

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

invloed aanstortingen dorpelbalk op stabiliteit
toplaag drempel

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M 2115

juli 1985

stormvloedkering Oosterschelde

invloed aanstortingen dorpelbalk op stabiliteit
toplaag drempel

verslag modelonderzoek

M 2115

juli 1985

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Opzet van het onderzoek</u>	2
3. <u>Resultaten van het onderzoek</u>	5
4. <u>Interpretatie van de resultaten</u>	9

TABELLEN

FIGUREN

TABELLEN

- 1 Overzicht uitgevoerde proeven
- 2A Overzicht resultaten
- 2B Overzicht resultaten

FIGUREN

- 1 Proefopstellingen; T0.1...T0.4, T1
- 2 Proefopstellingen; T2, T3, T4
- 3 Proefopstellingen; T5, T6
- 4 Proefopstellingen; T7, T8, T9

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

Invloed aanstortingen dorpelbalk op stabiliteit toplaag drempel

1. Inleiding

In opdracht van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat is onderzoek verricht naar de invloed van de aanstortingen van de dorpelbalk op de stabiliteit van de toplaag van de drempel.

Het doel van het onderzoek is om een indruk te krijgen in welke mate de stabiliteit van de toplaag verminderd indien één van de aanstortingen wordt weggelaten. Als de stabiliteit niet ingrijpend verandert, dan kan worden besloten om tijdelijk of eventueel definitief één van de aanstortingen weg te laten. Hierdoor kan meer vrijheid worden verkregen in de planning van de uitvoering of kan een besparing op de totale bouwkosten worden bereikt. Er moet worden opgemerkt, dat bij de uiteindelijke beoordeling ook meespeelt het onderzoek met betrekking tot de grondmechanische aspecten (onderzocht bij het Laboratorium voor Grondmechanica).

Het onderzoek heeft mede door de beperkte beschikbare tijd een oriënterend karakter. De waterbeweging door stroom en golven is vanwege de keuze van de modelfaciliteit geschematiseerd tot alleen stroom. Door een aanpassing in de geometrie van de proefopstelling is getracht het stroombeeld te reproduceren zoals dat optreedt bij stroomaanval gekombineerd met golven.

Bij de proeven is onder andere variatie aangebracht in de volgende onderdelen: aanwezigheid aanstortingen zeezijde of Oosterscheldezijde, niveau dorpelbalk, schuif open of dicht, eb- of vloedstroom.

De proeven zijn eind maart 1985 uitgevoerd in de Tussenpadgoot van het Laboratorium De Voorst. Het onderzoek stond onder leiding van ing. G. Hartsuiker, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

2. Opzet van het onderzoek

Het onderzoek is opgezet om snel een beeld te krijgen van de invloed van de aanstortingen op de stabiliteit van de toplaag. Er is daarom gekozen voor een oriënterend onderzoek in de Tussenpadgoot. Hierbij moet de waterbeweging worden geschematiseerd tot een 2-dimensionale stroming zonder golven. Aansluitend aan dit onderzoek kan ter verifikatie voor een aantal geometriëen onderzoek worden verricht in de Pentagoot. In deze faciliteit kan een 3-dimensionale stroming worden gereproduceerd, eventueel in combinatie met golven.

Het onderzoek in de Tussenpadgoot is uitgevoerd met een lengteschaal $n_1 = 30$. Hierbij kan de gewenste range van waterdiepten worden gerealiseerd. Tevens wordt door deze schaalkeuze goed aangesloten bij eerder uitgevoerd onderzoek met betrekking tot de stabiliteit van de toplaag.

Teneinde de beperkingen door de schematisatie van de waterbeweging zoveel mogelijk te beperken is voor een aantal aspecten van het onderzoek getracht het stroombeeld in de omgeving van de kering zoveel mogelijk te laten lijken op een stroombeeld zoals dat optreedt bij een situatie met stroom en golven. Hiervan is, uit onderzoek in de Pentagoot (M 1451), bekend dat de straal water na het passeren van de kering meer naar beneden duikt bij aanwezigheid van golven.

Het uiteindelijk beoordelen van het effect van de aanstortingen wordt gedaan door vergelijking met de resultaten van een zogenaamde referentieproef (= proef waarbij beide aanstortingen aanwezig zijn).

Bij het onderzoek is variatie aangebracht in de volgende onderdelen:

- aanstorting zeezijde wel of niet aanwezig
- aanstorting O.S.-zijde wel of niet aanwezig
- schuif open of dicht
- bovenbalk wel of niet aanwezig
- niveau dorpelbalk
- eb- of vloedstroom.

Er moet op worden gewezen dat, in verband met de beperkte beschikbare tijd, een representatieve keuze moest worden gemaakt voor het niveau van de dorpelbalk. De meeste proeven zijn daarom uitgevoerd bij een dorpelniveau van NAP -8,5 m, aangezien dit niveau waarschijnlijk het meest maatgevend is met betrekking tot de stabiliteit. Een en ander is afgeleid aan de hand van de resultaten van onderzoek naar de stabiliteit van de toplaag bij situaties met weigerende schuif (M 1415).

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde proeven. De verschillende proeven zijn uitgevoerd voor verschillende aandachtsgebieden, hieronder volgt een korte karakterisering van elke proef:

- T0.1...T0.4 = inspeelproeven voor het vinden van een stroombeeld zoals dat optreedt bij een weigerende schuif (voor stroom + golven)
- T1, T7 = referentieproeven voor stabiliteit toplaag bij weigerende schuif
- T2, T6 = bepalen invloed aanstorting O.S.-zijde op stabiliteit toplaag drempel bij weigerende schuif
- T3 = bepalen invloed aanstorting O.S.-zijde op stabiliteit toplaag drempel (met name in de spleet) bij gesloten schuif
- T4 = bepalen invloed aanstorting O.S.-zijde op stabiliteit toplaag drempel (met name in de spleet) bij weigerende schuif
- T5 = bepalen invloed aanstorting zeezijde op stabiliteit toplaag drempel en aanstorting O.S.-zijde bij weigerende schuif
- T8 = bepalen invloed aanstorting O.S.-zijde op stabiliteit aanstorting zeezijde bij weigerende schuif (ebverval)
- T9 = bepalen invloed aanstorting O.S.-zijde op stabiliteit aanstorting zeezijde bij gesloten schuif (ebverval)

In de figuren 1...4 zijn van alle uitgevoerde proeven de proefopstellingen gegeven. Er moet worden opgemerkt, dat de vermelde steenklassen volgens het ontwerp zijn. Een aantal kenmerkende grootheden van de bij het onderzoek toegepaste steenklassen zijn in onderstaande tabel gegeven, hierbij is:

Δ = relatieve dichtheid van de stortsteen (-)

D_n = nominale diameter van de stortsteen (m)

steenklasse	model			prototype			$\frac{\Delta D_n \text{ model}}{\Delta D_n \text{ prot.}}$
	Δ (-)	D_n (m)	ΔD_n (m)	Δ (-)	D_n (m)	ΔD_n (m)	
300-1000 kg	1,61	0,71	1,14	1,94*	0,59	1,14	1,00
1-3 ton	1,89	1,14	2,15	1,94	0,84	1,63	1,32
3-6 ton	1,74	1,19	2,07	1,94	1,13	2,19	0,94
6-10 ton	2,00	1,33	2,66	1,94	1,36	2,64	1,01

* $\Delta = 1,94$; wanneer wordt uitgegaan van $\rho_s = 3000 \text{ kg/m}^3$ en ρ (zeewater) = 1020 kg/m^3

De toegepaste kubussen voor de aanstorting zeezijde hebben een gewicht van 4750 kg en een ribbe van 1,26 m (soortelijke massa is 2370 kg/m³).

De vermelde gegevens van de bij het onderzoek toegepaste steenklassen zijn gebaseerd op gewichtsanalyses die achteraf zijn uitgevoerd. Door tijdgebrek was het niet mogelijk vooraf een goede keuze te maken van de te gebruiken materialen. Er zijn uiteindelijk een aantal partijen steen toegepast, waarvan min of meer de gewichtsklasse bekend was (voor een model met lengteschaal $n_1 = 30$). Uit de tabel blijkt dat de steenklasse 1-3 ton veel te zwaar is, deze komt eigenlijk overeen met de sortering 3-6 ton. De toegepaste sortering voor 3-6 ton daarentegen is enigszins te licht. De overige sorteringen komen goed overeen met de gewenste sortering.

Bij de uitvoering van de proeven is uitgaande van een vaste boven- of benedenwaterstand het verval in stappen van ca. 0,5 m (prototype) opgevoerd. Elke vervalstap, waarbij beweging of verplaatsing van stenen werd gekonstateerd, is gedurende ca. 90 min. (= 16 à 17 min. in model) gehandhaafd. Het opvoeren van het verval is doorgezet tot het moment dat onacceptabele schade optrad. Dit is voor de toplaag het plaatselijk volledig ontbreken van de toplaag en voor de aanstorting het bezwijken van de aanstorting.

Tijdens de uitvoering van de proeven is boven- en benedenstrooms van de kering de waterstand gemeten met behulp van pitotbuizen. De stroomsnelheden zijn gemeten in de spleet onder de dorpelbalk (voor zover mogelijk) en in de aanstroming (150 m bovenstrooms van de kering op 1/3 van de waterdiepte). Tevens is de gemiddelde stroomsnelheid in de goot bepaald aan de hand van het ingestelde debiet. De nauwkeurigheid waarmee de waterstanden zijn gemeten bedraagt globaal 0,05 m. De stroomsnelheden zijn met een nauwkeurigheid van 0,05 à 0,10 m/s bepaald.

3. Resultaten van het onderzoek

In de tabellen 2A en 2B wordt voor alle uitgevoerde proeven een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten. De gepresenteerde gegevens zijn onder andere:

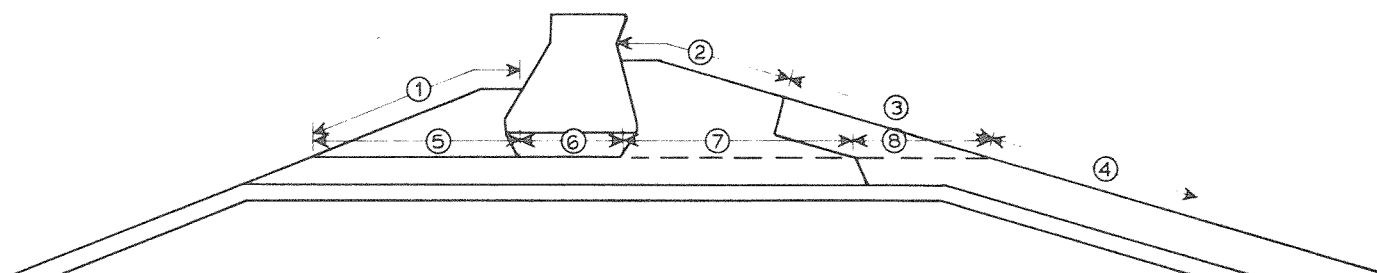
- bovenstroomse waterstand (m t.o.v. NAP)
- benedenstroomse waterstand (m t.o.v. NAP)
- verval = bov.str. - ben.str. (m)
- V_Q = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
- V_{aan} = stroomsnelheid in aanstroming (m/s)
- V_{spl} = stroomsnelheid in spleet (m/s)

Met betrekking tot de schade moet worden opgemerkt, dat de vermelde schades (of verplaatsingen van stenen) gesommeerde aantallen zijn, dus inclusief voorafgaande vervalstappen, en dat deze voor de gehele breedte van de goot (= 22,5 m prototype) gelden.

Voor de verdere presentatie zal per proef een korte beschrijving worden gegeven van de gekonstateerde verschijnselen. Hierbij wordt ingeval van schade de plaats van de opgetreden schade beschreven en de schadeconcentratie. Dit is het quotiënt van het aantal stenen dat uit een gebied met aantasting werd verplaatst en het aantal dat voor de proef in dat gebied aanwezig was. De schadeconcentratie is visueel afgeschat aan de hand van de volgende omschrijving.

schadeconc.	omschrijving
0,0	geen schade
0,2	verspreide schade, hier en daar een steen verplaatst
0,5	plaatselijk één laag verdwenen
0,7	onderliggende laag zichtbaar in gebieden kleiner dan de oppervlakte van 1 steen
1,0	plaatselijk twee lagen verdwenen

Bij de beschrijving van de schade is tevens een plaatsaanduiding gebruikt, de indeling hiervan is als volgt.



N.B. schade in de gebieden 5, 7 en 8 kan uiteraard alleen optreden indien de bijbehorende aanstortingen niet aanwezig zijn.

Korte omschrijving per proef

T0.1...T0.4

Door de proefopstelling te variëren is getracht het stroombeeld voor de situatie stroom en golven zo goed mogelijk te reproduceren. Van de opgetreden schade is alleen de totale verplaatsing genoteerd, maar niet de plaats van de aantasting en de schadeconcentratie. Gelet op het stroombeeld kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst:

- T0.1 - stroom ligt aan aan de bovendorpel
- T0.2 - stroom ligt niet aan
- T0.3 - stroom ligt nog niet aan
- T0.4 - stroom ligt aan

Op basis van deze proeven is besloten om voor een bepaalde serie proeven de bovendorpel te verwijderen, omdat hiermee het duiken van de straal, zoals dat bij de combinatie van stroom en golven kan optreden, zo goed mogelijk wordt weergegeven.

T1

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint in gebied 3 en dit breidt zich bij het opvoeren van het verval uit naar gebied 2 en de overgang tussen de gebieden 3 en 4. De grootste schade treedt op in gebied 3 met een schadeconcentratie van ca. 0,7, in gebied 2 en ter plaatse van de overgang tussen gebied 3 en 4 is de schadeconcentratie plaatselijk tussen 0,2 en 0,5.

T2

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint in gebied 8; bij het opvoeren van het verval komt er beweging in de gebieden 7 en 4. De grootste schade treedt op ter plaatse van de overgang tussen gebied 8 en 4 en in gebied 4 met schadeconcentraties tussen 0,5 en 0,7.

T3

Het bewegen van de stenen vindt alleen plaats in gebied 6, terwijl ook bij het grootste verval (ca. 12 m) geen wezenlijke schade optreedt (2 verplaatste stenen).

T4

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint ter plaatse van de overgang tussen gebied 8 en 4 en dit breidt zich bij het opvoeren van het verval uit naar gebied 8 en gebied 4. De grootste schade treedt op ter plaatse van de overgang tussen gebied 8 en 4 met een schadeconcentratie van 0,5.

T5

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint in gebied 3; bij het opvoeren van het verval komt er ook beweging in gebied 2 en het begin van gebied 4. Vóór het bezwijken van de aanstorting treedt de grootste schade op ter plaatse van de overgang tussen gebied 3 en 4 met een schadeconcentraties van ca. 0,2.

T6

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint bij de overgang tussen gebied 8 en 4 en dit breidt zich uit naar de gebieden 7, 8 en 4. De grootste schade treedt op ter plaatse van de overgang tussen gebied 8 en 4 met een schadeconcentratie van 1,0. In gebied 8 en 4 is de schadeconcentratie tussen 0,7 en 1,0.

T7

Het bewegen van de stenen in de toplaag begint in gebied 3 en dit breidt zich uit naar de gebieden 2 en 4. De grootste schade treedt op in gebied 3 en het begin van gebied 4, de schadeconcentratie is tussen 0,7 en 1,0.

T8 en T9

Het bewegen van de blokken van de aanstorting begint direkt achter de dorpelbalk. Bij het opvoeren van het verval gaan sommige blokken als het ware "zweven". Het bezwijken vindt plaats door het over redelijke lengte (evenwijdig aan as kering) opdrukken van de aanstorting. De blokken worden afgezet op het benedenstroomse talud van de aanstorting.

4. Interpretatie van de resultaten

Aan de hand van de gepresenteerde resultaten kunnen een aantal opmerkingen worden gemaakt met betrekking tot de invloed van de aanstortingen op de stabiliteit van de top laag. Gelet op het oriënterende karakter van het onderzoek en de met name voor steenklasse 1-3 ton afwijkende stuksgewichten, geven de resultaten van de proeven slechts een kwalitatief beeld van de beïnvloeding.

1. het weglaten van de aanstorting aan de O.S.-zijde geeft voor de situatie weigerende schuif met stroom + "golven" een afname van het kritieke verval met ca. 10% (kritiek verval = verval waarbij onacceptabele schade optreedt); een en ander kan worden afgeleid uit een vergelijking van de resultaten van T1 met T2 en T6 met T7.
2. het weglaten van de aanstorting aan de zeezijde geeft tot het moment van bezwijken van de aanstorting aan de O.S.-zijde vrijwel geen verandering in de optredende schade (vergelijk T1 met T5); aangezien het bezwijken van de aanstorting een explosief karakter heeft, is het kritieke verval echter duidelijk afgenomen.
3. het al of niet gesloten zijn van de schuif heeft een duidelijke invloed op de stabiliteit van de aanstorting aan de zeezijde (situatie: aanstorting O.S.-zijde niet aanwezig en ebverval); bij geopende schuif is het kritieke verval ca. 30% kleiner dan bij gesloten schuif (vergelijk T8 met T9).
4. het effect van het al of niet gesloten zijn van de schuif op de stabiliteit van de top laag in de spleet onder de dorpelbalk kon niet worden vastgesteld (situatie aanstorting O.S.-zijde niet aanwezig en vloedverval); bij proef T3 is slechts geringe schade opgetreden, terwijl bij T4 onder de dorpelbalk geen schade is geconstateerd (opvoeren van verval bij T4 is gestopt omdat benedenstrooms al grote schade was opgetreden).

proef	verval		begrenzing doorstroom- opening		aanstorting aanwezig		schuif	
	vloed	eb	onder	boven	zee	0.S.	open	dicht
T0.1	x		-8,5	+1,0	x	x	x	
T0.2	x		-8,5	+3,0	x	x	x	
T0.3	x		-8,5	+2,5	x	x	x	
T0.4	x		-8,5	+2,0	x	x	x	
T1	x		-8,5	1)	x	x	x	
T2	x		-8,5		x		x	
T3	x		-8,5	+1,0	x			x
T4	x		-8,5	+1,0	x		x	
T5	x		-8,5			x	x	
T6	x		-6,5		x		x	
T7	x		-6,5		x	x	x	
T8		x	-8,5	+1,0	x		x	
T9		x	-8,5	+1,0	x			x

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven

1) geen bovenbalk aanwezig

proef	waterstand in m		verval in m	stroomsnelheid			opmerkingen m.b.t. schade
	t.o.v. NAP			in m/s			
	bov.str.	ben.str.		V _Q	V _{aan}	V _{spl}	
T0.1	+5,60	-0,70	6,30	-	-	-	
T0.2	+4,94	-0,70	5,64	-	-	-	schade: 1-3 ton 40 st; 6-10 ton 80 st
T0.3	-	-	-	-	-	-	veel schade, proef afgebroken
T0.4	+4,83	-0,71	5,54	-	-	-	
T1	+5,57	+1,61	3,96	3,14	3,45	-	enige beweging
	+5,65	+1,00	4,65	-	3,67	-	oplichten van stenen
	+5,66	+0,45	5,21	3,41	3,73	-	schade: ca. 20 st
	+5,57	-0,02	5,59	3,46	3,90	-	schade: 1-3 ton 40 st; 6-10 ton 100 st
T2	+5,63	+1,52	4,11	3,21	-	3,92	enige beweging
	+5,63	+1,02	4,61	3,34	-	-	schade: 6-10 ton 15 st
	+5,69	+0,47	5,22	3,49	-	-	schade: 6-10 ton 75 st
T3	+6,41	-0,02	6,43	0,22	-	3,96	
	+6,20	-1,02	7,22	0,24	-	4,03	
	+6,17	-2,02	8,19	0,24	-	4,45	
	+5,72	-3,00	8,72	0,27	-	4,39	enige beweging in spleet
	+5,67	-4,02	9,69	0,28	-	4,88	enige beweging in spleet
	+6,23	-5,03	11,28	0,30	-	5,45	meer beweging in spleet
	+6,08	-6,00	12,08	0,31	-	6,47	schade: 1-3ton 2 st in spleet
T4	+5,78	+1,04	4,74	2,53	-	3,75	
	+5,60	+0,50	5,10	2,63	2,74	3,88	
	+5,49	-0,03	5,52	2,75	2,92	3,98	enige beweging
	+5,73	-0,50	6,23	2,81	3,01	4,24	enige beweging
	+5,59	-1,01	6,60	2,85	3,07	4,45	meer beweging
	+5,58	-1,43	7,01	2,91	3,18	5,20	schade: 6-10 ton 20 st
	+5,66	-2,03	7,69	2,96	3,18	5,79	schade: 6-10 ton 40 st

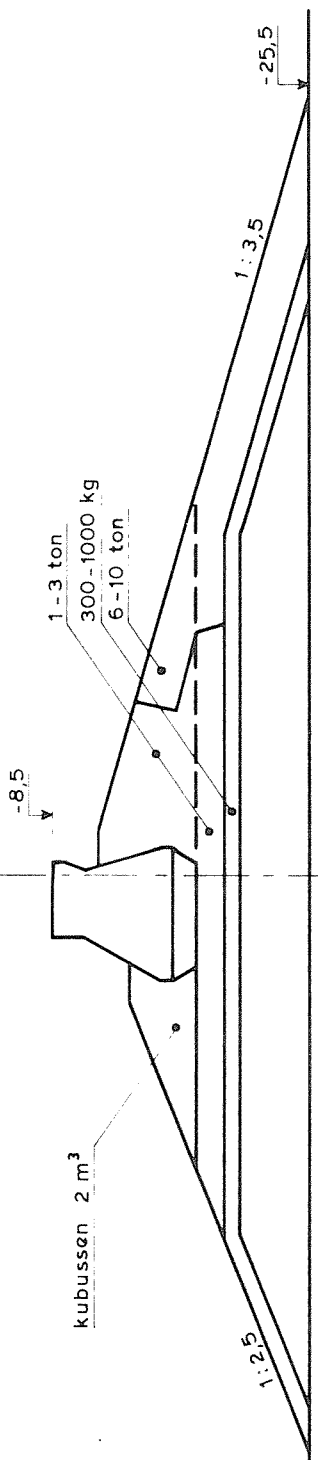
Tabel 2A Overzicht resultaten

proef	waterstand in m		verval in m	stroomsnelheid			opmerkingen m.b.t. schade
	t.o.v. NAP			in m/s			
	bov.str.	ben.str.		V _Q	V _{aan}	V _{spl}	
T5	+5,60	+1,47	4,13	2,97	3,23	3,62	enige beweging
	+5,57	+1,04	4,53	3,11	3,37	3,90	meer beweging
	+5,63	+0,56	5,07	3,26	3,40	4,22	schade: 6-10 ton 15 st
	+5,60	0,00	5,60	-	-	-	bezwijken aanstorting
T6	+5,75	+1,55	4,20	3,02	3,18	-	schade: 3-6 ton 40 st
	+5,59	+0,97	4,62	3,08	3,23	-	toplaag 3-6 ton weg, proef afgebroken
T7	+5,77	+1,52	4,25	2,86	3,13	-	schade: 3-6 ton 45 st
	+5,65	+0,97	4,68	2,94	3,15	-	schade: 3-6 ton 95 st
	+5,63	+0,52	5,13	3,02	3,30	-	schade: 3-6 ton 185 st
T8	+1,46	-0,05	1,51	1,54	1,52	1,96	
	+1,85	-0,03	1,88	1,74	1,77	2,20	
	+2,57	-0,06	2,63	1,92	1,98	2,77	
	+3,80	-0,04	3,84	2,25	-	-	beweging in aanstorting
	+4,20	0,00	4,20	-	-	-	bezwijken aanstorting
T8*	+4,00	0,00	4,00	-	-	-	beweging in aanstorting
	+4,50	0,00	4,50	-	-	-	bezwijken aanstorting
T9	+4,34	-0,05	4,39	0,26	-	3,73	
	+4,64	0,00	4,64	-	-	-	beweging in aanstorting
	+5,66	-0,02	5,68	-	-	-	bezwijken aanstorting
T9*	+4,70	0,00	4,70	-	-	-	beweging in aanstorting
	+5,60	0,00	5,60	-	-	-	bezwijken aanstorting

Tabel 2B Overzicht resultaten

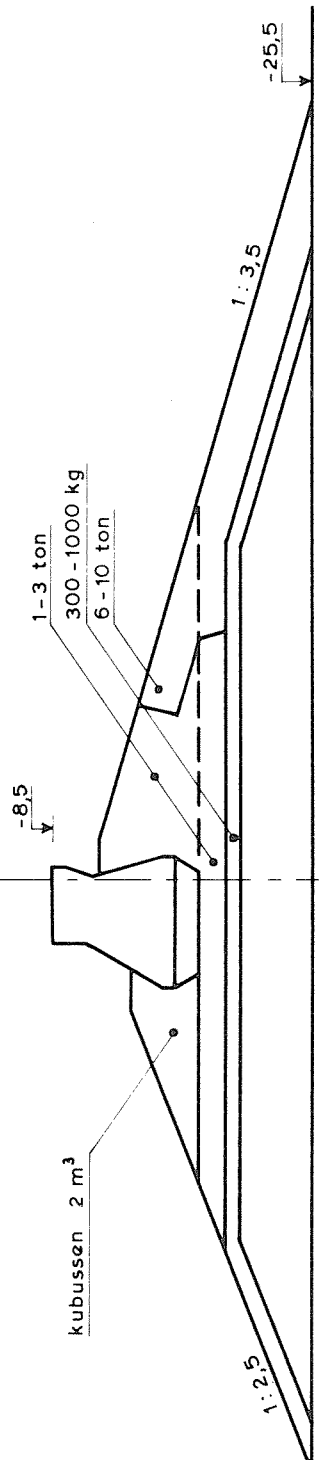
- T 0.1 : +1,0
- T 0.2 : +3,0
- T 0.3 : +2,5
- T 0.4 : +2,0

N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 0.1... T 0.4

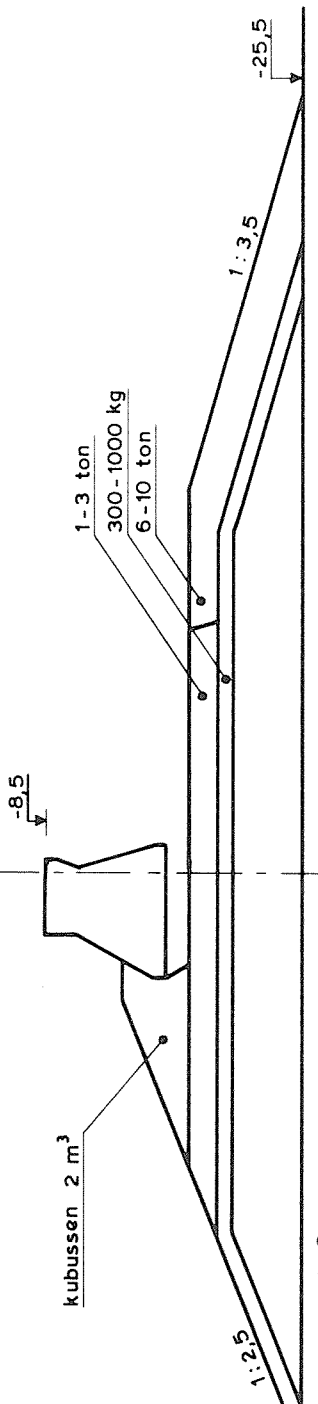
N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 1

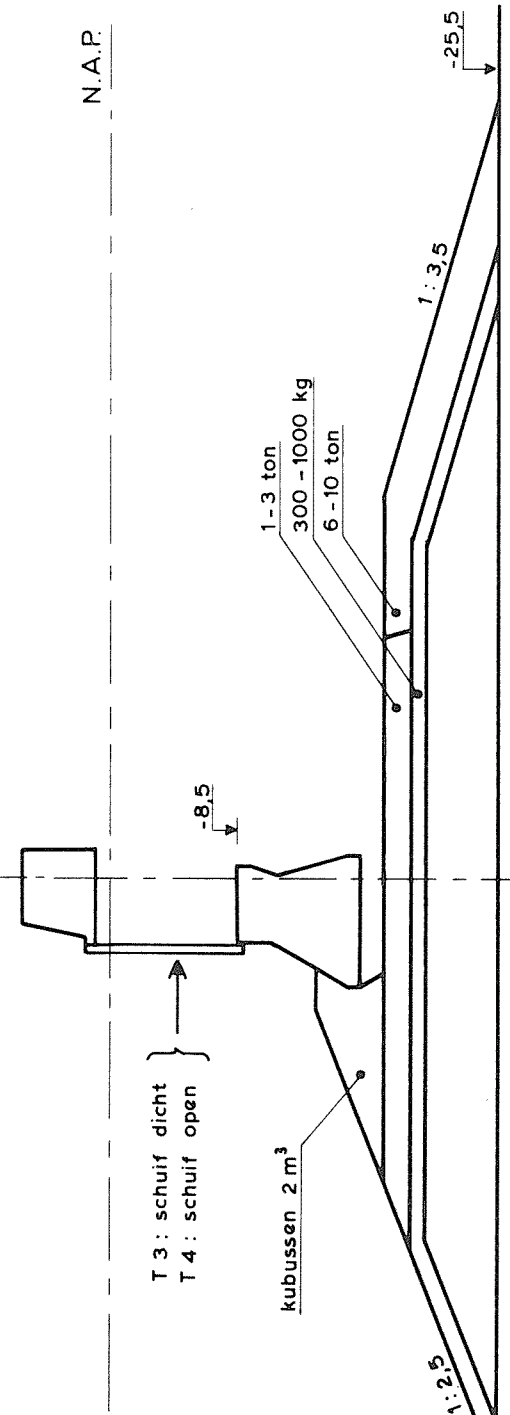
PROEFOPSTELLINGEN

N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 2

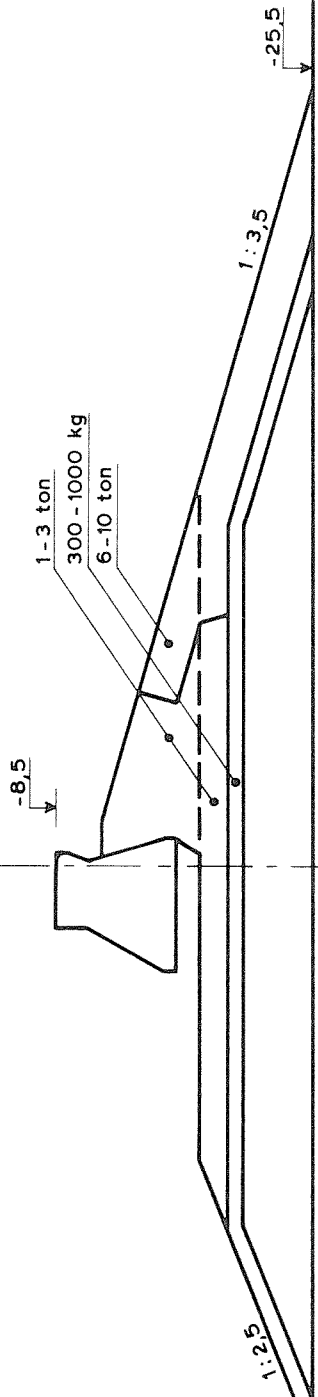
N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 3, T 4

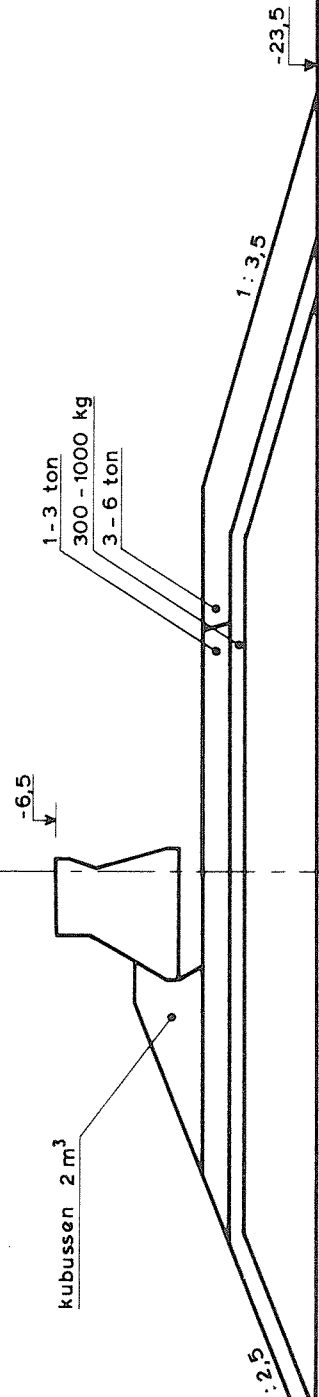
PROEFOPSTELLINGEN

N.A.P.



PROEFOPSTELLING T5

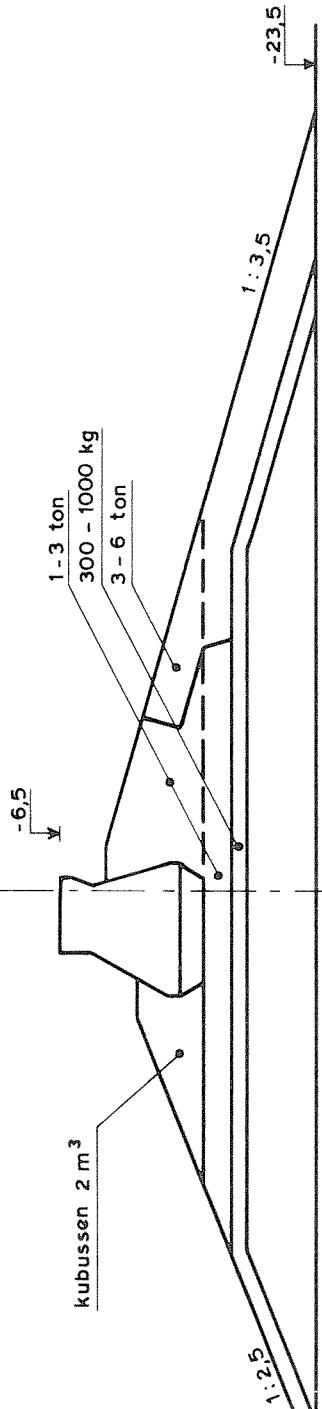
N.A.P.



PROEFOPSTELLING T6

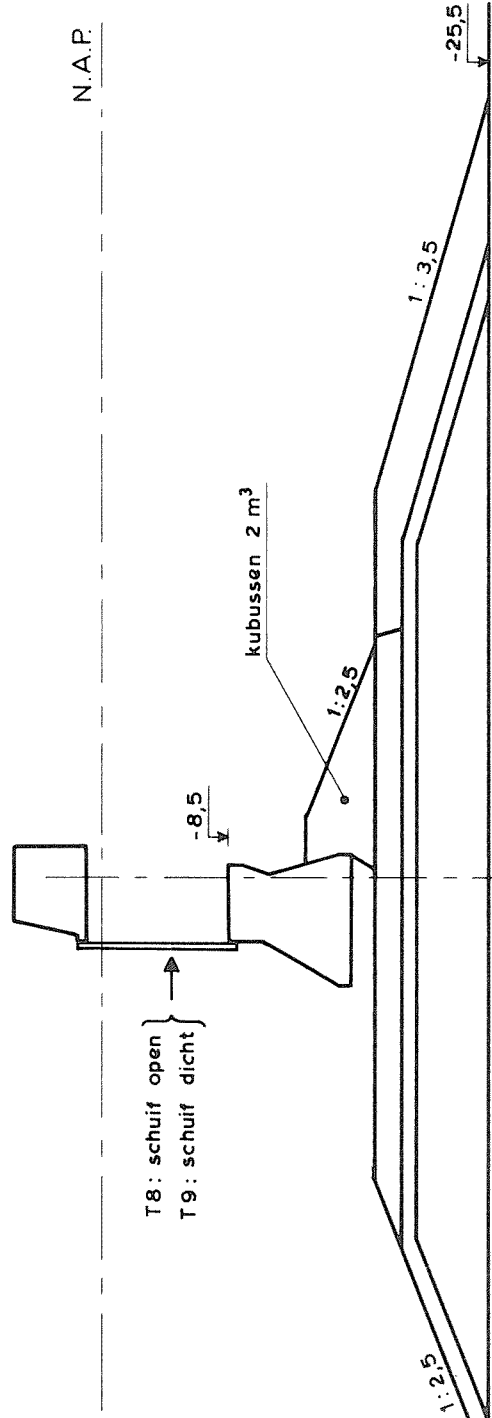
PROEFOPSTELLINGEN

N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 7

N.A.P.



PROEFOPSTELLING T 8, T 9

PROEFOPSTELLINGEN

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands