

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

---

invloed van de dichtheid van kunstmatig wier op  
de kritieke stroomsnelheid voor begin van transport

verslag modelonderzoek

---

M 1548

juli 1980

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
1.1 Voorgeschiedenis en opdracht.....	1
1.2 Opzet van het onderzoek.....	1
2. <u>Conclusies</u> .....	4
3. <u>Resultaten van het onderzoek</u> .....	5
3.1.1 Onbeschermd bodem (T1, T11).....	5
3.1.2 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van 200 kg/m <sup>3</sup> (T2,T3 en T4). 5	
3.1.3 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van 550 kg/m <sup>3</sup> (T5,T6 en T9). 5	
3.1.4 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van 950 kg/m <sup>3</sup> (T7,T8).....	6
3.1.5 Bodem waarin verankeringsrollen (zonder wier) zijn ingegraven (T10).....	6
4. <u>Nabeschuwing van de resultaten</u> .....	8

## FIGUREN

- 1 Stroomgoot te Lith
- 2 Opstellingen van het wier in de stroomgoot te Lith
- 3 Zeefkromme wadzand
- 4 Opstelling van het wier en krachtenspel
- 5 Invloed van het wier op het transport
- 6 Snelheidsvertikalen
- 7 Snelheidsvertikalen
- 8 Hoogte van het wier boven de bodem en verhouding tussen de stroomkracht en opwaartse kracht als functie van de snelheid

## TABELLEN

- Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven en resultaten

# INVLOED VAN DE DICHTHEID VAN KUNSTMATIG WIER OP DE KRITIEKE STROOMSNELHEID

## VOOR BEGIN VAN TRANSPORT

### 1. Inleiding

#### 1.1 Voorgeschiedenis en opdracht

In december 1978 en januari 1979 werd in de tot stroomgoot verbouwde vistrap bij de stuw te Lith een onderzoek uitgevoerd naar de bodembeschermende werking van kunstmatig wier met verschillende dichtheden.

In het verleden is een uitgebreid onderzoek verricht naar het gedrag van kunstmatig wier als bodembescherming met een dichtheid  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  [1]. Op verschillende plaatsen in Nederland werd het daarna als bodembescherming toegepast. In de loop der jaren bleek dat in een aantal gevallen (met name bij Texel en bij Ameland) de aanvankelijk gunstige werking verdwenen was en er een voortschrijdende erosie was opgetreden. Bij een nader onderzoek werd onder meer geconstateerd, dat de dichtheid van het kunstmatig wier door wateropname en aangroei was toegenomen tot  $\rho = 1000 \text{ à } 1100 \text{ kg/m}^3$ . Aangezien daardoor het opdrijvend vermogen van het wier verloren was gegaan, werd verondersteld dat ook de stroomremmende werking van het wier werd verminderd. Dit zou een verklaring zijn voor het teleurstellende resultaat op langere termijn.

Besloten werd de invloed van de dichtheid van het wier op de stroomremmende werking nader te onderzoeken. Het doel van het onderzoek was vast te stellen bij welke gemiddelde stroomsnelheid in de stroomgoot te Lith er een begin van zandtransport optreedt bij aanwezigheid van verschillende soorten wier in verschillende opstellingen. De proeven zijn in nauw overleg en in samenwerking met de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Rijkswaterstaat, de Studiedienst Hoorn van Rijkswaterstaat en de firma Nicolon BV, de firma Bitumarin B.V. en het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd. Het onderzoek stond onder leiding van ing. M.L.P. van Campen van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Rijkswaterstaat en ing. S. Maat van het Waterloopkundig Laboratorium, die in overleg met ir. J.L.M. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium dit verslag samenstelde.

#### 1.2 Opzet van het onderzoek

Het hoofddoel van het onderzoek was het bepalen van de kritieke stroomsnelheden van wadzand bij aanwezigheid van kunstmatig wier met verschillende dichtheden in verschillende opstellingen.

Bij het onderzoek zijn de volgende variabelen onderzocht:

- a. invloed van de dichtheid van het wier
- b. invloed van het al dan niet ingraven van de verankeringsrollen
- c. invloed van de lengte van de wierdraden ten opzichte van de afstand tussen de verankeringsrollen.

Voor een overzicht van de verrichte proeven wordt verwezen naar tabel 1.

Voor de opstelling bij de diverse proeven wordt verwezen naar figuur 2.

De zandbodem bestond uit wadzand ( $D_{50} = \text{ca. } 170 \mu\text{m}$ ).

De zeefkromme wordt weergegeven in figuur 3.

Ter verkrijging van een referentiewaarde voor de kritieke stroomsnelheid werd een proef uitgevoerd met een onbeschermd zandbodem. Helaas is het in de stroomgoot te Lith niet mogelijk door middel van een directe visuele waarneming tijdens het stromen zandtransport te constateren.

De kritieke stroomsnelheid voor het begin van transport werd nu bepaald met behulp van een zandvang, door middel van echoloodpeilingen en visueel door na elke snelheidsstap de goot leeg te laten lopen.

Nadat bij deze 3 methoden geen verschillen in kritieke snelheid waren geconstateerd, werd besloten de kritieke snelheden voor het begin van transport van de zandbodem met wier te bepalen door middel van echoloodpeilingen. Een voordeel hiervan was, dat het laten afzakken van het water na elke snelheidsstap niet nodig was. De metingen konden worden uitgevoerd in stilstaand water, waarbij het wier door het oprijvend vermogen recht op stond en het zandbed onbedekt was. Een nadeel was evenwel dat, tengevolge van de enigszins schokkende voortbeweging van de over de goot rijdende brugconstructie, veel valse echo's en hiaten in de registratie voorkwamen.

De kritieke stroomsnelheid voor het begin van transport werd nu gedefinieerd als de gemiddelde stroomsnelheid in de bovenstrooms van het wiereveld gelegen raai 3, waarbij in het wiereveld een begin van ontgroning werd waargenomen.

De stroomsnelheid werd, nadat een begin van transport werd geconstateerd, opgevoerd tot circa 1 m/s en daarna tot  $v = 1,25 \text{ m/s}$ . Na elke snelheidsstap werd door middel van een echolood het niveau van de bodem vastgelegd. Uit deze gegevens werd de gemiddelde verdieping van de zandbodem ten opzichte van de uitgangssituatie berekend (zie figuur 5).

De stroomsnelheden werden boven het wierveld gemeten tot circa 0,25 m van de bodem. In het wierveld zelf kon niet worden gemeten in verband met het vastdraaien van de vleugel. De hiervoor noodzakelijke koker om de vleugel van de Ott-molen was voor het in dit verslag beschreven onderzoek niet meer beschikbaar. Gezien de opzet van het onderzoek was het ook niet noodzakelijk een nieuwe koker te vervaardigen. Voor een meting van de stroomsnelheden in het wierveld wordt verwezen naar [1].

De stroomsnelheden werden boven het wierveld gemeten tot circa 0,25 m van de bodem. In het wierveld zelf kon niet worden gemeten in verband met het vastdraaien van de vleugel. De hiervoor noodzakelijke koker om de vleugel van de Ott-molen was voor het in dit verslag beschreven onderzoek niet meer beschikbaar. Gezien de opzet van het onderzoek was het ook niet noodzakelijk een nieuwe koker te vervaardigen. Voor een meting van de stroomsnelheden in het wierveld wordt verwezen naar [1].

## 2. Conclusies

1. Toepassing van kunstmatig wier geeft een verhoging van de kritieke stroomsnelheid voor begin van bewegen van zand met ongeveer 25 à 30%.
2. De invloed van de dichtheid van het wier op de verhoging van de kritieke stroomsnelheid kon voor dichtheden tussen  $200 \text{ kg/m}^3$  en  $950 \text{ kg/m}^3$  niet worden aangetoond (proeven in de stroomgoot bij Lith).
3. Berekeningen tonen aan, dat bij stroomsnelheden in de buurt van de kritieke stroomsnelheid de stand van het wier (en daarmee vermoedelijk ook de werking van het wier) vrijwel gelijk is bij dichtheden van het wier tussen  $200 \text{ kg/m}^3$  en  $950 \text{ kg/m}^3$ .
4. De invloed van de b/l-verhouding (afstand wierrollen/wierlengte) was bij b/l-verhoudingen van 0,5 en 0,67 niet meetbaar.
5. Het al of niet ingraven van de wierrollen heeft op de kritieke stroomsnelheid geen merkbare invloed. Ook het verschil in transport (bij stroomsnelheden groter dan de kritieke stroomsnelheid) is niet merkbaar, omdat de rollen zich na enige tijd ingraven.
6. De gunstige werking van het wier wordt verklaard, doordat bij toenemende stroomsnelheid het wier zich over de zandbodem uitvlijt en als filter gaat werken. Deze schermwerking gaat verloren wanneer de dichtheid van het wier groter wordt dan de dichtheid van water.



### 3. Resultaten van het onderzoek

#### 3.1.1 Onbeschermd bodem (T1, T11)

De kritieke stroomsnelheid in de stroomgoot te Lith waarbij transport van zand werd geconstateerd was 0,61 m/s. Deze stroomsnelheid is aanzienlijk groter dan de kritieke stroomsnelheid berekend voor een eenparige stroming met behulp van de in een systematisch onderzoek vastgestelde relaties tussen bodemmateriaal en kritieke schuifspanningssnelheid (bijvoorbeeld Shields).

Volgens berekening zou de kritieke stroomsnelheid waarbij het zand begint te bewegen - volgens het WL criterium 7 (begin opmars van de korrels) [2] - ongeveer 0,35 à 0,40 m/s moeten bedragen. De hoge waarde van  $\bar{u}_{kr} = 0,61$  m/s voor de stroomgoot te Lith geeft aan dat er reeds een aanzienlijk transport moet hebben plaatsgevonden voordat dat in de stroomgoot kon worden geconstateerd.

Voor een vergelijking van de verschillende wiersoorten onder prototype-omstandigheden is dit niet zo bezwaarlijk, daar stroomsnelheden van 0,6 à 1,0 m/s reëel zijn bij situaties in het prototype waar kunstmatig wier wordt toegepast.

#### 3.1.2 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van 200 kg/m<sup>3</sup> (T2, T3 en T4)

De kritieke stroomsnelheid waarbij met een zandbodem beschermd door wier met een dichtheid van 200 kg/m<sup>3</sup> voor het eerst transport van zand werd waargenomen bedroeg circa 0,8 m/s (zie figuur 5). Uit een vergelijking tussen T2 en T3 blijkt dat een verkorting van de wierlengte van 2 m (T2) naar 1,5 m (T3), (bij een onderlinge afstand van de wierrollen van 1,0 m) een tendens tot iets lagere kritieke stroomsnelheden geeft.

Een vergelijking tussen T3 en T4 geeft aan dat het al dan niet ingraven van de verankeringsrollen de kritieke stroomsnelheid nauwelijks beïnvloedt. Bij proef T4 bleek dat na twee uur stromen met een stroomsnelheid van 1,0 m/s en een uur stromen met een stroomsnelheid van 1,24 m/s, de wierrollen circa 0,1 m in het zandbed waren gezakt, waardoor dezelfde situatie was ontstaan als aan het begin van proef T3.

#### 3.1.3 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van 550 kg/m<sup>3</sup> (T5, T6 en T9)

Het is niet zeker of de dichtheid van het wier bij de proeven T5 en T6 inderdaad 550 kg/m<sup>3</sup> bedroeg. Nadat deze proeven waren uitgevoerd werd door Nicolon het vermoeden geuit dat er een verkeerde wiersoort was toegepast. De dichtheid van

het toegepaste wier zou zelfs groter dan  $1000 \text{ kg/m}^3$  kunnen hebben bedragen. Dit lijkt onwaarschijnlijk, omdat het wier bij deze proeven wel een opdrijvend vermogen bezat, zoals uit de echoloodpeilingen bleek. Aangenomen wordt daarom dat de exacte dichtheid van de bij T5 en T6 toegepaste dichtheid van het wier niet bekend is maar dat deze kleiner is dan  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Uit figuur 5 blijkt dat de kritieke stroomsnelheid voor begin van bewegen van deze wiersoorten weinig afwijkt van de kritieke stroomsnelheid van het wier met een dichtheid van  $200 \text{ kg/m}^3$ . Ook voor proef T9 waarbij de dichtheid van het wier volgens opgave circa  $600 \text{ kg/m}^3$  bedraagt werd een kritieke stroomsnelheid voor begin van transport van circa  $0,8 \text{ m/s}$  gemeten. Wegens een defect aan het echolood was de verdieping van de bodem bij proef T9 niet te bepalen.

#### 3.1.4 Bodem beschermd door wier met een dichtheid van $950 \text{ kg/m}^3$ (T7, T8)

Er werden twee proeven uitgevoerd met wier met een dichtheid van  $950 \text{ kg/m}^3$ . Het verschil tussen beide proeven was het al dan niet ingraven van de verankeringsrollen. Bij niet ingegraven verankeringsrollen (T7) was de gemeten kritieke snelheid circa  $0,70 - 0,75 \text{ m/s}$ . Bij wel ingegraven verankeringsrollen werd begin van transport geconstateerd bij een snelheid van circa  $0,75 - 0,8 \text{ m/s}$ . Uit de ontgroningen bij stroomsnelheden van  $1 \text{ m/s}$  en  $1,25 \text{ m/s}$  bleek de invloed van het ingraven niet meetbaar te zijn (zie figuur 5). Ook blijkt uit figuur 5 dat de invloed van de dichtheid op de verdieping van de bodem niet meetbaar is. Een lagere dichtheid van het wier vertoont zelfs een tendens iets meer ontgroning te geven dan wier met een hogere dichtheid, hetgeen volledig in tegenstelling met de verwachting is. Deze verschillen worden echter toegeschreven aan de onnauwkeurigheid waarmee de ontgroning te bepalen is. De conclusie uit figuur 5 is dan ook dat de invloed van de dichtheid van het wier op de ontgroning niet meetbaar is, in ieder geval niet bij de tijdsduur van de proeven.

#### 3.1.5 Bodem waarin verankeringsrollen (zonder wier) zijn ingegraven (T10)

Aan het eind van de proevenserie werd de kritieke stroomsnelheid bepaald voor het zand, waarin op onderlinge afstand van  $1 \text{ m}$  de verankeringsrollen (zonder wier) waren ingegraven. Bij een stroomsnelheid van circa  $0,70 - 0,75 \text{ m/s}$  was begin van transport waarneembaar. Deze stroomsnelheid ligt hoger dan de kritieke stroomsnelheid voor de onbeschermd zandbodem. Een mogelijke verklaring

hiervoor is het feit dat het toegepaste zand niet geheel vorstvrij is geweest. Na proef T9 werd de bodem weer gevlakt en aangevuld met zand dat gedurende de lange vorstperiode bevroren is geweest. Weliswaar werden de kluiten uit het zand die nog niet waren ontdooid verwijderd, maar het is niet ondenkbaar dat ook het resterende zand nog niet geheel was ontdooid. Bij grotere stroomsnelheden dan de kritieke was de ontgroning met de ingegraven verankeringsrollen duidelijk groter dan de ontgroningen van de onbeschermd zandbodem, hetgeen volledig in overeenstemming is met de hogere ruweidswaarde die door de verankeringsrollen wordt veroorzaakt.

#### 4. Nabeschuwing van de resultaten

In tabel I zijn de resultaten van de uitgevoerde proeven samengevat. Er is een duidelijk verschil waarneembaar in de grootte van de kritieke stroomsnelheid van het onbeschermd zandbed en die van het door het kunstmatig wier beschermde zand. De invloed van het al dan niet ingraven van de verankeringsrollen, van de b/l-verhouding en van de dichtheid op de kritieke stroomsnelheid voor het begin van transport was in de stroomgoot te Lith niet meetbaar. Opmerkelijk is vooral dat de kritieke stroomsnelheid voor begin van transport vrijwel onafhankelijk is voor dichtheden van het wier liggend tussen 200 en 950 kg/m<sup>3</sup>.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat bij de beschouwde stroomsnelheden en dichtheden van het wier de stroomkracht op het wier de opwaartse kracht van het wier overheerst, waardoor de stand van het wier bij stroomsnelheden in de buurt van de kritieke stroomsnelheid weinig verschilt. De opwaartse kracht zorgt er dan alleen voor dat over de zandbodem bij toenemende stroomsnelheden een gelijkmatige laag wier wordt uitgespreid die voor de reductie van de stroomsnelheid bij de bodem en van de turbulentie zorgt. Ter ondersteuning van deze gedachten-gang wordt het krachtenspel op de wierdraadjes nogmaals beschouwd.

In het verslag M 1162 wordt gesteld dat de werking van het wier afhankelijk is van de stand van het wier onder invloed van het stromende water. Deze stand wordt bepaald door de verhouding van twee krachten, namelijk de opwaarts gerichte kracht  $K_o$  en de stroomkracht  $K_s$  (zie figuur 4).

$$K_o = l \cdot b_1 \cdot t \cdot g(\rho_w - \rho_m) \quad (1)$$

$$K_s = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho_w \cdot l_1 \cdot b_1 \cdot v^2 \quad (2)$$

$$K_o = \text{opwaartse kracht} \quad (\text{N})$$

$$K_s = \text{stroomkracht} \quad (\text{N})$$

$$l = \text{lengte van de wierdraad} \quad (\text{m})$$

$$b_1 = \text{breedte van de wierdraad} \quad (\text{m})$$

$$t = \text{dikte van de wierdraad} \quad (\text{m})$$

$$g = \text{versnelling van de zwaartekracht} \quad (\text{m/s}^2)$$

$$\rho_w = \text{dichtheid van het water} \quad (\text{kg/m}^3)$$

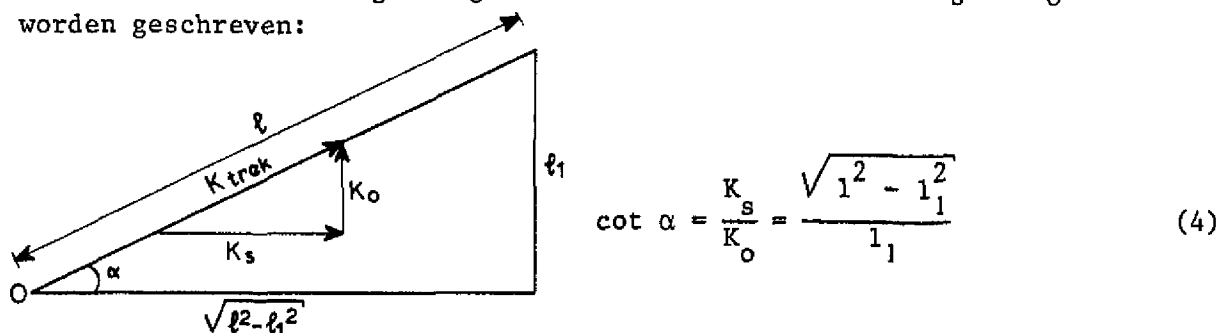
$$\rho_m = \text{dichtheid van het wier} \quad (\text{kg/m}^3)$$

- $C_D$  = weerstandscoefficient (-)  
 $l_1$  = hoogte van het wier boven de bodem (m)  
 $v$  = stroomsnelheid (m/s)

De verhouding tussen beide krachten is:

$$\frac{K_s}{K_o} = C_D \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_m} \frac{1}{t} \frac{l_1}{1} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Het wier is volkomen buigslap en kan hierdoor alleen trekspanningen opnemen. De stand van het wier zal daarom dezelfde richting aannemen als de resultante van de twee krachten  $K_s$  en  $K_o$ . Voor de verhouding tussen  $K_s$  en  $K_o$  kan dan worden geschreven:



Uit (3) en (4) volgt:

$$v^2 = \frac{1}{C_D} \cdot 2g \cdot \frac{\rho_w - \rho_m}{\rho_w} \cdot t \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{l^2 - l_1^2}}{l_1^2} \quad (5)$$

Indien in (5) de eigenschappen van het wier worden ingevuld dan geeft (5) een betrekking tussen de stroomsnelheid  $v$  en de hoogte  $l_1$  van het wier boven de bodem.

Voor een wierlengte van  $l = 2$  m en een wierdikte van  $t = 0,2 \cdot 10^{-3}$  m en een geschatte  $C_D$ -waarde van 0,5 volgt uit (5):

$$v^2 = 0,016 \frac{\rho_w - \rho_m}{\rho_w} \cdot \frac{\sqrt{4 - l_1^2}}{l_1^2} \quad (6)$$

Uit figuur 8 is met behulp van (6) en (4) zowel de hoogte van het wier boven de bodem  $l_1$ , als de verhouding tussen  $K_s$  en  $K_o$  als functie van de snelheid voor twee dichtheden van het wier bepaald.

Uit deze figuur blijkt dat bij stroomsnelheden in de buurt van de kritieke stroomsnelheid voor het begin van zandtransport (ca. 0,8 m/s) de stroomkracht duidelijk groter is dan de opwaartse kracht. De stand van het wier, blijkt bij stroomsnelheden van 0,8 m/s (en hoger) weinig te verschillen voor de toegepaste dichtheden van het wier (bij dichtheden kleiner dan  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

De gunstige werking van het wier wordt nu verklaard, doordat bij toenemende stroomsnelheden het wier zich gelijkmatig over de zandbodem uitvlijt. Zolang de dichtheid kleiner is dan de dichtheid van het water zal het wier de mogelijkheid hebben zich bij lagere snelheden weer op te richten en de functie van gelijkmatig verdeeld scherm behouden. Wordt de dichtheid van het wier echter groter dan de dichtheid van het water dan zal het wier zich niet meer gelijkmatig over de zandbodem uitspreiden. Er kan plaatselijk zand op het wier komen te liggen. De beschermende werking gaat hierdoor plaatselijk verloren. Uit proef T10 met alleen verankeringsrollen blijkt het effect op de ontgroningen bij de afwezigheid van het wier. Een duidelijke toename van de ontgroningen, zelfs in vergelijking met de onbeschermden zandbodem, is het gevolg. De verankeringsrollen verhogen de ruwheid van de bodem, waardoor de kritieke stroomsnelheid bij gelijkblijvend transportmateriaal afneemt.

Indien nader onderzoek naar de bodembeschermende werking van het wier gewenst is, is dit alleen zinvol in een (glazen) goot waarin visueel het begin van beweging van het zand en het gedrag van het wier tijdens transport van zand kan worden waargenomen.

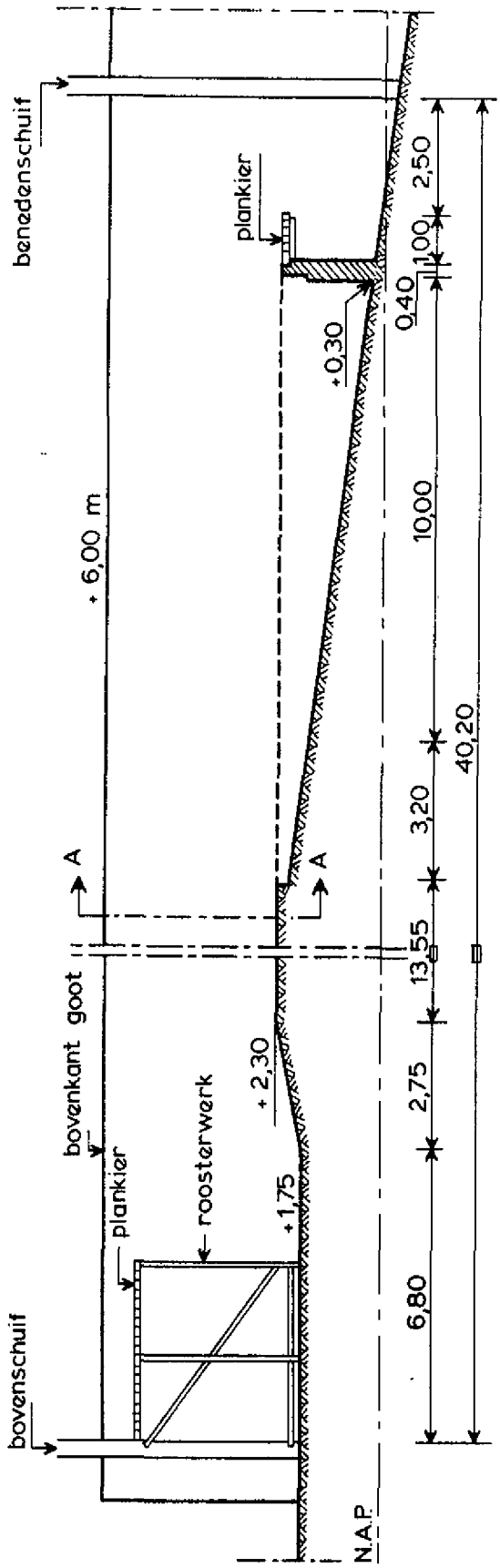
## LITERATUUR

- 1 Waterloopkundig Laboratorium  
"Kunstmatig wier als bodembescherming"  
Modelverslag M 1162, januari 1973
  
- 2 BREUSERS, H.N.C. ir. en SCHUKKING, W.H.P. ir.  
"Begin van beweging van bodemmateriaal"  
Speurwerkverslag, Waterloopkundig Laboratorium, S 159-I, december 1971

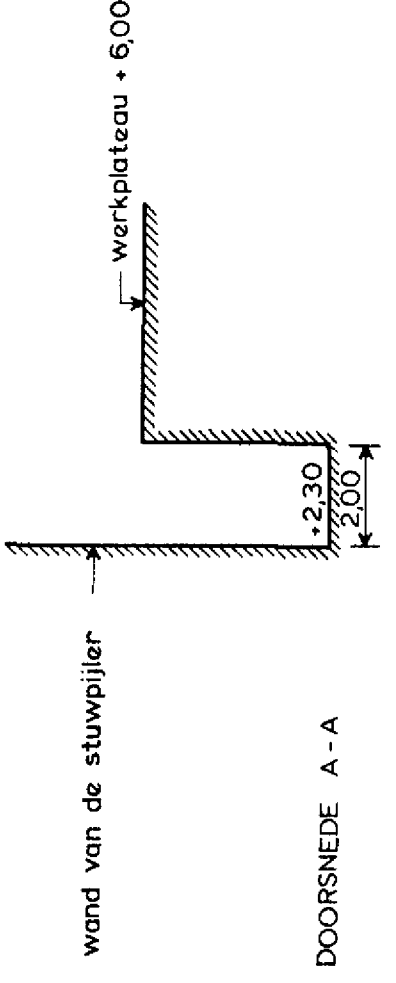
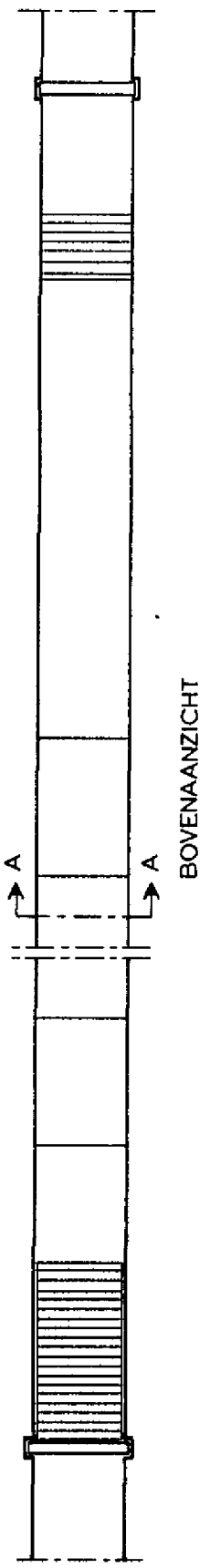
omschrijving wier											
proef	l = wierlengte	b = afstand tussen wierrollen	b/l	soort wier	dichtheid	breedte van het wier t	dikte van het wier b <sub>l</sub>	wel/niet rollen ingegraven	kritieke stroom- snelheid	stroom- snelheid	stroom- tijd
	(m)				(kg/m <sup>3</sup> )	(10 <sup>-3</sup> m)	(10 <sup>-3</sup> m)		(m/s)	(m/s)	(uur)
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	0.61	0.5
T2	2.00	1.00	0.5	polypropeen	200	3	0,2	wel	0.80-0.85	0.98	3
T3	1.50	1.00	0.67	polypropeen	200	3	0,2	wel	0.75-0.85	0.96	2
T4	1.50	1.00	0.67	polypropeen	200	3	0,2	niet	ca. 0.80	1.00	2
T5	2.00	1.00	0.5	polyamide	?	?	?	wel	ca. 0.75	1.00	2
T6	1.50	1.00	0.67	polyamide	?	?	?	wel	0.78-0.81	0.99	1
T7	1.50	1.00	0.67	polyetheen	950	-	∅ 2	niet	0.70-0.75	0.97	2
T8	1.50	1.00	0.67	polyetheen	950	-	∅ 2	wel	0.75-0.80	1.00	2
T9	1.50	1.00	0.67	polyetheen (hol)	600	3	0,2	wel	0.80	1.00	2
T10	0.0	1.00	-	-	-	-	-	wel	0.7 -0.75	1.00	2
T11	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	0.75	1
										1.00	1

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven en resultaten





LENGTEDOORSNEDE



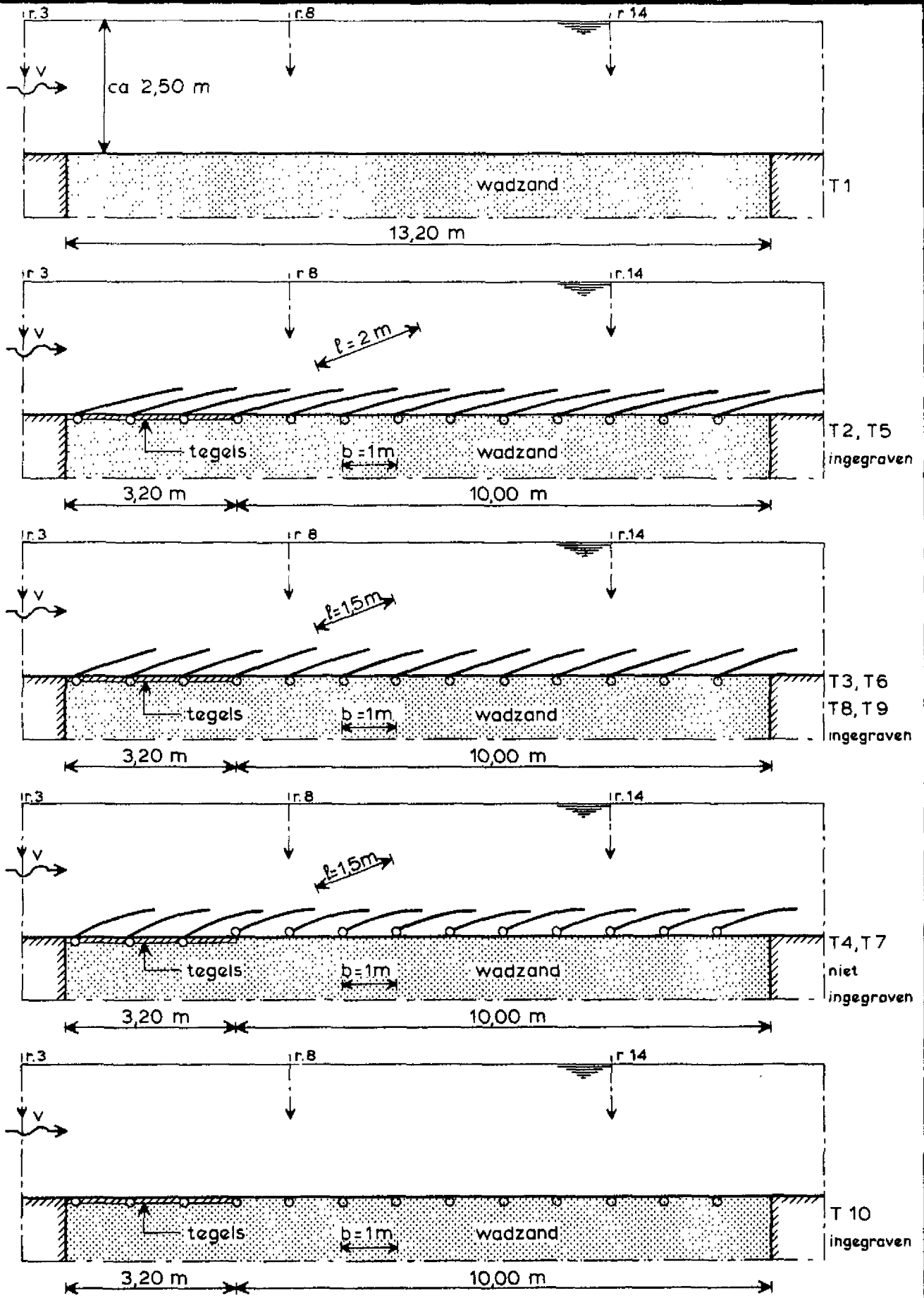
STROOMGOOT TE LITH

SCHAAL 1:150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1548

FIG. 1

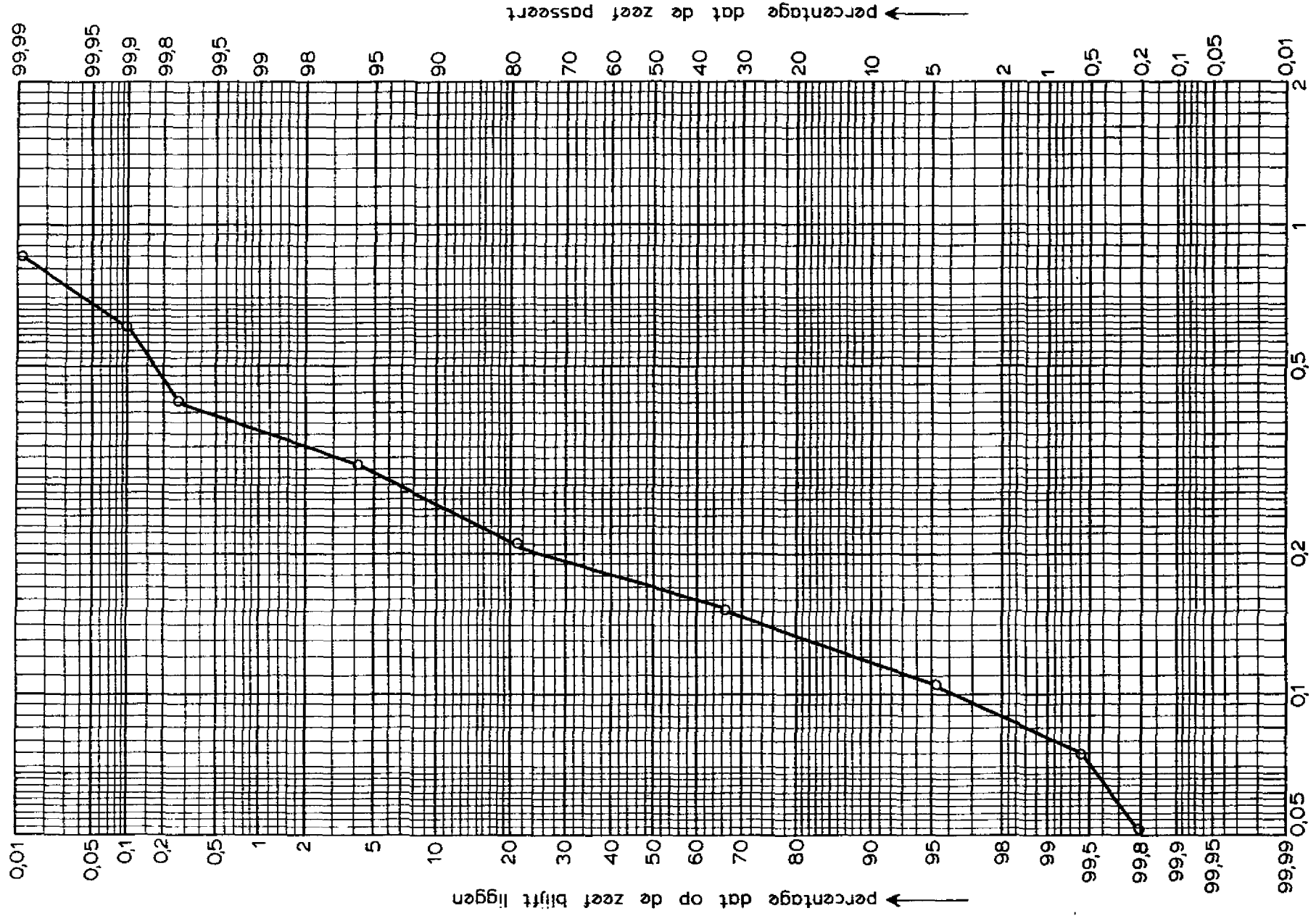


OPSTELLINGEN VAN HET WIER IN DE  
STROOMGOOT TE LITH

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1548

FIG. 2

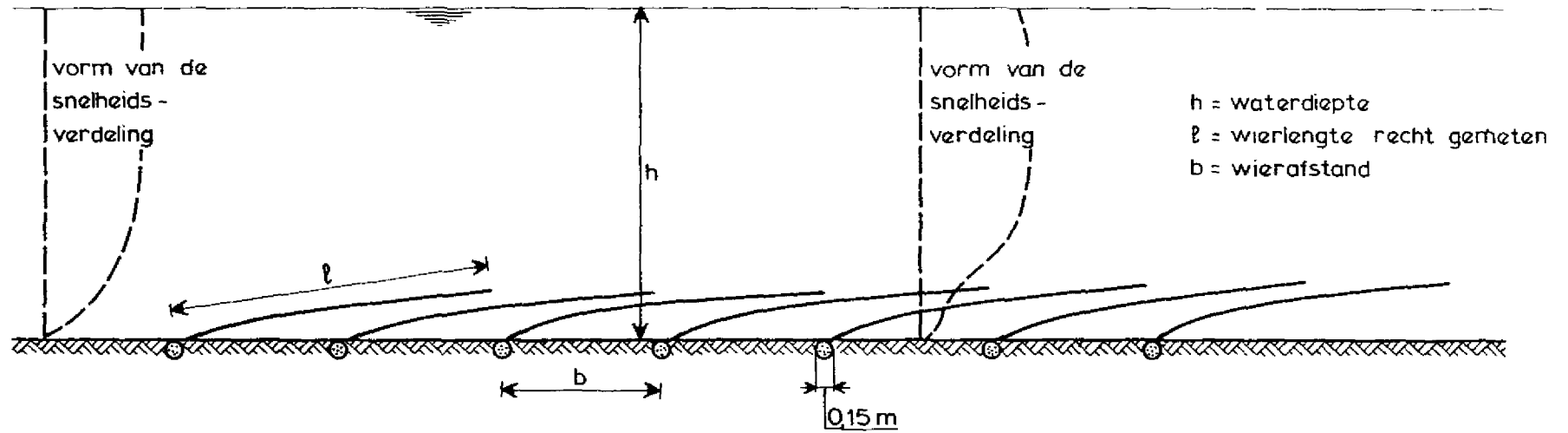


ZEEFKROMME WADZAND

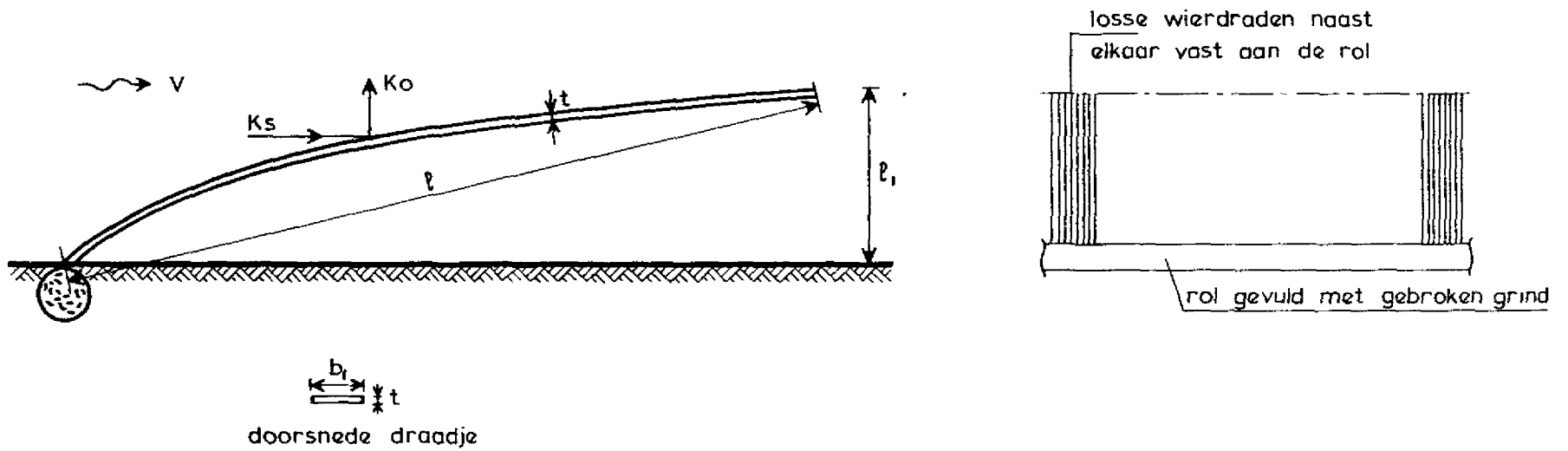
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

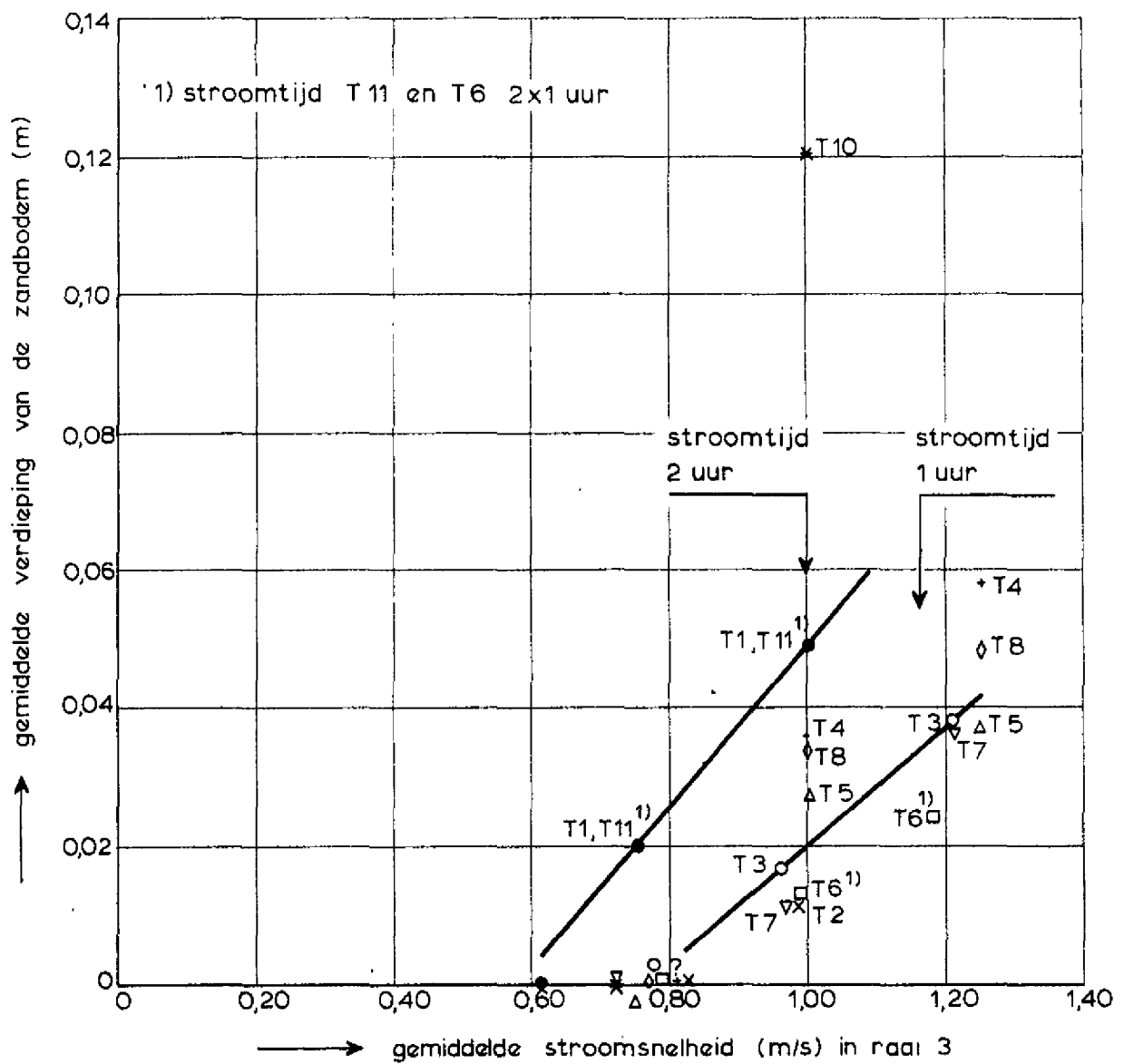
M 1548

FIG. 3



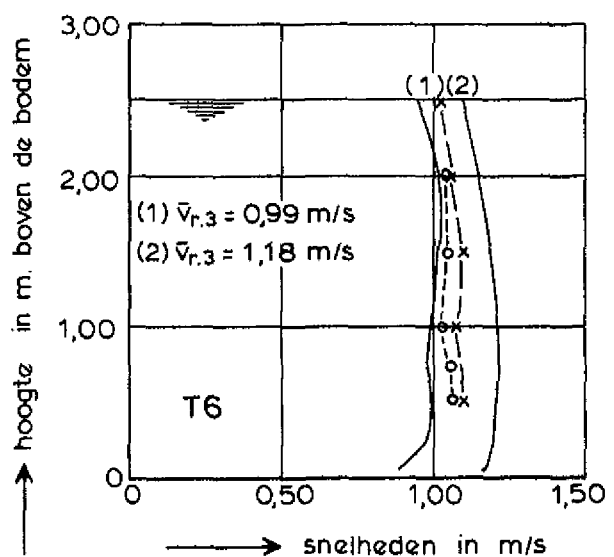
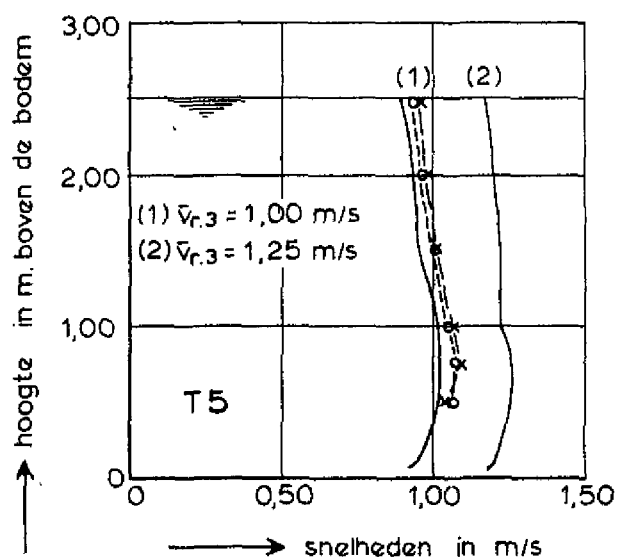
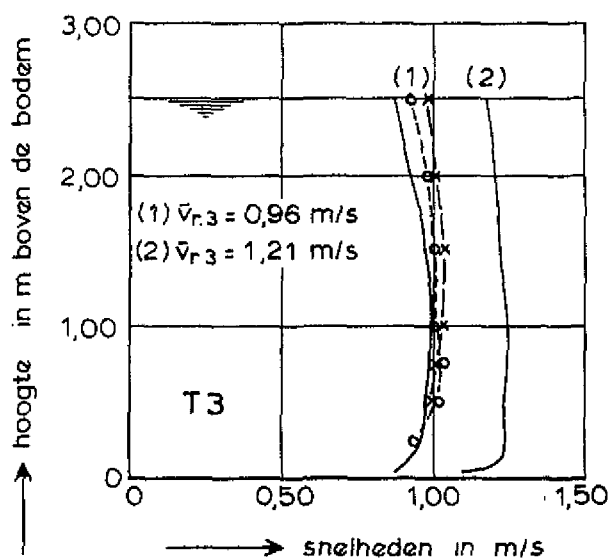
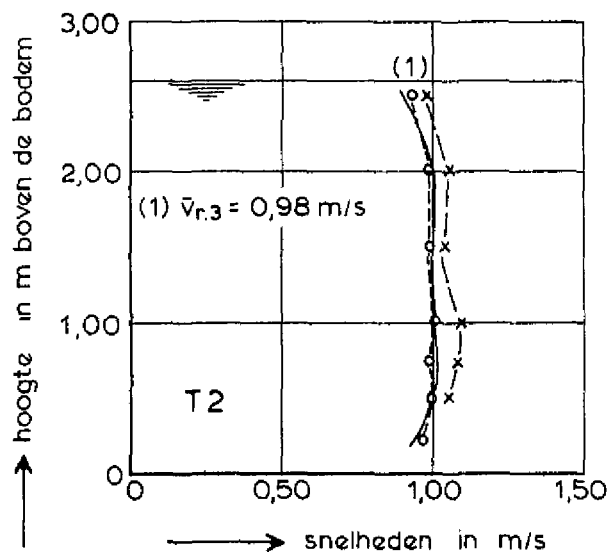
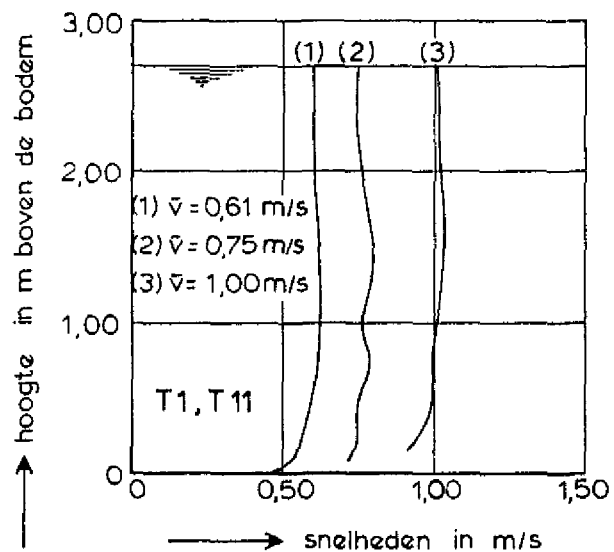
OPSTELLING VAN HET WIER





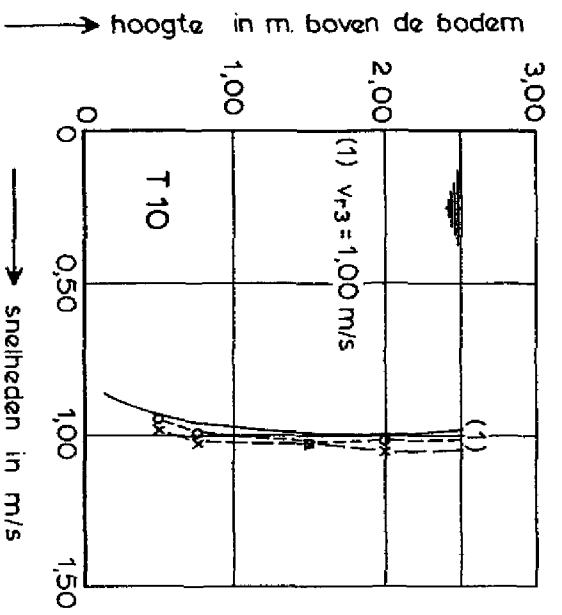
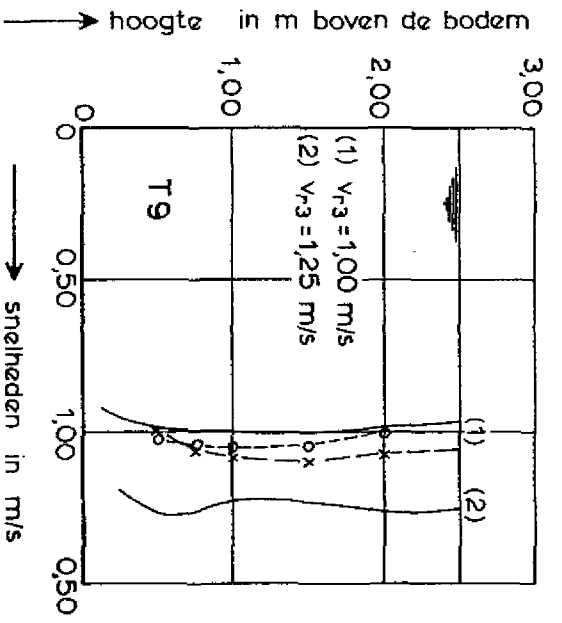
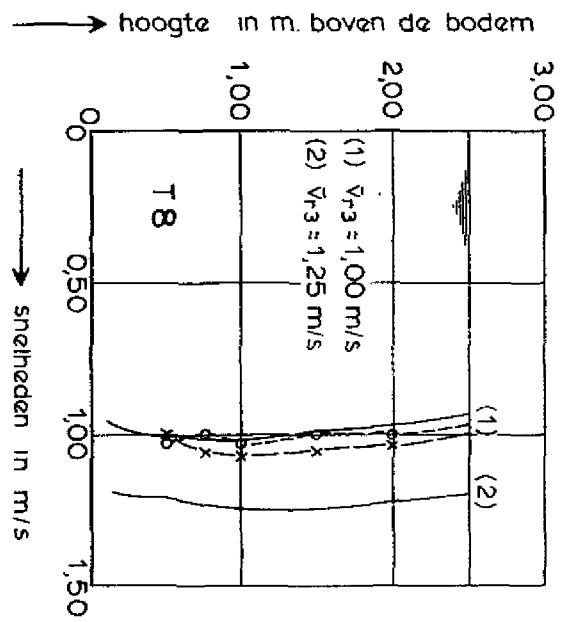
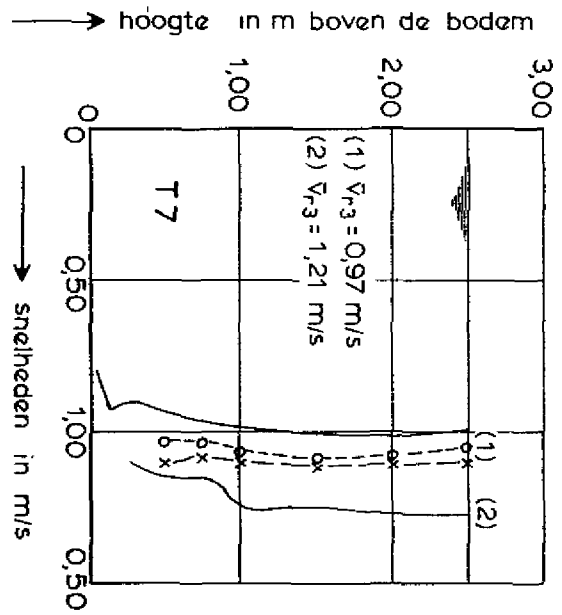
proef nummer		b/β	wier in kg/m <sup>3</sup>	rollen ingegraven	$\bar{U}_{kr}$ m/s
T1	zand ●	-	-	-	0,6
T2	x	0,5	2,00	wel	0,8 - 0,85
T3	o	0,67	2,00	wel	0,75 - 0,80
T4	+	0,67	2,00	niet	≈ 0,80
T5	Δ	0,5	5,50?	wel	0,75
T6	□	0,67	5,50?	wel	0,78 - 0,81
T7	▽	0,67	9,50	niet	0,70 - 0,75
T8	◇	0,67	9,50	wel	0,75 - 0,80
T9	?	0,67	6,00	wel	0,80
T10	*	∞	-	wel	0,70 - 0,75
T11	●	-	-	-	zie T1

INVLOED VAN HET WIER OP HET TRANSPORT



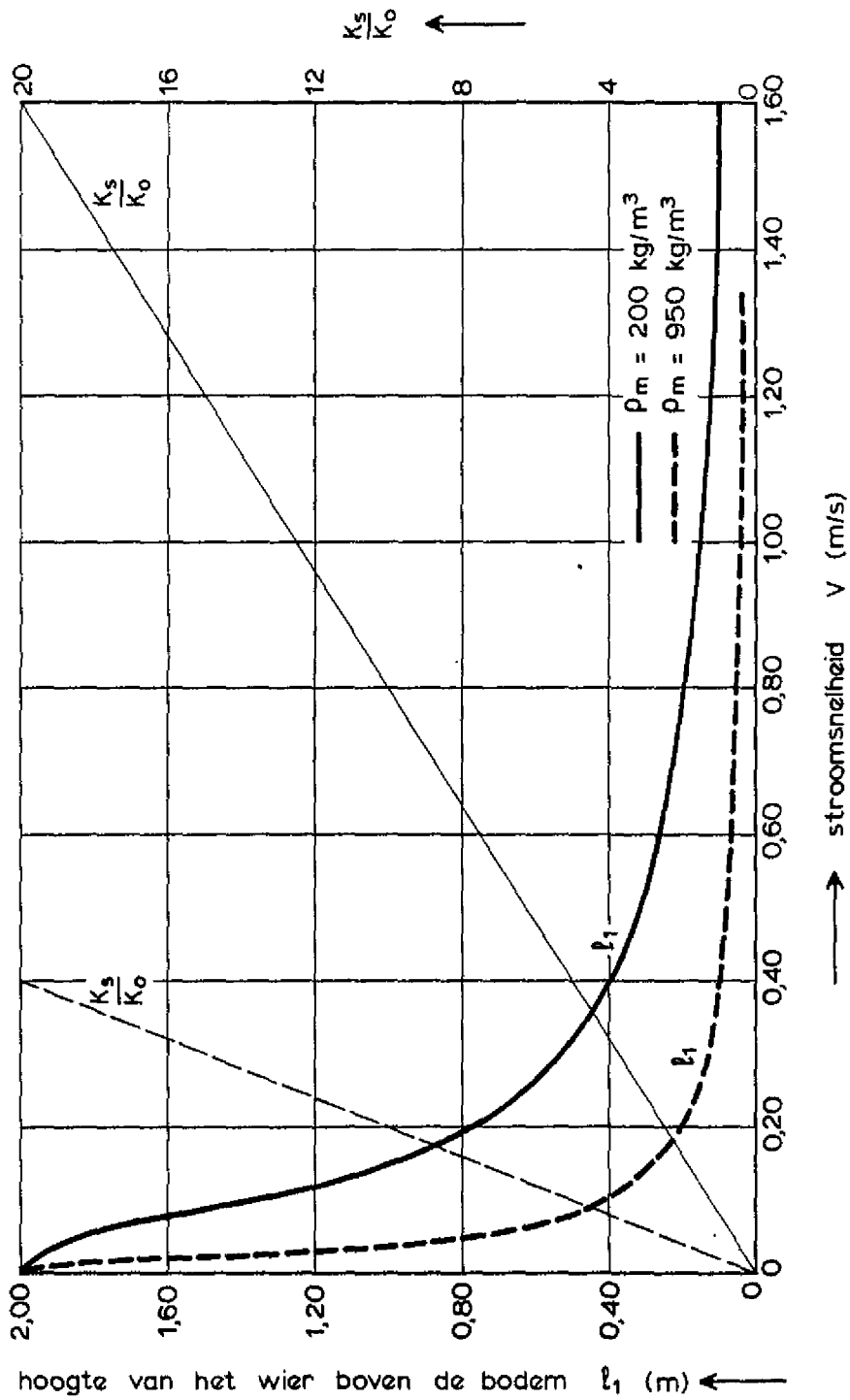
- $\bar{v}$  raai 3
- o---o  $\bar{v}$  raai 8
- x---x  $\bar{v}$  raai 14

SNELHEIDSVERTIKALEN



- $\nabla$  radi 3
- - - - -  $\nabla$  radi 8
- x - - - - x  $\nabla$  radi 14

SNELHEIDSVERTIKALEN



HOOGTE VAN HET WIER BOVEN DE BODEM EN  
 VERHOUDING TUSSEN DE STROOMKRACHT EN  
 OPWAARTSE KRACHT ALS FUNCTIE VAN DE SNELHEID