waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

zandaanvulling doorlatende dammen

samenvatting modelonderzoek; mogelijke aanpak eventuele zandaanvulling afsluitdam Krammer

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

M 1720/ M 1068/ M 1243

juni 1981

09.DEC.1981

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

zandaanvulling doorlatende dammen

samenvatting modelonderzoek; mogelijke aanpak eventuele zandaanvulling afsluitdam Krammer

verslag onderzoek

M 1720/ M 1068/ M 1243

juni 1981

INHOUD

blz.

1. Inleiding 1

2. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek ... 3

3. Onderzoek ten behoeve van afsluiting van het Haringvliet (M1068) 6
3.1 Inleiding 6
3.2 Opzet modelonderzoek 6
3.3 Uitvoering modelonderzoek 7
3.4 Resultaten 8

4. Fundamenteel onderzoek (M 1243) 10
4.1 Inleiding 10
4.2 Modelonderzoek: opzet en resultaten 10

5. Ervaring bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat 13

6. Zandaanvulling afsluitdam in Krammer 15
6.1 Inleiding 15
6.2 Mogelijke aanpak 15

LITERATUUR

FIGUREN

1 Dwarsdoorsnede "Grevelingendam"

2 Overzicht meetopstelling onderzoek M 1068

3 Voorbeeld ontwikkeling zanddammen boven- en benedenstrooms van doorlatende dam volgens onderzoek M 1068

4 Taludhellingen zanddammen volgens onderzoek M 1068

5 Zandtransportcapaciteit door blokkendam als functie van filtersnelheid volgens onderzoek M 1068

6 Overzicht meetopstelling onderzoek M 1243; serie I

7 Zandtransportcapaciteit als functie van filtersnelheid volgens onderzoek M 1243

8 Overzicht meetopstelling onderzoek M 1243; serie II

9 Overzicht meetopstelling onderzoek M 1243; serie III

10 Resultaat zandaanvulling blokkendam; onderzoek M 1243; serie III

11 Dwarsprofiel Krammer

12 Dwarsprofielen primaire dammen

13 Mogelijke aanpak afdichting blokkendam in het Krammer; voorbeeld

TABELLEN

1 Onderzoek Grevelingendam; uitgevoerde proeven; stortsteen 10/300 kg

2 Onderzoek Haringvlietdam; uitgevoerde proeven; blokken 0,5 x 0,5 x 0,5 m^3

FOTO

1 Zandaanvulling blokkendam; onderzoek M 1243, serie III

SYMBOLEN

		dimensie
A	=oppervlakte doorstroomprofiel	L^2
b	=breedte	L
C_f	=constante in formule van Cohen de Lara	-
D_{50}	=korreldiameter zand	L
D_n	=nominale steendiameter	L
g	=versnelling van de zwaartekracht	LT^{-2}
i	=verhang	-
L	=kwellengte filter	L
T	=zandtransportcapaciteit	LT^{-1}
v	=stroomsnelheid	LT^{-1}
v_f	=filtersnelheid	LT^{-1}
w	=valsnelheid zand	LT^{-1}
Δh	=verval	L
ε	=holle ruimte percentage	-

ZANDAANVULLING DOORLATENDE DAMMEN

Samenvatting modelonderzoek; mogelijke aanpak eventuele zandaanvulling afsluitdam Krammer

1. Inleiding

In het kader van de bouw van de Philipsdam wordt voor de afsluiting van het Krammer onder andere gedacht aan een geleidelijke sluiting. Voor de primaire dam bestaan een tweetal ontwerpen, namelijk een blokkendam met blokken van 1 x 1 x 1 m^3 en een stortsteendam met steen 60/300 kg. Met betrekking tot de afdichting van de primaire dam werden aan het Waterloopkundig Laboratorium de volgende vragen voorgelegd:

1 Is de aanname gerechtvaardigd, dat de stortsteendam zonder meer met zand kan worden aangevuld?
2 Kan de blokkendam met zand worden aangevuld? Zo nee, waarom konden de proefvakken in de blokkendam bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat dan toch worden gedicht?

In het verleden is door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de toenmalige Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van Rijkswaterstaat onderzoek verricht naar de zandaanvulling van doorlatende dammen. Het betreft het onderzoek M 1068, dat in 1969 werd uitgevoerd voor het Haringvliet en waarvan geen verslag is verschenen, en het onderzoek M 1243, dat in 1973 werd uitgevoerd en wegens verandering in de plannen voor de afsluiting van de Oosterschelde niet werd afgerond. Mede door het ontbreken van gegevens lijkt de opzet niet altijd logisch. Het sterkst is dit het geval bij het projekt M 1243, dat gestopt werd op een moment, dat het onderzoek nog een oriënterend karakter droeg.

In mei 1980 heeft de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven voor het opstellen van een verslag, waarin de resultaten van de onderzoeken M 1068 en M 1243 worden samengevat en waarin tevens een beschouwing wordt gegeven over de mogelijkheid van een zandaanvulling van de afsluitdam in het Krammer.
Het onderhavige verslag is het resultaat van de uitvoering van de verleende op-

dracht. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de resultaten van het onderzoek ten behoeve van de afsluiting van het Haringvliet (M 1068). Hoofdstuk 4 geeft een samenvatting van de resultaten van het fundamentele onderzoek (M 1243). In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de ervaring, die is opgedaan bij de afdichting van de blokkendam in het Brouwershavense Gat. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 een beschouwing gegeven over de mogelijkheid van een zandaanvulling van de afsluitdam in het Krammer. Hierbij wordt tevens een antwoord gegeven op opgeworpen vragen, zoals vermeld in het begin van deze inleiding.

Het verslag is opgesteld door ir. N.J. v. Wijngaarden van het Waterloopkundig Laboratorium.

2. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

Het doel van het onderzoek ten behoeve van de afsluiting van het Haringvliet (M 1068) was in de eerste plaats na te gaan welke hellingen de taluds van de opgespoten zanddammen boven- en benedenstrooms van een doorlatende dam zouden aannemen. Deze gegevens waren nodig voor het modelonderzoek naar de afsluiting van het Rak van Scheelhoek (M 955). In een later stadium werd onderzocht of de doorlatende dam onder de heersende omstandigheden (maximum verval 0,5 m) met zand kon worden gedicht.
Bij het onderzoek werd steeds vrijwel dezelfde ontwikkeling van de zandaanvulling boven- en benedenstrooms van de doorlatende dam waargenomen. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 3. De hellingen van de taluds van de zanddammen waren onderling wel verschillend, maar een signifikante invloed van de verschillende randvoorwaarden werd niet waargenomen (zie figuur 4). Het zandniveau in de doorlatende dam lag altijd lager dan dat van de bovenstroomse zanddam.
Ook bij kleine vervallen kon bij de toegepaste zandvoeding de doorlatende dam niet worden gedicht. Dichten was alleen mogelijk wanneer de bovenstroomse zanddam kon worden gesloten.
Uit de resultaten van het onderzoek werd een verband afgeleid tussen de zandtransportcapaciteit door de blokkendam en de filtersnelheid. Het verband wordt gegeven in figuur 5 en kan worden beschreven door formule (1).

In het kader van het fundamentele onderzoek (M 1243) werden drie proevenseries uitgevoerd, waarvan alleen serie I signifikante informatie heeft opgeleverd. Het betrof de bepaling van de zandtransportcapaciteit door een doorlatende constructie bij parallelstroming (moot van doorlatende dam). Het uit de resultaten van het onderzoek afgeleide verband tussen de zandtransportcapaciteit door de konstruktie en de filtersnelheid wordt gegeven in figuur 7 en kan worden beschreven door formule (2).

Bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat werd alvorens tot zandaanvulling kon worden overgegaan de blokkendam gevuld met grind 30/100 mm. Bij wijze van proef werd bij een tweetal proefvakken van respektievelijk 20 en 50 m lengte de blokkendam niet gevuld. Het bleek mogelijk ook deze proefvakken dicht te spuiten. Onder dichtspuiten wordt verstaan het zich vullen van de blokkendam met zand als gevolg van het spuiten van een zanddam parallel aan de blokkendam.

Als reden voor het in afwijking van de resultaten van het onderzoek M 1068 toch slagen van het dichtspuiten van de proefvakken kan worden genoemd:

1. In het prototype werd van de bodem af aangevuld, terwijl bij het onderzoek M 1068 steeds direkt onder de waterspiegel werd gevoed.
2. Het modelonderzoek was twee-dimensionaal, terwijl het verschijnsel drie-dimensionaal is.
3. De bij het modelonderzoek toegepaste voeding was klein ten opzichte van het ingestelde verhang.
4. De invloed van het getij (heen en weer gaande stroming door de dam en kenteringen).

De bij de afsluiting van het Krammer optredende omstandigheden zijn vergelijkbaar met die bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat. Wanneer de dam wordt uitgevoerd als stortsteendam met steen 60/300 kg zullen de filtersnelheden en daarmee de zandtransportcapaciteit door de dam zó klein zijn, dat mag worden verwacht, dat deze dam zonder meer met zand kan worden aangevuld.
Wanneer de dam wordt uitgevoerd als blokkendam met blokken van $1 \times 1 \times 1$ m^3 zullen de filtersnelheden in de dam zó groot zijn, dat als gevolg van de daarbij behorende grote zandtransportcapaciteit door de dam volgens het uitgevoerde modelonderzoek een dichting van de blokkendam met zand alleen niet mogelijk zal zijn.
Gezien de ervaring met de afsluiting van het Brouwershavense Gat moet voor de zandaanvulling van een blokkendam in het Krammer worden gedacht aan een methode, waarbij de blokkendam slechts voor een deel wordt gevuld met grind.
Een mogelijke aanpak voor de afdichting van de blokkendam in het Krammer is een combinatie van een tweede sluiting met zand en gedeeltelijk vullen met grind. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 13. Volgens deze aanpak is het mogelijk een belangrijk deel van de blokkendam met zand te dichten en de rest met grind te vullen.
Een andere mogelijkheid voor de afdichting van de blokkendam is de zebra-gewijze vulling met grind gevolgd door het aanvullen met zand. Deze mogelijkheid is gebaseerd op de ervaring met de proefvakken bij de afdichting van de blokkendam in het Brouwershavense Gat. De kans van slagen kan alleen worden aangegeven op grond van deze ervaring.

Teneinde het mogelijk te maken de voortgang van een zandaanvulling in een blokkendam te berekenen, zal in de eerste plaats moeten worden onderzocht of het ver-

band tussen zandtransportcapaciteit en filtersnelheid, zoals gegeven in de figuren 5 en 7, ook geldt voor aanzienlijk grotere filtersnelheden.
Bovendien zal onderzoek moeten worden verricht naar de wijze, waarop het driedimensionale verschijnsel kan worden geschematiseerd tot een twee-dimensionaal verschijnsel. Hierbij zal antwoord moeten worden gegeven op de vraag welk deel van het aangeboden zand ten goede komt aan de zanddam, die parallel aan de blokkendam wordt gespoten en welk deel ten goede komt aan het transport door de blokkendam. Tevens zal moeten worden aangegeven hoe het zandfront in de blokkendam voortschrijdt (taludhelling van het zand in de blokkendam gemeten in lengterichting van de dam). Een moeilijk te kwantificeren element in het geheel zal de uitvoeringswijze zijn, waarbij het gebruik maken van de perioden met geringe vervallen rondom de kentering van het getij een belangrijke rol speelt.

3. Onderzoek ten behoeve van afsluiting van het Haringvliet (M 1068)

3.1 Inleiding

In 1969 werd in het kader van de afsluiting van het Haringvliet onderzoek uitgevoerd naar de zandaanvulling van doorlatende dammen in de grote Stroomgoot van het Laboratorium De Voorst.
Het doel van dit onderzoek was in de eerste plaats na te gaan welke hellingen de taluds van de opgespoten zanddammen boven- en benedenstrooms van een doorlatende dam zouden aannemen. De hieruit verkregen gegevens werden voor het modelonderzoek naar de afsluiting van het Rak van Scheelhoek (M 955) gebruikt. In een later stadium werd onderzocht of de doorlatende blokkendam onder de heersende omstandigheden (maximum verval 0,5 m) met zand kon worden gedicht.

3.2 Opzet modelonderzoek

Om na te kunnen gaan in hoeverre de in het prototype verkregen resultaten bij zandaanvulling van doorlatende dammen in de Stroomgoot goed konden worden weergegeven, werd het onderzoek begonnen met het inbouwen van de bestaande reeds voltooide Grevelingendam, waar een zandafdichting werd toegepast.
Voor een goede weergave van de taludhellingen van de opgespoten zanddammen werd het van belang geacht om de verhouding tussen de optredende stroomsnelheid (v) en de valsnelheid van het zand (w) in prototype en model gelijk te houden. Daar het bij de afsluiting van de Grevelingen gebruikte zand een D_{50} had, die nagenoeg gelijk was aan de D_{50} van het voor het model beschikbare zand (D_{50} = 140 μm), werd het toetsingsonderzoek uitgevoerd op schaal 1:1. In verband met de afmetingen van de Stroomgoot kon daarom alleen het bovenste deel van de dam worden ingebouwd. De kruin lag op N.A.P. +2,5 m, de teen op N.A.P. -1,6 m; de taludhelling was 1:1. Een dwarsdoorsnede van de dam wordt gegeven in figuur 1. De dam was opgebouwd uit stortsteen 10-300 kg met een holle ruimte van 46%.
Het hart van de dam lag 38 m benedenstrooms van de inlaatconstructie van de goot (bovenschuif). Het zand-water-mengsel werd in de meeste gevallen 18 m bovenstrooms van de dam aan het stromende water toegevoegd. Het einde van de toevoerleiding (ϕ 0,11 m) lag in het midden van de goot ongeveer 2,9 m boven de bodem (d.w.z. niet ver boven het wateroppervlak). Een overzicht van de meetopstelling wordt gegeven in figuur 2.
Het onderzoek was gericht op:
1. De ontwikkeling van de zandaanvulling boven- en benedenstrooms van de dam.

2. Het verval, waarbij de sluiting werd gerealiseerd.
3. De invloed van het materiaal, waaruit de dam was opgebouwd op de ontwikkeling van de zandaanvulling.

Het hiervoor onder punt 3 genoemde onderzoek werd uitgevoerd als tussenstap naar het onderzoek naar de zandaanvulling van de afsluitdam van het Haringvliet. Voor dit onderzoek werd de vorm van de dam niet veranderd, zodat voor de dwarsdoorsnede kan worden verwezen naar figuur 1. In verband met de eerder genoemde schaalvoorwaarde n(v/w) = 1 en het feit, dat D_{50} van het prototype zand voor de afdichting van de Haringvlietdam circa 200 µm bedroeg, moest worden uitgegaan van een schaal 1:2. Dientengevolge hadden de betonblokken de afmeting: 0,5 x 0,5 x 0,5 m^3 met een holle ruimte van 40%. De meetopstelling was gelijk aan die bij het toetsingsonderzoek voor de Grevelingendam (zie figuur 2).
Het onderzoek was gericht op:
1. De ontwikkeling van de zandaanvulling boven- en benedenstrooms van de dam.
2. Het verval, waarbij de sluiting werd gerealiseerd.
3. De invloed op de uiteindelijke vorm van de zandaanvulling van:
   - het verval over de dam
   - het getij
   - de plaats van het voedingspunt
   - de concentratie van het zand in het zand-watermengsel.

3.3 Uitvoering modelonderzoek

Een overzicht van de proeven, die zijn uitgevoerd in het kader van het toetsingsonderzoek voor de Grevelingendam wordt gegeven in tabel 1.
Tijdens alle proeven werd met regelmatige tijdsintervallen de vorm van de zanddammen boven- en benedenstrooms van de doorlatende dam met behulp van peilingen vastgelegd. De nauwkeurigheid van de peilingen bedroeg ca. 0,01 m.
De waterstanden werden met de boven- en benedenschuif van de goot geregeld en gecontroleerd met behulp van enige pitotbuizen.
Teneinde het debiet te kunnen schatten werden de opening van de benedenschuif en de benedenwaterstand voortdurend gemeten.
Na afloop van enige proeven werden op meerdere plaatsen in de zanddammen zandmonsters genomen om na te gaan of er uitzeving van het zand optrad.

Een overzicht van de proeven, die zijn uitgevoerd naar de zandaanvulling van de Haringvlietdam wordt gegeven in tabel 2.
Tijdens deze proeven werden dezelfde metingen verricht als bij het toetsingsonderzoek voor de Grevelingendam. Na proef T4 werd in het hart van de Haringvlietdam een schacht aangebracht, waardoor het bovendien mogelijk werd het verloop van de zandhoogte in de dam te bepalen.

3.4 Resultaten

Een goede evaluatie van het toetsingsonderzoek voor de Grevelingendam bleek achteraf niet mogelijk wegens gebrek aan gegevens van de uitvoering.
Er wordt volstaan met de opmerking, dat de zandaanvulling in het prototype gelukt is, terwijl in het model onder de in tabel 1 gegeven omstandigheden het niet mogelijk bleek de dam te dichten.

Zowel bij de Grevelingendam als de Haringvlietdam werd steeds vrijwel dezelfde ontwikkeling van de zandaanvulling boven- en benedenstrooms van de doorlatende dam waargenomen. Eerst vormde zich bovenstrooms van de doorlatende dam een zanddam, die zich aanvankelijk alleen in hoogterichting ontwikkelde. De kruin van deze dam lag enige meters benedenstrooms van het voedingspunt. Afhankelijk van het verval over de dam en dus van het debiet door de goot stelde zich een bepaalde hoogte in, waarna de zanddam zich in benedenstroomse richting uitbreidde, terwijl tevens benedenstrooms van de doorlatende dam een zanddam tot ontwikkeling kwam. De bovenstroomse zanddam bereikte na verloop van tijd, afhankelijk van debiet en zandvoeding, een zeker evenwichtsprofiel. Vanaf dat moment werd al het toegevoerde zand door de doorlatende dam getransporteerd en zette zich benedenstrooms van de dam af. Afhankelijk van de zandvoeding en het debiet bereikte de benedenstroomse zanddam een bepaalde evenwichtshoogte, waarna het benedenstroomse talud zich in lengterichting verplaatste. Uit metingen in de doorlatende dam is gebleken, dat (in het midden) het zandniveau laag bleef. Het bereikte nooit de hoogte van de bovenstroomse zanddam, zodat van een dichting van de doorlatende dam niet kan worden gesproken.
Een voorbeeld van de hiervoor geschetste ontwikkeling wordt gegeven in figuur 3. Bij het eerder in het Laboratorium Delft uitgevoerde soortgelijke onderzoek ten behoeve van de Haringvlietdam op schaal 1:20 (M1009; [1]) werd eenzelfde ontwikkeling waargenomen.

Uit de resultaten van het onderzoek, die hoofdzakelijk een kwalitatieve waarde hebben, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Bij een afname van het verval nam de zandhoogte boven- en benedenstrooms van de doorlatende dam toe.
2. Bij de situatie, waarbij gestroomd werd met een benedenwaterstand die om het half uur veranderde (T5 en T6; stapsgewijze nabootsing van halve getijperiode, dus zonder omkering van stroomrichting), bereikte de bovenstroomse zanddam eerder zijn evenwichtshoogte dan bij de situatie met een constante benedenwaterstand.
3. Verplaatsing van het voedingspunt van 18 m naar 9 m bovenstrooms van de doorlatende dam had tot gevolg, dat de bovenstroomse zanddam over dezelfde lengte korter werd.
4. De hellingen van de taluds van de zanddammen waren onderling wel verschillend, maar een significante invloed van de verschillende randvoorwaarden werd niet waargenomen (zie figuur 4).
5. Er trad geen significante uitzeving in lengterichting van de goot op.
6. Ook bij kleine vervallen kon bij de toegepaste zandvoeding de doorlatende dam niet worden gedicht.

In verband met het in 1973 uitgevoerde fundamentele onderzoek (M 1243, zie hoofdstuk 4) zijn de resultaten van het hiervoor beschreven onderzoek voor zover mogelijk zodanig bewerkt, dat een verband kon worden gegeven tussen de zandtransportcapaciteit door de blokkendam en de filtersnelheid. Dit verband wordt gegeven in figuur 5 en kan worden beschreven door de volgende formule:

$$T = 52.000\ v_f^4 \qquad (1)$$

waarin:

T = zandtransportcapaciteit ($m^3/uur/m^2$; inclusief poriën)

v_f = filtersnelheid (m/s; gedefiniëerd als debiet gedeeld door bruto doorstroomoppervlak van het filter)

Het verband kon niet worden bepaald voor de zandtransportcapaciteit door de stortsteendam (T1...T3) wegens het ontbreken van voldoende gegevens.

4. Fundamenteel onderzoek (M 1243)

4.1 Inleiding

In het kader van de afsluiting van de Oosterschelde werd in 1973 een meer fundamenteel kleinschalig onderzoek naar de zandaanvulling van doorlatende dammen uitgevoerd in het Zandgootje van het Laboratorium De Voorst. In verband met de verandering in de plannen, waardoor de mond van de Oosterschelde niet zou worden afgesloten, maar worden voorzien van een stormvloedkering, werd dit fundamentele onderzoek niet afgerond. De resultaten van het onderzoek hebben daarom slechts een beperkte waarde.

4.2 Modelonderzoek: opzet en resultaten

Er werden drie proevenseries uitgevoerd:

serie I : bepaling van de zandtransportcapaciteit door een doorlatende constructie van betonblokjes bij parallelstroming (d.w.z. moot van doorlatende dam).

serie II : bepaling van de uitschuringssnelheid in de constructie van serie I.

serie III: observatie van het vullen van een driehoekvormige doorlatende dam met zand en bepaling van de invloed van de plaats van de voeding hierop.

serie I

Een overzicht van de meetopstelling wordt gegeven in figuur 6. De voeding vond plaats met 5 buisjes, die in breedterichting regelmatig verdeeld waren opgesteld. De diameter van de betonblokjes bedroeg 0,02 m; de korreldiameter van het zand was: D_{50} = 200 μm. Het holle ruimte percentage in de constructie bedroeg ε = 40%.

Het onderzoek was erop gericht, dat er een verband zou worden gevonden tussen de zandtransportcapaciteit door de constructie en de filtersnelheid. Daartoe werd bij een bepaalde voeding bovenstrooms het verval over de constructie (en dus de filtersnelheid) gevariëerd totdat zand in de constructie neersloeg. Op dat moment was de zandtransportcapaciteit door de konstruktie bereikt.

Gemeten werden de filtersnelheid (v_f), het verval (Δh) en de voeding (T). Het zandtransport (T) werd uitgedrukt in $m^3/uur/m^2$ en was gelijk aan de voeding (m^3/uur) gedeeld door het bruto doorstroomoppervlak van het filter ($0,1 \times 0,5\,m^2$).

De aldus gevonden waarden zijn uitgezet in figuur 7. Het verband tussen de zandtransportcapaciteit en de filtersnelheid kan worden geschreven als:

$$T = 500.000\ v_f^{4,7} \qquad (2)$$

waarin:

T = zandtransportcapaciteit (m^3/uur/m^2; inclusief poriën)

v_f= filtersnelheid (m/s; gedefiniëerd als debiet gedeeld door bruto doorstroomoppervlak van het filter)

In figuur 7 is tevens het bij het onderzoek M 1068 gevonden verband (zie figuur 5) weergegeven. Het blijkt, dat vooral voor de kleine filtersnelheden de verschillen niet groot zijn.

serie II

Een overzicht van de meetopstelling wordt gegeven in figuur 8. Als gevolg van de wijze van aanbrengen van de betonblokjes en het zand bedroeg de holle ruimte tussen de blokjes: ε = 49% en tussen het zand: ε = 30%. De betonblokjes hadden een ribbe van 0,018 m en de korreldiameter van het zand bedroeg: D_{50} = 200 µm. De ruimte tussen de betonblokjes was met zand gevuld tot 0,11 à 0,15 m vanaf de bodem.

Er zijn 2 situaties onderzocht (zie ook figuur 8):

a) geen begrenzing van de filterkonstruktie aan de bovenzijde;

b) de filterkonstruktie op 0,25 m vanaf de bodem afgedekt.

Het doel van het onderzoek was de uitschuringssnelheid te bepalen van het zand in de constructie. De uitschuringssnelheid werd uitgedrukt in m/uur en was gelijk aan het gewicht van het gevangen zand (omgerekend naar m^3/uur) gedeeld door het netto aangestroomde oppervlak (b x L x ε m^2). De aldus uitgedrukte uitschuringssnelheid is niet alleen een functie van de filtersnelheid, maar ook afhankelijk van de lengte van de constructie (L).

Bruikbare resultaten heeft deze proevenserie niet opgeleverd.

Serie III

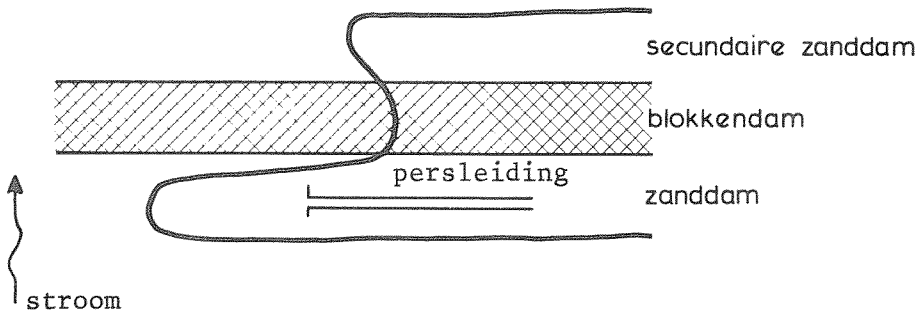
Een overzicht van de meetopstelling wordt gegeven in figuur 9. De doorlatende dam was opgebouwd uit betonblokjes met ribbe van 0,018 m. De korreldiameter van het zand bedroeg: D_{50} = 200 µm. De voeding vond plaats met 5 buisjes, die in breedterichting regelmatig verdeeld waren opgesteld.

Er zijn een drietal proeven uitgevoerd. Bij de eerste proef vond de voeding plaats aan het wateroppervlak op 1.75 m bovenstrooms van de as van de blokkendam. Het verval over de dam bedroeg: $\Delta h = 0,1$ m. De proef werd zo lang doorgezet, dat de dam vrijwel geheel gevuld was. Tijdens de proef werd het verval constant gehouden, zodat bij afnemend doorstroomprofiel ook het debiet door de dam afnam. De resultaten worden gegeven in figuur 10. Een beeld van het verloop van de zandaanvulling wordt gegeven op foto 1.
Bij de tweede proef werd gestart met de eindsituatie van de eerste proef. De randvoorwaarden waren gelijk, behalve de voeding, die gestopt werd. Er trad nu uitschuring op. Het verloop in de tijd werd vastgelegd, maar leverde geen significante informatie op.
Bij de derde proef werd de plaats van de voeding gevariëerd, zowel in de afstand tot de dam als de hoogte boven de bodem van de goot. Het bleek daarbij, dat de vulling van de dam het beste verliep bij een hoogte van de mond van de buisjes van 0.075 m boven het zand. In de praktijk is de uitvoering zo afwijkend van die bij het modelonderzoek, dat deze conclusie verder geen praktische betekenis heeft.

5. Ervaring bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat

De afsluiting van het zuidelijk sluitgat van het Brouwershavense Gat vond plaats met behulp van een geleidelijke sluiting met betonblokken van 1 x 1 x 1 m^3. Uit het onderzoek M 1068 en met behulp van de resultaten hiervan door de toenmalige Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst uitgevoerde berekeningen werd geconcludeerd, dat bij de optredende vervallen dichtspuiten van de blokkendam met zand niet mogelijk was. Uit aanvullend modelonderzoek [4] bleek, dat vullen met grind wel mogelijk was. Er werd daarom voor het dichten van de blokkendam gekozen voor het vullen met grind 30/100 mm.

Teneinde in het prototype te kunnen nagaan in hoeverre het dichtspuiten en daarna het eroderen van het zand in de blokkendam overeenstemden met het onderzoek M 1068 en de uitgevoerde berekeningen, werd halverwege de dam een proefvak gemaakt, door over een lengte van 20 m geen grind aan te brengen. Naderhand werd nog een proefvak van 50 m open gehouden (zie ook [2]).
In dit verband moet worden opgemerkt, dat onder dichtspuiten wordt verstaan het zich vullen van de blokkendam met zand als gevolg van het spuiten van een zanddam parallel aan de blokkendam:



Het proefvak van 20 m lengte (bodemligging op N.A.P. -14 m) werd bij een zuigerproduktie van 2000 m^3/uur aan de zeezijde zonder problemen in een tijdsbestek van ca. 2 dagen dichtgespoten. Het maximum verval bedroeg 0,8 à 1,2 m (bij eb, respectievelijk vloed).
Het proefvak van 50 m lengte (bodemligging op N.A.P. -22 m) werd bij eenzelfde zuigerproductie eveneens dichtgespoten in een tijdsbestek van ca. 4 dagen. Het talud van het zandstort - dat is het talud van de kop van de zanddam parallel aan de blokkendam gemeten in de lengterichting van de dam - werd hier wel steiler dan bij de met grind gevulde blokkendam. Als de blokkendam ter plaatse van

het proefvak eenmaal dichtgespoten was, verdween er ook geen zand meer uit de dam. Het maximum verval bedroeg 0,7 à 1,3 m (bij eb, respectievelijk vloed). Er moet hierbij nog worden opgemerkt, dat als gevolg van het feit, dat gelijktijdig elke 2 uur de Geopotus VI in één keer 4000 m^3 zand aan de teen van de blokkendam stortte, de feitelijke bodemligging N.A.P. -8m bedroeg!

Het proefvak van 50 m lengte kan om de volgende redenen als representatief voor het Brouwershavense Gat worden beschouwd:

1. Het had geen andere eigenschappen dan de hele dam.
2. Het was te breed om in één kentering dicht te spuiten (het dichtspuiten duurde ca. 4 dagen).
3. Het dichtspuiten vond plaats onder gemiddelde getijomstandigheden.
4. De smalste delen van de dam zijn gepasseerd (hoogste stroomsnelheden).

Als reden voor het in afwijking van de resultaten van het onderzoek M 1068 toch slagen van het dichtspuiten van het proefvak kan worden genoemd:

1. In het prototype werd van de bodem af aangevuld, terwijl bij het onderzoek M 1068 steeds direct onder het wateroppervlak werd gevoed.
2. De invloed van het getij (heen en weer gaande stroming door de dam en kenteringen).
3. De in het modelonderzoek toegepaste voeding was klein ten opzichte van het ingestelde verhang.
4. Het modelonderzoek was twee-dimensionaal, terwijl het verschijnsel drie-dimensionaal is.

6. Zandaanvulling afsluitdam in Krammer

6.1 Inleiding

Een mogelijkheid voor de afsluiting van het Krammer als onderdeel van de bouw van de Philipsdam is de geleidelijke sluiting. Hierbij wordt voor de afsluitdam gedacht aan een blokkendam met blokken van 1 x 1 x 1 m^3 of een stortsteendam met steen 60/300 kg. De vraag rijst of deze dammen zonder veel problemen met zand kunnen worden aangevuld of dat extra maatregelen moeten worden getroffen, zoals het vullen met grind. Aan de hand van de in de hoofdstukken 3 tot en met 5 beschreven ervaring wordt in dit hoofdstuk getracht deze vraag te beantwoorden.

6.2 Mogelijke aanpak

Uit het onderzoek in het getijmodel van de Oosterschelde (M 1437) blijkt, dat onder gemiddelde getij-omstandigheden het verval over de dam maximaal Δh = 1,25 m zal bedragen. Volgens de hier beschouwde situatie zal alvorens de dam wordt aangebracht eerst een wintersluitgatdrempel worden gemaakt met een kruin op N.A.P. -10 m over de hele breedte van het sluitgat. Het dwarsprofiel van het sluitgat wordt gegeven in figuur 11. De kruin van de dam zal reiken tot N.A.P. +3,5 m. Het beschikbare zand heeft een korreldiameter D_{50} = 200 µm.

stortsteendam 60/300 kg

In figuur 12 wordt een dwarsprofiel over de dam gegeven. Met de formule van Cohen de Lara kan op elke diepte in de dam de filtersnelheid v_f worden berekend. De formule is van de volgende vorm:

$$v_f^2 = 2g \cdot \frac{D_n}{C_f} \cdot \varepsilon^5 \cdot i \qquad (3)$$

waarin:

v_f = filtersnelheid (m/s)

g = zwaartekrachtsversnelling (m/s^2)

D_n = nominale steendiameter (m)

C_f = constante; in het turbulente gebied gelijk aan 0,5

ε = holle ruimte (m^3/m^3)

i = verhang = $\Delta h/L$ (zie ook figuur 12; m/m)

Voor de stortsteendam (D_n = 0,4 m; ε = 0,4) gaat formule (3) over in:

$$v_f = 0{,}4\ i^{0{,}5} \qquad (4)$$

Met behulp van formule (4) en een schematisatie van de dam in een aantal horizontale lagen kan het debiet door de dam worden berekend en bedraagt voor het gehele sluitgat (zie figuur 11) maximaal 570 m^3/s. In onderstaande tabel wordt op een aantal diepten de filtersnelheid en de zandtransportcapaciteit gegeven volgens de formules (1) en (2) bij Δh = 1,25 m.

diepte	v_f(m/s)	$T_{form.\ 1}$(m^3/uur/m^2)	$T_{form.\ 2}$(m^3/uur/m^2)
N.A.P. -10 m	0,06	0,7	0,9
N.A.P. -5 m	0,08	2,1	3,5
N.A.P. -1 m	0,11	7,6	15,6

De in de stortsteendam optredende filtersnelheden blijken van dezelfde orde van grootte te zijn als de filtersnelheden bij de onderzoeken M 1068 en M 1243, zodat het gebruik van de formules (1) en (2) is toegestaan (binnen geldigheidsgebied).
Uitgaande van een zuigerproductie van minimaal 2000 m^3/uur zijn de hier berekende zandtransportcapaciteiten zó klein, dat mag worden verwacht, dat een stortsteendam 60/300 kg zonder meer met zand kan worden aangevuld.

blokkendam 1 x 1 x 1 m^3

In figuur 12 wordt een dwarsprofiel over de dam gegeven. Voor de blokkendam (D_n = 1,7 m; ε = 0,43) gaat de formule van Cohen de Lara (formule (3)) over in:

$$v_f = 1{,}0\ i^{0{,}5} \qquad (5)$$

Met behulp van formule (5) en een schematisatie van de dam in een aantal horizontale lagen kan het debiet door de dam worden berekend en bedraagt voor het gehele sluitgat maximaal 1975 m^3/s. In onderstaande tabel wordt op een aantal diepten de filtersnelheid en de zandtransportcapaciteit gegeven volgens de formules (1) en (2) bij Δh = 1,25 m.

diepte	v_f(m/s)	$T_{form.\ 1}$(m^3/uur/m^2)	$T_{form.\ 2}$(m^3/uur/m^2)
N.A.P. -10 m	0,22	122	406
N.A.P. -5 m	0,27	276	1063
N.A.P. -1 m	0,37	975	4672

De in de blokkendam optredende filtersnelheden zijn aanzienlijk groter dan de filtersnelheden bij de onderzoeken M 1068 en M 1243, waardoor aan de waarde van de hier berekende zandtransportcapaciteiten kan worden getwijfeld.
Afgezien van de onzekerheid over de waarde van de hier berekende zandtransportcapaciteiten is het nog niet mogelijk om met de bestaande kennis, zoals die is samengevat in de hoofdstukken 3 tot en met 5 van dit verslag, de voortgang van een zandaanvulling te berekenen. Daartoe is onvoldoende bekend over de wijze, waarop het drie-dimensionale verschijnsel kan worden geschematiseerd tot een twee-dimensionaal verschijnsel. Hierbij zal antwoord moeten worden gegeven op de vraag welk deel van het aangeboden zand ten goede komt aan de zanddam, die parallel aan de blokkendam wordt gespoten en welk deel ten goede komt aan het transport door de blokkendam. Tevens zal moeten worden aangegeven hoe het zandfront in de blokkendam voortschrijdt (taludhelling van het zand in de blokkendam gemeten in lengterichting van de dam). Een moeilijk te kwantificeren element in het geheel zal de uitvoeringswijze zijn, waarbij het gebruik maken van de perioden met geringe vervallen rondom de kentering van het getij een belangrijke rol speelt.
Ondanks de hier gesignaleerde leemte in kennis moet gezien de hiervoor gegeven zandtransportcapaciteiten worden aangenomen, dat een dichting van de blokkendam met zand alleen niet mogelijk is.

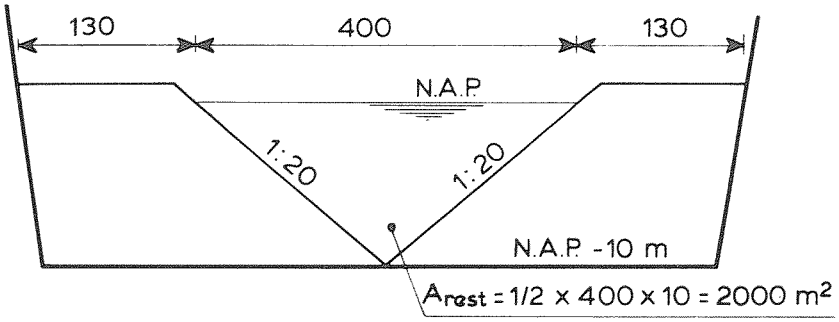
De bij de afsluiting van het Krammer optredende omstandigheden zijn vergelijkbaar met die bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat (zie hoofdstuk 5).
Uit het met succes dichtspuiten van de proefvakken (zonder grind) kan worden afgeleid, dat volledig vullen met grind niet nodig was. Voor de zandaanvulling van de blokkendam in het Krammer moet daarom worden gedacht aan een methode, waarbij de blokkendam slechts voor een deel wordt gevuld met grind.
Uit het onderzoek M 955 [3] is gebleken, dat voor de afdichting van de blokkendam in het Rak van Scheelhoek (Haringvlietdam) de beste methode de zogenaamde tweede sluiting was, waarbij vanuit beide oevers parallel aan de blokkendam zanddammen werden opgespoten, die op regelmatige afstand door middel van kortsluitdammen met de blokkendam werden verbonden. Een mogelijke aanpak voor de afdich-

ting van de blokkendam in het Krammer is een combinatie van een tweede sluiting met zand en gedeeltelijk vullen met grind. Kortweg komt deze aanpak op het volgende neer (zie ook figuur 13): Vanuit beide oevers wordt naast de blokkendam een zanddam opgespoten totdat het overgebleven doorstroomprofiel zodanig is verkleind, dat de verliezen op het stort te groot worden. Vervolgens worden vanaf het stort naar de blokkendam kortsluitdammen aangebracht. Dit kunnen zanddammen zijn, mits ter plaatse van de aansluiting met de blokkendam deze is ingewassen met grind, omdat anders vanwege de grote filtersnelheden het zand daar weer verdwijnt en de kortsluitdam doorbreekt. Als gevolg van de kortsluitdammen is het debiet door het sluitgat aanzienlijk verkleind, zodat de beide zanddammen weer verder kunnen worden uitgebouwd tot het resterende doorstroomprofiel weer zodanig is verkleind, dat de verliezen te groot worden. Vervolgens worden weer kortsluitdammen aangebracht, enzovoort. Dit kan niet onbeperkt doorgaan totdat de tweede sluiting is voltooid. De debietsvermindering als gevolg van het aanbrengen van de kortsluitdammen wordt al spoedig van minder betekenis. Bovendien zal de inhoud van de kortsluitdammen niet gering zijn en zal deze in redelijke verhouding moeten staan tot de voortgang van de zanddammen. Er komt dus een ogenblik, waarop de tweede sluiting niet verder kan worden doorgezet, zonder dat het resterende deel van de blokkendam eerst wordt gevuld met grind. Na het vullen met grind zijn de debieten door de blokkendam zo sterk afgenomen, dat de sluiting met zand zonder problemen kan worden voltooid.

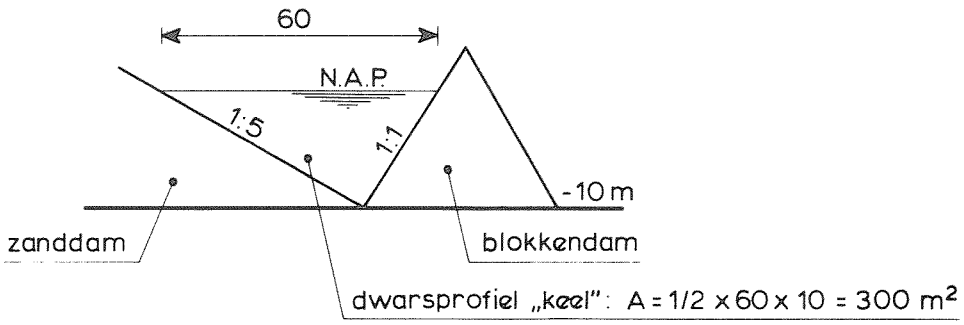
Volgens de hiervoor beschreven aanpak is het mogelijk de blokkendam te dichten door naar schatting de helft van de lengte van de dam met grind te vullen. Een en ander moge uit het onderstaande rekenvoorbeeld blijken. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. De tweede sluiting wordt toegepast aan de Volkerak-zijde(dit vereenvoudigt de berekening, omdat de waterstand aldaar dan bij benadering N.A.P. is).
2. Er is zand geklapt tot een hoogte van N.A.P. -10 m tegen de wintersluitgatdrempel.
3. De zandsluiting kan zonder meer worden doorgezet tot de gemiddelde stroomsnelheid in het resterende sluitgat van de zanddam: $\bar{v}$ = 1 m/s.
4. De geul tussen de zanddam en de blokkendam is zodanig ruim, dat het verhang hierover gering is.
5. Er wordt geen rekening gehouden met de debietvermindering door de blokkendam als gevolg van het van te voren vullen met grind ter plaatse van de aansluitpunten van de kortsluitdammen met de blokkendam.

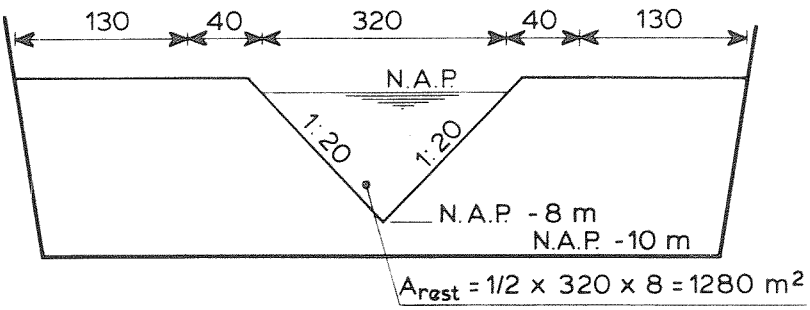
Bij een totaal debiet door de blokkendam van 1975 m^3/s (berekend met formule (5)) kan de tweede sluiting worden doorgezet tot $A_{rest} \approx 2000\ m^2$ (dan is immers $\bar{v} \approx 1$ m/s), d.w.z.:



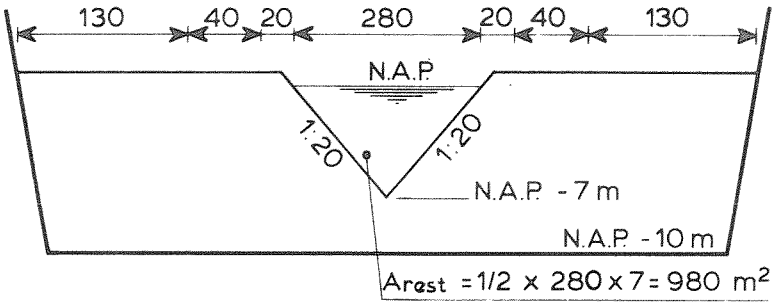
Het debiet door de blokkendam na aanbrengen van de kortsluitdammen bedraagt: 400 x 3,175 = 1270 m^3/s (hierbij is gebruik gemaakt van het debiet per strekkende meter blokkendam, zoals dat volgt uit formule (5), te weten 3,175 m^3/s).
Het debiet door de "keel" ter plaatse van de kortsluitdammen bedraagt juist voor het aanbrengen: (1975 - 1270): 2 = 352 m^3/s, zodat afhankelijk van het dwarsprofiel van de "keel" de stroomsnelheid daar ongeveer 1 m/s zal bedragen, zoals uit onderstaande schets blijkt:



Bij het debiet van 1270 m^3/s kan de tweede sluiting worden doorgezet tot $A_{rest} \approx 1280\ m^2$, d.w.z.:



Het debiet door de blokkendam na aanbrengen van de kortsluitdammen bedraagt: 320 x 3,175 = 1016 m^3/s.
Bij een debiet van 1016 m^3/s kan de tweede sluiting worden doorgezet tot $A_{rest} \approx 1000\ m^2$, d.w.z.:



Het debiet door de blokkendam na aanbrengen van de kortsluitdammen bedraagt: 280 x 3,175 = 889 m^3/s.
Het blijkt, dat de winst door het aanbrengen van de kortsluitdammen nu niet groot meer is.
Aangezien de breedte waarover de blokkendam ter plaatse van de aansluitpunten van de kortsluitdammen met de blokkendam met grind moet worden gevuld niet te klein mag zijn (bijvoorbeeld 25 m) ontstaat het beeld, zoals dit wordt gegeven in figuur 13. Het blijkt, dat van te voren 100 m met grind moet worden gevuld en later 290 m, zodat totaal 390 m met grind moet worden gevuld (d.i. 59%).

Als de kortsluitdammen van ander materiaal dan zand worden gemaakt, vervalt het van te voren vullen met grind. In dat geval moet 290 m met grind worden gevuld (d.i. 44%).
In dit rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van de situatie bij maximum verval. In werkelijkheid treedt deze situatie slechts gedurende een korte tijd op. De getijwerking zal een en ander in positieve zin beïnvloeden.

Een andere mogelijkheid voor de afdichting van de blokkendam is de zebra-gewijze vulling met grind, gevolgd door het aanvullen met zand. Bij deze aanpak zullen de niet met grind aangevulde vakken, naarmate de sluiting vordert, korter moeten zijn. Gezien de ervaring met de proefvakken bij de afdichting van de blokkendam in het Brouwershavense Gat onder vergelijkbare omstandigheden als bij het Krammer kan ook in de laatste fase van de sluiting gedacht worden aan vakken van ca. 50 meter lengte. De kans van slagen kan alleen worden aangegeven op grond van de in het Brouwershavense Gat opgedane ervaring. Het ontbreekt thans nog aan voldoende theoretische kennis om dit te kunnen staven met berekeningen.

In dit verband moet nog worden opgemerkt, dat behalve de in dit hoofdstuk gegeven technische overwegingen bij de keuze van een aanpak ook het kostenaspect dient te worden meegenomen.

LITERATUUR

1 Waterloopkundig Laboratorium
Zandaanvulling blokkendam, verslag modelonderzoek M 1009, 1970

2 Rijkswaterstaat
Afsluiting Brouwershavense Gat
Het dichtspoelen van de poreuze blokkendam met behulp van grind; resultaten van twee proefvakken in de blokkendam, waarbij het dichtspoelen van grind achterwege werd gelaten

3 Waterloopkundig Laboratorium
Afsluiting Rak van Scheelhoek, afdichting blokkendam, verslag modelonderzoek M 955, deel III, 1972

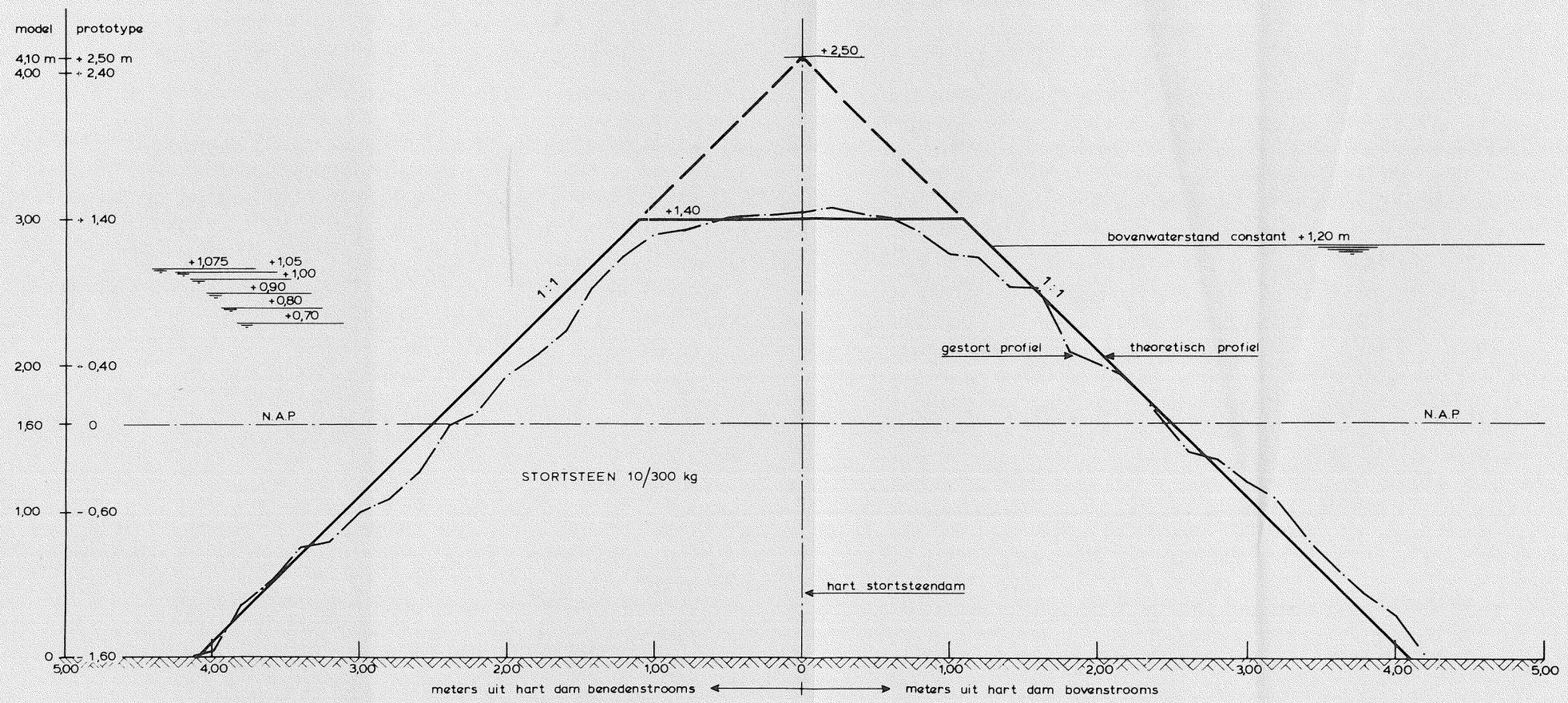
4 Waterloopkundig Laboratorium
Afdichting van een blokkendam met grofkorrelig materiaal
verslag modelonderzoek M 1243, 1981

Toestand	Bovenwaterstand t.o.v. N.A.P.	Benedenwaterstand t.o.v. N.A.P.	Zand-voeding	Gem. zandperc. in zand-watermengsel	Plaats van voedingspunt t.o.v. hart dam	Opm.
T1	+ 1,20 m	+ 0,95 m	1,4 $m^3/h/m^1$	5,84 %	18,00 m	Voedings-punt boven-strooms van de dam
T1[a]	+ 1,20 m	+ 1,075 m	1,4 $m^3/h/m^1$	5,84 %	18,00 m	
T1[b]	+ 1,20 m	+ 1,075 m	-	-	18,00 m	
T1[c]	+ 1,20 m	+ 0,95 m	-	-	18,00 m	
T1[d]	+ 1,20 m	+ 0,70 m	-	-	18,00 m	
T2	+ 1,20 m	+ 0,70 m	1,4 $m^3/h/m^1$	5,84 %	18,00 m	
T3	+ 1,20 m	+ 0,70 m	4,2 $m^3/h/m^1$	17,5 %	18,00 m	
T3[a]	+ 1,20 m	+ 0,80 m	4,0 $m^3/h/m^1$	16,7 %	18,00 m	
T3[b]	+ 1,20 m	+ 0,90 m	2,0 $m^3/h/m^1$	8,3 %	18,00 m	
T3[c]	+ 1,20 m	+ 1,00 m	2,7 $m^3/h/m^1$	11,3 %	18,00 m	
T3[d]	+ 1,20 m	+ 1,05 m	1,0 $m^3/h/m^1$	4,2 %	18,00 m	

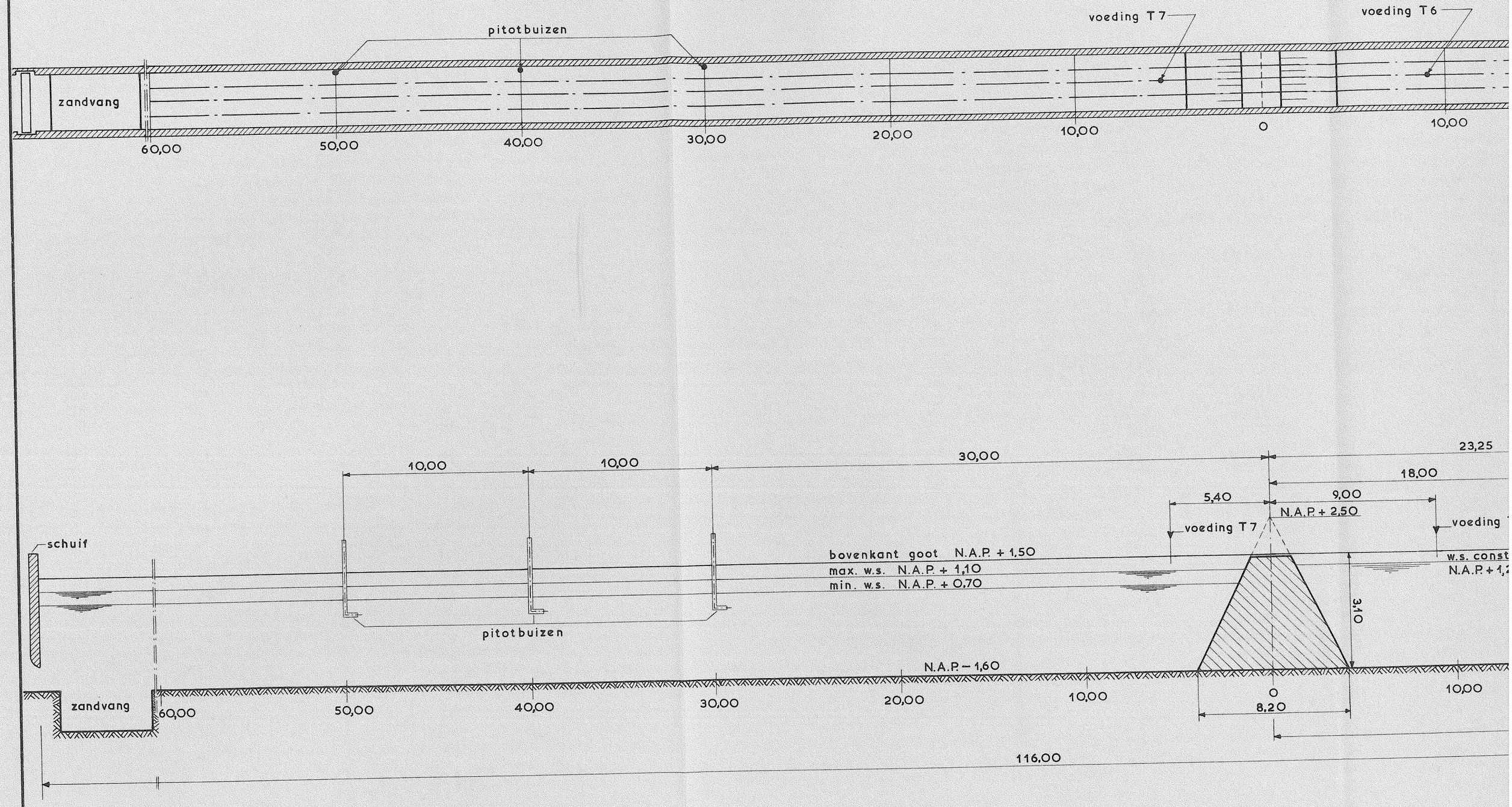
Tabel 1 Onderzoek Grevelingendam; uitgevoerde proeven; stortsteen 10/300 kg

Toestand	Bovenwaterstand t.o.v. N.A.P.	Benedenwaterstand t.o.v. N.A.P.	zand-voeding	Gem. zandperc. in zand-watermengsel	Plaats van voedingspunt t.o.v. hart dam	Opm.
T4	+ 1,20 m	+ 0,70 m	4,6 $m^3/h/m^1$	19,2 %	18,00 m	Voedings-punt boven-strooms van de dam
$T4^a$	+ 1,20 m	+ 0,80 m	4,6 $m^3/h/m^1$	19,2 %	18,00 m	
$T4^b$	+ 1,20 m	+ 0,90 m	4,6 $m^3/h/m^1$	19,2 %	18,00 m	
$T4^c$	+ 1,20 m	+ 1,00 m	4,6 $m^3/h/m^1$	19,2 %	18,00 m	
$T4^d$	+ 1,20 m	+ 1,00 m	-	-	18,00 m	
$T4^e$	+ 1,20 m	+ 0,90 m	-	-	18,00 m	
$T4^f$	+ 1,20 m	+ 0,80 m	-	-	18,00 m	
$T4^g$	+ 1,20 m	+ 0,70 m	-	-	18,00 m	
$T5^a$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	6,2 $m^3/h/m^1$	25,8 %	18,00 m	Voedings-punt boven-strooms van de dam
$T5^b$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	5,8 $m^3/h/m^1$	24,2 %	18,00 m	
$T5^c$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	7,1 $m^3/h/m^1$	29,6 %	18,00 m	
$T6^a$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	6,4 $m^3/h/m^1$	26,6 %	9,00 m	Voedings-punt boven-strooms van de dam
$T6^b$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	6,4 $m^3/h/m^1$	26,6 %	9,00 m	
$T6^c$	+ 1,20 m	+ 1,11 ↔ + 0,70 m	7,5 $m^3/h/m^1$	31,2 %	9,00 m	
T7	+ 1,20 m	+ 0,70 m	5,2 $m^3/h/m^1$	21,6 %	5,40 m	Voedings-punt bene-denstrooms van de dam
$T7^a$	+ 1,20 m	+ 0,70 m	2,8 $m^3/h/m^1$	11,7 %	5,40 m	
$T7^b$	+ 1,20 m	+ 0,70 m	-	-	5,40 m	
$T7^c$	+ 1,20 m	+ 0,80 m	5,2 $m^3/h/m^1$	21,6 %	5,40 m	
$T7^d$	+ 1,20 m	+ 0,80 m	3,3 $m^3/h/m^1$	13,8 %	5,40 m	
$T7^e$	+ 1,20 m	+ 0,80 m	-	-	5,40 m	
$T7^f$	+ 1,20 m	+ 1,00 m	6,3 $m^3/h/m^1$	26,2 %	5,40 m	
$T7^g$	+ 1,20 m	+ 1,00 m	4,6 $m^3/h/m^1$	19,1 %	5,40 m	
$T7^h$	+ 1,20 m	+ 1,00 m	-	-	5,40 m	
$T7^i$	+ 1,20 m	+ 1,10 m	-	-	5,40 m	
$T7^j$	+ 1,20 m	+ 1,10 m	3,7 $m^3/h/m^1$	15,4 %	5,40 m	
$T7^k$	+ 1,20 m	+ 1,10 m	-	-	5,40 m	
$T7^l$	+ 1,20 m	+ 0,90 m	-	-	5,40 m	

Tabel 2 Onderzoek Haringvlietdam; uitgevoerde proeven; blokken 0,5 x 0,5 x 0,5 m^3

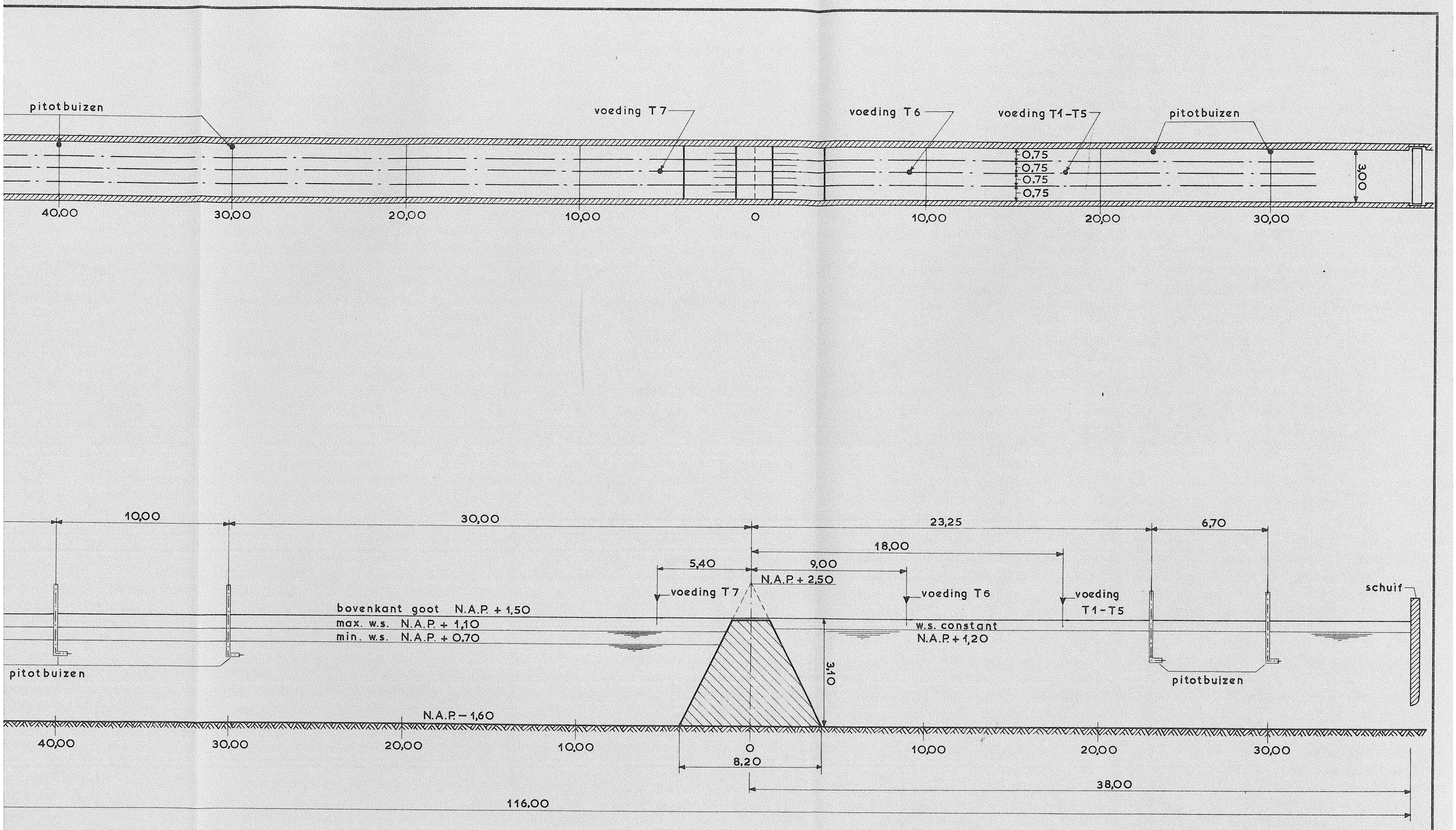


DWARSDOORSNEDE "GREVELINGENDAM"		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1720/M 1068	FIG. 1



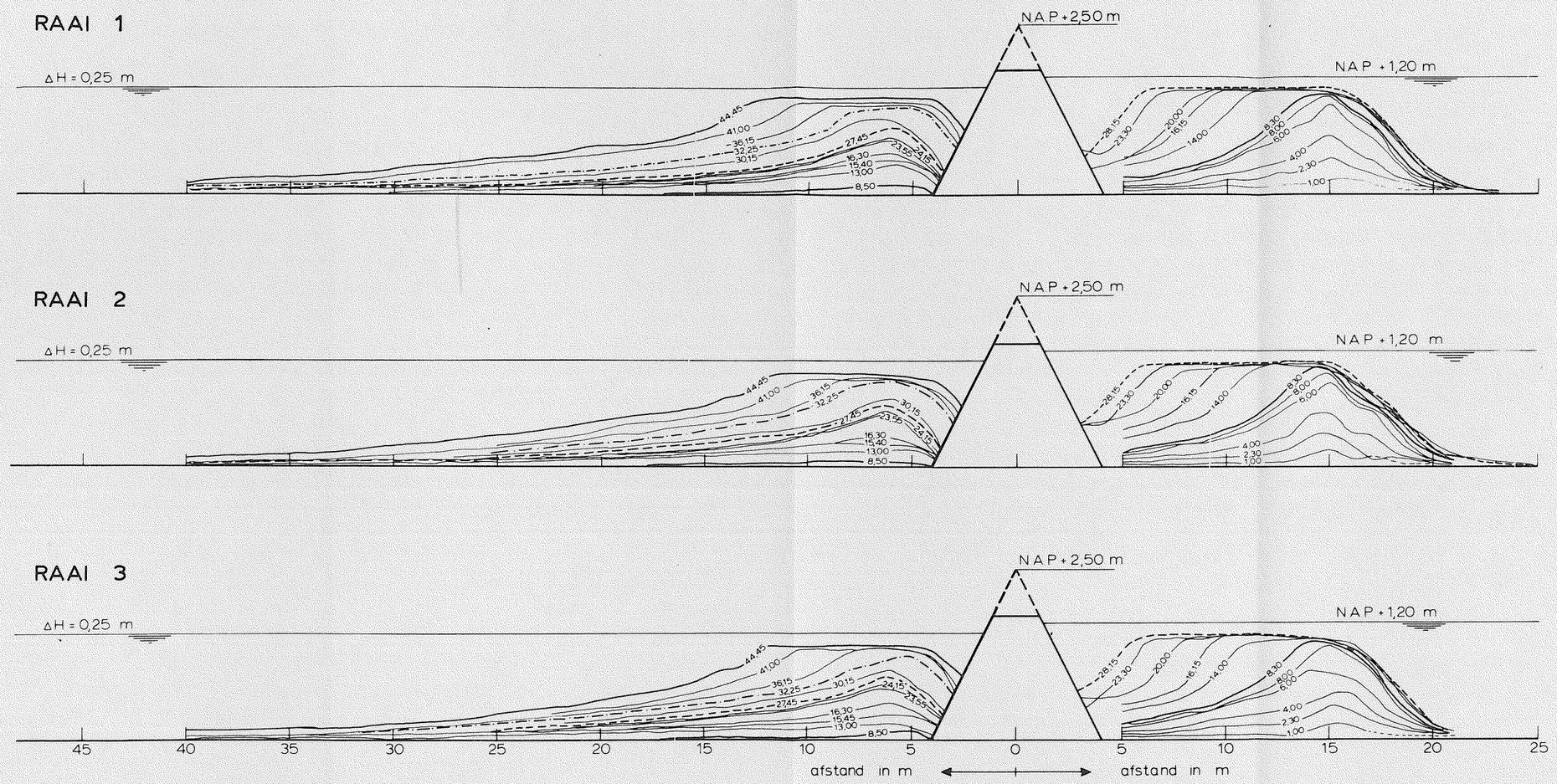
OVERZICHT MEETOPSTELLING ONDERZOEK M 1068		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1720/M1068	FIG. 2

maten in m



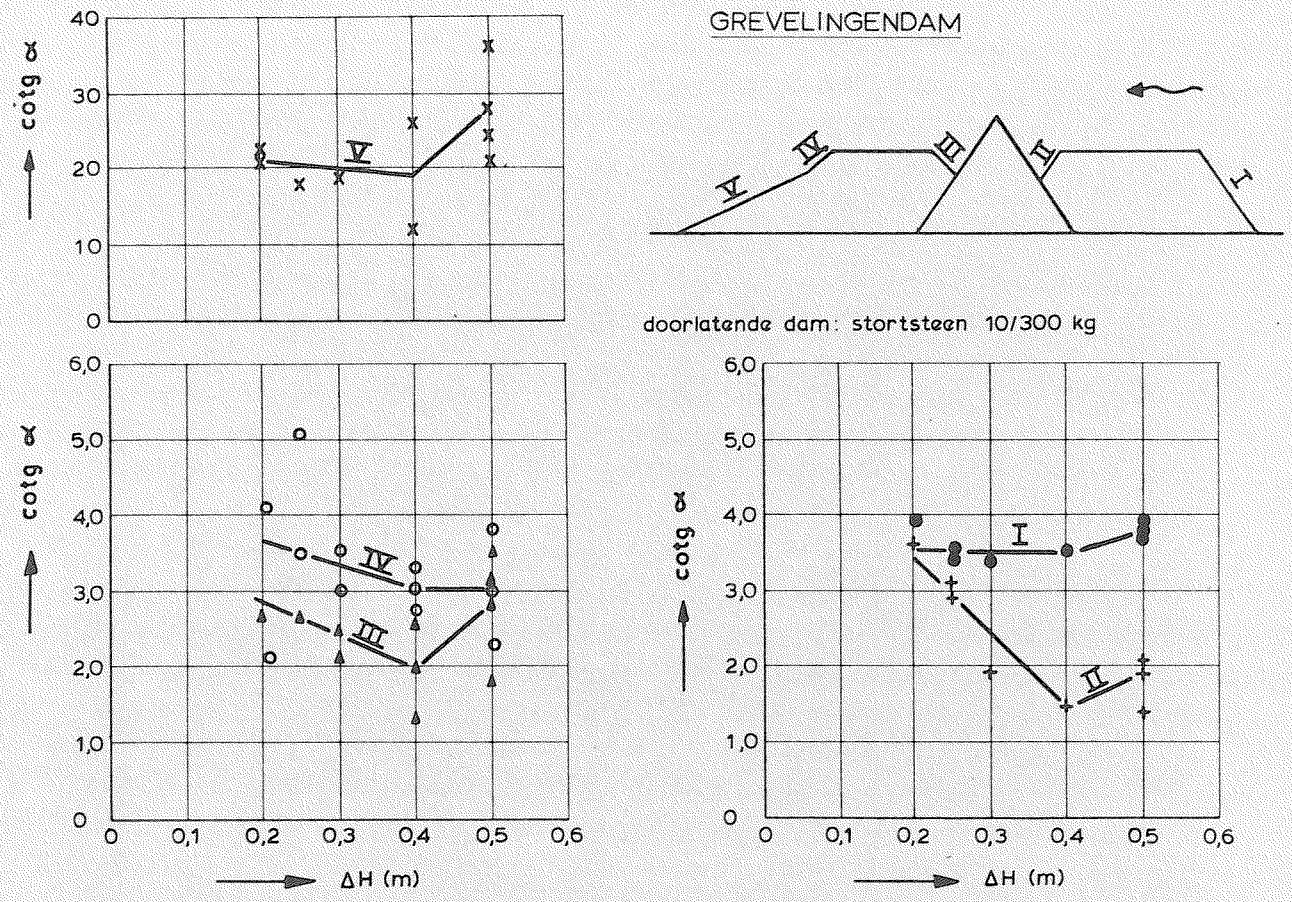
M 1720/M1068	FIG. 2

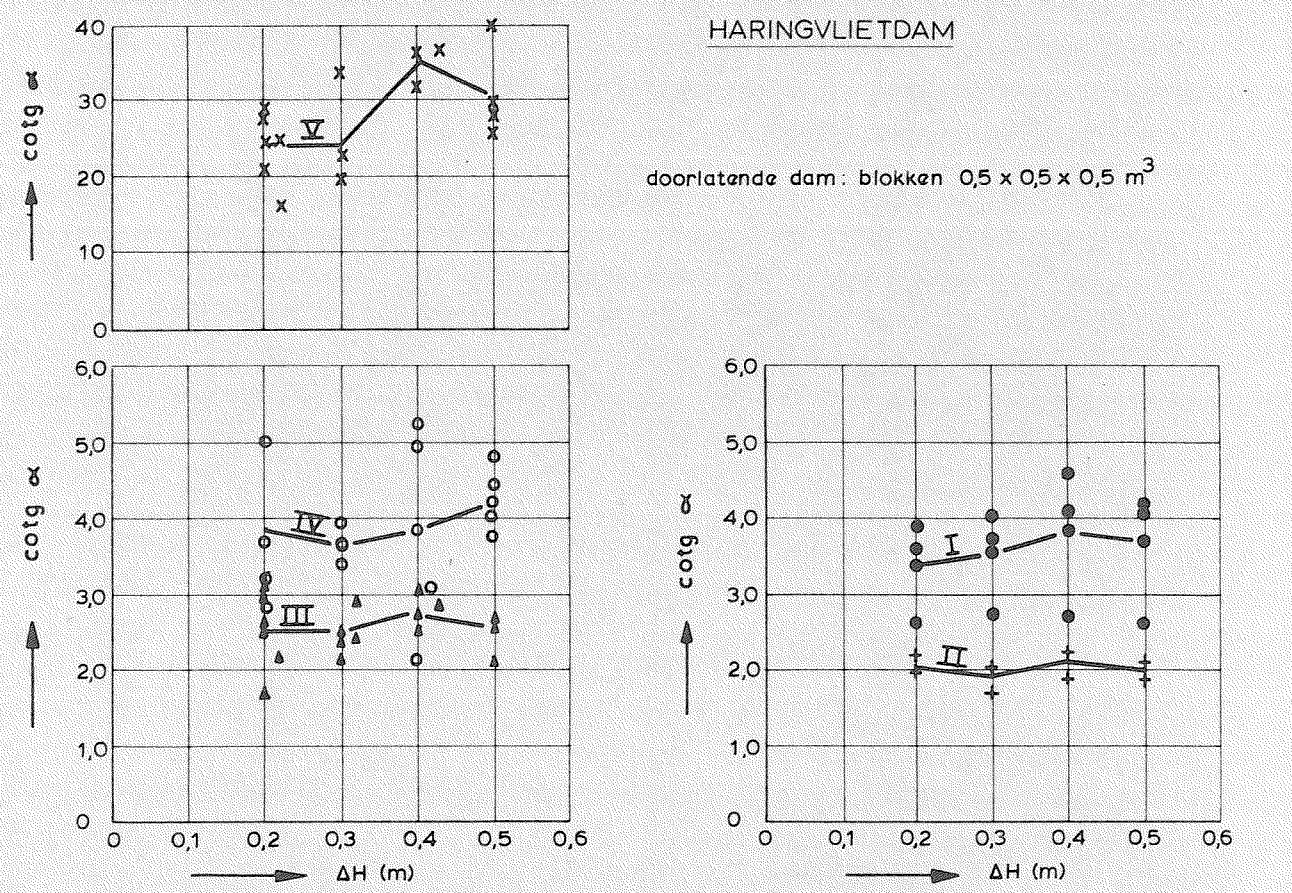
maten in m



4,00 aantal uren na begin proef

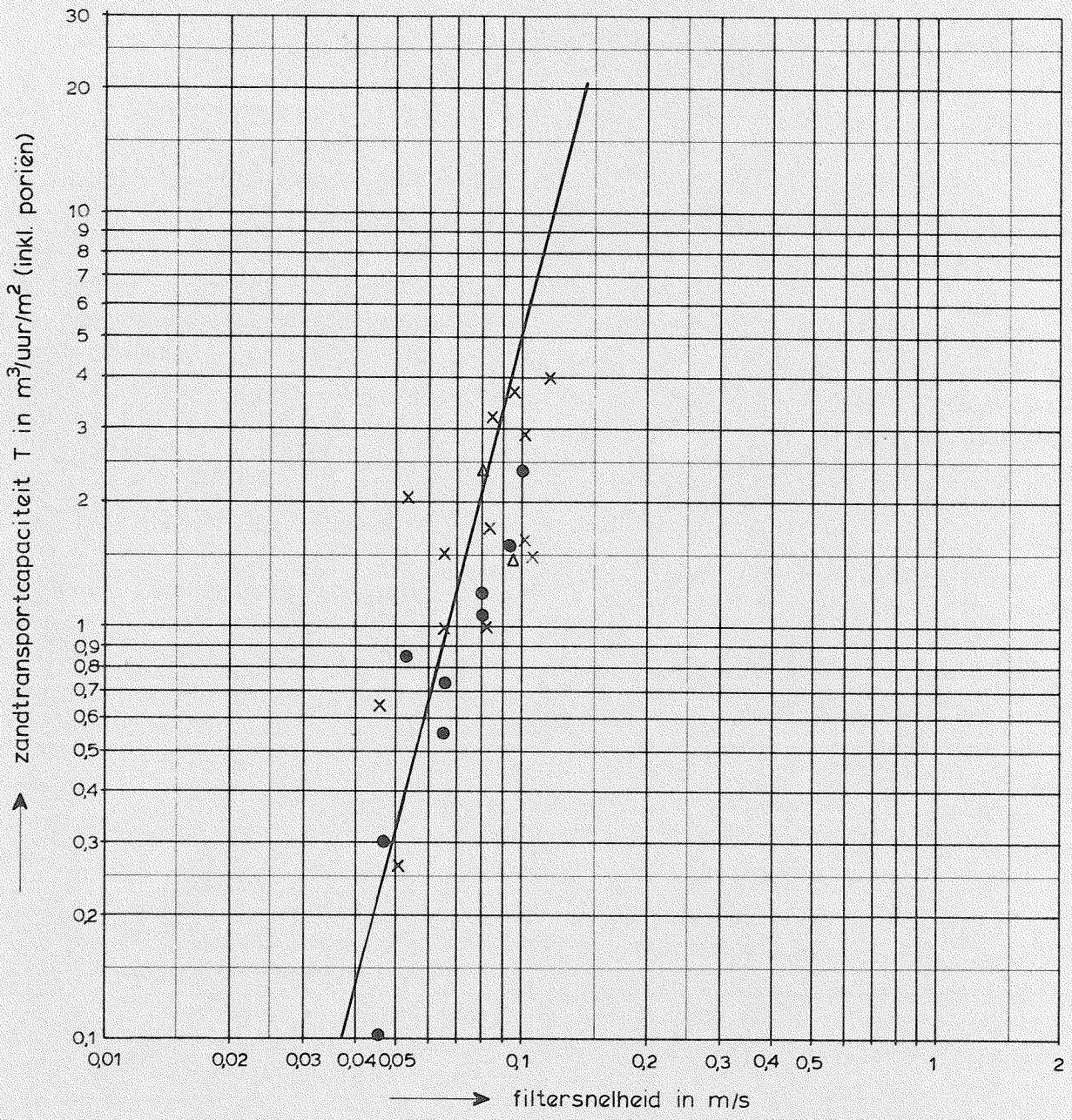
VOORBEELD ONTWIKKELING ZANDDAMMEN BOVEN- EN BENEDENSTROOMS VAN DOORLATENDE DAM VOLGENS ONDERZOEK M 1068		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M1720/M1068	FIG. 3





TALUDHELLINGEN ZANDDAMMEN VOLGENS ONDERZOEK M 1068

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M 1720/M 1068 | FIG. 4



$T = 52.000\ v_f^4$

met: T (m^3/uur/m^2), v_f (m/s)

Δ T4

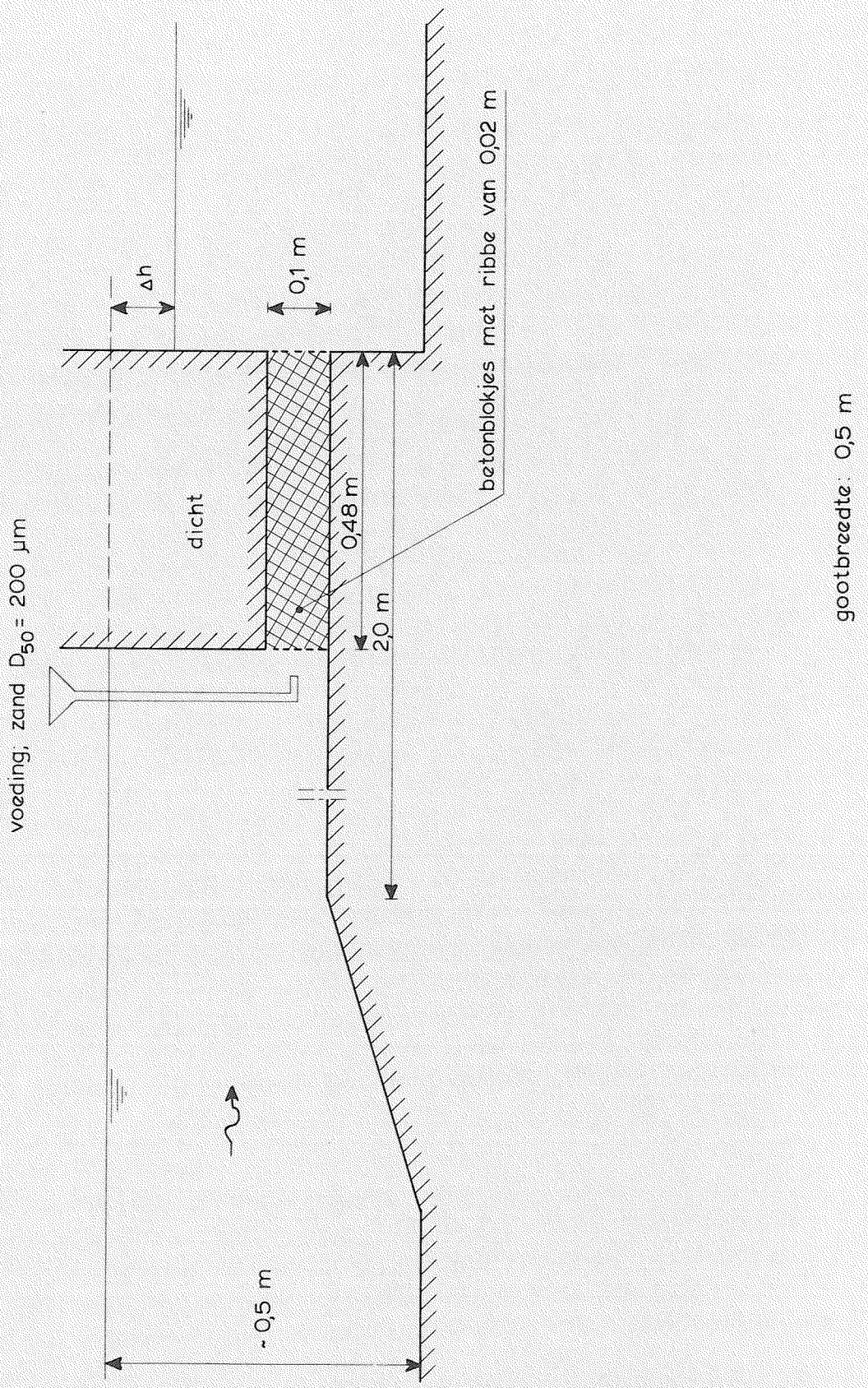
● T5

× T6

blokken: ribbe 0,5 m

zand: D_{50} = 140 μm

ZANDTRANSPORTCAPACITEIT DOOR BLOKKENDAM ALS FUNCTIE VAN FILTERSNELHEID VOLGENS ONDERZOEK M 1068	T4, T5, T6	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1720/M1068	FIG. 5



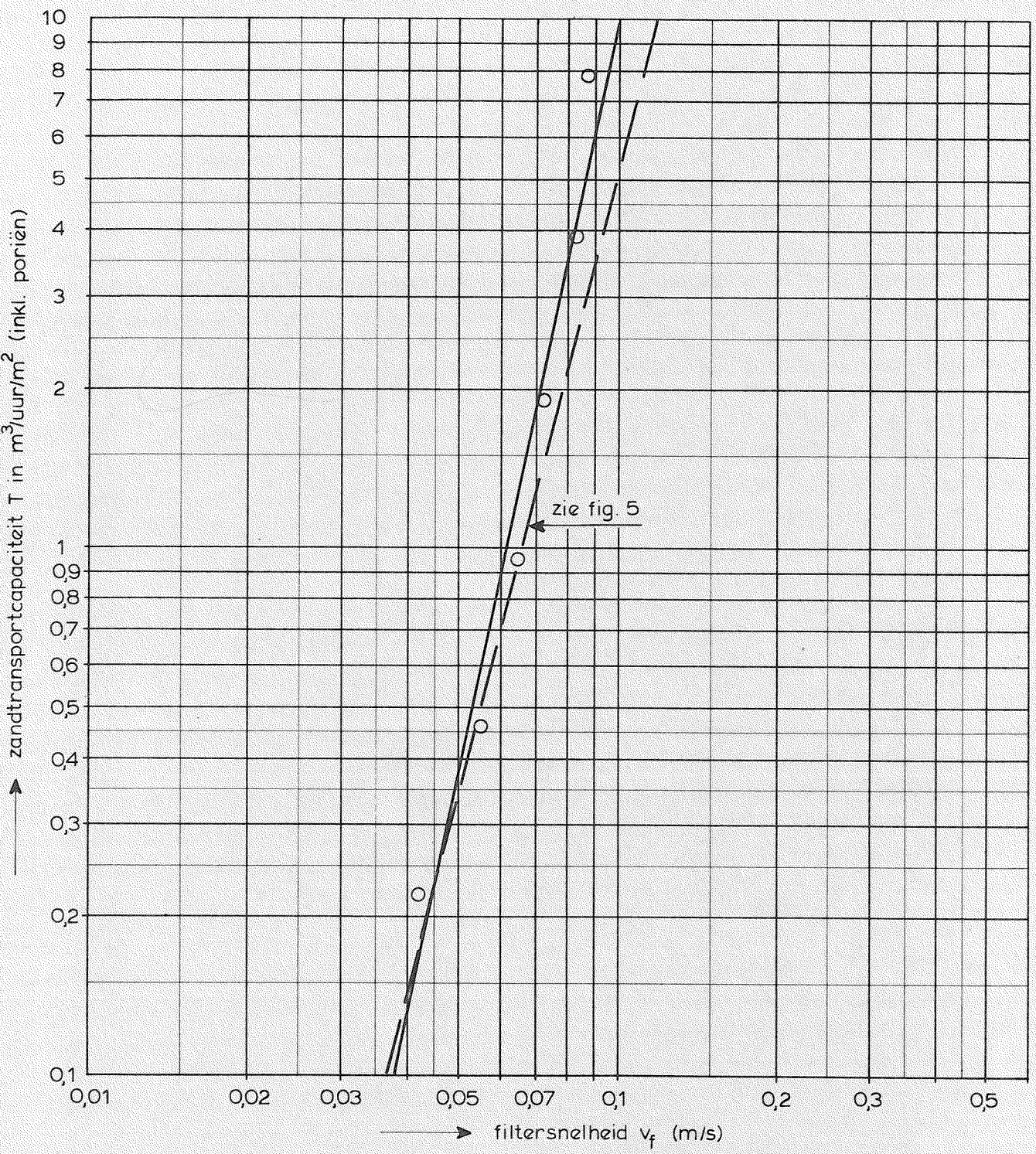
OVERZICHT MEETOPSTELLING ONDERZOEK M 1243; SERIE I

SCHAAL 1 : 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1720/M 1243

FIG. 6



$T = 500.000\ v_f^{4,7}$

met: T ($m^3/uur/m^2$), v_f (m/s)

betonblokjes met ribbe 0,02 m

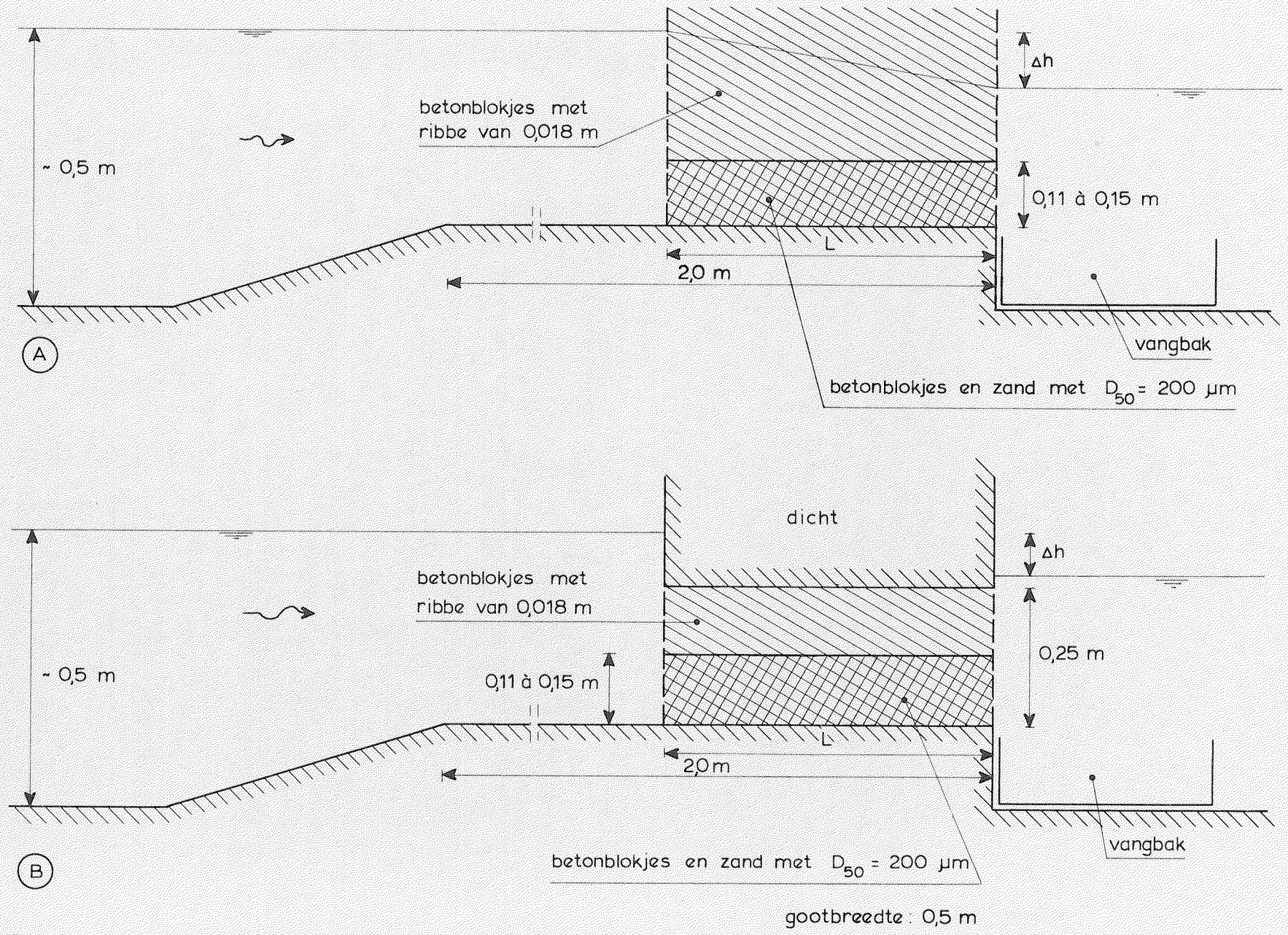
zand met D_{50} = 200 µm

ZANDTRANSPORTCAPACITEIT ALS FUNCTIE VAN FILTERSNELHEID VOLGENS ONDERZOEK M 1243

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1720/M 1243

FIG. 7



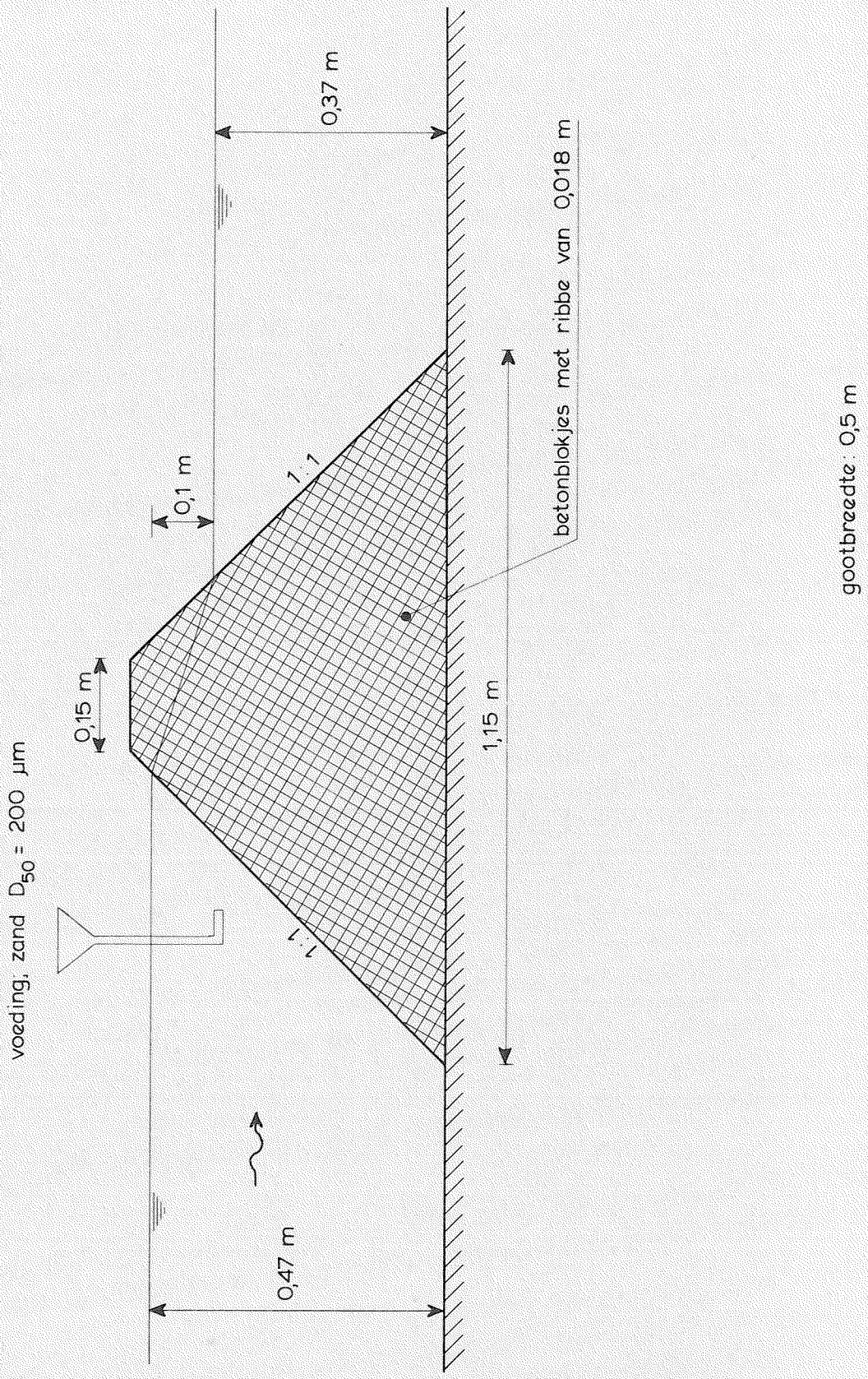
OVERZICHT MEETOPSTELLING ONDERZOEK M 1243;
SERIE II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1 : 10

M 1720/M1243

FIG. 8

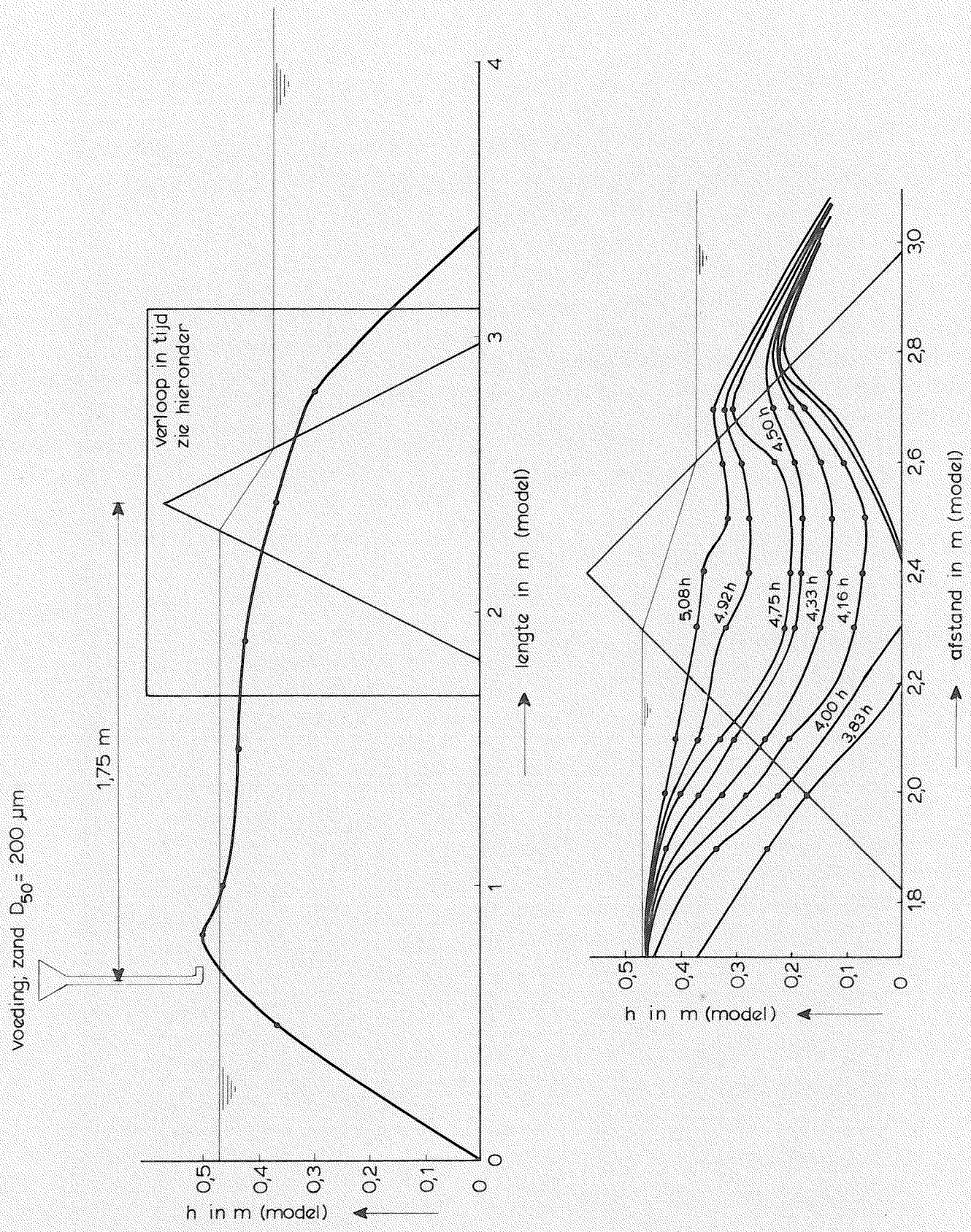


OVERZICHT MEETOPSTELLING ONDERZOEK M 1243; SERIE III

SCHAAL 1 : 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1720/M1243 FIG. 9

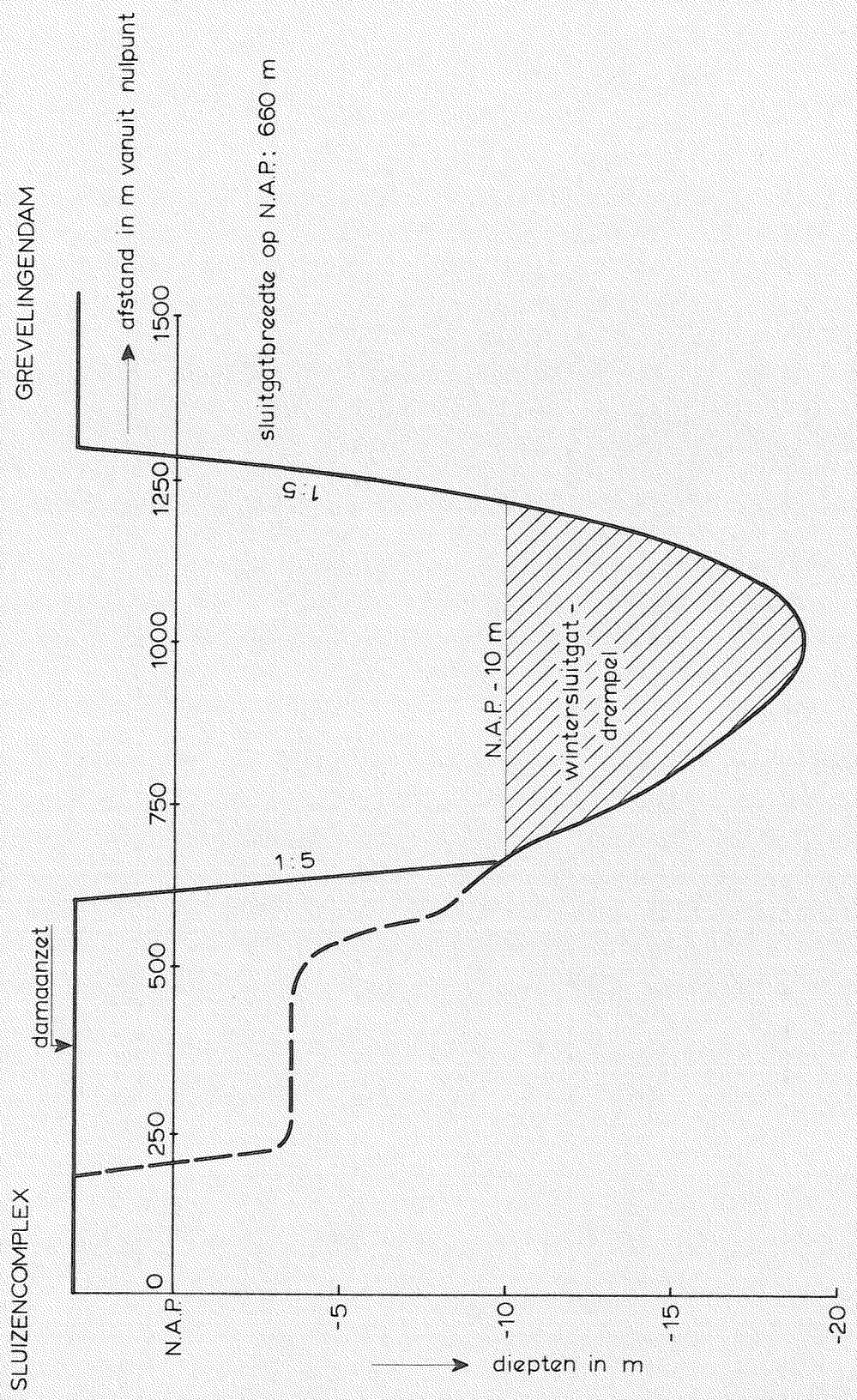


RESULTAAT ZANDAANVULLING BLOKKENDAM;
ONDERZOEK M 1243, SERIE III

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

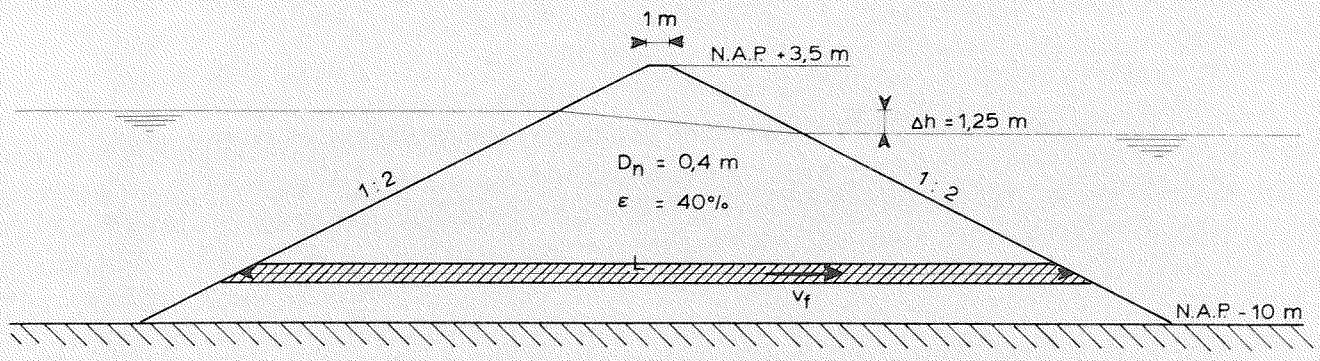
M1720/M1243

FIG. 10

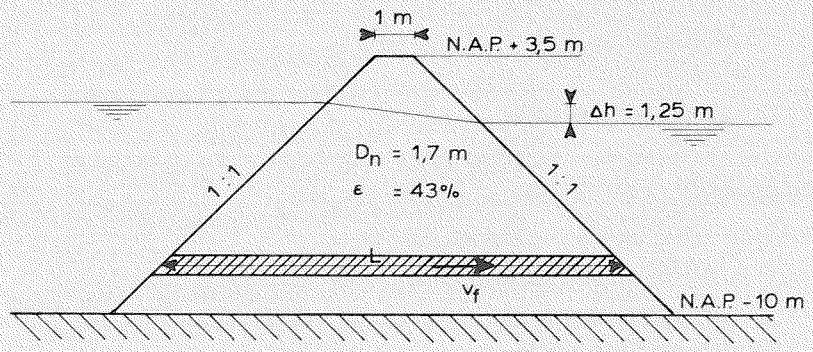


DWARSPROFIEL KRAMMER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M 1720 | FIG. 11

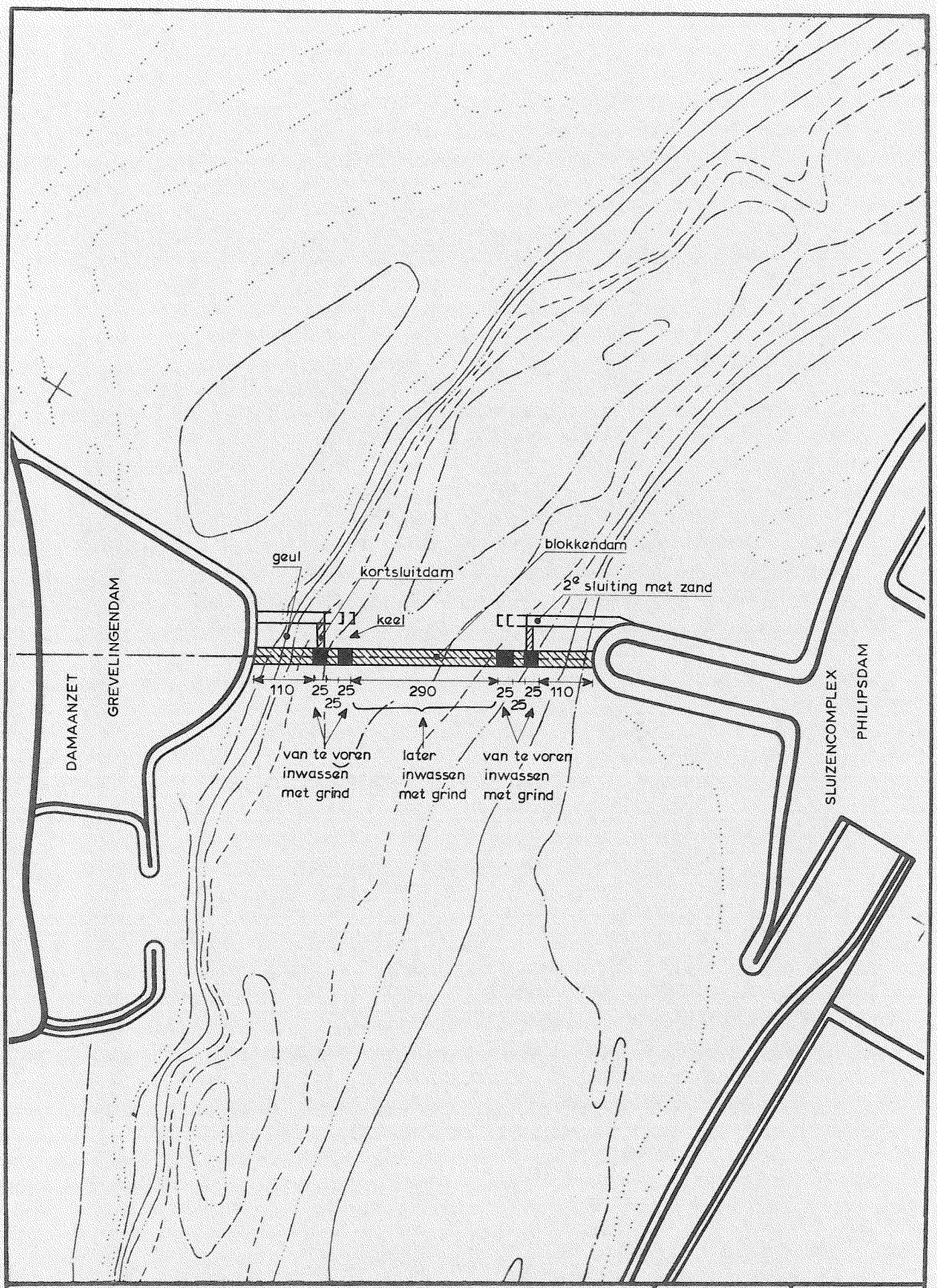


stortsteendam 60/300 kg



blokkendam 1 x 1 x 1 m^3

DWARSPROFIELEN PRIMAIRE DAMMEN		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1720	FIG. 12



MOGELIJKE AANPAK AFDICHTING BLOKKENDAM IN HET KRAMMER; VOORBEELD

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1720

FIG. 13

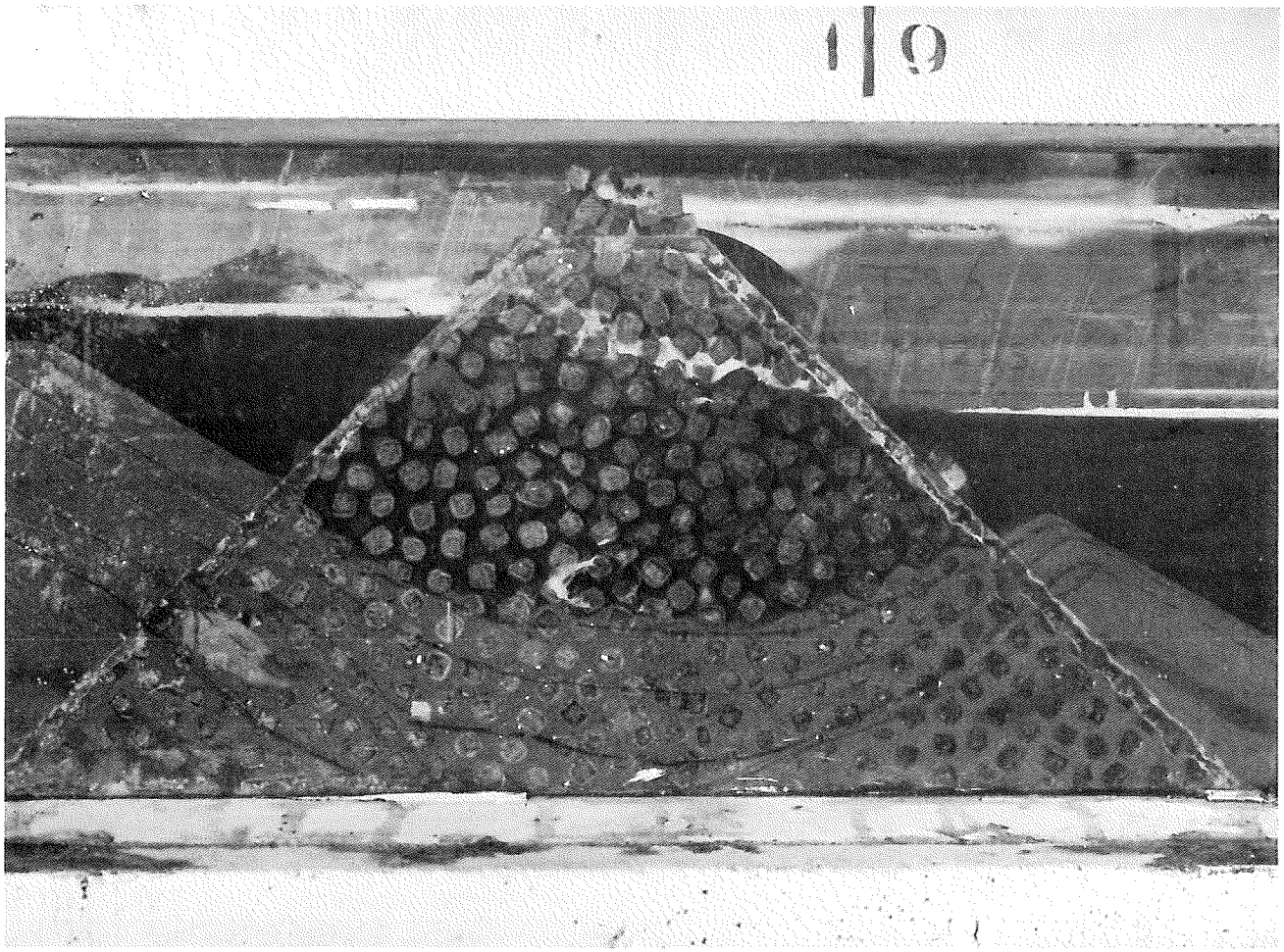


Foto 1 Zandaanvulling blokkendam; onderzoek M 1243, serie III

p.o. box 177 2600 mh delft the netherlands