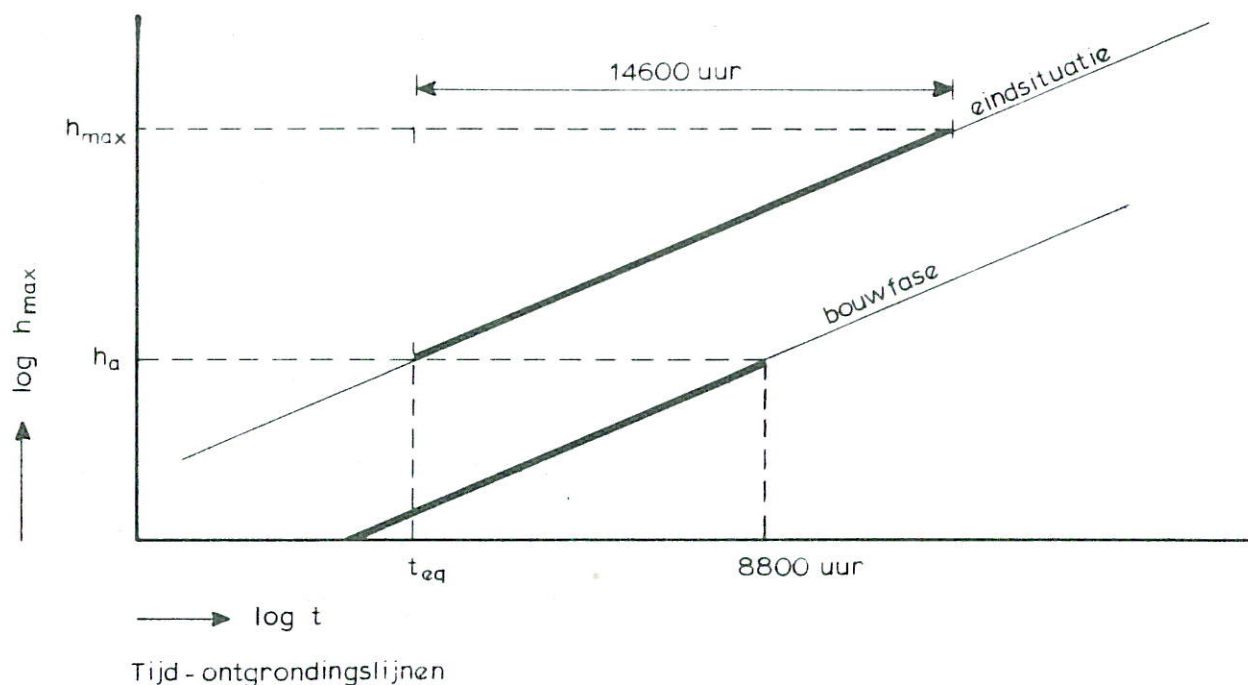
Hiermee is nu voor iedere L een nieuwe h<sub>a</sub> te vinden:

L	L/h <sub>o</sub>	α <sub>a</sub>	h <sub>a</sub>
250	10	2,62	27,0
<u>450</u>	<u>18</u>	<u>2,26</u>	<u>20</u>
650	26	2,03	16,0
850	34	1,87	13,5
1050	42	1,76	11,8

Tabel 3 Variatie van α<sub>a</sub> en h<sub>a</sub> met L  
(Roompot, vloed, A1)

6. Bepaling ontgrondingsdiepte na 10 jaar eindsituatie ( $h_{\max}$ , Roompot, vloed, Al

Voor het berekenen van de ontgrondingen in de eindsituatie moeten de ontgrondingen van de bouwphase in rekening gebracht worden. De procedure hiervoor kan in het kort hier toegelicht worden.



Om  $h_a$  te vinden wordt de tijd-ontgrondingslijn van de bouwphase gedurende 8800 uur gevolgd. Dan moet overgestapt worden op de tijd-ontgrondingslijn van de eindsituatie. Er moet dus eerst een equivalent tijdstip ( $t_{eq}$ ) gevonden worden en dan kan  $h_{\max}$  op ( $t_{eq} + 14600$ ) uren gevonden worden. Analytisch levert dit:

$$h_a = t_{eq}^{0,4} \cdot \frac{h_o^{0,21}}{10 \cdot \Delta^{0,67}} (\alpha_e \bar{u}_e - u_{kr})^{1,70} \quad (10)$$

$$h_{\max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot \frac{h_o^{0,21}}{10 \cdot \Delta^{0,67}} (\alpha_e \bar{u}_e - u_{kr})^{1,70} \quad (11)$$

Voor  $L = 450$  m zijn  $h_{\max}$  en  $h_a$  bekend en kan  $t_{eq}$  gevonden worden via:

$$\frac{t_{eq} + 14600}{t_{eq}} = \left( \frac{h_{\max}}{h_a} \right)^{2,5} \quad (12)$$



Met  $h_{\max} = 36$  m en  $h_a = 20$  m (tabel 1) wordt gevonden  $t_{eq} = 4264$  uur.  
 Met behulp van (6) wordt de  $\alpha_e$  bepaald voor  $L = 450$  m met de volgende gegevens:

$$h_{\max} = 36 \text{ m}$$

$$\bar{u}_e = 0,95 \text{ m/s}$$

$$\Delta = 1,685$$

$$h_o = 25 \text{ m}$$

$$t_x = 14600 + 4264 = 18864 \text{ uur}$$

$$u_{kr} = 0,45 \text{ m/s}$$

Resultaat  $\alpha_e = 3,14$  bij  $L/h_o = 18$

Met (7) wordt  $\alpha_{e,10}$  bepaald:

$$\alpha_{e,10} = 3,89 \text{ bij } L/h_o = 10$$

Voor andere verhoudingen  $L/h_o$  kan een  $\alpha_e$  bepaald worden met (4).

Vervolgens wordt voor gewenste andere verhoudingen  $L/h_o$  met (10) de  $t_{eq}$  bepaald, terwijl met (11) de  $h_{\max}$  wordt berekend.

In onderstaande tabel is het resultaat van de berekeningen verzameld.

L	$L/h_o$	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{\max}$
250	10	2,62	27,0	3,89	23,4
450	18	2,26	20	3,14	35
650	26	2,03	1,60	2,64	26,1
850	34	1,87	13,5	2,30	20,3
1050	42	1,76	11,8	2,06	16,6

Tabel 4 Variatie van maximale ontgrondingsdiepte met L  
 (Roompot, vloed, A1)

De gegevens uit tabel 4 zijn weergegeven in figuur 4a.

In het vervolg zullen voor de overige gevallen slechts een aantal rekenstappen tezamen met de resultaten aangegeven worden. De berekeningen verlopen verder volkomen analoog aan het hierboven behandelde geval.

7. Ontgrondingsdiepten  $h_a$  en  $h_{max}$  voor overige gevallen

Roompot, eb

Geval A1

Geval A2

$$h_a = 5,46 (1,15 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

$$h_a = 5,46 (1,25 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_o = 450$  m:

bij  $L_o = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,26$$

$$\alpha_a = 2,08$$

$$\alpha_e = 3,35$$

$$\alpha_e = 2,71$$

$$t_{eq} = 5432 \text{ uur}$$

$$t_{eq} = 5432 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,144 \cdot$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,144 \cdot$$

$$(0,85 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

$$(1,05 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>o</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,62	27,0	4,20	50,1	250	10	2,36	25,9	3,27	47,3
2,26	<u>20</u>	3,35	<u>33,5</u>	450	18	2,08	<u>20</u>	2,71	<u>33,5</u>
2,03	16,0	2,79	24,1	650	26	1,90	16,6	2,34	25,7
1,87	13,5	2,40	18,6	850	34	1,78	14,5	2,09	21,0
1,76	11,8	2,13	15,2	1050	42	1,70	13,1	1,91	17,9

Tabel 5 Roompot, eb (figuren 3a en 5a)



Schaar eb

Geval A1

$$h_a = 5,07 (1,10 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_0 = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,13$$

$$\alpha_e = 4,45$$

$$t_{eq} = 2516 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,14} \cdot 0,134 \cdot$$

$$(0,70 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

Geval A2

$$h_a = 5,07 (1,20 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_0 = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,24$$

$$\alpha_e = 3,46$$

$$t_{eq} = 6392 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,14} \cdot 0,134 \cdot$$

$$(0,90 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>0</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,81	26,4	7,57	92	175	10	3,03	36,4	5,54	85
2,55	21,7	6,46	69	250	14,3	2,73	29,6	4,78	65
2,93	<u>15</u>	4,45	<u>35</u>	450	25,7	2,24	<u>20</u>	3,46	<u>38</u>
1,88	11,5	3,27	19,7	650	37,1	1,94	14,8	2,67	22,8
1,73	9,6	2,55	13,0	850	48,6	1,76	12,0	2,20	16,4
1,63	8,4	2,13	10,0	1050	60,0	1,66	10,6	1,92	13,2

Tabel 6 Schaar, eb (figuur 5b)

Hammen, eb

Geval A1

Geval A2

$$h_a = 5,21 (1,105\alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

$$h_a = 5,21 (1,10\alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_0 = 450$  m:

bij  $L_0 = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,20$$

$$\alpha_a = 2,10$$

$$\alpha_e = 3,77$$

$$\alpha_e = 3,14$$

$$t_{eq} = 3056 \text{ uur}$$

$$t_{eq} = 3056 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,138 \cdot$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,138 \cdot$$

$$(0,75\alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

$$(0,90\alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>0</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,76	23,9	5,55	61,8	200	10	2,58	22,9	4,43	57,0
2,52	19,8	5,06	51,6	250	12,5	2,44	20,4	4,07	48,6
2,20	<u>15</u>	3,77	<u>30</u>	450	22,5	2,10	<u>15</u>	3,14	<u>30</u>
1,92	11,2	2,95	18,9	650	32,5	1,88	11,8	2,55	20,4
1,76	9,2	2,42	13,3	850	42,5	1,74	10,0	2,17	15,2
1,68	8,3	2,09	10,6	1050	52,5	1,66	9,0	1,92	12,3

Tabel 7 Hammen, eb (figuur 5c)

Roompot, vloed

Geval A1

Geval A2

$$h_a = 5,46 (1,15 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

$$h_a = 5,46 (1,25 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_o = 450$  m:

bij  $L_o = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,26$$

$$\alpha_a = 2,08$$

$$\alpha_e = 3,14$$

$$\alpha_e = 2,71$$

$$t_{eq} = 4264 \text{ uur}$$

$$t_{eq} = 4264 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,144 \cdot$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,144 \cdot$$

$$(0,95 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

$$(1,1 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>o</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,62	27,0	3,89	53,4	250	10	2,36	25,9	3,27	50,8
2,26	<u>20</u>	3,14	<u>36</u>	450	18	2,08	<u>20</u>	2,71	<u>36</u>
2,03	16,0	2,64	26,1	650	26	1,90	16,6	2,34	27,4
1,87	13,5	2,30	20,3	850	34	1,78	14,5	2,09	22,4
1,76	11,8	2,06	16,6	1050	42	1,70	13,1	1,91	19,1

Tabel 8 Roompot, vloed (figuren 4a en 6a)

Schaar, vloed

Geval A1

$$h_a = 5,07 (1,10 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_0 = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,13$$

$$\alpha_e = 3,92$$

$$t_{eq} = 1940 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,14} \cdot 0,134 \cdot$$

$$(0,80 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

Geval A2

$$h_a = 5,07 (1,20 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_0 = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,24$$

$$\alpha_e = 3,32$$

$$t_{eq} = 3900 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,14} \cdot 0,134 \cdot$$

$$(0,95 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>0</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,81	26,4	6,48	89	175	10	3,03	36,4	5,25	85
2,55	21,7	5,54	67	250	14,3	2,73	29,6	4,54	65
2,13	<u>15</u>	3,92	<u>35</u>	450	25,7	2,24	<u>20</u>	3,32	<u>37</u>
1,88	11,5	2,95	20,7	650	37,1	1,94	14,8	2,59	23,6
1,73	9,6	2,36	14,0	850	48,6	1,76	12,0	2,15	17,0
1,63	8,4	2,02	10,4	1050	60,0	1,66	10,6	1,89	13,8

Tabel 9 Schaar, vloed (figuur 6b)

Hammen, vloed

Geval A1

$$h_a = 5,21 (1,05 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_o = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,20$$

$$\alpha_e = 3,15$$

$$t_{eq} = 5524 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,138 \cdot$$

$$(0,80 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

Geval A2

$$h_a = 5,21 (1,10 \alpha_a - 0,45)^{1,7}$$

bij  $L_o = 450$  m:

$$\alpha_a = 2,10$$

$$\alpha_e = 2,65$$

$$t_{eq} = 5524 \text{ uur}$$

$$h_{max} = (t_{eq} + 14600)^{0,4} \cdot 0,138 \cdot$$

$$(0,95 \alpha_e - 0,45)^{1,7}$$

A1				A2					
$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$	L	L/h <sub>o</sub>	$\alpha_a$	$h_a$	$\alpha_e$	$h_{max}$
2,76	23,9	4,44	47,2	200	10	2,58	22,9	3,56	43,3
2,52	19,8	4,08	39,9	250	12,5	2,44	20,4	3,31	37,8
2,20	<u>15</u>	3,15	<u>25</u>	450	22,5	2,10	<u>15</u>	2,65	<u>25</u>
1,92	11,2	2,55	16,8	650	32,5	1,88	11,8	2,23	18,1
1,76	9,2	2,17	12,5	850	42,5	1,74	10,0	1,97	14,3
1,68	8,3	1,93	10,4	1050	52,5	1,66	9,0	1,80	12,2

Tabel 10 Hammen, vloed (figuur 6c)



8. Gevoeligheid van de berekening

De schatting van de 2 volgende parameters staat centraal in de berekening:

1  $\bar{u}$  gemiddelde over de bouwfase en 10 jaar eindsituatie

2  $h_{\max}$  en  $h_a$  voor  $L = 450$  m.

ad 1 Formule (4) kan als volgt worden geschreven:

$$\alpha = \frac{1}{\bar{u}} \left\{ \frac{h_{\max}^{0,59} \cdot 3,89 \cdot \Delta^{0,39}}{t_x^{0,23} \cdot h_o^{0,12}} \right\} + \frac{u_{kr}}{\bar{u}}$$

Als  $\bar{u}$  bijvoorbeeld 15% te groot is, zal  $\alpha$  15% te klein worden. Deze kleinere  $\alpha$  neemt iets minder snel af met toenemende  $L$  (zie figuur 1) waardoor ook  $h_{\max}$  als functie van  $L/h_o$  flauwer verloopt. Als grenzen voor de invloed van de spreiding van de schatting van  $\bar{u}$  zijn in deze berekening de gevallen A1 en A2 aangehouden (zie figuren 3a en 4a).

In bovenstaande uitdrukking is ook te zien dat de invloed van fouten in  $u_{kr}$  ( $\approx 0,45$ ),  $t_x$  en  $h_o$  geen belangrijke gevolgen kunnen hebben.

ad 2 In aansluiting op deze laatste opmerking is te zien dat een fout in  $h_{\max}$  wél gevolgen heeft voor  $\alpha$ .

Stel dat  $h_{\max} = 36$  m (geval Roompot, vloed, A1) 10% groter genomen wordt dan wordt  $\alpha_e$  bij  $L/h_o = 18$  ca 4% groter terwijl  $\alpha_e$  bij  $L/h_o = 42$  nauwelijks verandert. Hierdoor wordt het verloop van  $h_{\max}$  met  $L$  iets "holler".

Een fout in  $h_{\max}$  bij  $L = 450$  m heeft echter meer gevolgen: in (12) wordt  $t_{eq}$  met behulp van onder andere  $h_{\max}$  gevonden. Stel dat  $h_{\max}$  (= 36 m) weer 10% groter genomen wordt, én tevens  $h_a$  (= 20 m) 10% kleiner. Dan zou  $t_{eq} = 2232$  uur worden (in plaats van 4264, blz. 14). Hierdoor wordt de resulterende waarde van  $h_{\max}$  echter slechts met ca 5% gereduceerd.

Samenvattend lijkt het verstandig een mogelijke spreiding van ±5% in  $h_{\max}$  aan te houden ten gevolge van de spreiding in  $h_{\max}$  bij  $L = 450$  m.

Dit is echter slechts een globale indruk van de nauwkeurigheid van deze berekening. Een meer gedetailleerde foutenberekening voor het algehele ontgrondingsonderzoek is in deel 2 van deze reeks verslagen uiteengezet.



9. Berekeningen met programma C 135

Naast de handberekeningen zijn tevens berekeningen uitgevoerd met behulp van het bestaande programma C 135, waarbij gebruik wordt gemaakt van de bestaande methode om  $\alpha$  te bepalen bij verlenging van de bodembescherming.

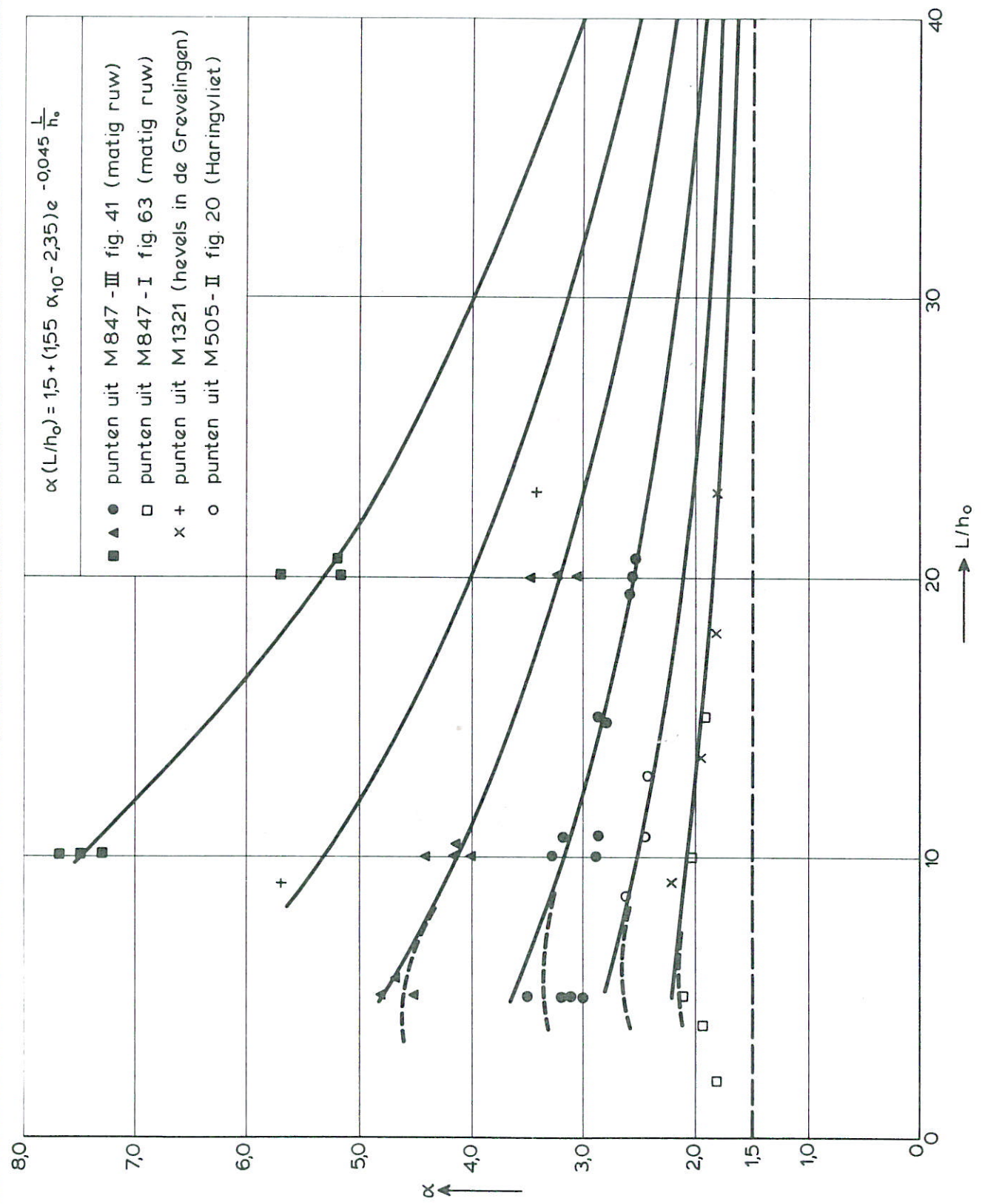
De berekening is slechts uitgevoerd voor de eindsituaties in de Roompot, zodat de ontgrondingsdiepten bij aanvang daarvan geschat moesten worden:

bij L = 450 m	$h_a = 20$ m
bij L = 650 m	$h_a = 15$ m
bij L = 850 m	$h_a = 11$ m
bij L = 1050 m	$h_a = 8$ m

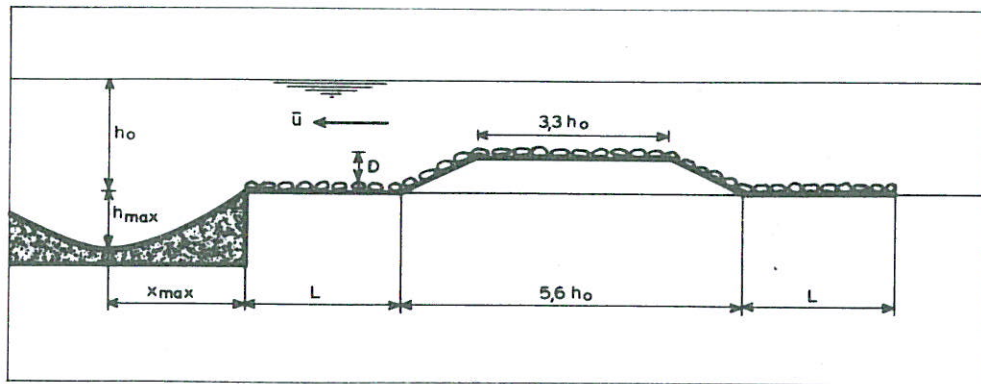
Dit was een eerste schatting die enigszins optimistisch bleek te zijn vergeleken bij de later uitgevoerde handberekeningen (tabel 5 en 8).

De resultaten zijn weergegeven in figuren 3a en 4a, waar te zien is dat een redelijke overeenstemming tussen de berekening met C 135 en de handberekening aanwezig is, hoewel bij langere bodembescherming te zien is dat de berekeningen met C 135 te optimistische resultaten opleveren voor  $h_{\max}$ .

Dit is te wijten aan het afnamepercentage van  $\alpha$  dat bij de berekeningen met C 135 werd gehanteerd (1% en 1,5% per eenheid van verlenging van de bodembescherming). Bij langere bodembescherming blijkt  $\alpha$  duidelijk minder af te nemen dan verondersteld is in programma C 135. (zie ook figuur 1).



RELATIE TUSSEN  $\alpha$  EN L



2 - dimensionaal : M847 - I

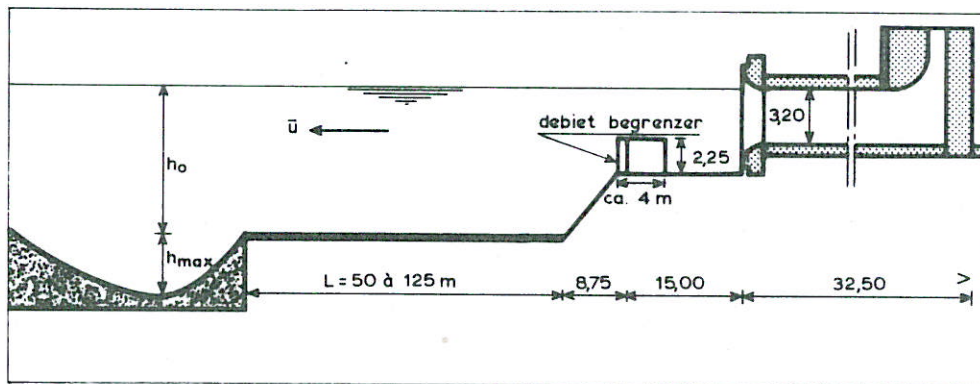
□  $D = 0,33 h_o$

3 - dimensionaal : M847 - III

●  $D = 0$

▲  $D = 0,3 h_o$

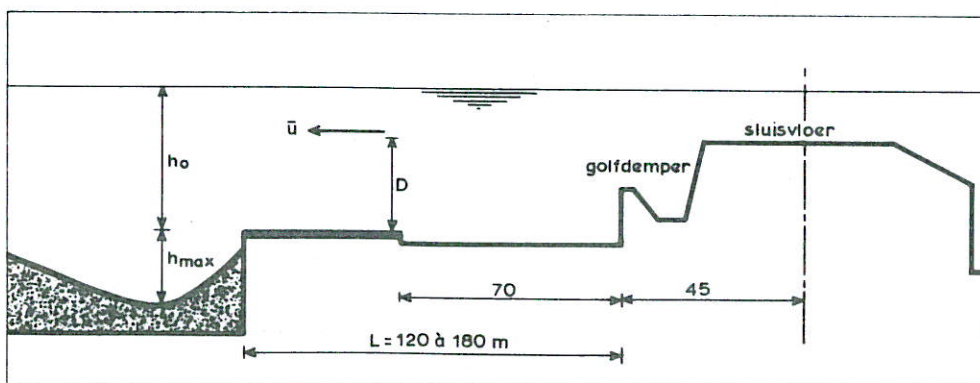
■  $D = 0,6 h_o$



hevels in de Grevelingen : M 1321

x zonder debiet begrenzer

+ met debiet begrenzer



Haringvliet : M 505 - II

○  $D = 0,6 h_o$

maten in m

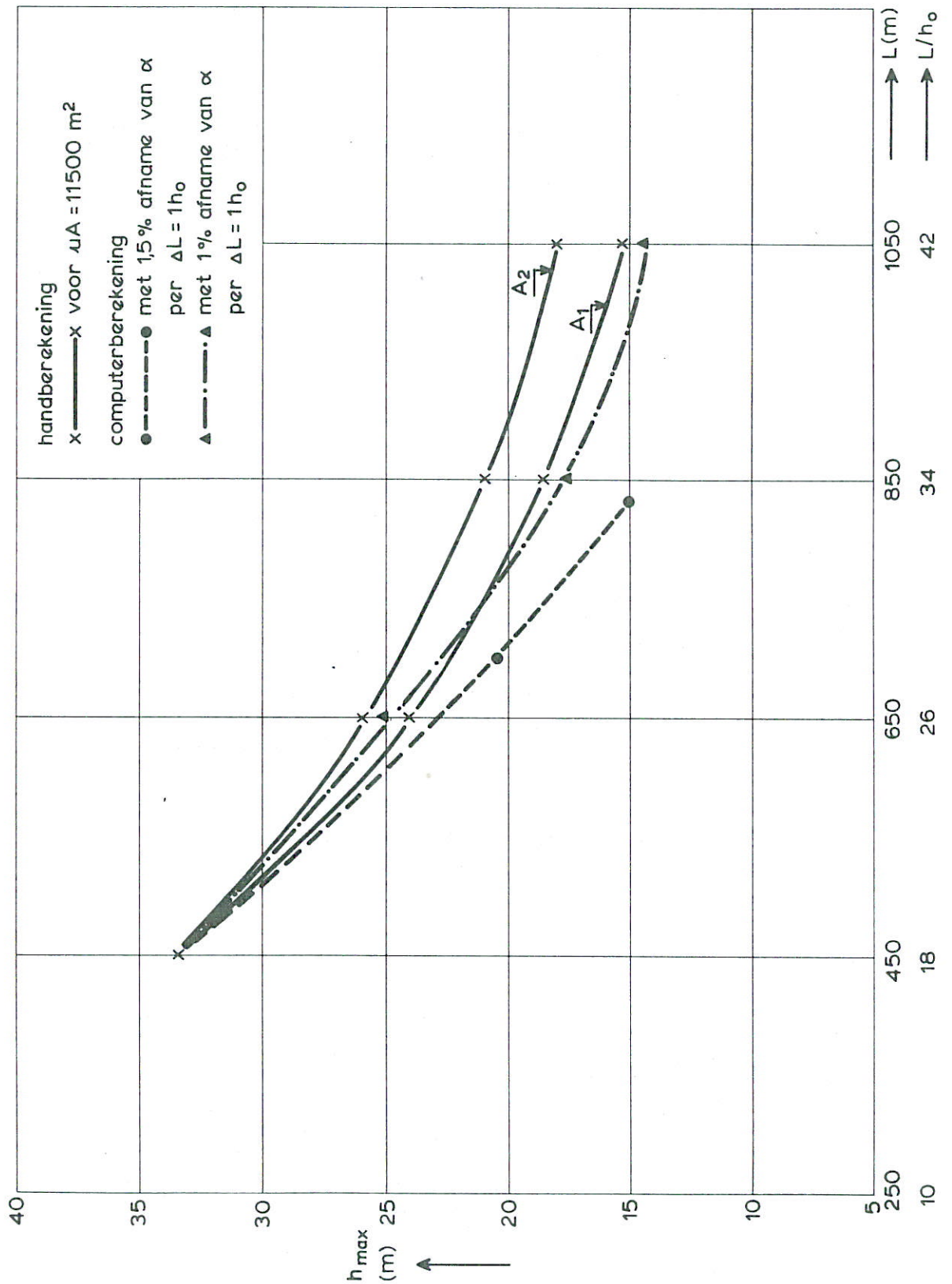
IN FIGUUR 1 BESCHOUWDE SITUATIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 2





TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
 VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

ROOMPOT

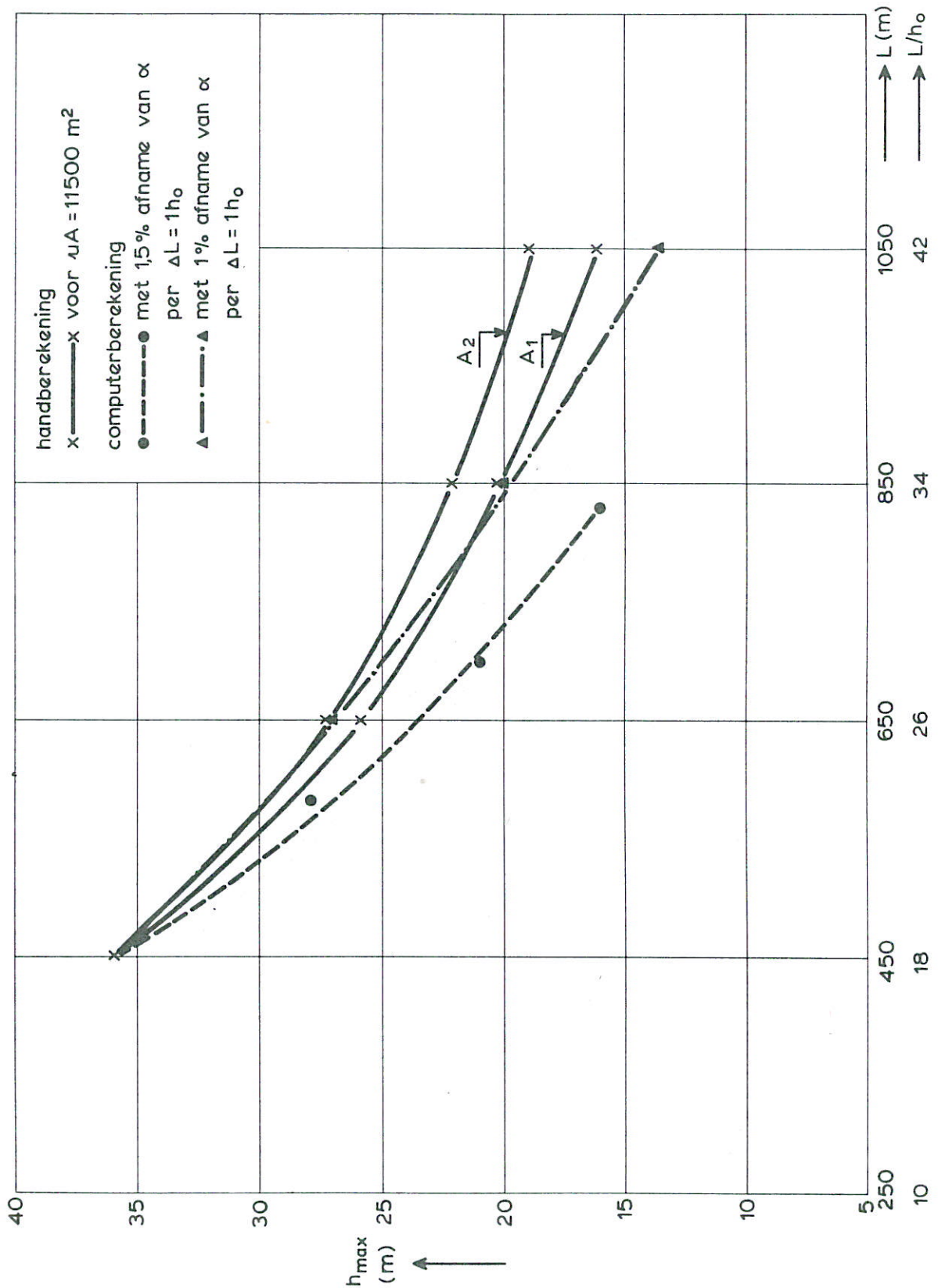
EB  
 (ZEEZUDE)

GEVOELIGHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 3a



TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

ROOMPOT

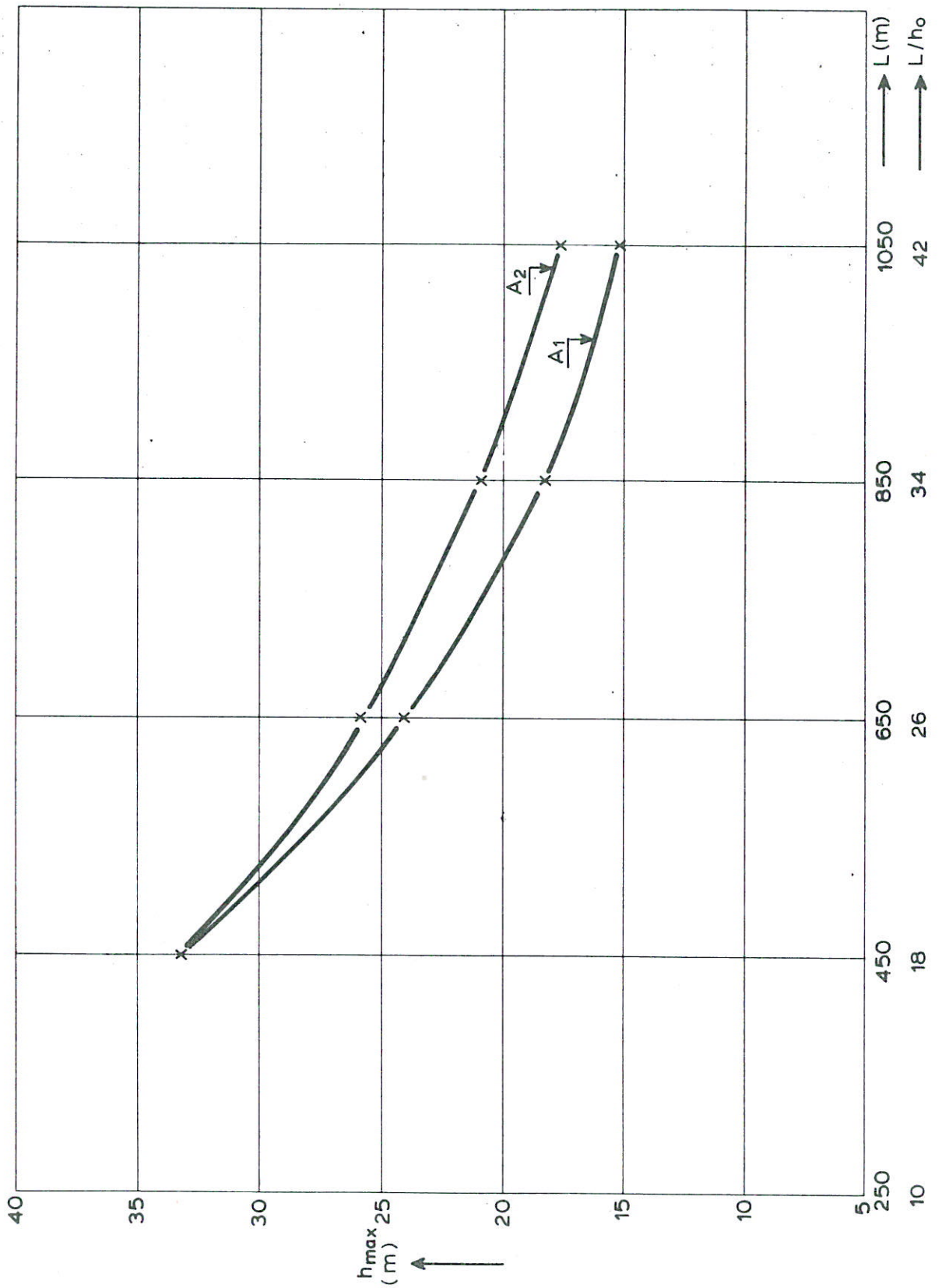
VLOED (MEERZUDE)

GEVOELIGHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 4a



TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

ROOMPOT

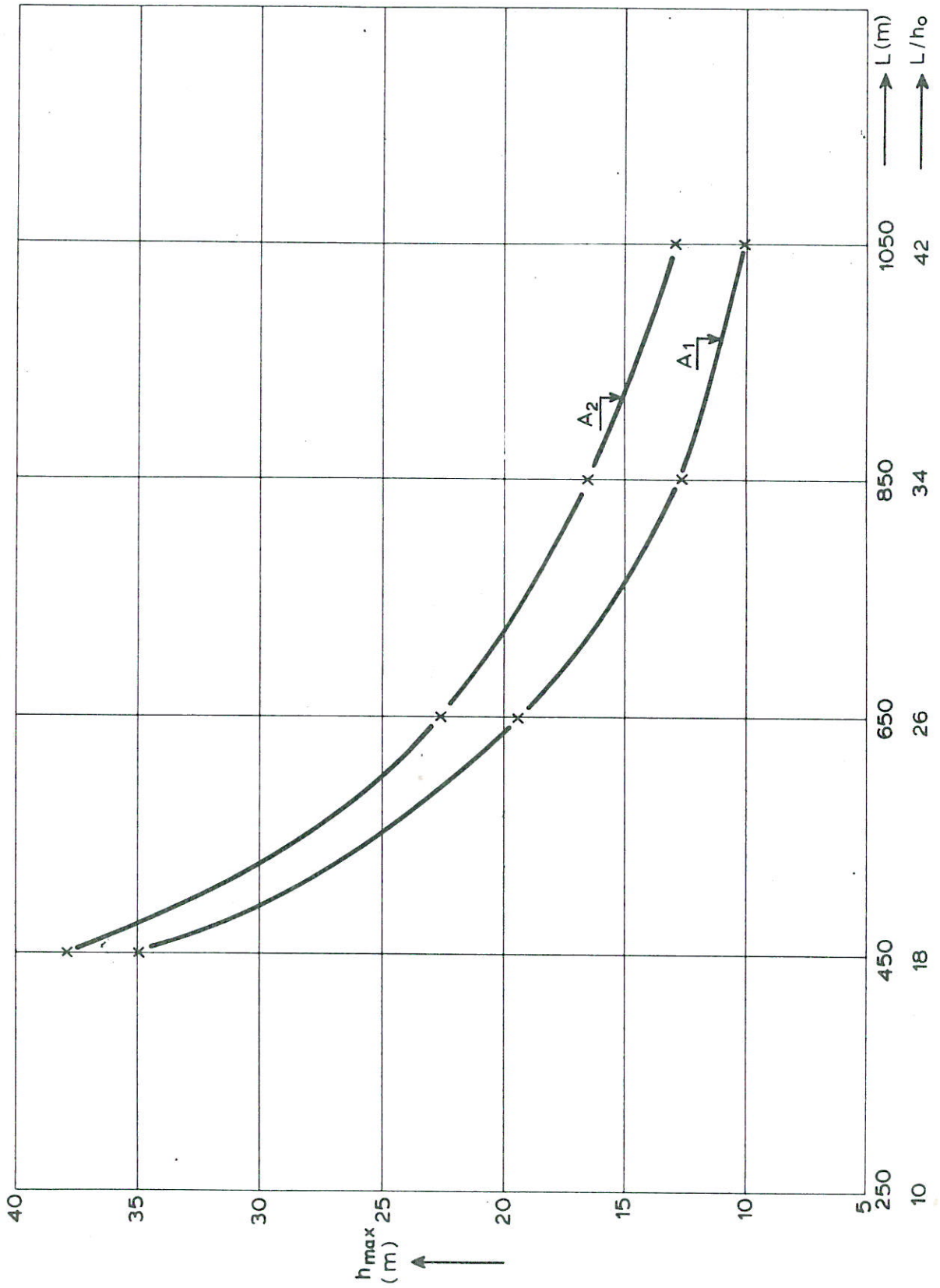
EB  
(ZEEZIJDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 5a





TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

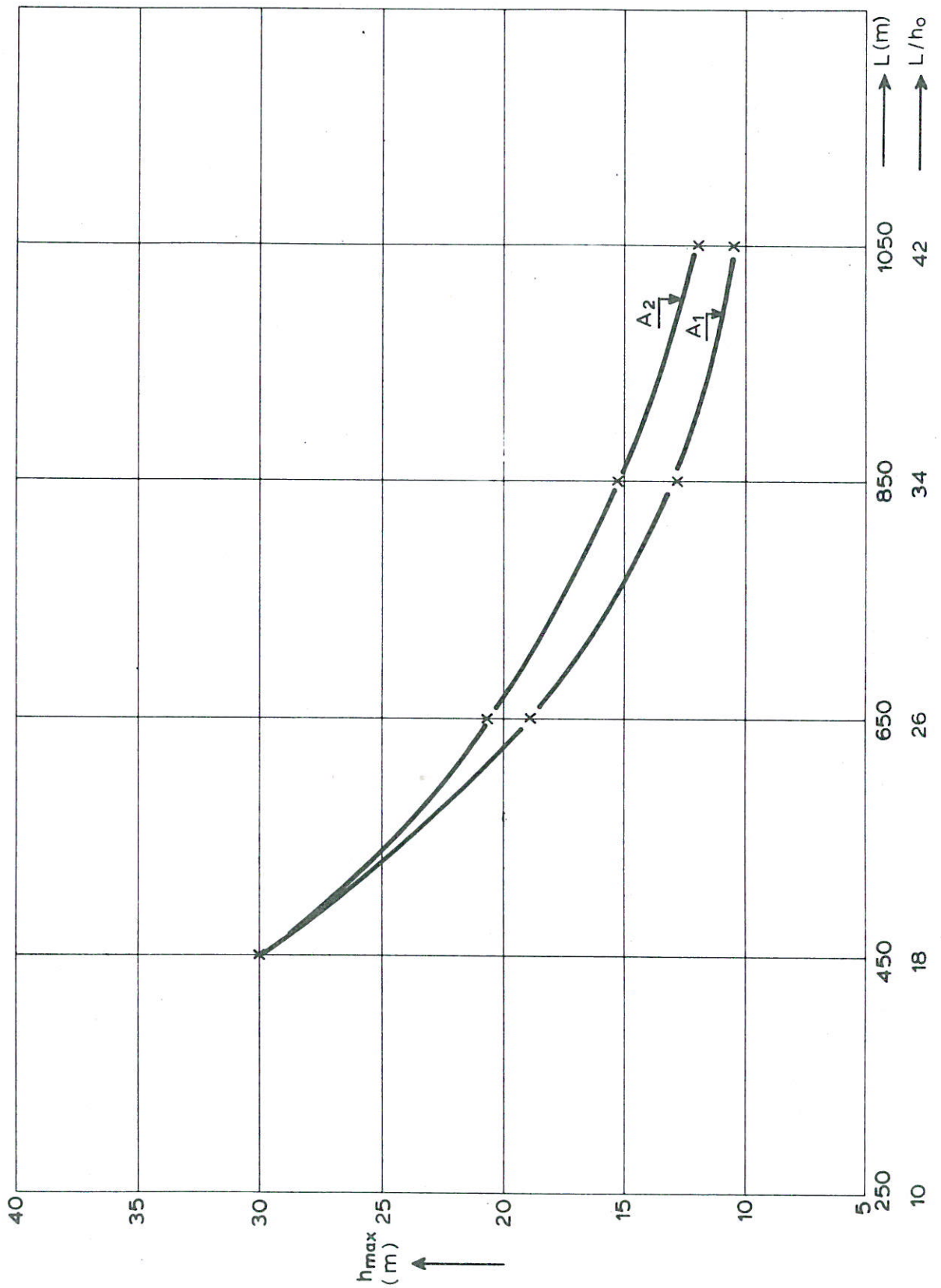
SCHAAR

EB  
(ZEEZ'JDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 5 b



TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

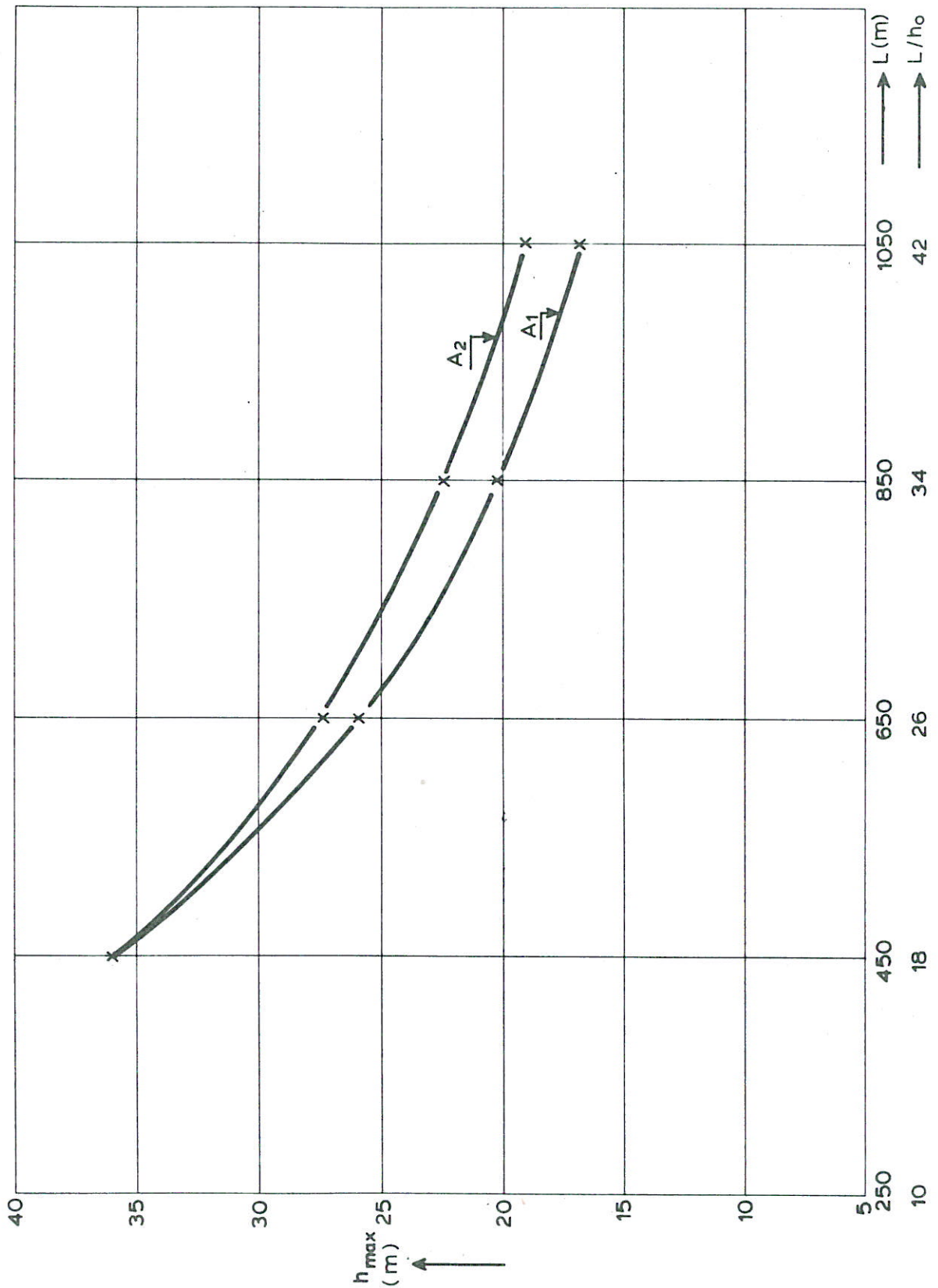
HAMMEN

EB  
(ZEEZIJDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 5c



TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

ROOMPOT

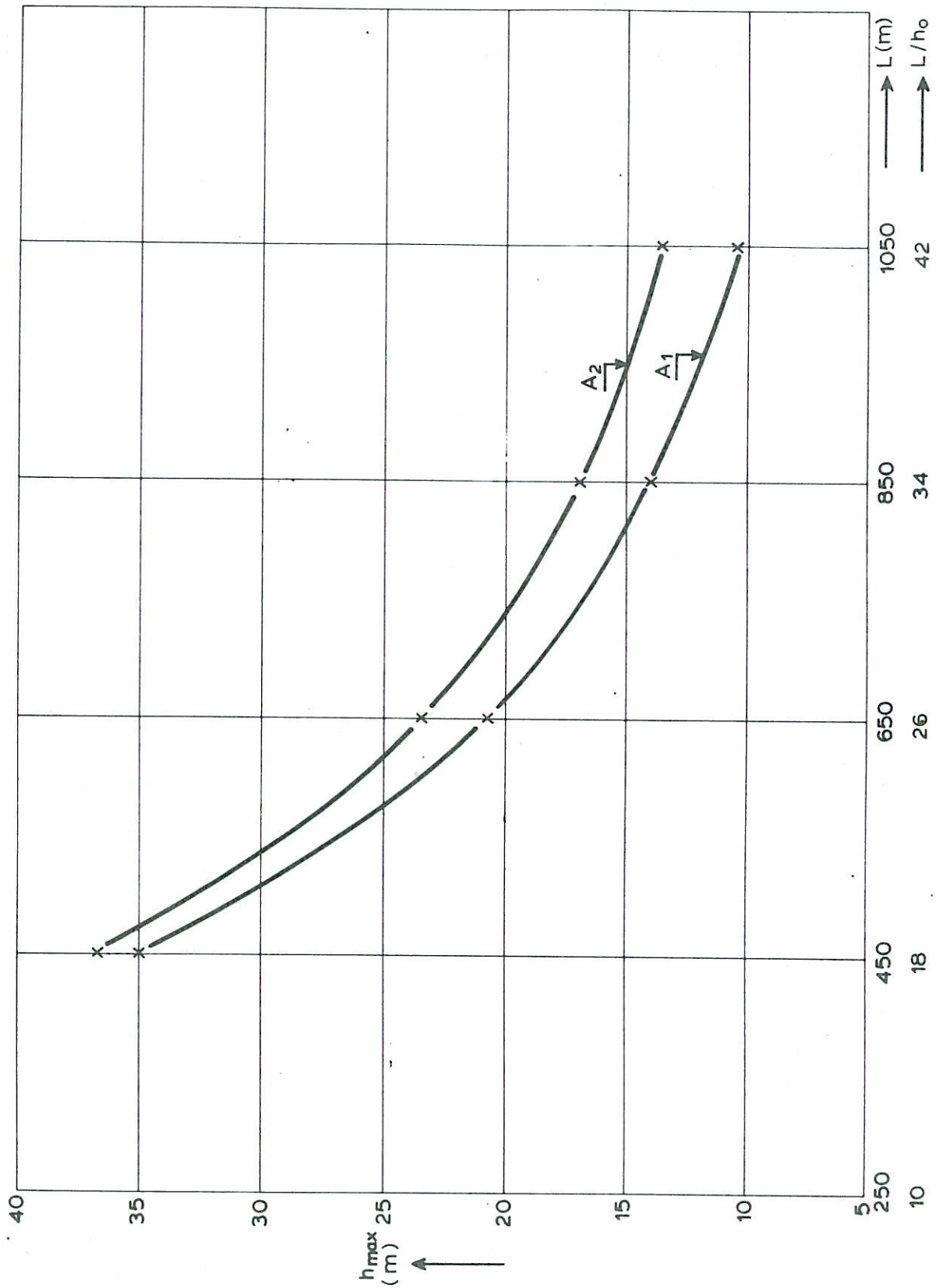
VLOED  
(MEERZUDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 6a





TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

SCHAAR

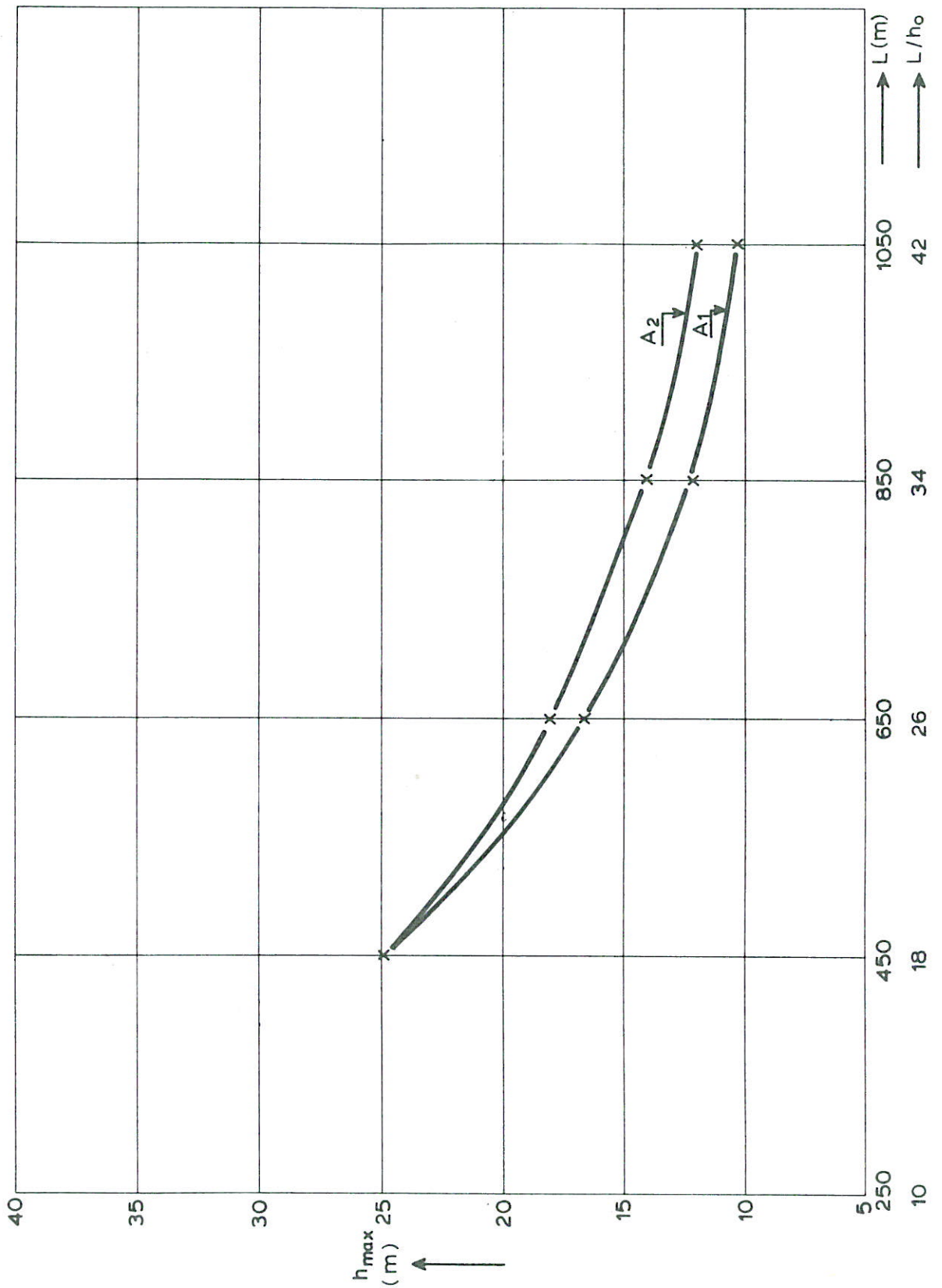
VLOED  
(MEERZUDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 6b





TOEGESTANE ONTGRONDINGSDIEPTE ALS FUNCTIE  
VAN LENGTE BODEMBESCHERMING

HAMMEN

VLOED  
(MEERZUDE)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1001

FIG. 6c

