

I R 460-IX

2e exemplaar

ZANDDICHTHEID EN STABILITEIT
VAN GOBI-MATTEN

VERSLAG MODELONDERZOEK

AFGEHANDELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

R 460-IX


R04609

2e exemplaar
2e exemplaar

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Zanddichtheid en stabiliteit van GOBI-matten

Verslag modelonderzoek

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	
WL	
EXPL	

VERVALEN

VERVALEN

R0003033

R 460 - IX

oktober 1972

INHOUD

	blz.
<u>1. Inleiding</u>	1
<u>2. Onderzoek</u>	
2.1. Algemeen	1
2.2. Opzet van de proeven	2
2.3. Metingen en resultaten	4
<u>3. Analyse van de resultaten en conclusies</u>	9

FIGUREN

1. Meetgoot te Lith.
2. Zeefkrommen wadzand.
3. T1. Opstelling proef.
4. T1, T2. Stroomsnelheden en tijdsduur.
5. T1. Verdeling van de stroomsnelheid in de vertikaal.
6. T2. Opstelling proef.
7. T2. Stroomomstandigheden.
8. T1, T2. Turbulentiemetingen.
- 9 ... 13 Resultaten turbulentiemetingen.
14. T1, T2. Verdeling van de stroomsnelheid.
- 15 ... 22 Kansverdeling stroomsnelheid.
- 23 ... 26 Energiespectra.
27. T3. Opstelling proef.
28. T3. Stroomsnelheden en tijdsduur. Stroomsnelheidsverdeling vertikaal 3.
29. T4. Opstelling proef.
30. T4. Verhanglijnen.

FOTO'S

1. T2. Situatie na proef gezien in bovenstroomse richting.
2. T2. Situatie na proef gezien in benedenstroomse richting.
3. T3. Situatie na proef gezien in bovenstroomse richting.
4. T3. Situatie na proef gezien in benedenstroomse richting.
5. Hengelmolen.

Zanddichtheid en stabiliteit van GOBI-matten

1. Inleiding

In het kader van het proevenprogramma in de stroomgoot te Lith zijn enkele proeven uitgevoerd met een bodembescherming van GOBI-matten. Hierbij werd de invloed onderzocht van de stroomsnelheid, de turbulentiegraad van het water en het verhang op de stabiliteit en de zanddichtheid van de bescherming.

Het onderzoek moet worden beschouwd als een vergelijkend onderzoek en bestaat uit een aantal standaard-proeven, waaraan in voorkomende gevallen ook andere typen bodembescherming worden onderworpen. Op verzoek van N.V. GOBI zijn bij enkele proeven metingen van de turbulentiegraad van het water verricht.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat, in samenwerking met N.V. GOBI die de materialen beschikbaar stelde, N.V. Bitumarin die materiëel en personeel heeft geleverd, de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft de metingen verricht, de levering en bediening van de benodigde apparatuur verzorgd en de proeven begeleid.

Het onderzoek werd verricht door H. Derks van het Waterloopkundig Laboratorium, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

2. Onderzoek

2.1. Algemeen

De onderzochte GOBI-matten bestaan uit geprofileerde betonelementen, die op een kunststofweefsel zijn gelijmd. Het weefsel bestaat uit een combinatie van polyester en polyetheengarens, monofyldraden ter dikte van 200 μ . De openingen in het weefsel zijn ca. 200 μ .

De bescherming, die werd aangebracht bestond uit afzonderlijke delen met een breedte van respectievelijk 0.90 m en 1.00 m. De normale breedte van de matdelen bedraagt 1.20 m. De lengte van de stukken bedroeg

5 m en 3 m. Bij de aansluitingen van de stukken onderling werd het doek overlappend uitgevoerd. De breedte van de overlap bedroeg bij de proeven ca. 0.30 m. Het gewicht van de bescherming bedraagt ca. 140 kg/m^2 .

2.2. Opzet van de proeven

Figuur 1 geeft een overzicht van de meetgoot te Lith. In het verdiepte gedeelte van de goot werd wadzand ($d_{50} = \text{ca. } 135 \mu$) aangebracht. De korrelverdeling van het zand is gegeven in figuur 2. De mat werd zodanig op het zandbed aangebracht dat de hoogteligging van de bovenzijde van de geprofileerde blokken overeenkwam met de hoogte van de betonbodem van de goot (N.A.P. +2.30 m, zie figuur 3). De totale lengte van de in de goot aangebrachte mat bedroeg 13 m, opgebouwd uit 2 naast elkaar gelegen delen ter lengte van 3 m, gevolgd door 2 x 2 delen met een lengte van elk 5 m. De aan de linkerzijde van de goot gelegen matten, gezien in de stroomrichting, werden het eerst gelegd. Deze matten hebben een breedte van 1.00 m met een daarbuiten uitstekende strook doek van ca. 0.30 m. Daarna werden de aan de rechterzijde van de goot gelegen matten aangebracht. De breedte van deze matten bedroeg 0.90 m. Langs de rechtergootwand werd de breedte van de mat aangevuld met losse halve blokken. De overlap in het doek in breedterichting strekte zich hiermee uit van 1.00 m tot 1.30 m uit de linkergootwand. In lengterichting lag de overlap in het doek steeds onder het einde van de mat (gezien in de stroomrichting). Figuur 3 geeft een beeld van de ingebouwde situatie. De overlapping van het doek is hier gearceerd aangegeven.

Om randeffecten te vermijden werd langs de gootwanden en aan het einde van de zandbak een zanddichte strook doek aangebracht, gedeeltelijk ingegraven in het zand en gedeeltelijk horizontaal liggend op het zand onder de mat. Aan de voorzijde werd het weefsel van de GOBI-mat onder een vulplaat gevoerd, waarmee eventuele aanstroomeffecten werden vermeden.

Het eventuele optreden van verlies van zanddichtheid werd geconstateerd door het controleren van de hoogteligging van de mat tijdens het

stromen. Hiervoor werden een vijftal punten gekozen, verdeeld over de lengte van de mat, gelegen op een afstand van 0.90 m uit de linkergootwand (naast de overlapping van het doek).

Van de zijde van N.V. GOBI bestond belangstelling om het verschijnsel van het verlies van zanddichtheid van de mat in verband te brengen met de snelheid en turbulentiegraad van de overtrekkende stroom en de hiermee in relatie staande drukfluctuaties in het zand onder de mat. Hiertoe werden in een tweetal proeven met verschillende stromingscondities metingen van de turbulentiegraad van het water verricht. De metingen werden uitgevoerd met de zogenaamde "hengelmolen", waarmee snelheidsfluctuaties kunnen worden gemeten. Het meetsignaal werd op een geluidsband vastgelegd voor latere verwerking. Wegens het ontbreken van geschikte meetapparatuur konden geen metingen van drukfluctuaties in het zand onder de mat worden uitgevoerd. In plaats hiervan werden ter verkrijging van een indruk van eventuele drukverschillen op een drietal plaatsen aansluitingen voor drukmetingen gemaakt met behulp van stijgbuisjes van plastic, waarin het waterniveau werd afgelezen. De meetpunten hiervoor waren gelegen in het zand op ca. 3 cm onder het doek en daarboven in het water tussen de blokken op ca. 5 cm boven het doek en op een afstand van 0.90 m uit de linker gootwand. Nauwkeurige metingen bleken echter op deze wijze niet uitvoerbaar, omdat bij hogere stroomsnelheden het niveau van de stijgbuisjes (de aansluitpunten boven het doek) slingeringen vertoonde die het aflezen van de niveau's bemoeilijkte. Bovendien bleek dat ten gevolge van de waterstandsvariaties op het bovenpand van de rivier het permanente stroombeeld te zeer werd verstoord waardoor de waterniveau's aan voortdurende verandering onderhevig waren.

Uitgevoerd werden de volgende proeven:

a) Situatie met normale stromingstoestand (T1)

Hierbij werd de bodemligging gecontroleerd en werden stroomsnelheidsmetingen en turbulentiemetingen uitgevoerd in een drietal vertikalen.

b) Situatie met overlaat (T2)

Hierbij werd op drie meter voor het begin van de mat een overlaat ter hoogte van 0.31 m op de betonbodem aangebracht. Met behulp van deze overlaat kan plaatselijk een gebied worden gecreëerd met verhoogde stroomsnelheden gevolgd door een gebied waar de stroom vertraagt, waarbij verhoging van de turbulentiegraad van het water optreedt. De bodemligging werd hierbij gecontroleerd. In twee vertikalen werden stroomsnelheidsmetingen en turbulentiemetingen uitgevoerd op plaatsen overeenkomstig met die van de eerste proef.

c) Situatie met stenen onder de mat (T3)

Het doel van de proef was na te gaan in hoeverre het niet volkomen aan de zandbodem aansluiten van de mat van invloed is op de zanddichtheid en stabiliteit.

d) Situatie met "caisson" (T4)

Met behulp van deze opstelling kan de invloed van het verhang op de zanddichtheid worden bepaald. De "caisson" bestond uit een verticaal schot en een horizontaal schot, uitgevoerd in hout en waterdicht aansluitend tegen de gootwanden. Het horizontale schot werd direct op de mat aansluitend geplaatst en voldoende geballast om opdrijven te voorkomen. Door het variëren van de benedenwaterstand kan het verval over de mat en het zandbed worden ingesteld. Het kritieke verhang voor de zanddichtheid kan worden bepaald door na te gaan of in het water dat onder het horizontale schot doorstroomt al of niet zand aanwezig is.

2.3. Metingen en resultaten

T1

De stroomsnelheid werd ingesteld in vertikaal 1 (zie figuur 3) ge-

leggen voor het begin van de mat (betonbodem). Het verloop van de ingestelde stroomsnelheden en de tijdsduur van stromen is weergegeven in figuur 4. Na een instroomperiode van enkele uren, waarbij enige zetting van het zandbed optrad ten gevolge van de losse pakking van het zand, werd in totaal ruim 13 uur gestroomd. De stroomsnelheid werd in stappen opgevoerd. Er werd naar gestreefd een half uur na iedere stap waarin de stroomsnelheid werd opgevoerd, de bodemligging te controleren. Tussentijds werden bij een gemiddelde stroomsnelheid van ca. 1 m/s en ca. 2 m/s de turbulentiemetingen verricht, zodat bij deze stroomsnelheden langer werd gestroomd.

De maximale gemiddelde stroomsnelheid die werd bereikt bedroeg ca. 4.25 m/s in de instelvertikaal (1). In een even voor het maximum gelegen fase, bij een gemiddelde aanstroomsnelheid van ca. 3.70 m/s is in raai 1 en 3 de snelheidsverdeling in de vertikaal gemeten. De resultaten hiervan zijn gegeven in figuur 5.

De mat bleek bij de maximaal haalbare stroomsnelheid van ca. 4.25 m/s stabiel en zanddicht (geen verzakkingen van de mat).

T2

De situatie is weergegeven in figuur 6. Het doel van het aanbrennen van de overlaat was de turbulentiegraad van de over de mat trekkende stroom te verhogen. De stroomsnelheid werd ingesteld in vertikaal 3 en werd in stappen opgevoerd. Het verloop van de ingestelde stroomsnelheden en de tijdsduur van stromen is weergegeven in figuur 4. Evenals in T1 werden bij een gemiddelde stroomsnelheid van ca. 1 m/s en ca. 2 m/s turbulentiemetingen uitgevoerd. Vertikaal 1 kwam hierbij te vervallen.

Wegens het gevaar van beschadiging van het meetinstrument bij instabiel worden van de mat, zijn de stroomsnelheden boven 2 m/s niet meer gemeten. In deze situaties werd steeds het verloop van de waterspiegel vastgelegd, waaruit de stroomsnelheden globaal konden worden herleid.

Het optredende stroombeeld tijdens de laatste vier stappen is weergegeven in figuur 7. In de meest extreme stromingstoestand die werd bereikt,

was de mat vooraan blootgesteld aan schietend water bij een waterdiepte van 1.25 m en een stroomsnelheid van ca. 5.30 m/s. Halverwege de mat ging de stroom over van schieten naar stromen via een watersprong. Over het laatste gedeelte van de mat bewoog de zeer turbulente stroom met een snelheid van ca. 3 m/s bij een waterdiepte van ca. 2.10 m. De daling van de benedenwaterstand van de derde naar de vierde stap was zeer gering.

Na 10 à 15 minuten handhaven van de extreme situatie trad een wijziging op in het stroombeeld, waarna het stromen zo snel mogelijk werd beëindigd. Na het droogzetten van de goot bleek dat drie matten (de twee achterste, naast elkaar gelegen matten en van het daarvoor gelegen paar, de mat aan de linkerzijde) door de stroom waren meegevoerd. De nog op het zandbed aanwezige matten bleken verzakt. Op de naden, ter plaatse van de overlapping van het doek, was de zakking gering. De verzakkingen bleken duidelijk te zijn ontstaan ten gevolge van uit treden van zand door de mat.

Turbulentie metingen (T1 en T2)

Bij T1 werden turbulentie metingen uitgevoerd in de vertikalen 1, 2 en 3 waarvan vertikaal 1 gelegen is op 0.25 m voor het begin van de mat ter plaatse van de betonvloer en de vertikalen 2 en 3 ter plaatse van de mat.

Hiermee kan een indruk worden verkregen van de ontwikkeling van de turbulentie in de stroomrichting ten gevolge van de aanwezigheid van de GOBI-mat.

Bij T2 kwam vertikaal 1 te vervallen en werd alleen gemeten in de vertikalen 2 en 3.

In iedere vertikaal werd gemeten in 7 punten. De plaats van de meetvertikalen en de ligging van de meetpunten in de vertikaal is gegeven in figuur 8. Tevens is in deze figuur de hoogteligging van de mat (bovenkant blokken) op een afstand van 0.90 m uit de linkergootwand weergegeven.

De metingen werden uitgevoerd bij een tweetal gemiddelde stroomsnelheden (ca. 1 m/s en ca. 2 m/s). De meettijd bedroeg per punt $2\frac{1}{2}$ minuut.

Ter controle van de invloed van de meettijd op de resultaten van de metingen werd in raai 3 per punt gedurende 5 minuten gemeten. Het meet-sig-naal werd geregistreerd op een geluidsband.

Uit de metingen werd voor alle meetpunten over een registratie-duur van 2 minuten de gemiddelde stroomsnelheid en de standaardafwijking (σ) ten opzichte van het gemiddelde bepaald. Voor de meetpunten in ver-tikaal 3 werd deze bewerking tevens voor een registratieduur van 4 minu-ten uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 9 t/m 13. In figuur 14 zijn de gemiddelde stroomsnelheden per punt in de gemeten vertikalen uitgezet. Voor een aantal punten werd bovendien de kansdicht-heid van de geregistreeerde stroomsnelheden bepaald en het energiedicht-heidsspectrum over een registratie duur van 150 sec. De kansdichtheid van de stroomsnelheden is weergegeven in de figuren 15 t/m 22 en de energie-dichtheidsspectra in de figuren 23 t/m 26. De kansverdeling is bepaald uit een intensieve bemonstering (32767 stappen) van een registratie met een duur van 150 sec. Het energiespectrum is bepaald met behulp van de cor-relator-fouriertransformator die behoort tot de uitrusting van de windgoot van het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst.

T3

De situatie is weergegeven in figuur 27. De hoogteligging van de bovenkant van de geprofileerde betonblokken kwam overeen met de hoogte van de voorliggende betonbodem van de goot (N.A.P. +2,30 m). In het zandbed werden stenen aangebracht, die plaatselijk 5 à 10 cm bo-ven het zandbed uitstaken. De mat sloot hierdoor op deze plaatsen niet volkomen aan het zandbed aan.

De stroomsnelheid werd ingesteld in vertikaal 2 en werd stapsgewijs opgevoerd. Na een half uur stromen met een bepaalde snelheid werd steeds de hoogteligging van de mat gecontroleerd in een aantal van te voren vastgelegde punten. Het verloop van de ingestelde stroomsnelheden met de tijd is gegeven in figuur 28.

Ongeveer 5 uur na het begin van de proef werd de grootst moge-

lijke stroomsnelheid bereikt (ca. 4.4 m/s in raai 2). Na een half uur stromen in deze situatie werd voor het eerst op enkele punten (R_3 en R_4 , zie figuur 27) enige zakking geconstateerd. Op de andere punten werd geen zakking waargenomen.

Het stromen werd in deze situatie nog gedurende $4\frac{1}{2}$ uur voortgezet. Na afloop bleek dat drie matten van het zandbed waren verdwenen. Het zandbed was sterk aargetast. Het verloop van de waterspiegel en de verdeling van de stroomsnelheid in vertikaal 3 bij deze laatste toestand is gegeven in figuur 28.

T4

De opstelling is weergegeven in figuur 29. Op het scheidingsvlak van de mat en het zand zijn stijgbuisjes van plastic aangebracht voor het meten van het drukverloop onder de mat. De slangetjes zijn aan het einde voorzien van een zakje van nylondoek gevuld met kif, om verstopping te voorkomen. De bovenwaterstand werd constant gehouden. Door verlaging van de benedenwaterstand kon het verval over de mat worden opgevoerd. Het horizontaal gelegen houten schot van 5 m lengte sloot direct aan aan de bovenkant van de blokken.

De ingestelde vervallen en de geregistreerde drukken, gemeten in het zand direct onder de mat, zijn weergegeven in figuur 30. Het doel van de proef is na te gaan bij welk verval zand door de mat begint te treden. Voor het constateren van eventueel zandverlies door de mat werd gebruik gemaakt van een beweegbare zandvang die direct achter de vlonder was geplaatst en tot boven water kon worden opgetrokken. Ook kan het troebel worden van het benedenwater een indicatie geven van eventueel zandverlies.

Bij een verval van 1.05 m werd voor het eerst zand in de zandvang aangetroffen. Het maximale verhang hierbij trad op tussen de punten 8 en 9 en bedroeg 28 %. Het gemiddeld verhang was ca. 20 %.

Na het droogzetten van de goot en verwijdering van het horizontale schot met ballast bleek dat direct na de beëindiging van het horizon-

tale schot zand was afgezet tussen de blokken en in de cilindervormige gaten in de blokken. Ook op het plankier werd een laagje zand aangetroffen. Onder de caisson was geen zand afgezet, met uitzondering van de eerste halve meter na het begin van het horizontale schot.

Doordat het horizontale schot direct aansloot aan de bovenkant van de blokken, was het doorstroomprofiel gering. Het bedraagt 10 à 12 % van het totale oppervlak. De hoogte van de blokken is 0.10 m, zodat per m gootbreedte 100 à 120 cm² doorstroomprofiel aanwezig is. Bij een verval van 1 m over een schotlengte van 5 m kan de stroomsnelheid, die vrijwel geheel wordt bepaald door het wrijvingsverlies tussen de blokken, worden berekend op globaal 0.50 m/s. Het hiermee aangevoerde debiet is zo gering (ca. tien liters per seconde) dat de stroomsnelheid benedenstrooms bij een waterdiepte van 1.70 m zeer klein is. Het eventueel met de stroom meegevoerde zand kan dan niet worden getransporteerd en wordt vrijwel direct achter het schot afgezet.

In verband hiermee is het waarschijnlijk dat het uittreden van zand reeds in een vroeger stadium heeft plaats gevonden dan tijdens het verval van 1.05 m, waarbij voor het eerst zand in de vang werd aangetroffen.

Het voornemen bestond de proef voort te zetten door de afstand tussen het horizontale schot en de bovenkant van de blokken te vergroten. Dit voornemen is echter niet ten uitvoer gebracht.

3. Analyse van de resultaten en conclusies

Uit de resultaten van T1 valt af te leiden dat de mat tijdens normale stroom tot hoge stroomsnelheden zanddicht kan blijven.

Bij T2 kan het verlies van zanddichtheid worden toegeschreven aan het relatief sterke verhang van de waterspiegel in het gebied met schietend water. Het verhang van de dalende waterspiegel voor de kuil bedroeg ca. 14 %, dat van de stijgende waterspiegel ca. 30 %. Uit de diverse onderzoeken naar zanddichtheidsverlies van bodembeschermingen is komen vast te staan dat het waterspiegelverhang van grote invloed is op het zanddicht-

heidsverlies. Bij weefsels met een zeer open structuur ten opzichte van het onderliggende zand bleek de zanddichtheid sterk af te hangen van het optredende verhang van de waterspiegel, terwijl de grootte van de stroomsnelheid van veel minder invloed was.

Bij T3 sloot de mat op een aantal plaatsen niet geheel aan de zandbodem aan. Van deze omstandigheid is bekend dat in dat geval de zanddichtheid sterk nadelig wordt beïnvloed.

In de gevallen waarin zanddichtheidsverlies werd geconstateerd blijkt na verloop van tijd steeds stabiliteitsverlies op te treden. De oorzaak moet worden gezocht in het ongelijkmatige karakter van het zandverlies en de daarmee gepaard gaande ongelijkmatige verzakkingen.

Het ongelijkmatige karakter ontstaat tengevolge van de 0.30 m brede strook met dubbele laag doek ter plaatse van de aansluiting van de matdelen. Ter plaatse van deze overlapping blijft de verzakking beperkt.

Deze ongelijkmatigheid in de bodemligging, juist ter plaatse van de aansluitingen van de matdelen, veroorzaakt een situatie soortgelijk aan die welke optreedt aan de rand van een bodembescherming die wordt aangestroomd vanaf het onbeschermd gebied. Hierbij kunnen onderdrukken ontstaan die door het gewicht van de bescherming niet kunnen worden gecompenseerd. Het gewicht onder water van de GOBI-mat is relatief gering (ca. 85 kg/m^2).

Het verlies van de stabiliteit van de drie matten tijdens proef T2 moet niet worden toegeschreven aan de hoge turbulentiegraad van de stroom over de laatste 6 m van de mat. De oorzaak moet worden gezocht in het opgetreden zandverlies in het gebied met schietend water. Het stabiliteitsverlies trad hierbij op bij nog betrekkelijk geringe verzakkingen en een hoge stroomsnelheid. Naarmate de verzakkingen toe nemen, moet echter rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat ook bij lagere stroomsnelheden instabiliteit kan optreden.

In het algemeen moet het zandverlies worden beschouwd als directe aanleiding tot stabiliteitsverlies, daar het zandverlies een ongelijkmatige zakking van de mat tot gevolg heeft. In principe kan de stabiliteit alleen worden gegarandeerd als zandverlies door de mat vermeden kan worden. In geval zandverlies voorkomt leveren de plaatsen waar de matdelen onderling

aansluiten, steeds gevaar op voor stabiliteitsverlies. Hierbij moet worden bedacht dat plaatselijk optredend stabiliteitsverlies tot afbraak van de gehele bescherming kan leiden. Bovendien moet niet uit het oog worden verloren dat in de opstelling tijdens het onderzoek in de goot te Lith, de stroomrichting in de lengterichting van de matten was. Bij normale toepassing in de praktijk is de richting van de stroom veelal in de breedterichting van de matten, waardoor de kans op calamiteiten toeneemt.

Het onderzoek dat werd verricht in de goot te Lith is beperkt. Tijdens de proeven is de mat uitsluitend als bodembescherming onder stroomomstandigheden in onderzoek geweest. Het blijkt dat in dat geval pas in extreme omstandigheden van zandverlies sprake is.

In de praktijk kunnen echter omstandigheden voorkomen waarbij lokaal ten gevolge van andere oorzaken zandverlies optreedt. Meer geleidelijk verlopende processen of minder frequente maar zware belastingsomstandigheden qua verhang en turbulentie (b.v. golfomstandigheden langs kanaaloevers ten gevolge van scheepvaart) kunnen op den duur lokaal zodanig zandverlies veroorzaken, dat de stabiliteit van de bescherming onder veel minder zware stroomomstandigheden verloren kan gaan. Als dergelijke omstandigheden niet uitgesloten zijn moet in de huidige constructie van de bescherming de weerstand tegen stabiliteitsverlies afgeleid worden van de enkele samenstellende onderdelen en niet van de werking van de bodembeschermingsconstructie als geheel. Zowel bij de aansluitingen als bij de beëindiging van de bescherming wordt de weerstand tegen stabiliteitsverlies zonder verdere maatregelen praktisch uitsluitend bepaald door het beschikbare gewicht van de mat onder water. Op grond van algemene onderzoekingen van bodembeschermingsconstructies onder deze omstandigheden is te verwachten dat de stabiliteit van de GOBI-mat bij het beschikbare gewicht onder water van ca. 85 kg/m^2 reeds bij stroomsnelheden van $1 \text{ à } 1.50 \text{ m/s}$ verloren kan gaan.

Rekening houdende met het bovenstaande, kan uit de resultaten van het onderzoek het volgende worden geconcludeerd:

1. De GOBI-mat kan tijdens normale stroom (dus in die gevallen waarin grote verhangen, een hoge turbulentiegraad van het water en golfomstandigheden uitgesloten zijn), bij een vlakke ligging van de mat, tot

stroomsnelheden van ruim 4.0 m/s een zanddichte en stabiele bodembescherming vormen (T1).

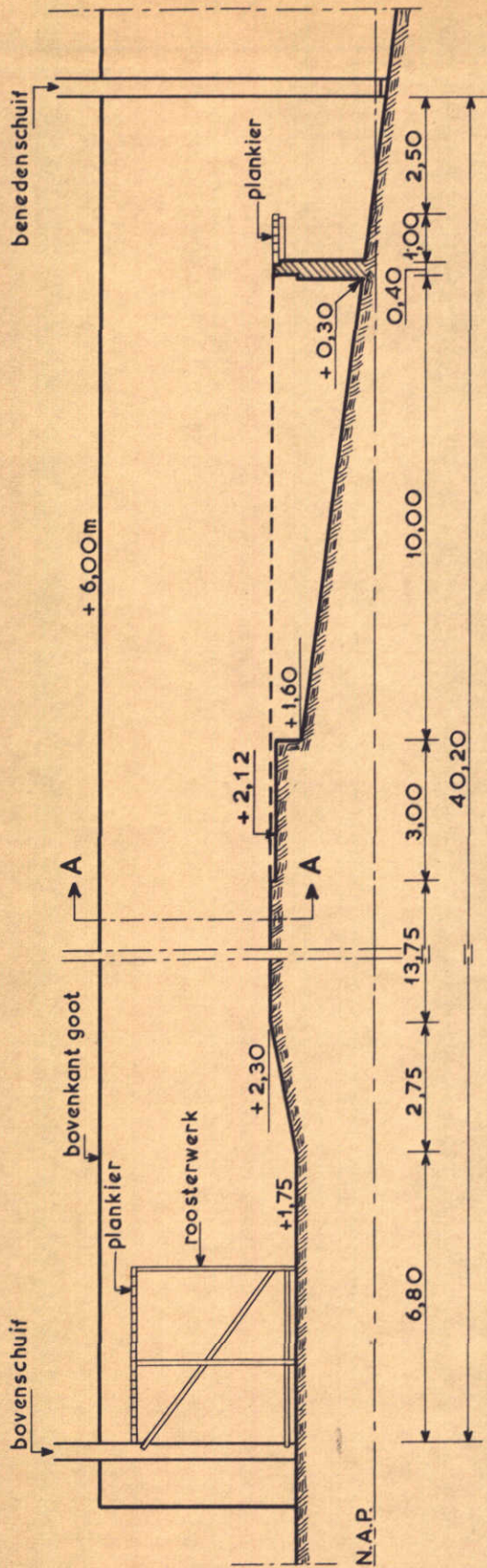
2. Bij het optreden van zandverlies is de verzakking van de mat niet gelijkmatig, tengevolge van de aanwezigheid van de 0.30 m brede overlap in het doek ter plaatse van de aansluiting van de matdelen onderling.
Hierdoor kunnen in de overtrekkende stroom in de omgeving van de aansluitingen onderdrukken ontstaan, die stabiliteitsverlies kunnen veroorzaken bij voldoende hoge stroomsnelheden (T2, foto's 1 en 2).
3. Het zandverlies door de mat wordt bevorderd indien in het zandbed onder de mat voorwerpen voorkomen die plaatselijk de aansluiting van de mat aan het zandbed verhinderen. Het zandverlies leidt tot stabiliteitsverlies bij voldoende hoge stroomsnelheden (T3, foto's 3 en 4).
4. Bij een relatief lage stroomsnelheid (ca. 0.50 m/s) treedt bij een horizontaal verhang van gemiddeld 20 %, verlies van zanddichtheid op (T4).
5. Algemeen bezien wordt het verlies van de stabiliteit van de GOBI-mat, onder voldoende zware belastingsomstandigheden, veroorzaakt door een aantal gecombineerde eigenschappen van de mat in de huidige constructie. Deze eigenschappen betreffen de mogelijkheid van het optreden, van zandverlies door de mat, het relatief geringe gewicht van de mat en het feit dat de mat uit losse onderdelen bestaat.

De volgende maatregelen kunnen een belangrijke verbetering van de werking van de mat de bodembescherming doen verwachten:

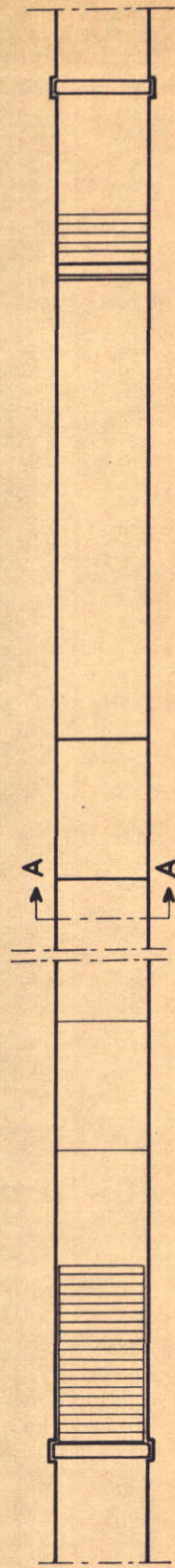
- a. Het optreden van stabiliteitsverlies ten gevolge van normale stroom kan voor de mat in de huidige constructie (losse matdelen) worden voorkomen door een zodanige keuze van de grootte van de openingen in het weefsel, dat onder alle omstandigheden de zanddichtheid is gegarandeerd, zodat een vlakke ligging van de mat bewaard blijft.
- b. Zoals is gebleken uit de resultaten van de proeven, vormen de aansluitingen van de matdelen onderling, bij ongelijkmatige zakking ten gevolge van ongelijkmatig zandverlies, de zwakke plekken in de bescherming. Een stevige verbinding van de matdelen onderling kan ook

in gevallen waarbij onregelmatige zakkings optreden, de stabiliteit van de mat en daarmee de potentiële mogelijkheden die de mat heeft als adequate bodembescherming, sterk verhogen doordat de constructie dan als één geheel functioneert.

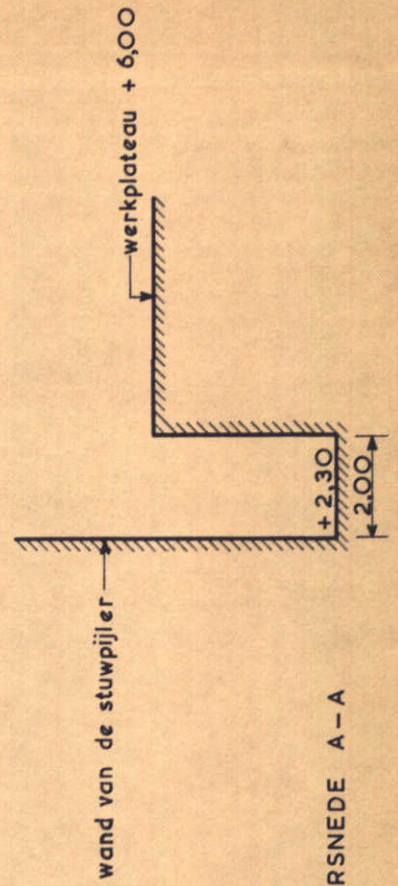
- c. In gevallen waarbij de mogelijkheid aanwezig is dat de bodembescherming wordt aangestroomd vanaf het onbeschermd gebied dient, in combinatie met het gestelde in de voorgaande aanbeveling, een randverzwaring te worden toegepast, zodat ook op deze plaats de stabiliteit verzekerd is.



LENGTEDOORSNEDE



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

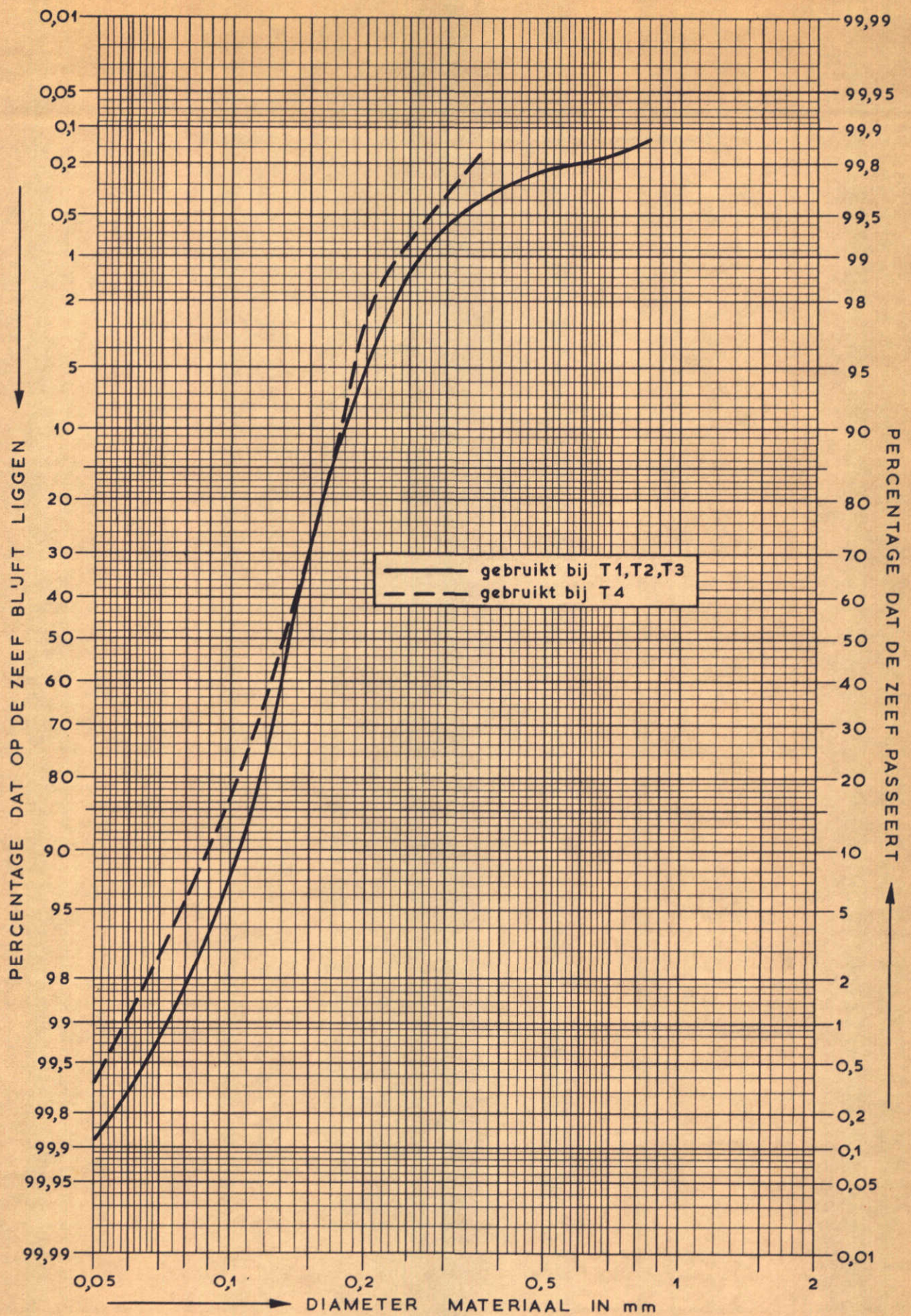
MATEN IN m

MEETGOOT TE LITH

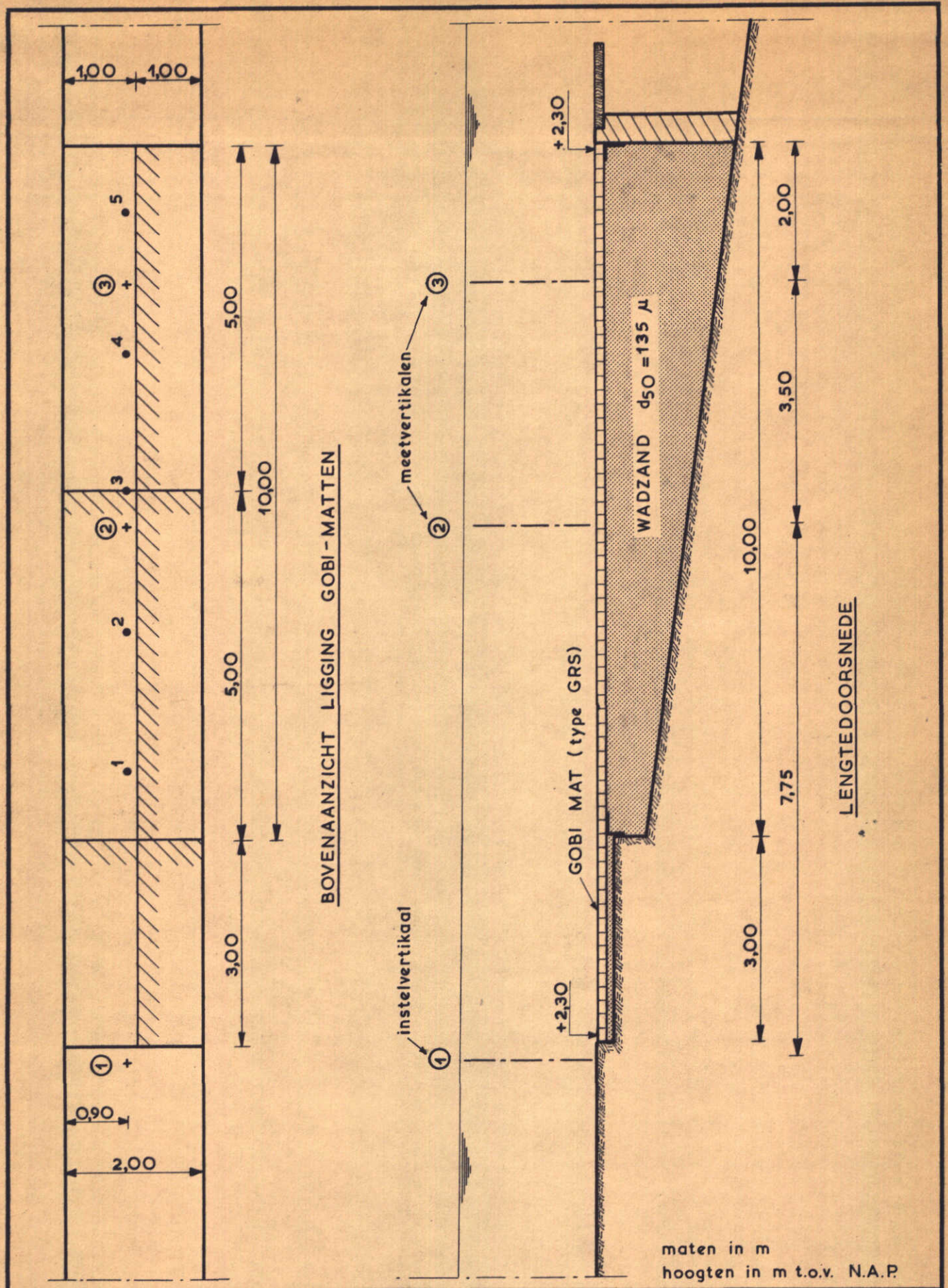
SCHAAL 1 : 150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX FIG. 1



ZEEFKROMMEN WADZAND



OPSTELLING PROEF

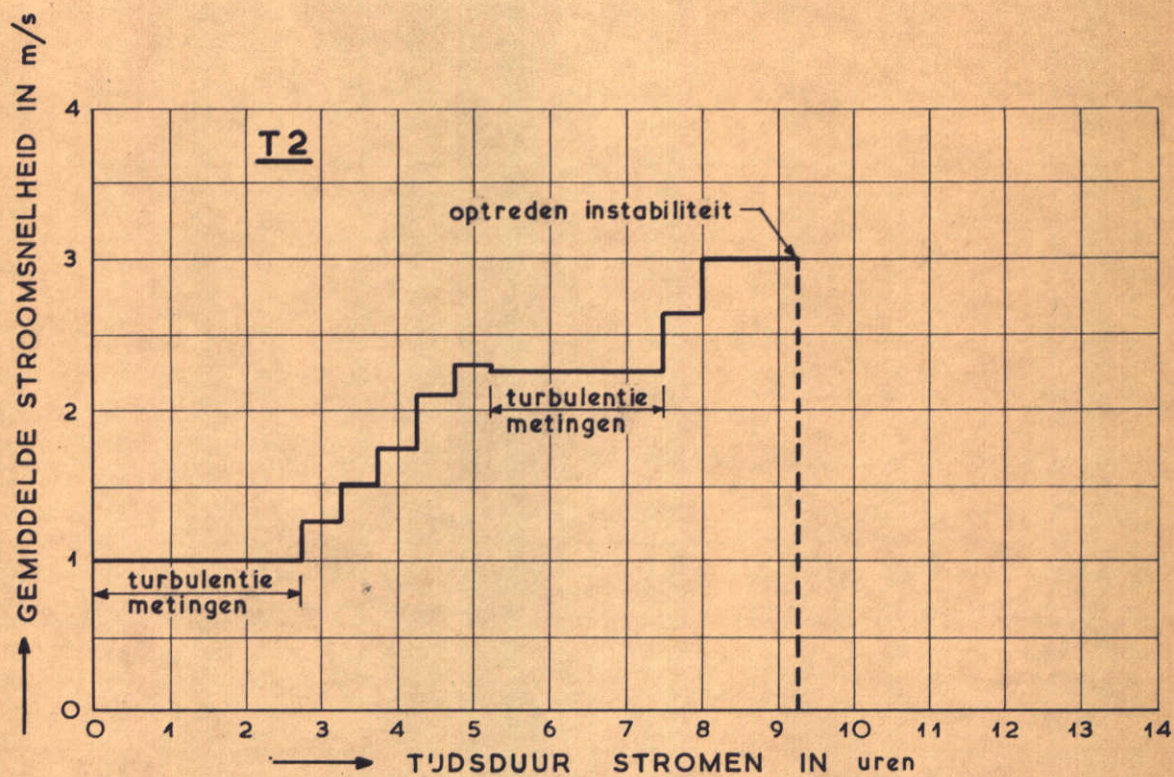
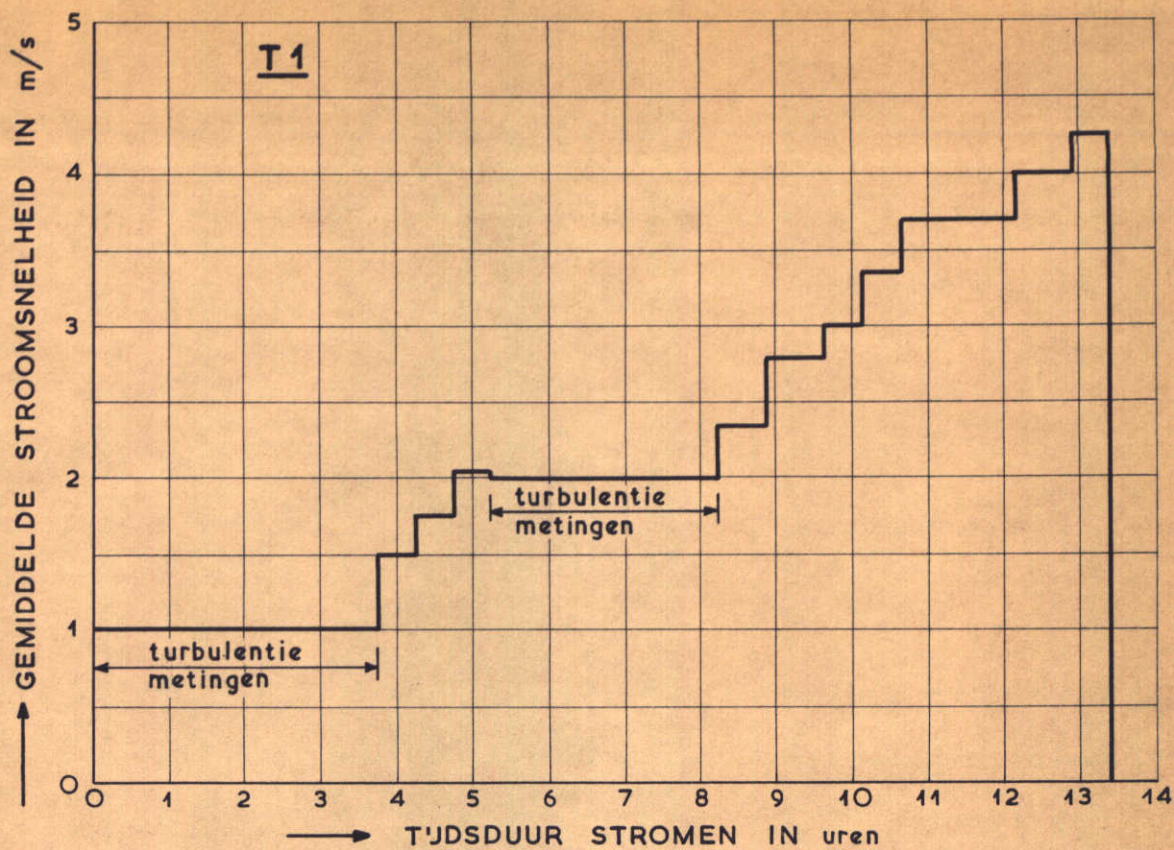
T 1

SCHAAL 1:75

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

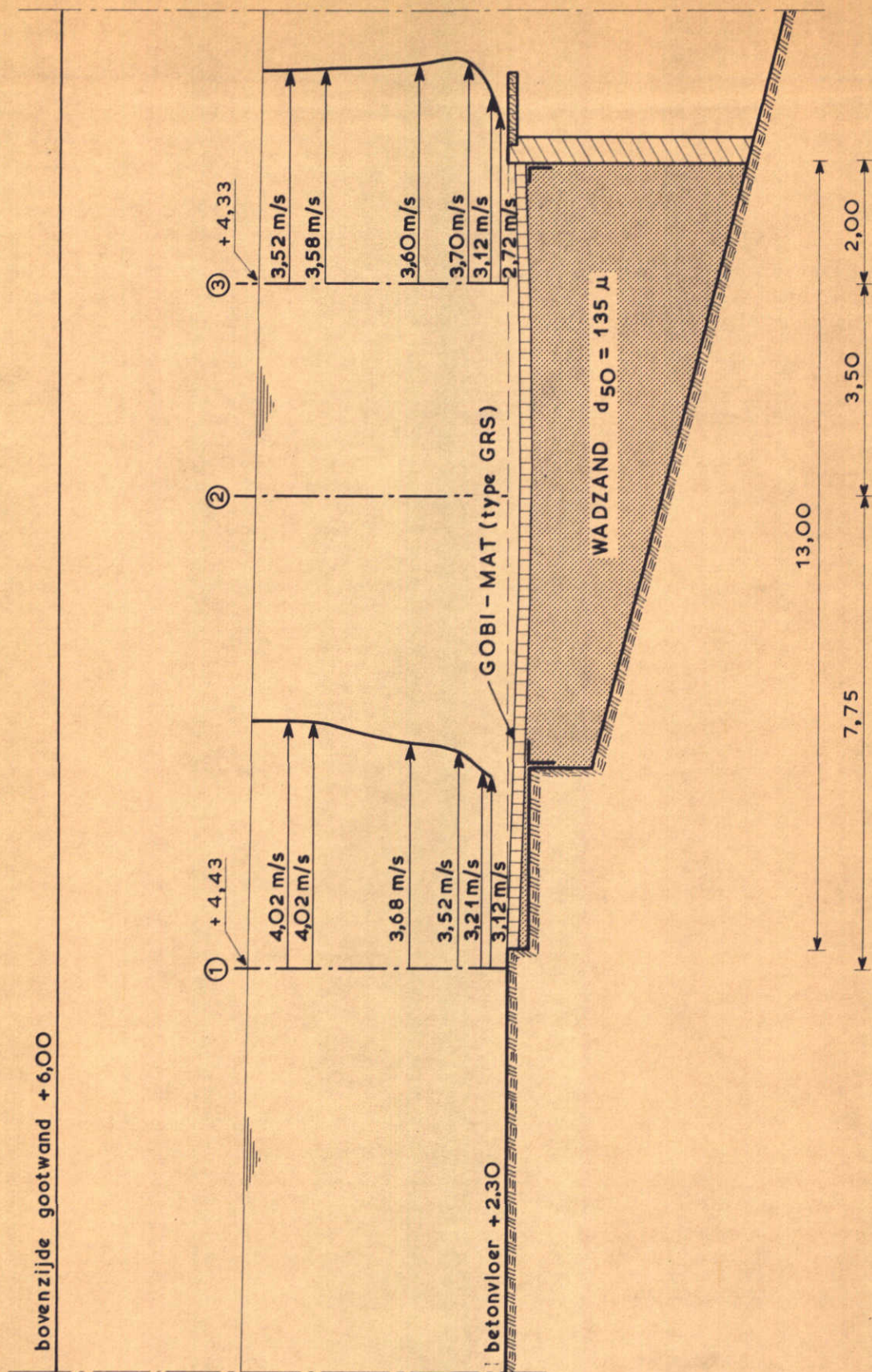
R.460-IX

FIG. 3



STROOMSNELHEDEN EN T'JDSDUUR

T1, T2

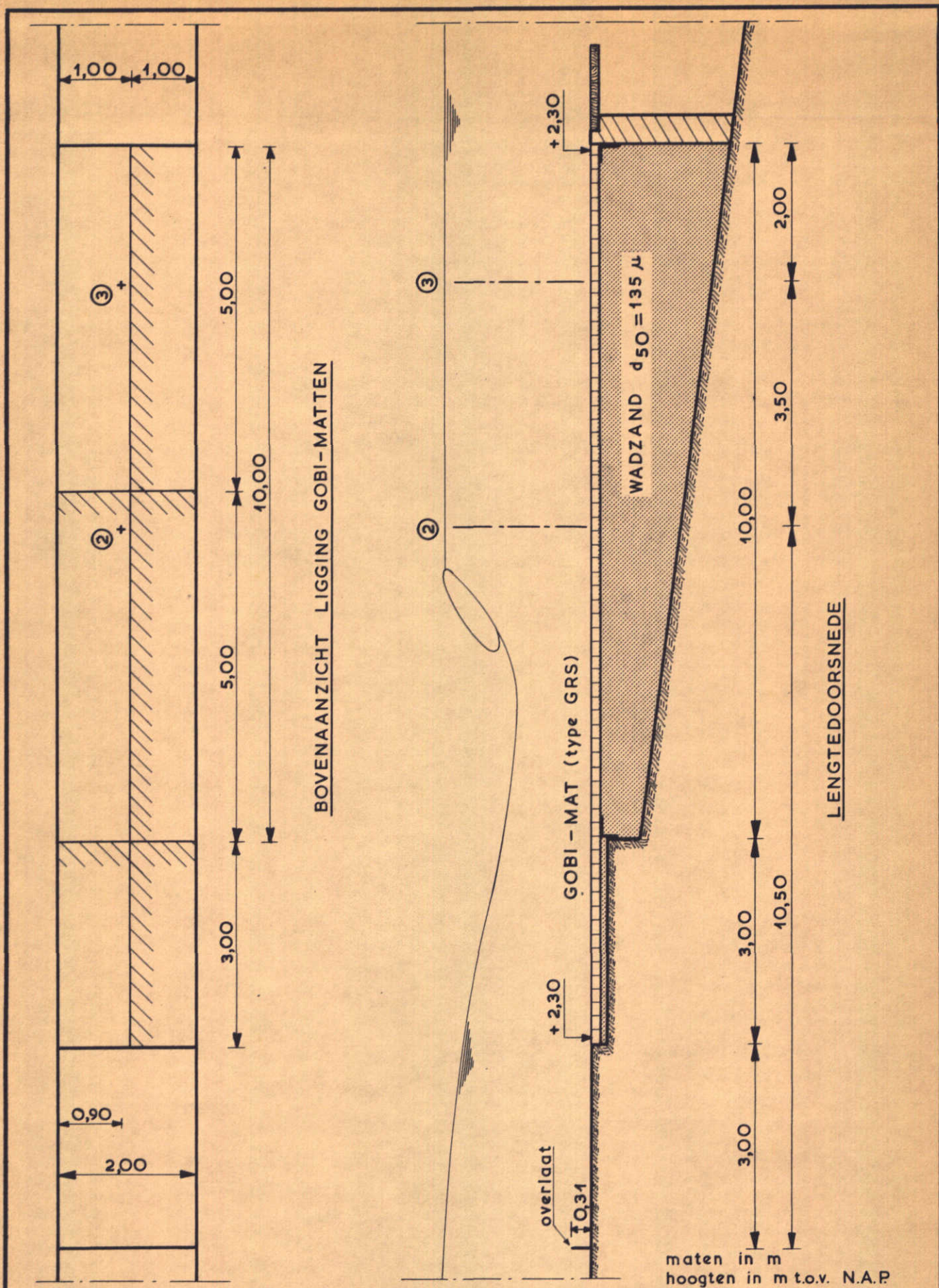


maten in m
 hoogten in m t.o.v. N.A.P.

VERDELING VAN DE STROOMSNELHEID
 IN DE VERTIKAAL

T 1

SCHALEN: hor. 1:100
 vert. 1:50

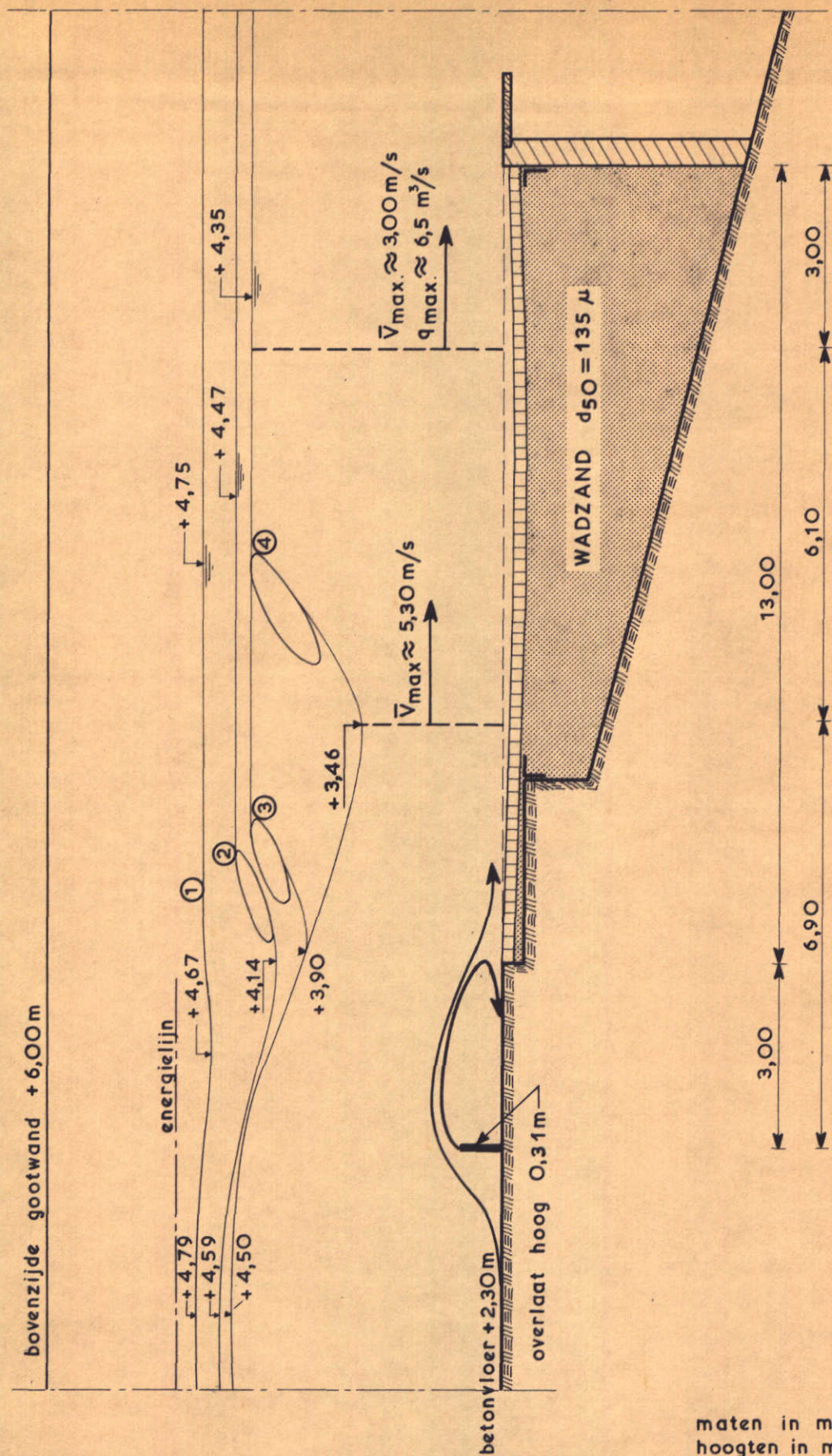


BOVENAANZICHT LIGGING GOBI-MATTEN

LENGTEDOORSNEDE

maten in m
 hoogten in m t.o.v. N.A.P

OPSTELLING PROEF	T 2	
	SCHAAL 1:75	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R.460-IX	FIG. 6



Waargenomen waterstandsverloop tijdens
situatie met ingebouwde overlaat.
Debiet en stroomsnelheden berekend.

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

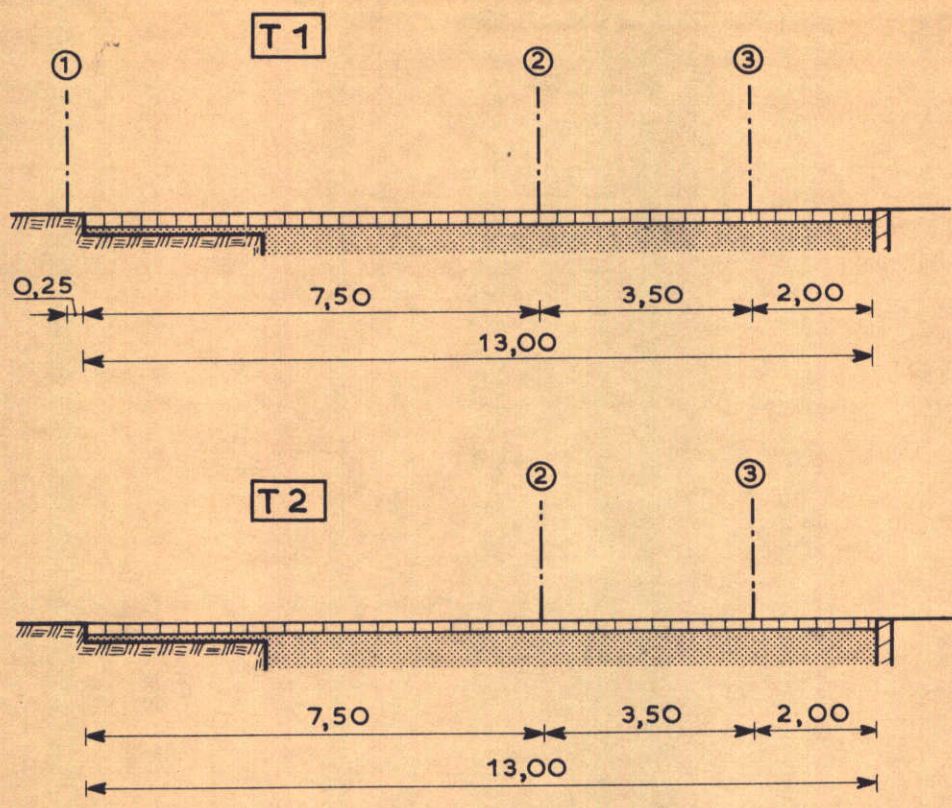
STROOMOMSTANDIGHEDEN

T 2

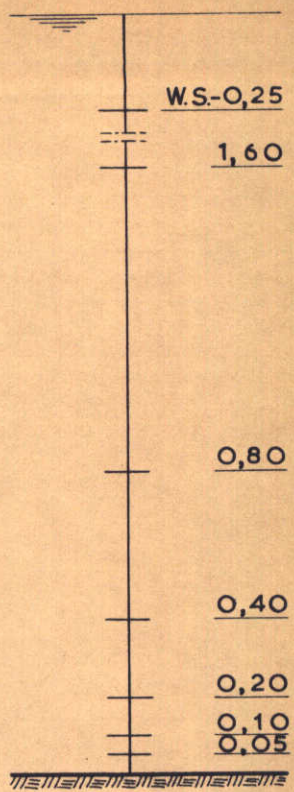
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-IX

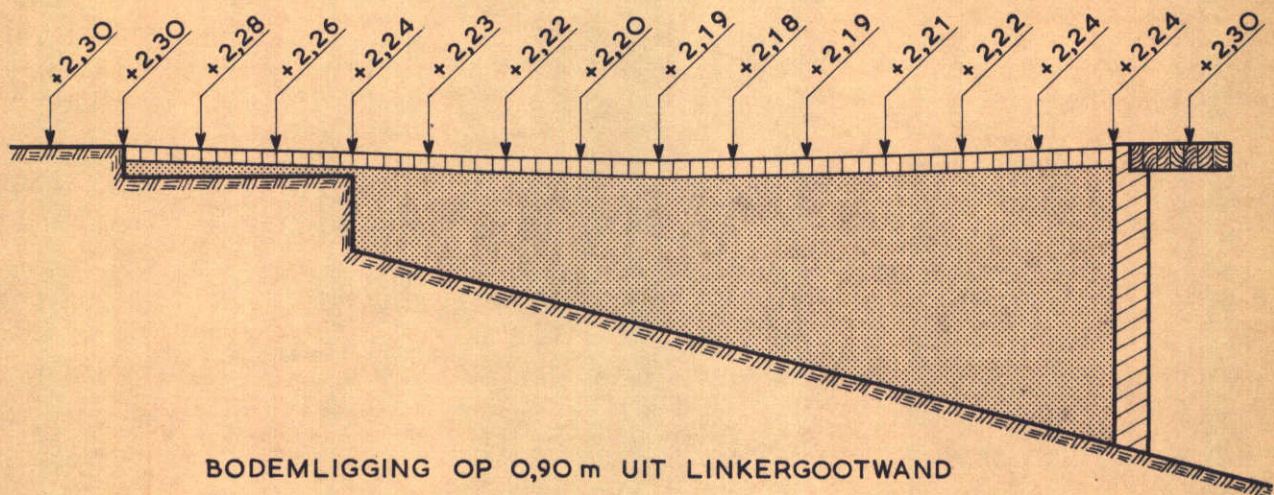
FIG. 7



PLAATS VAN DE MEETVERTIKALEN



PLAATS MEETPUNTEN IN DE VERTIKAAL



BODEMLIGGING OP 0,90 m UIT LINKERGOOTWAND

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

TURBULENTIEMETINGEN	T1, T2	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R. 460-IX	FIG. 8

RAAI 1 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	5,95	82	7,2
bodem+160	3,9	105	3,7
+ 80	3,9	98,5	4,0
+ 40	5,05	92	5,4
+ 20	6,5	89	7,3
+ 10	6,5	82	7,9
+ 5	8,0	72	11,1
bodem op N.A.P. + 2,30 m waterdiepte 2,62 m			

RAAI 1 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	11,1	166	6,7
bodem+160	6,2	191	3,2
+ 80	6,7	182,5	3,7
+ 40	8,9	179,5	5,0
+ 20	10,7	167	6,4
+ 10	13,5	156,5	8,6
+ 5	15,8	140,5	11,2
bodem op N.A.P. + 2,30 m waterdiepte 2,48 m			

RAAI 2 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	5,5	82	6,7
bodem+160	3,85	101	3,8
+ 80	3,6	95	3,8
+ 40	6,2	83	7,5
+ 20	8,25	70,5	11,7
+ 10	8,8	62	14,2
+ 5	8,8	58,5	15,0
bodem op N.A.P. + 2,19 m waterdiepte 2,73 m			

RAAI 2 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	11,0	169	6,5
bodem+160	6,0	188	3,2
+ 80	6,2	182,5	3,4
+ 40	11,7	154	7,6
+ 20	16,3	135	12,1
+ 10	16,7	110,5	15,1
+ 5	17,8	100	17,8
bodem op N.A.P. + 2,19 m waterdiepte 2,59 m			

RESULTATEN TURBULENTIEMETINGEN

T1

RAAI 3 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$ (meettijd 2 min)

RAAI 3 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$ (meettijd 2 min)

ligging meetpunt	σ	\bar{u}	r	ligging meetpunt	σ	\bar{u}	r
(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(%)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(%)
W.S. - 25	5,95	93,5	6,4	W.S. - 25	9,17	177	5,2
bodem + 160	4,6	108,5	4,2	bodem + 160	6,7	191,5	3,5
+ 80	4,2	99,5	4,2	+ 80	7,0	186,5	3,7
+ 40	7,8	86,5	9,0	+ 40	13,4	167,5	8,0
+ 20	8,06	71	11,3	+ 20	17,8	145,5	12,2
+ 10	8,5	62	13,7	+ 10	18	121	14,9
+ 5	8,75	55,5	15,8	+ 5	18	113	15,9
bodem op N.A.P. + 2,22 m waterdiepte 2,70 m				bodem op N.A.P. + 2,22 m waterdiepte 2,56 m			

RAAI 3 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$ (meettijd 4 min)

RAAI 3 ZONDER OVERLAAT

$\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$ (meettijd 4 min)

ligging meetpunt	σ	\bar{u}	r	ligging meetpunt	σ	\bar{u}	r
(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(%)	(cm)	(cm/s)	(cm/s)	(%)
W.S. - 25	6,05	93,5	6,5	W.S. - 25	9,1	177	5,1
bodem + 160	4,65	108,5	4,3	bodem + 160	6,5	191,5	3,4
+ 80	4,0	99,5	4,0	+ 80	6,7	186,5	3,6
+ 40	7,7	86,5	8,9	+ 40	13,2	167,5	7,9
+ 20	8,5	71	12,0	+ 20	16,1	145	11,1
+ 10	8,65	62	14,0	+ 10	16,9	121	14,0
+ 5	8,8	55,5	15,9	+ 5	16,4	113	14,5
bodem op N.A.P. + 2,22 m waterdiepte 2,70 m				bodem op N.A.P. + 2,22 m waterdiepte 2,56 m			

RESULTATEN TURBULENTIEMETINGEN

T 1

RAAI 2 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$

RAAI 2 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)	ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	4,3	108	4,0	W.S. - 25	11,4	192	5,9
bodem + 160	4,0	116	3,4	bodem + 160	8,3	207	4,0
+ 80	15,3	98,5	15,5	+ 80	29,5	175	16,9
+ 40	16,0	77,5	20,6	+ 40	31,6	134	23,6
+ 20	15,1	67,5	22,4	+ 20	25,6	112,5	22,8
+ 10	13,4	62,5	21,5	+ 10	25,0	107	23,4
+ 5	13,0	54,5	24,0	+ 5	24,4	96,5	25,3
bodem op N.A.P. + 2,19 m waterdiepte 2,71 m				bodem op N.A.P. + 2,19 m waterdiepte 2,55 m			

RESULTATEN TURBULENTIEMETINGEN

T 2

RAAI 3 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$ (meettijd 2 min)

RAAI 3 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$ (meettijd 2 min)

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	4,7	109,5	4,3
bodem+160	4,8	116	4,1
+ 80	10,9	104	10,5
+ 40	11,5	87,5	13,1
+ 20	11,6	79	14,7
+ 10	11,8	70	16,9
+ 5	-	-	-

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	12,0	189,5	6,3
bodem+160	9,0	208	4,3
+ 80	17,8	177,5	10,0
+ 40	20,2	161	12,5
+ 20	20,7	136	15,2
+ 10	21,0	125	16,8
+ 5	-	-	-

bodem op N.A.P. + 2,22 m
 waterdiepte 2,68 m

bodem op N.A.P. + 2,22 m
 waterdiepte 2,52 m

RAAI 3 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$ (meettijd 4 min)

RAAI 3 MET OVERLAAT
 $\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$ (meettijd 4 min)

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	4,85	109,5	4,4
bodem+160	5,1	116	4,4
+ 80	10,6	104	10,2
+ 40	11,4	87,5	13,0
+ 20	11,8	79	14,9
+ 10	11,7	70	16,7
+ 5	-	-	-

ligging meetpunt (cm)	σ (cm/s)	\bar{u} (cm/s)	r (%)
W.S. - 25	11,3	189,5	6,0
bodem+160	9,0	208	4,3
+ 80	17,8	177,5	10,0
+ 40	20,5	161	12,7
+ 20	20,3	136	14,9
+ 10	20,4	125	16,3
+ 5	-	-	-

bodem op N.A.P. + 2,22 m
 waterdiepte 2,68 m

bodem op N.A.P. + 2,22 m
 waterdiepte 2,52 m

RESULTATEN TURBULENTIEMETINGEN

T 2

ZONDER OVERLAAT

ligging meetpunt	RAAI 1		RAAI 2		RAAI 3 2 min		RAAI 3 4 min		RAAI 1		RAAI 2		RAAI 3 2 min		RAAI 3 4 min	
	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_1	\bar{u}_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2
W.S. - 25	82	166	82	169	93,5	177	93,5	177	7,2	6,7	6,7	6,5	6,4	5,2	6,5	5,1
bodem+160	105	191	101	188	108,5	194,5	108,5	194,5	3,7	3,2	3,8	3,2	4,2	3,5	4,3	3,4
+ 80	98,5	182,5	95	182,5	99,5	186,5	99,5	186,5	4,0	3,7	3,8	3,4	4,2	3,7	4,0	3,6
+ 40	92	179,5	83	154	86,5	167,5	86,5	167,5	5,4	5,0	7,5	7,6	9,0	8,0	8,9	7,9
+ 20	89	167	70,5	135	71	145,5	71	145,5	7,3	6,4	11,7	12,1	11,3	12,2	12,0	11,1
+ 10	82	156,5	62	110,5	62	121	62	121	7,9	8,6	14,2	15,1	13,7	14,9	14,0	14,0
+ 5	72	140,5	58,5	100	55,5	113	55,5	113	11,1	11,2	15,0	17,8	15,8	15,9	15,9	14,5

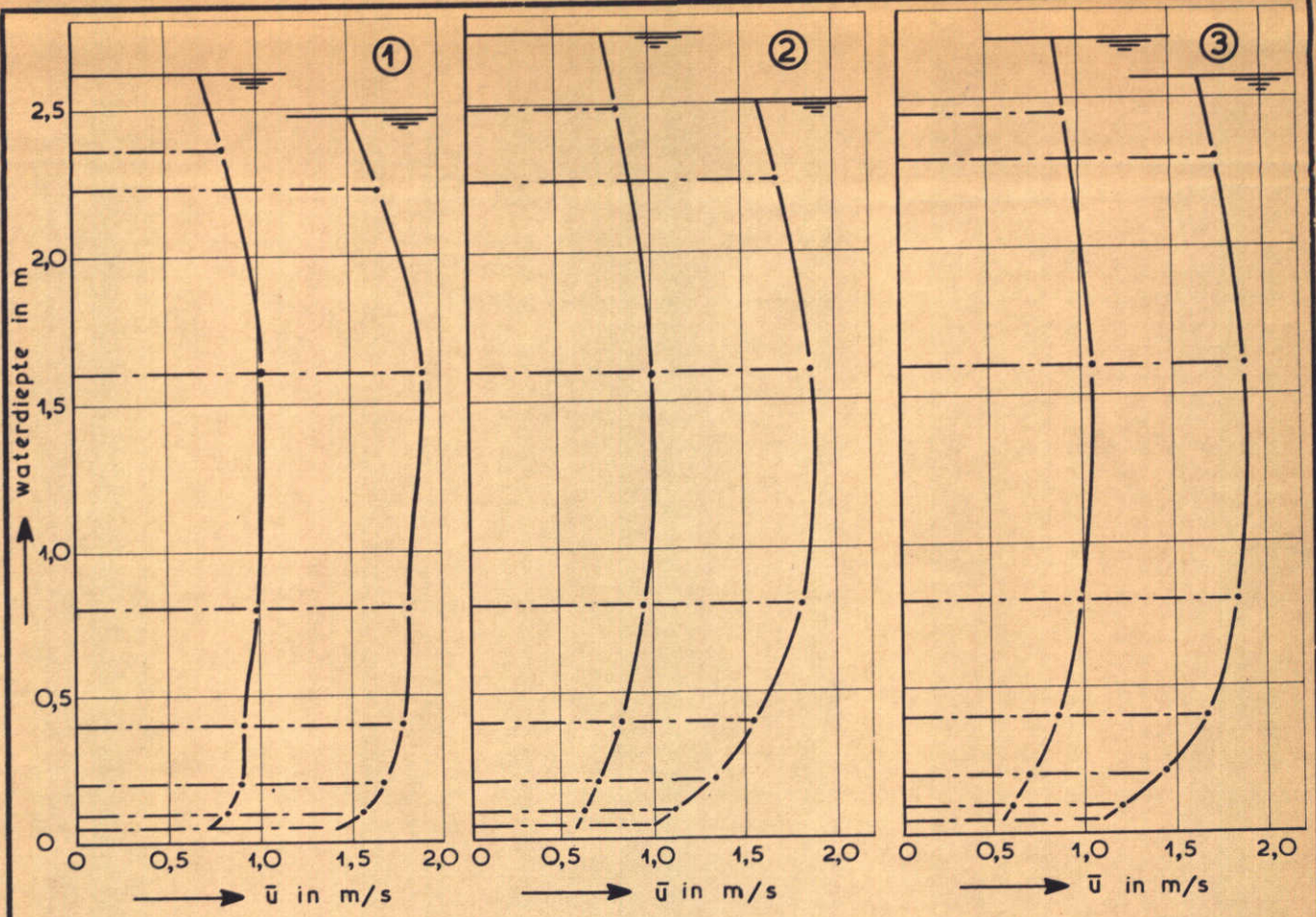
\bar{u} = gem. stroomsnelheid in cm/s r = relatieve turbulentie in % ($\frac{r}{\bar{u}} \cdot 100\%$)
 \bar{u}_1 is \bar{u} bij $\bar{V} \approx 1$ m/s ; r_1 is r bij $\bar{V} \approx 1$ m/s enz.

MET OVERLAAT

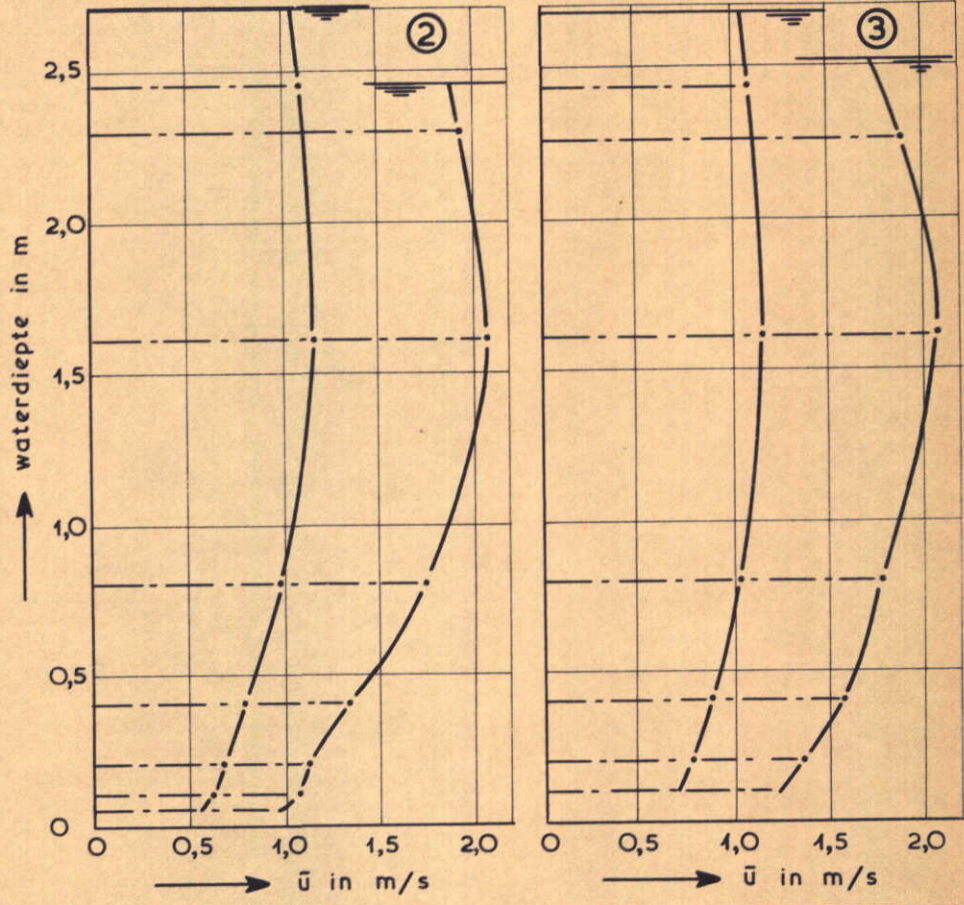
ligging meetpunt	RAAI 2		RAAI 3 2 min		RAAI 3 4 min		RAAI 2		RAAI 3 2 min		RAAI 3 4 min	
	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_1	\bar{u}_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2
W.S. - 25	108	192	109,5	189,5	109,5	189,5	4,0	5,9	4,3	6,3	4,4	6,0
bodem+160	116	207	116	208	116	208	3,4	4,0	4,1	4,3	4,4	4,3
+ 80	98,5	175	104	177,5	104	177,5	15,5	16,9	10,5	10,0	10,2	10,0
+ 40	77,5	134	87,5	161	87,5	161	20,6	23,6	13,1	12,5	13,0	12,7
+ 20	67,5	112,5	79	136	79	136	22,4	22,8	14,7	15,2	14,9	14,9
+ 10	62,5	107	70	125	70	125	21,5	23,4	16,9	16,8	16,7	16,3
+ 5	54,5	96,5	-	-	-	-	24,0	25,3	-	-	-	-

\bar{u} = gem. stroomsnelheid in cm/s r = relatieve turbulentie in % ($\frac{r}{\bar{u}} \cdot 100\%$)
 \bar{u}_1 is \bar{u} bij $\bar{V} \approx 1$ m/s ; r_1 is r bij $\bar{V} \approx 1$ m/s enz.

RESULTATEN TURBULENTIEMETINGEN

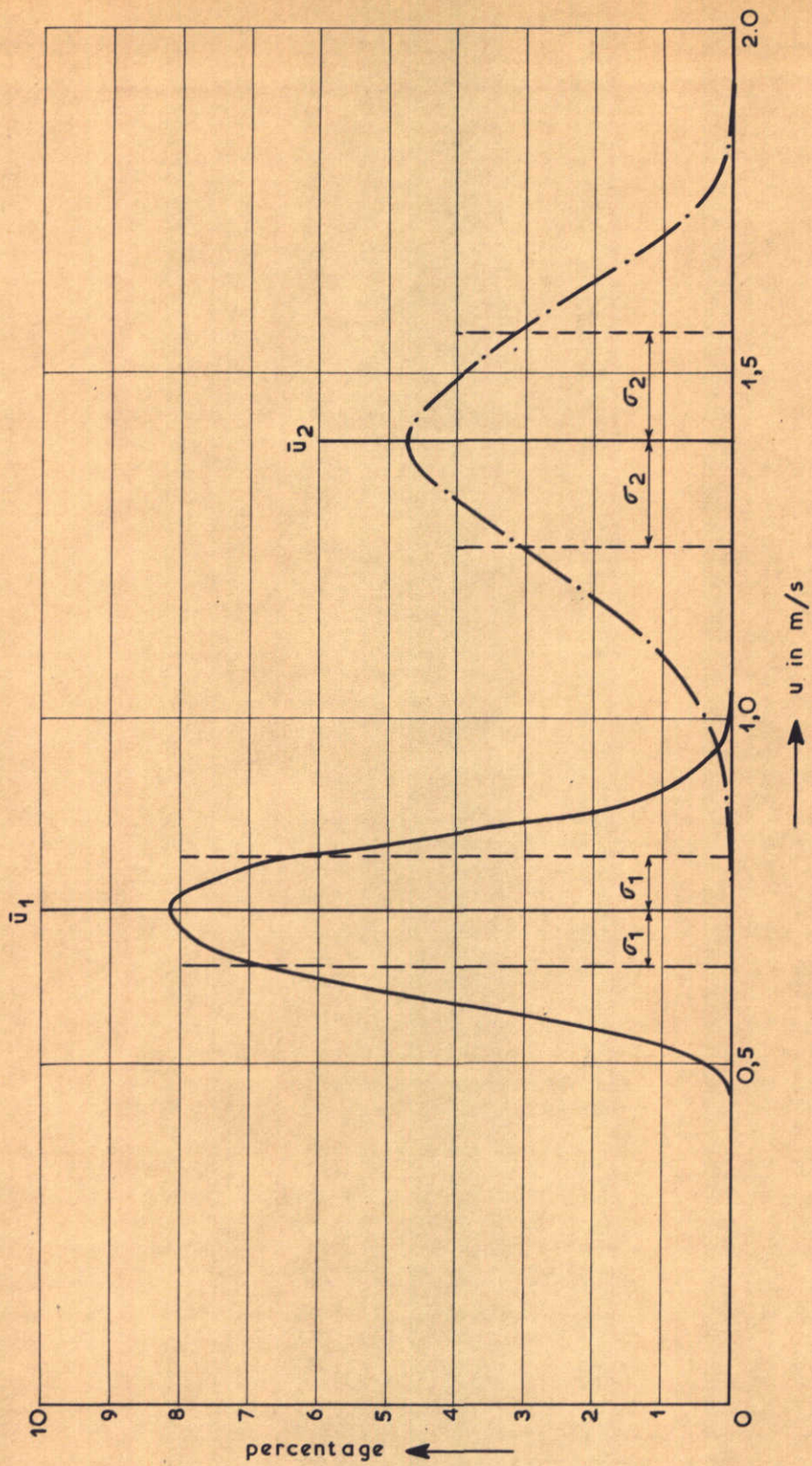


① }
 ② } MEET-
 ③ } VERTIKALEN



VERDELING STROOMSNELHEID

T1, T2

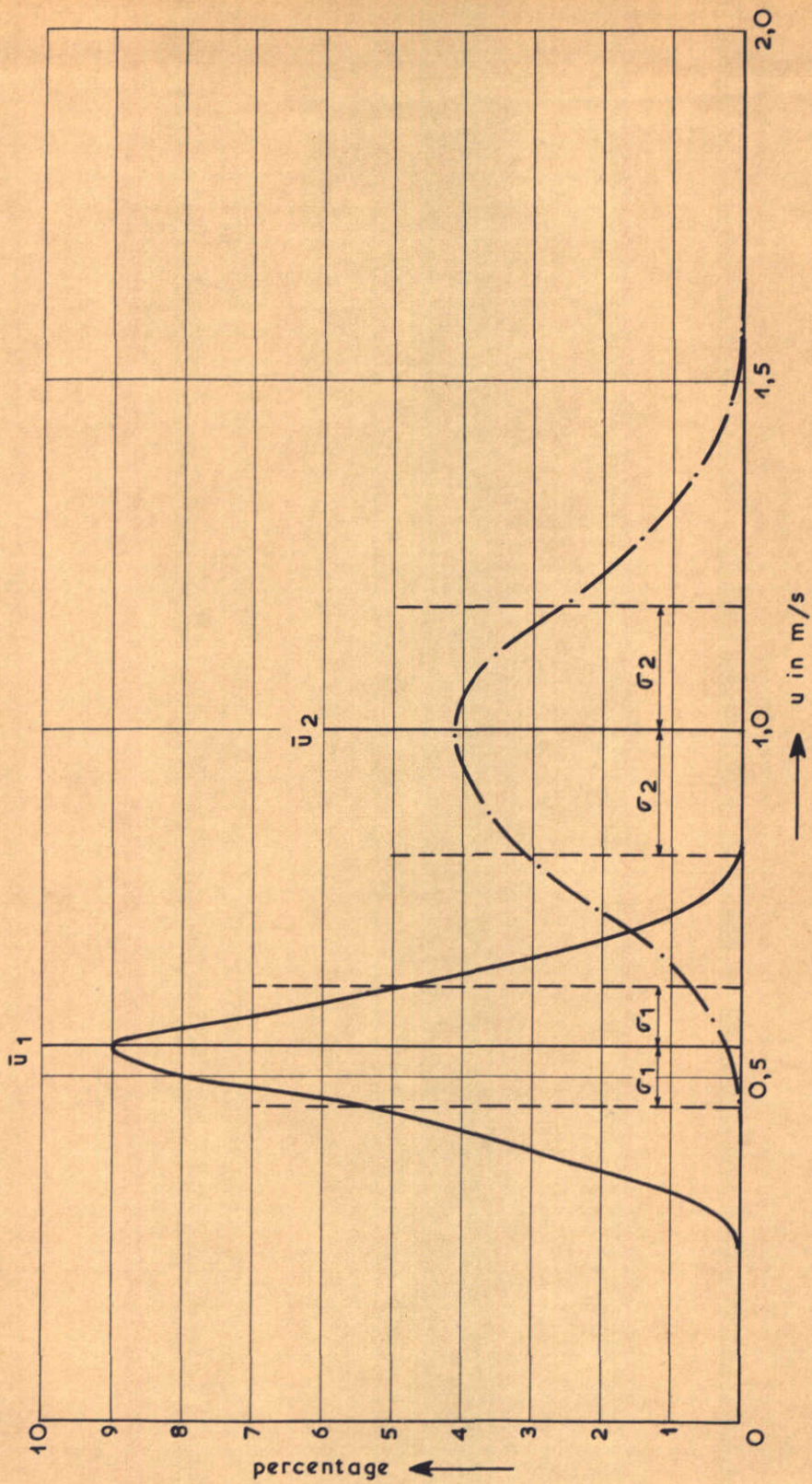


raai 1 bodem + 5 cm
zonder overlaat

— $\bar{V} \approx 1$ m/s
- · - · - $\bar{V} \approx 2$ m/s

KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T1



raai 2 bodem + 5 cm
zonder overlant

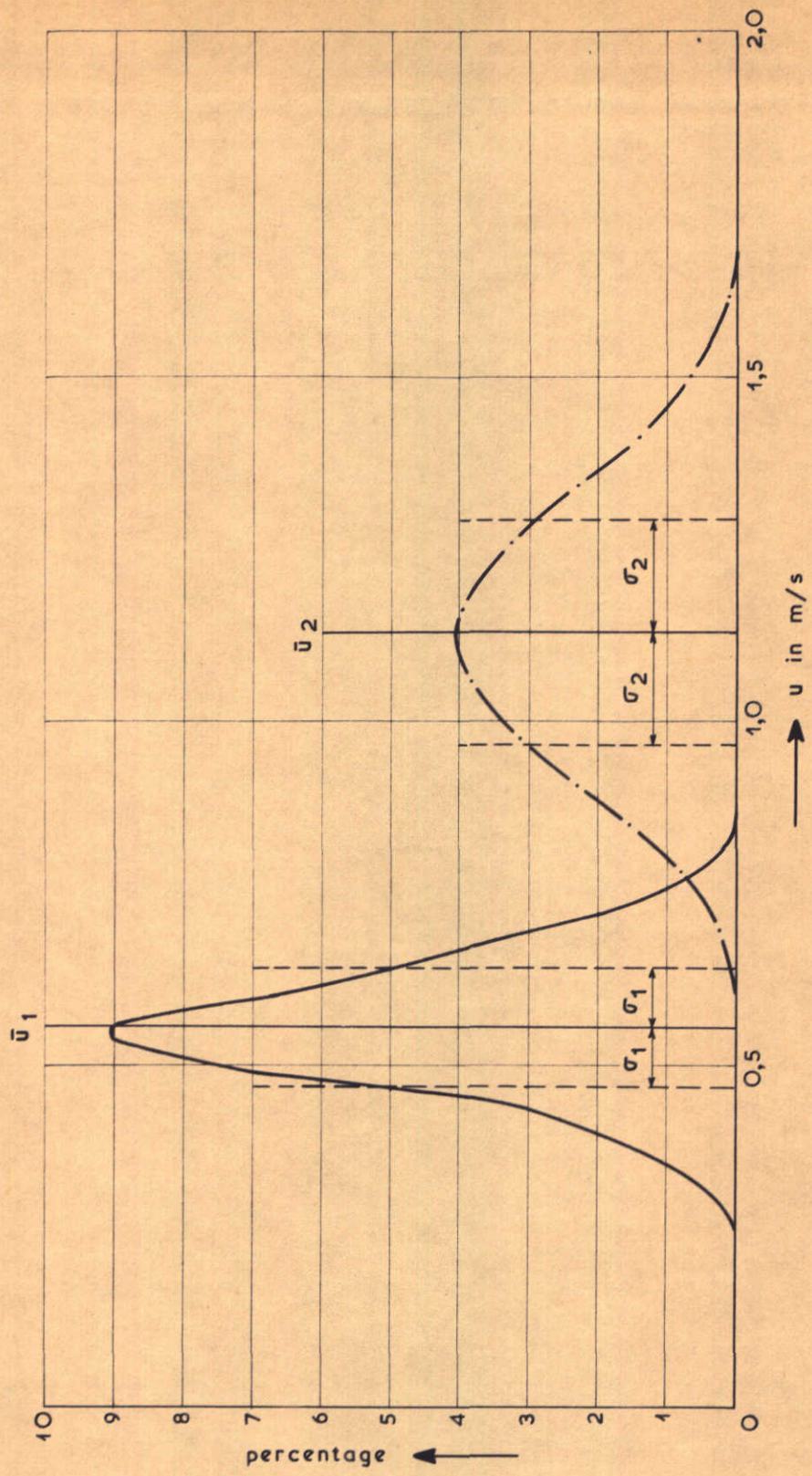
— $\bar{V} \approx 1$ m/s
- · - · - $\bar{V} \approx 2$ m/s

KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX FIG. 16

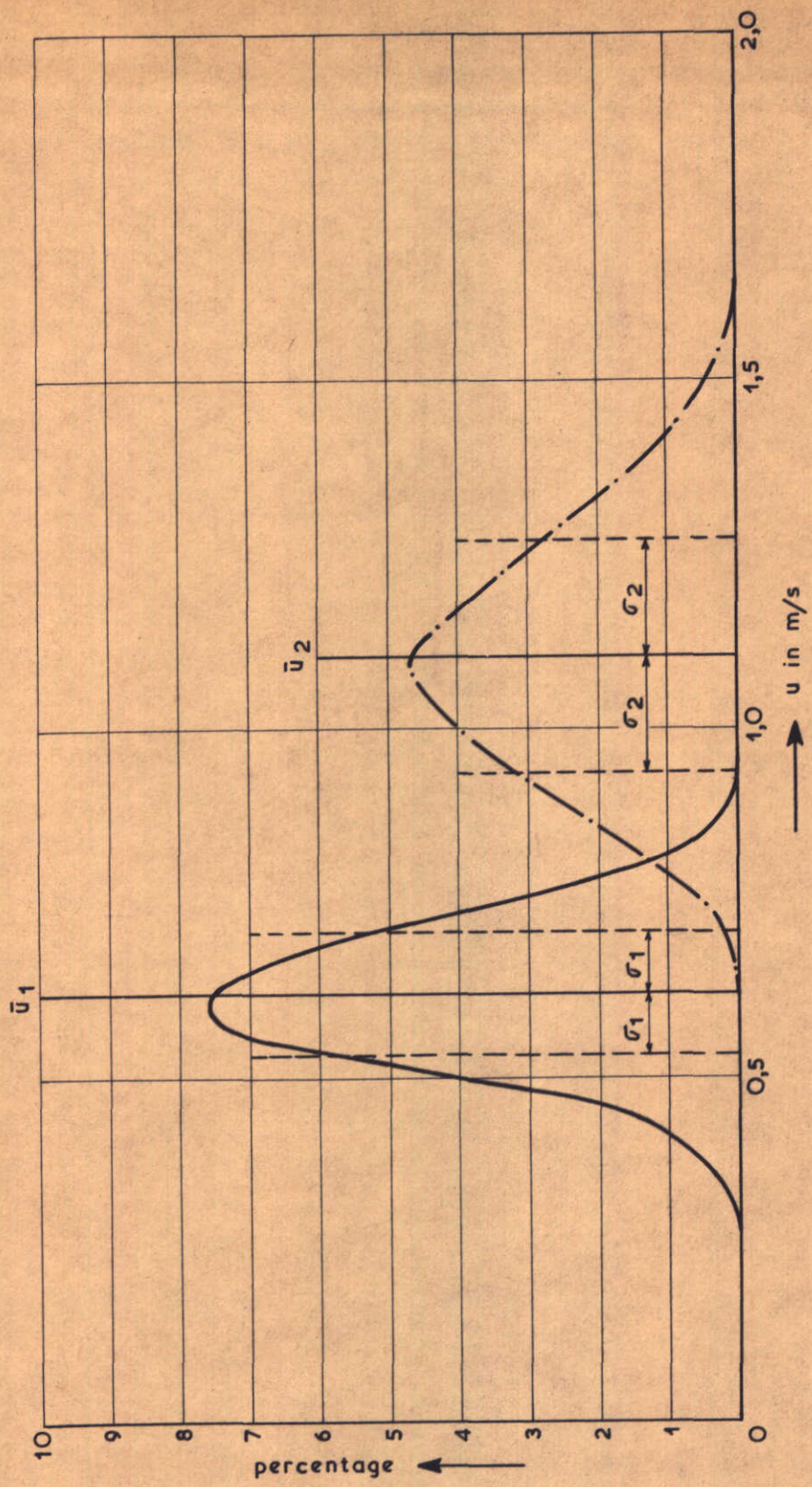


raai 3 bodem + 5 cm
zonder overlaet

— $\bar{V} \approx 1$ m/s
- - - $\bar{V} \approx 2$ m/s

KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T1

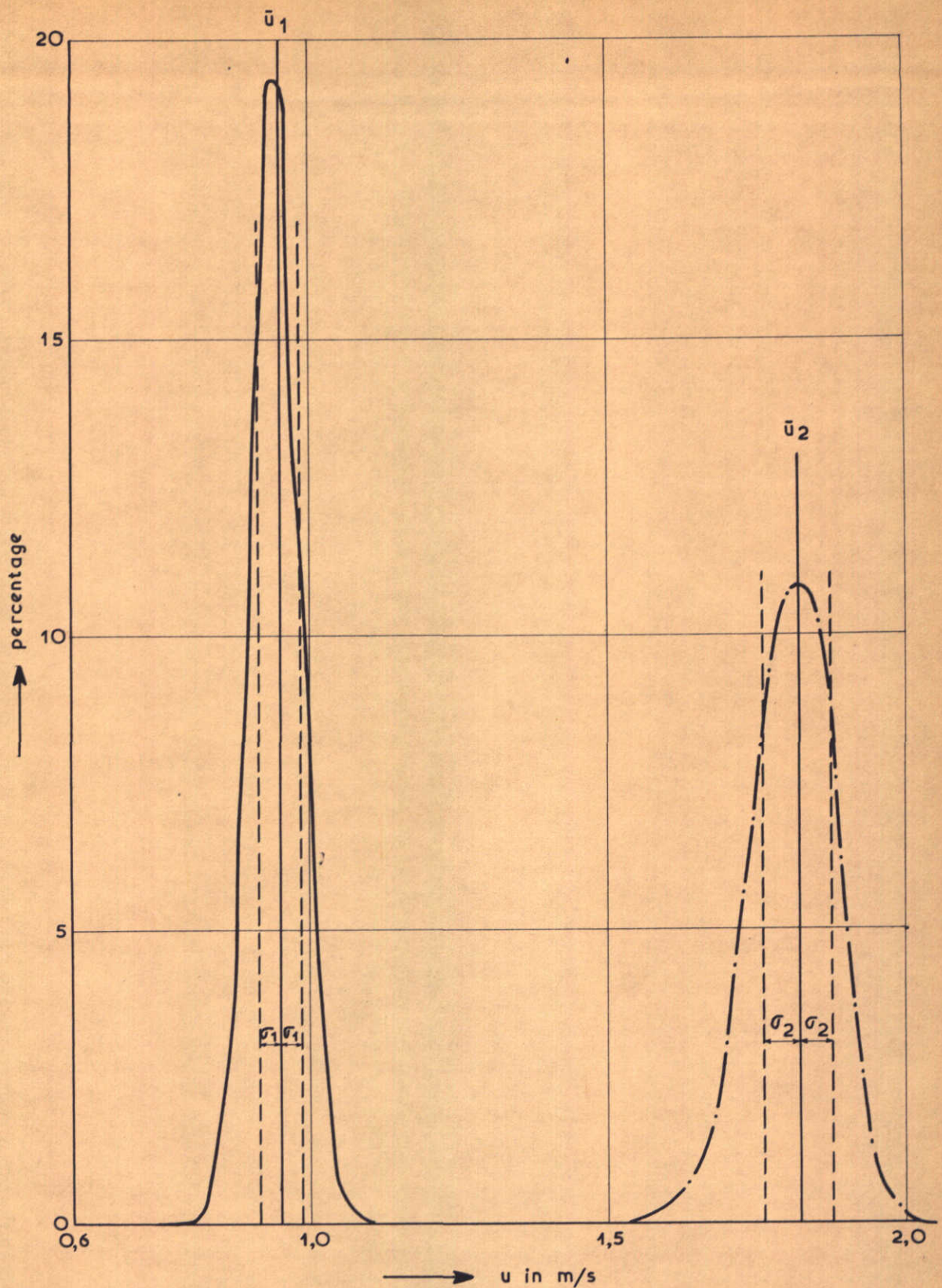


raai 2 bodem + 10 cm
 zonder overlaet

$\bar{V} \approx 1$ m/s
 $\bar{V} \approx 2$ m/s

KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T1



raai 2 bodem + 80 cm
zonder overlaat

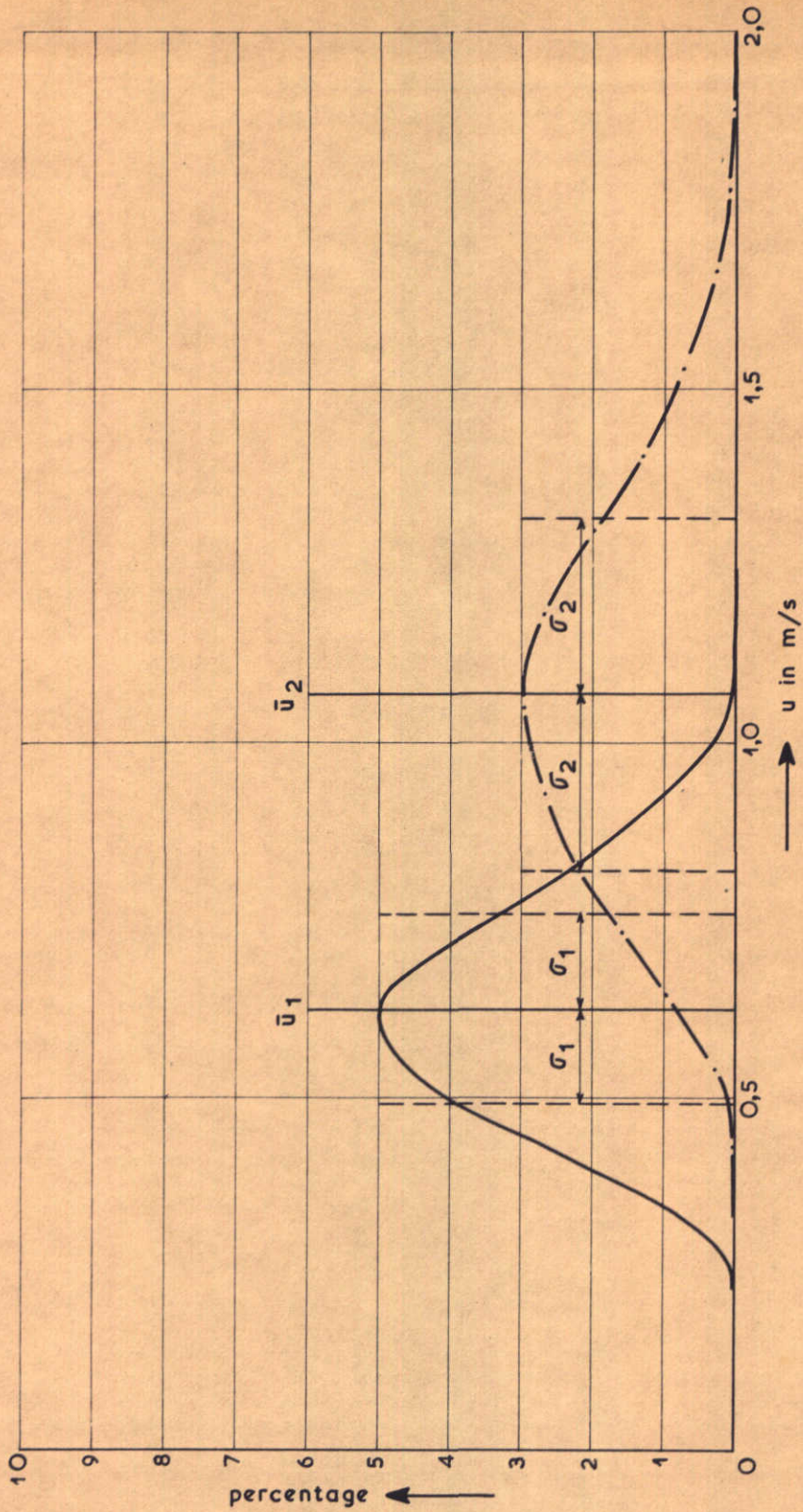
— $\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$
- · - · - $\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$

KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX FIG. 19



raai 2 bodem + 10 cm
met overlaat

— $\bar{V} \approx 1$ m/s
- · - · - $\bar{V} \approx 2$ m/s

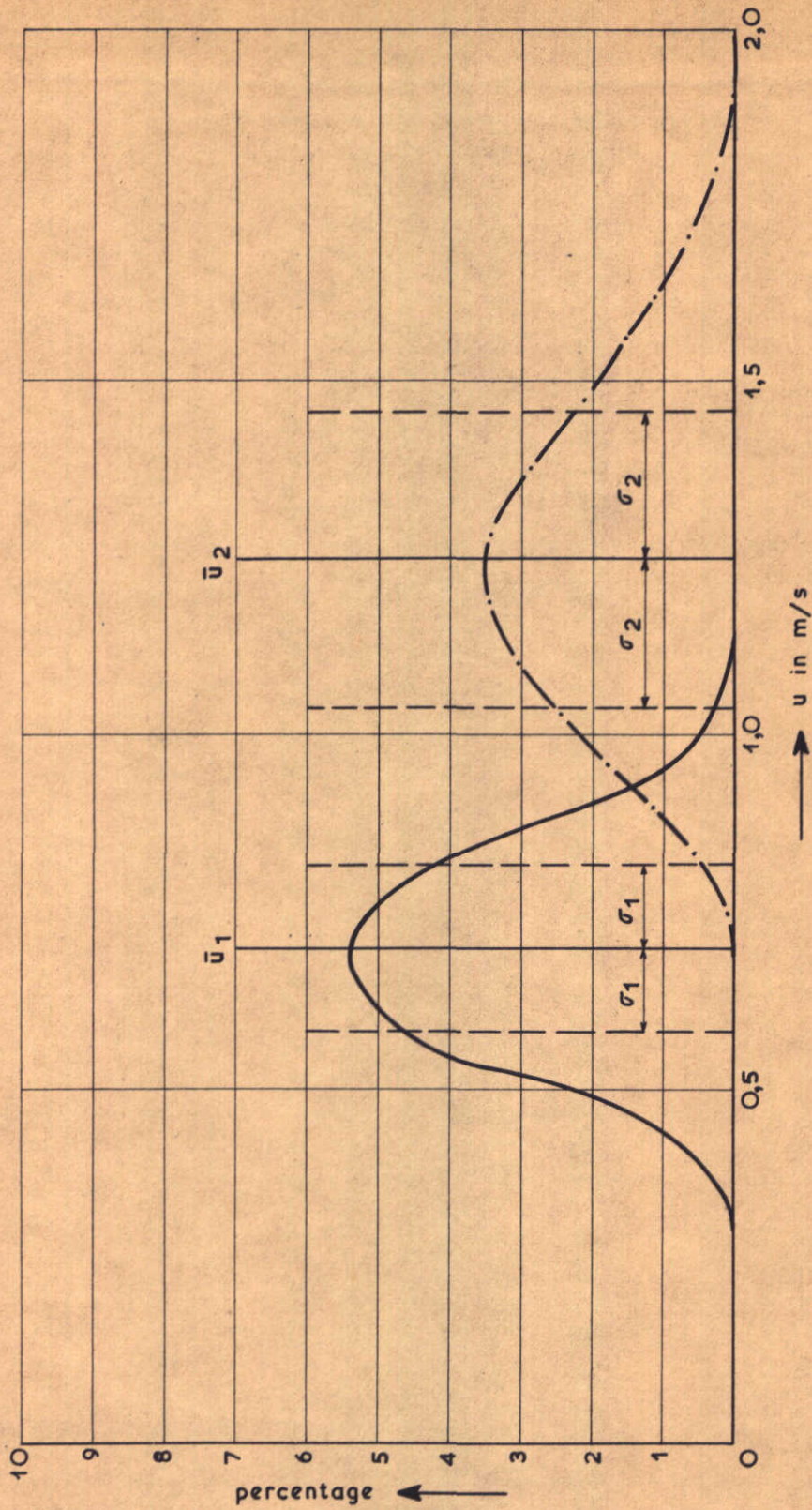
KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460 - IX

FIG. 20



raai 3 bodem + 10 cm
met overlaat

— $\bar{V} \approx 1 \text{ m/s}$
-.-.- $\bar{V} \approx 2 \text{ m/s}$

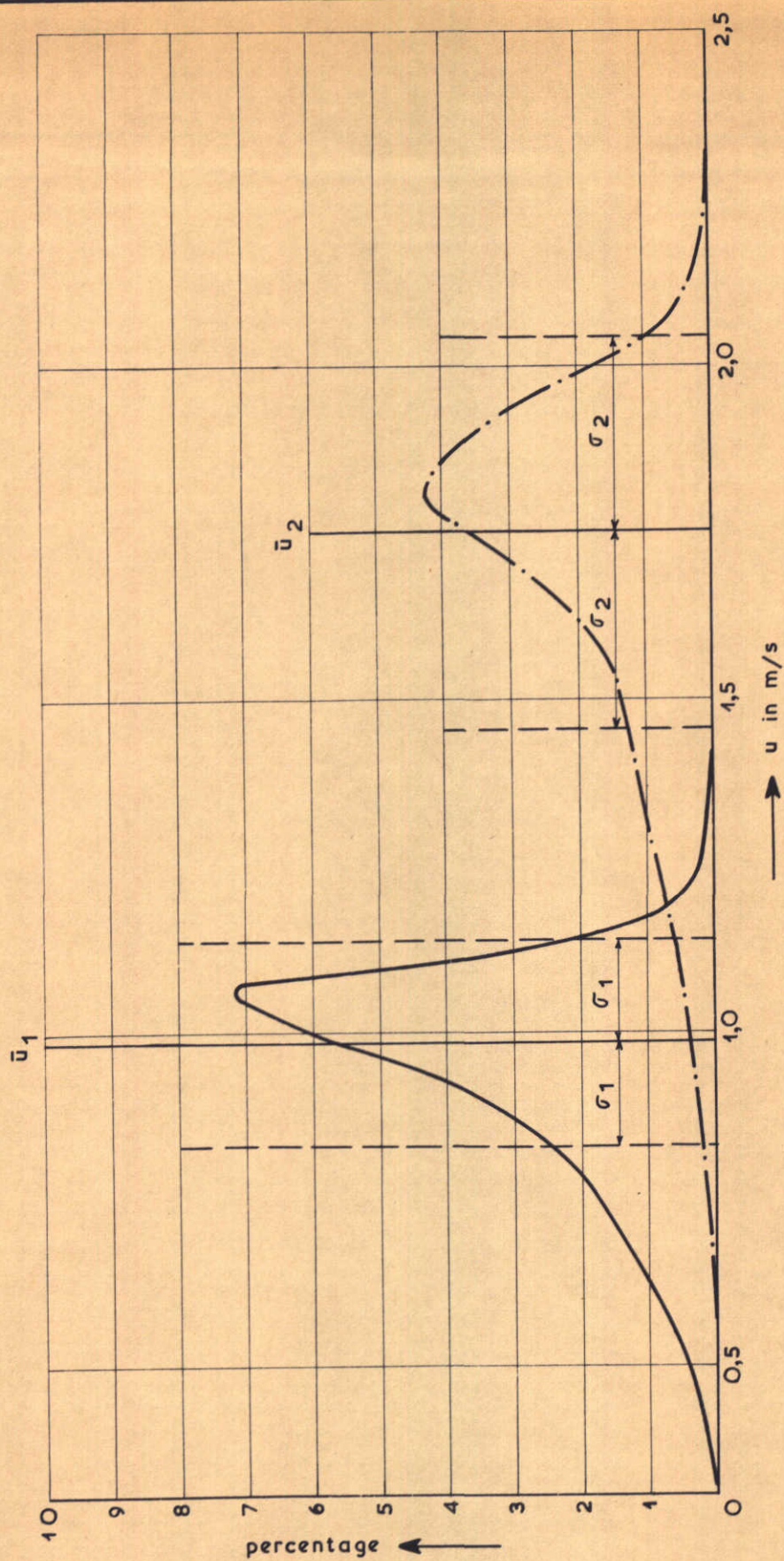
KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460 - IX

FIG. 21



raai 2 bodem + 80 cm
met overlaat

— $V \approx 1$ m/s
- · - · - $V \approx 2$ m/s

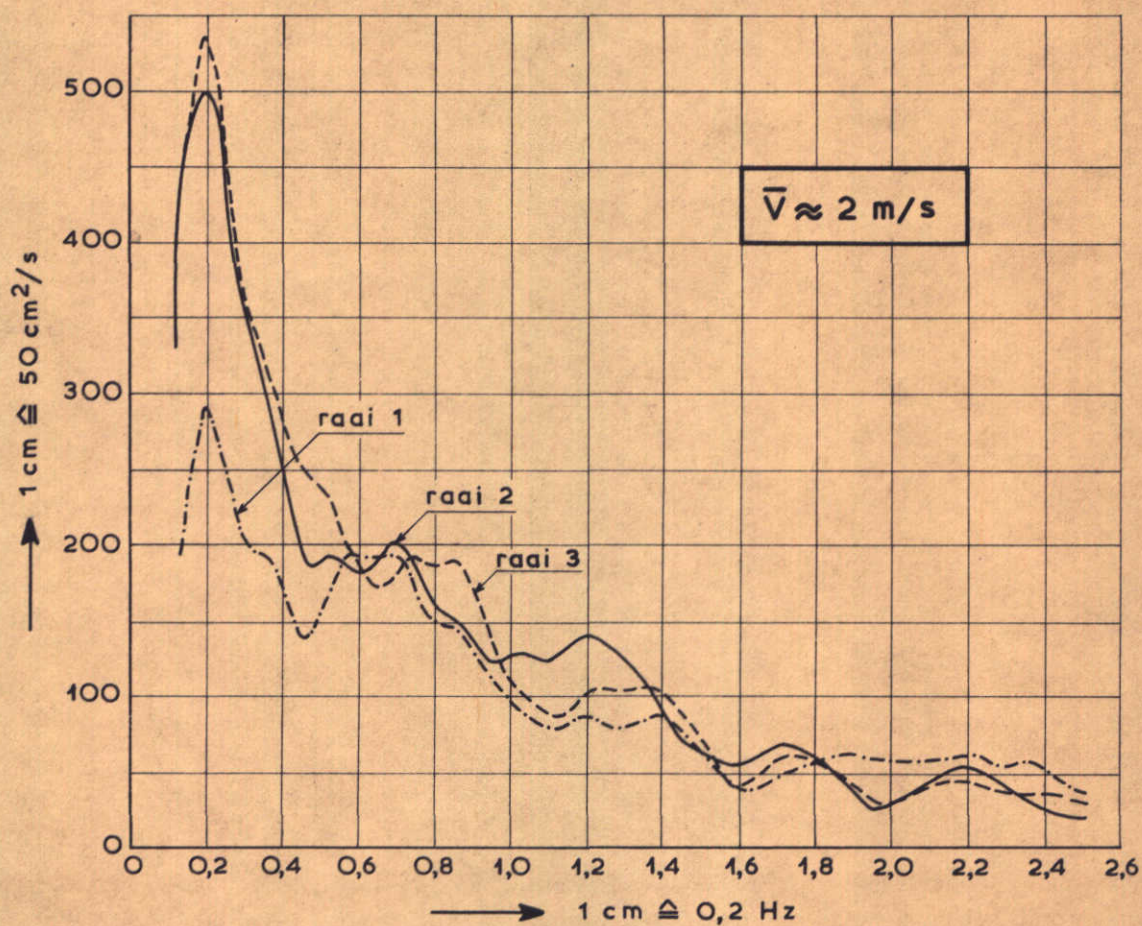
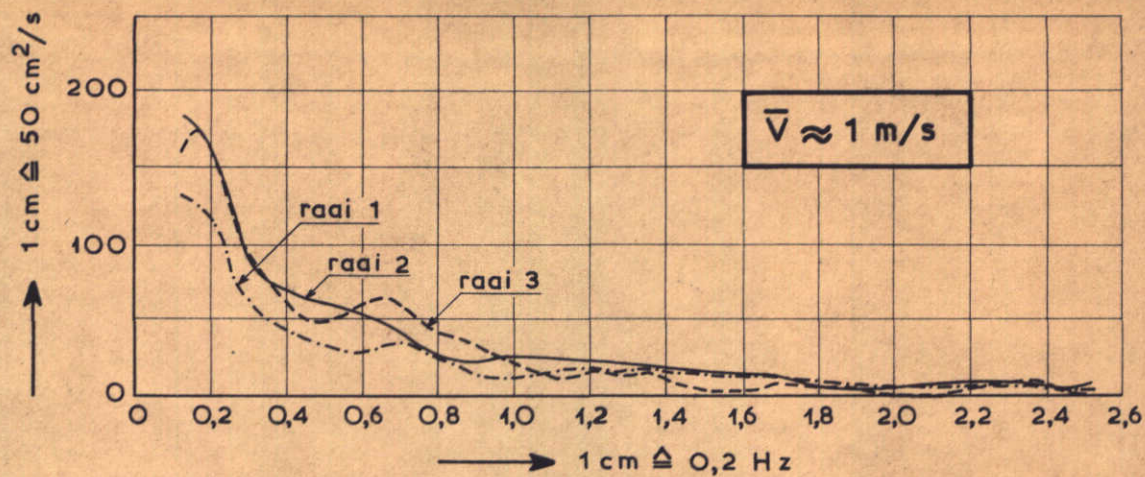
KANSVERDELING STROOMSNELHEID

T 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX

FIG. 22



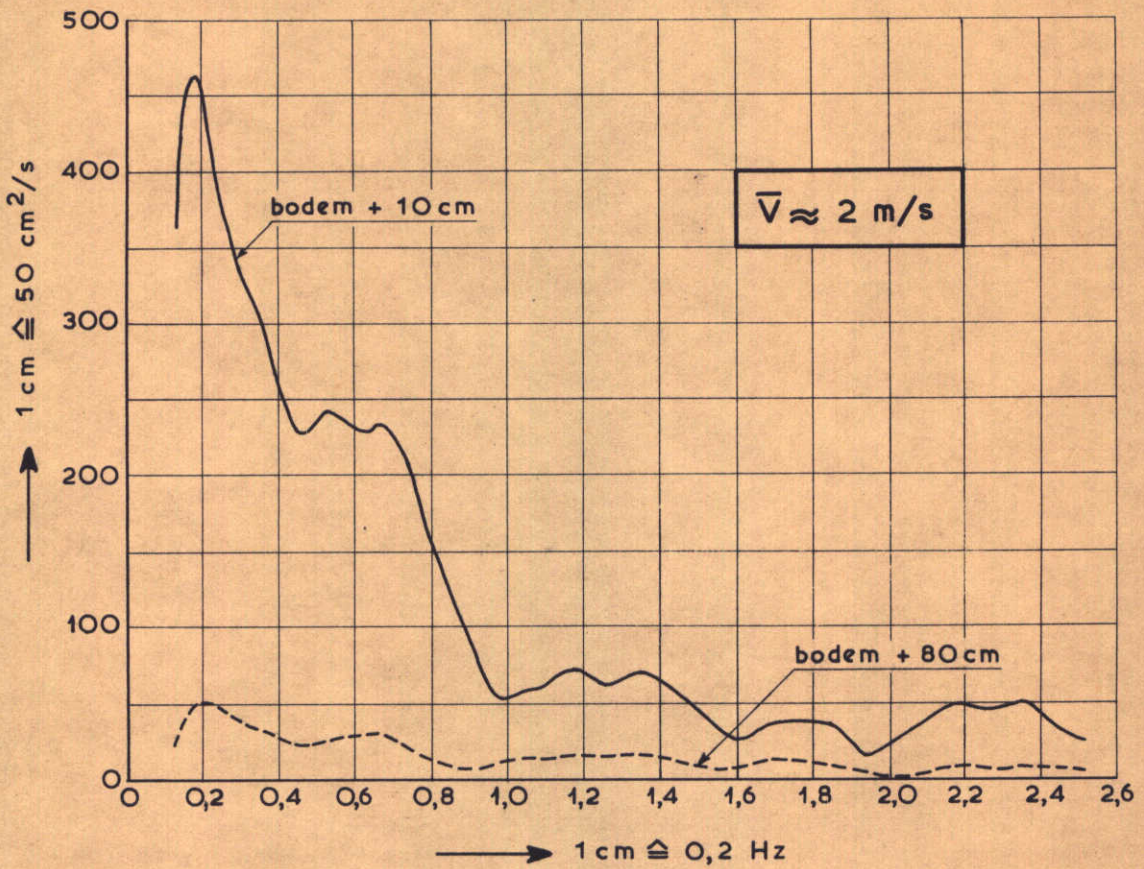
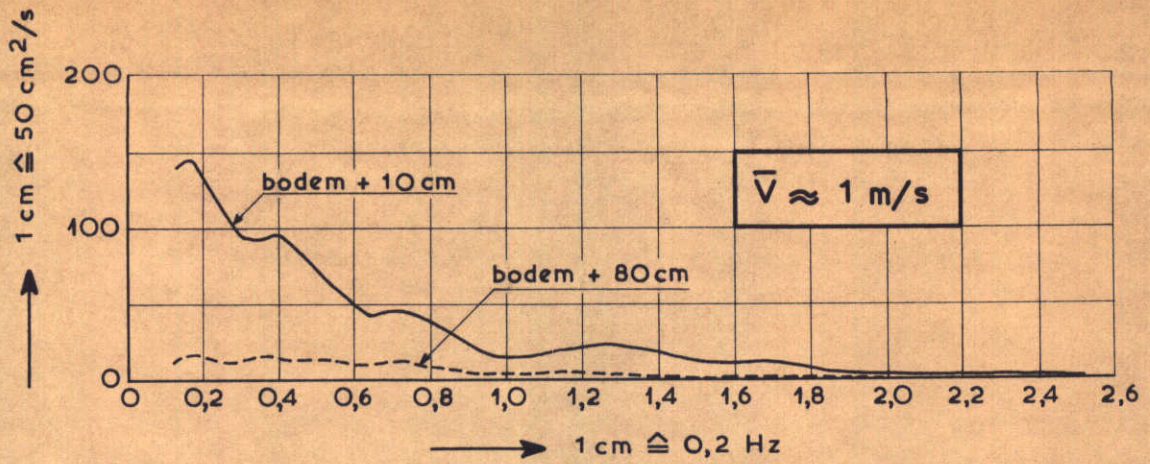
ENERGIESPECTRA

T1

BODEM + 5 cm

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460 - IX FIG. 23



ENERGIESPECTRA

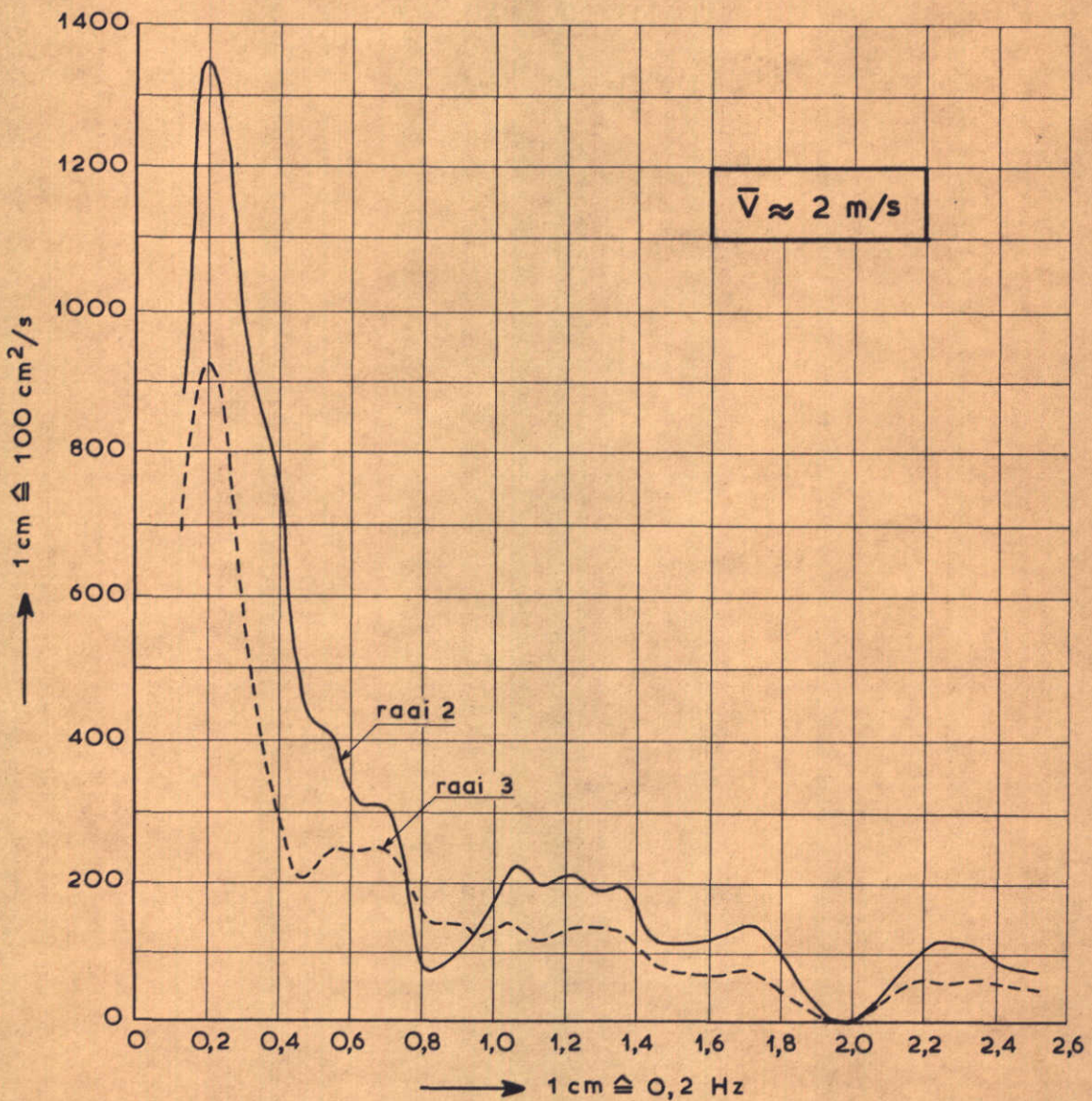
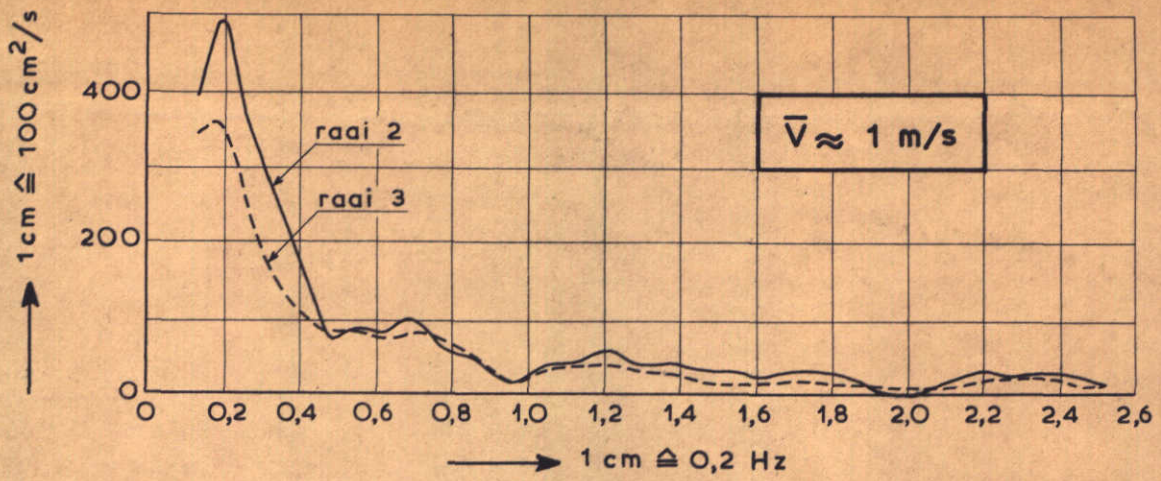
T1

RAAI 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX

FIG. 24



ENERGIESPECTRA

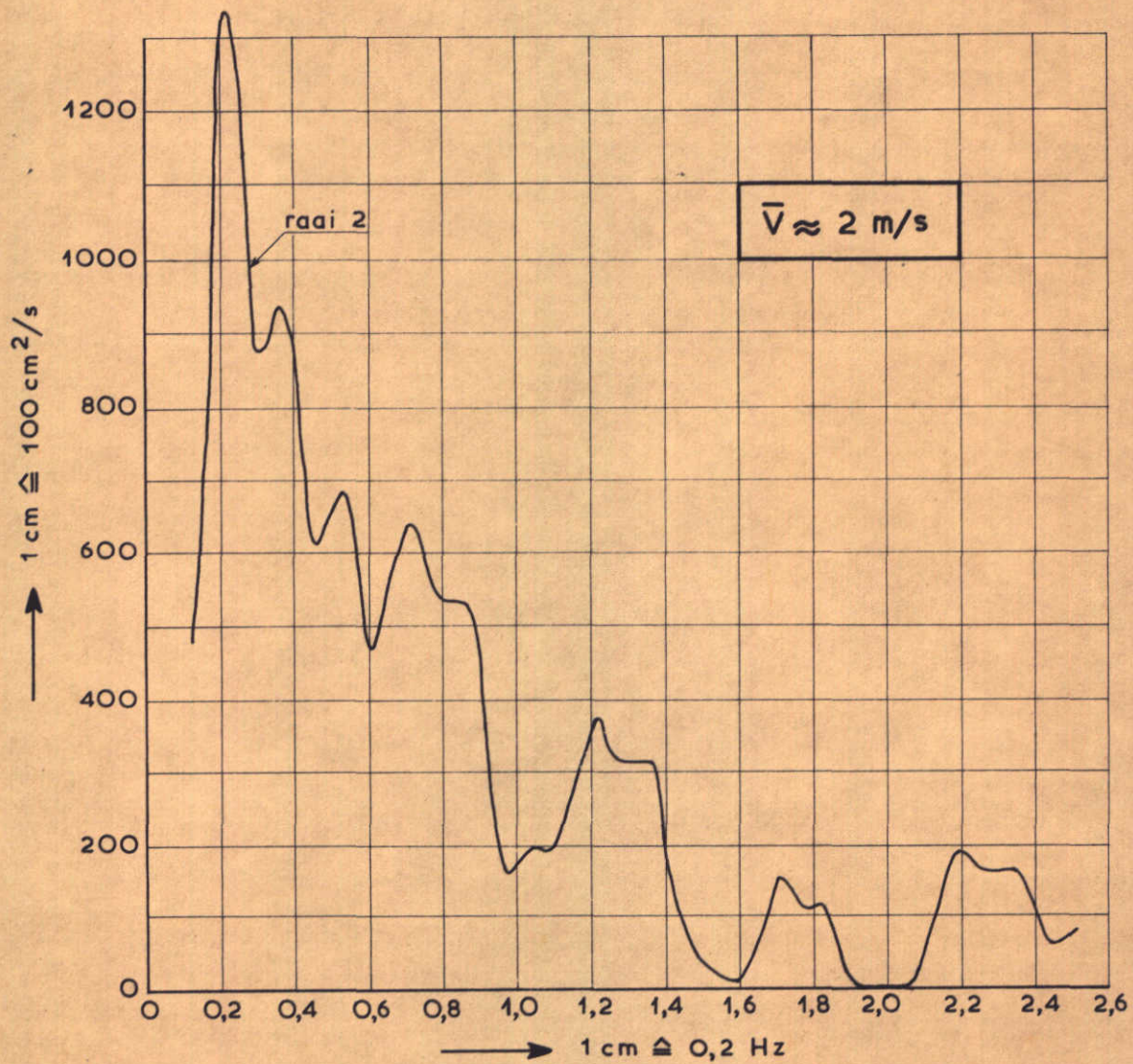
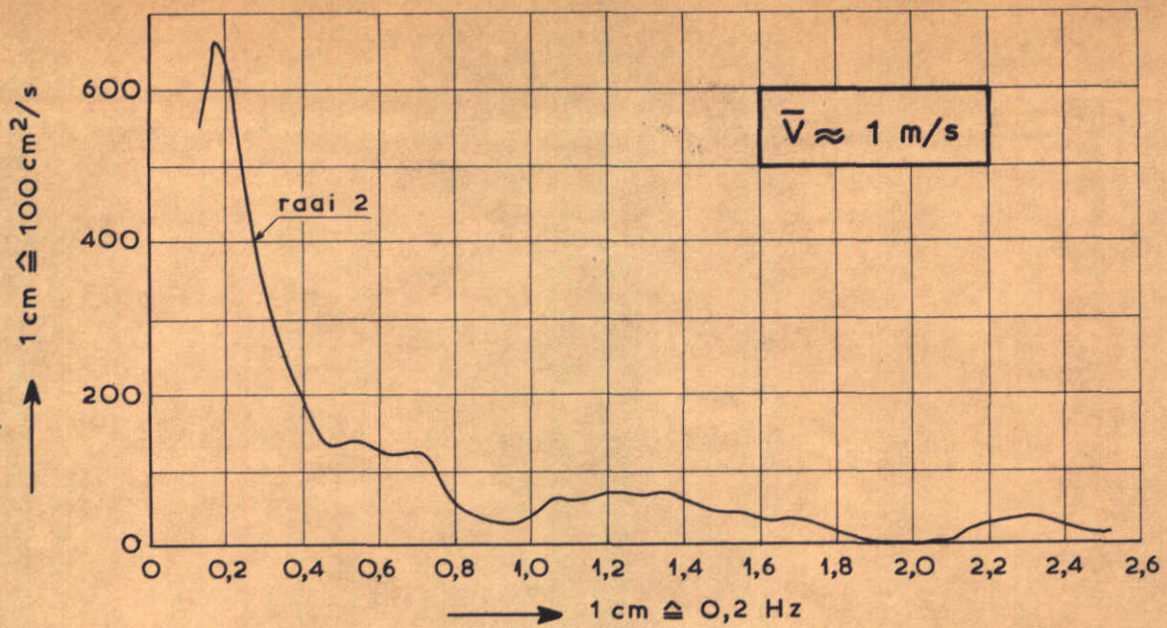
T2

BODEM + 10 cm

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX

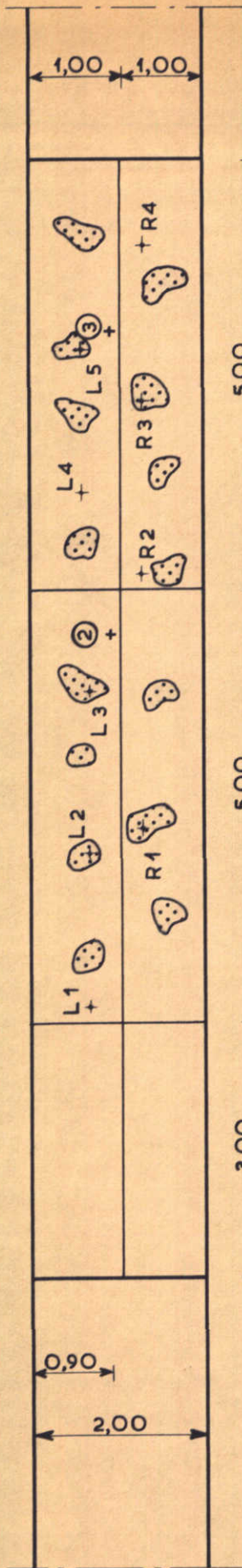
FIG. 25



ENERGIESPECTRA

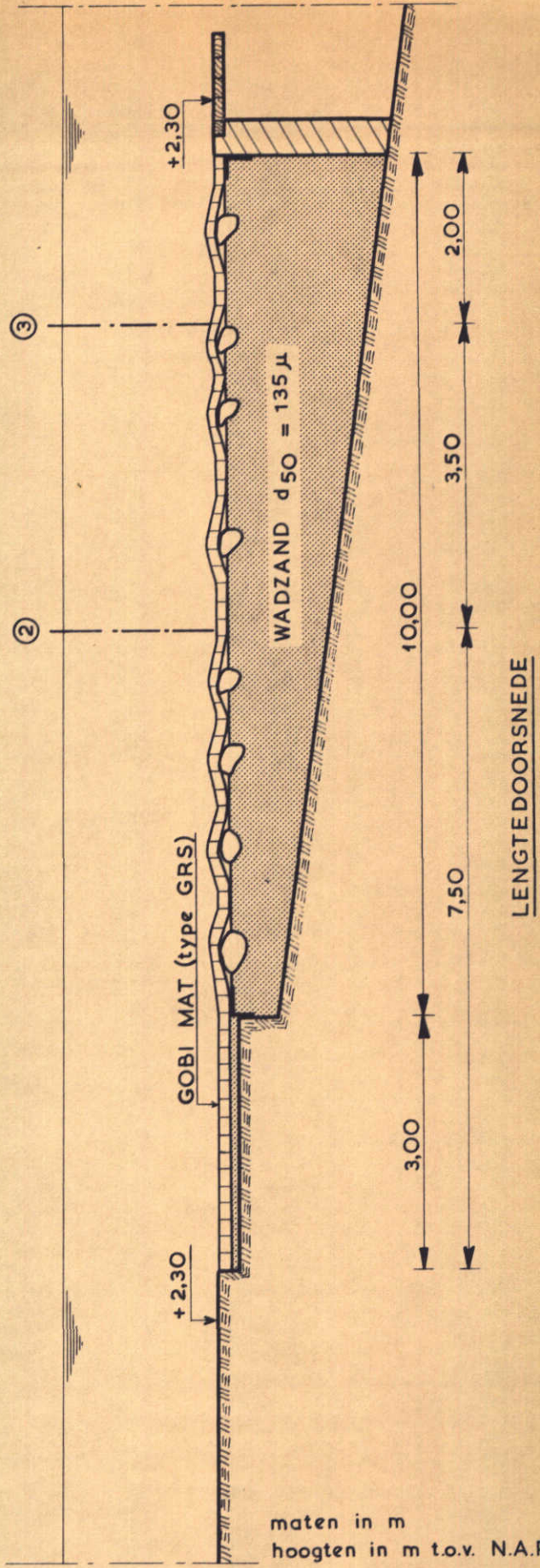
T 2

BODEM + 80cm



② en ③ meetraaien
 L1 t/m L5 en R1 t/m R4
 controlepunten hoogtelegging

BOVENAANZICHT

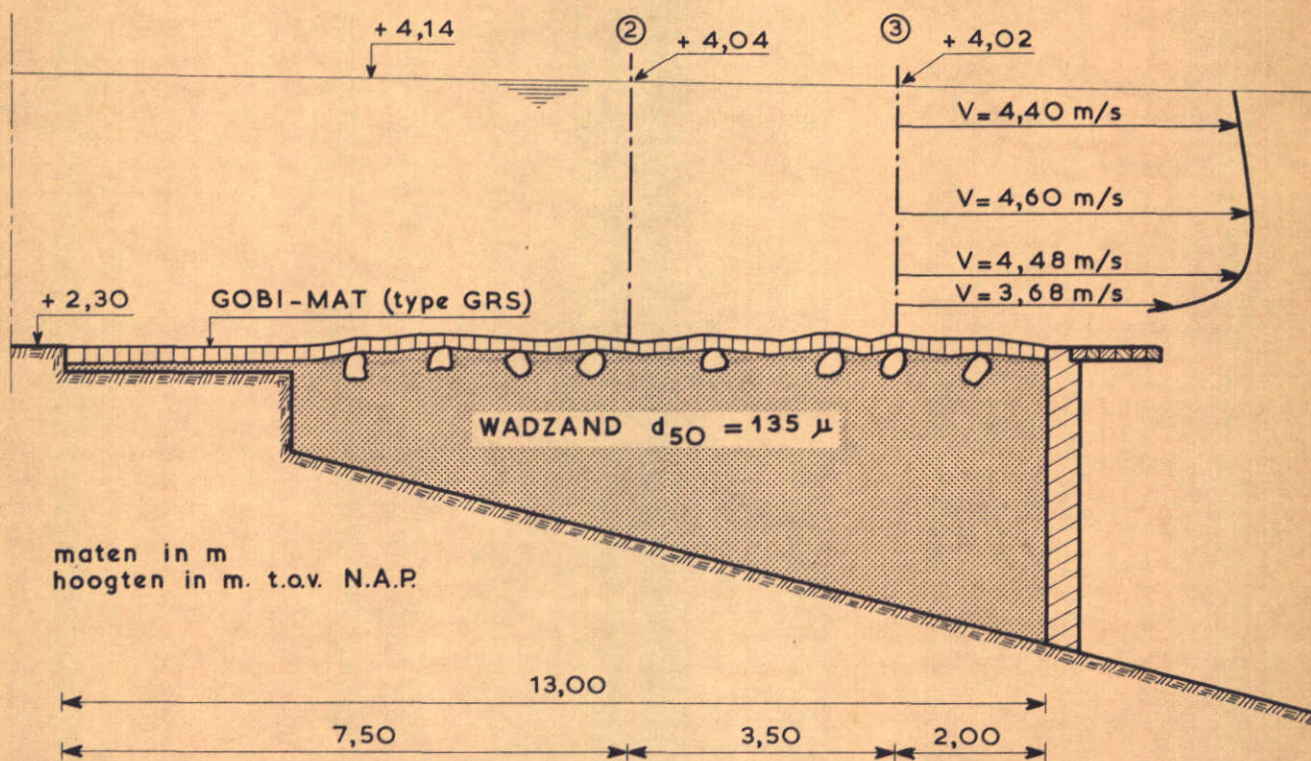
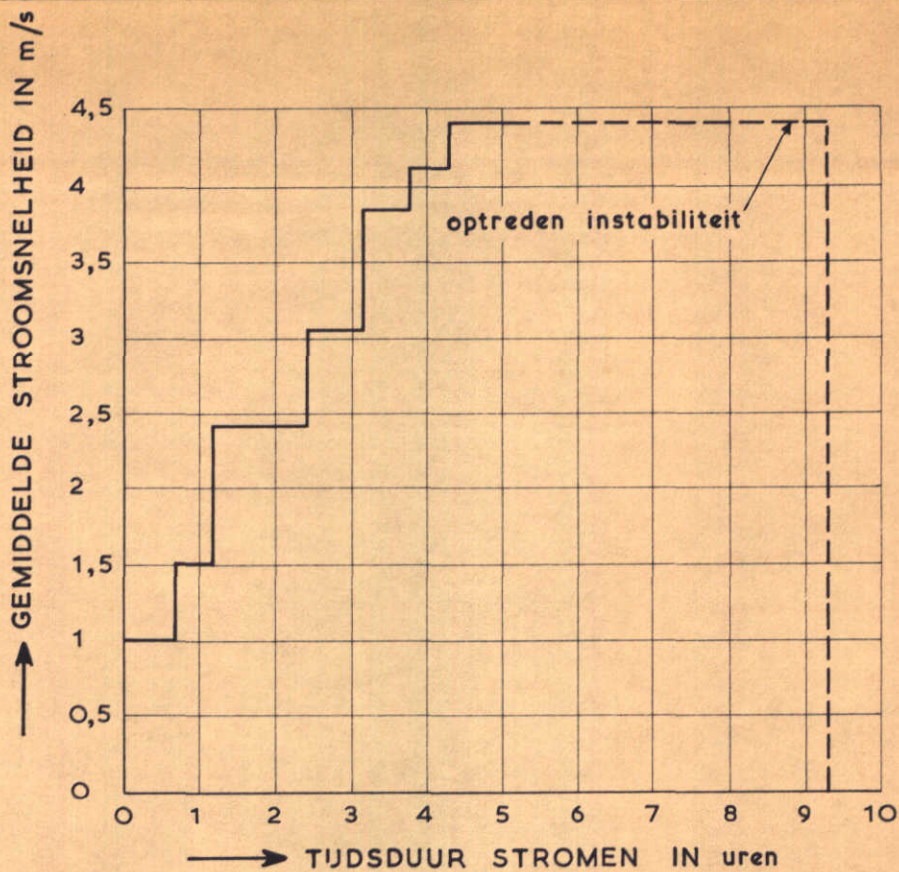


maten in m
 hoogten in m t.o.v. N.A.P

OPSTELLING PROEF

T 3

SCHAAL 1 : 75



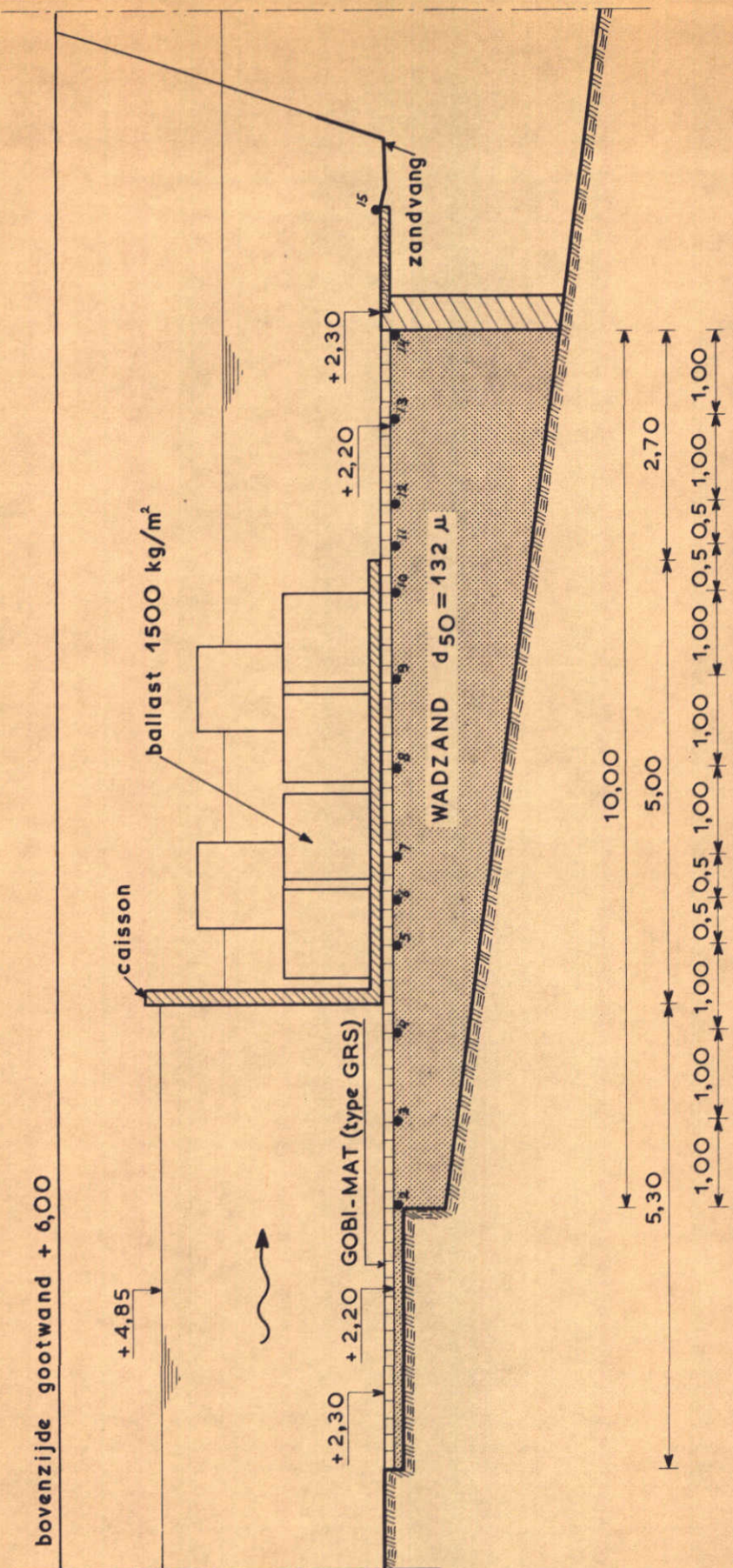
STROOMSNELHEDEN EN TIJDSDUUR
STROOMSNELHEIDSVERDELING VERTIKAAL 3

T 3

SCHALEN: hor. 1:100
vert. 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-IX FIG. 28



LENGTEDOORSNEDE

- 1 t/m 15 aansluitingspunten voor drukmetingen (as goot)
- 1 vrije waterspiegel voor caisson
- 15 vrije waterspiegel achter caisson

maten in m
 hoogten in m t.o.v. N.A.P.

OPSTELLING PROEF

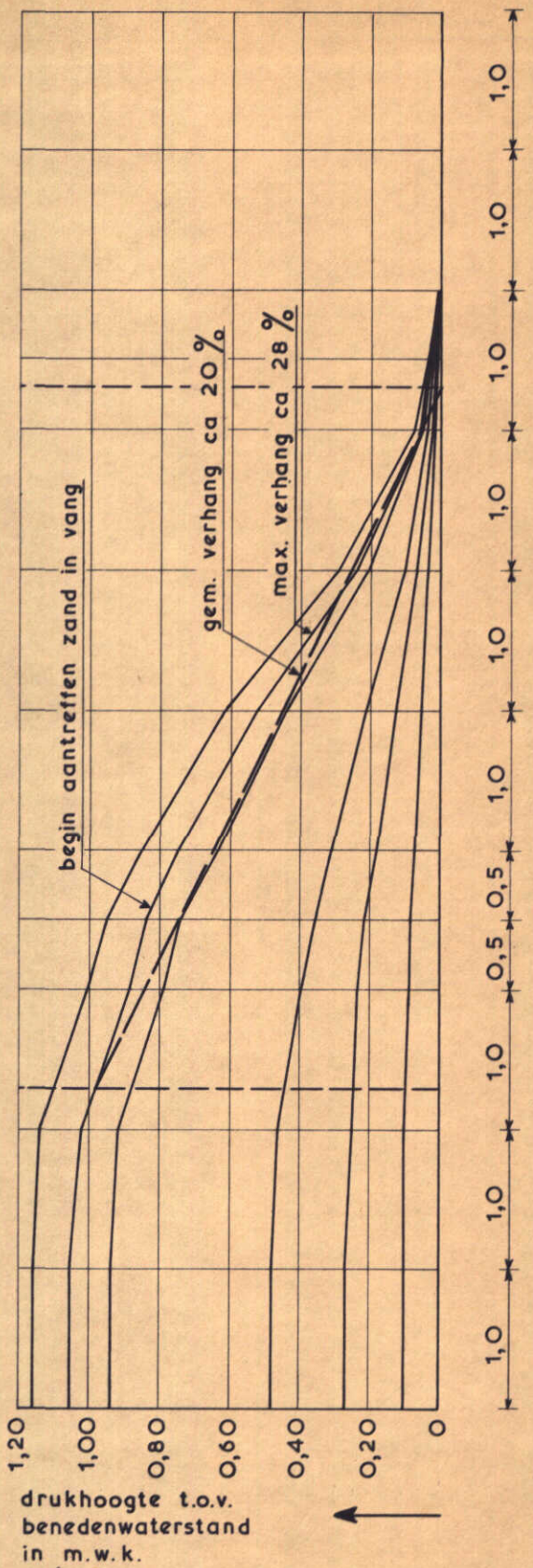
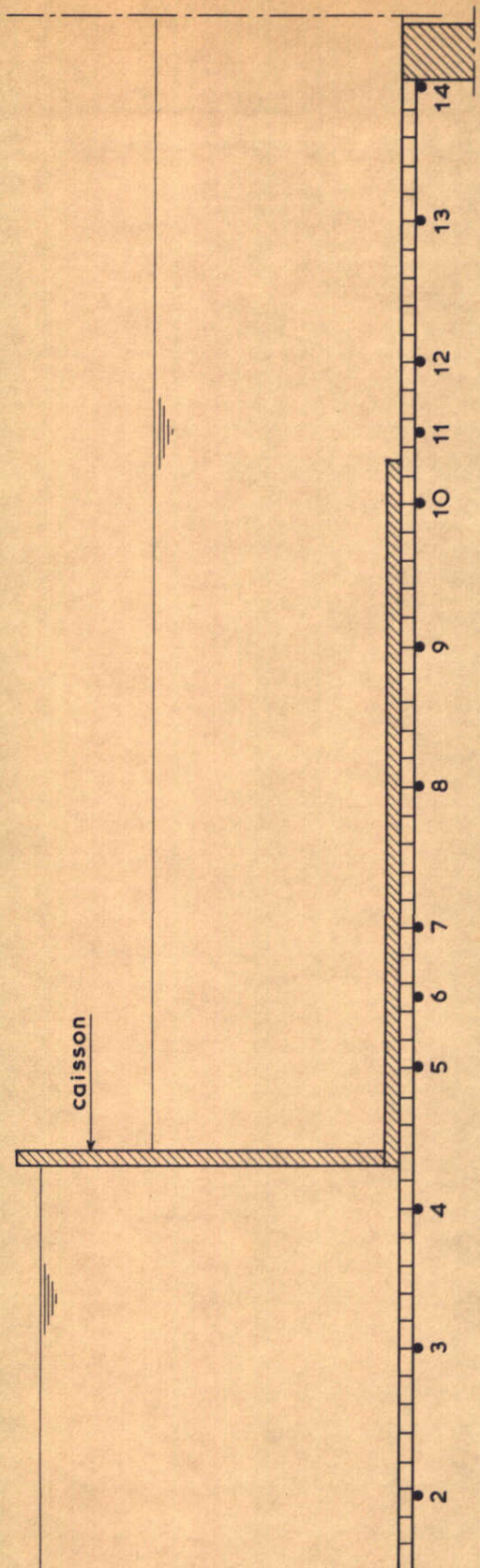
T 4

SCHAAL 1:75

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

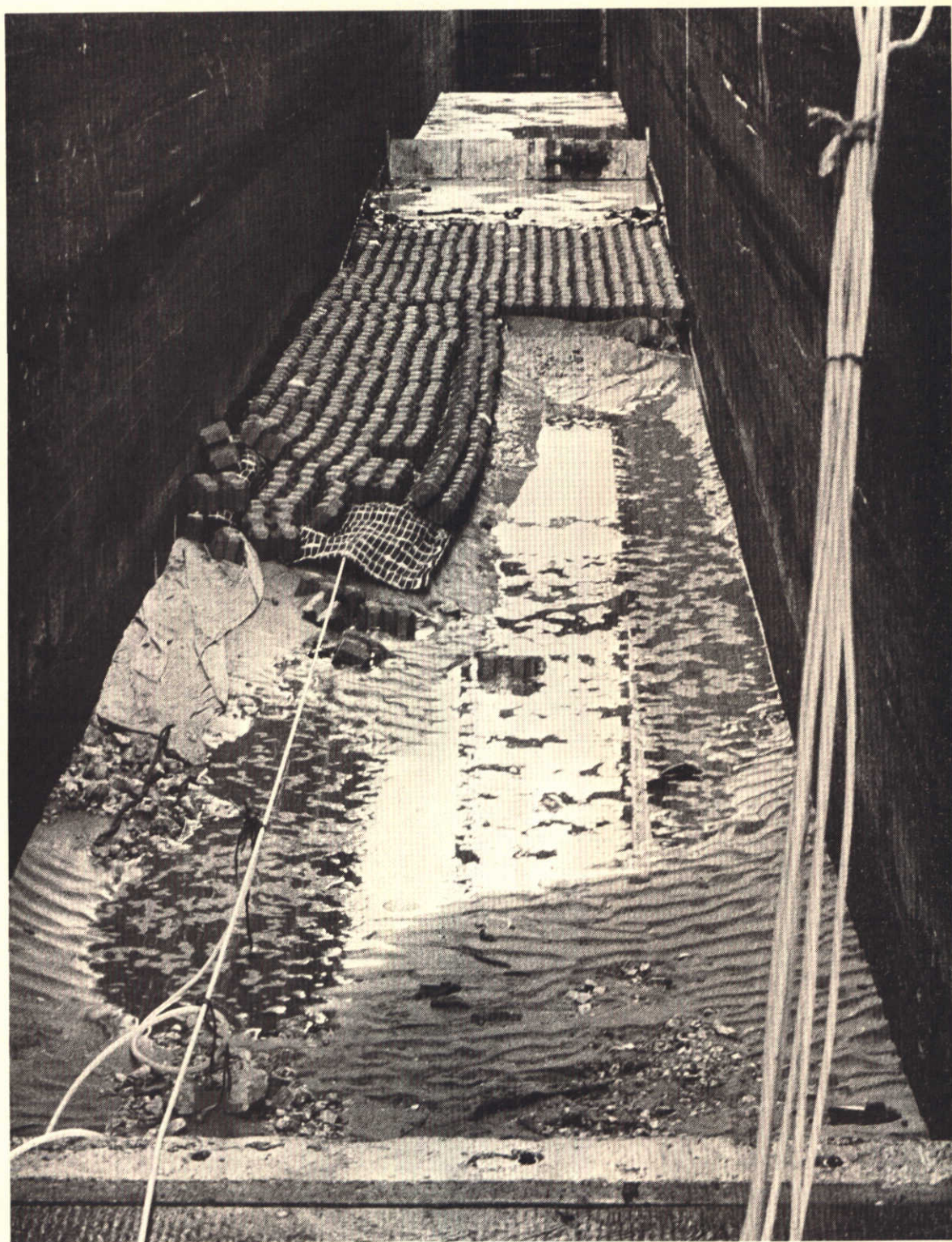
R.460-IX

FIG. 29

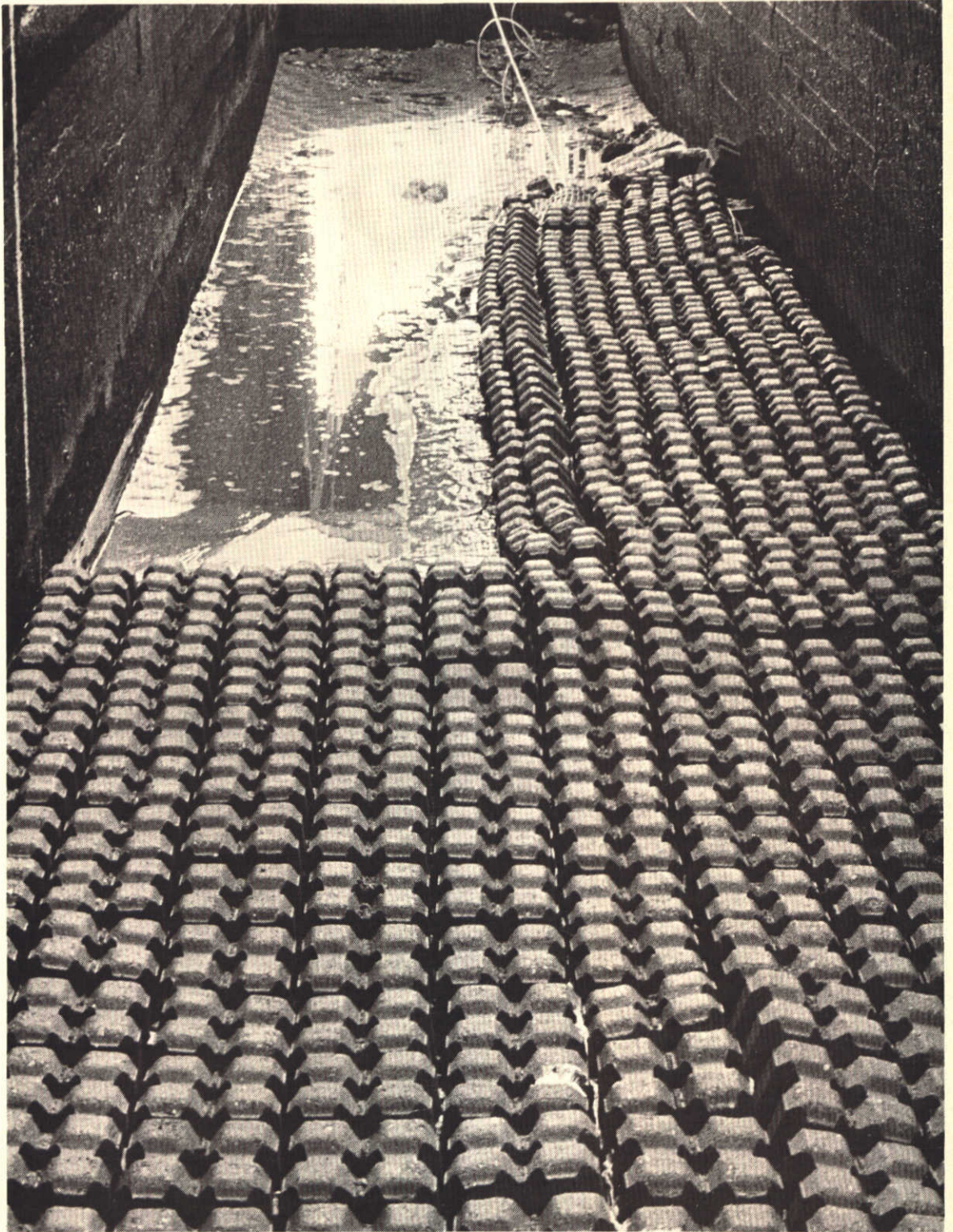


VERHANGLIJNEN

T 4



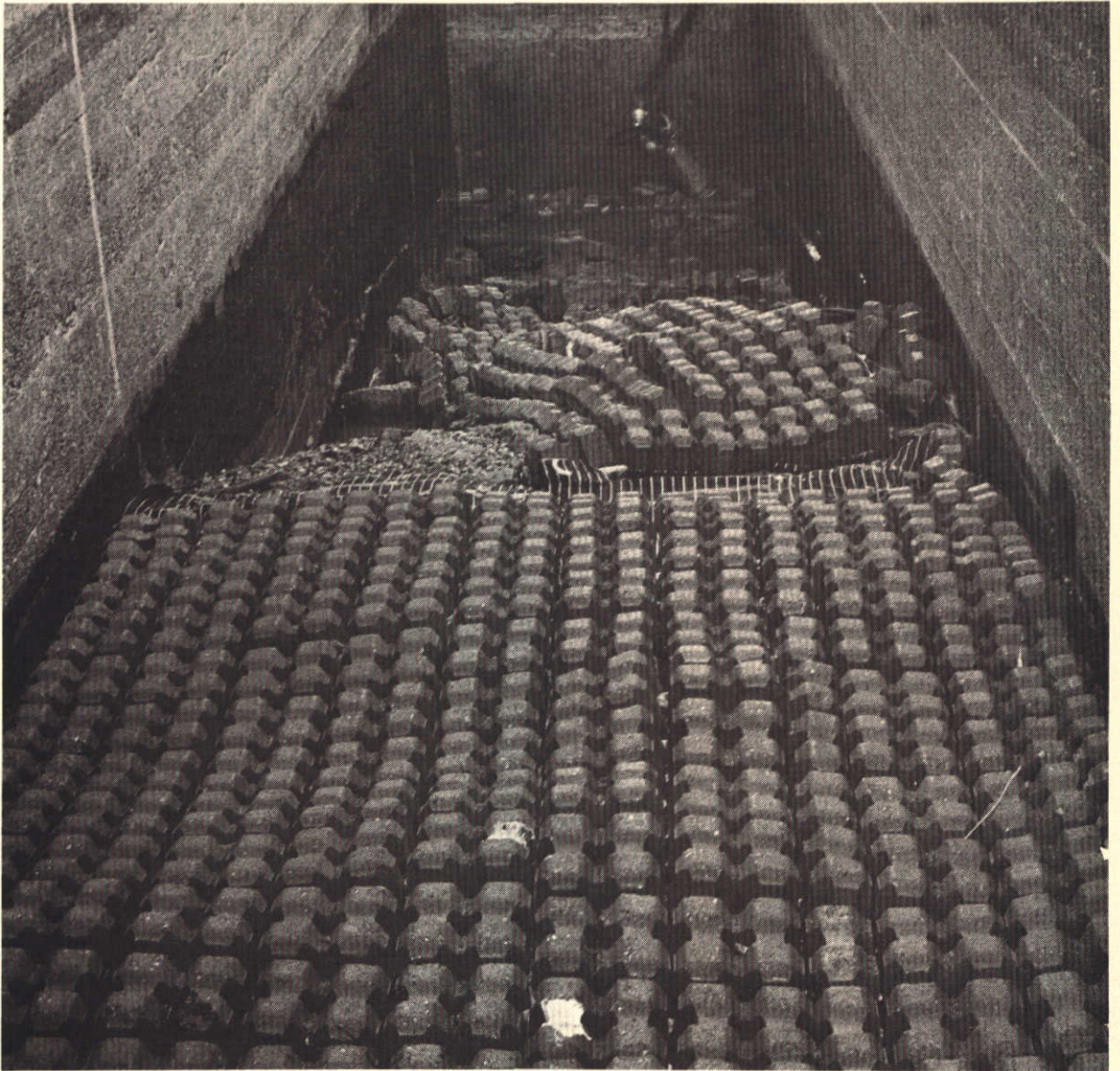
1. T2. Situatie na proef gezien in bovenstroomse richting



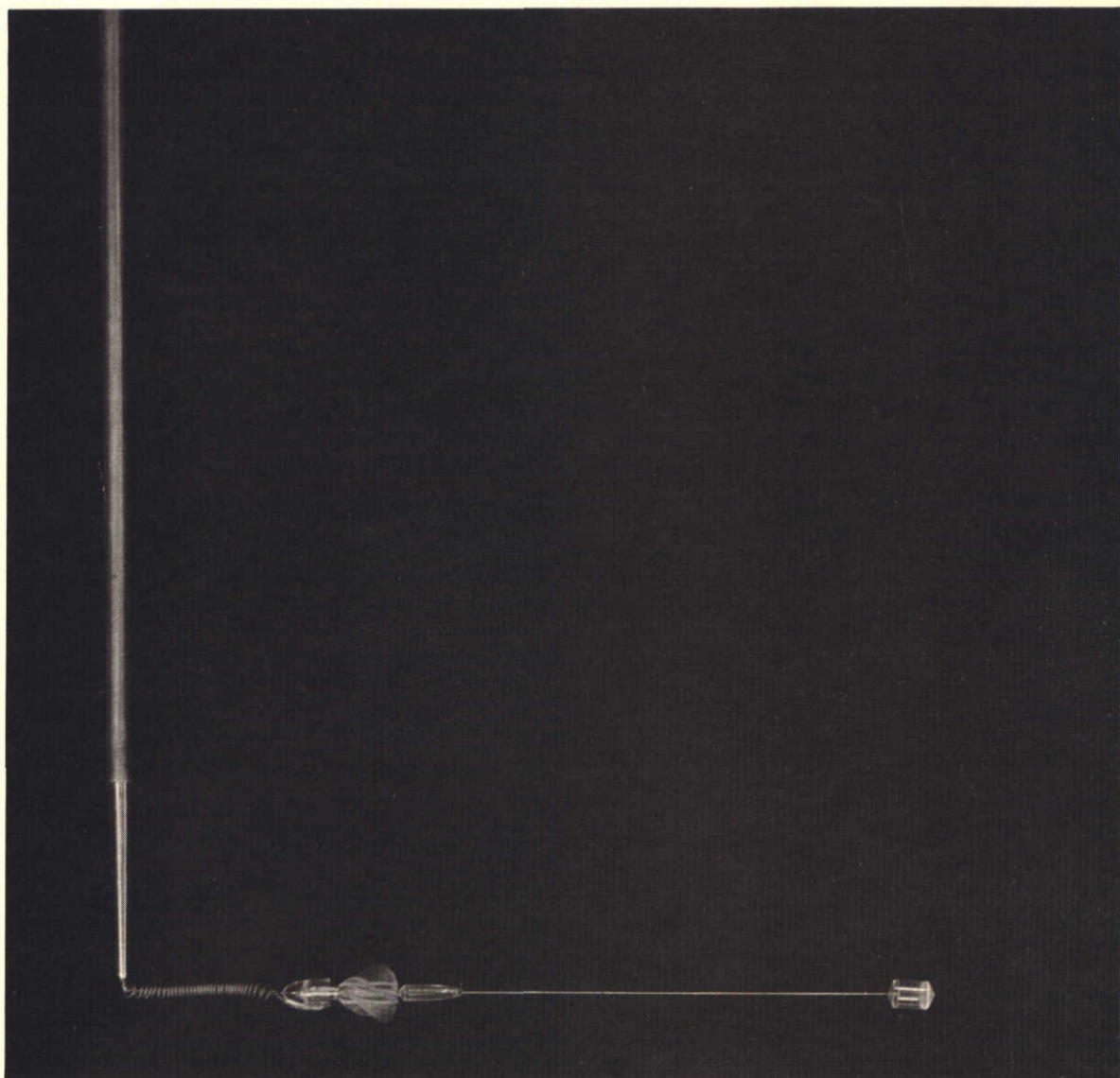
2. T2. Situatie na proef gezien in benedenstroomse richting



3. T3. Situatie na proef gezien in bovenstroomse richting



4. T3. Situatie na proef gezien in benedenstroomse richting



5. Hengelmolen