

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

aanvullend onderzoek drempel en
overgangskonstruktie

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M 2169

november 1985

stormvloedkering Oosterschelde

aanvullend onderzoek drempel en
overgangskonstruktie

G.J.Akkerman

verslag modelonderzoek

M 2169

november 1985



INHOUD

SAMENVATTING

	blz.
1. <u>Inleiding en konklusies</u>	1
2. <u>Inrichting van het modelonderzoek</u>	5
2.1 Proefopstelling.....	5
2.2 Proevenprogramma.....	6
2.3 Metingen.....	7
3. <u>Resultaten</u>	9
3.1 Tolerantie steenzwaarte drempel (T1...T20).....	9
3.2 Tolerantie profiel AOS*.....	10
3.3 Diverse stabiliteitsproeven.....	12
3.3.1 Stabiliteit drempel bij halve AOS* (T22...T27).....	12
3.3.2 Stabiliteit halve en minimale AOS* tegen opdrukken (T37, T38)...	13
3.3.3 Stabiliteit overgangskonstruktie, met een zonder onderlaag (T67...T74).....	14
3.4 Toetsing drukverloop.....	14
3.4.1 Vloedverval bij aanwezigheid van de ANZ** en een halve AOS* (T28...T36).....	14
3.4.2 Golfdruk boven de ANZ** bij dichte kering en de AOS* afwezig (T61 tot T66).....	18

REFERENTIES

TABELLEN

FIGUREN

FOTO'S

* AOS = aanstorting Oosterschelde-zijde

** ANZ = aanstorting Noordzee-zijde

TABELLEN

- 1 Overzicht van de proeven
- 2 Drukmetingen bij vloedverval en golven van zee
- 3 Drukresponsie bij ebverval en golven van zee

FIGUREN

- 1 Overzicht proefopstelling
- 2 Onderzochte drempelprofielen
- 3 Massaverdeling stortsteen
- 4...12 Schade drempel bij weigerende schuif
- 4 T1...T6 Huidige situatie
- 5 T11...T16 Reproductie situatie [1]
- 6 T17...T20 Verbeterde situatie
- 7 T39...T43 Taludhelling 1:2,5, berm 6 m
- 8 T49...T53 Taludhelling 1:3, berm 3 m
- 9 T54...T58 Taludhelling 1:3, berm 3 m, dichte drempel
- 10 T44...T48 Taludhelling 1:3,5 berm 0 m (ontwerpprofiel)
- 11 T67...T71 Taludhelling 1:2,5 berm 6 m
- 12 T22...T27 Halve aanstorting
- 13 Drukverloop rond dorpel bij vloedverval, halve AOS*
- 14 Drukverloop rond dorpel bij vloedverval en golven van zee, halve AOS*
- 15 Effekt verbetering stabiliteit door afdeklaag 1-3 ton

* AOS = aanstorting Oosterschelde zijde

FOTO'S

Fotoblad 1

1a Proefopstelling dorpelniveau N.A.P. - 4,5 m

1b Proefopstelling dorpelniveau N.A.P. -10,5 m

Fotoblad 2

2a Beeld van de schade bij de huidige toestand, verval 4,9 m (T3)

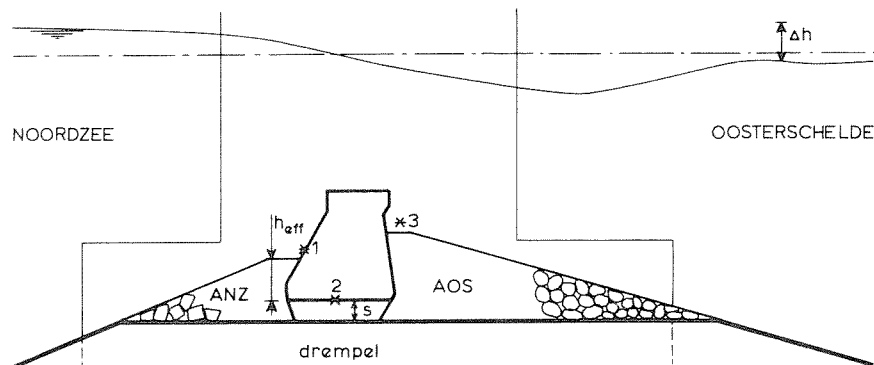
2b Beeld van de schade met een afdeklaag, verval 6,3 m (T20)

Fotoblad 3

3a Beeld van de schade bij een halve AOS, verval 7 m (T27)

3b Bezwijken van de drempel bij dichte kering, verval 24 m (T38)

SYMBOLLEN



d	=	waterdiepte t.o.v. het voorland	(m)
D_n	=	nominale steendiameter = $(M_{50}/\rho_s)^{1/3}$	(m)
f	=	stabiliteitsfactor voor de aanstortingen	(-)
h_{eff}	=	effektieve aanstortingshoogte	(m)
H_0	=	inkomende (regelmatige) golfhoogte	(m)
H_1	=	lokale golfhoogte, ter plaatse van meetpunt 1	(m)
L	=	golflengte bij waterdiepte d	(m)
M_{50}	=	gemiddelde massa van de stenen (gemiddeld naar massa)	(kg)
n	=	poriegehalte/100	(-)
P	=	percentage van de vervalddruk over de aanstorting/100	(-)
r_{th}	=	theoretische drukresponsiefactor	(-)
r'	=	berekende drukresponsiefactor, volgens $r' = \Delta p_{min} / \eta_{min}$	(-)
r''	=	berekende drukresponsiefactor, volgens $r'' = \Delta p / H_1$	(-)
s	=	spleethoogte $\approx 1,8$ m (prototype)	(m)
T	=	golfperiode	(s)
z	=	afstand drukmeetpunt tot de (gemiddelde) waterspiegel	(m)
α	=	reflectiecoëfficiënt SVKO, bij dichte kering	(-)
Δ	=	relatieve dichtheid = $(\rho_s - \rho)/\rho$ of $(\rho_b - \rho)/\rho$	(-)
Δh	=	waterstandsverval over de SVKO	(m)
Δh_b	=	waterstandsverval over de SVKO bij bezwijken	(m)
Δp	=	totale drukfluctuatie	(mwk)
Δp_{min}	=	minimum-drukfluctuatie	(mwk)
η_{min}	=	golfdal uitwijking	(m)
ρ	=	soortelijke dichtheid van water	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ρ_b	=	soortelijke dichtheid van beton	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ρ_s	=	soortelijke dichtheid van stortsteen	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
α	=	reflectiecoëfficiënt SVKO, bij dichte kering	(-)
Δ	=	relatieve dichtheid = $(\rho_s - \rho)/\rho$ of $(\rho_b - \rho)/\rho$	(-)

SYMBOLLEN (vervolg)

Δh	=	waterstandverval over de SVKO	(m)
Δh_b	=	waterstanverval over de SVKO bij bezwijken	(m)
Δp	=	totale drukfluctuatie	(mwk)
Δp_{\min}	=	minimum-drukfluctuatie	(mwk)
η_{\min}	=	golfdaluitwijking	(m)
ρ	=	soortelijke dichtheid van water	(kg.m ⁻³)
ρ_b	=	soortelijke dichtheid van beton	(kg.m ⁻³)
ρ_s	=	soortelijke dichtheid van stortsteen	(kg.m ⁻³)

SAMENVATTING

Het voorliggende verslag beschrijft modelonderzoek naar diverse aspecten van de stabiliteit van de drempel (inclusief aanstortingen) en de overgangskonstruktie van de stormvloedkering Oosterschelde, in aanvulling op het eigenlijke dimensionerings-onderzoek M 1451/M 1702/M 1750 [1]. De volgende aspecten werden onderzocht:

- consequenties en remedie te lichte stortsteen op de drempel
- toleranties, vanuit stabiliteits-oogpunt, voor het profiel van de AOS (aanstorting Oosterschelde-zijde)
- consequenties van een halve AOS voor de drempel stabiliteit
- weerstand van een halve en verkleinde AOS tegen opdrukken bij gesloten kering
- invloed van een onderlaag op de top laag-stabiliteit van de overgangskonstruktie.

Verder werd in een tweetal situaties het drukverloop rondom de dorpel gemeten; bij vloedverval met aanwezigheid van beide aanstortingen (zij het dat de AOS tot de helft was gereduceerd) en bij ebverval tijdens een dichte kering met golven van zee.

In het eerste geval werden een drietal situaties in beschouwing genomen: een open kering, een gesloten kering en een weigerende schuif situatie.

In het tweede geval werd de golfdrukvoortplanting boven de ANZ (aanstorting Noordzee-zijde) getoetst.

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

AANVULLEND ONDERZOEK DREMPEL EN OVERGANGSKONSTRUKTIE

1. Inleiding en konklusies

Het voorliggende verslag beschrijft modelonderzoek dat in de Pentagoot in de Voorst werd verricht in de maanden augustus en september 1985, teneinde urgente vragen met betrekking tot de stabiliteit van de drempel, met inbegrip van de aanstortingen tegen de dorpel, en de overgangskonstruktie te beantwoorden. De vragen hadden betrekking op toleranties (par. 3.1 en 3.2) met betrekking tot de aanstorting aan de Oosterschelde-zijde, kortweg AOS genoemd, varianten van de AOS (par. 3.3.1 en 3.3.2), en verificatie van aannamen (par. 3.3.3, 3.4.1 en 3.4.2)

In hoofdlijnen werd het onderzoek uitgevoerd conform de aanbidding, kenmerk RS3010-K3279-GA-mb van 9 augustus 1985, en conform de mondelinge opdracht van ir. J. Wouters. Schriftelijke opdracht werd verleend bij brief met kenmerk WT 815, d.d. 13 nov. 1985, deel uitmakend van projekt F 7722 S00 (budgettering via werkplanpost 169.04.17.322.27). De feitelijke experimenten werden voor een deel lopende het onderzoek vastgesteld aan de hand van de tussentijdse proefuitkomsten, in nauw overleg met de opdrachtgever. Van de zijde van Rijkswaterstaat werd het onderzoek aanvankelijk begeleid door ir. G. Verbeek en daarna door ir. J. Wouters. Het onderzoek werd aanvankelijk van de zijde van het Waterloopkundig Laboratorium begeleid door ir. A. Boogaard en ir. T. van der meulen en later door ir. G.J. Akkerman, welke laatstgenoemde ook de verslaggeving verzorgde.

Aan de hand van de in hoofdstuk 3 vermelde resultaten kunnen de volgende konklusies worden getrokken.

Tolerantie steenzwaarte drempel

De situatie van de iets te lichte 1 tot 3 tons steen op de drempel, in enkele ondiepe poortje in de Hammen, lijkt niet acceptabel, wanneer de resultaten van het dimensionerings-onderzoek [1] in beschouwing worden genomen. Echter, de proefuitkomsten geven aan dat de stabiliteits resultaten gunstiger zijn dan op

grond van het voorgaande zou kunnen worden verwacht (par. 3.1); de oorzaak hiervan kan worden gezocht in de veranderingen in het ontwerp die sedertdien zijn aangebracht. Met name de grotere doorlatendheid van de drempel lijkt hier aan bij te dragen. Teneinde de voorspellingen uit het dimensionerings-onderzoek te verifiëren werd een situatie uit dat betreffende onderzoek gereproduceerd; deze proef gaf inderdaad een voor het dimensionerings-onderzoek kenmerkende schade te zien. Hiermee was de invloed van de geometrie wijzigingen dus aangetoond. Met het oog op mogelijke mosselaangroei in werkelijkheid, werd toch een mogelijke remedie beproefd; hoewel niet geheel overtuigend bleek één enkele afdeklaag met goede 1 tot 3 tons steen een verbetering te geven. Weliswaar nam door de meer geëxposeerde ligging van deze afdeklaag de schade meer toe, in vergelijkbare situaties, maar de extra laagdikte gaf de doorslag bij het nuttig effect van deze maatregel (figuur 15).

Tolerantie profiel AOS

- Voor de als maatgevend veronderstelde lokatie (ondiepe poortjes in de Roompot met een dorpelniveau van N.A.P. -4,5 m), blijkt een profiel met een berm van ten hoogste enkele meters uit het oogpunt van de stabiliteit acceptabel te zijn (par. 3.2).
- Terzijde werd gekonstateerd dat de doorlatendheid van zeer grote invloed is, in die zin dat een dichte drempel aanzienlijk meer schade ondervindt.

In dit opzicht dient te worden opgemerkt dat bij het onderzoek [1] de drempel doorgaans vrij dicht zal zijn geweest en dat dimensionering aan de hand van [1] dus enigszins conservatief zal kunnen zijn, zolang de drempel en aanstortingen niet noemenswaardig zijn aangegroeid. Is daarentegen van een (vrijwel) volledige aangroei sprake, dan is een onveilige situatie ten opzichte van [1] niet uitgesloten.

Uitkomsten van diverse stabiliteitsproeven

- Voor de diepe lokatie in de Roompot, dorpelbalkniveau N.A.P. -10,5m, blijkt een halve AOS nog juist acceptabel te zijn ten aanzien van de verhevigde stroomaanval op de drempel (par. 3.3.1); bij lagere vervallen treedt vervorming op aan het aanstortingsprofiel terwijl bij een verval van 6,3 m de kruin van de drempel zwaar wordt aangevallen, echter nog juist tot een ac-

ceptabele omvang. Gezien de uitkomsten van de tolerantieproeven voor de ondiepe lokaties zal een halve aanstorting daar vermoedelijk niet haalbaar zijn.

- De weerstand van een halve AOS en een verkleinde aanstorting (taludhelling 1:2,5) tegen oplichten bij vloedverval blijkt zeer groot (par. 3.3.2); de halve aanstorting was bestand tegen tenminste een statisch verval van 18 m; de verkleinde aanstorting werd beproefd tot een verval van 24,5 m, waarbij plotseling bezwijken van de aanstorting en de gehele drempel in het betreffende poortje optrad.
- Ten aanzien van de invloed van de onderlaag op de stabiliteit van de overgangskonstruktie, par. 3.3.3., werd vastgesteld dat een laag 10 tot 60 kg geen invloed uitoefent op de stabiliteit van de top laag 3 tot 6 ton. Wat betreft de voorspellingen uit het dimensionerings-onderzoek, waarbij doorgaans geen onderlaag werd toegepast, mag dus geen reserve op dat punt worden verwacht.

Drukmetingen bij vloedverval en aanwezigheid van beide aanstortingen

Bij dichte kering blijkt de golfdoordringing tot boven de AOS vrijwel volledig verwaarloosd te kunnen worden (par. 3.4.1). Het lijkt veilig om voor de AOS de helft van de ongestoorde golfdruk in rekening te brengen.

- Bij open kering is sprake van een complexe drukverdeling rondom de dorpel. Door waterspiegelafzinking is niet alleen een toename van het effectieve verval te konstateren, deze neemt sterker toe door de golfinvloed, welke op de stroom is gesuperponeerd. Door dit verschijnsel is het maximale momentale verval over de AOS tijdens golfwerking mogelijk zelfs het grootst bij de gemiddelde waterstandniveau's.
- Voor de weigerende schuif situatie blijken golven een aanzienlijk minder ongunstige invloed te hebben op de AOS; de golfwerking heeft een toename van het drukverval tot gevolg van slechts enige decimeters ten opzichte van alleen statisch verval.
- Voor de situatie van een open kering en een weigerende schuif kan een uit het waterspiegelverloop afgeleide open/dichtfactor worden gedefinieerd. Deze blijkt voor een open kering aanzienlijk lager te zijn dan bij andere onderzoeken werd gekonstateerd, namelijk liggend tussen 1,0 en 1,4; globaal bezien zou hiervoor een karakteristieke factor van 1,3 kunnen worden aange-

houden. Voor de weigerende schuif situatie blijkt de open/dichtfactor zelfs onder de 1,0 te liggen; dit kan worden verklaard door de geringe waterspiegelinzinking benedenstrooms van de dorpel en de, dankzij de aanwezigheid van de bovenstroomse aanstorting, goede stroomlijning bovenstrooms van de dorpel, waardoor aldaar een waterspiegelverlaging optreedt van rond 3/4 m. Een dergelijk verlaging trad bij de open kering weliswaar ook op, doch hier was sprake van een waterspiegelverlaging benedenstrooms van de dorpel die tot 4 m groter was dan voor de weigerende schuif situatie.

Drukmetingen bij ebverval en golven van zee, alleen ANZ aanwezig (par. 3.4.2)

Bij stabiliteits berekeningen voor de ANZ is tot dusverre de invloed van de golfwerking bij golven vanaf zee, bij ebverval en een gesloten kering, in rekening gebracht door de golfdruk boven de ANZ, onder een golfdal, met behulp van de lineaire golftheorie [6] te berekenen en te veronderstellen dat deze, voor stabiliteitsbeschouwingen, bij het waterstandsverval moet worden opgeteld.

De onderhavige drukmetingen tonen aan (par. 3.4.2, zie ook tabel 3: vergelijking van r_{th} met r'') dat deze golfdrukberekening, vanuit praktisch oogpunt bezien, mag worden toegepast.

Omdat bij deze metingen geen schade werd geconstateerd, is dit gegeven geïnterpreteerd ten aanzien van de stabiliteitsberekeningen (par. 3.4.2). De opgetreden stroom- en golfbelasting ligt dan boven de berekende bezwijkbelasting (in verval uitgedrukt: 4,8 m tegenover 4,3 m); dit geldt des te sterker voor het gemeten bezwijkverval voor de ANZ in [4], waarbij met een geïmproviseerde golfopwekking bij $\Delta h = 5,8$ m (inklusief de op bovenstaande wijze, berekende golfbelasting) het begin van een bezwijktoestand optrad. De gehanteerde berekeningsmethodiek voor de stabiliteit van de aanstorting tegen opdrukken, lijkt derhalve enigermate conservatief, dus veilig, te zijn.

2. Inrichting van het modelonderzoek

2.1 Proefopstelling

De Pentagoot was bij uitstek geschikt om het aanvullend onderzoek voor de stabiliteit van de drempel en de overgangskonstructie uit te voeren. Ten eerste, vanwege de volledige vergelijkbaarheid met het dimensionerings-onderzoek voor de drempel en de overgangskonstructie [1]; ten tweede, vanwege reproductie van drie kering-sekties waardoor een drie-dimensionale stromings situatie kon worden onderzocht. Verder konden regelmatige golven worden gereproduceerd terwijl enslotte ook nog stroming van beide kanten in de goot, kon worden ingesteld, zodat eb en vloed situaties konden worden nagebootst.

Twee pijlers waren reeds beschikbaar, de twee ander pijlers konden op korte termijn beschikbaar worden gemaakt, zodat de proefopstelling snel kon worden gerealiseerd. De lengteschaal was 1:30, voldoende om de relevante verschijnselen op een juiste wijze te reproduceren.

In grote lijnen werd een tweetal situaties onderzocht, één met een dorpelbalk niveau op N.A.P. -4,5 m en één met een dorpelbalk-niveau op -10,5 m, foto's la en lb. Normaliter zou voor het dorpelbalk-niveau -4,5 m, korresponderende met de ondiepste lokaties van de sluitgaten, inbaggeringen moeten worden weergegeven. Uit een verkenning naar de invloed van deze inbaggeringen op de stabiliteit van de drempel, volgens [1], bleek dat deze niet behoevend te worden gemodelleerd. Verbouw van de ondiepe naar de diepe situatie geschiedde door het N.A.P.-niveau te veranderen, overeenkomstig de verandering in dorpel-niveau; de dorpel-en drempelkruin werden 2 m (prototype) omhoog gebracht voor de diepe situatie met een dorpelbalk-niveau op -10,5 m. Het N.A.P.-niveau werd bijgevolg 8 m hoog gebracht voor de diepe situatie. Bij een aantal proeven werden drukmetingen uitgevoerd. Hiertoe werd een beïnstroomde dorpel met 3 drukopnemers, in de plaats van de gewone dorpel, aangebracht. De middelste kering-sectie werd voorzien van een vakwerkliggerschuif, in tegenstelling tot de naastliggende sekties, die waren voorzien van plaatliggerschuiven; de invloed van deze laatsten op het stroombeeld in de middelste sectie kan als verwaarloosbaar worden beschouwd. Bij één proef werd de toestand uit het dimensionerings-onderzoek gereproduceerd, waarvoor ook in de middelste sectie een plaatliggerschuif werd aangebracht. Er werd in het verloop van het onderzoek een veelheid van drempel configuraties onderzocht; voor een overzicht hiervan wordt verwezen naar figuur 2.

Een moeilijk punt vormde de aanmaak van modelstenen, gezien de zeer korte termijn van voorbereiding. In verband hiermee werd eerst nagestreefd aan de ΔD -specificaties te voldoen met behulp van porfiersteen, bij gebrek aan basis-materiaal van basalt. Dit leverde echter ontoelaatbare afmetingen van de modelstenen op, met het oog op de doorlatendheid van de drempel. Daarom is in een later stadium van de bouw van de proefopstelling toch op basalt overgegaan. De aldus verkregen sorteringen zijn vermeld in figuur 3. Zoals uit deze figuur blijkt, is de "slechte" 1 tot 3 ton iets aan de lichte kant. De andere sorteringen waren vrijwel volledig in overeenstemming met de specificaties. Door de schaarste aan modelstenen moest bij de proefopstelling zeer zorgvuldig worden omgesprongen met dit materiaal, waarbij gebruik werd gemaakt van opvulmateriaal. Dit werd steeds zo gedaan dat hiervan geen merkbare invloed op het schade patroon zal zijn ondervonden. Met name moet hierbij genoemd worden het onderzoek naar de overgangskonstructie, waarbij de tussenliggende zone tussen de rand van de overgangskonstructie en de drempel met porfierstenen werd opgevuld van een niet juiste steenzwaarte met een laagdikte van circa anderhalf maal de diameter, direkt op de betonbodem (bij benadering $\Delta D = 1,73$ m). De stabiliteit van de overgangskonstructie zelf, is hierdoor naar verwachting echter niet beïnvloed.

2.2 Proevenprogramma

Het onderhavige, aanvullende onderzoek naar de stabiliteit van de drempel en de overgangskonstructie, omvatte een breed scala aan onderzoeksaspecten.

- Tolerantie van de steen zwaarte voor de drempel met het oog op de te lichte breuksteen 1 tot 3 ton ("slechte" 1-3ton) in de ondiepe poortjes in de Hammen.
- Tolerantie van het profiel van de AOS, vooral gericht op de ondiepe poortjes in de Roompot. Hierbij ging het met name om de consequenties van een aanstortingsprofiel dat beduidend binnen de handontwerp begrenzingen zou blijven.
- Diverse stabiliteitaspekten
 - Stabiliteit van de drempel bij halve AOS
 - Stabiliteit halve en minimale AOS tegen bezwijken bij dichte kering
 - Stabiliteit overgangskonstructie met en zonder een onderlaag van steen 10 tot 60 kg.

- Toetsing drukverloop in een tweetal situaties: ter bepaling van de open/dichtfactor en ter bepaling van de golfdrukafname boven de ANZ bij golven van zee en ebverval.

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

Het uitgevoerde proevenprogramma komt in grote lijnen overeen met het programma volgens het onderzoeksvoorstel in de offerte van 9 augustus 1985. In afwijking daarop zijn een aantal aanvullende proeven verricht; hierbij kan met name genoemd worden de tolerantieproeven voor het profiel van de AOS. Veranderingen in het proevenprogramma werden uitgevoerd in nauw overleg met de vertegenwoordiger namens Rijkswaterstaat ir. J. Wouters.

2.3 Metingen

Een drietal typen metingen kunnen worden onderscheiden: metingen ten behoeve van het instellen van het model, meting van de schade aan drempel en overgangskonstruktie en meting van de waterdrukken rondom de dorpel.

De verval instelling in het model vond plaats door het verval zonder golven met behulp van de boven en benedenstroomse kleppen af te regelen en de waterstandsniveau's via de peilputten af te lezen. Vervolgens werden de gewenste, regelmatige golven opgewekt, waarna het verval nog enigermate werd bijgesteld. De golfperiode was steeds 10 sec. prototype, voor alle proeven, behalve bij de drukmetingen voor golven van zee bij ebverval, waarbij de golfperiode werd gevarieerd van 5 tot 10 sec. Het golfbeeld vertoonde een staande-golfpatroon, met buiken en knopen. Dankzij de in de goot aanwezige golffilters bleef het golfbeeld wel vrij stabiel. Meting van de inkomende golfhoogte vond plaats door middeling van de golfhoogten over één golflengte. Gestreefd werd zoveel mogelijk naar een inkomende golfhoogte van 2,5 m bij een verval van 3,50 m, tot een golfhoogte van 4 m bij een verval van 5,60 m, met een lineair verloop van de golfhoogte voor tussengelegen vervallen. Bedacht moet worden dat deze gewenste golfhoogten slechts als indicatie moeten worden beschouwd, gezien de toch nog vrij grote variaties van golfhoogte in lengterichting en in breedterichting van de goot. Metingen van de golfhoogte vond plaats met een golfhoogtemeter met een daaraan gekoppelde schrijver.

Meting van de schade na afloop van de proef vond plaats door observatie na het legen van het model. Een tweetal schade-kenmerken werd hiertoe vastgesteld: de

uit de vakken verplaatsen stenen en de schade-koncentratie, overeenkomstig de definities uit het dimensionerings-onderzoek voor de drempel. Enige kenmerkende waarden voor de schade-koncentratie zijn:

0,2 verspreide schade, hier en daar een steen verplaatst

0,5 plaatselijk een laag verdwenen

1,0 plaatselijk, over een gebied ter grootte van minimaal 5 stenen, 2 lagen verdwenen.

Beide schade-aanduidingen geven een indicatie van respektievelijk de omvang en de intensiteit van de steenverplaatsingen. In sommige gevallen, en wel die waarbij een karakteristieke schade ontstond, zijn ook foto-opnamen gemaakt. Opgemerkt moet worden dat door het tekort aan modelstenen en de korte voorbereidingstijd de vak indeling in gekleurde stroken noodgedwongen vrij grof was. Dientengevolge geeft het aantal uit de vakken verplaatste stenen een vrij summiere aanduiding van de omvang van de schade en moet in het voorliggende geval meer waarde worden toegekend aan de vaststelling van de schade-koncentratie.

De drukmetingen vonden plaats met behulp van een drietal drukdozen van het merk DRUCK limited, type PDCR 42, bevestigd in en aan de beïstrumenteerde dorpel. De signalen van de drukdozen werden simultaan gemeten en geregistreerd op schrijverpapier. Voor de situatie met golven van zee, een dichte kering en ebverval, was het tevens nodig een koppeling te maken met de lokale golfhoogte. Aangezien deze sterk varieerde van plaats tot plaats, vooral met het oog op dwarsslingeren in de goot, werd hiertoe een golfhoogtemeter vlak boven de drukopnemer geplaatst, zodat er een goede koppeling van de lokale waterspiegel uitwijkingen en gemeten drukvariaties boven de ANZ kon worden gemaakt. Opgemerkt moet worden dat de nauwkeurigheid van de drukopnemers in de orde ligt van 10 cm. prototype. Nulpuntsafwijkingen als gevolg van temperatuur-variaties werden zo goed mogelijk verdiscontinueerd in de meetsignalen door, voorafgaande en na afloop van de proeven, deze afwijking vast te stellen en lineair te verdelen over de tussenliggende proeven.

3. Resultaten

3.1 Tolerantie steenzwaarte drempel (T1...T20)

Vooreerst werd de huidige situatie voor de ondiepe poortjes in de Hammen, te weten met de te lichte 1 tot 3 ton ($\Delta D = 1,49$ m), beproefd voor de situatie van weigerende schuif. De resultaten van deze proef zijn weergegeven in figuur 4 en foto 2a. Hieruit blijkt dat de schade enigzins gekoncentreerd langs de flanken van de pijlers optrad op het benedenstrooms talud van het eigenlijke drempelgedeelte en dat de schade-koncentratie vrij beperkt bleef. Een maximum concentratie werd zelfs bereikt bij een verval van slechts 4,9 m, namelijk 0,8 en nam vervolgens weer af bij toenemend verval. Dit was in nogal grote afwijking met de verwachting volgens het dimensionerings-onderzoek. Volgens figuur 25 van het verslag van het laatstgenoemde onderzoek blijkt namelijk dat voor de slechte 1 tot 3 ton een bezwijkverval te verwachten zou zijn van 4,5 á 5 m. Bovendien was de verwachte aantastings plaats meer in het midden van de pijlers en meer ter plaatse van het benedenstroomse deel van de AOS gelegen.

Deze afwijkingen met de prognoses aan de hand van [1] zouden wellicht verklaard kunnen worden uit de veranderingen in het ontwerp die ten opzicht van de vigerende toestand in [1] zijn aangebracht. Deze zijn:

- Een blokkenbestorting van 2 m³ blokken ter plaatse van de ANZ in plaats van breuksteen 1 tot 3 ton
- Een talud van de ANZ van 1:2,5 in plaats van 1:3
- Een spleethoogte van circa 1,8 m in plaats van 0,8 m,
- Een vakwerkschuif in plaats van een plaatliggersschuif

Eventuele verschillen als gevolg van de niet gereproduceerde inbaggering in de onderhavige proefopstelling zijn naar verwachting niet van belang voor het verschil in schade. Besloten werd, de genoemde veranderingen opnieuw aan te brengen teneinde de situatie van [1] alsnog te kunnen reproduceren. De resultaten, weergegeven in figuur 5, laten zien dat de lokatie van de schade inderdaad kenmerkend afwijkt van datgene wat voor de huidige situatie wordt gevonden, en meer overeenkomstig de prognoses uit het dimensionerings-onderzoek is. Ook de schade-koncentratie is meer in overeenstemming met de verwachtingen en neemt bovendien vrij continu toe met toenemend verval. Gezien de redelijke reproductie, werd gekonkludeerd dat de huidige situatie kennelijk niet onaanzienlijk gunstiger is dan de vroegere situatie (zolang geen aangroei heeft plaatsgehad e.d).

Niettemin werd het wenselijk geacht een verbeterende maatregel te onderzoeken in de vorm van een afdeklaag met een dikte van 1 steendiameter, óver de slechte 1 tot 3 ton heen. De resultaten van deze proef zijn vermeld in figuur 6.

Ofschoon het schadebeeld in grote lijnen overeenkomt met die bij de huidige situatie, blijkt duidelijk dat de schade-intensiteit is toegenomen. Dit kan worden verklaard uit het meer geexposeerd zijn van de afdeklaag aan stroom- en golfaanval. Anderszijds moet worden opgemerkt dat een schadekoncentratie van 1,0, zoals optreedt bij een verval van 4,9 m en hoger, nu niet betekent dat de volledige laag 1 tot 3 ton verdwenen is; ook hier heeft de definitie betrekking een bestorting met een laagdikte van 2 stenen, zodat nog altijd één laag van de slechte 1 tot 3 ton in takt is gebleven.

Ten behoeve van de afweging of een enkele extra afdeklaag 1 tot 3 ton al dan niet zinvol is, kan worden verwezen naar figuur 15, waarin één en ander is verduidelijkt, en foto 2b. Uitgezet is de schade-koncentratie als functie van het waterstandsverval voor de huidige situatie zonder afdeklaag en de verbetering met een afdeklaag 1 tot 3 ton. Voorts is aangegeven wat de voorspelling uit [1] zou zijn voor "goede" 1 tot 3 ton. De resultaten met afdeklaag zijn in figuur 15 gereduceerd, althans voor het verval van 4,9 m, waarbij feitelijk, vergelijkbaar met de huidige situatie, geen schadekoncentratie van 1,0 maar 0,5 is opgetreden vanwege de extra laag stenen. Te zien is voorts dat dit resultaat in lijn ligt met de voorspelling uit [1]. Wordt dit nu vergeleken met de huidige situatie dan is er toch sprake van enige verbetering, zodat een afdeklaag met goede 1 tot 3 ton aanbeveling verdient. Verder kan worden opgemerkt dat een dimensionering aan de hand van [1] wat aan de veilige kant zal zijn (zolang de drempel en aanstortingen niet zijn aangegroeid, zie par. 3.2).

3.2 Tolerantie profiel AOS

Ten einde de uitvoerings-toleranties vast te stellen voor een AOS, welke kleinere wordt uitgevoerd dan het ontwerp-profiel aangeeft, zijn proeven uitgevoerd voor de als maatgevend veronderstelde situatie in de ondiepe poortjes in de Roompot. Een drietal aanstortings-profielen werd beproefd; ten eerste: met een taludhelling 1:3,5, overeenkomende met het ontwerp-profiel (geen berm); ten tweede met een een taludhelling 1:3 en een berm van 3 m; ten derde; met een

taludhelling van 1:2,5 met een berm van 6 m. De uitkomsten van deze stabiliteitsproeven bij weigerende schuif zijn weergegeven in, respektievelijk, figuren 10, 8 en 7.

Uit figuur 10 blijkt dat de situatie met een aanstorting volgens het ontwerp-profiel een vrij gekoncentreerde schade geeft over de gehele reikwijdte van onderzochte vervallen, waarbij de intensiteit alleszins acceptabel blijft. Een taludhelling 1:3, figuur 8, geeft aan dat de schade weliswaar geconcentreerd blijft, maar dat de intensiteit iets toeneemt. Een groot verschil treedt echter op met figuur 7, waarin de resultaten voor een aanstorting met een taludhelling 1:2,5 zijn weergegeven; in dit geval treedt een schadekoncentratie van 1,0 reeds op bij een verval van 4,2 m. Op grond van dit grote verschil tussen een aanstorting met een berm van 3 m (taludhelling 1:3) en een berm van 6 m (taludhelling 1:2,5), kan worden gekonkludeerd dat een berm-breedte van hooguit enkele meters toelaatbaar zal zijn.

Terzijde van deze konstatering moet worden opgemerkt dat na afloop van deze proevenserie een proef werd uitgevoerd, overeenkomstig die met een taludhelling van 1:3 en een berm van 3 m, echter nu met een dichte drempel. De drempel was hierbij dichtgemaakt door middel van een houten schotje, door de ANZ en de toplagen van de drempel heen. De achtergrond voor het uitvoeren van deze extra proef was gelegen in het eerder gekonstateerde verschil tussen de vroegere situatie met een vrij dichte drempel en de huidige situatie met meer open drempel. Het vermoeden bestond dat met name het verschil in doorlatendheid hier debet aan was. De resultaten van deze proef, figuur 9, geven aan dat er inderdaad van een grote invloed sprake is; dit geldt niet alleen voor de schade lokatie (die nu bij de hogere vervallen meer tussen de pijlers in is gelegen), maar geldt met name ook voor de schade-concentratie op het talud van de drempel, welke bij een verval van 5,6 m reeds een waarde van 1,0 overschreed. Bij 6,3 m verval was zelfs sprake van een grote aantasting van meerdere onderlagen onder de 1 tot 3 tons afdekking. Een verklaring van dit verschil, men vergelijkte figuren 9 en 8, ligt mogelijk in het meer wegdrukken van de straal van de drempel ingeval van een meer open drempel, terwijl bij de meer dichte drempel de straal direkter op de drempel gericht zal zijn. Alhoewel een volledig dichte drempel zeker niet als representatief voor de feitelijke situatie vlak na gereedkomen van de kering zal mogen gelden, dient toch met het oog op mosselaangroei in de drempel en de aanstortingen gerekend te

worden op een verslechtering van de drempel stabiliteit in de loop der tijd. Een compliserende faktor in dit geheel is de zeer grote gevoeligheid van de richting van de waterstraal voor kleine geometrie-wijzigingen, zoals ook in de loop van het dimensionerings-onderzoek veelvuldig werd gekonstateerd.

Een andere proef, welke hier ook kan worden gemeld, is een proef waarbij de stabiliteit van de drempel terloops werd meegenomen. Dit was bij de proef voor de overgangskonstruktie met een dorpelbalk-niveau van N.A.P. -10,5 m. De geometrie van de AOS was hierbij vooreenkomstig die uit figuur 7, taludhelling 1:2,5 en een berm van 6 m. Worden de resultaten van deze proef uit figuur 11 vergeleken met figuur 7, dan blijkt, overeenkomstig de verwachting, de schade wat achter te blijven bij de ondiepe situatie. Gekonkludeerd mag derhalve worden, dat de keuze van de ondiepe lokatie voor het onderhavige tolerantie-onderzoek (als zijnde maatgevend voor de drempel) ook gerechtvaardigd is voor de thans vigerenden geometrie van de drempel.

3.3 Diverse stabiliteitsproeven

3.3.1 Stabiliteit drempel bij halve AOS (T22...T27)

In verband met de mogelijke consequenties van een sterk gereduceerde omvang van de AOS werd een proef uitgevoerd met een aanstorting met een talud 1:1,2, kortweg halve aanstorting genoemd. Deze proef werd uitgevoerd voor de situatie van een dorpel op N.A.P. -10,5 m, voor de toestand van weigerende schuif. In figuur 12 en foto 3a zijn de resultaten van deze proef weergegeven. Te zien is dat vooreerst, bij vervallen van 4,9 m en 5,6 m, alleen de aanstorting enigermate wordt vervormd. Bij 6,3 m verval treedt echter ook enige aantasting van de drempelkruin op, welke aantasting verder toeneemt bij het verval van 7 m; hierbij treedt zelfs een schade concentratie van 1,0 op. Anderszijds is de schade wel acceptabel, zeker wanneer men in aanmerking neemt dat het ontwerp-verval 6,3 m is. Wel moet worden opgemerkt dat deze proef werd uitgevoerd voorafgaande aan het onderzoek naar de uitvoeringstoleranties voor de ondiepe lokatie; worden de resultaten van dit laatste onderzoek in beschouwing genomen dan lijkt de verwachting gerechtvaardigd dat een halve aanstorting in de ondiepe lokaties zeker niet acceptabel zal zijn.

3.3.2 Stabiliteit halve en minimale AOS tegen opdrukken (T37,T38)

Deze situatie heeft betrekking op de toestand van een gesloten kering en vloedverval; golfwerking is hierbij niet gesimuleerd. Bij de eerste proef, T37, werd de weerstand tegen opdrukken nagegaan voor de halve aanstorting; de situatie kwam hierbij overeen met die bij proeven T 22...T27. De bovenwaterstand werd hierbij opgevoerd, bij een gelijkblijvende fictieve benedenwaterstand van -9 m. Opvoeren tot een bovenwaterstand van N.A.P. +9 m gaf geen beweging van de aanstorting te zien. Ook na ledigen van het model kon geen enkele vervorming van de aanstorting worden geconstateerd. Gesteld kan dus worden dat de halve aanstorting bestand zal zijn tegen een statisch verval van tenminste 18 m. Verder opvoeren van het verval was om modeltechnische redenen niet mogelijk bij deze proef.

De volgende proef, T 38, had betrekking op een aanstorting met een taludhelling van 1:2,5, overeenkomstig de bij proeven T39...T43 onderzochte configuratie. Vooreerst werd de waterstand aan de Oosterschelde-zijde eveneens op N.A.P. -9 m gehouden en werd de waterstand aan zeezijde opgevoerd tot 14,7 m boven N.A.P. (er waren inmiddels aanpassingen aan het model aangebracht die een verdere verhoging van het verval mogelijk maakten). Tot het corresponderende verval van 23,7 m was geen beweging waar te nemen. Vervolgens werd de benedenwaterstand iets verder verlaagd tot N.A.P. -9,75 m, bij een gelijkblijvende bovenwaterstand; plotsklaps bezweek toen de aanstorting. Het bezwijkverval was derhalve 24,4 m. Na het ledigen van het model bleek de volledige drempel te zijn weggespoeld, zie foto 3b.

Een dergelijk explosief bezwijkgedrag is kenmerkend voor het bezwijken van de aanstorting en daarmee het inleidende bezwijken van de drempel. Tot dusverre, bij onderzoeken in een smalle stroomgoot (Tussenpadgoot), werd niet zo'n uitgesproken explosief bezwijkgedrag waargenomen; dit kan worden verklaard uit het teruglopen van het waterstandsverval tijdens het bezwijkgebeuren in een dergelijke kleine goot. Bij de onderhavige proefopstelling blijft het verval, evenals in werkelijkheid het geval zal zijn, echter vrijwel gehandhaafd. Niettemin is een bezwijkverval van ruim 24 m wel zeer hoog, zelfs wanneer extreme golfwerking in beschouwing wordt genomen.

3.3.3 Stabiliteit overgangskonstruktie, met een zonder onderlaag (T67...T74)

Bij het dimensionerings-onderzoek [1], was bij de proeven ter bepaling van de stabiliteit van de overgangskonstruktie doorgaans geen onderlaag aanwezig en waren de betreffende toplaag stenen direkt op de gladde betonbodem aangebracht. Aangezien de overgangskonstruktie in z'n totaliteit qua stabiliteit echter vrij kritisch is, was het doel van de onderhavige proeven na te gaan of het feitelijk aanwezig zijn van een onderlaag van steen 10 tot 60 kg enige verbetering van de stabiliteit te zien zou geven. Uitgevoerd werden proeven T67 ... T71 zonder een onderlaag en proeven T72 ... T74 met een onderlaag 10 tot 60 kg. De situatie hierbij was die met een dorpelbalk-niveau op N.A.P. -10,5 m en een aanstorting met een taludhelling van 1:2,5. Bij de proeven zonder onderlaag bleek tot een verval van 4,90 m hoegenaamd geen steenverplaatsing op te treden; slechts enkele stenen aan de rand van de overgangskonstruktie bleken te worden verplaatst. Bij een verval van 5,6 m werd wel een enigermate significante schade gekonstateerd, namelijk 31 stenen, welke een terugschrijdende erosie te zien gaven. Bij een verval van 6,30 m trad een vergelijkbare schade op. Voor de situatie met een onderlaag bleek bij de vervallen van 5,6 en 6,3 m een vrijwel identieke schade op te treden; slechts de buiten de overgangskonstruktie uitstekende laag 10 tot het 60 kg werd reeds bij een verval van 4,9 m over het gebied waar de "weigerende schuif straal" zijn werking uitoefende, volledig weggevaagd. Gekonkludeerd mag worden dat de aanwezigheid van een onderlaag 10 tot 60 kg onder de toplaag van de overgangskonstruktie 3 tot 6 ton, in het geheel geen invloed op de stabiliteit van laatstgenoemde heeft en dat er te aanzien van de voorspellingen uit het dimensionerings-onderzoek dus niet op een extra reserve mag worden gerekend.

3.4 Toetsing drukverloop

3.4.1 Vloedverval bij aanwezigheid van de ANZ en een halve AOS (T28...T36)

Met de drukmetingen in punten 1,2 en 3, zie figuur 13, zijn de drukvervallen over de aanstortingen bepaald, voor zowel de situatie van alleen stroming als van stroming plus golven. Dit is gedaan voor een drietal situaties: de kering open (T34 tot T36), de kering dicht (T31 tot T33) en de weigerende schuif situatie (T28 tot T30). Achtereenvolgens zullen voor deze drie situaties de drukvervallen wordt behandeld, waarna wordt ingegaan op de open/dicht faktor.

Voor de resultaten bij stroom alleen wordt verwezen naar figuur 13; de resultaten van de proeven voor stroom en golven zijn in figuur 14 geïllustreerd. In tabelvorm zijn de resultaten in tabel 2 weergegeven.

De open kering geeft een gecompliceerd beeld te zien van de drukverdeling rond de dorpel. Dit wordt met name veroorzaakt door de toenemende waterspiegelinzinking bij toenemend verval; bovendien wordt deze inzinking verder versterkt door de aanwezigheid van golven, welke kennelijk invloed hebben op de gemiddelde helling van de uitkomende straal. Dit wordt geïllustreerd aan de toename van de waterspiegelinzinking met circa 1 m bij het grootste verval van 3,5 m, tenopzichte van de situatie met alleen stroming, zie tabel 2 bij T36. De belangrijkste resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- De verdeling van het verval voor stroom alleen over de beide aanstortingen vertoont een vrij grillig verloop. Door de waterspiegelinzinking achter de dorpel is een toename van het effectieve verval te konstateren.
- Voor de situatie van stroom en golven wordt de golfdruk boven de ANZ aanzienlijk gereduceerd als gevolg van de stroomwerking, met circa $1/3 H$. De golfdruk in de spleet wordt vervolgens weer met de helft gereduceerd; boven de AOS is echter weer een toename merkbaar.
- Door de golfwerking neemt de gemiddelde waterspiegelinzinking verder toe, zoals reeds opgemerkt. Ten opzichte van de weigerende schuif situatie (zie hierna) blijkt het momentale drukverval over de AOS dientengevolge vrij sterk toe te nemen; uit figuur 14 blijkt dat het maximale drukverval over de AOS zelfs groter is bij de gemiddelde drukniveau's in punten 2 en 3 dan bij de corresponderende maximum waarden. Wel is deze toename van het drukverval, ten opzicht van de weigerende schuif situatie, sterk progressief met het verval.

Voor de dichte kering is het beeld veel eenvoudiger, als gevolg van de zeer geringe drukvoortplanting tot boven de AOS. De resultaten voor de toestand van weigerende schuif zijn als volgt samen te vatten:

- Het statisch verval wordt in gelijk mate opgenomen door beide aanstortingen
- Boven de ANZ is vrijwel de volledige golfdruk aanwezig.
- Het golfdrukverval wordt voor iets meer dan de helft door de ANZ opgenomen: de golfdrukvoortplanting boven de AOS is, zoals eerder vermeld, klein, tot orde een halve meter. Door uit te gaan van de helft van de golffluctuatie voor de stabiliteit van de AOS wordt aldus een veilige benadering verkregen.

De weigerende schuif situatie blijkt, zoals te verwachten is, veel overeenkomst te vertonen met de open kering situatie. Niettemin zijn er wel enkele verschillen te konstateren, die vooral worden veroorzaakt door het afwijkende verloop van de waterspiegelinzinking benedenstrooms van de dorpel. Dit wordt veroorzaakt door de drie-dimensionale toestroming naar de weigerende schuif sectie waardoor de uitkomende straal kennelijk meer gestabiliseerd wordt. Dit blijkt duidelijk uit de vergelijking van het verloop van de waterspiegel voor beide situaties bij een verval van 3,5 m; dit verloop van de waterspiegel is weergegeven in figuur 2. Voor dit in beide situaties overeenkomstige verval van 3,5 m blijkt bij de open kering een circa 4 m grotere waterspiegelinzinking op te treden dan bij de weigerende schuif situatie. Ten aanzien van de drukvervallen voor de weigerende schuif situatie kan het volgende worden opgemerkt:

- Het statische verval wordt ook nu, evenals bij de dichte kering het geval was, in ongeveer gelijke mate door de beide aanstortingen opgenomen.
- De reductie van de golfdruk boven de ANZ is iets kleiner dan bij de open kering; in de spleet is nog ruim de helft van de golffluctuatie merkbaar. Boven de AOS is dat iets minder dan de helft. Aangezien de drukken over beide aanstortingen vrijwel in fase zijn, is er slechts sprake van een kleine toename van het momentale drukverval (enkele decimeters prototype) ten opzicht van het statische verval, wat praktisch gezien als verwaarloosbaar mag worden beschouwd.

De open/dicht factor is gedefinieerd als het kritieke verval voor de toplaat van de drempel of een aanstorting bij de situatie van een dichte kering ten opzichte van die bij een open kering. De relatieve afname van het kritieke verval bij een open kering wordt veroorzaakt door de eerder vermelde waterspiegelinzinking benedenstrooms van de dorpel. Het verschil in stabiliteit kan aanzienlijk zijn; zo werd bij eerder onderzoek, [2], bepaald dat de open/dicht

faktor voor de toplaag van de drempel onder de spleet circa 1,6 zou bedragen. Voor de situatie met de ANZ (afwezigheid van de AOS en ebverval) bedroeg deze faktor voor de ANZ nog circa 1,3 à 1,4 ([3] en [4]). In verband met de grote spreiding lijkt een waarde van circa 1,5 vooralsnog aanbeveling te verdienen voor bepaling van de stabiliteit van de ANZ bij afwezigheid van de AOS. Voor de situatie met beide aanstortingen was de open/dicht faktor tot dusverre nog niet bepaald. Feitelijk zou dit dienen te gebeuren via stabiliteits-onderzoek, doch dit werd in de onderhavige onderzoeksopzet als te tijdrovend beschouwd. Een redelijke benadering wordt verkregen door direkt van het gemeten waterstandsverloop uit te gaan bij de bepaling van de open/dicht faktor. Eenvoudigheidshalve is de open/dicht faktor hierbij gedefinieerd als het drukverschil tussen de punten 1 en 3 ter weerszijden van de dorpel, gedeeld door het statische verval, bij afwezigheid van golfwerking. De betreffende waarden van de faktor zijn in tabel 2 bijgeschreven voor zowel de open kering als de weigerende schuif situatie.

Voor de open kering wordt een sterk fluktuerende open/dicht faktor gekonstateerd, vermoedelijk samenhangende met het sterk wisselende karakter van het stroombeeld bij toenemend verval. In totaliteit bezien, zal als karakteristieke waarde vooralsnog een faktor van circa 1,3 kunnen worden aangehouden, binnen de onderzochte grenzen van het verval.

Opvallend is de lage waarde van de faktor voor de weigerende schuif situatie, namelijk kleiner dan 1,0 voor alle drie vervallen. Dit kan worden verklaard door de, eerder genoemde, veel geringere waterspiegelinezinking. Bovendien trad reeds enige waterstandsverlaging, en daarmee drukverlaging, bovenstrooms van de dorpel op, ter grootte van ruim een halve meter tot 1 meter. De voor beide situaties gunstige invloed van de ANZ is duidelijk wanneer de hier verkregen factoren worden vergeleken met die uit de eerder genoemde onderzoeken. Een verklaring hiervan is gelegen in de gunstigere stroomlijning van de aanstroming, waardoor waterspiegelinezinking achter de dorpel relatief minder is en enige waterstandsverlaging bovenstrooms van de dorpel juist wel optreedt. Als indicatie van de open/dicht faktor voor de weigerende schuif situatie zal voorlopig een "veilige" waarde van 1,0 kunnen worden aangehouden, met andere woorden: de open/dicht faktor kan achterwege worden gelaten.

3.4.2 Golfdruk boven de ANZ bij dichte kering en de AOS afwezig:
T61 ... T66

De toestand van ebverval en golven van zee bij een gesloten kering is maatgevend voor de ANZ. Tot dusverre werd bij berekeningen naar de stabiliteit van de ANZ [5] de invloed van de golfwerking in rekening gebracht door de golfdruk boven de aanstorting te bepalen volgens de lineaire golftheorie. De aanwezigheid van de drempel en aanstorting, alsmede het uitstromend water door de aanstorting heen als gevolg van het ebverval, maken de toepassing van deze theorie echter onzeker. De onderhavige drukmetingen voor deze situatie dienen derhalve als toetsing van de genoemde berekeningsmethode.

In tabel 3 zijn zowel de resultaten van de drukmetingen als de daaruit afgeleide grootten van de drukresponsiefactor weergegeven. Opgemerkt moet worden dat de drukresponsiefactor is gedefinieerd volgens de Shore Protection Manual [6]. De hierin vermelde theoretische waarde van deze faktor is eveneens in tabel 3 vermeld. Vooreerst is getracht de responsiefactor te bepalen uit de minimum druk in punt 1 en de corresponderende laagste momentane waterstand. De resulterende faktor blijkt echter nogal sterk te wisselen rond een waarde van 1. Nadere beschouwing van de meetregistraties geeft aan dat het gebruiken van de gemeten absolute waarden niet erg nauwkeurig zal zijn in verband met nulpuntsverloop tijdens de drukmetingen. Besloten werd daarom om de gehele drukfluctuatie in punt 1 te relateren aan de lokale optredende golfhoogte. De aldus bepaalde waarden van de responsiefactor geven een consistent beeld te zien en blijken redelijk overeen te komen met de theoretische waarden. De afwijking bij het golfbeeld met een periode van 5 sec is vermoedelijk veroorzaakt door de grote meet-onnauwkeurigheden bij die proef, door de noodzakelijkerwijs erg lage golfhoogten. Ofschoon iets aan de onveilige kant, mag gezien de toch alleszins redelijke overeenstemming worden gesteld dat het hanteren van de drukafname volgens de lineaire theorie acceptabel is.

Tijdens de drukmetingen werd geen schade aan de ANZ gekonstateerd, alhoewel bij proef T 66 vrij "zware" randvoorwaarden waren toegepast ($\Delta h = 2$ m, $H_0 = 4,2$ m, bij $T = 10$ s). Dit gegeven kan worden gebruikt om de voorspelling van het bezwijkverval te toetsen. Dit bezwijkverval Δh_b kan volgens M 1637 [7] worden geschat met de volgende relatie:

$$\Delta h_b = \frac{\Delta (1-n) h_{\text{eff}}}{fP}$$

waarin

- Δ = relatieve dichtheid van de betonblokken
- h = poriegehalte $\approx 0,4$
- h_{eff} = effectieve hoogte van de aanstorting (ten opzichte van onderkant dorpel)
- f = empirisch te bepalen coëfficiënt voor de invloed van de stroom richting en de haakweerstand van de stenen
- P = aandeel van het verval dat over de betreffende aanstorting staat

In het geval van de onderhavige proefopstelling geldt:

s (= spleethoogte) $\approx 1,8$ m, derhalve $h_{\text{eff}} = 4,5 - 1,8 = 2,7$ m

$$\Delta \approx \frac{2250 - 1000}{1000} = 1,25$$

$f = 0,55$ blijktens de resultaten uit M 1637 [7]

$P = 0,85$ (bron: [5]; de onderhavige drukmetingen indiceren $P = 0,82$), zodat

$$\Delta h_b = 4,3 \text{ m}$$

Met gebruikmaking van de hiervoor geverifieerde theoretische responsiefactor kan nu worden nagegaan of het, op deze wijze berekende, optredende verval (ebverval, inclusief golfwerking door golven van zee) hier al dan niet boven ligt. Voor T66 geldt dan:

$$\Delta h_{\text{optredend}} = \Delta h + (1 + \alpha) \frac{1}{2} H_o r_{\text{th}}$$

α = reflectiecoëfficiënt: in [5] in hiervoor 0,75 aangehouden

r_{th} = theoretische drukresponsiefactor = 0,75 voor $T = 10$ s

Dus:

$$\Delta h_{\text{optredend}} (T66) = 2,0 + (1 + 0,75) \frac{1}{2} \cdot 4,2 \cdot 0,75 = 4,8 \text{ m}$$

Dit ligt boven het berekende bezwijkverval, terwijl bij T66 nog zelfs geen initiële schade kan worden gekonstateerd.

Verder moet hier gerefereerd worden naar proef T19, uit het recent uitgevoerde onderzoek in de Tussenpadgoot [4], met een geïmproviseerde golfopwekking: hierbij werd bij een verval van circa 4 m en golven $H_0 = 3,5$ m bij $T = 7,5$ s bijna bezwijken gekonstateerd. Inklusief golfwerking is $\Delta h_{\text{optredend}}$ daarbij gelijk geweest aan:

$$\Delta h_{\text{optredend}} = 4,0 + (1 + 0,75) \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot 0,59 = 5,8 \text{ m}$$

,dus ook ruim boven het berekende bezwijkverval.

Gekonkludeerd kan dus worden dat het hanteren van de aangegeven berekeningsmethode voor het in rekening brengen van de golfinvloed aan de hand van de gemeten drukfluctuaties is getoetst, maar dat de berekening van het bezwijkverval met behulp van de stabiliteitsrelatie uit M 1637 in dit geval aan de conservatieve (= veilige) kant lijkt te zijn.

REFERENTIES

- 1 KONTER, J.L.M.,
Stormvloedkering Oosterschelde, Dimensionering van de toplaag van de drempel en de overgangskonstruktie,
Waterloopkundig Laboratorium, verslag modelonderzoek M 1451/M 1702/M 1750, 1981
- 2 VAN DER MEULEN, T.,
Stormvloedkering Oosterschelde, Stabiliteit drempelkruin onder de dorpel zonder aanstortingen, Invloedfaktor geopende en gesloten schuif, Waterloopkundig Laboratorium, verslag modelonderzoek M 2097 deel II, 1985
- 3 HARTSUIKER, G.,
Stormvloedkering Oosterschelde, Invloed aanstortingen dorpelbalk op stabiliteit toplaag drempel, Waterloopkundig Laboratorium, verslag modelonderzoek M 2115, 1985
- 4 BOOGAARD, A.,
Stromvloedkering Oosterschelde, Stabiliteit van de drempel zonder aanstorting bij geopende schuiven, Waterloopkundig Laboratorium, verslag modelonderzoek M 2151, n.n.v.
- 5 VERBEEK, G., WOUTERS, J.,
Stabiliteit Noordzee aanstorting bij omgekeerd verval bij ontbreken van de Oosterschelde aanstorting, Rijkswaterstaat, Notitie 31 DREM-M-85123, 1985
- 6 U.S. Army Coastal Engineering Research Center,
Shore Protection Manual, 1971
- 7 TAAT, J.J.,
Stormvloedkering Oosterschelde, Stabiliteit aanstortingen bij gesloten schuiven, Waterloopkundig Laboratorium, verslag modelonderzoek M 1637, 1980

omschrijving	toestand	dorpel niveau		aanstormingen			verval Δh (m)					opmerking			
		-10,5m	-4,5m	zee	OS		ja	3,5	4,2	4,9	5,6		6,3	7,0	
					nee	half									opm.
tolerantie steenzwaarte drempel (ondiepe poortjes S&H)	(2)		x		x			x	T1	T2	T3	T4	T5	T6	huidige situatie T9: Δh = 5,25 m reproductie situatie M 1451 verbeterde situatie
tolerantie profiel AOS (ondiep poortje Roompot)	(2)		x		x				T39	T40	T41	T42	T43		talud 1:2,5, berm 6m talud 1:3, berm 3m
diverse stabiliteitsproeven															
- stabiliteit drempel bij halve AOS***	(2)	x			x				T22	T23	T24	T25	T26	T27	
- stabiliteit halve en minimale** AOS***	(1)	x			x				verval opgevoerd tot bezwijken					T38: talud 1:2,5	
- stabiliteit overgangskonstructie met onderlaag zonder onderlaag	(2)	x			x				T67	T68	T69	T70	T71		talud 1:2,5 talud 1:2,5
toetsing drukverloop	(0)	x			x				T36						
- open/dicht faktor	(1)	x			x				T32						T34: Δh = 1,4m, T35: Δh = 2,1m T31: Δh = 2,1m
- golven van zee bij ebverval	(2)	x			x				T28						T30: Δh = 2,1m
	(1)		x		x				golfhoogte H (m)					Δh = 2,0 m	
									T=5s	T=7,5s	T=10s				
									1,3	1,9	3,0	4,2			
									T65	T63	T61	T62	T66		

(0) kering open

(1) kering dicht

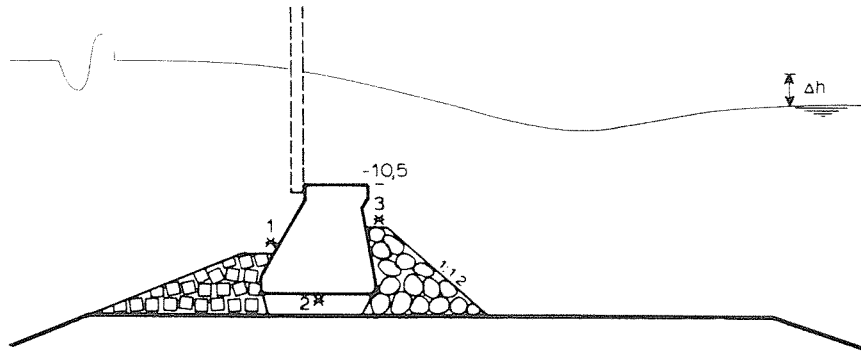
(2) weigerende schuif

* halve aanstorming: talud 1:1,2

** minimale aanstorming: talud 1:2,5

*** AOS = aanstorming Oosterschelde-zijde

Tabel 1 Overzicht van de proeven



proef	kering o d ws	Δh (m)	H _o (m)	druk t.o.v. N.A.P.									open dicht faktor	
				1			2			3				
				max	gem	min	max	gem	min	max	gem	min		
T34	x	1,4	-		0,2			-0,5				-1,5		1,21
T35	x	2,1	-		0,5			-0,2				-1,7		1,05
			3,3	1,9	1,5	-0,8	0,1	-0,7	-1,5	-1,6	-2,4	-3,2		
T36	x	3,5	-		2,0			-0,7				-2,8		1,37*
			4,0	3,5	2,1	0,8	-0,1	-0,7	-1,3	-2,2	-3,9	-4,6		
T31	x	2,1	-		1,4			0,4				-0,8		-
			4,4	3,2	1,0	-1,2	1,1	0,1	-0,9	-0,6	-0,8	-1,0		
T32	x	3,5	-		2,8			0,8				-0,8		-
			4,3	4,2	2,1	0,1	1,6	0,6	-0,3	-0,7	-0,8	-1,0		
T33	x	4,9	-		4,0			1,6				-0,9		-
			4,3	5,5	3,6	1,6	2,2	1,4	0,5	-0,1	-0,7	-1,3		
T30	x	2,1	-		0,8			-0,3				-0,9		0,81
			4,0	2,2	0,7	-0,8	0,9	-0,2	-1,2	-0,5	-1,2	-1,9		
T28	x	3,5	-		2,0			0,7				-0,9		0,83**
			3,9	3,7	2,2	0,7	1,3	0,3	-0,7	-0,5	-1,4	-2,4		
T29	x	4,9	-		3,5			1,1				-1,1		0,96
			3,5	5,0	3,5	2,0	1,9	1,0	-0,7	-0,5	-1,4	-2,3		

* uit waterspiegelmeting T36: ≈ 1,4

o = open

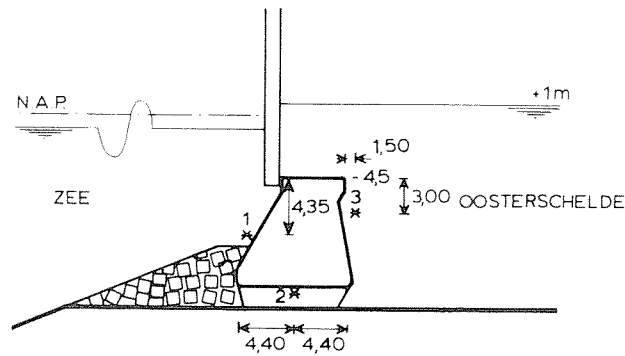
** uit waterspiegelmeting T67: ≈ 0,7

d = dicht

ws = weigerende schuif

$$\text{open/dicht faktor} = \frac{\text{drukverschil tussen 1 en 3}}{\text{statisch verval } (\Delta h)} \text{ (geen golfwerking)}$$

Tabel 2 Drukmetingen vloedverval en golven van zee



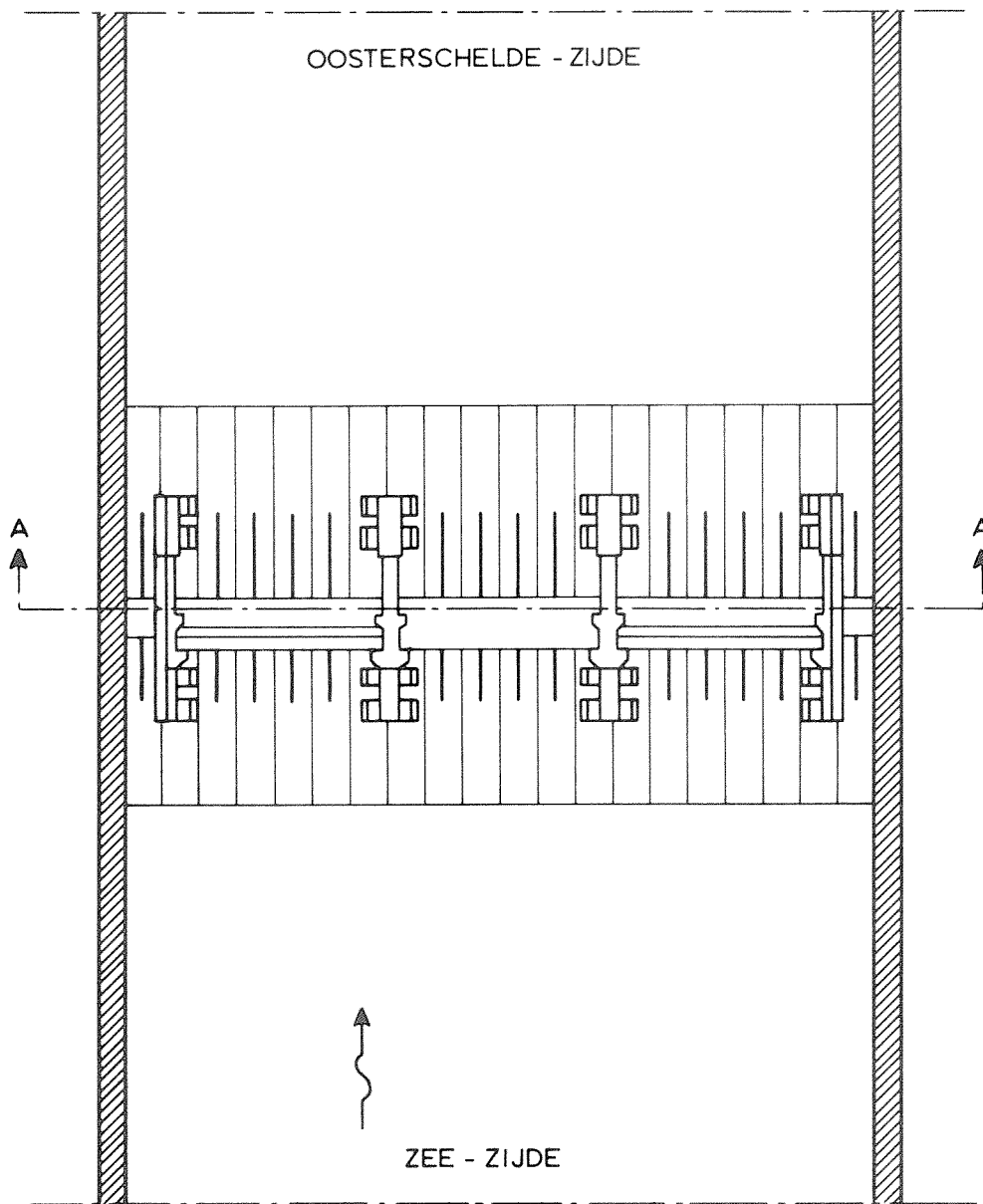
proef	H _o	T	drukmetingen t.o.v. N.A.P.								
			meetpunt 1		meetpunt 2			meetpunt 3			
			max	min	max	min	corresp**	max	min	corresp**	
T65	1,3	5	-1,00	-1,65	+0,75	+0,55	+0,60	+1,05	+1,05	+1,05	
T63	1,9	7,5	-0,35	-2,05	+0,85	+0,40	+0,55	+1,05	+1,00	+1,05	
T61	1,4	10	-0,10	-2,50	+0,95	+0,30	+0,35	+1,30	+0,85	+0,85	
T62	3,0	10	+1,10	-3,60	+0,90	-0,30	-0,20	+1,45	+0,75	+0,75	
T66	4,2	10	+1,75	-4,40	+1,50	+0,05	+0,15	+1,55	+0,65	+0,65	

proef	H _o	H _{kering}	golfdalhoogte = η _{min} (m) t.o.v. N.A.P.	min. druk in 1 t.o.v. N.A.P. = p _{min}	r' = $\frac{p_{min}}{\eta_{min}}$	Δp in punt 1	r'' = $\frac{\Delta p}{H_{kering}}$	r _{th}
T65	1,3	1,2	-1,4	-1,6	1,14	0,6	0,50	0,28
T63	1,9	2,8	-2,1	-2,0	0,95	1,7	0,61	0,59
T61	1,4	2,9	-2,2	-2,5	1,14	2,4	0,83	0,75
T62	3,0	5,4	-3,6	-3,4	0,94	4,7	0,87	0,75
T66	4,2	7,8	-4,0	-4,4	1,10	6,1	0,78	0,75

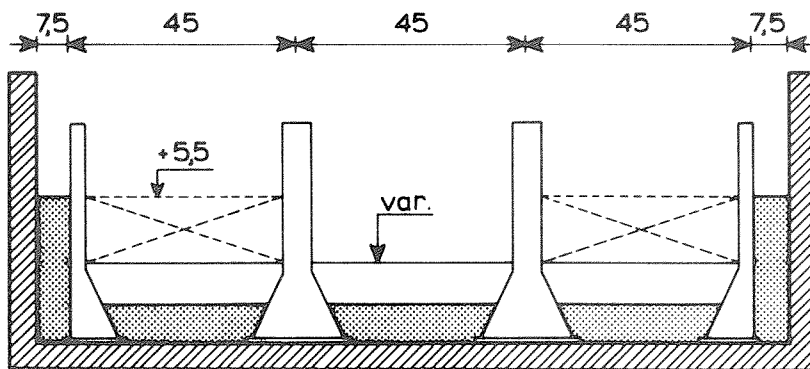
** corresponderend met minimum waarde in 1

* volgens $r_{th} = \frac{\cosh [2\pi(d-z)/L]}{\cosh (2\pi d/L)}$
 $d = 23 \text{ m}$
 $z = 7,85 \text{ m (punt 1 t.o.v. N.A.P. -1 m)}$

Tabel 3 Drukresponsie bij ebverval en golven van zee



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

maten in m prototype

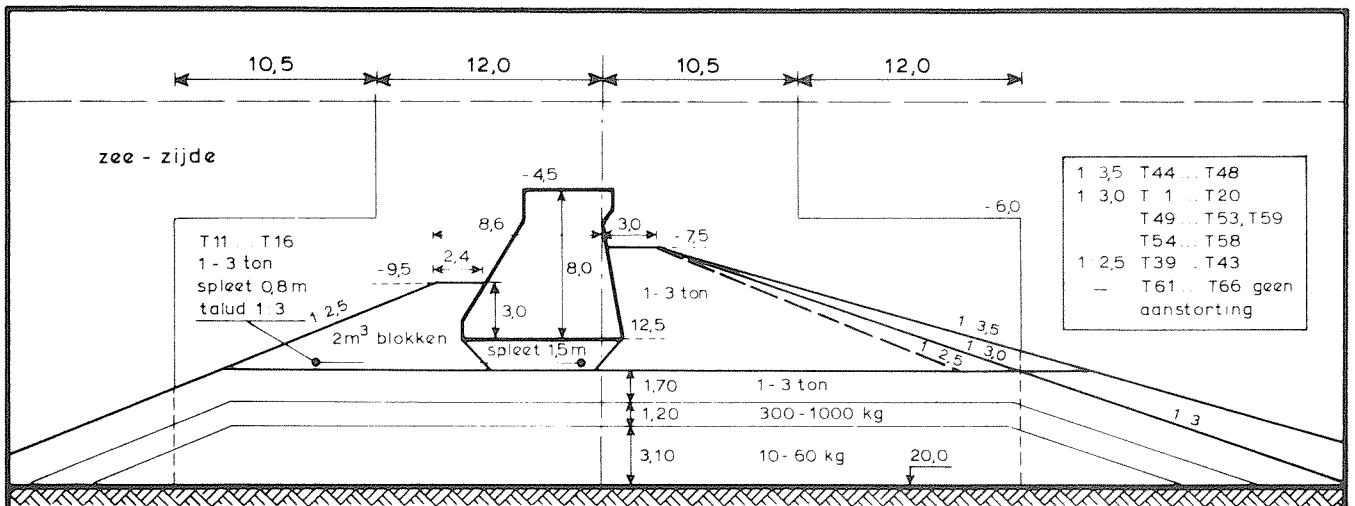
OVERZICHT PROEFOPSTELLING

SCHAAL 1:1500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

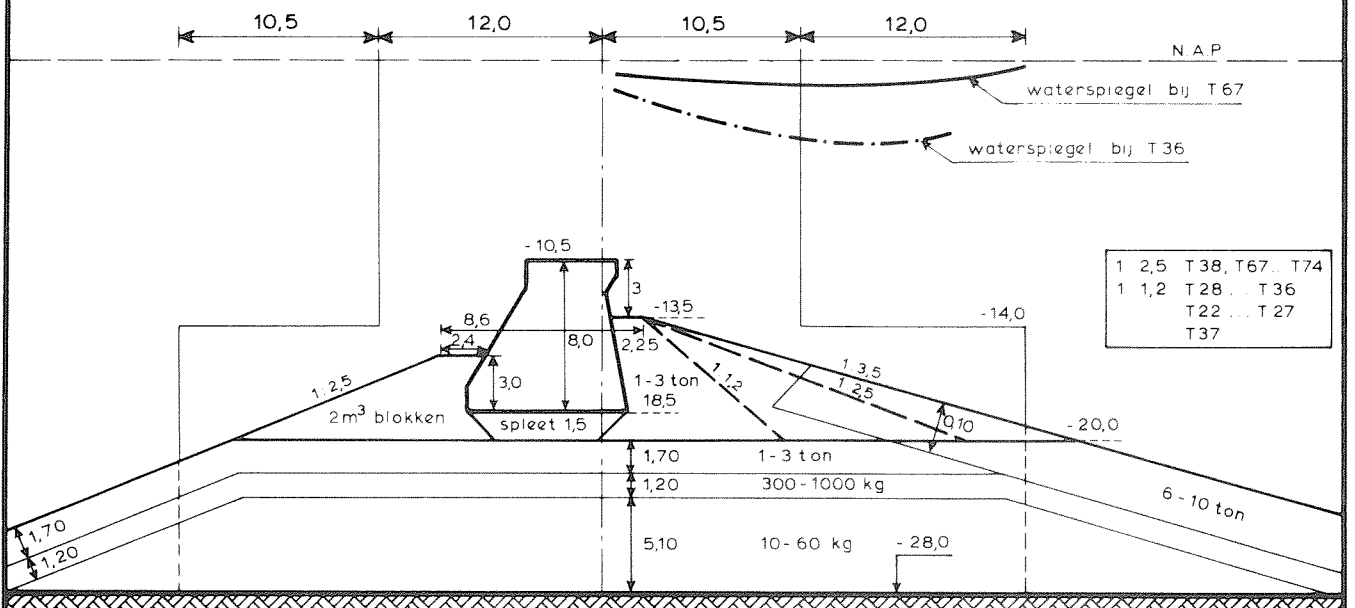
M 2169

FIG. 1



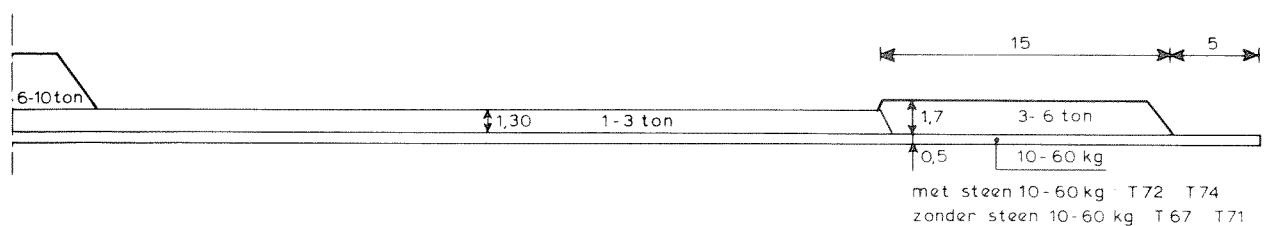
- 1 3,5 T44 ... T48
- 1 3,0 T 1 ... T20
- T49 ... T53, T59
- T54 ... T58
- 1 2,5 T39 ... T43
- T61 ... T66 geen aanstorting

DORPELNIVEAU N.A.P. - 4,5m



- 1 2,5 T38, T67, T74
- 1 1,2 T28 ... T36
- T22 ... T27
- T37

DORPELNIVEAU N.A.P. - 10,5m



OVERGANGSKONSTRUKTIE (DORPELNIVEAU N.A.P. - 10,5m)

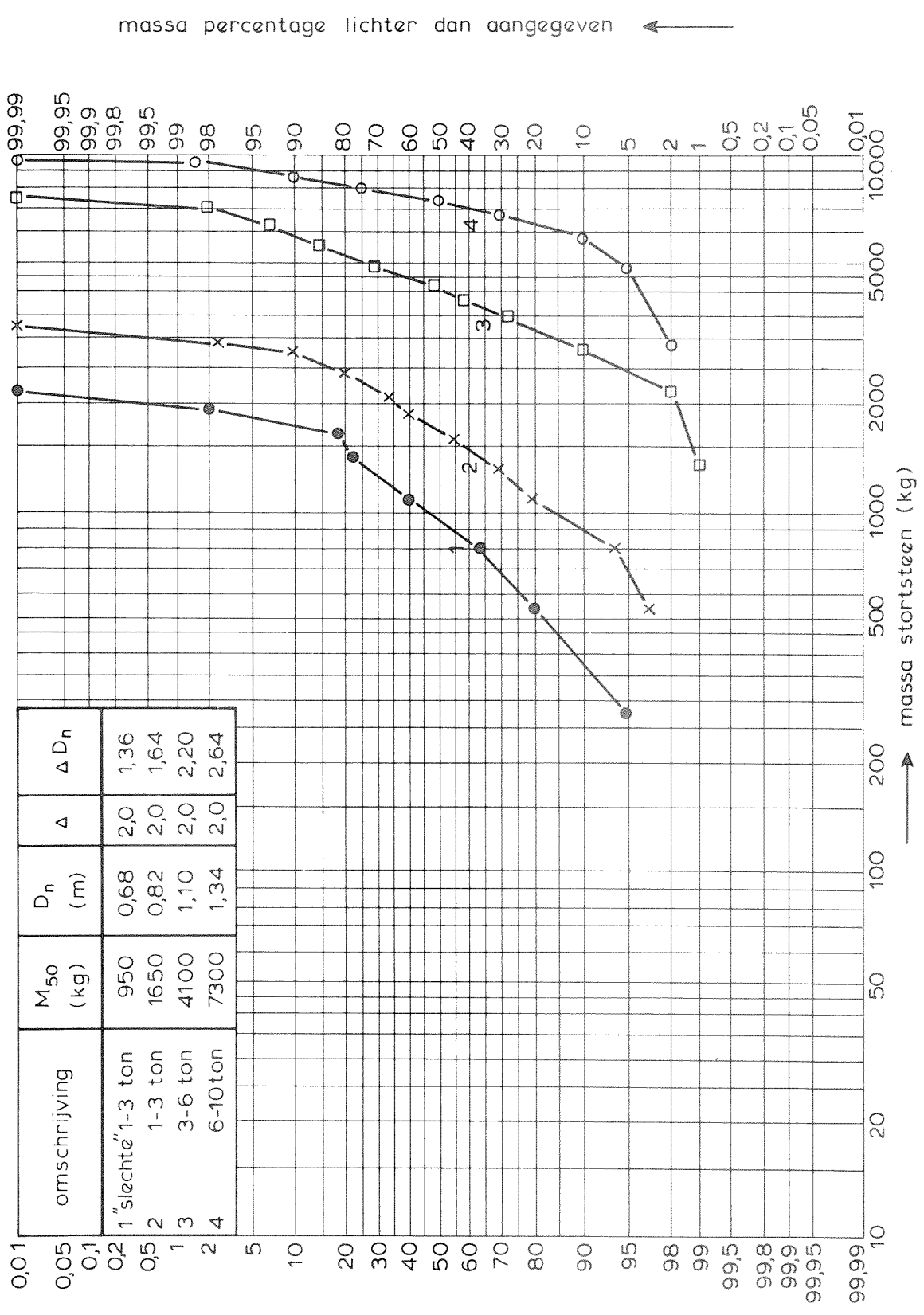
ONDERZOCHE DREMPELPROFIELEN

SCHAAL 1:400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

FIG 2

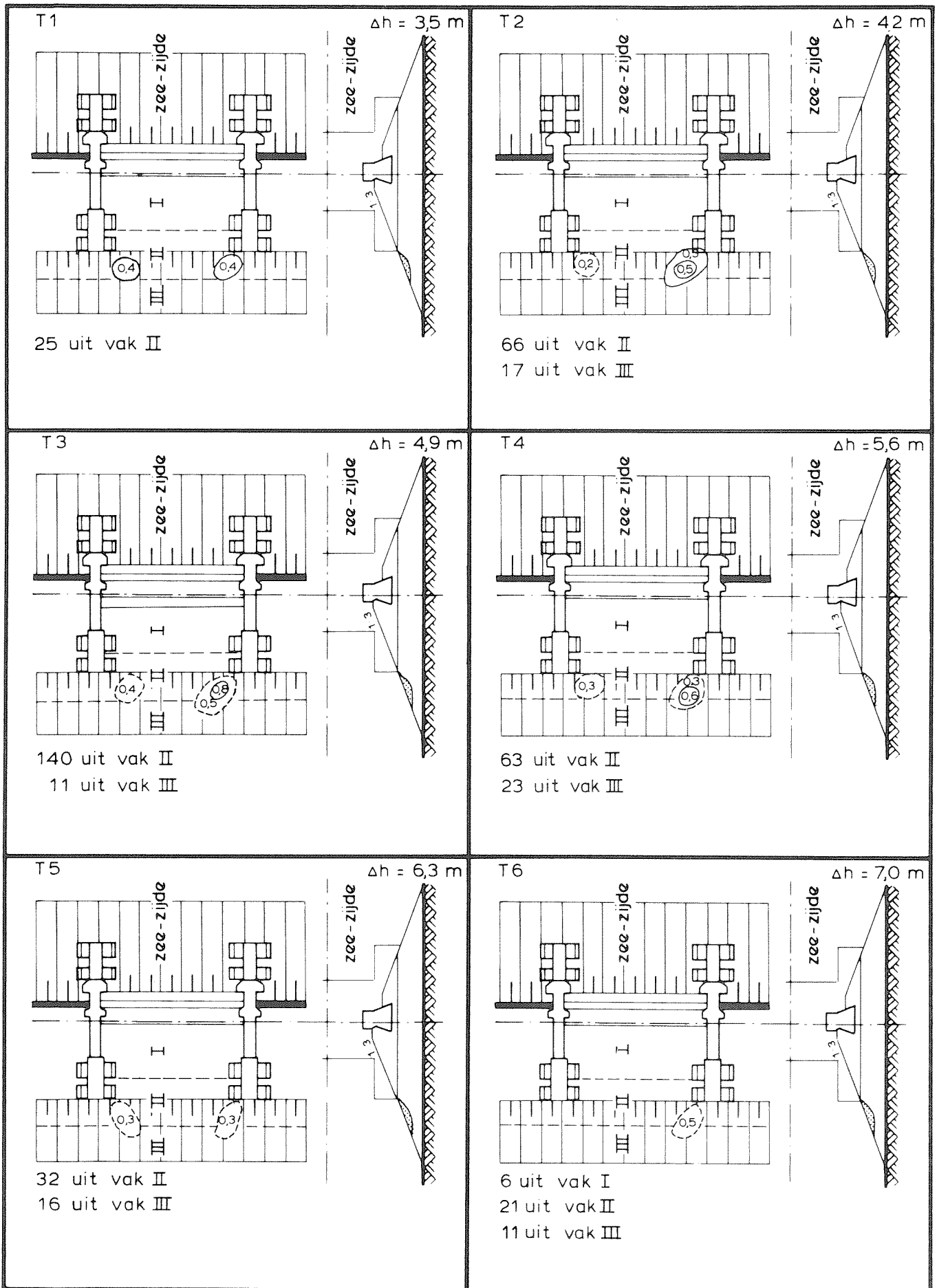


omschrijving	M ₅₀ (kg)	D _n (m)	Δ	Δ D _n
1 "slechte" 1-3 ton	950	0,68	2,0	1,36
2 1-3 ton	1650	0,82	2,0	1,64
3 3-6 ton	4100	1,10	2,0	2,20
4 6-10 ton	7300	1,34	2,0	2,64

→ massa percentage zwaarder dan aangegeven

← massa percentage lichter dan aangegeven

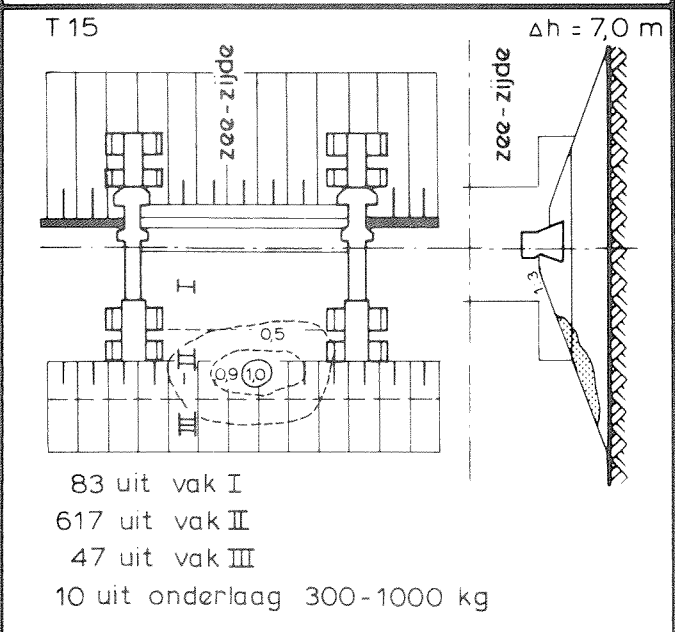
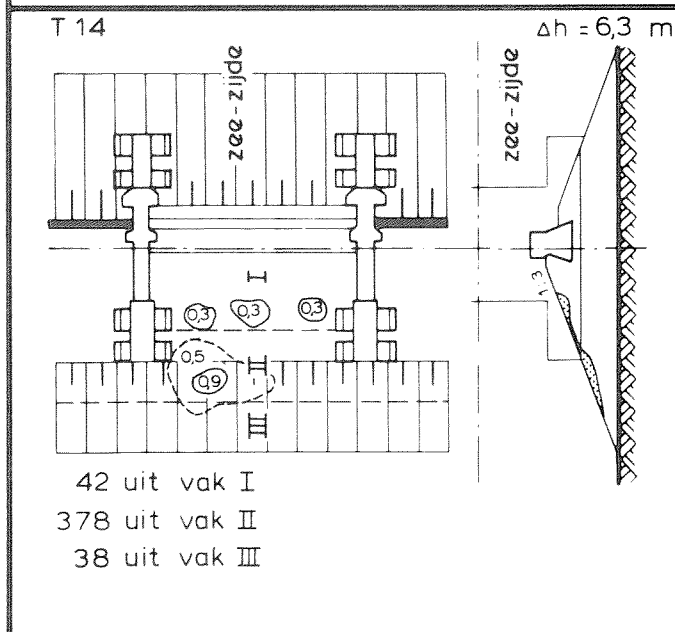
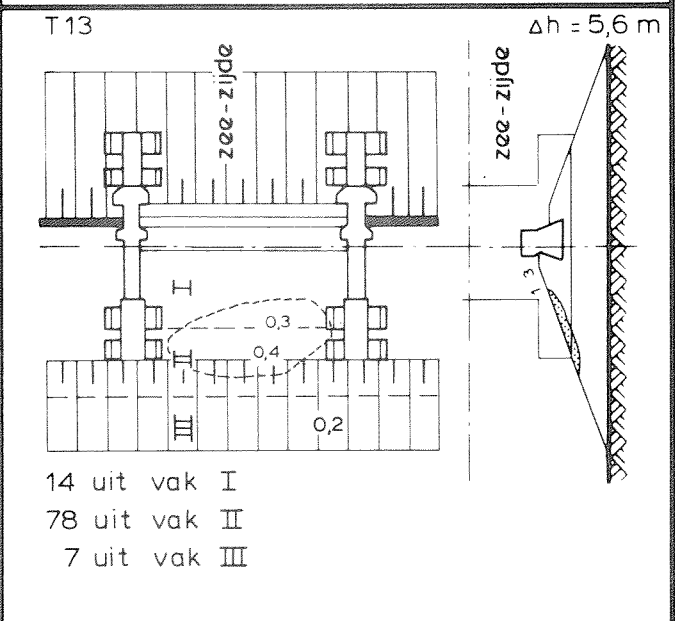
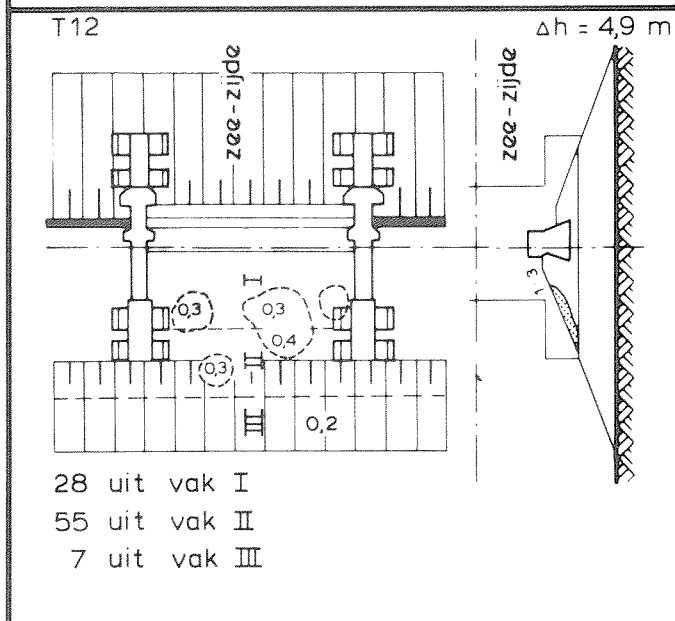
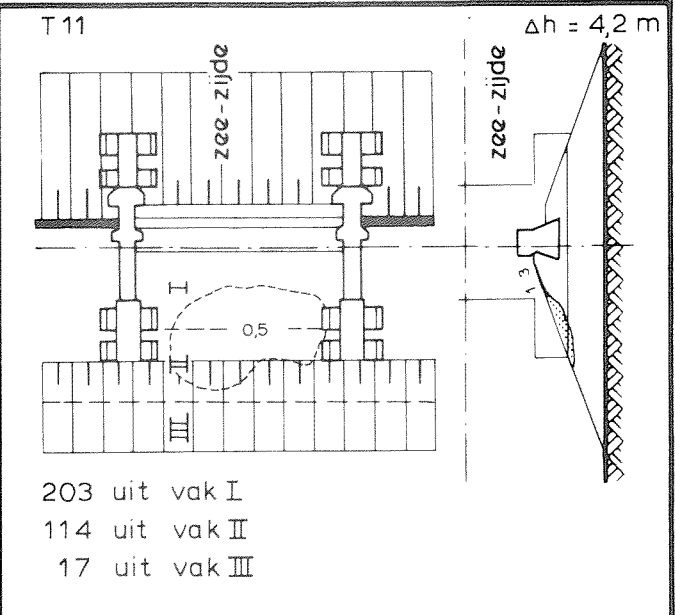
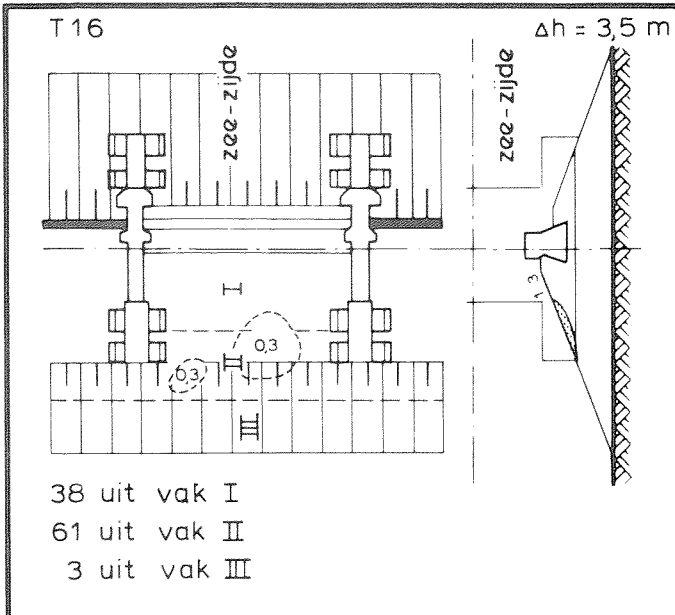
MASSAVERDELING STORTSTEEN



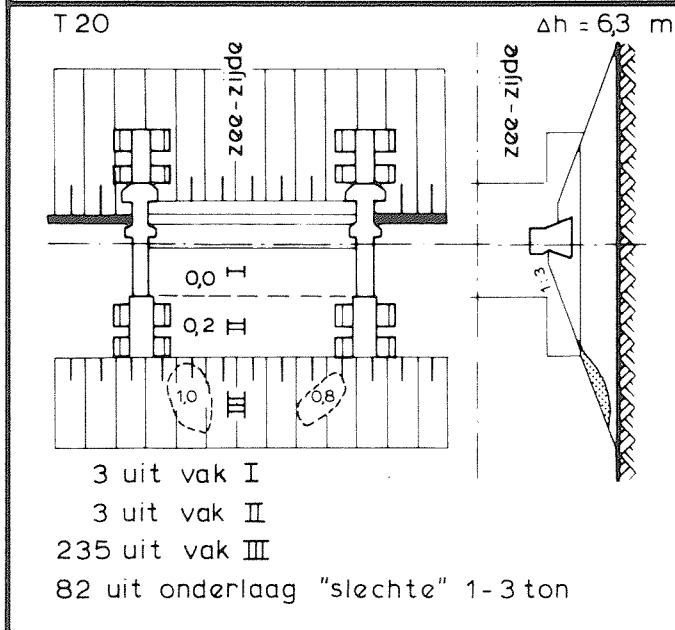
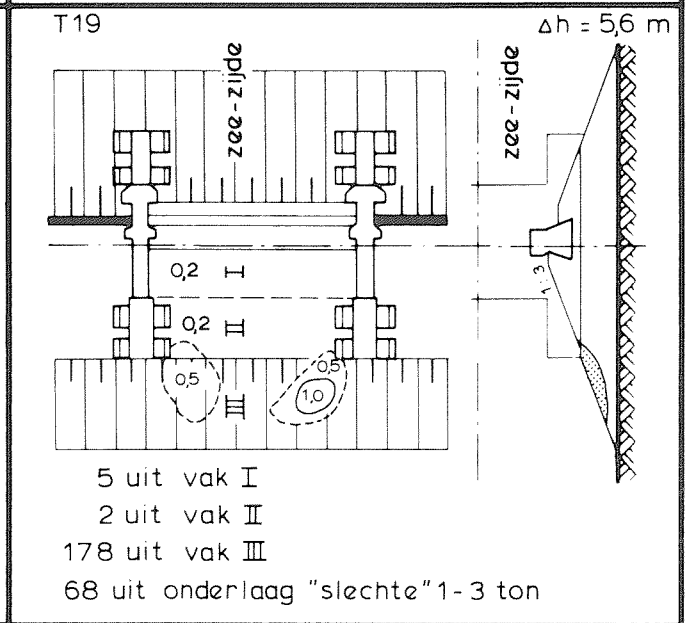
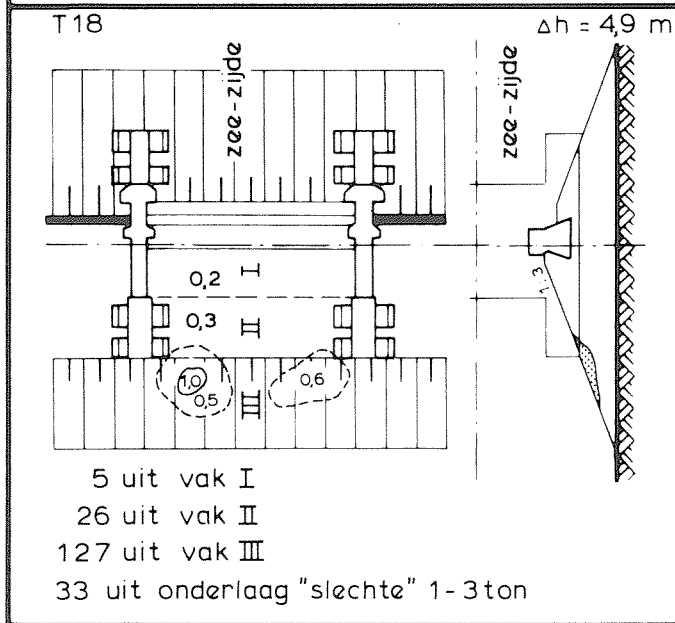
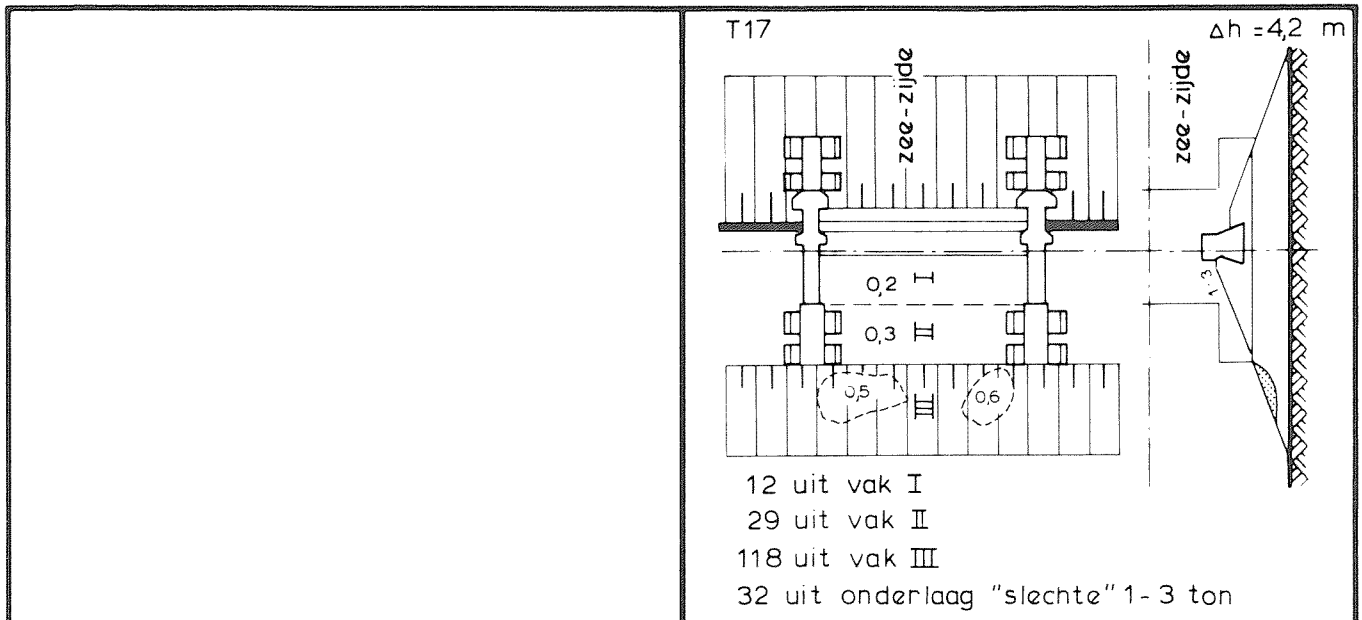
SCHADE DREMPEL
 HUIDIGE SITUATIE

DORPEL
 N.A.P. -4,5 m

T1.... T6



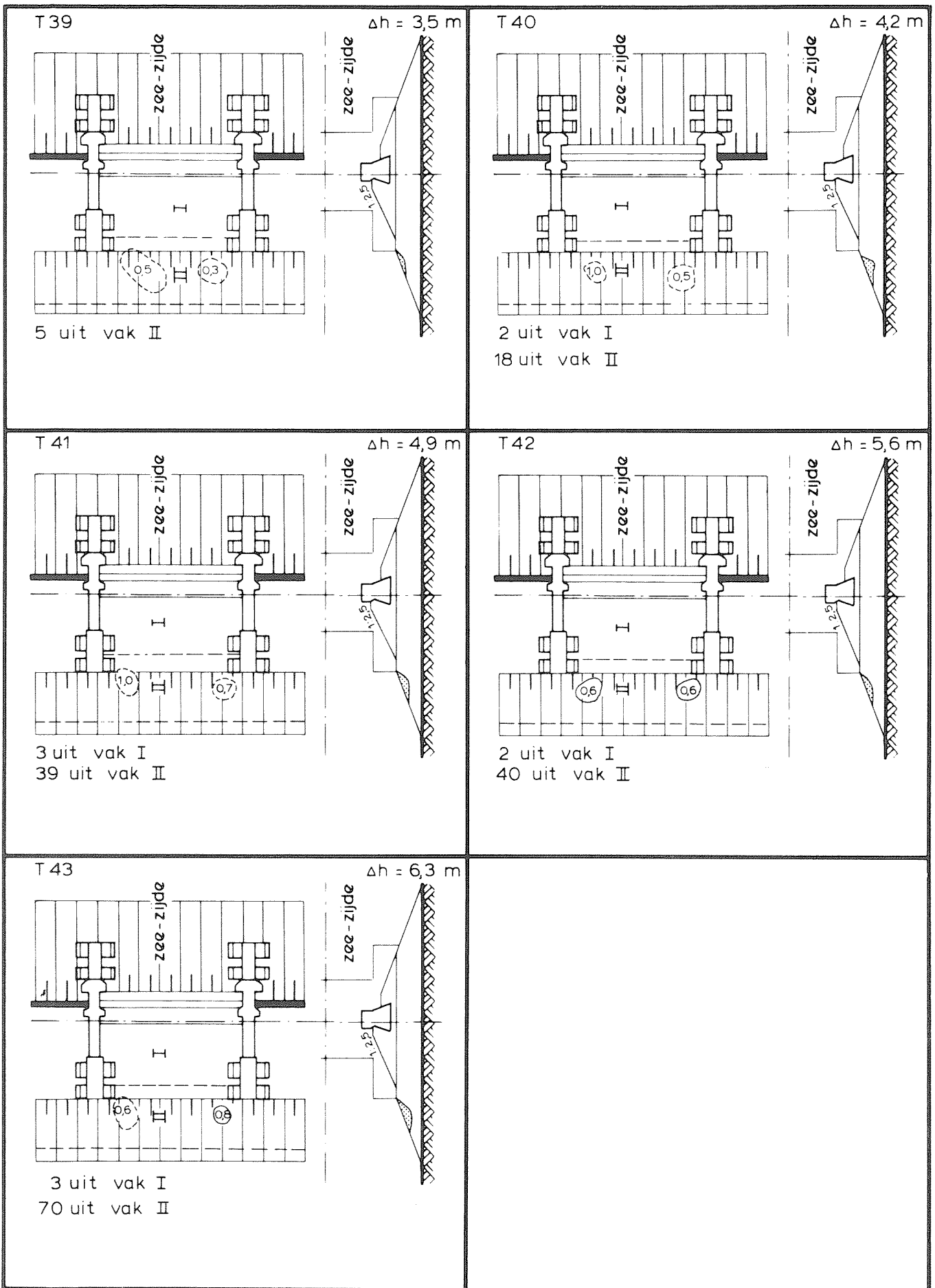
SCHADE DREMPEL REPRODUKTIE M 1451 - SITUATIE	DORPEL N.A.P. - 4,5 m	T11....T16
	WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 2169



SCHADE DREMPEL
VERBETERDE SITUATIE

DORPEL
N.A.P. - 4,5 m

T17... T20



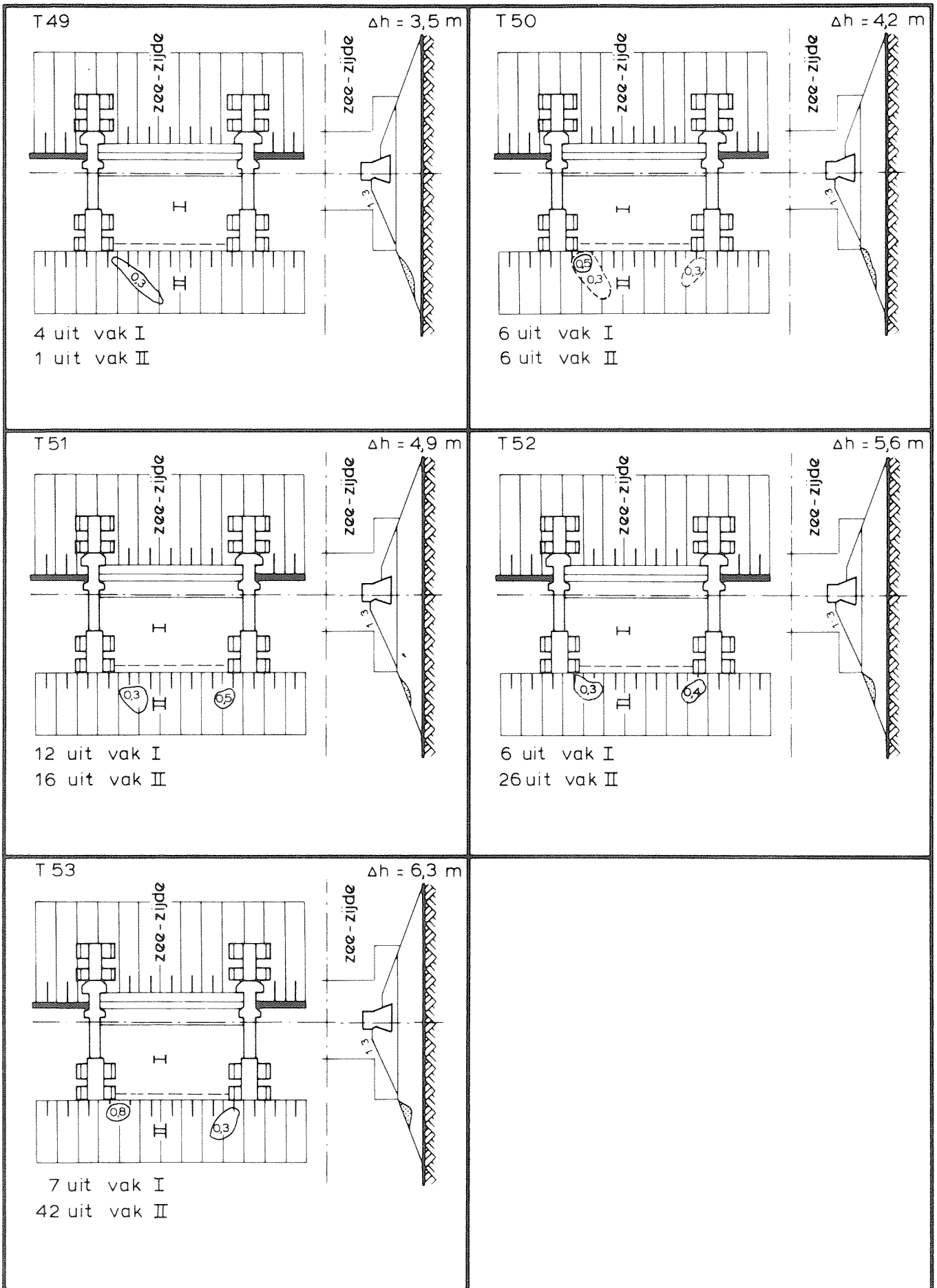
SCHADE DREMPEL
 TALUDHELLING 1:2,5, BERM 6m

DORPEL
 N.A.P. - 4,5 m T39...T43

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

FIG. 7



SCHADE DREMPEL
 TALUDHELLING 1:3, BERM 3 m

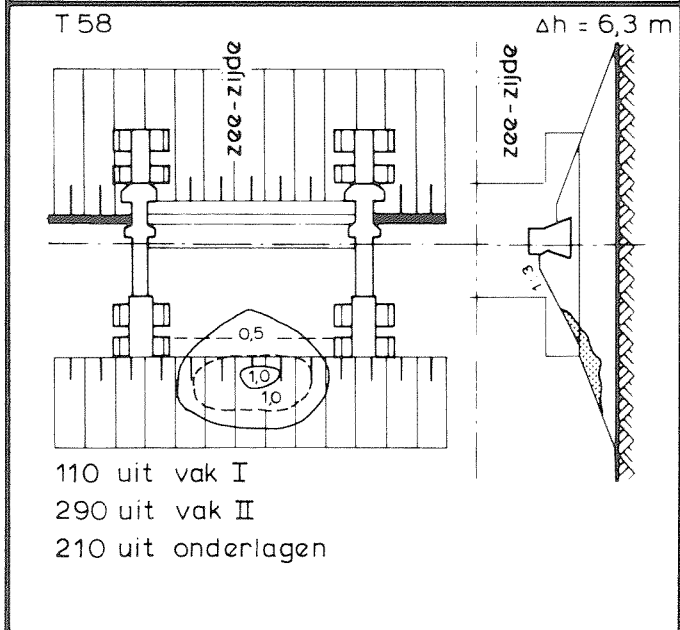
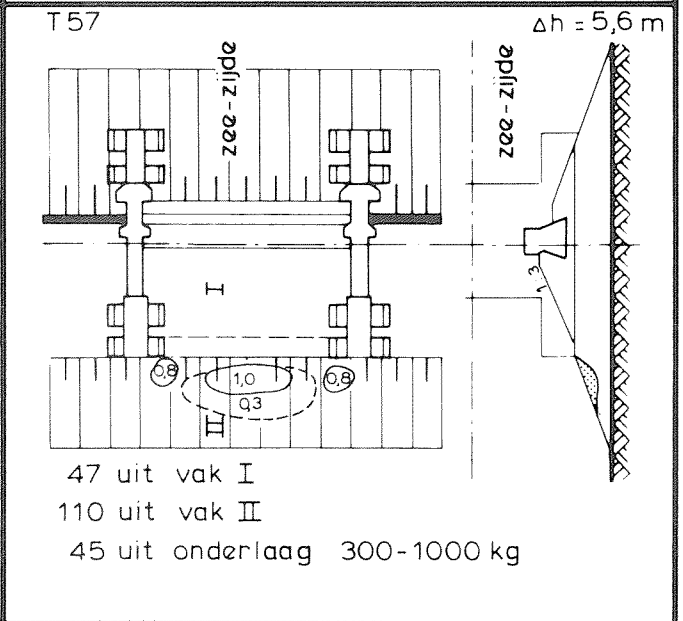
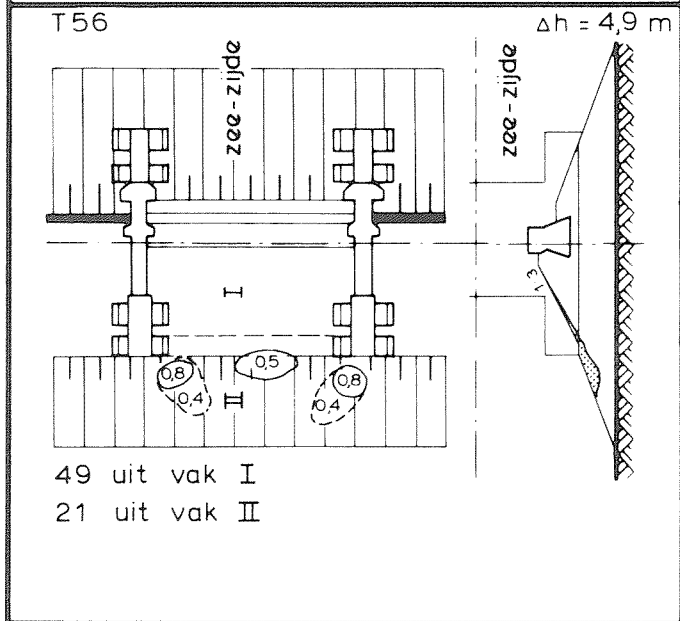
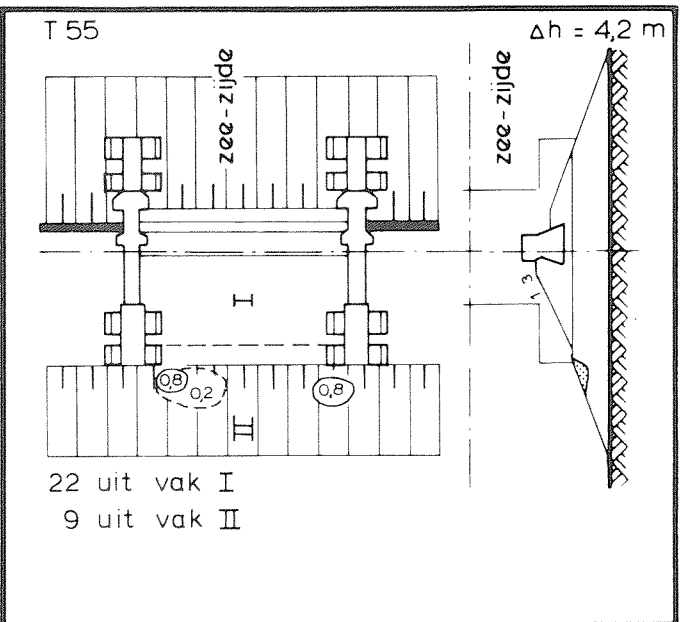
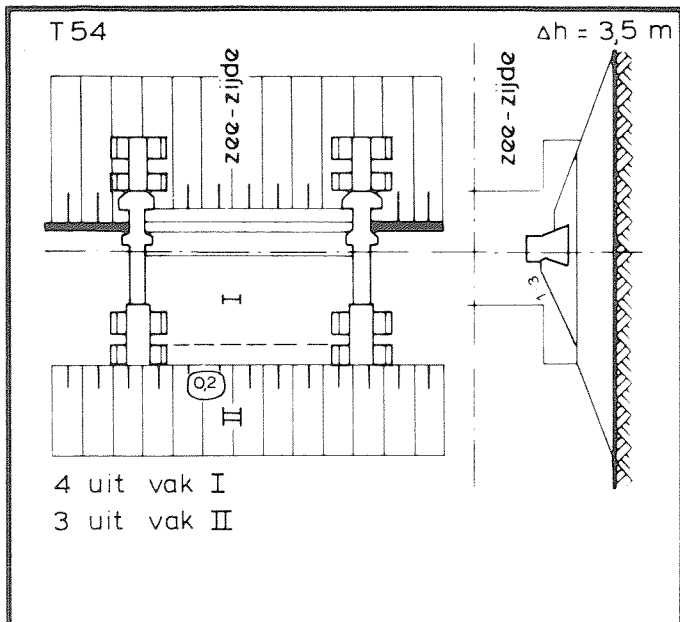
DORPEL
 N.A.P. - 4,5 m

T49.... T53

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

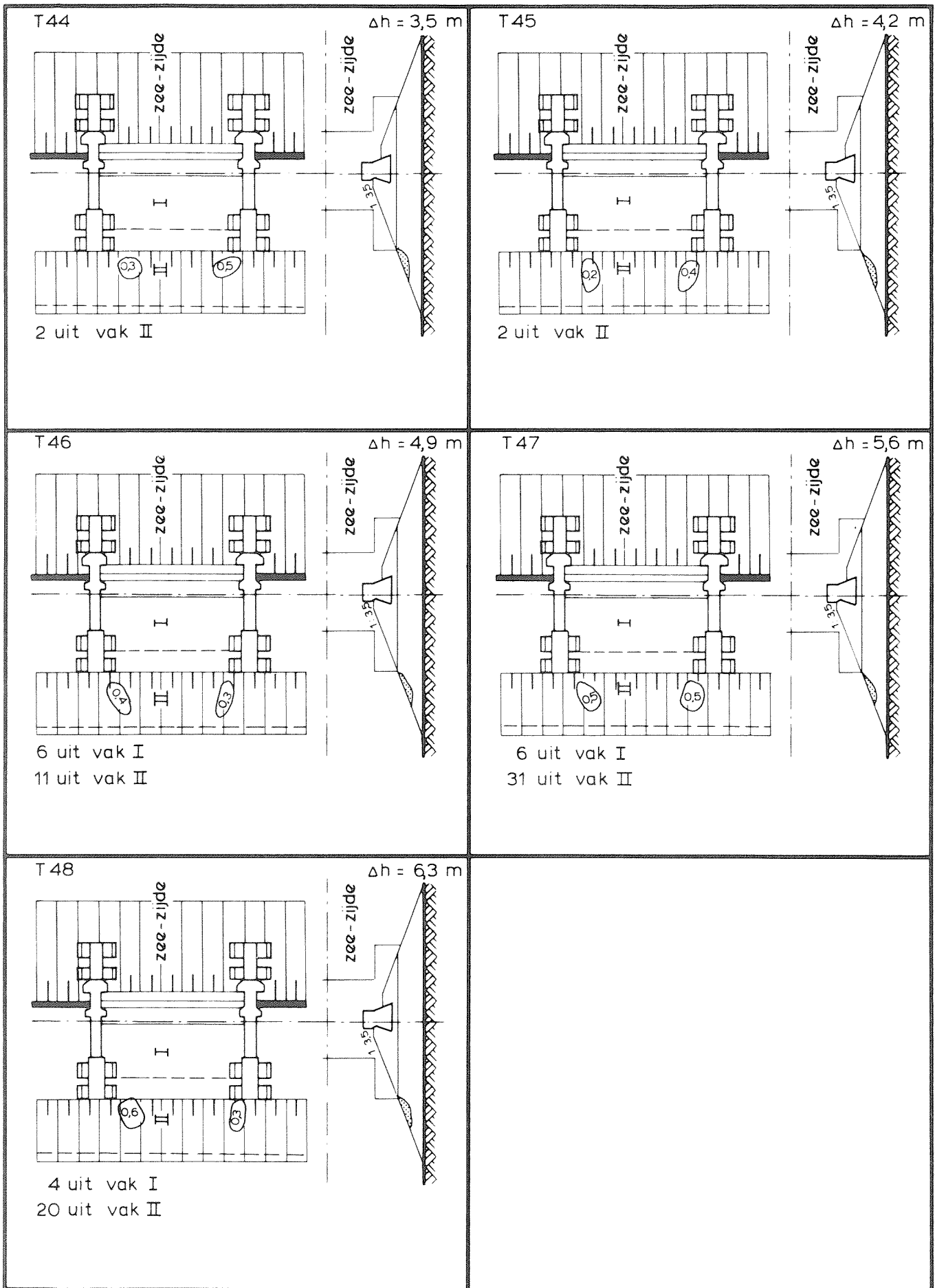
FIG. 8



SCHADE DREMPEL
TALUDHELLING 1:3, BERM 3m, DICHTE DREMPEL

DORPEL
N.A.P. - 4,5 m

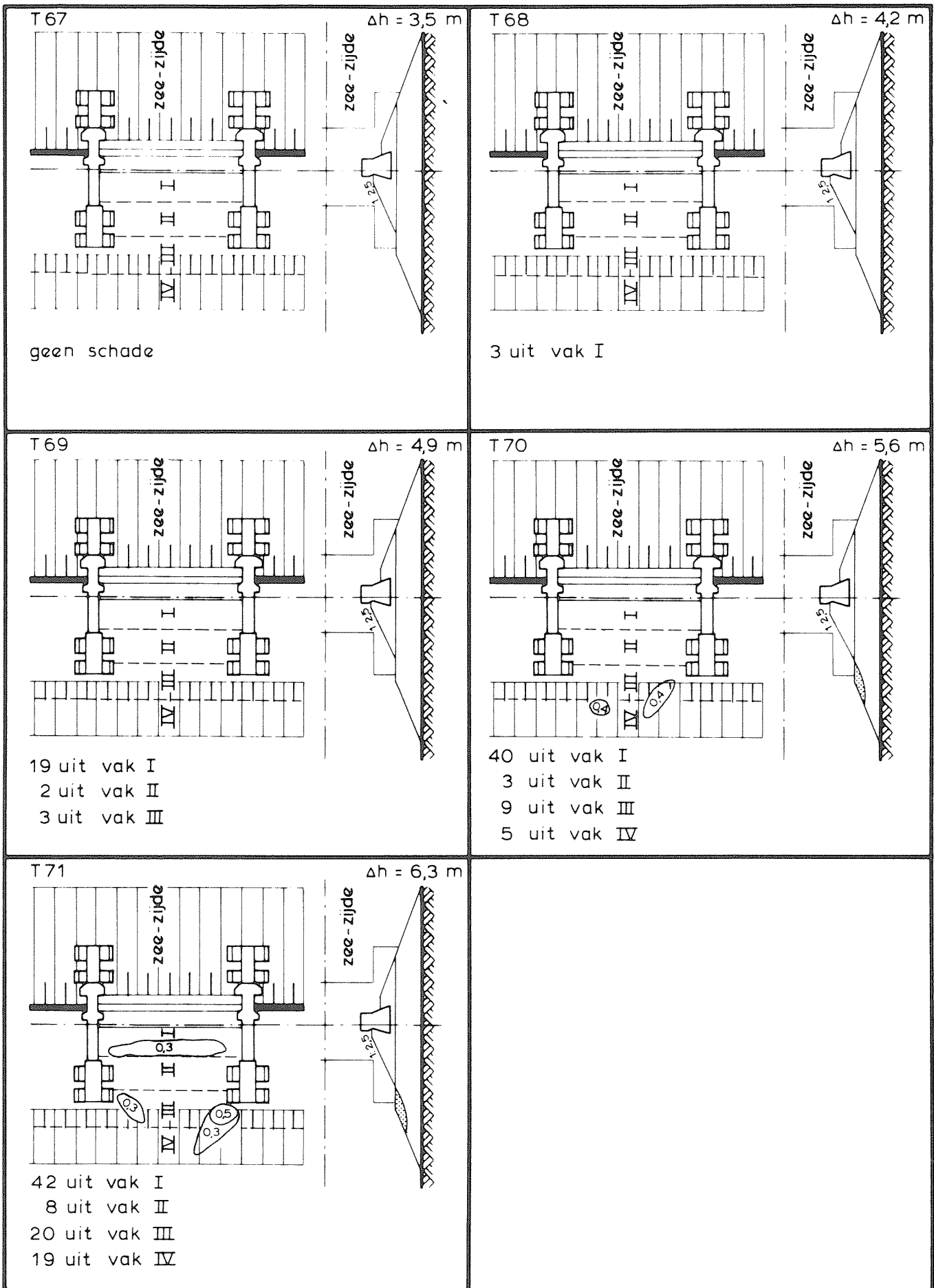
T54....T58



SCHADE DREMPEL
TALUDHELLING 1:3,5, BERM 0 m (ONTWERPPROFIEL)

DORPEL
N.A.P. - 4,5 m

T44.... 48



SCHADE DREMPEL
TALUDHELLING 1:2,5 , BERM 6 m

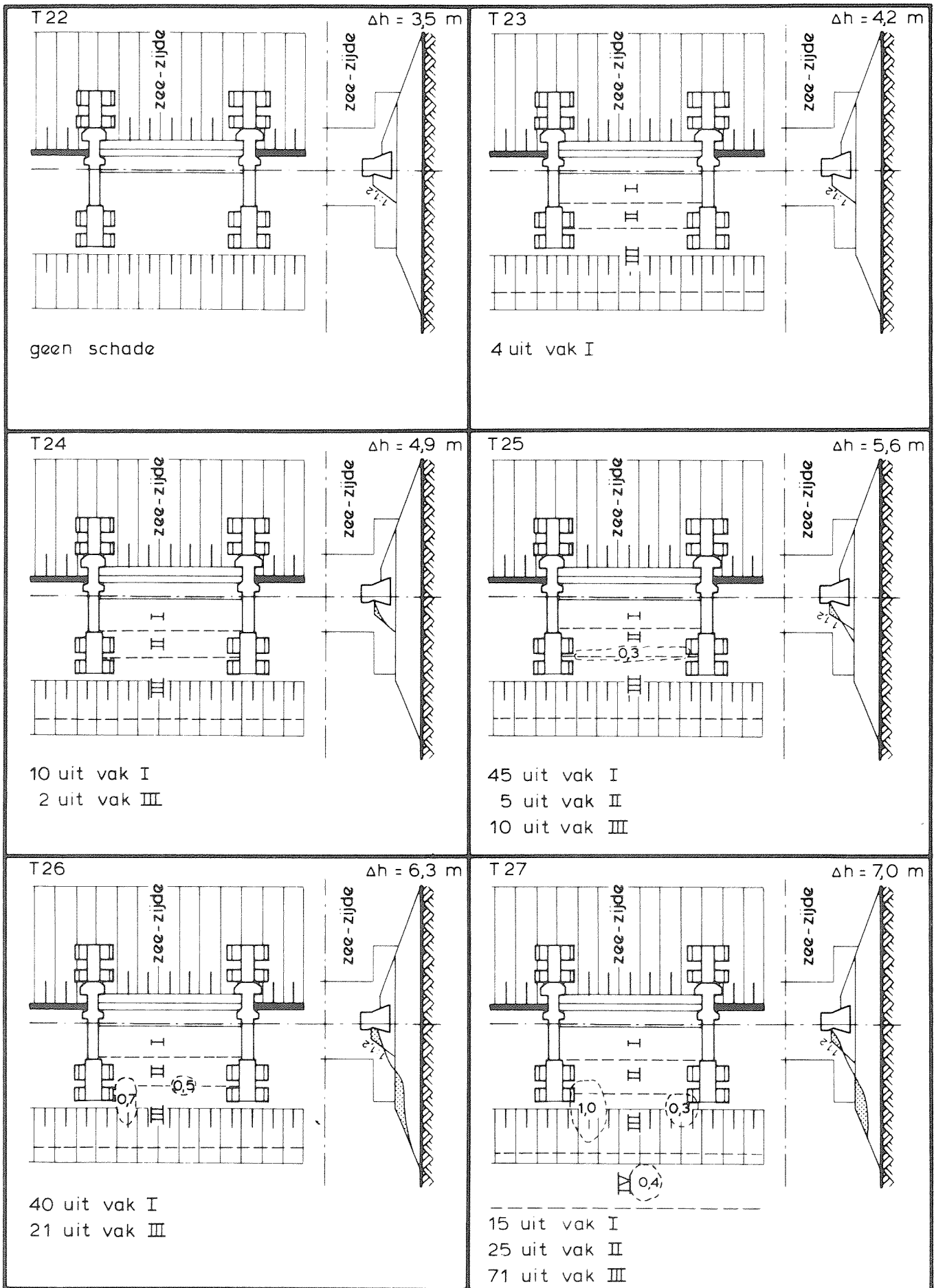
DORPEL
N.A.P.-10,5 m

T 67... T 71

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

FIG 11



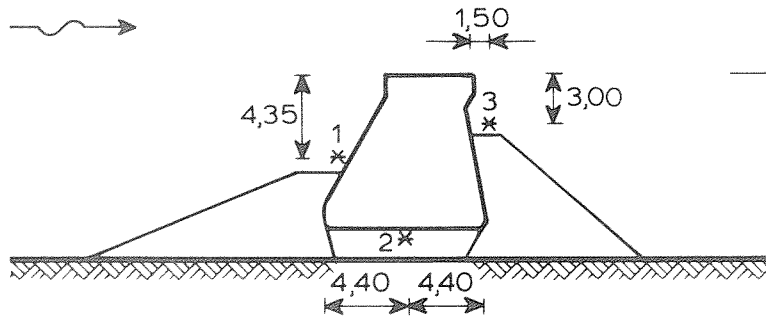
SCHADE DREMPEL
HALVE AANSTORTING

DORPEL
N.A.P.-10,5 m

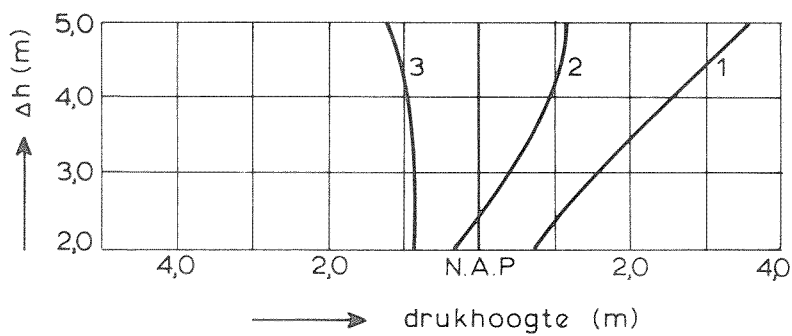
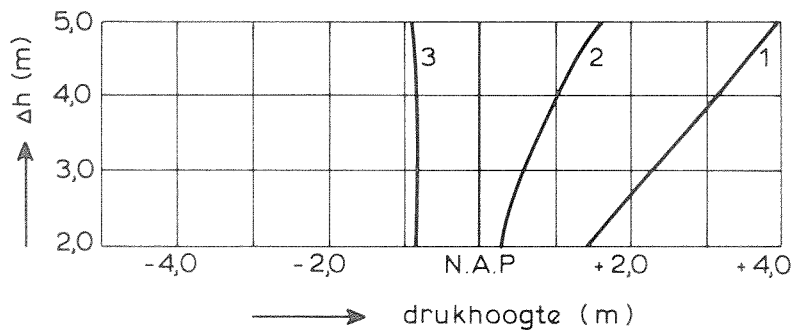
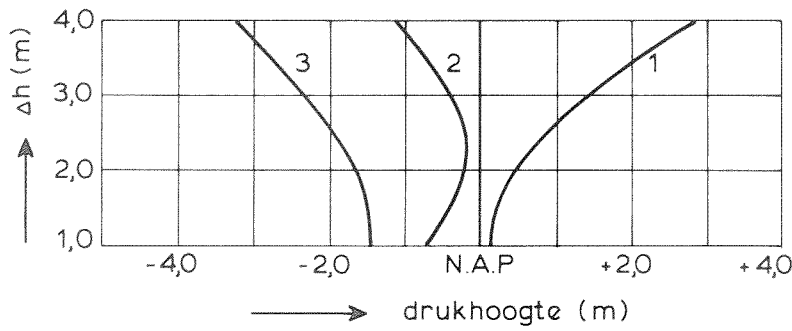
T22...T27

N.A.P.

N.A.P. - 0,7 m



N.A.P. - 10,5 m



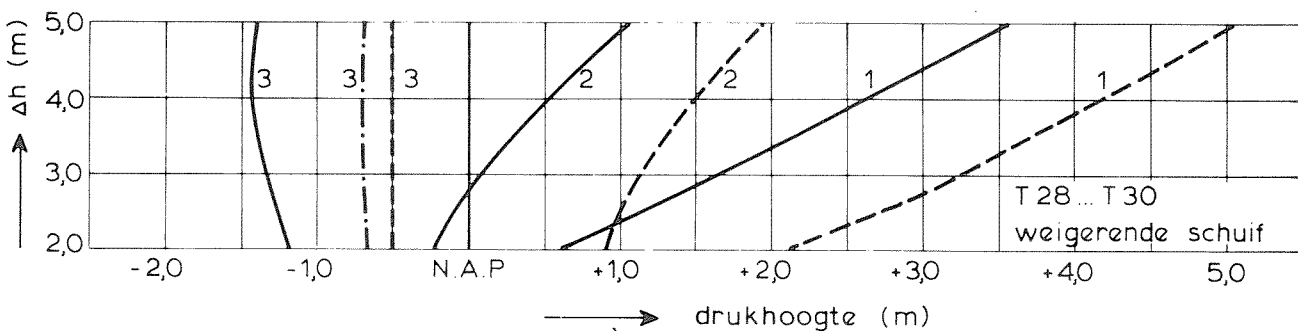
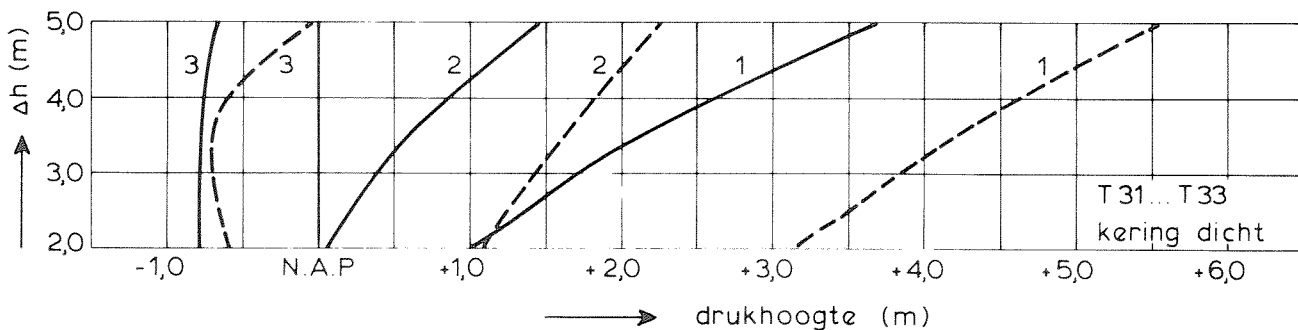
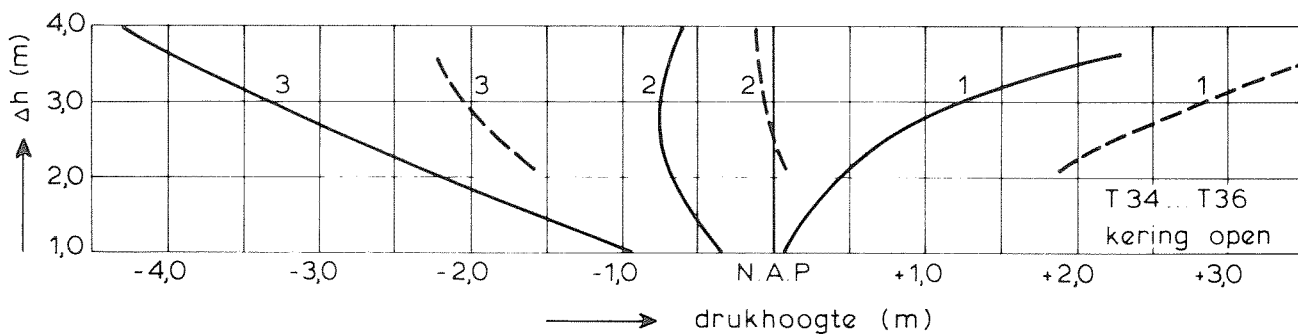
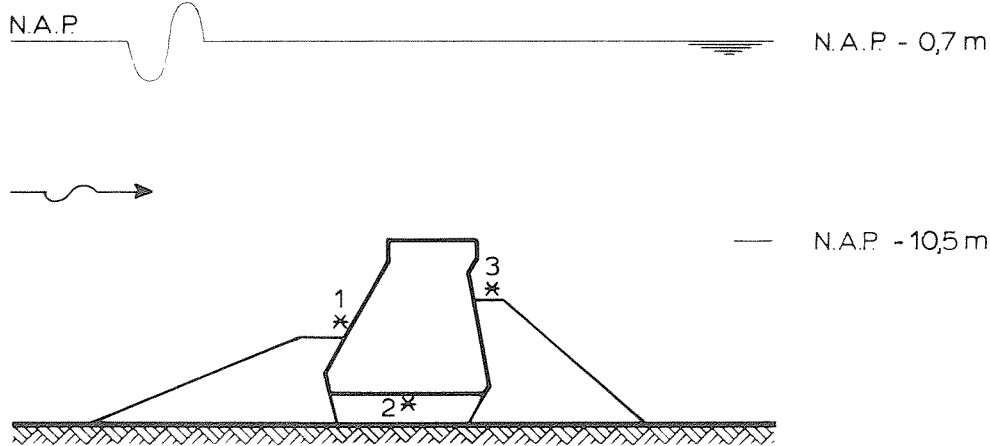
DRUKVERLOOP ROND DORPEL BIJ VLOEDVERVAL, HALVE AOS

N.A.P.-10,5m BENEDEN WST. N.A.P.-0,7 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

FIG. 13



- gemiddelde drukhoogte
- - - max. drukhoogte
- · - · drukhoogte bij max. drukhoogte in 1 en 2
(indien niet aangegeven: gelijk aan max. drukhoogte)

DRUKVERLOOP ROND DORPEL BIJ VLOEDVERVAL
EN GOLVEN VAN ZEE ($H \approx 4\text{ m}$), HALVE AOS

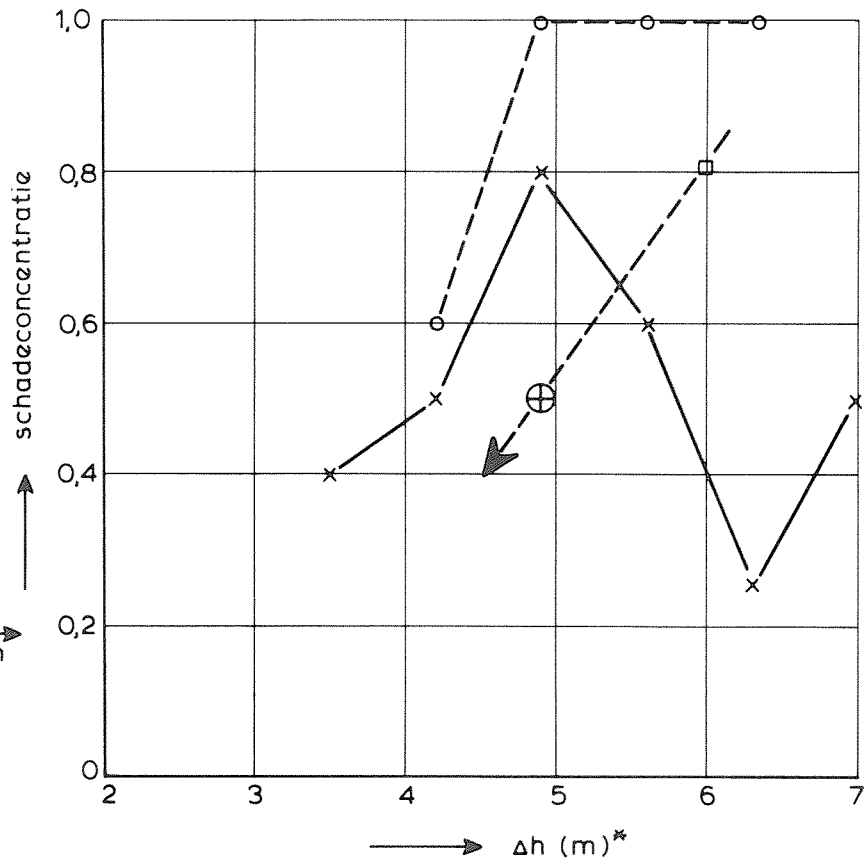
N.A.P.-10,5m

BENEDEN WST.
N.A.P. - 0,7 m

plaatselijk 2 lagen
verdwenen →

plaatselijk 1 laag
verdwenen →

verspreide schade,
hier en daar een steen →



- * inclusief golfwerking: $H \approx 4$ m
- zonder afdeklaag (huidige situatie : slechte 1-3 ton)
- - - met afdeklaag 1-3 ton ($\Delta D = 1,64$ m)
- voorspelling M1451 ($\Delta D = 1,63$ m)
- ⊕ gereduceerde waarde bij situatie met afdeklaag (2 lagen verdwenen, 1 laag is nog aanwezig)

EFFEKT VERBETERING STABILITEIT
DOOR AFDEKLAAG 1-3 TON

N.A.P.- 4,5 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2169

FIG. 15



1a Proefopstelling dorpelniveau N.A.P. - 4,5 m



1b Proefopstelling dorpelniveau N.A.P. -10,5 m



2a Beeld van de schade bij de huidige toestand, verval 4,9 m (T3)



2b Beeld van de schade met een afdeklaag, verval 6,3 m (T20)



3a Beeld van de schade bij een halve AOS, verval 7 m (T27)



3b Bezwijken van de drempel bij dichte kering, verval 24 m (T38)

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands