

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid van de drempel
tijdens de bouwphase

meetresultaten onderzoek met meerdere pijlers

verslag modelonderzoek

M 1524 deel III

augustus 1983

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid van de drempel
tijdens de bouwfase

meetresultaten onderzoek met meerdere pijlers

verslag modelonderzoek

M 1524 deel III

augustus 1983

INHOUD

blz.

Symbolen

1.	<u>Inleiding</u>	1
2.	<u>Modelonderzoek</u>	2
2.1	Proefopstelling	2
2.2	Instelrandvoorwaarden	4
2.3	Meetmethoden	4
2.4	Uitgevoerde proeven	6
3.	<u>Meetresultaten en verwerking</u>	8
3.1	Algemeen	8
3.2	Stroombeeld	9
3.3	Golfbeeld	11
3.4	Schade bij golf en stroom	11
3.5	Bepaling kritieke stroomsnelheid	12
4.	<u>Bepaling invloedsfactoren</u>	14
4.1	Invloedsfaktor voor de geometrische vernauwing van het door- stroomprofiel k_3	14
4.2	Invloedsfaktor voor het bouwfront k_5	14
4.3	Invloedsfaktor voor scheve aanstroming k_6	17
4.4	Invloedsfaktor voor golven k_7	17

TABELLEN

- 1 Overzicht uitgevoerde proeven
- 2 Stroomsnelheidsverdeling in dwarsrichting
- 3 Overzicht resultaten T1 ... T5
- 4 Overzicht resultaten T5 ... T11
- 5 Overzicht resultaten T12 ... T16
- 6 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid T1 ... T4
- 7 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid T5 ... T8
- 8 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid T9 ... T13
- 9 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid T14 ... T16
- 10 Overzicht k-factoren

FIGUREN

- 1 Overzicht Golfbak met situatie modelopstelling
- 2 Modelpijler
- 3 Zeefkrommen modelbestortingen

Overzicht modelopstelling

- 4 T1, T2
 - 5 T3, T4
 - 6 T9, T10
 - 7 T15, T16
 - 8 T5, T6, T11, T12
 - 9 T7, T8, T13, T14
-
- 10 Aanzicht pijler met opbouwfasen drempel

Zone- en strookverdeling van het stortebed

- 11 T1, T2
 - 12 T3, T4
 - 13 T5, T6, T11, T12
 - 14 T7, T8, T13, T14
 - 15 T9, T10
 - 16 T15, T16
-
- 17 T1, T2, T5, T6, T9 ... T12; schets van de schade bij pijler 1, opbouwphase a
 - 18 T2; kuilvorming aan de benedenstroomse zijde van de pijler
 - 19 T1, T2; stroomsnelheidsverdeling over raai I en snelheidsvertikalen
 - 20 T1, T2; stroomsnelheidsverdeling over raai II en snelheidsvertikalen
 - 21 T1, T2; stroomsnelheidsverdeling over raai III en snelheidsvertikalen
 - 22 T2; schade als functie van de inkomende golfhoogte bij verschillende stroomsnelheden

Schade als functie van de maximale golfhoogte bij verschillende stroomsnelheden

- 23 T12
- 24 T14
- 25 T16

FIGUREN (vervolg)

Schade als functie van de stroomsnelheid bovenstrooms van de betreffende
pijler $\bar{u}_i$

26 T1 ... T4

27 T5 ... T8

28 T9 ... T12

29 T13... T16

FOTO'S

Stroombeeld met papiersnippers

- 1 T9, $\bar{u}_o = 0,253 \text{ m/s}$
- 2 T5, $\bar{u}_o = 0,204 \text{ m/s}$
- 3 T15, $\bar{u}_o = 0,297 \text{ m/s}$
- 4 T7, $\bar{u}_o = 0,242 \text{ m/s}$

- 5 T5, Stroombeeld met dieptedrijvers op 0,43 h boven de bodem, $\bar{u}_o = 0,194 \text{ m/s}$
- 6 T7, Stroombeeld met dieptedrijvers op 0,64 h boven de bodem, $\bar{u}_o = 0,228 \text{ m/s}$

SYMBOLLEN

D_{50}	steendiameter die bij een zeefanalyse door 50% van de totale massa wordt overschreden	m
h	waterdiepte	m
H_i	inkomende golfhoogte	m
$H_{\max}$	maximale golfhoogte	m
k	invloedsfaktor	
k_3	invloedsfaktor voor de geometrische vernauwing van het doorstroom- - profiel	
k_5	invloedsfaktor voor het bouwfront	
k_6	invloedsfaktor voor scheve aanstroming	
k_7	invloedsfaktor voor golven	
n_L	lengteschaalfaktor	
u	plaatselijke stroomsnelheid	m/s
$\bar{u}$	gemiddelde stroomsnelheid in een vertikaal	m/s
$\bar{u}_A$	stroomsnelheid in situatie met enkele pijler	m/s
$\bar{u}_{B1}$	stroomsnelheid in situatie met bouwfront bovenstrooms voor pijler 1	m/s
$\bar{u}_o$	aanstroomsnelheid	m/s
$\bar{u}_1$	stroomsnelheid op 50 m bovenstrooms van pijler 1	m/s
$\bar{u}_{kr}$	kritieke snelheid	m/s
σ	turbulentie-intensiteit	%
ρ_s	dichtheid van stortsteen	kg/m ³
ρ_w	dichtheid van water	kg/m ³
Δ	relatieve dichtheid $\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$	

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

STROOMBESTENDIGHEID VAN DE DREMPEL TIJDENS DE BOUWFASE

MEETRESULTATEN ONDERZOEK MET MEERDERE PIJLERS

1. Inleiding

Voor het bepalen van de stabiliteit van de drempelmaterialen tijdens de bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde is een in deel I beschreven methode ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van zogenaamde invloedsfactoren.

De invloed van de aanwezigheid van één enkele pijler, al dan niet in verdieping geplaatst, werd bij het onderzoek in de Tussenpadgoot nagegaan, gerapporteerd in het verslag modelonderzoek M 1524 - deel II. Daarbij werd ook een koppeling met het onderhavige onderzoek gemaakt, alsmede een onderbouwing van eventuele schaalinvloeden nagestreefd.

Het onderhavige verslag heeft betrekking op het gedeelte van het onderzoek waarbij werd gestreefd inzicht te verkrijgen in de invloed van het bouwfront (k_5), scheve aanstroming (k_6) en golven (k_7), overeenkomstig de in deel I beschreven methodiek. Het onderzoek werd uitgevoerd in de Golfbak van het Laboratorium De Voorst, waarbij meerdere pijlers in een geschematiseerde bouwfrontopstelling waren geplaatst.

Het onderzoek stond onder leiding van ir. G.J. Akkerman en ing. C. van Hardeveld, waarvan de laatstgenoemde het onderhavige verslag heeft samengesteld.

De late verschijning van dit verslag is een gevolg van een capaciteitstekort ten tijde van de afronding van de proeven, zodat volstaan werd met het verwerken van de resultaten in het Eindrapport Drempelontwerp, nota nr. 3, DREMBU-M-78.023. In een later stadium werd in overleg met de opdrachtgever alsnog besloten om de resultaten in afzonderlijke verslagen weer te geven.

2. Modelonderzoek

2.1 Proefopstelling

Faciliteit

Het onderzoek werd uitgevoerd in de Golfbak, een golf- en stroombassin in het Laboratorium De Voorst (zie figuur 1). De afmetingen van dit bassin bedragen: lengte 27 m, breedte 24,5 m en diepte 1,5 m. Door middel van twee muren was de breedte teruggebracht tot 7 m. De vloer werd 0,2 m opgehoogd om het bassin sneller te kunnen ledigen. De faciliteit biedt gelegenheid om een debiet van maximaal $3 \text{ m}^3/\text{s}$ in te stellen. De in te stellen periode van de op te wekken regelmatige golven varieert van 0,85 tot 3,2 s.

De golfhoogte kan maximaal circa 0,5 m bedragen, afhankelijk van de periode en de waterstand.

Schaalkeuze

Bij diverse aan het onderhavige onderzoek voorafgaande besprekingen is aan een lengteschaalfactor van ongeveer 30 gedacht. Deze schaal is voortgekomen uit een voorafgaand onderzoek naar de stabiliteit van bestortingen rondom de putten, bij de oude "pijlers op putten" oplossing: zie verslag modelonderzoek M 1408-III.

De schaalfactor van dit onderzoek was $n_1 = 33$.

Van een ander voorafgaand modelonderzoek (M 1506) waren reeds een zestal pijlers beschikbaar, die na een kleine modificatie direct gebruikt zouden kunnen worden. De schaalfactor van dit model bedroeg $n_1 = 45$.

Om de invloed van het bouwfront goed te kunnen onderzoeken was een lengte van circa 8 keringsekties à 40 m vereist, terwijl in de Golfbak reeds een goot met een breedte van 7 m aanwezig was. Met een lengteschaalfactor van 45 gaf dit dus een keringlengte van 315 m. Bij een keuze van een drempelbestorting met $D_{50} \approx 0,005 \text{ m}$ (modelmaat) en bij aanname van een vorminvloedsfactor van 0,7 kon de schaalfactor $n_1 = 45$ juist gehaald worden, gezien het beschikbare debiet. Dit alles in overweging nemende, waarbij het laatste punt doorslaggevend is geweest, werd de lengteschaalfactor $n_1 = 45$ gekozen.

De modelopstelling

Het model was in hoofdzaak uit twee elementen opgebouwd: de pijlers en de bestortingen rond de pijlers.

Voor dit onderzoek werden de pijlers gebruikt met een grondplaat van $25 \times 60 \text{ m}^2$ (volgens tekening nr. OS 3013c van RWS, directie Sluizen en Stuwen). Eén van de modelpijlers is gedetailleerd afgebeeld op figuur 2. Bij het onderzoek naar de stabiliteit van opbouwphase a en b (figuren 4, 6, 8) werden vijf pijlers ingebouwd. Voor opbouwphase c en d (figuren 5, 7, 9) werden alle zes pijlers geplaatst, terwijl er een dummiebouwfront bestaande uit een verhoogde grinddrempel aan toe werd gevoegd. De hoogte van deze grinddrempel werd experimenteel zodanig bepaald, dat het stroombeeld bij rechte aanstroming van opbouwphase c zo goed mogelijk tweedimensionaal was. Dit betekent, dat de afvoereigenschappen van deze drempel met die van het bouwfrontgedeelte overeenkwamen.

Bij het modelonderzoek werd van twee soorten bestorting de stabiliteit bepaald. De één bestond uit fijn grind, waarvan $D_{50} = 4,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ en de dichtheid $\rho_s = 2502 \text{ kg/m}^3$. Dit materiaal was tamelijk afgerond. De andere bestorting was grover en wat hoekiger, met $D_{50} = 11,0 \cdot 10^{-3}$ en een dichtheid $\rho_s = 2578 \text{ kg/m}^3$. Van beide bestortingen is de zeefkromme gegeven in figuur 3. De genoemde afmetingen zijn modelwaarden. De stortsteen was in verschillende kleuren geverfd ten behoeve van het vaststellen van de omvang van de aantasting. De dichtheid van beide soorten bestorting is bepaald nadat het materiaal geverfd was.

De beide elementen, pijlers en bestortingen zijn voor het onderzoek achtereenvolgens samengevoegd in de opstellingen, zoals deze zijn weergegeven op de figuren 4...9 (zie tabel).

Figuur	Proefnr.	Pijlerafstand (m)	Aanstroomb- richting ($^{\circ}$)	Opbouw- fase	Modelbe- storting $D_{50} \text{ (mm)}$
4	T1,T2	40	0	a,b	4,86
5	T3,T4	40	0	c,d	4,86
6	T9,T10	45	0	a,b	4,86
7	T15,T16	45	0	c,d	11,0
8	T5,T6,T11,T12	45	15	a,b	4,86
9	T7,T8,T13,T14	45	15	c,d	11,0

Overzicht modelopstellingen

Er werden vier verschillende opbouwfasen van de drempel onderzocht, te weten opbouwfase a, b, c en d, waarbij steeds twee opbouwfasen gelijktijdig waren ingebouwd (figuren 4...9). De opbouwfase a is tezamen met opbouwfase b beproefd, opbouwfase c samen met d. De hoogteligging van de verschillende opbouwfasen ten opzichte van de aanlegdiepte (onderkant van de pijlervoetplaat) was als volgt (zie figuur 10):

opbouwfase a	0,0 m
opbouwfase b	+1,5 m
opbouwfase c	+3,5 m
opbouwfase d	+6,0 m

2.2 Instelrandvoorwaarden

Het grootste deel van het onderzoek, T1...T10, werd uitgevoerd met een waterdiepte van 20 m. Bij de laatste zes proeven, T11...T16, werd deze opgevoerd tot 25 m, welke diepte mede in verband met tussentijdse wijzigingen in het ontwerp van de kering reëler werd geacht. De waterdiepten waren gerelateerd aan de onderzijde van de pijlervoetplaat.

De ingestelde stroomrichting behoorde bij de vloedstroom. Ebstroming werd niet maatgevend geacht en derhalve niet toegepast.

Om de invloed van scheve aanstroming te kunnen vergelijken met die van rechte aanstroming werden aanstroomhoeken van 0° en 15° toegepast.

De golven hadden een inkomende golfhoogte van 3,0 m, met een periode van 7,6 s. Bij de zes definitieve proeven, T11...T16, werd in verband met resultaten uit meer verfijnde semi-probabilistische berekeningen de inkomende golfhoogte gewijzigd in 2,0 m, waarbij de periode werd verlaagd tot 5,4 s.

De proefduur bedroeg 2 uur en 15 min., de aan- en uitlooptijd hieronder niet inbegrepen. Deze was circa 30 à 60 min. Er werd ook een proef van 4 uur en 30 min. uitgevoerd (T1). Genoemde tijden zijn aangegeven in prototypewaarden.

2.3 Meetmethoden

Meting van het stroombeeld

De aanstroomsnelheid $\bar{u}_0$ werd gemeten in raai I (figuren 4...9) met behulp van een Ottmolen. Aangezien de proefduur te kort was om tijdens de stabiliteitsproeven een uitgebreide snelheidsmeting uit te voeren, werd de aanstroomsnelheid bepaald door meting van een beperkt aantal punten in raai I, op een hoogte van 0,35 h boven de bodem.

Bij elke groep van twee proeven werd vooraf echter een uitgebreide snelheidsmeting uitgevoerd, waarbij vertikalen werden doorgemeten in drie raaien (figuren 4 ... 9). Per vertikaal werd op drie verschillende diepten gemeten: op een hoogte van 0,15 h, 0,35 h en op 0,75 h boven de bodem. Een beperkt aantal vertikalen werd nog intensiever doorgemeten. Bij alle snelheidsmetingen werd de stroomsnelheid evenwijdig aan de lengte-as van de goot gemeten. Van elke situatie werd tevens een stroombeeldfoto gemaakt met papiersnippers; voor enkele situaties ook met dieptedrijvers (T5, T7). Bij de golfproeven werd geen stroomsnelheid gemeten. Er werd echter hetzelfde debiet ingesteld als bij de voorafgaande stroomproeven, terwijl ook de waterstand dezelfde bleef. De waterstand werd ingesteld met regelkleppen, terwijl deze gemeten werd met een peilnaald op een afstand van 150 m benedenstrooms van de as van de kering (zie figuren 4...9).

Meting van het golfbeeld

De golven werden gemeten met behulp van twee golfhoogtemeters, bestaande uit een opnemer en een versterker. Het uitkomende signaal werd met een penschrijver geregistreerd. De uitwerking werd met de hand gedaan.

Als gevolg van reflecties tegen het al of niet scheef geplaatste bouwfront en de gootwanden trad interferentie op tussen de inkomende en teruggekaatste golven. Bovendien was er stroomdiffractie aanwezig. Het golfbeeld werd hierdoor slecht definieerbaar, vooral bij de laatste proeven T12, T14, T16, waar de kortere golfperiodes meer reflectie opleverde.

Er werden twee verschillende golfhoogten bepaald: een inkomende en een maximale golfhoogte. Bij T2 werd de inkomende golfhoogte gemeten op de lijn tussen de punten I op de raaien I en II (figuur 4). Bij T4, T6, T8, T10 werd een golftrain gemeten in punt H op 60 m bovenstrooms van raai I (figuren 5, 6, 8, 9), waaruit eveneens de inkomende golfhoogte werd bepaald (zie paragraaf 3.3). Zoals eerder vermeld, was het golfbeeld bij T12, T14, T16 slecht definieerbaar, zodat hier slechts de maximale golfhoogte gemeten kon worden in de punten D, H en J, op 11,25 m, 22,50 m en op 33,75 m bovenstrooms van raai III (figuren 7 ... 9).

Meting van de stroombestendigheid

De stroombestendigheid van de bestortingsmaterialen bij de diverse onderzochte opbouwfasen werd in het model bepaald door bij elke proef een aantal verschillende stroomsnelheden in te stellen en voor elk van deze snelheden de bijbeho-

rende schade te bepalen. Het begrip schade werd hier gedefinieerd als de mate van aantasting van de bestorting. Deze kon bepaald worden door het aantal stenen te tellen, dat uit gekleurde stroken verplaatst was. Om de stenen herkenbaar te maken werd de drempel namelijk in stroken verdeeld, terwijl de stenen in elke strook in een andere kleur geverfd werden. De schade werd uitgedrukt in het totaal aantal uit de stroken verplaatste stenen (zie figuren 11 ... 16).

In de lengterichting van de drempel was deze in een aantal zones ter grootte van de halve pijlerafstand verdeeld gedacht. Deze zones zijn aangeduid als: 1 rechts, 1 links ... 5 rechts, waarbij de nummering betrekking heeft op de pijlers, met nummers 1, 2, enz. De laatst geplaatste pijler is nummer 1, de op één na laatst geplaatste nummer 2, enz. Voorts is rechts gedefinieerd als rechts van de pijlers, gezien vanuit de stroomrichting (zie figuren 11 ... 16). De schade werd behalve door telling van het aantal verplaatste stenen ook op dia's vastgelegd.

Indien de kritieke stroomsnelheden van twee gezamenlijk ingebouwde opbouwfasen, a en b of c en d (zie figuren 11 ... 16) niet te ver uiteen lagen, kon de schade bij beide opbouwfasen tegelijkertijd worden vastgesteld. Wanneer echter de kritieke stroomsnelheden voor de opbouwfasen b en d veel hoger bleken te zijn dan voor de respektieve opbouwfasen a en c, werd bij laatstgenoemde de bestorting afgedekt met bladlood.

2.4 Uitgevoerde proeven

Voorafgaand aan de eigenlijke proeven werden enige metingen uitgevoerd ten behoeve van enkele stromingsparameters. Het betrof hier een meting van het verloop van het wateroppervlak in lengterichting van de goot, een turbulentie- en een stroomsnelheidsmeting, waarbij de maximale bereikbare stroomsnelheid werd vastgesteld. Voor de resultaten van deze metingen wordt verwezen naar paragraaf 3.2. Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde proeven, met bijbehorende randvoorwaarden. De even proefnummers hebben betrekking op proeven waarbij gestroomd en gegolfd werd. Bij de oneven nummers werd alleen gestroomd. De pijlerafstand bedroeg bij de eerste vier proeven 40 m hart op hart. Tijdens het onderzoek werd bekend, dat deze afstand in het ontwerp was gewijzigd tot 45 m. Deze wijziging is vanaf T5 ook in het model aangebracht.

De aanstroomrichtingen welke werden toegepast waren 0° en 15° (zie tabel 1). Zoals in paragraaf 2.1 is vermeld, werden vier verschillende opbouwfasen onderzocht, te weten a, b, c en d (zie figuren 4 ... 9).

Voor de opbouwfasen a en b werd het fijne grind gebruikt. Voor opbouwfase c en d bleek de kritieke stroomsnelheid van dit grind nogal laag te zijn (T3 en T4), waarbij vooral de golfinvloed belangrijk bleek te zijn. Omdat in het ontwerp van de kering voor deze hoger gelegen opbouwfasen zwaardere bestortingsmaterialen gebruikt zullen worden, is voor deze bouwfasen (c en d) vanaf T7 ook in het model zwaarder bestortingsmateriaal gebruikt.

Mede wegens de tijdens de uitvoering van de proeven gewijzigde inzichten (semi-probabilistische benadering) werd vanaf T11 zowel de waterdiepte als de golf aangepast. Zoals reeds eerder vermeld, werd de diepte van 20 m naar 25 m gebracht, terwijl de inkomende golfhoogte werd verlaagd van 3,0 naar 2,0 m. De golfperiode werd tevens aangepast en ging van 7,6 s naar 5,4 s.

3. Meetresultaten en verwerking

3.1 Algemeen

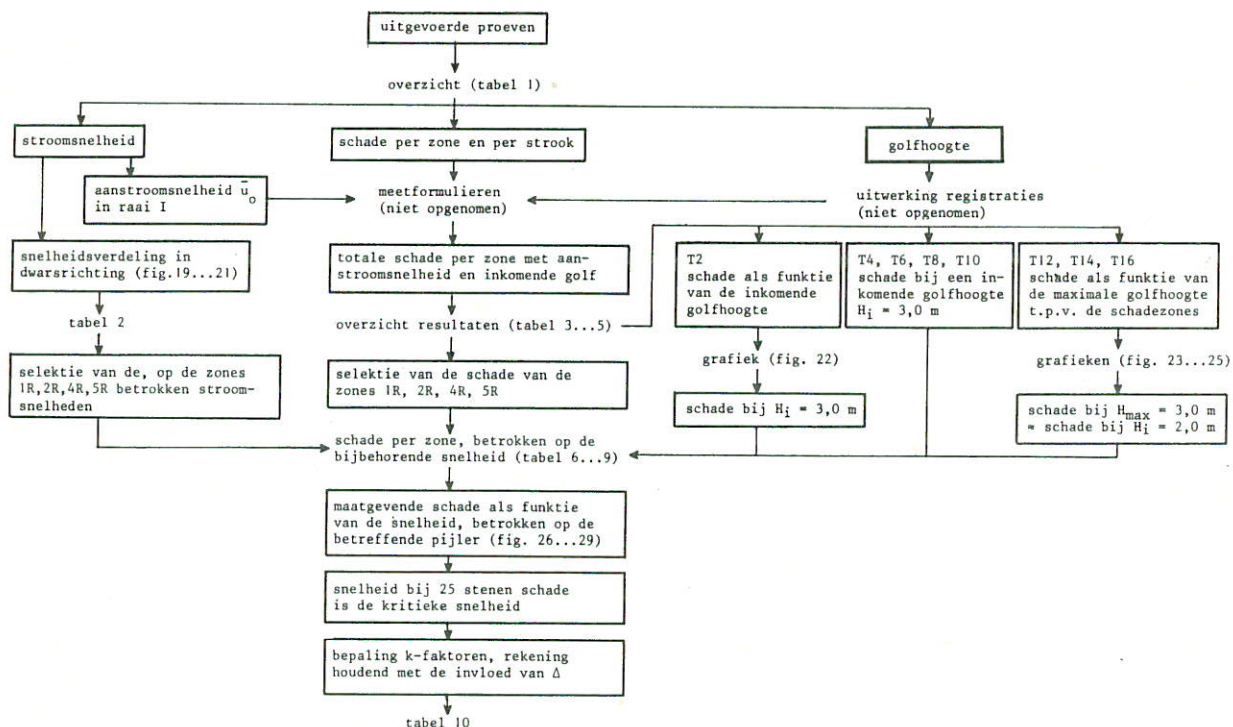
Teneinde een overzichtelijk beeld te krijgen van de manier waarop de verwerking van de meetresultaten heeft plaatsgevonden, is de volgorde van uitwerkingen in een stroomschema weergegeven. In dit schema wordt tevens verwezen naar de tabellen en figuren, waar de diverse uitwerkingen zijn uitgevoerd.

De verwerking van de resultaten valt uiteen in drie onderwerpen:

- schade
- stroomsnelheid
- golven.

In het overzicht zijn deze drie takken duidelijk te onderscheiden.

De afzonderlijke handelingen worden in het hierna volgende beschreven.



Stroomschema uitwerking resultaten

Direkt na elke proef werd de schade per zone en per strook genoteerd met de bijbehorende aanstroomsnelheid en inkomende golf. Daarna zijn de meetresultaten in een overzicht weergegeven (zie tabellen 3 ... 5) gerangschikt volgens proefnummer. Per proef zijn de resultaten naar de aanstroomsnelheid $\bar{u}_0$ gerangschikt. In de tabellen zijn voor de golfproeven naast de aanstroomsnelheden tevens de golfhoogten gegeven. Na deze instelrandvoorwaarden volgt voor iedere proef de lijst met de totale schade per zone.

De aanstroomsnelheden zijn evenals de steendiameter in modelmaat gegeven.

Voor iedere pijler bleek de plaats waar de schade het eerst optrad bij de bovenstroomse pijlerhoeken te liggen, echter hoofdzakelijk bij de rechter hoek, vanwege de naar het sluitgat afbuigende stroming.

Van opbouwphase a is voor beide aanstroomrichtingen, 0° en 15° , de plaats van de schade in één figuur geschetst. Hieruit blijkt dat de schadelokatie globaal steeds dezelfde is (zie figuur 17). Voor het gehele bouwfront is de plaats (zone) waar de schade zich het eerst ontwikkelde afhankelijk van de snelheidsverdeling in dwarsrichting.

Aan de benedenstroomse zijde van de pijler ontstond bij de eerste proeven met golven, T2, T4, T6, T10, aanzienlijke schade. Het betrof alleen de opbouwfasen b en d (figuur 18). De schade kon hier niet gemeten worden, daar er benedenstrooms van de pijlers geen gekleurde stroken waren aangebracht.

Wel kon de maximale kuildiepte gemeten worden. Deze is voor T2 ter illustratie uitgezet als funktie van de inkomende golfhoogte, bij verschillende aanstroomsnelheden (figuur 18).

Nadat de randvoorwaarden, waterdiepte en golfhoogte, waren gewijzigd (vanaf T11), werd benedenstrooms geen aantasting meer waargenomen. Er werd tijdens dit onderzoek dan ook verder geen aandacht meer aan besteed.

3.2 Stroombeeld

De aanstroomsnelheid werd bij alle stroomproeven gemeten in raai I, op een diepte van $0,35 h$ boven de bodem (zie paragraaf 2.3). Deze raai was verdeeld in een groot aantal meetpunten (zie figuren 4 ... 9). De gevonden stroomsnelheden in deze punten werden over de raai gemiddeld. Aangezien de bestortingen bovenstrooms van de kering slechts over 150 m waren doorgezet en raai I op

300 m van de kering lag, moest deze gemiddelde waarde worden vermenigvuldigd met de verhouding van de diepten in raai I en in de as van de kering (zie figuren 4 ... 9). Dit verhoudingsgetal bedroeg 1,045, voor een waterdiepte van 20 m en 1,036 voor een diepte van 25 m. Het verkregen resultaat is de aanstroomsnelheid $\bar{u}_0$, zoals deze wordt aangegeven in het overzicht van de resultaten (zie tabellen 3 ... 5).

Bij de golfproeven kon geen stroomsnelheid gemeten worden. Daarom werd de stroomsnelheid bij deze proeven berekend uit het debiet, dat door meting met een Romijnstuw werd vastgesteld.

De uitgebreide stroomsnelheidsmeting, voorafgaand aan elke serie proeven met dezelfde geometrische randvoorwaarden, is als volgt uitgewerkt. Alle snelheidsvertikalen zijn getekend en per vertikaal is de gemiddelde stroomsnelheid berekend. De gemiddelde stroomsnelheden over de vertikaal zijn per raai uitgezet tegen de afstand in de richting van die raai. Deze snelheidsvertikalen en snelheidsverdelingen in dwarsrichting zijn niet in het verslag opgenomen, met uitzondering van die van T1 en T2, die als voorbeeld dienen (zie figuren 19 ... 21). De snelheidsverdeling in dwarsrichting is echter wel in tabelvorm opgenomen (tabel 2). Bij alle snelheidsvertikalen en snelheidsverdelingen in dwarsrichting is de stroomsnelheid dimensieloos gemaakt door te delen door de aanstroomsnelheid $\bar{u}_0$ (= de gemiddelde waarde van de gemiddelde vertikaalsnelheden in raai I vermenigvuldigd met de verhouding der diepten).

De stroombanen aan de oppervlakte zijn fotografisch vastgelegd met papiersnippers. Enkele resultaten hiervan zijn te zien op de foto's 1 ... 4. Er zijn bij T5 ook dieptedrijvers gebruikt, waarmee de stroombanen op afstanden van 0,43 h (zie foto 5) en 0,78 h boven de bodem werden gemeten.

De stroombanen aan de oppervlakte zijn tevens met oppervlaktedrijvers vastgelegd. Het resultaat van de laatste meting kwam goed overeen met de stroombeeldfoto's met de papiersnippers en is daarom niet in dit verslag opgenomen, evenals de foto van de stroombanen op een afstand van 0,78 h boven de bodem, welke globaal hetzelfde beeld gaf als de stroombanen op 0,43 h boven de bodem.

Bij T7 zijn de stroombanen op een afstand van 0,64 h boven de bodem gemeten (zie foto 6).

Het in paragraaf 2.4 genoemde, aan de eigenlijke proeven voorafgaande onderzoek, betreffende een meting van het verloop van het wateroppervlak in lengterichting van de goot, leverde een normaal beeld op met een regelmatig verlopend,

zeer klein verhang en een inzinking ter plaatse van de kering, zodat er hier niet verder op in wordt gegaan. De turbulentiemeting, eveneens in paragraaf 2.4 genoemd, leverde het volgende resultaat op bij T1, $\bar{u}_0 = 0,27$ m/s (zie figuur 4):

raai	punt	afstand boven de bodem	$\frac{u}{\bar{u}_0}$	turbulentie-intensiteit σ in % van u
1	H	0,50 h	1,00	6,1
2	M	0,50 h	1,28	4,1
3	D	0,50 h	1,56	3,5
t.p.v. de schade- lokatie in zone 1R		0,09 h	1,07	11,7

De maximum aanstroomsnelheid welke in het model gehaald kon worden, bedroeg Ongeveer 0,75 m/s.

3.3 Golfbeeld

De inkomende golfhoogte is op twee verschillende manieren bepaald. Bij T2 is het gemiddelde genomen van de grootste en de kleinste golfhoogte, gemeten op de lijn tussen de punten I op raaien I en II (zie figuur 4). Bij T4, T6, T8, T10 werd bovenstrooms van het model (zie paragraaf 2.3) een golftrein gemeten. De inkomende golfhoogte werd hieruit bepaald door meting van het golfsignaal voordat de gereflekteerde golf zich hierop had gesuperponeerd, maar wel nadat de golf zich volledig had opgebouwd.

Vanwege de zeer grote reflekties en de stroomdiffractie bij de proeven T12, T14 en T16 was het niet goed mogelijk om de inkomende golfhoogte te meten. Bij deze proeven werd daarom van de maximale golfhoogte uitgegaan, die bepaald werd door van een drietal plaatsen boven de betreffende bestortingszone de grootste golf van de totale registratie, die circa 200 golven lang was, te middelen (zie paragraaf 2.3). Gesteld kan worden dat de inkomende golfhoogte ongeveer 2/3 van de maximale golfhoogte ter plaatse van de pijlers bedraagt. Dit houdt in dat een maximale golfhoogte van 3 m (T12, T14 en T16) overeenkomt met een inkomende golfhoogte van 2 m (zie stroomschema van paragraaf 3.1).

3.4 Schade bij golf en stroom

Ten behoeve van de koppeling van de resultaten aan het onderzoek in de Tussenpadgoot (zie paragraaf 4.1) moest de kritieke stroomsnelheid van de bestorting

van de verschillende opbouwfasen betrokken worden op de stroomsnelheid 50 m bovenstrooms van de betreffende bestorting. De aanstroomsnelheid $\bar{u}_0$, welke 300 m bovenstrooms van de as van de kering was bepaald, kon zodoende niet meer gebruikt worden. Met behulp van de verhoudingsgetallen in tabel 2 werden de aanstroomsnelheden omgerekend tot de stroomsnelheden op 50 m bovenstrooms van elke zone; $\bar{u}_5, \bar{u}_4, \bar{u}_2, \bar{u}_1$ (zie tabellen 6 ... 9).

De snelheid voor pijler 3 werd weggelaten, omdat deze pijler steeds een overgangsgebied vormde tussen twee opbouwfasen. Bovendien werd een selectie toegepast, waarbij de zones links van de pijlers kwamen te vervallen, omdat deze in geen enkel geval kritiek waren. Naast de omgerekende stroomsnelheden is de bijbehorende schade in aantal stenen vermeld (zie tabellen 6 ... 9).

Voor een aantal situaties (T2, T12, T14, T16) werden bij eenzelfde stroomsnelheid meerdere proeven uitgevoerd, met verschillende golfhoogten. Bij die snelheid werd de schade uitgezet als functie van de golfhoogte (figuur 22 ... 25). Voor T2 werd de inkomende golfhoogte gebruikt (figuur 22), voor T12, T14, T16 werd de schade uitgezet als functie van de maximale golfhoogte (figuren 23 ... 25), in verband met de slecht definieerbare golfhoogte.

Voor de golfproeven waarbij de schade als functie van de golfhoogte werd uitgezet, is per opbouwphase slechts de meest kritieke zone geselecteerd. Uiteindelijk werd in de figuren 26 ... 29 de schade betrokken op de bijbehorende stroomsnelheid uitgezet met en zonder aanwezigheid van golven.

Per proef werd per opbouwphase voor twee zones de schade als functie van de stroomsnelheid bepaald: voor de opbouwfasen a en c van de zones 1R en 2R, voor de opbouwfasen b en d van de zones 4R en 5R.

Per opbouwphase is echter ter wille van de duidelijkheid alleen de meest kritieke zone met en zonder golven weergegeven.

3.5 Bepaling kritieke stroomsnelheid

De kritieke stroomsnelheid werd voor dit onderzoek gedefinieerd als de stroomsnelheid, waarbij per zone totaal 25 stenen uit de stroken verplaatst waren.

In de figuren 26 ... 29 kan nu de kritieke stroomsnelheid bij elke proef voor beide opbouwfasen afgelezen worden. Deze waarden zijn genoteerd in tabel 10, in de kolom $\bar{u}_{kr}$ bij Δ in model.

In de kolom die daarop volgt, wordt een correctie uitgevoerd voor de afwijkende dichtheid van het modelmateriaal ten opzichte van die van de prototypebestorting. Deze correctiefactor bedraagt

$\sqrt{\frac{\Delta_{\text{model}}}{\Delta_{\text{prototype}}}}$, waarin

Δ = de relatieve dichtheid = $\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$,

ρ_s = de dichtheid van het bestortingsmateriaal en

ρ_w = de dichtheid van water = 1000 kg/m³.

In model werd voor Δ aangehouden 1,502 voor de fijne en 1,578 voor de grovere bestorting. In het prototype werd $\Delta = 1,65$ aangehouden.

4. Bepaling invloedsfactoren

4.1 Invloedsfaktor voor de geometrische vernauwing van het doorstroomprofiel k_3

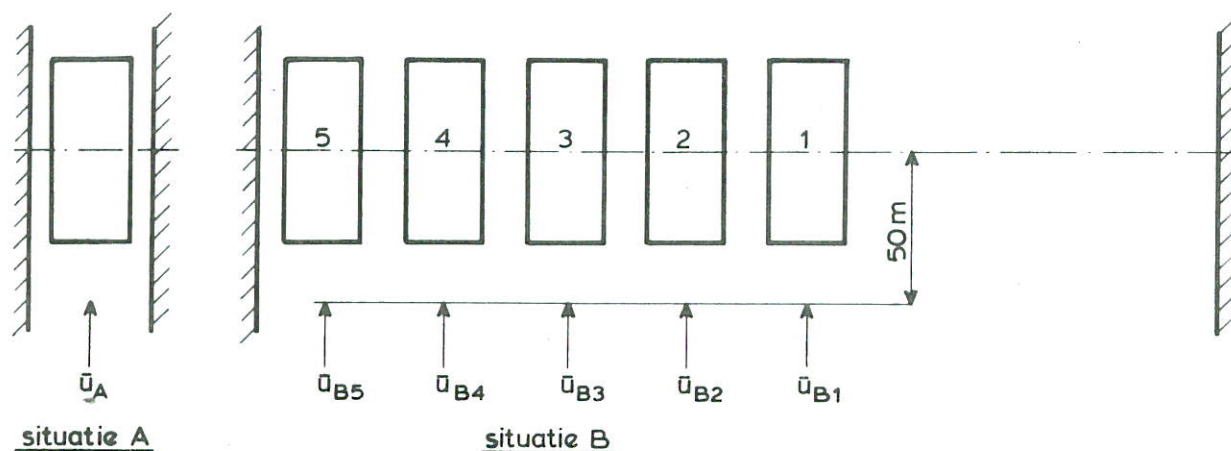
De invloedsfaktor voor de geometrische vernauwing van het doorstroomprofiel door de pijlers en de diverse opbouwfasen van de drempel, k_3 (zie verslag modelonderzoek M 1524 deel I), is een faktor, die onafhankelijk is van de onderzoekresultaten. Hij is voor elke opbouwfase drie maal bepaald, in verband met de gewijzigde randvoorwaarden, pijlerafstand en waterdiepte.

Figuur 10 geeft een aanzicht van een sectie van het sluitgat, met de verschillende opbouwfasen. De k_3 -faktor is hierin het quotiënt van het openingsoppervlak en het totale oppervlak, beiden per sectie. De berekende k_3 -factoren worden in onderstaande tabel gegeven.

waterdiepte h (m)	pijlerafstand (m)	k_3 -factoren			
		opbouwfase			
		a	b	c	d
20	40	0,66	0,63	0,58	0,51
20	45	0,70	0,66	0,60	0,53
25	45	0,73	0,71	0,66	0,60

4.2 Invloedsfaktor voor het bouwfront k_5

Het bouwfront bestaat uit een opeenvolging van pijlers, die reeds in het sluitgat zijn geplaatst. Bij het modelonderzoek werd voor opbouwphase a en b een bouwfrontsituatie met 5 pijlers weergegeven. Voor opbouwphase c en d bestond het bouwfront uit 6 pijlers en een dummy-bouwfront met eenzelfde afvoercoëfficiënt als opbouwphase c. De invloedsfaktor voor het bouwfront k_5 is gedefinieerd als de verhouding tussen de stroombestendigheid van de diverse opbouwfasen van het bouwfront (situatie B) en de stroombestendigheid van de overeenkomstige opbouwfasen van een situatie met één enkele pijler (situatie A; zie figuur op blz. 15). Voor de laatste wordt verwezen naar het verslag van het modelonderzoek M 1524, deel II.



De beïnvloeding zal het grootst zijn ter plaatse van de kop van het bouwfront (pijler 1). Een moeilijkheid is de definitie van $\bar{u}_B$. Deze snelheid varieert namelijk met de afstand tot de kering en varieert op voldoende korte afstand voor het pijlerfront ook in dwarsrichting ($\bar{u}_{B1} > \bar{u}_{B5}$); dit in tegenstelling tot $\bar{u}_A$, die afgezien van eventuele wandinvloed, geen nadere definitie behoeft. Daarbij komt dat de stroomrandvoorwaarden, met behulp waarvan de resultaten van dit onderzoek werden geëvalueerd, afkomstig zijn uit een rekenmethodiek waarbij ook zekere schematisaties werden toegepast. Wat betreft dit laatste kan worden genoemd: de discontinue sprong in de stroomsnelheidsverdeling ter hoogte van pijler 1, tussen het gedeeltelijk geblokkeerde en het ongeblokkeerde deel van het sluitgat. Meer bijzonderheden zijn te vinden in de notitie STODHO M 51 en de WL-nota R 1219/M 1000/M 1001.

Op grond van het bovenstaande werden de aanstroomsnelheden $\bar{u}_{B1} \dots \bar{u}_{B5}$ vlak voor de pijlers, op 50 m bovenstrooms van de as van de kering, gedefinieerd als de referentiewaarden. De invloedsfaktor k_5 wordt dan voor een bepaalde opbouwphase: het quotiënt van de kritieke stroomsnelheid voor de maatgevende pijler van die opbouwphase ($\bar{u}_{B1} \dots \bar{u}_{B5}$) en de kritieke stroomsnelheid voor de situatie met één enkele pijler en overeenkomstige opbouwphase ($\bar{u}_A$). Omdat in het modelonderzoek met de enkele pijler van een afwijkende schadevaststelling sprake was (er waren géén gekleurde stroken), werden in de Tussenpadgoot aanvullende proeven gedaan met overeenkomstig gekleurde stroken en dezelfde modelbestorting ($D_{50} = 4,86 \cdot 10^3$ m) als in de Golfbak. De invloed van de iets afwijkende lengteschaalfactor (50 in plaats van 45) werd hierbij verwaarloosd. Omdat in beide genoemde modelfaciliteiten dezelfde modelbestorting werd gebruikt en omdat het hier ging om een onderlinge vergelijking, werden de waarden voor $\bar{u}_A$ en $\bar{u}_B$ niet omgerekend naar een relatieve dichtheid van $\Delta = 1,65$.

opbouw- fase	enkele pijler			bouwfrontsituatie					$\frac{\bar{u}_B \text{ gekor.}}{\bar{u}_A}$	k_5
	$\bar{u}_A$ in m/s	schade aantal stenen	k_{3A}	proef	$\bar{u}_B$ in m/s	k_{3B}	$\frac{k_{3A}}{k_{3B}}$	$\bar{u}_B$ gekor. in m/s		
a	0,32	44	0,63	T1	0,26	0,66	0,95	0,25	0,78	0,9
b	0,34	140	0,61	T1	0,31	0,63	0,97	0,30	0,88	1,0
c	0,29	202	0,57	T3	0,25	0,58	0,98	0,25	0,86	1,0
d	0,25	101	0,49	T3	0,23	0,51	0,96	0,22	0,88	1,0

Bepaling invloedsfaktor voor het bouwfront

In bovenstaande tabel is de invloedsfaktor voor het bouwfront, k_5 , als volgt bepaald: Voor de kritieke stroomsnelheid bij de enkele pijler $\bar{u}_A$ is uitgegaan van de definitie, die door het betreffende onderzoek gebezigd werd. Bij die stroomsnelheid is de schade (aantal stenen) bepaald volgens dezelfde methode als gebruikt bij het onderzoek bij het bouwfront. De stroomsnelheid voor de bouwfrontsituatie is bij een overeenkomstig aantal stenen afgelezen uit de schade stroomsnelheidsgrafieken (figuur 26). Daarna is een korrektie uitgevoerd voor de afwijkende invloedsfaktor voor de geometrische vernauwing van het doorstroomprofiel: k_{3A}/k_{3B} . Volgens de definitie zou de invloedsfaktor voor het bouwfront nu de verhouding zijn tussen de stroomsnelheden van bouwfrontsituatie en enkele pijler: $\bar{u}_B \text{ gekor.} / \bar{u}_A$.

Bij een beschouwing van de resultaten valt op, dat de opbouwfasen b, c en d één zelfde faktor te zien geven, namelijk ca. 0,87. De verwachting was dat deze faktor zeker voor de opbouwfasen c en d circa 1,0 zou zijn, in verband met de volledige uitbouw van het bouwfront over de gootbreedte, waardoor de situaties met enkele pijler en met bouwfront vrijwel identiek zouden moeten zijn. De relatief grotere stroomaanval, ofwel kleinere stroombestendigheid, bij de bouwfrontsituatie werd echter waarschijnlijk veroorzaakt door de lagere watertemperatuur, waardoor de viscositeit van het water groter was. In de Golfbak varieerde de temperatuur van het water namelijk tussen de 0° en 6° , bij de Tussenpadgoot tussen 13° en 14° (zie ook M 1524, deel I). Aldus kan de verhouding tussen de stroomsnelheden van bouwfront en enkele pijler met een korrektiefaktor $1/0,87$ vermenigvuldigd worden.

Resumé:

opbouwfase	k_5
a	0,9
b	1,0
c	1,0
d	1,0

zie tabel 10

4.3 Invloedsfaktor voor scheve aanstroming k_6

De faktor k_6 , die zoals bekend uit M 1524 deel I, een faktor voor de invloed van schede aanstroming (15°) is, werd als volgt bepaald.

Voor de opbouwfasen a en b werden de kritieke stroomsnelheden op 50 m uit de as bovenstrooms van het beschouwde aantastingsgebied van T5 vergeleken met die van T9, welke proeven volgens tabel 1 dezelfde randvoorwaarden hebben, uitgezonderd de aanstroomrichting.

- voor opbouwfase a : $k_6 = 0,98$

- voor opbouwfase b : $k_6 = 0,72$.

Bij T6 werden de factoren k_6 voor beide opbouwfasen gelijk verondersteld aan die van T5.

Voor de proeven T7 en T8 kon geen faktor k_6 bepaald worden aangezien er geen vergelijkbare proeven met rechte aanstroming zijn uitgevoerd.

Voor de opbouwfasen c en d werden de kritieke stroomsnelheden van T13 vergeleken met die van T15.

- voor opbouwfase c : $k_6 = 0,96$

- voor opbouwfase d : $k_6 = 0,93$.

Aan de golfproef T14 werden dezelfde k_6 -factoren toegekend als de stroomproef T13.

Resumé	proefnr.	opbouwfase	k_6	zie tabel 10
	T5-T9	a	0,98	
	T5-T9	b	0,72	
	T13-T15	c	0,96	
	T13-T15	d	0,93	

De lage waarde van k_6 voor opbouwfase b wordt toegeschreven aan de omstandigheid dat de bovenkant van de bestorting gelijk lag met de bovenkant van de pijlervoetplaat (zie figuur 10).

4.4 Invloedsfaktor voor golven k_7

De faktor voor de golfinvloed k_7 werd berekend door voor alle golfproeven (even proefnummers) de kritieke stroomsnelheden op 50 m uit de as bovenstrooms van het beschouwde aantastingsgebied, te delen door die van de voorafgaande stroomproeven.

De k_7 -factoren, die met behulp van de proeven T1 ... T10 zijn bepaald, worden verder buiten beschouwing gelaten, omdat de randvoorwaarden wat betreft golfhoogte en waterdiepte in een later stadium (T11 ... T16) aan de inmiddels gewijzigde inzichten werden aangepast.

Hieronder volgt een overzicht van de k_7 -factoren die verder in de berekeningen zijn gebruikt (zie ook tabel 10).

proefnr.	aanstroom- richting	opbouwfase	k_7
(T12)	0°	a	0,93
(T12)	0°	b	0,93
T16	0°	c	0,89
T16	0°	d	0,99
T12	15°	a	0,93
T12	15°	b	0,93
T14	15°	c	0,85
T14	15°	d	0,91

De k_7 -factoren voor de opbouwfasen a en b bij een aanstroomrichting van 0° konden niet uit de modelresultaten bepaald worden, omdat met deze opbouwfasen en aanstroomrichting geen proeven zijn gedaan met een waterdiepte van $h = 25,0$ m en een inkomende golfhoogte van $H_i = 2,0$ m. Derhalve werden de k_7 -factoren voor deze situaties gelijk gesteld aan de factoren welke behoren bij de opbouwfasen a en b bij een aanstroomrichting van 15° .

proef- nr.	pijler- afstand (m)	aanstroom- richting (°)	opbouw- fase	D ₅₀ grind (model) (mm)	h water- diepte (m)	golf- periode (s)	H _i inkomende golfhoogte (m)
T1	40	0	a,b	4,86	20,0	-	-
T2	40	0	a,b	4,86	20,0	7,6	3,0
T3	40	0	c,d	4,86	20,0	-	-
T4	40	0	c,d	4,86	20,0	7,6	3,0
T5	45	15	a,b	4,86	20,0	-	-
T6	45	15	a,b	4,86	20,0	7,6	3,0
T7	45	15	c,d	11,0	20,0	-	-
T8	45	15	c,d	11,0	20,0	7,6	3,0
T9	45	0	a,b	4,86	20,0	-	-
T10	45	0	a,b	4,86	20,0	7,6	3,0
T11	45	15	a,b	4,86	25,0	-	-
T12	45	15	a,b	4,86	25,0	5,4	≈2,0
T13	45	15	c,d	11,0	25,0	-	-
T14	45	15	c,d	11,0	25,0	5,4	≈2,0
T15	45	0	c,d	11,0	25,0	-	-
T16	45	0	c,d	11,0	25,0	5,4	≈2,0

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven

proef- nr.	$\bar{u}_0$ aanstroom- snelheid (m/s)	raai- nr.	$\bar{u}/\bar{u}_0$ gemiddelde vertikaalsnelheid/aanstroomsnelheid, in de aangegeven vertikaal															
			A'	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
T1,T2	0,27	I		0,98		0,95		1,05		1,02		1,02		1,01		1,00		0,97
		II		0,92	0,87	0,88	0,86	0,91	0,94	0,95	1,01	1,01	1,09	1,18	1,19	1,14	1,12	1,17
		III		p	1,49	p	1,48	p	1,51	p	1,55	p	1,48	1,44	1,31	1,27	1,27	1,24
T3,T4	0,17	I		0,99		1,01		1,05		1,01		1,00		0,97		0,95		1,00
		II		0,96	0,99	1,00	0,99	1,03	1,07	1,05	1,06	1,03	1,06	1,02	1,03	1,05	1,04	1,05
		III		p	1,84	p	2,02	p	1,90	p	1,87	p	1,84	p	1,92	1,95	1,78	1,84
T5,T6	0,19	I	1,02		1,00		1,03		1,03		0,98		0,97		0,98	0,99		
		II	0,82	0,84	0,90	0,91	0,97	0,99	1,05	1,05	1,08	1,09	1,24	1,25	1,29	1,31		
		III	0,96	p	1,49	p	1,54	p	1,63	p	1,62	p	1,18	1,55	1,46	1,42		
T7,T8	0,23	I	1,01		1,01		1,04		1,02		1,02		0,98		0,95	0,97		
		II	0,84	0,86	0,94	0,96	0,98	1,05	1,14	1,06	1,13	1,13	1,14	1,15	1,23	1,20		
		III	1,34	p	1,99	p	2,04	p	2,05	p	2,07	p	2,07	p	2,17	2,10	2,14	
T9,T10	0,26	I		1,04		0,98		1,05		0,95		1,01		0,98		1,01		
		II	0,82	0,94	0,98	0,92	0,96	0,96	1,00	0,95	1,04	1,02	1,11	1,15	1,17	1,17		
		III	1,50	p	1,55	p	1,52	p	1,55	p	1,48	p	1,47	1,34	1,29	1,29		
T11,T12	0,20	I	1,01		0,96		0,99		1,04		1,00		0,99		1,03	1,01		
		II	0,75	0,79	0,83	0,87	0,92	0,93	0,93	0,92	0,99	1,04	1,12	1,19	1,23	1,21		
		III	0,88	p	1,31	p	1,32	p	1,41	p	1,44	p	1,35	1,45	1,35	1,31		
T13,T14	0,28	I	0,96		0,99		1,03		1,00		0,99		0,96		1,01	1,02		
		II	0,92	0,89	0,91	0,91	1,02	1,03	1,06	1,02	1,07	1,05	1,08	1,08	1,17	1,20		
		III	1,23	p	1,70	p	1,76	p	1,76	p	1,71	p	1,70	p	1,82	1,78		
T15,T16	0,30	I		1,03		1,01		1,00		0,99		0,96		0,99		0,98		
		II	0,93	0,95	0,98	0,96	0,98	1,04	1,06	0,98	1,07	1,01	1,01	1,01	1,08	1,07		
		III	1,73	p	1,76	p	1,78	p	1,75	p	1,71	p	1,70	p	1,70	1,71		

p = pijler

Tabel 2 Stroomsnelheidsverdeling in dwarsrichting

proef- nr. T	aan- stroom snelheid (m/s)	H _i (m)	totale schade in aangegeven zone										opmerkingen
			5		4		3		2		1		
			R	L	R	L	R	L	R	L	R		
1	0,165		0	0	0	0	0	0	0	0	2	$\bar{u}_0$ in modelwaarden. H _i in prototype- waarden	
	0,188		0	0	0	1	1	0	2	0	7		
	0,209		1	0	0	0	0	1	7	0	7		
	0,230		0	0	0	0	2	8	18	0	4		
	0,263		0	3	4	3	15	4	33	3	26		
	* 0,286		4	2	4	2	23	5	49	2	178		* niet meegeteld
	** 0,286		6	0	16	2	25	8	46	1	154		** proefduur 4,5 uur
	0,290		5	0	9	3	21	11	77	2	119		
	0,306		17	6	29	2	66	23	171	3	372		
	0,334		57	7	52	28	165	41	-	-	-		- afgedekt
0,341		77	14	72	20	155	62	-	-	-			
0,355		140	33	148	69	534	122	-	-	-			
2	0,165	3,8	1	0	0	0	2	0	1	0	8	*** waarschijnlijk foutieve meting	
	0,208	3,6	0	0	2	0	8	2	8	0	10		
	0,208	4,9	0	0	0	1	7	1	1	0	15		
	0,208	6,0	11	9	7	3	3	2	18	5	26		
	*** 0,22	3,6	18	29	44	42	54	44	62	44	121		
	0,22	3,6	1	1	3	0	18	0	2	0	39		
	0,231	2,9	0	1	1	4	3	0	5	0	47		
	0,231	3,6	1	2	8	1	20	1	21	0	56		
	0,231	4,5	5	0	8	1	15	2	12	2	54		
	0,231	5,4	16	6	6	5	31	1	21	2	75		
	0,231	5,4	5	8	12	5	69	7	15	2	92		
	0,231	6,0	8	19	5	3	20	4	12	2	78		
	0,254	0,9	8	1	19	1	10	5	20	0	84		
	0,254	2,2	0	1	15	1	16	2	9	2	215		
	0,254	3,1	0	4	12	1	35	0	33	2	204		
	0,254	3,1	0	0	10	2	36	3	36	2	204		
	0,290	3,1	2	4	13	9	29	5	-	-	-		
	0,290	5,7	26	47	26	21	87	14	-	-	-		
	0,307	5,4	52	58	43	33	85	14	-	-	-		
	0,342	5,0	138	216	126	59	230	61	-	-	-		
3	0,175		8	6	15	5	5	3	12	6	8		
	0,202		6	16	16	15	21	7	32	7	8		
	0,225		65	47	98	67	81	61	80	41	25		
	0,240		126	128	151	175	198	114	195	91	58		
4	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0,073	3,0	0	1	0	0	1	0	5	0	0		
	0,082	3,1	5	1	1	1	0	3	42	4	1		
	0,101	2,9	7	5	0	10	2	2	33	2	29		
	0,127	2,9	59	48	46	15	31	18	195	97	160		
	0,144	2,9	147	108	152	27	141	106	484	140	173		
	0,155	3,0	58	140	368	27	262	85	390	102	346		
5	0,204		6	0	7	0	5	1	6	0	6		
	0,219		2	0	12	0	17	0	19	0	10		

Tabel 3 Overzicht resultaten T1 ... T5

proef nr. T	aan- stroom snelheid (m/s)	H _i (m)	totale schade in aangegeven zone										opmerkingen
			5		4		3		2		1		
			R	L	R	L	R	L	R	L	R		
5	0,227		19	3	18	0	38	0	27	0	42	u _o in modelwaarden H _i in prototype- waarden	
	0,250		45	0	91	0	71	1	67	0	67		
	0,276		160	0	267	2	360	2	231	5	170		
6	0,137	3,0	0	0	4	0	4	0	0	0	1	- afgedekt	
	0,155	3,2	1	0	25	0	90	0	2	0	2		
	0,167	3,2	2	0	51	0	120	0	3	0	16		
	0,182	2,8	14	0	78	0	270	0	56	0	61		
	0,206	3,0	33	0	168	0	464	0	114	0	349		
7	0,216		0	0	0	0	0	0	2	0	1		
	0,242		0	0	1	0	5	0	17	2	9		
	0,261		0	0	0	0	8	0	16	0	16		
	0,280		2	0	8	0	13	2	35	3	34		
	0,308		15	0	7	0	29	3	58	11	65		
	0,326		27	1	24	1	71	6	175	7	101		
	0,348		46	7	33	14	88	8	189	31	224		
	0,372		104	8	75	13	-	-	-	-	-		
	0,389		171	30	183	35	-	-	-	-	-		
8	0,110	3,2	0	0	1	0	1	0	1	0	0		
	0,134	3,0	1	0	4	0	7	0	13	0	7		
	0,152	2,9	3	0	6	0	44	0	18	0	57		
	0,173	3,1	4	0	34	0	46	0	74	0	177		
	0,194	3,0	24	0	51	1	77	0	249	0	281		
	0,219	2,9	40	0	95	-	-	-	-	-	-		
	0,246	2,9	71	0	139	-	-	-	-	-	-		
9	0,224		0	2	3	0	2	1	14	0	14		
	0,253		3	7	14	2	6	3	11	2	18		
	0,273		10	23	15	4	27	6	85	4	119		
	0,301		19	10	22	10	76	14	127	4	283		
	0,325		45	27	71	32	-	-	-	-	-		
	0,344		104	33	138	60	-	-	-	-	-		
	0,376		250	118	397	146	-	-	-	-	-		
10	0,218	2,8	3	1	4	1	1	0	6	1	18		
	0,250	3,2	11	4	7	1	41	10	32	3	148		
	0,228	3,2	14	10	10	10	52	7	89	3	303		
	0,316	3,0	46	38	76	32	-	-	-	-	-		
11	0,191		0	0	0	0	0	0	3	0	3		
	0,216		6	0	10	0	10	0	11	1	29		
	0,242		10	0	27	0	49	0	21	0	33		
	0,264		36	2	59	0	119	1	52	0	72		
	0,283		99	4	149	2	235	3	128	4	358		

Tabel 4 Overzicht resultaten T5 ... T11

proef nr. T	aan- stroom snelheid (m/s)	H _{max} (m)		totale schade in aangegeven zone										opmerkingen
		P4R	P2R	5	4		3		2		1			
		m	m	R	L	R	L	R	L	R	L	R		
12	0,191	1,4	2,3	3	0	2	0	14	0	0	0	4	$\bar{u}_0$ in model- waarden H_i in proto- typewaar- den	
	0,191	2,1	2,0	4	2	0	0	7	0	0	0	5		
	0,191	3,4	4,7	12	0	11	0	19	0	5	0	12		
	0,216	2,0	2,3	23	0	6	0	30	0	5	0	28		
	0,216	2,8	3,4	28	0	16	0	48	0	4	0	59		
	0,242	1,7	2,1	67	0	40	0	101	0	31	0	108		
	0,242	2,3	2,9	82	0	51	0	95	0	30	0	191		
	0,242	3,5	4,6	306	0	78	0	299	4	33	0	398		
	0,264	1,9	1,8	112	0	79	0	152	2	31	2	183		
	0,264	2,5	2,9	143	0	130	3	272	0	109	4	273		
13	0,283			5	0	4	0	7	0	4	0	11	- afgedekt	
	0,300			5	0	8	0	13	2	12	0	10		
	0,334			4	2	17	1	20	3	23	1	24		
	0,350			15	1	22	3	37	3	56	4	61		
	0,392			34	1	63	6	103	20	152	24	146		
	0,419			92	18	128	18	-	-	-	-	-		
14	0,282	1,8	1,8	2	0	3	0	12	0	15	0	20		
	0,282	2,4	3,1	8	0	5	0	4	0	24	1	48		
	0,282	2,8	3,4	9	0	6	0	17	0	35	0	0		
	0,310	2,2	2,0	7	0	1	0	34	0	24	0	43		
	0,310	3,1	3,7	29	0	17	0	39	0	136	1	103		
	0,334	1,9	1,8	14	0	20	0	33	2	70	1	65		
	0,334	2,8	3,0	25	7	36	0	53	0	189	4	145		
	0,350	2,9	2,4	67	0	47	0	-	-	-	-	-		
15	0,355			9	6	23	13	16	18	26	22	12		
	0,390			47	32	46	40	52	38	57	67	42		
	0,414			67	77	104	76	104	263	111	388	116		
16	0,300	2,9	3,0	22	7	9	8	10	4	31	12	17	niet verwerkt herhaling	
	0,300	2,9	3,0	17	7	13	1	10	14	20	11	17		
	0,334	2,8	3,4	40	17	11	13	34	24	39	22	44		
	0,355	2,6	3,3	30	23	19	22	40	40	58	42	64		
	0,390	2,5	3,4	69	69	66	58	113	83	125	83	106		

Tabel 5 Overzicht resultaten T12 ... T16

proef nr. T	stroomsnelheid (10 ⁻² m/s)					golf H _i (m)	schade (aantal stenen)				opmerkingen
	$\bar{u}_0$	$\bar{u}_5$	$\bar{u}_4$	$\bar{u}_2$	$\bar{u}_1$		P5R	P4R	P2R	P1R	
5	20,4			21,4	22,2				6	6	$\bar{u}_0 \dots \bar{u}_5$ in modelwaarden
	20,4	17,1	18,6				6	7			
	21,9			23,0	23,9				19	16	H _i in prototypewaarden
	21,9	18,4	19,9				2	12			
	22,7			23,8	24,7				27	42	
	22,7	19,1	20,7				19	18			
	25,0			26,3	27,3				67	67	
	25,0	21,0	22,8				45	91			
	27,6			29,0	30,1				231	170	
	27,6	23,2	25,1				160	267			
6	13,7			14,4	14,9	3,0			0	1	
	13,7	11,5	12,5			3,0	0	4			
	15,5			16,3	16,9	3,0			2	2	
	15,5	13,0	14,1			3,0	1	25			
	16,7			17,5	18,2	3,0			3	16	
	16,7	14,0	15,2			3,0	2	51			
	18,2			19,1	19,8	3,0			56	61	
	18,2	15,3	16,6			3,0	14	78			
	20,6			21,6	22,5	3,0			114	349	
	20,6	17,3	18,7			3,0	33	168			
7	21,6			22,9	24,4				2	1	
	21,6	18,6	20,7				0	0			
	24,2			25,7	27,3				17	9	
	24,2	20,8	23,2				0	1			
	26,1			27,7	29,5				16	16	
	26,1	22,4	25,1				0	0			
	28,0			29,7	31,6				35	34	
	28,0	24,1	26,9				2	8			
	30,8			32,6	34,8				58	65	
	30,8	26,5	29,6				15	7			
	32,6			34,6	36,8				175	101	
	32,6	28,0	31,3				27	24			
	34,8			36,9	39,3				189	224	
	34,8	29,9	33,4				46	33			
	37,2	32,0	35,7				104	75			
	38,9	33,5	37,3				171	183			
8	11,0			11,7	12,4	3,0			1	0	
	11,0	9,5	10,6			3,0	0	1			
	13,4			14,2	15,1	3,0			13	7	
	13,4	11,5	12,9			3,0	1	4			
	15,2			16,1	17,2	3,0			18	57	
	15,2	13,1	14,6			3,0	3	6			
	17,3			18,3	19,5	3,0			74	177	
	17,3	14,9	16,6			3,0	4	34			
	19,4			20,6	21,9	3,0			249	281	
	19,4	16,7	18,6			3,0	24	51			
	21,9	18,8	21,0			3,0	40	95			
	24,6	21,2	23,6			3,0	71	139			

Tabel 7 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid
T5 ... T8

proef nr.	stroomsnelheid (10 ⁻² m/s)					golf H _i (m)	schade (aantal stenen)				opmerkingen	
	T	$\bar{u}_0$	$\bar{u}_5$	$\bar{u}_4$	$\bar{u}_2$		$\bar{u}_1$	P5R	P4R	P2R		P1R
9	22,4				21,3	22,8				14	14	$\bar{u}_0 \dots \bar{u}_5$ in modelwaarden H _i in prototypewaarden
	22,4	21,1	20,6				0	3				
	25,3				24,0	25,8				11	18	
	25,3	23,8	23,3				3	14				
	27,3				25,9	27,8				85	119	
	27,3	25,7	25,1				10	15				
	30,1				28,6	30,7				127	283	
	30,1	28,3	27,7				19	22				
	32,5	30,6	29,9				45	71				
	34,4	32,3	31,6				104	138				
	37,6	35,3	34,6				250	397				
10	21,0				20,0	21,4	3,0			6	18	t = 5,4 s
	21,0	19,7	19,3				3,0	3	4			
	25,0				23,8	25,5	3,0			32	148	
	25,0	23,5	23,0				3,0	11	7			
	27,8				26,4	28,4	3,0			89	303	
	27,8	26,1	25,6				3,0	14	10			
	31,6	29,7	29,1				3,0	46	76			
11	19,1				17,6	19,9				3	3	
	19,1	15,1	16,6				0	0				
	21,6				19,9	22,5				11	29	
	21,6	17,1	18,8				6	10				
	24,2				22,3	25,2				21	33	
	24,2	19,1	21,1				10	27				
	26,4				24,3	27,5				52	72	
	26,4	20,9	23,0				36	59				
28,3				26,0	29,4				128	358		
	28,3	22,4	24,6				99	149				
12	19,1				19,9	2,0				7		
	19,1		16,6			2,0		6				
	21,6				22,5	2,0				49		
	21,6		18,8			2,0		15				
	24,2				25,2	2,0				210		
	24,2		21,1			2,0		66				
	26,4				27,5	2,0				285		
26,4		23,0			2,0		175					
13	28,2				28,8	29,6				4	11	
	28,2	25,1	25,7				5	4				
	30,0				30,6	31,5				12	10	
	30,0	26,7	27,3				5	8				
	33,4				34,1	35,1				23	24	
	33,4	29,7	30,4				4	17				
	35,0				35,7	36,8				56	61	
	35,0	31,2	31,9				15	22				
	39,2				40,0	41,2				152	146	
39,2	34,9	35,7				34	63					
	41,9	37,3	38,1				92	128				

Tabel 8 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid
T9 ... T13

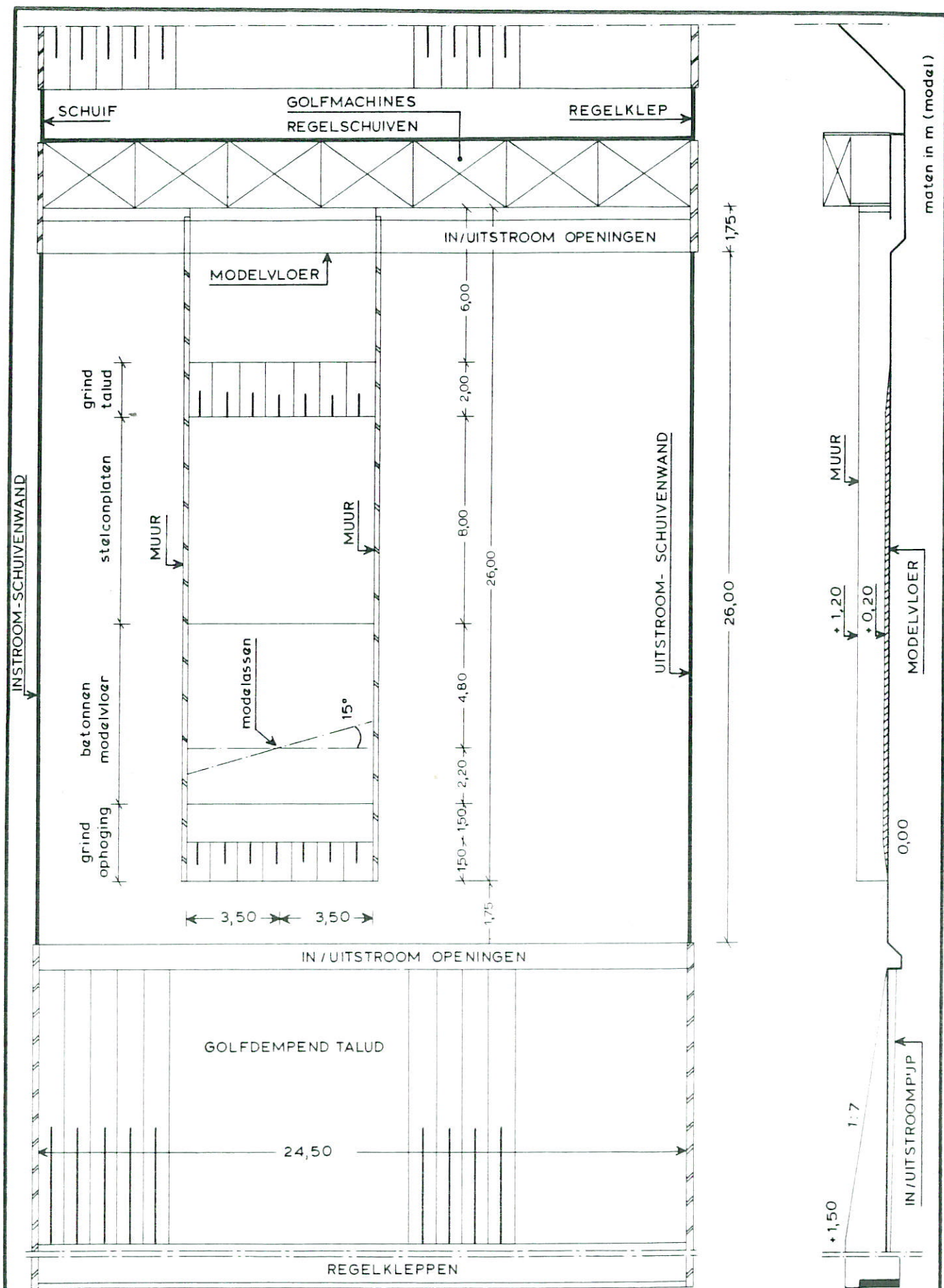
proef nr. T	stroomsnelheid (10 ⁻² m/s)					golf H _i (m)	schade (aantal stenen)				opmerkingen
	$\bar{u}_0$	$\bar{u}_5$	$\bar{u}_4$	$\bar{u}_2$	$\bar{u}_1$		P5R	P4R	P2R	P1R	
14	28,2			28,8		2,0			23		t = 5,4 s $\bar{u}_0 \dots \bar{u}_5$ in modelwaarden H _i in proto- typewaarden
	28,2		25,7			2,0		7			
	31,0			31,6		2,0			90		
	31,0		28,2			2,0		15			
	33,4			34,1		2,0			189		
	33,4		30,4			2,0		42			
	35,0		31,9			2,0		48			
15	35,5			34,8	35,9				26	22	} pijler 1L
	35,5	33,7	34,1				9	23			
	39,0			38,2	39,4				57	67	
	39,0	37,1	37,4				47	46			
	41,4			40,6	41,8				111	388	
	41,4	39,0	39,7				67	104			
16	30,0			29,4		2,0			20		t = 5,4 s
	30,0		28,8			2,0		9			
	33,4			32,7		2,0			36		
	33,4		32,1			2,0		11			
	35,5			34,8		2,0			54		
	35,5		34,1			2,0		24			
	39,0			38,2		2,0			118		
	39,0		37,4			2,0		71			

Tabel 9 Schade per zone, met de bijbehorende stroomsnelheid T14 ... T16

proef nr.	kritieke zone	opbouw- fase	$\bar{u}_{kr}$ (model) bij Δ in model	$\bar{u}_{kr}$ (model) bij Δ in prototype	k_3	k_5	k_6	k_7
T1	2R	a	0,237	0,248	0,66	0,90	1	1
T1	4R	b	0,272	0,285	0,63	1	1	1
T2	1R	a	0,221	0,232	0,66	0,90	1	0,93
T2	4R	b	0,262	0,275	0,63	1	1	0,96
T3	2R	c	0,205	0,215	0,58	1	1	1
T3	4R	d	0,204	0,214	0,51	1	1	1
T4	2R	c	0,102	0,107	0,58	1	1	0,50
T4	5R	d	0,112	0,117	0,51	1	1	0,55
T5	2R	a	0,235	0,246	0,70	0,90	0,98	1
T5	5R	b	0,197	0,206	0,66	1	0,72	1
T6	1R	a	0,185	0,194	0,70	0,90	0,98	0,79
T6	4R	b	0,140	0,147	0,66	1	0,72	0,71
T7	2R	c	0,287	0,293	0,60	1	- ⁽¹⁾	1
T7	5R	d	0,277	0,283	0,53	1	-	1
T8	1R	c	0,160	0,164	0,60	1	-	0,56
T8	4R	d	0,162	0,166	0,53	1	-	0,59
T9	2R	a	0,240	0,252	0,70	0,90	1	1
T9	4R	b	0,275	0,288	0,66	1	1	1
T10	1R	a	0,215	0,225	0,70	0,90	1	0,90
T10	4R	b	0,262	0,275	0,66	1	1	0,95
T11	2R	a	0,225	0,236	0,73	0,90	-	1
T11	5R	b	0,205	0,215	0,71	1	-	1
T12	1R	a	0,210	0,220	0,73	0,90	-	0,93
T12	4R	b	0,190	0,199	0,71	1	-	0,93
T13	2R	c	0,335	0,342	0,66	1	0,96	1
T13	4R	d	0,325	0,332	0,60	1	0,93	1
T14	2R	c	0,285	0,291	0,66	1	0,96	0,85
T14	4R	d	0,295	0,301	0,60	1	0,93	0,91
T15	2R	c	0,347	0,355	0,66	1	1	1
T15	4R	d	0,350	0,358	0,60	1	1	1
T16	2R	c	0,310	0,317	0,66	1	1	0,89
T16	4R	d	0,345	0,353	0,60	1	1	0,99

Tabel 10 Overzicht k-factoren

⁽¹⁾ - werd niet bepaald



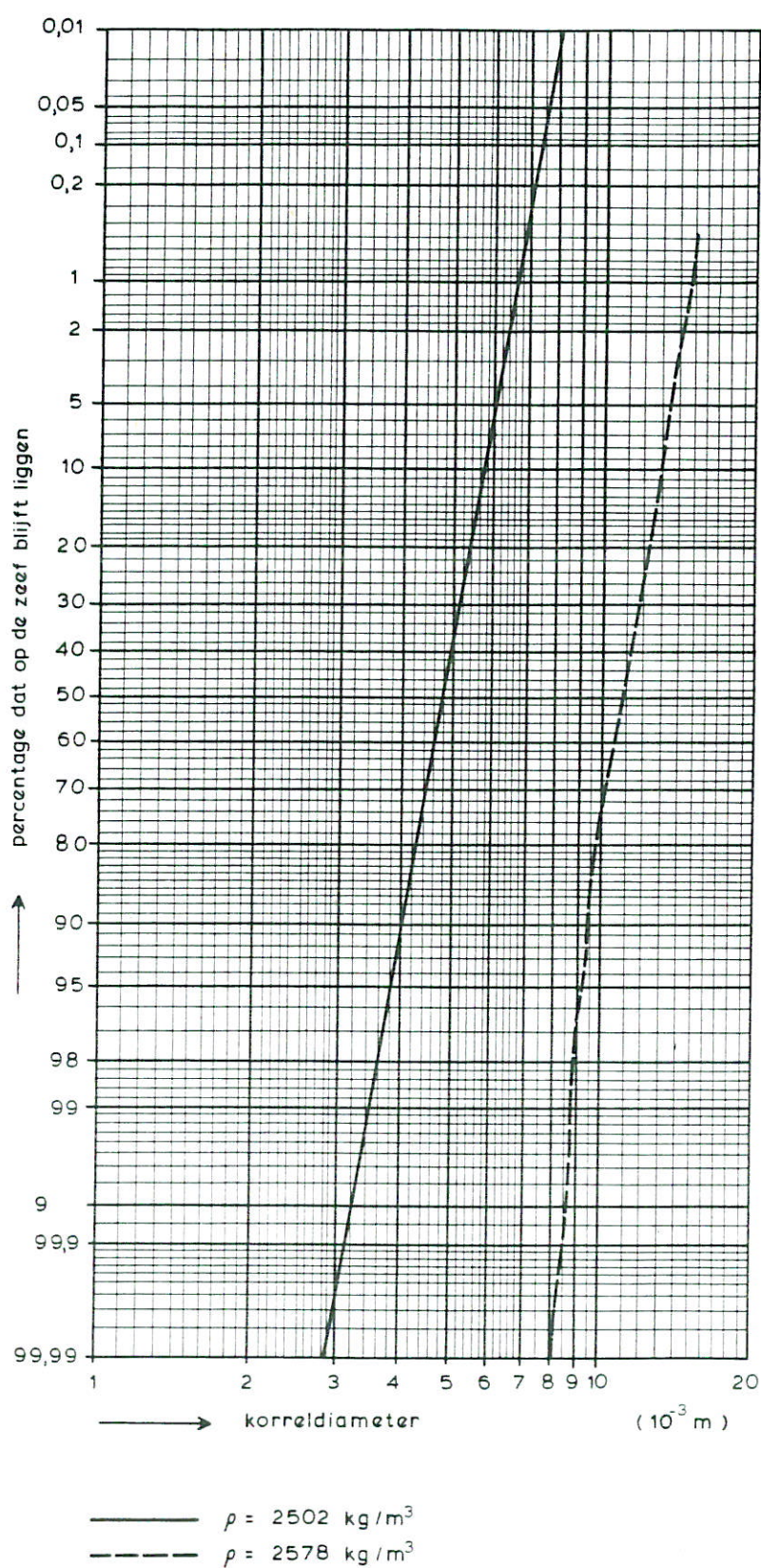
OVERZICHT GOLFBAK MET SITUATIE

MODELOPSTELLING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:200

M 1524-III FIG. 1



ZEEFKROMMEN MODELBESTORTINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III FIG. 3



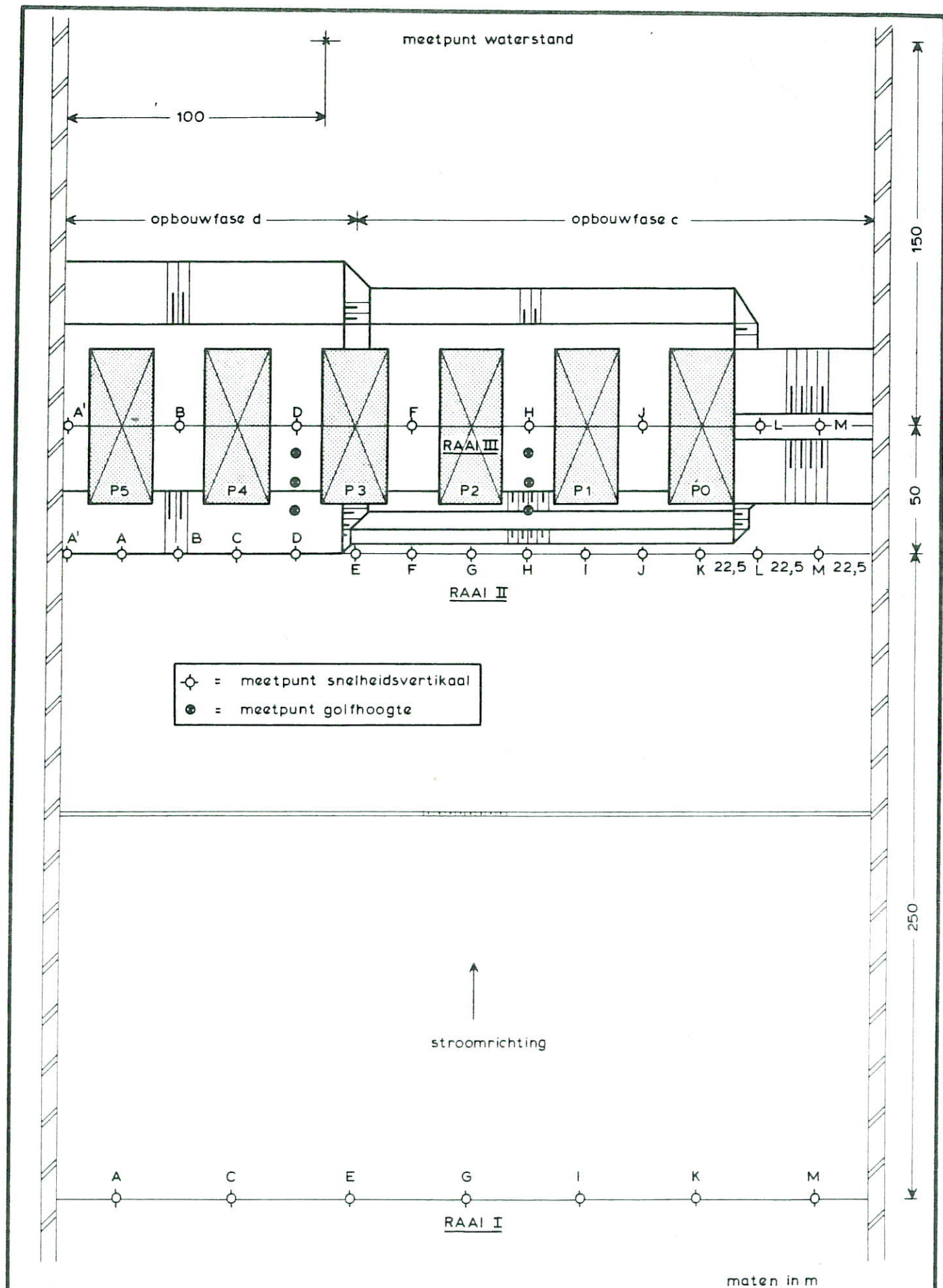
T3, T4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524 III	FIG. 5
------------	--------



FIG. 6



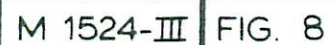
OVERZICHT MODELOPSTELLING

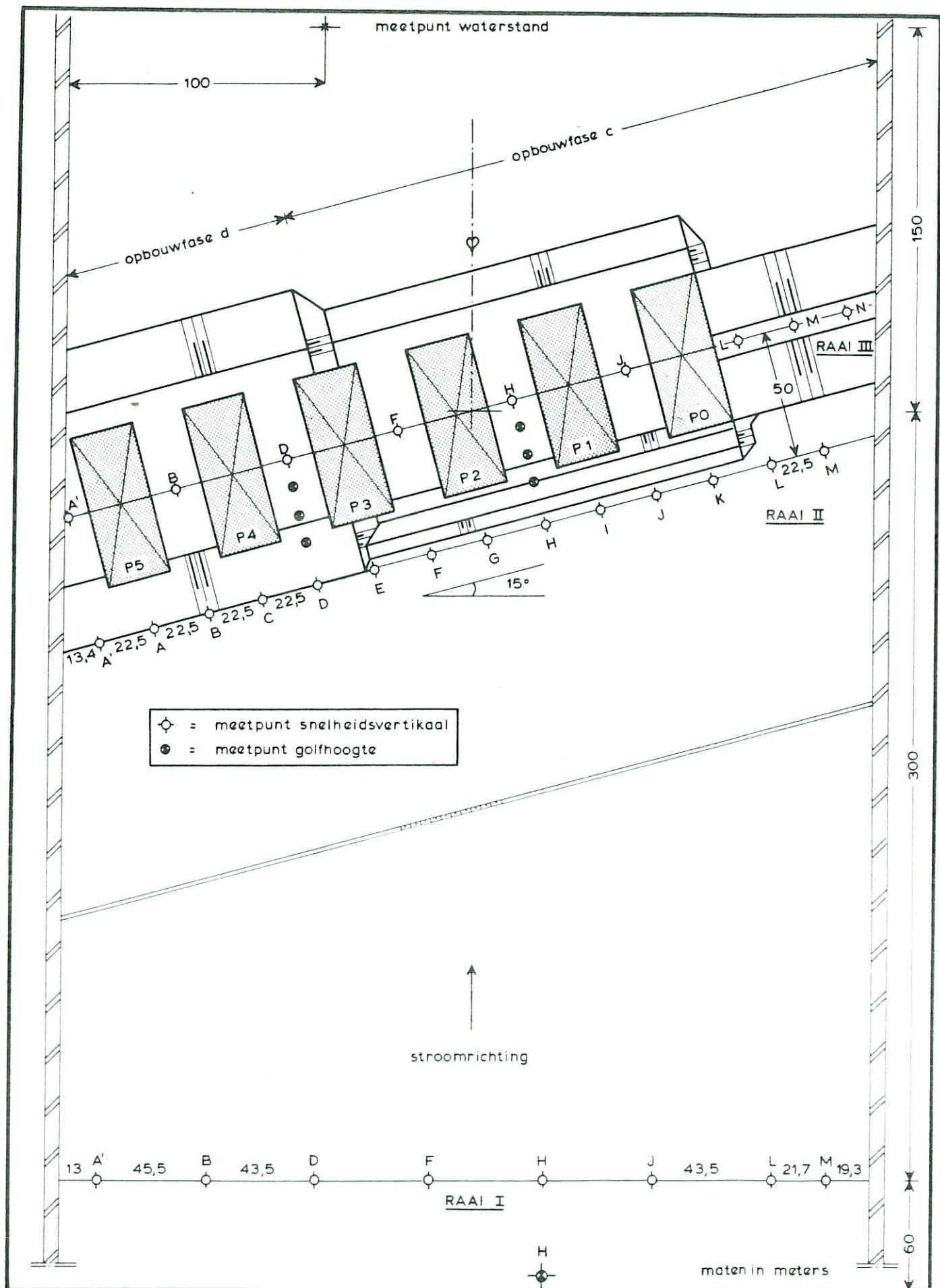
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 15, T 16

SCHAAL 1:2000

M 1524-III FIG. 7





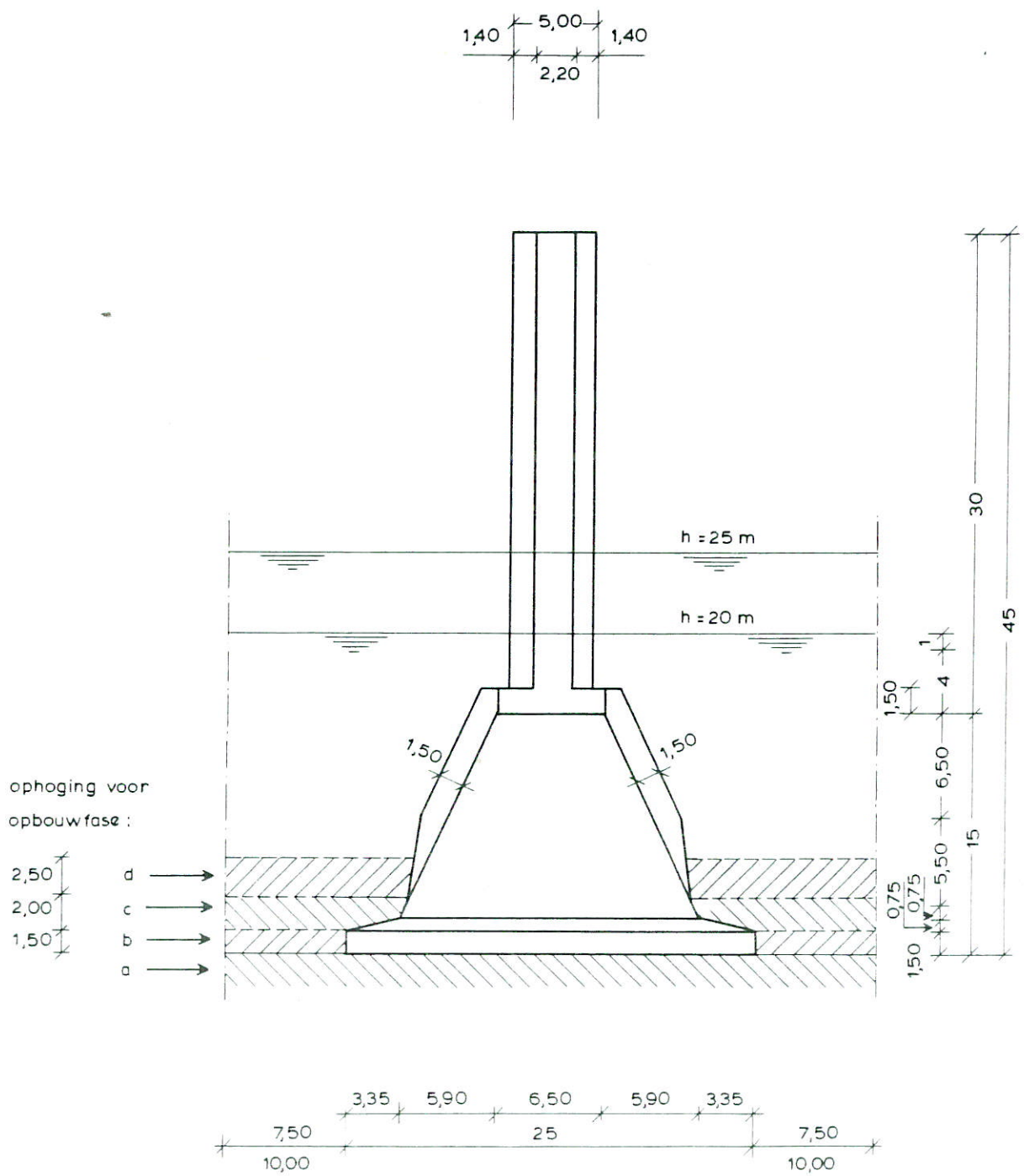
OVERZICHT MODELOPSTELLING

T7,T8,T13,T14

SCHAAL 1:2000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III FIG. 9



maten in m

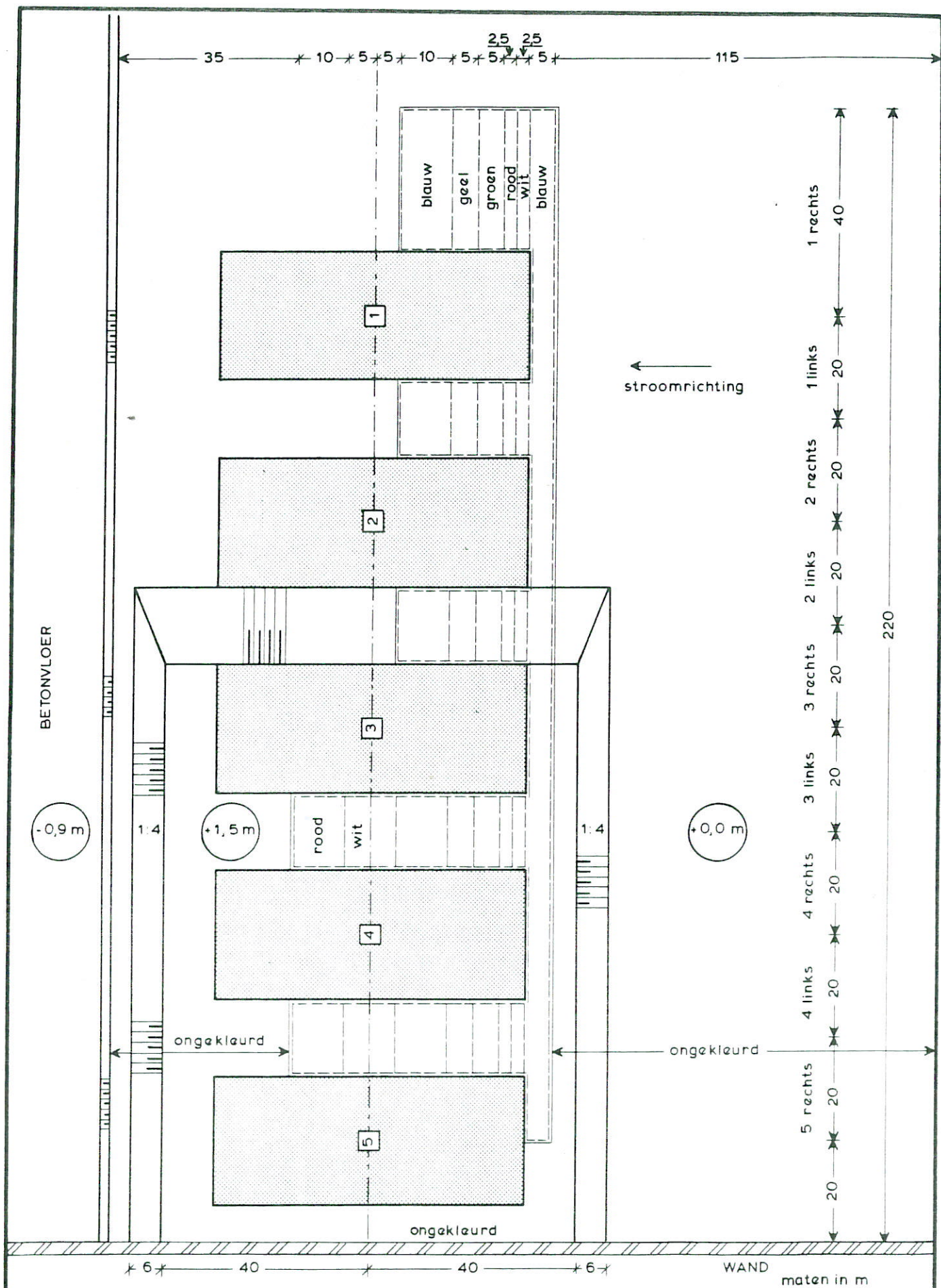
AANZICHT PIJLER MET OPBOUWFASEN DREMPEL

SCHAAL 1: 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III

FIG. 10



ZONE - EN STROOKVERDELING VAN HET STORTEBED

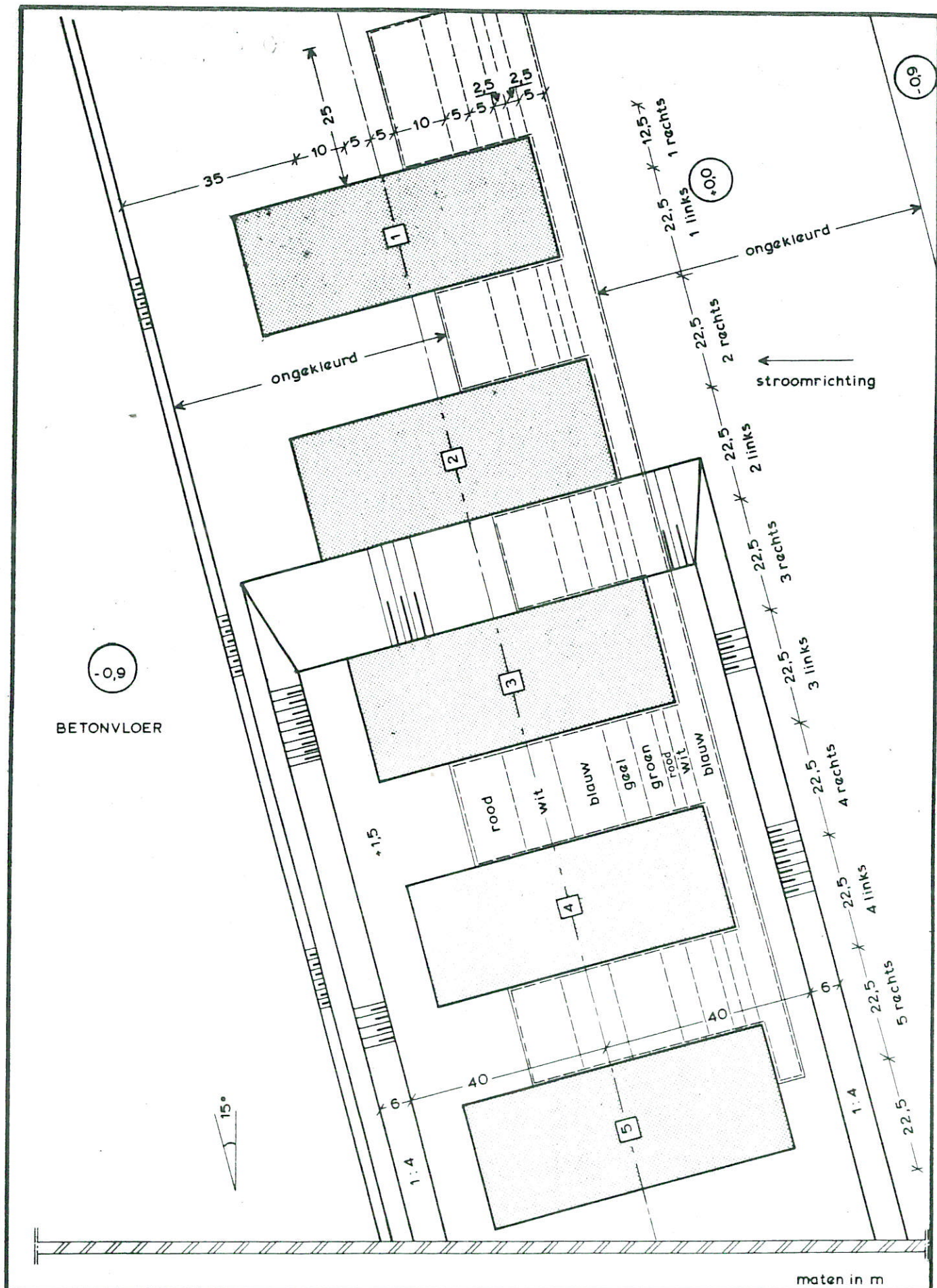
T1 , T2

SCHAAL 1: 1000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III

FIG. 11



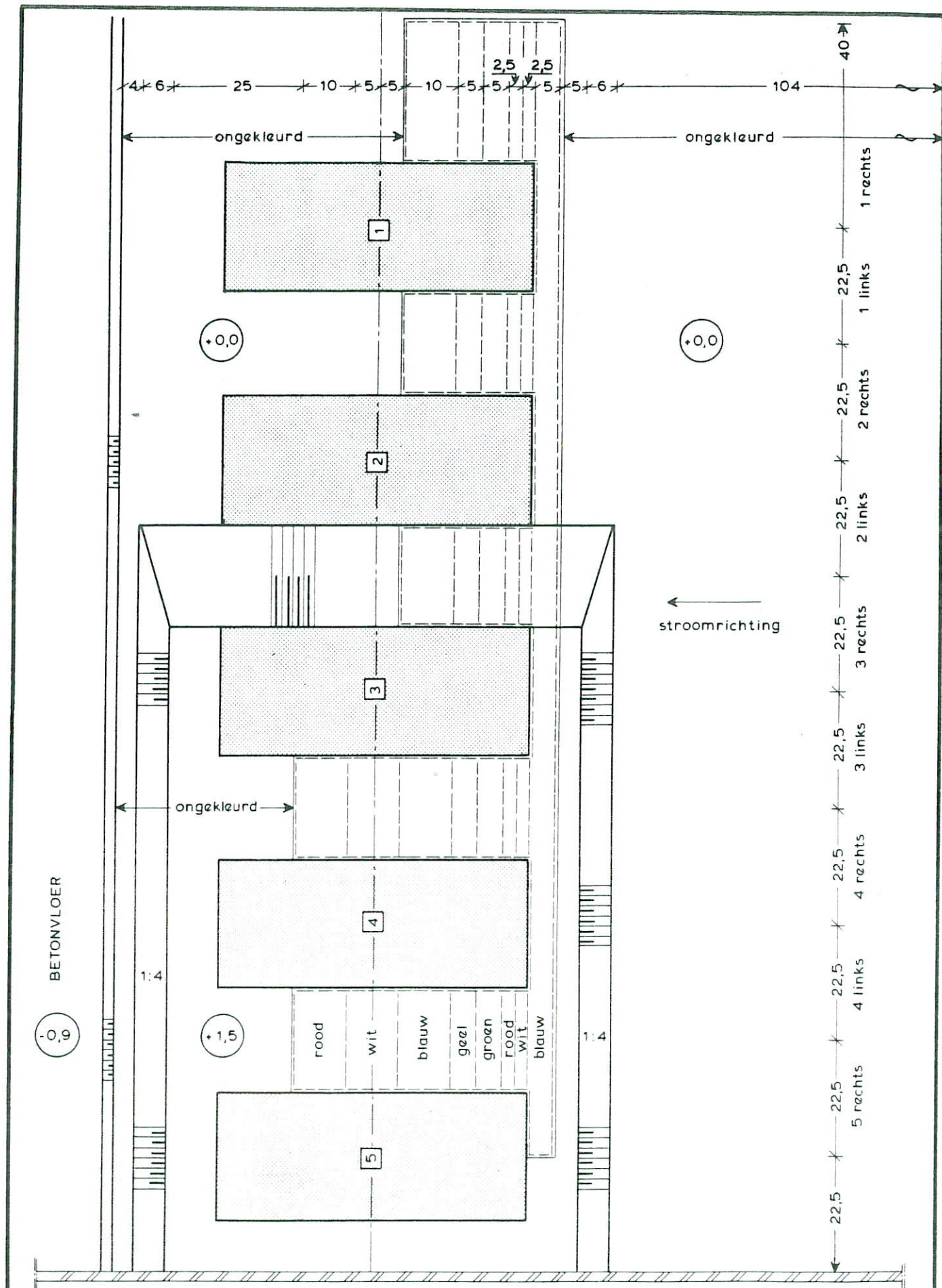
ZONE-EN STROOKVERDELING VAN HET STORTEBED

T5,T6,T11,T12

SCHAAL 1:1000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III FIG. 13



ZONE-EN STROOKVERDELING VAN HET STORTEBED

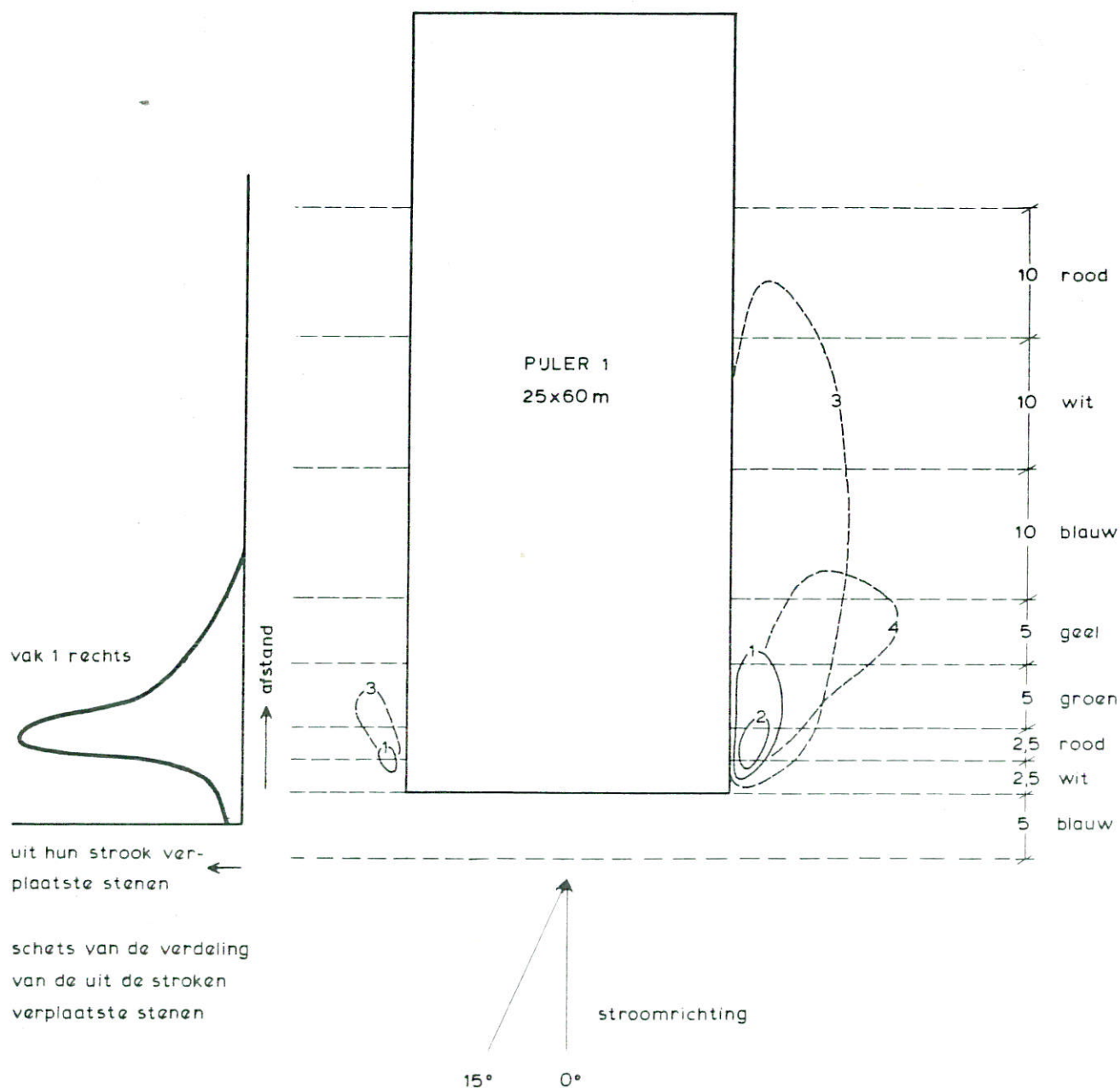
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:1000

M 1524-III FIG. 15

T9,T 10

- 1 omhullende van het gebied, waaruit de stenen verplaatst waren bij 0°
- 2 omhullende van het gebied, waaruit de stenen verplaatst waren bij 15°
- 3 omhullende van het gebied, waar de verplaatste stenen terecht kwamen bij 0°
- 4 omhullende van het gebied, waar de verplaatste stenen terecht kwamen bij 15°



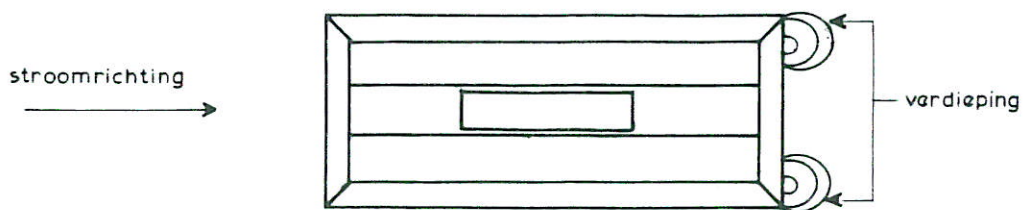
SCHETS VAN DE SCHADE BIJ PILER 1, OPBOUWFASE a

T1, T2, T5, T6, T9 ... T12

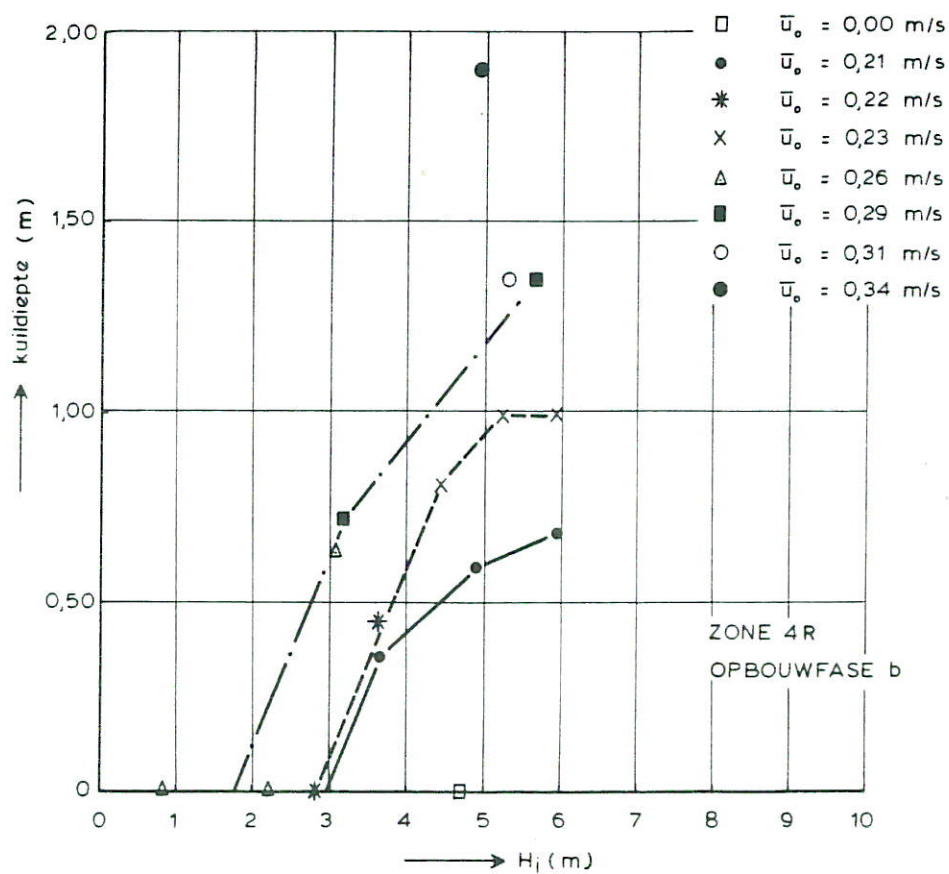
SCHAAL 1: 500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524 - III FIG. 17



BOVENAANZICHT PULER 4, OPBOUWFASE b

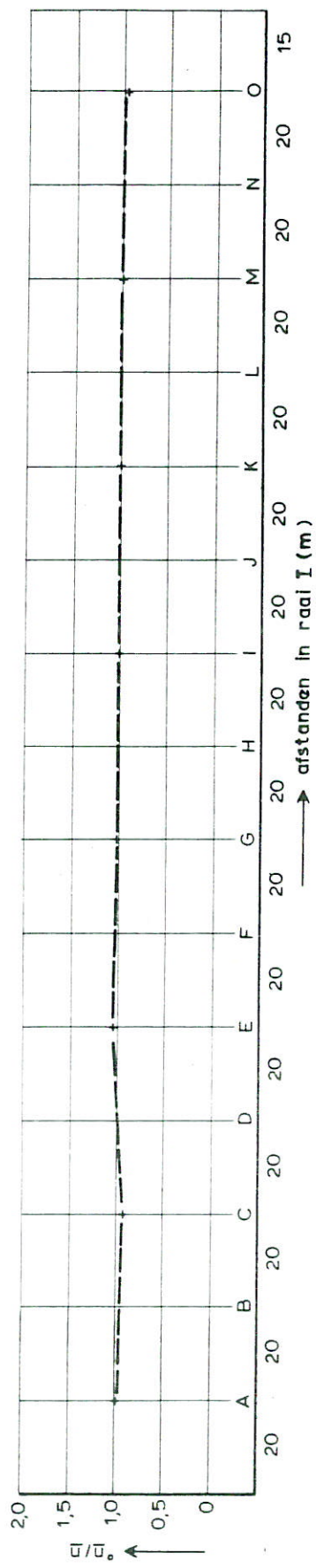


KUILVORMING AAN DE BENEDENSTROOMSE
ZIJDE VAN DE PULER

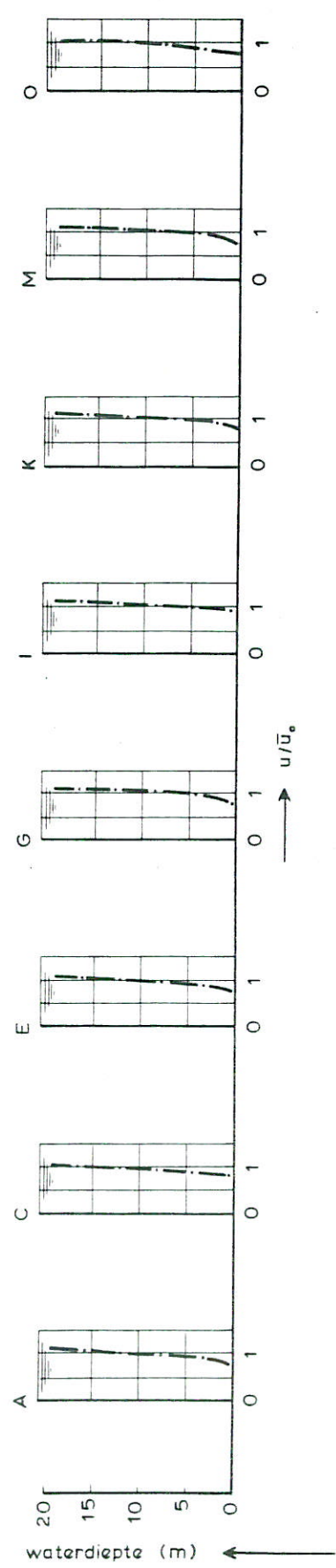
T 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1524-III FIG. 18



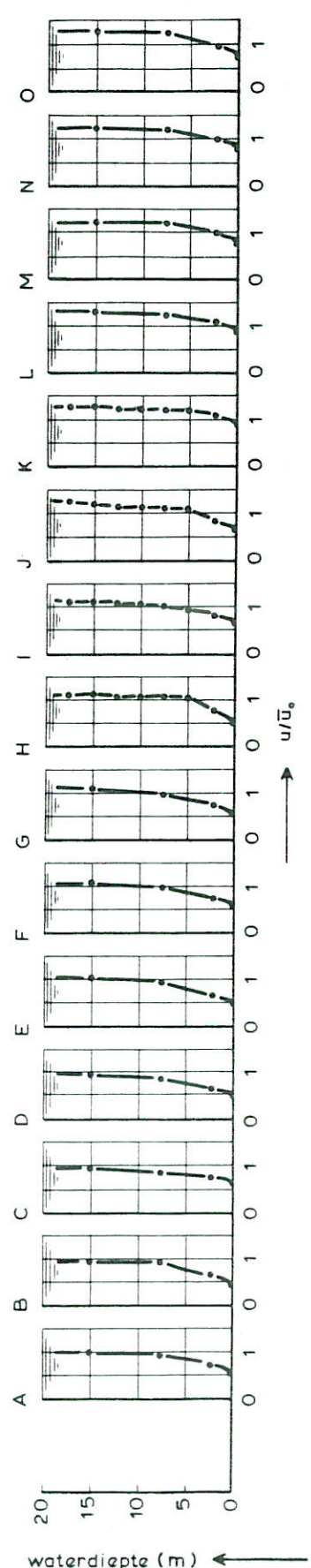
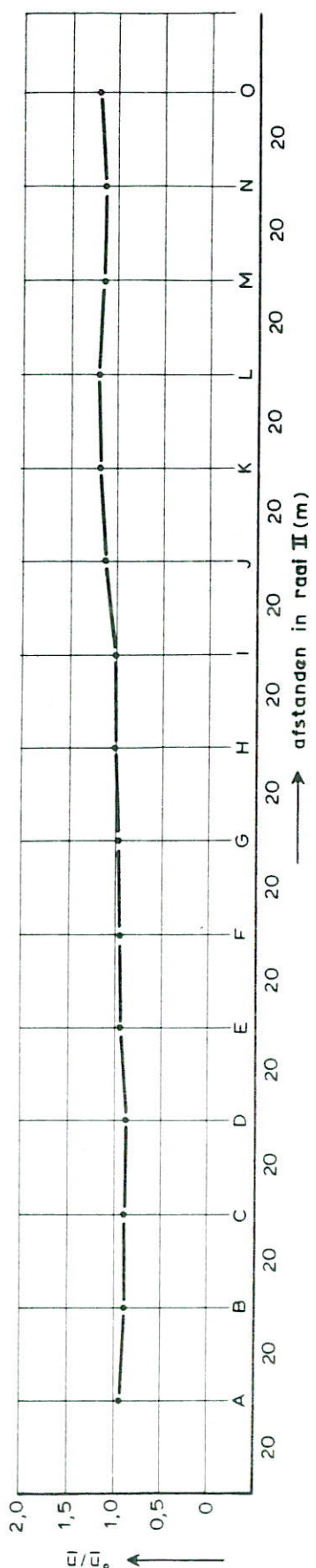
SNELHEIDSVERDELING



SNELHEIDSVERTIKALEN

STROOMSNELHEIDSVERDELING OVER RAAI I
EN SNELHEIDSVERTIKALEN.

$\bar{u}_0 = 0,27\text{m/s}$ T1, T2

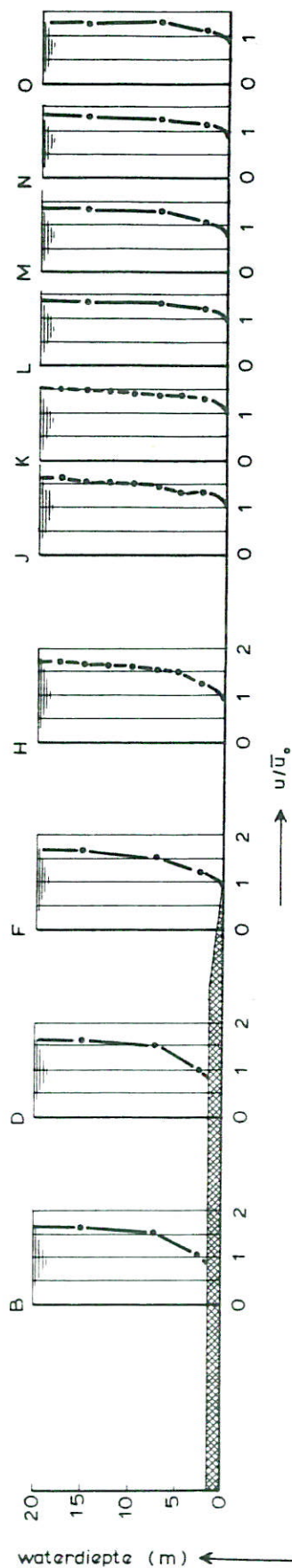
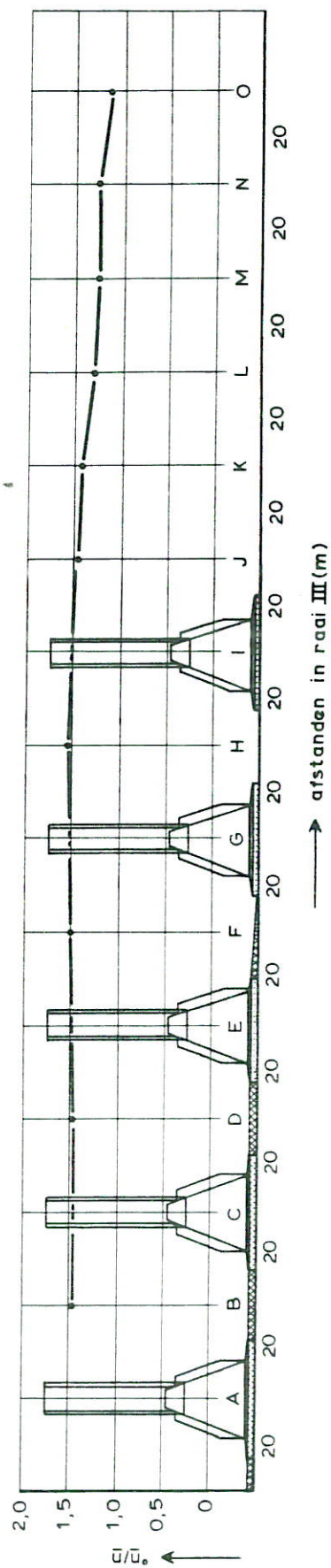


STROOMSNELHEIDSVERDELING OVER RAAI II
EN SNELHEIDSVERTIKALEN.

$\bar{u}_0 = 0,27 \text{ m/s}$ T1, T2

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M 1524-III FIG. 20



STROOMSNELHEIDSVERDELING OVER RAAI III
EN SNELHEIDSVERTIKALEN.

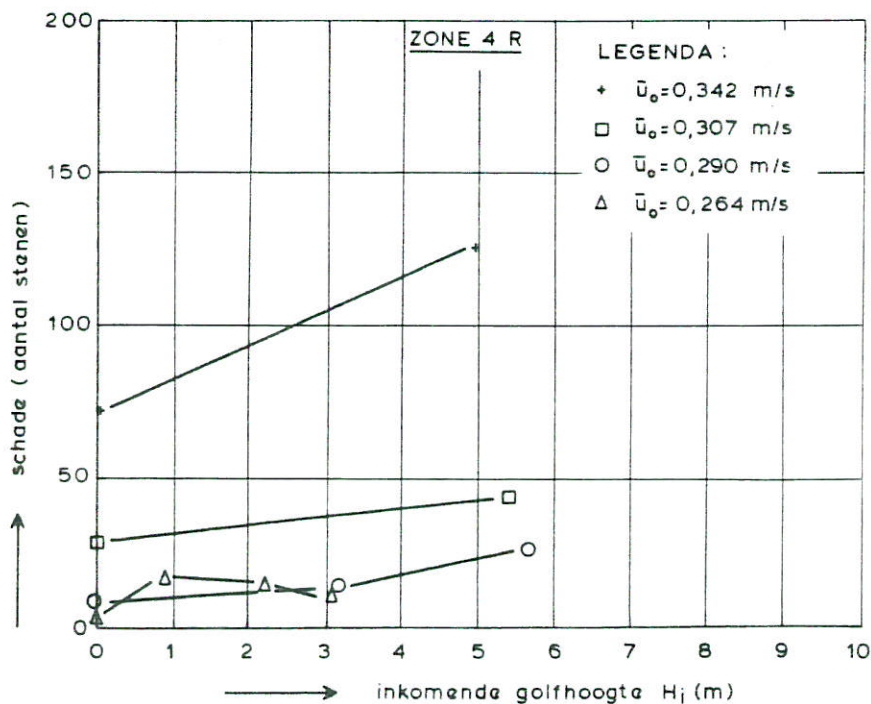
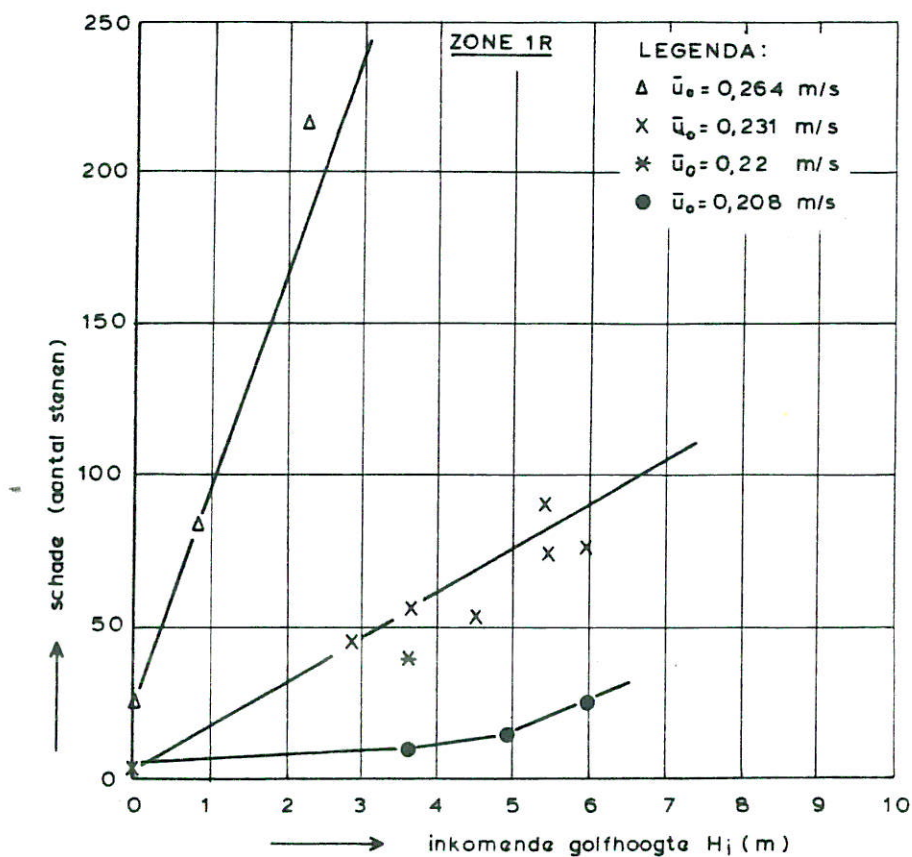
$\bar{u}_0 = 0,27 \text{ m/s}$

T1, T2

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

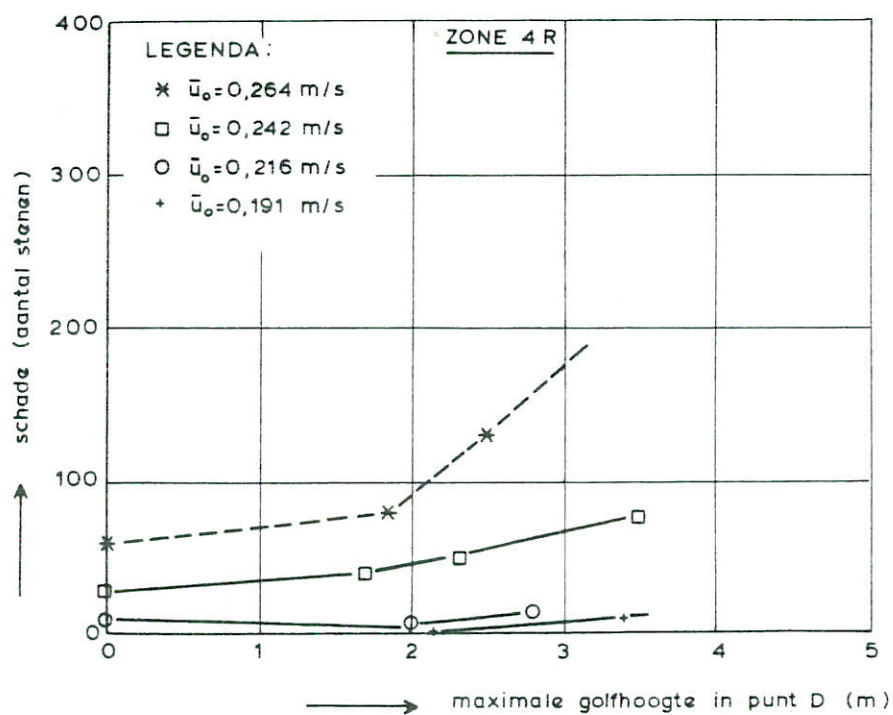
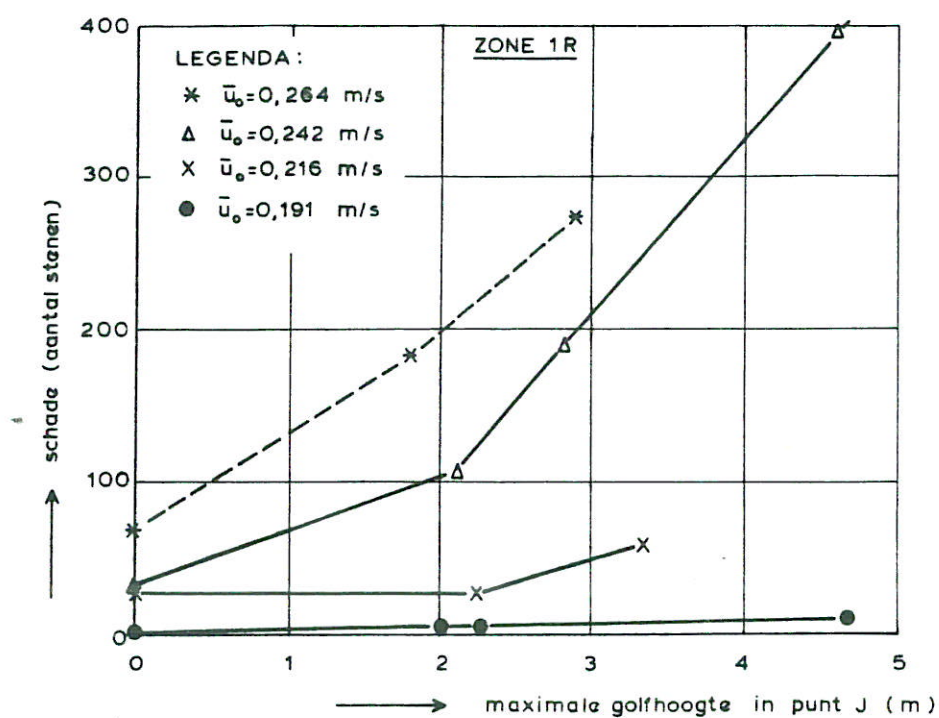
M 1524-III

FIG. 21



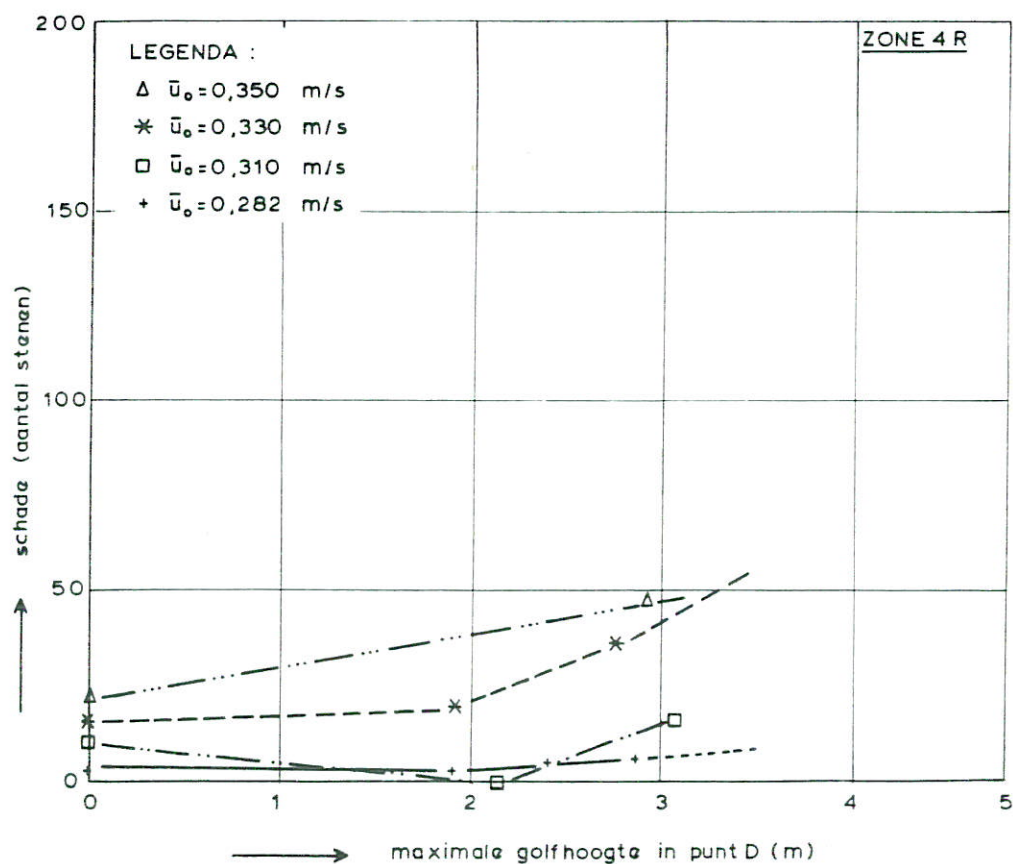
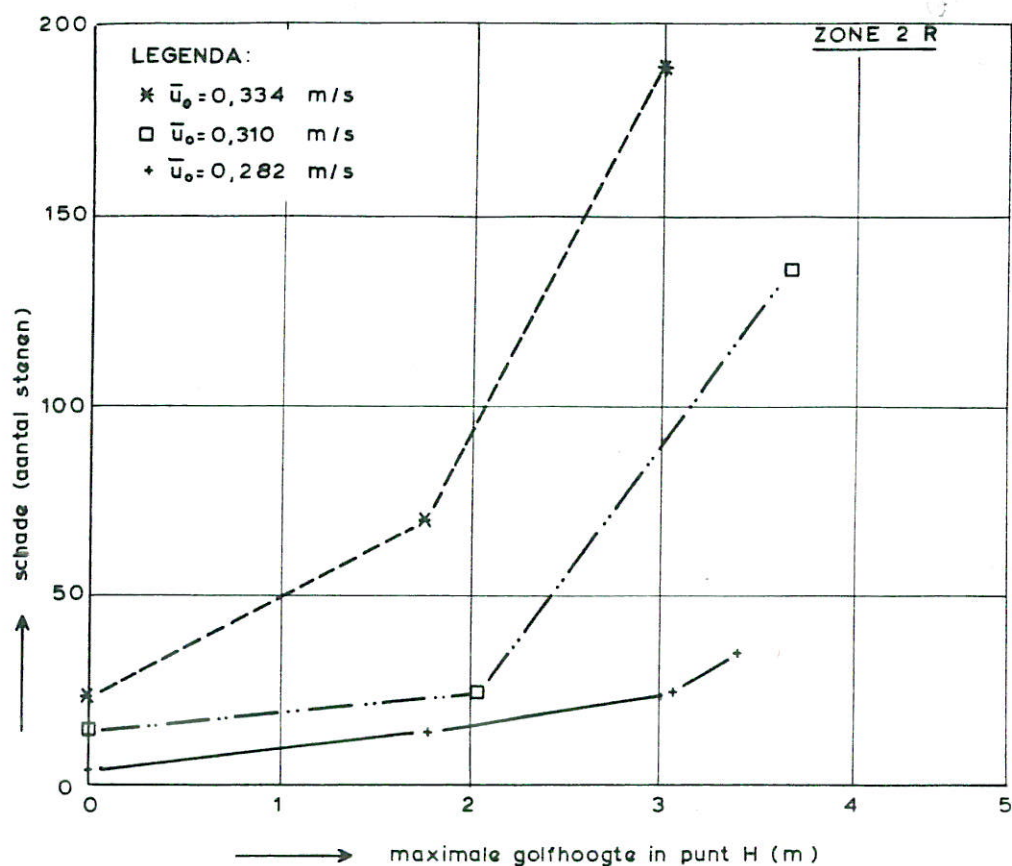
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE INKOMENDE GOLF-
HOOGTE BIJ VERSCHILLENDE STROOMSNELHEDEN.

T 2



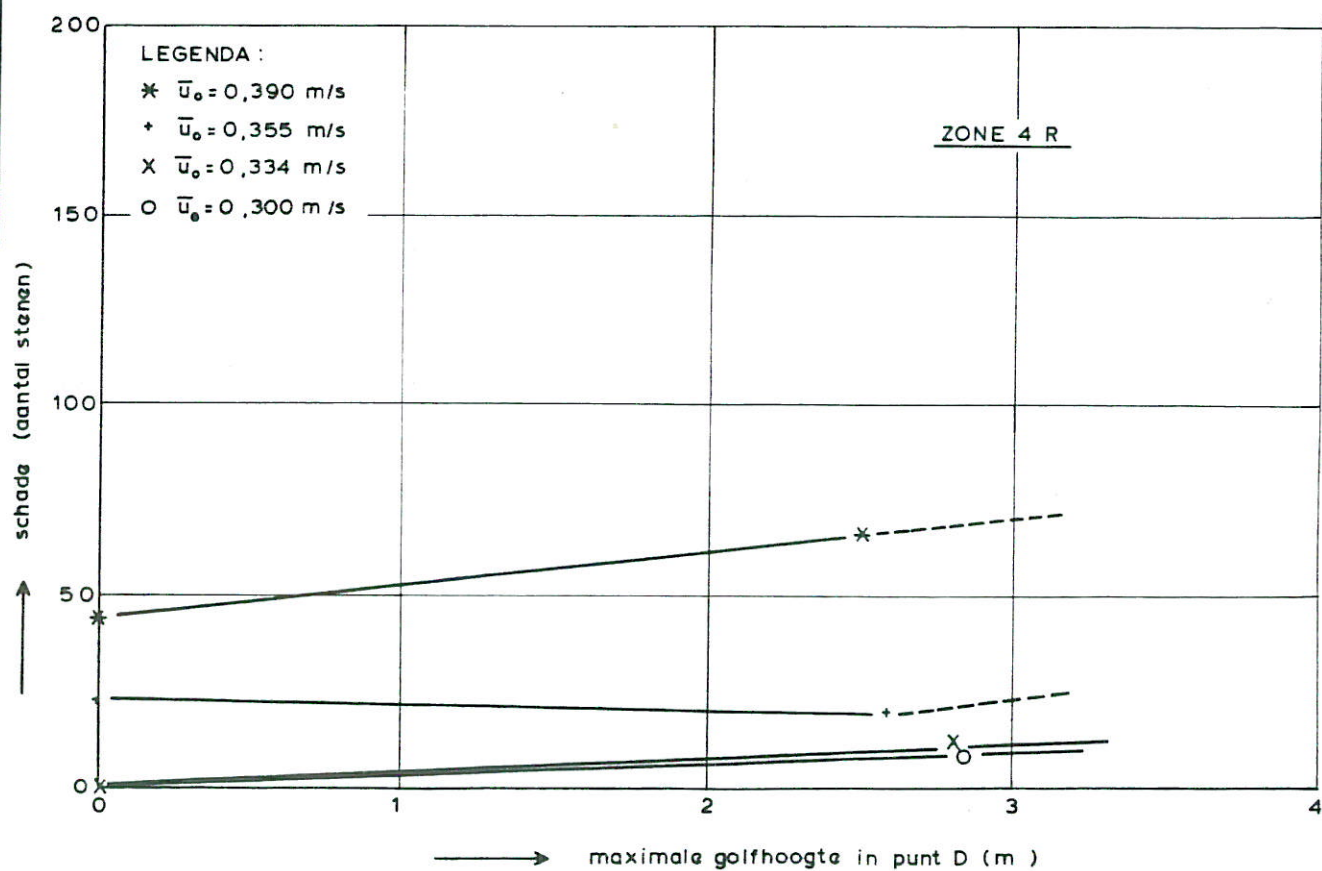
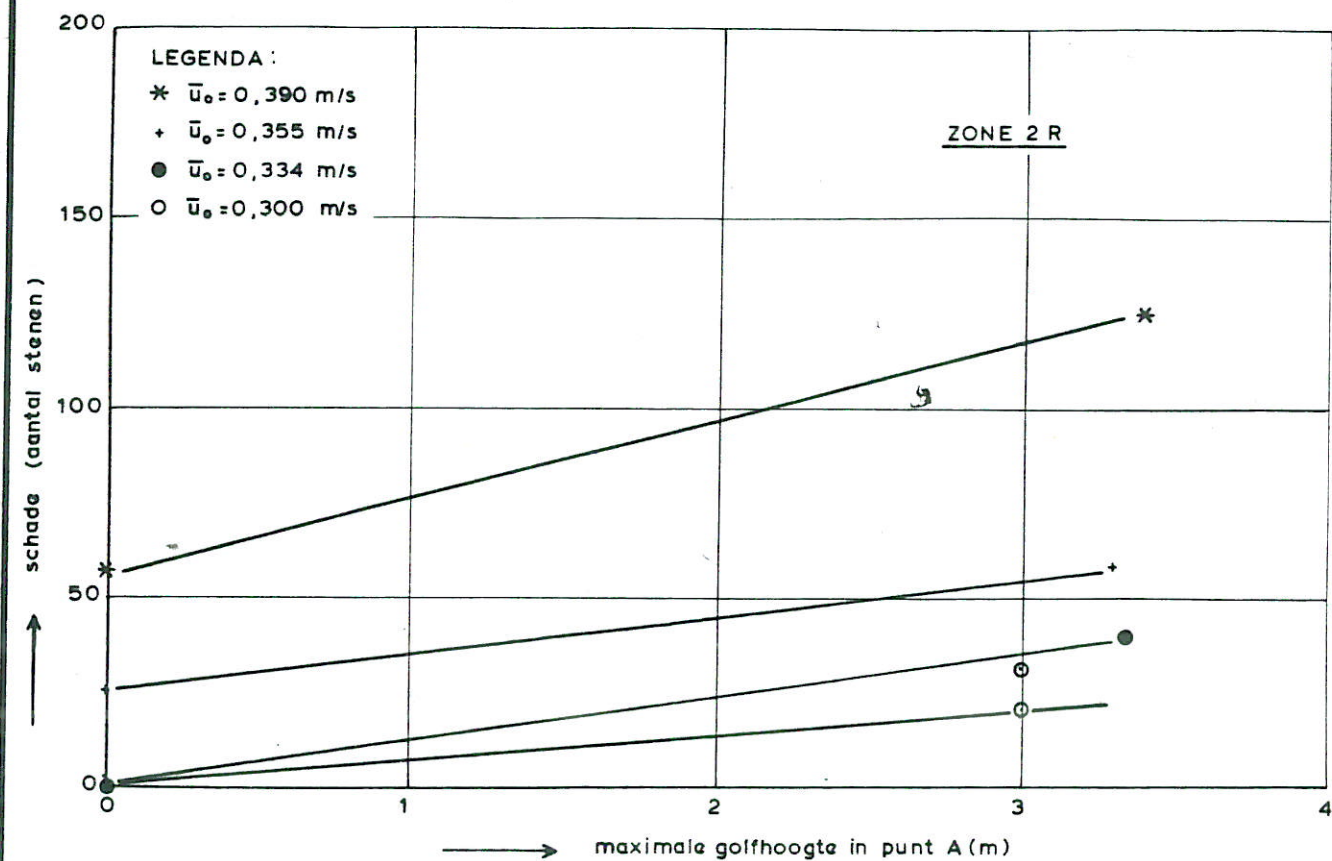
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE MAXIMALE GOLF-
HOOGTE BIJ VERSCHILLENDE STROOMSNELHEDEN.

T 12



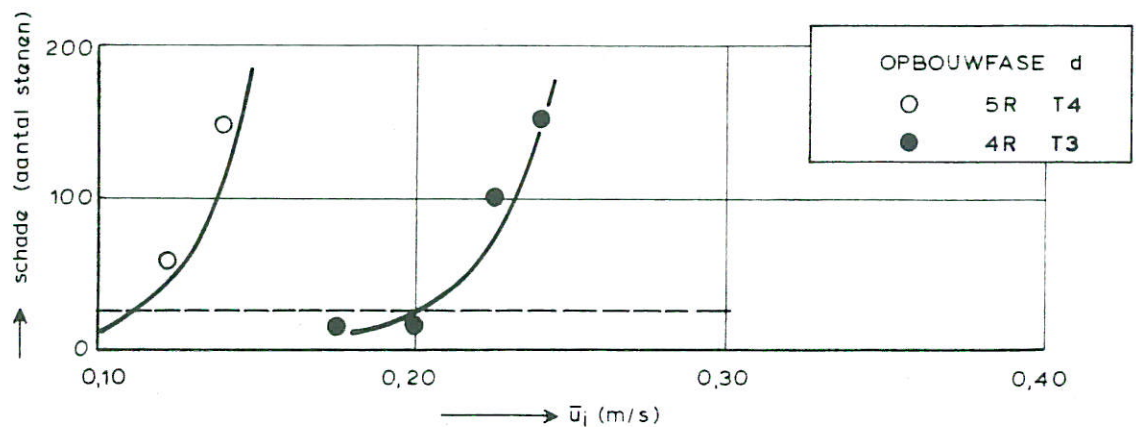
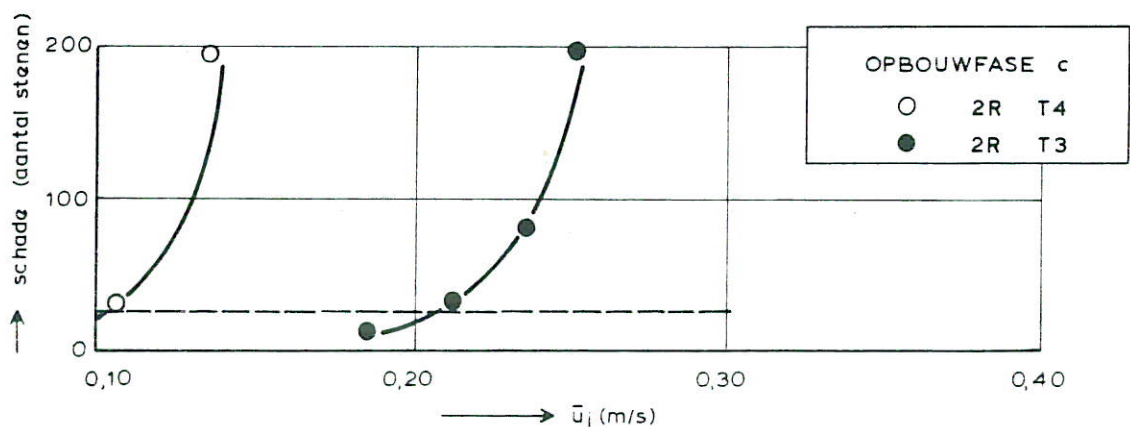
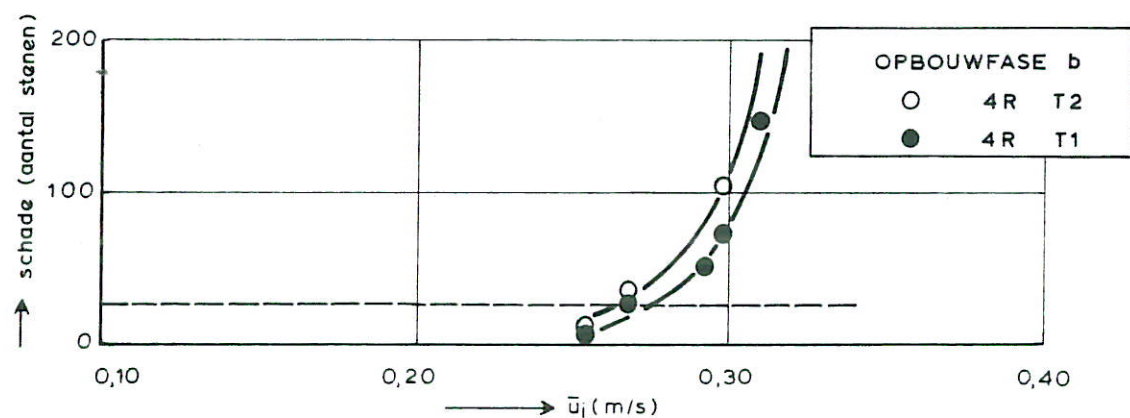
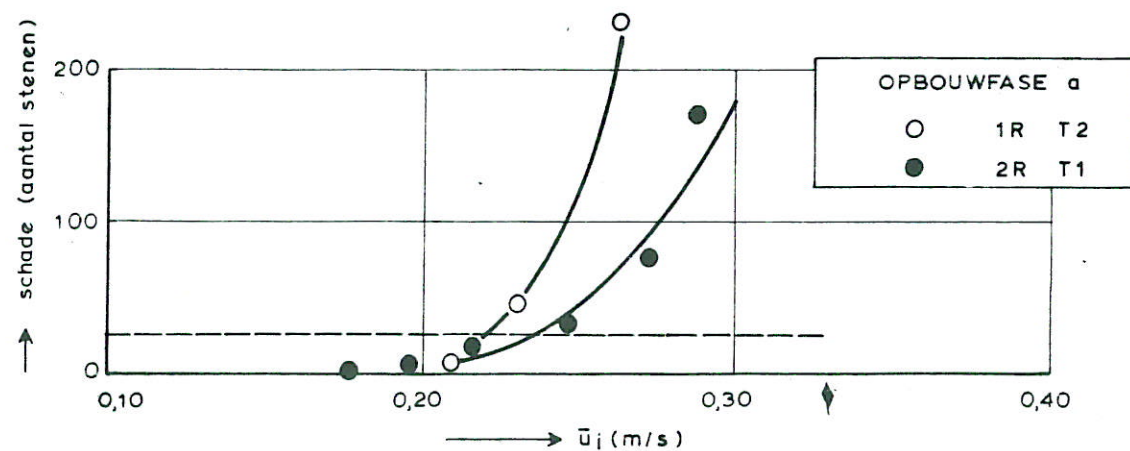
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE MAXIMALE GOLF -
HOOGTE BIJ VERSCHILLENDE STROOMSNELHEDEN.

T 14



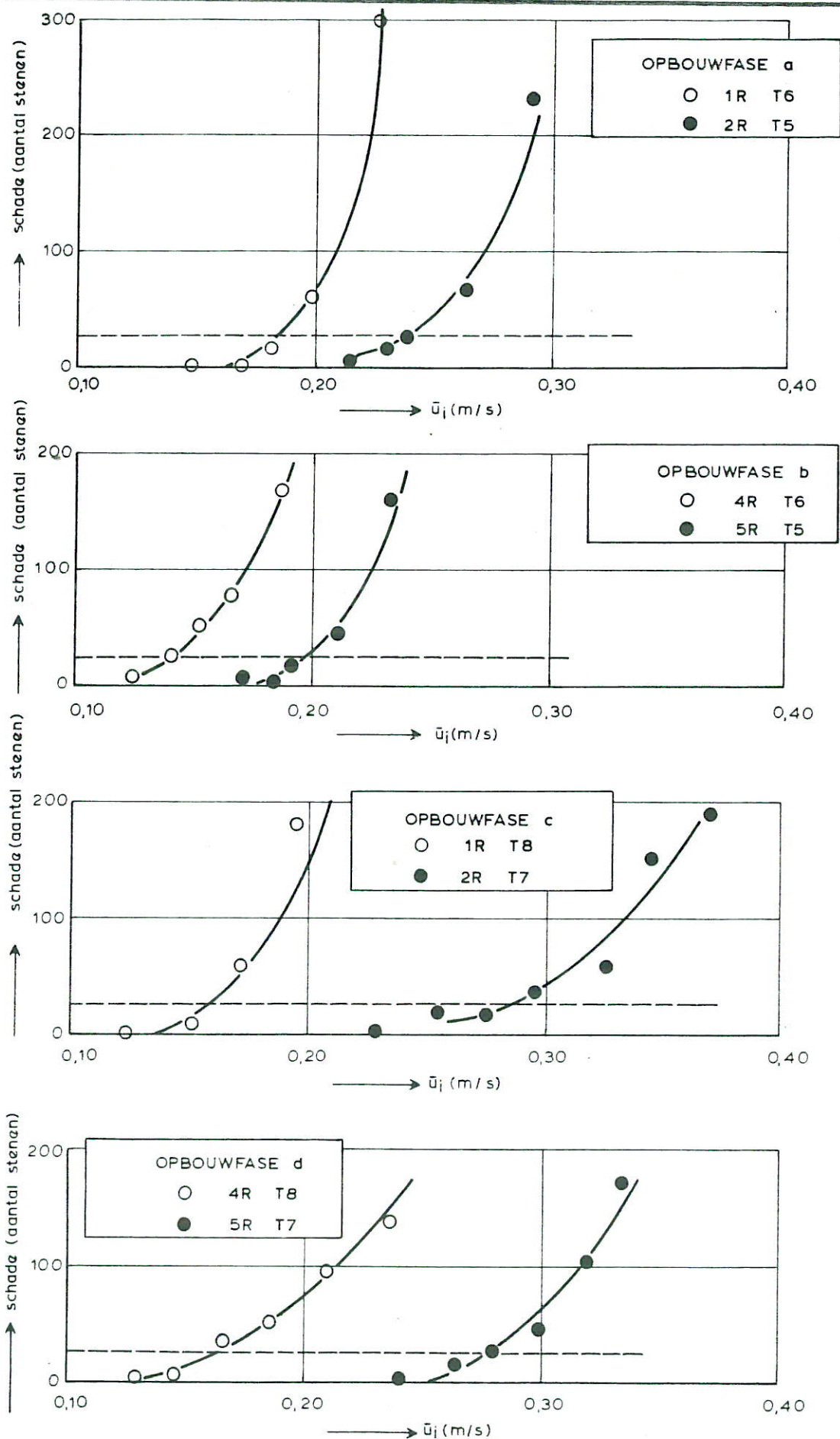
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE MAXIMALE GOLF-HOOGTE BIJ VERSCHILLENDE STROOMSNELHEDEN.

T 16



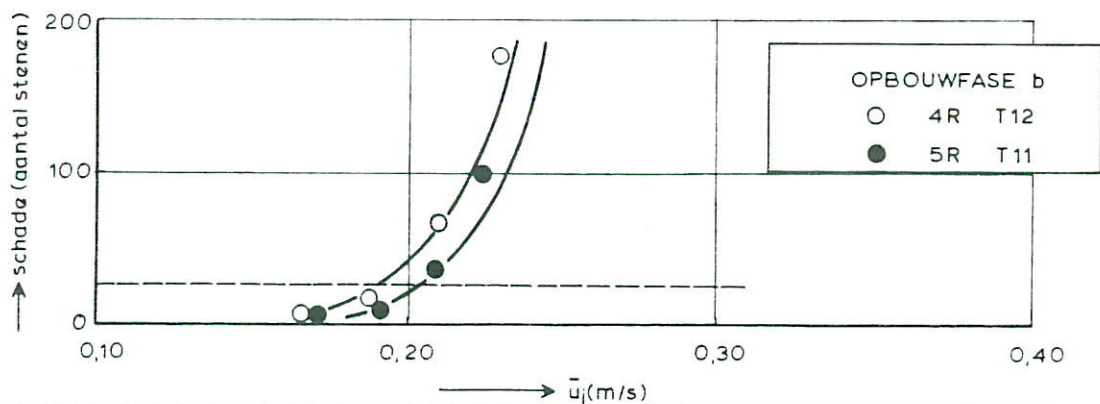
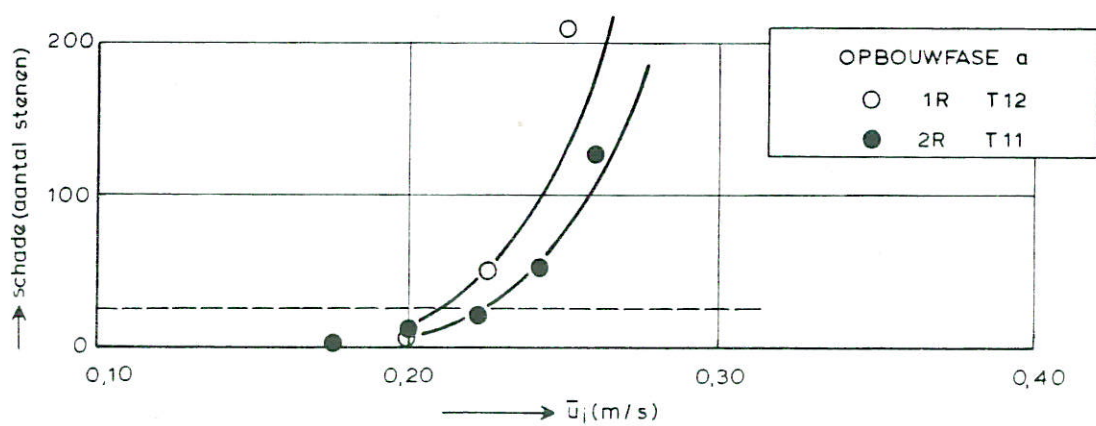
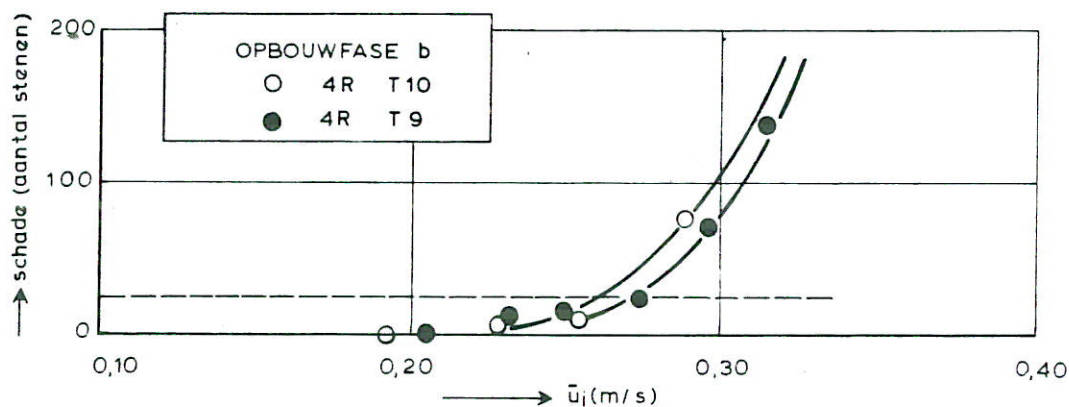
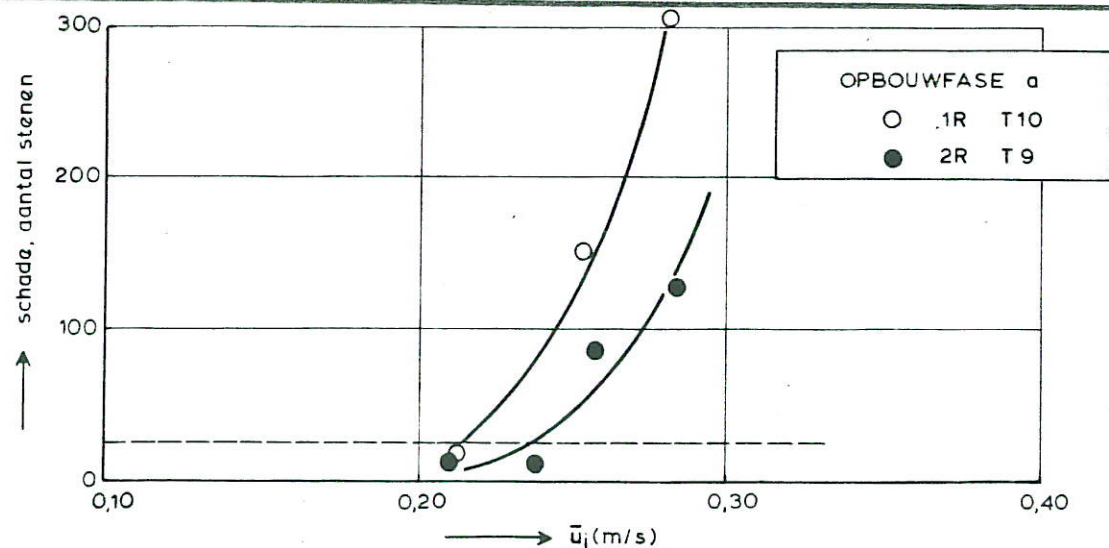
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE STROOMSNELHEID BOVEN-
STROOMS VAN DE BETREFFENDE PIJLER $\bar{u}_i$

T 1 ... T 4



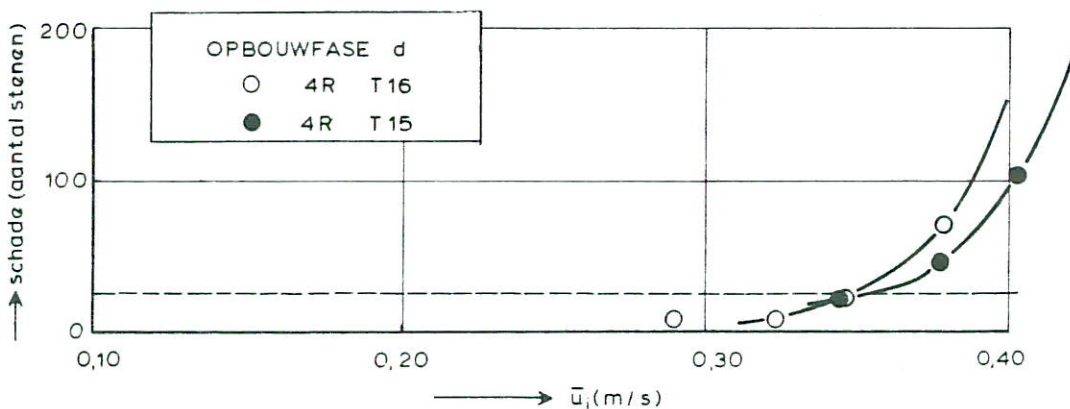
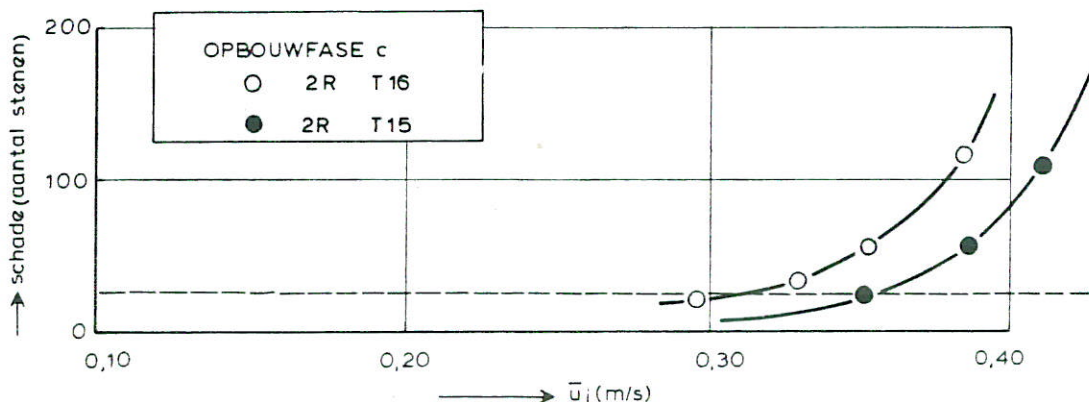
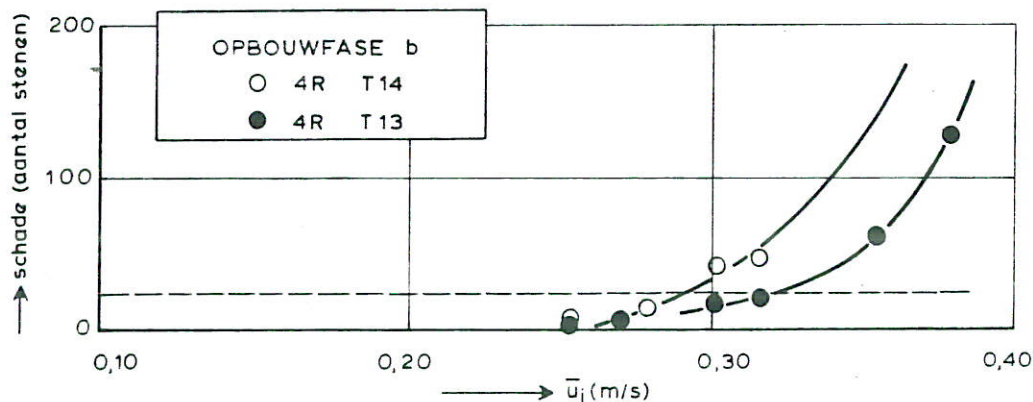
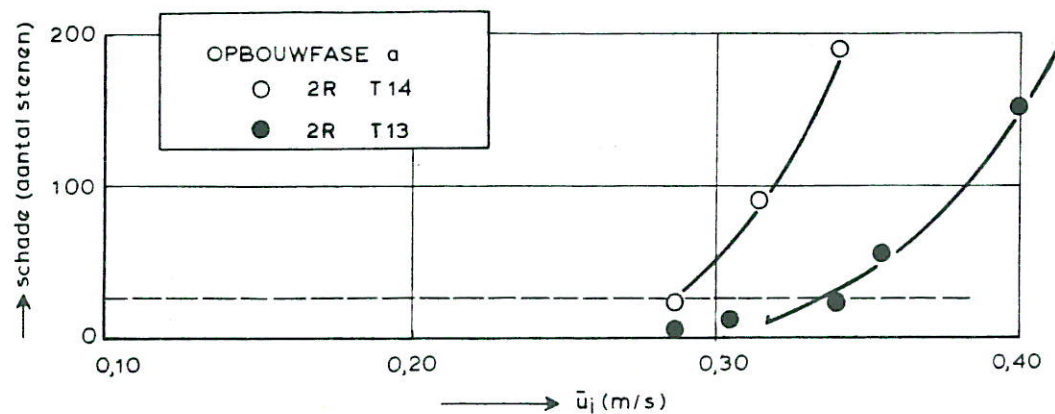
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE STROOMSNELHEID BOVEN-
STROOMS VAN DE BETREFFENDE PIJLER $\bar{u}_i$

T5 ... T8



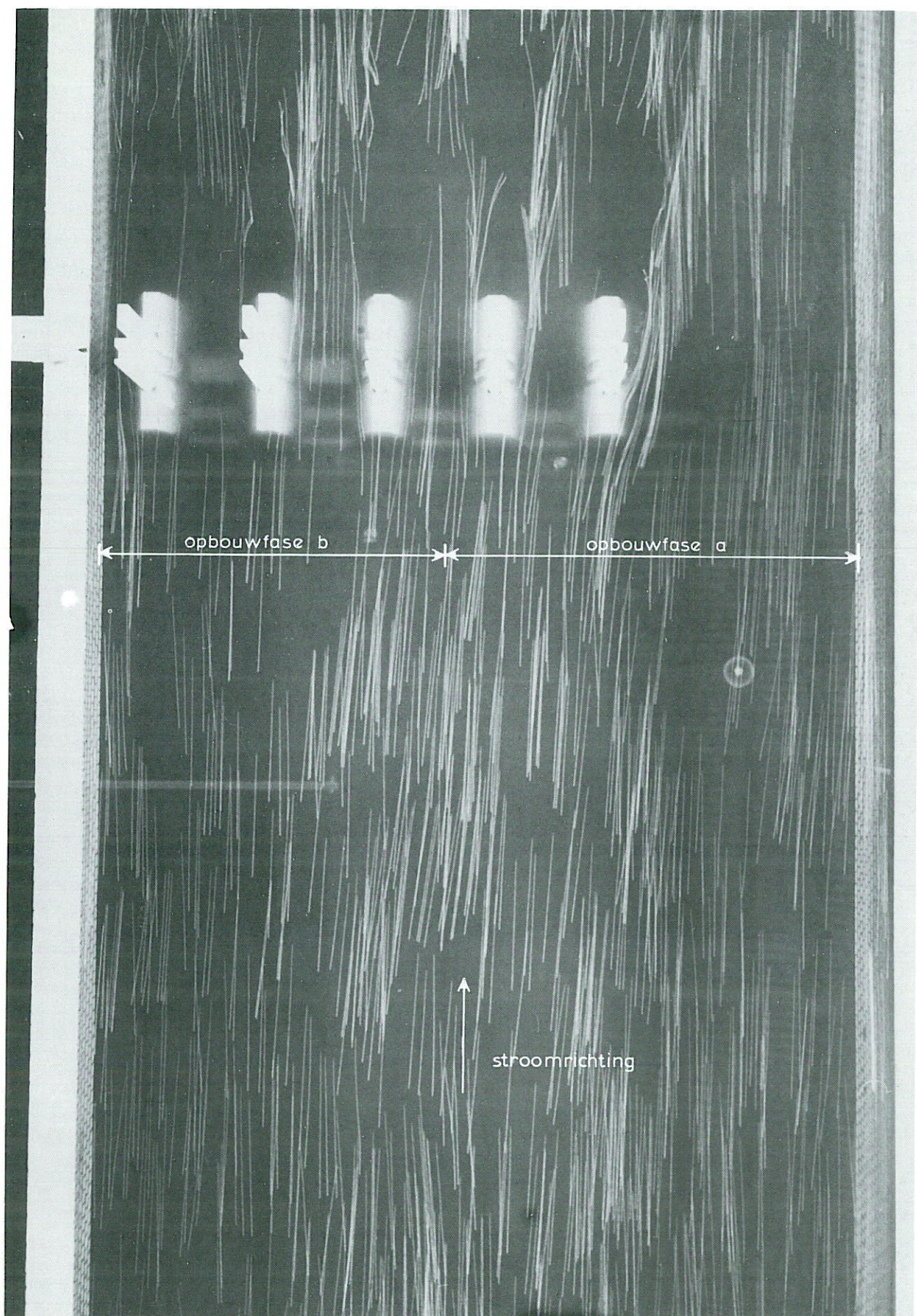
SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE STROOMSNELHEID BOVEN-
STROOMS VAN DE BETREFFENDE PIJLER $\bar{u}_i$

T9 ... T12

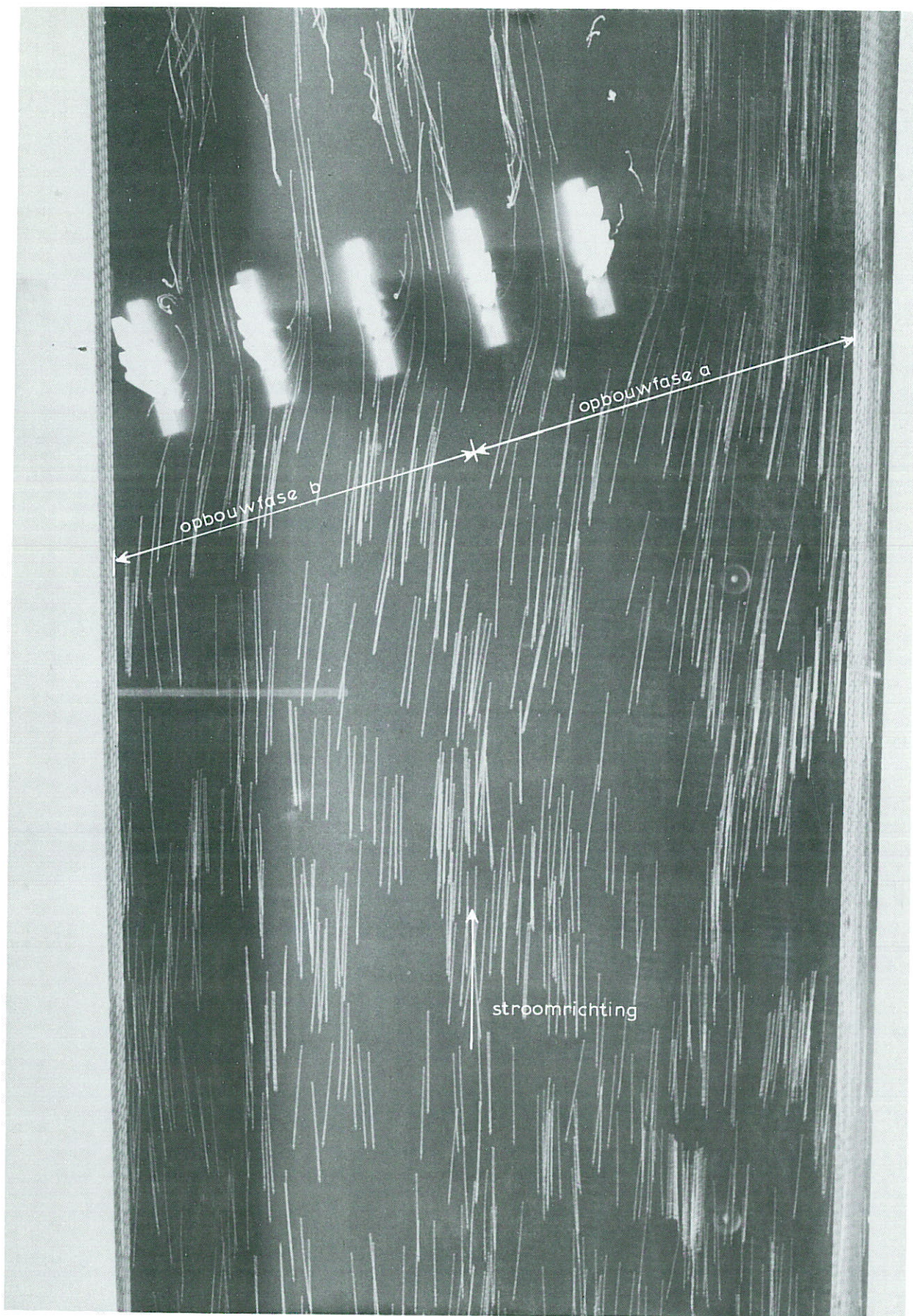


SCHADE ALS FUNKTIE VAN DE STROOMSNELHEID BOVEN-
STROOMS VAN DE BETREFFENDE PIJLER $\bar{u}_i$

T 13...T16



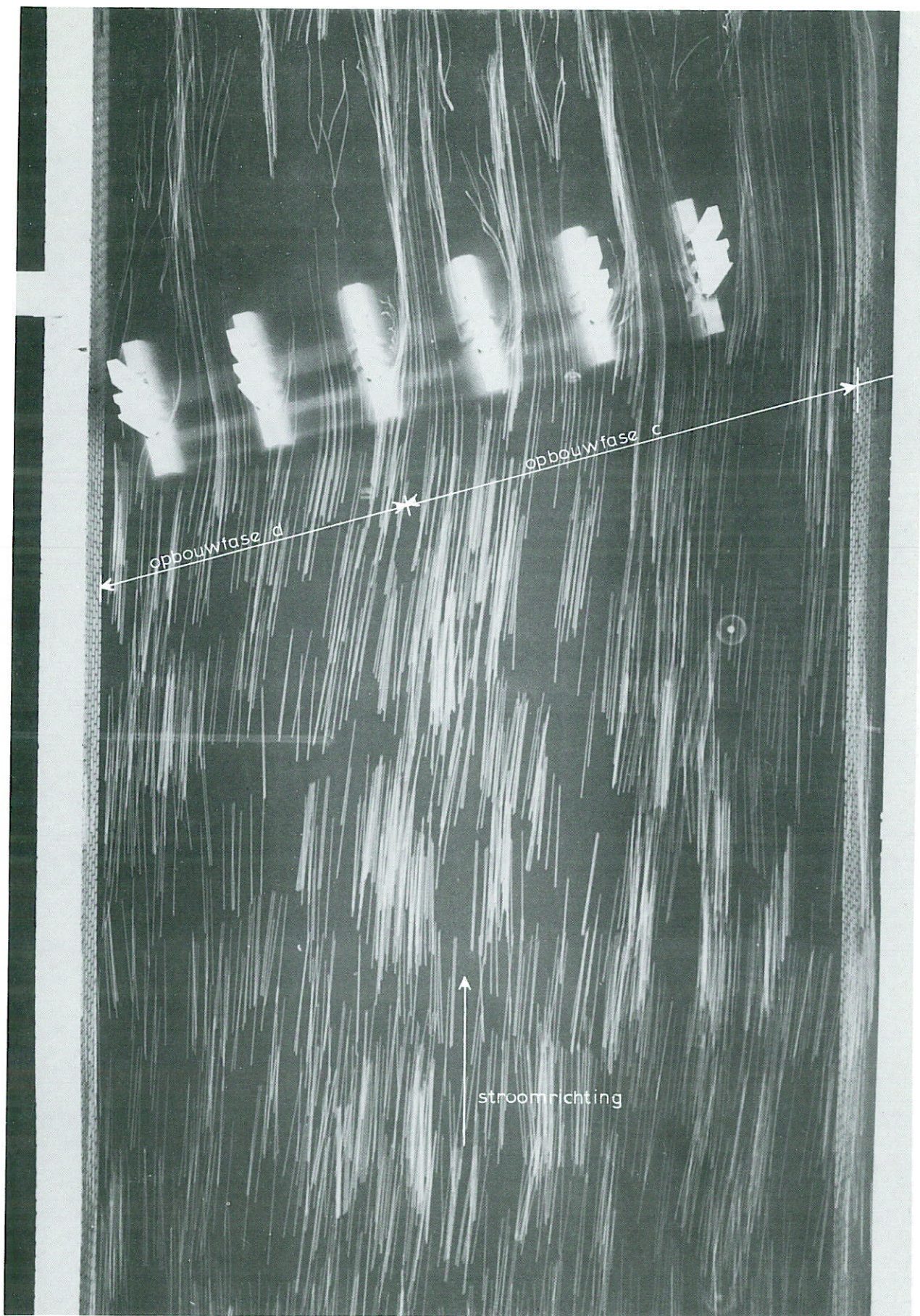
1. T9 Stroombeeld met papiersnippers. $\bar{u}_0 = 0,253 \text{ m/s}$



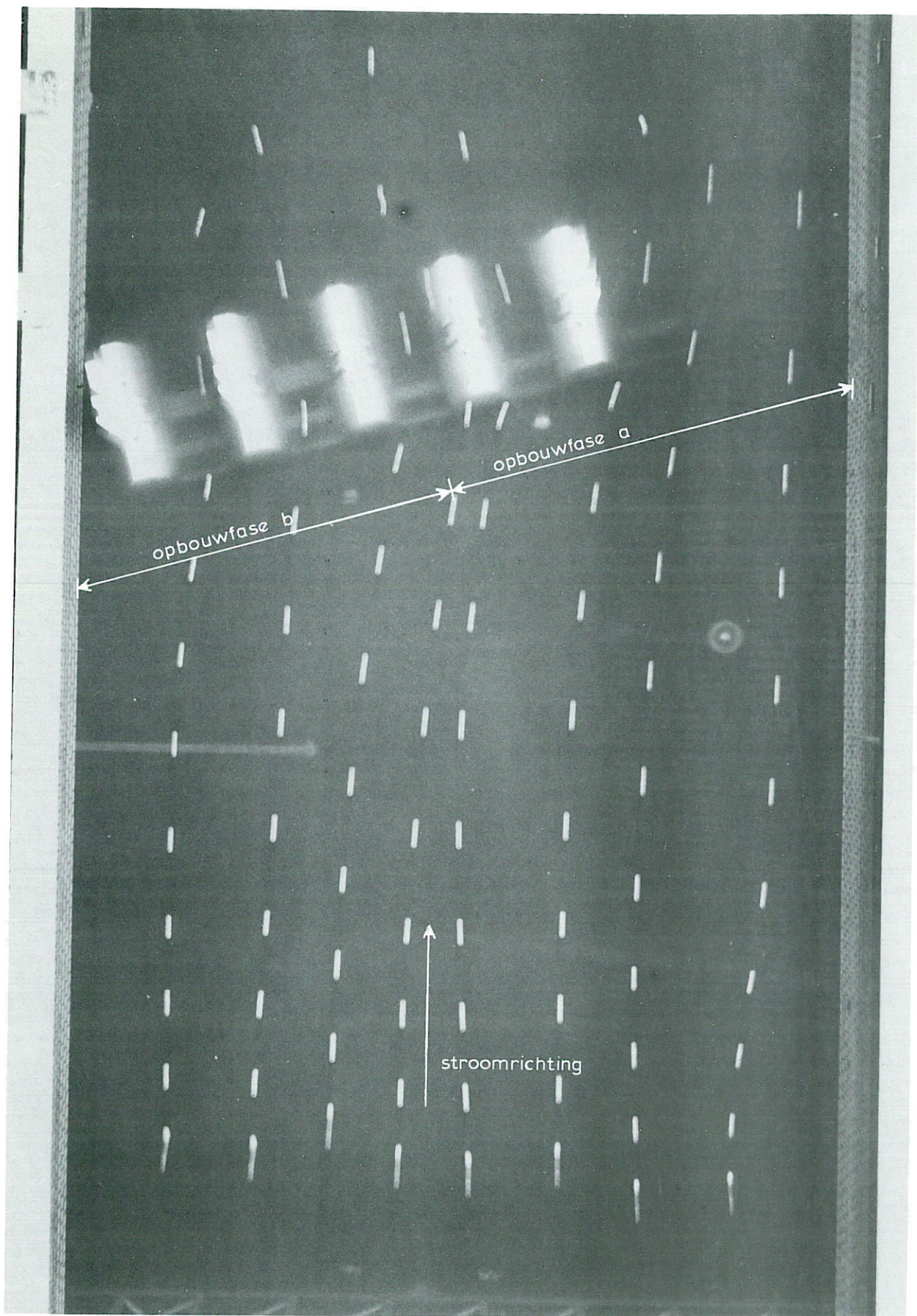
2. T5 Stroombeeld met papiersnippers. $\bar{u}_0 = 0,204 \text{ m/s}$



3. T15 Stroombeeld met papiersnippers. $\bar{u}_0 = 0,297 \text{ m/s}$

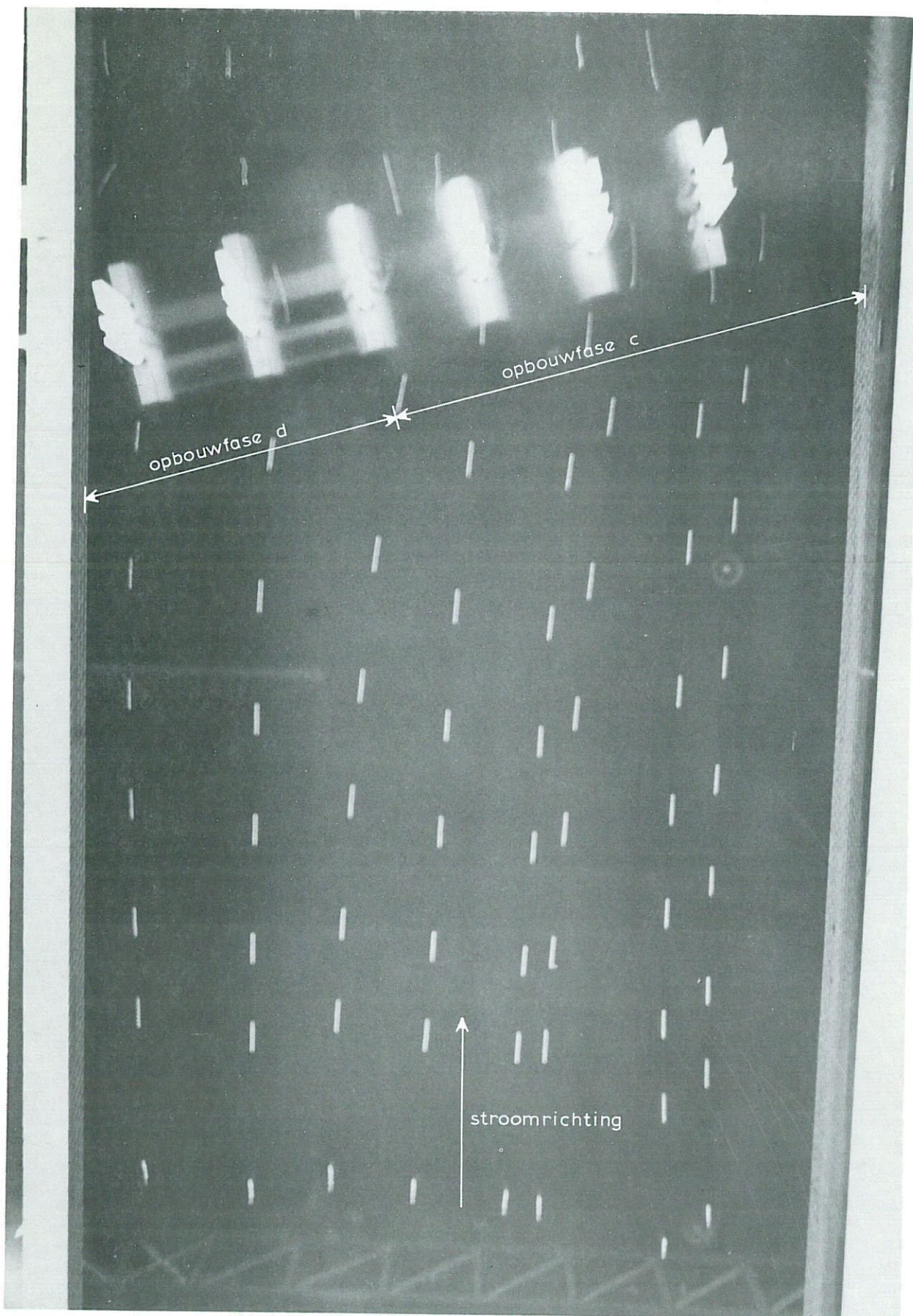


4. T7 Stroombeeld met papiersnippers. $\bar{u}_O = 0,242 \text{ m/s}$



5. T5 Stroombeeld met dieptedrijvers op 0,43 boven de bodem.

$$\bar{u}_0 = 0,194 \text{ m/s}$$



6. T7 Stroombeeld met dieptedrijvers op 0,64 h boven de bodem.

$$\bar{u}_0 = 0,228 \text{ m/s}$$

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands