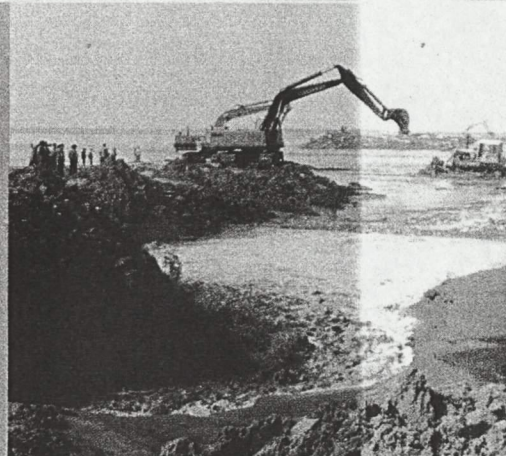
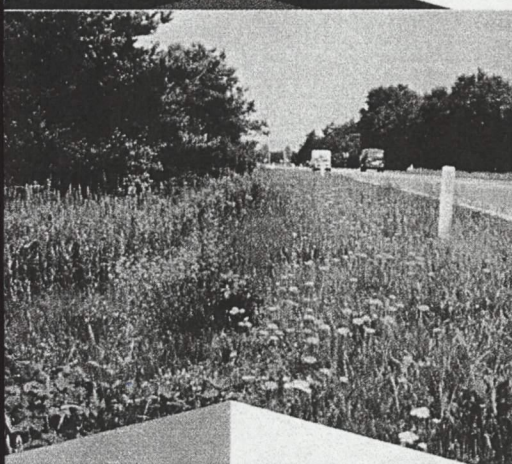
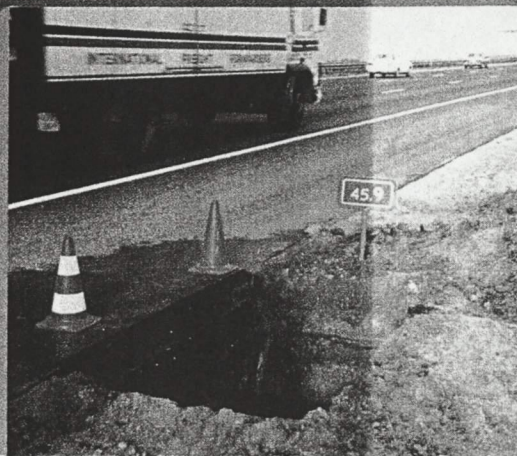


DSI 20463



dienst **weg en water** bouwkunde

07:20463

Beoordeling voorgesteld ontwerp
voor de talud- en bodembescher-
ming te Walsoorden

proj. nr. C 88.07/02

WBA-N-88138



Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Hoofdafdeling Waterbouw
Afdeling Advies
ir. J.A. Hernandez
ing. A.M.H. Buitenrust Hetteema
november 1989

INHOUD:

1. INLEIDING.	1
2. PROBLEEMSTELLING.	1
3. UITGANGSPUNTEN.	1
3.1. HYDRAULISCHE UITGANGSPUNTEN.	2
3.1.1. stroming.	
3.1.2. Windgolven.	
3.1.3. Scheepsgeïnduceerde belasting.	
3.2. MATERIAALTECHNISCHE UITGANGSPUNTEN.	5
3.2.1. Fosforslakken.	
3.2.2. Basismateriaal.	
3.3. GEOMETRISCHE UITGANGSPUNTEN.	6
4. TOETSING VOORGESTELD ONTWERP VOOR DE NIET DOOR WINDGOLVEN BELASTE ZONE.	7
4.1. TOPLAAGSTABILITEIT.	7
4.2. FILTERSTABILITEIT	8
4.2.1. Verhang a.g.v. stroming.	
4.2.2. Verhang a.g.v. scheepvaart.	
4.2.3. Filtersterkte constructie.	
4.2.4. Conclusies met betrekking tot filterstabili- teit.	
4.3. CONCLUSIES N.A.V. TOETSING.	12
5. ONTWERP EN TOETSING VAN DE CONSTRUCTIE ROND DE STILWATER- LIJN.	12
5.1. Inleiding.	12
5.2. GRONDMECHANISCHE STABILITEIT.	13
5.2.1. De teruggetrokken golf.	
5.2.2. Golfklap.	
5.2.3. Conclusies t.a.v. de grondmechanische stabili- teit.	
5.3. ONTWERP TOPLAAG.	15
5.3.1. Statisch stabiele topplaat.	
5.3.2. Dynamisch stabiele topplaat.	
5.3.3. Beheer en onderhoud constructie.	
6. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.	19

Bijlagen:

- 1 Ligging en geometrie constructie
- 2 Windstatistiek voor het beschouwde gebied
- 3 Gegevens omtrent de vaargeul
- 4 Grafische weergave filtersterkte
- 5 Schematisatie golfklapbelasting volgens "Leidraad
voor de toepassing van asfalt in de waterbouw"
- 6 Model voor de bepaling van de sterkte onder golf-
klapbelasting
- 7 Toepassingsgebied losgestorte materialen
- 8 Statische stabiliteit van breukstenen talud onder
golfaanval
- 9 Deformatie toplaag bij wisselende waterstand
- 10 Deformatie toplaag bij toepassing van verschillen-
de materialen
- 11 Overzicht mogelijke varianten

1. INLEIDING.

Te Walsoorden (Zeeuws Vlaanderen) wordt binnen afzienbare termijn op een lokatie ten zuiden van de haven een bodem- en oeverbescherming aangebracht (zie bijlage 1). Door Directie Zeeland is hiervoor een principe ontwerp gemaakt.

Bij dit ontwerp worden eventuele lokale verdiepingen in de voor- oever aangevuld met fosforslakken die direct op de zandige ondergrond aangebracht worden. De fosforslakken vormen tevens de top- laag van bestorting.

Aan de D.W.W., hoofdafdeling waterbouw is gevraagd om dit ontwerp te beoordelen en zonodig aan te vullen. Verder is ook gevraagd om in een later stadium een bredere studie te verrichten naar de in aanmerking komende constructies voor een bodembescherming onder variërende belastingscondities.

In deze nota zal alleen de toetsing van het voorgestelde ontwerp behandeld worden, dit om het eerder genoemd project te Walsoorden niet onnodig op te houden.

De mechanismen topplagstabiliteit, filterstabiliteit en grondmechanische-stabiliteit zullen in deze nota nader getoetst worden en betrokken worden op het relevante constructie onderdeel.

2. PROBLEEMSTELLING.

Voldoet de voor Walsoorden voorgestelde bodem- en oeverbeschermingsconstructie aan de hieraan te stellen eisen op hydraulisch, filtertechnisch en grondmechanisch gebied ?

3. UITGANGSPUNTEN.

Voor de beoordeling van het ontwerp zal gebruik gemaakt worden van de hierna te formuleren uitgangspunten, deze zijn in drie hoofdcategoriën te onderscheiden;

- * hydraulische uitgangspunten
- * materiaaltechnische uitgangspunten
- * geometrische uitgangspunten

De hiervoor genoemde hoofdcategoriën kunnen vervolgens weer onderverdeeld zijn.

3.1. HYDRAULISCHE UITGANGSPUNTEN.

De hydraulische uitgangspunten of randvoorwaarden zijn voor een deel direct bepaald met behulp van de verstrekte gegevens en voor een deel hiervan afgeleid. De hydraulische randvoorwaarden vallen in een drietal categorieën uiteen, te weten;

- * stroming
- * windgolven
- * scheepsgeïnduceerde belasting

3.1.1. stroming.

De volgende resultaten zijn afkomstig uit stroommetingen die op de volgende data zijn gehouden; 9 februari. 1988 (gemiddeld getij) en 3 maart 1988 (springtij). In de tabel 1 staan de resultaten vermeld.

tabel 1 stroommetingen

Dat.	T.V.	U,g	Getij
3/3	5.59	0.91	eb
9/2	4.54	0.87	eb
3/3	5.16	0.74	vloed
3/3	4.62	0.82	vloed
9/2	4.77	0.76	vloed

Hoewel het beschikbare materiaal erg summier is kunnen toch enige conclusies getrokken worden;

Het tijverschil (T.V.) heeft geen invloed op de grootte van de gemiddelde snelheid (over de verticaal)

Er is een significant verschil tussen een eb en een vloed stroomkentering, de stroomsnelheden bij eb zijn groter

Gezien het betrekkelijk gering aantal waarnemingen wordt voorgesteld om een toeslagfactor van 1.5 op de stroomsnelheid te nemen. Met deze toeslagfactor worden factoren als spreiding in de metingen, tij-verschillen en op- en afwaaiingen verdisconteerd.

Als ontwerpstroomsnelheid wordt dan genomen:

$$U_1 = 1.5 \times 0.91 = 1.4 \text{ m/s}$$

3.1.2. Windgolven.

Met behulp van de windstatistiek voor Vlissingen (zie bijlage 2) en uitgaande van de voor dit gebied maatgevende windrichting (Noord $\pm 30^\circ$) kan de overschrijdingskans van een zekere windsnelheid m.b.v. een Weibull-verdeling beschreven worden, met als beschrijvende parameters $k = 2.0$ en $a = 5.5$. In bijlage 2c wordt deze grafisch weergegeven.

Vervolgens is een op de Bretschneider-formules gebaseerd golf-groeimodel gebruikt voor de bepaling van de windgolf als functie van de bodemgeometrie, windsnelheid en waterstand.

Gezien de opbouw van de constructie (wordt doorgetrokken tot ongeveer de gemiddelde Lag-Waterstand) behoeven alleen waterstanden in het normale getij (dood tij t/m spring tij) beschouwd te worden. De gegevens van tabel 2 zijn ontleend aan de 'Getijtafels voor Nederland' voor Hansweert.

tabel 2 waterstanden

Dood Tij	Gemid. Tij	Spring Tij
h.w. l.w.	h.w. l.w.	h.w. l.w.
1.88 -1.78	2.35 -2.12	2.68 -2.35

De storm (uit het noorden) en de waterstand worden als onafhankelijk beschouwd.

In tabel 3 worden significante golfhoogte en periode bepaald als functie van windsnelheid en waterstand.

tabel 3 golfhoogten en perioden

WS NAP	W m/s	Hs m	T s
-2m	10	0.53	2.71
	12	0.65	2.97
	14	0.76	3.21
	16	0.88	3.42
NAP	10	0.53	2.73
	12	0.65	3.00
	14	0.77	3.24
	16	0.90	3.46
+2 m	10	0.53	2.75
	12	0.66	3.02
	14	0.78	3.26
	16	0.91	3.48

Uit tabel 3 blijkt dat de golfhoogte en periode niet erg gevoelig zijn voor de waterstand, echter wel voor de windsnelheid.

Met behulp van bijl. 2 wordt de overschrijdingskans van de windsnelheid komende uit de Noord-richting bepaald.

Hieruit blijkt dat gemiddeld gesproken de kans dat een windsnelheid van 16 m/s gedurende 2 uur wordt overschreden op circa 2/20 $\approx$ 1 maal per 10 jaar. De bijbehorende hydraulische belasting kan als volgt omschreven worden:

$$* H_s = 0.9 \text{ m}$$

$$* T = 3.5 \text{ s}$$

3.1.3. Scheepsgeïnduceerde belasting.

Uit de door Directie Zeeland verstrekte gegevens met betrekking tot de scheepvaart worden de volgende scheepstypen als maatgevend genomen;

Type 1 : Massagoedschip : $L = 300 \text{ m}$
 $B = 50 \text{ m}$
 $T = 15 \text{ m}$
 $V_s = 6.2 \text{ m/s}$

Type 2 : 3'-gener. Containerschip
 $L = 290 \text{ m}$
 $B = 33 \text{ m}$
 $T = 13 \text{ m}$
 $V_s = 7.2 \text{ m/s}$

Voor toekomstige, nog grotere schepen zal de vaargeul aangepast moeten worden. Dit is zo ingrijpend dat dit aspect van schaalvergroting in deze nota verder buiten beschouwing zal blijven. De vaargeul wordt ten behoeve van nadere berekeningen als volgt geschematiseerd (zie ook bijlage 3);

Breedte op bodem $B_b = 500 \text{ m}$
 Taludhellingen $1 : 10$
 Waterdiepte $h = 17 \text{ m}$

Ten aanzien van de positie van schip t.o.v. de as van de geschematiseerde vaargeul wordt aangenomen dat deze maximaal 2 x de maximale scheepsbreedte bedraagt (max. 100 m) dit komt ongeveer overeen met een positie op ongeveer 50 m van de vaargeul markerings boei (volgens bijlage 3b).

Met behulp van de in het fundamenteel onderzoek naar de aantasting van vaarwegen (M 1115) afgeleide relaties worden enige van belang zijnde hydraulische parameters bepaald.

Deze parameters zijn; de snelheid nabij de bodem a.g.v. de schroefstraal, het gem. verhang in de haalgolf en het gemiddeld verhang in de frontgolf. Deze verschijnselen treden met name rondom het schip op en zijn van belang voor de dimensionering van de constructie. In tabel 4 worden deze parameters vermeld.

De andere parameters (zoals bijv. de haalgolf, retourstroom en secundaire scheepsgolven) die zich t.a.v. de constructie manifesteren rond de oeverlijn worden gezien de grootte van de waterloop als "uitgedempt" beschouwd.

tabel 4 scheepswaterbewegingen

Type -	U_b m/s	I_{hg} -	I_{fg} -
1	0.75	0.016	0.039
2	0.34	0.033	0.041

U_b = bodem stroming

I_{hg} = verhang haalgolf

I_{fg} = verhang frontgolf

3.2. MATERIAALTECHNISCHE UITGANGSPUNTEN.

De hier te beschouwen materialen zijn;

filtermateriaal (fosforslakken)

basismateriaal

De voor de uit te voeren berekeningen meest relevante materiaaltechnische parameters worden hier behandeld, te weten karakteristieke diameters, soortelijk gewicht, porositeit en hoek van inwendige wrijving.

3.2.1. Fosforslakken.

De te gebruiken fosforslakken zijn afkomstig van de firma Hoechst te Vlissingen en kunnen in twee sorteringen geleverd worden;

- tout venant
- 40 / 200 mm

Gezien de toepassing als filtermateriaal wordt hier gekozen voor de sortering 'tout-venant'. Deze sortering wordt als volgt gekarakteriseerd;

D_{15} = 15 mm

D_{50} = 35 mm

D_{85} = 80 mm

Het soortelijk gewicht van fosforslakken bedraagt gemiddeld 2700 kg/m³.

De porositeit van fosforslakken onder de hier toe te passen omstandigheden (storten vanaf oppervlak, geen verdichting) wordt hier op 40 % gesteld ($n = 0.40$).

Fosforslakken zijn grillig van vorm en hebben als zodanig een vrij grote haakweerstand, gesteld kan worden dat de hoek van inwendige wrijving 45° bedraagt ($\phi = 45^\circ$).

3.2.2. Basismateriaal.

In de omgeving van het te maken werk zijn twee grondmonsters over de diepte gestoken en nader geanalyseerd, de resultaten worden hier verkort weergegeven.

Beide monsters kunnen als zand bestempeld worden met een gemiddelde diameter die enigszins diepte afhankelijk is.

tabel 5 resultaten bodemonsters

Monster nr.	Diepte (m NAP)	D50 μm
1	-3.7	135
	-7.4	150
	-15.5	205
	-19.4	205
2	-1.5	87
	-3.6	98
	-7.4	230
	-11.7	260
	-14.4	190
	-18.7	192
	-24.8	175
	-26.8	195

Gezien deze resultaten zal in de verdere analyses (daar waar het relevant is) de range 150 - 200 μm onderzocht worden, dit geldt met name voor de filterstabiliteit. Verder kan ook geconcludeerd worden dat er op geringe diepte sprake is van zeer fijn materiaal. Dit is van belang bij de toetsing van de constructie rond de Stil Water lijn.

Exacte gegevens omtrent soortelijk gewicht, porositeit en hoek van inwendige wrijving van het bodemmateriaal ontbreken, uitgegaan zal worden van de volgende waarden;

soortelijk gewicht zand : 2650 kg/m³
 porositeit zand : 0.4
 hoek van inw. wrijving : 35°

3.3. GEOMETRISCHE UITGANGSPUNTEN.

Aan de hand van de verstrekte gegevens wordt aangenomen dat de maximaal te realiseren taludhelling 1 : 3 bedraagt. Het talud wordt zowel naar boven als naar beneden begrensd door hellingen die minder steil verlopen (of praktisch vlak zijn).

De gehele omgeving kan globaal als volgt geschematiseerd worden;

teen van de dijk : N.A.P. tot -0.5 m
 vooroever (zeer flauw verlopend) tot : N.A.P. -2 à -3 m
 bovenbegrenzing bestorting : N.A.P. -2 à -3 m
 onderbegrenzing bestorting : N.A.P. -20 m

4. TOETSING VOORGESTELD ONTWERP VOOR DE NIET DOOR WINDGOLVEN BELASTE ZONE.

In dit hoofdstuk wordt het voorgestelde ontwerp getoetst op de volgende mechanismen;

toplaagstabiliteit voorgestelde constructie

filterwerking voorgestelde constructie

De mechanismen toplaagstabiliteit en filterstabiliteit hebben betrekking op het permanent onder water gelegen deel van de constructie. De grondmechanische stabiliteit is juist van belang in de zone waar golfwerking optreedt. De dimensionering van de toplaag onder golfaanval wordt in het volgende hoofdstuk gedaan.

4.1. TOPLAAGSTABILITEIT.

Voor de bepaling van de toplaagstabiliteit onder stroombelasting wordt gebruik gemaakt van Shields;

$$(k \times U)^2 = C^2 \times \tau \times \delta \times D_{50} \times K_1$$

waarbij

k factor die verstoring van het stroombeeld weergeeft t.o.v. de ongestoorde, eenparige toestand
 $k = 1.0 \rightarrow$ eenparige, vlakke stroming
 $k \approx 1.3 \rightarrow$ zeer turbulente stroming (o.a. woelbak)

U gemiddelde stroomsnelheid over de verticaal

C Chezy factor

τ Shields parameter

δ relatieve dichtheid toplaagmateriaal

D_{50} gemiddelde diameter toplaag

K_1 taludfactor

In onderstaande tabel wordt een samenvatting van de verschillende uitgevoerde berekeningen gegeven. Als uitgangspunten hiervoor zijn gehanteerd;

$\tau = 0.032$ (er wordt geen transport van materiaal toegelaten)

$\delta = 1.7$ ($\delta = \frac{\rho_{\text{steen}}}{\rho_{\text{water}}} - 1 = 2700 / 1000 - 1 = 1.7$)

$\Phi = 45^\circ$ (hoek van inwendige wrijving fosforslakken)

$D_{50} = 35 \text{ mm}$

Verder zijn de berekeningen voor 2 waterdiepten uitgevoerd, te weten 10 en 15 m. De waterdiepte van 10 m is representatief voor de ondiepe lokaties, hoewel getwijfeld moet worden aan het feit of de hoge stroomsnelheden (bepaald in de geul) hier ook op treden. Voor waterdiepten kleiner dan 10 m wordt de snelheid nog lager en is als zodanig niet meer maatgevend voor de topplaagstabiliteit. De waterdiepte van 15 m is representatief voor de diepe lokaties.

Ook is er gekeken naar de invloed van de verstoring van het eenparig stroombeeld op de toelaatbare stroomsnelheid als van de voorgestelde fosforslakken (sortering 'tout-venant') wordt uitgegaan.

tabel 6 UITERST TOELAATBARE STROOMSNELHEID u (m/s)

h	k-factor			
	1.0	1.1	1.2	1.3
10 m	2.40	1.99	1.67	1.42
15 m	2.53	2.09	1.76	1.50

Als er vervolgens naar de bodemgeometrie op de voorgestelde lokatie wordt gekeken kan gesteld worden dat de verstoring van het stroombeeld vrij gering zal zijn, geadviseerd wordt om toch een waarde van 1.1 aan te houden.

Bij vergelijking van de uiterst toelaatbare stroomsnelheid met de voorgestelde maatgevende reken-stroomsnelheid van 1.4 m/s wordt een veiligheidsfactor gevonden van;

$$f = 1.42 \quad (\text{bij } h = 10 \text{ m})$$

$$f = 1.49 \quad (\text{bij } h = 15 \text{ m})$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de uit fosforslakken bestaande top laag voldoende stabiel is voor stroomerosie onder de geformuleerde uitgangspunten. De top laagstabiliteit onder golfaanval wordt, gezien het complexere karakter, apart in hoofdstuk 5 behandeld.

4.2. FILTERSTABILITEIT.

Doordat de fosforslakken direct op het bodemmateriaal worden aangebracht, zonder dat er sprake is van een tussenlaag in de vorm van bijv. een geotextiel, moet de filterfunctie door de fosforslakken zelf vervuld worden. Gezien de belastingen kan gesteld worden dat een geometrisch dicht filter (een geometrisch dicht filter is een filter waar het basismateriaal, gezien zijn korrelafmetingen, niet door het filter materiaal kan komen) hier niet nodig is. Een geometrisch dicht filter moet pas toegepast worden op plaatsen waar zeer grote verhangen ($i \geq 0.5$) over het filter optreden.

De keuze voor een niet-geometrisch dicht filter houdt wel in dat de filterstabiliteit een functie wordt van zowel de geometrische parameters als van de hydraulische belasting.

De hydraulische belasting op het filter valt uiteen in drie onderdelen, te weten;

- * de belasting op het grensvlak tussen basis- en filtermateriaal a.g.v. de overtrekkende stroom
- * de belasting op het grensvlak tussen basis- en filtermateriaal a.g.v. de scheepsgeïnduceerde belasting
- * de belasting op het grensvlak tussen basis- en filtermateriaal a.g.v. de windgolf

De belasting op het filter a.g.v. windgolven rondom de stilwaterlijn is vrij complex en stelt bijzondere eisen. Dit wordt in hoofdstuk 5 behandeld.

De hydraulische belasting moet, om vergeleken te kunnen worden met de sterkte van de constructie omgezet worden in een verhang evenwijdig aan het talud.

4.2.1. Verhang a.g.v. stroming.

Voor de bepaling van het verhang bij stroom kan gebruik gemaakt worden van de formule van Chezy;

$$U = C \sqrt{h \times i}$$

Omgeschreven naar het verhang luidt deze;

$$i = \frac{U^2}{C^2 h} = \frac{(1.37)^2}{\{ 18 \log [12 \times 10 / (2 \times 0.035)] \}^2 \times 10}$$

$$i = 0.003$$

Gezien onzekerheden t.a.v. de schematisatie van de stroming en o.a. lokale oneffenheden in de bodem wordt voorgesteld om een factor 2 op het bepaalde verhang te zetten, hiermee komt het parallel verhang a.g.v. stroming op 0.006.

$$i_{str} = 0.006$$

4.2.2. Verhang a.g.v. scheepvaart.

De in paragraaf 3.1.3. vermelde verhangen kunnen hier gebruikt worden. Opgemerkt moet worden dat;

Deze verhangen gelden voor de meest zwaar aangevallen lokaties rondom het schip

De resultaten zijn afgeleid voor waterlopen met beperkte afmetingen (kanalen)

De spreiding onbekend is (minder zwaar aangevallen lokaties)

Dit alles in beschouwing nemende kan geconcludeerd worden dat onderstaande verhangen als een maximum gezien moeten worden.

tabel 7 snelheid en verhang a.g.v. scheepvaart

Type schip	U _b m/s	I _{hg} -	I _{fg} -
1	0.75	0.016	0.039
2	0.34	0.033	0.041

Als maatgevend parallel verhang a.g.v. scheepvaart word 0.04 aangehouden.

$$i_{sch} = 0.04$$

4.2.3. Filtersterkte constructie.

In het kader van het fundamenteel onderzoek naar het gedrag van gezette dijkbekledingen zijn relaties ontwikkeld voor de berekening van de 'sterkte' van een filter constructie (M1795 deel XXI: Ontwerpregels voor het filter).

De 'sterkte' (eigenlijk de bepaling van een kritiek parallel verhang) wordt bepaald uit geometrische- en materiaaltechnische parameters. Het zo verkregen kritiek verhang moet vervolgens vergeleken worden met het optredend verhang.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 3 opgestelde uitgangspunten.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van zowel de invoer parameters als de verkregen resultaten.

Invoer grootheden

Porositeit filterlaag : $n_f = 0.4$

Porositeit basismater.: $n_b = 0.4$

Taludhelling (1:m) : $m = 3$

Relatieve dichtheid : $\delta = 1.7$

Viscositeit water : $\eta = 1.2 \times 10^{-4}$

D_{15} - filter : $D_{15} = 15 \text{ mm}$

tabel 8 BEPALING KRITIEK PARALLEL VERHANG

d50 µm	$i_{\perp}$ -	$i_{krit.}$ -
150	0	0.038
175	0	0.040
200	0	0.041
150	0.05	0.035
175	0.05	0.038
200	0.05	0.039

* opmerkingen n.a.v. bepaling filtersterkte

Als loodrecht verhang ($i_{\perp}$) op het grensvlak is gerekend met 0 en 0.05, deze laatste waarde is gekozen om de gevoeligheid hiervoor te toetsen, er is echter geen aanleiding om een van 0 afwijkende waarde te kiezen

Het resultaat van het uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek naar de filtersterkte laat zien de vermelde invoergrootheden als maatgevend gezien moeten worden.

4.2.4. Conclusies met betrekking tot filterstabiliteit.

Ten aanzien van de filterstabiliteit, m.u.v. de zone rond de stilwaterlijn (die hier niet in de beschouwing is meegenomen) kan geconcludeerd worden dat het optredend verhang bij stroming ($i_{str} = 0.006$) een orde lager ligt dan het kritieke verhang ($i_{krit} = 0.04$).

Bij scheepvaart is het optredend verhang ($i_{sch} = 0.04$) praktisch gelijk aan het kritieke verhang, dit is echter alleen van toepassing voor die lokaties waar de schepen mogelijk overheen zouden varen. Andere (verder verwijderd) lokaties worden a.g.v. belastingspreiding veel minder zwaar belast. Het is op dit moment echter nog niet mogelijk om dit te quantifiseren. Uit bijlage 3b kan geconcludeerd worden dat de schepen hooguit tot aan de rand van de bodembescherming komen en dit slechts ingeval van een ontmoeting ter plaatse waarbij a.g.v. snelheidsvermindering van de schepen een minder zware belasting optreedt.

Ook het feit dat de bodem ter plaatse van dit ontmoetingspunt vlak is geeft een extra sterkte aan de filter constructie (zie bijlage 4).

4.3. CONCLUSIES N.A.V. TOETSING.

In dit hoofdstuk is de door Directie Zeeland voorgestelde constructie getoetst op een tweetal faalmechanismen, te weten; top-laagstabiliteit en filterwerking. Het bleek echter noodzakelijk te zijn om onderscheid te maken tussen de constructie rond de waterlijn en die daaronder.

De in dit hoofdstuk beschreven toetsing heeft alleen betrekking op de dieper gelegen constructie. Ten aanzien hiervan kan gesteld worden dat de voorgestelde constructie voldoet aan de gestelde eisen.

5. ONTWERP EN TOETSING VAN DE CONSTRUCTIE ROND DE STILWATERLIJN.

5.1. Inleiding.

Gezien het feit dat verwacht mag worden dat de constructie in elke getij-cyclus mogelijk belast kan worden door windgolven (a.g.v. van een optredende storm) moet de stabiliteit van de constructie onder windgolfbelasting nader onderzocht worden. Dit stabiliteitsonderzoek valt in twee delen uiteen, te weten;

- * de grondmechanische stabiliteit onder windgolfbelasting
- * het ontwerpen van de toplaag onder windgolfbelasting

De grondmechanische stabiliteit van de constructie is van groot belang, met name in de zone rond de Stil-Water lijn. In deze zone ontstaat een verval a.g.v. de snel veranderende buitenwaterstand bij golf-terugloop ('run-down') en het feit dat de grondwaterstand dit niet zo snel kan volgen. Verder is ook in deze zone de stabiliteit van het grondlichaam onder golfklap belasting van belang.

Voor het ontwerp van de toplaag constructie zijn er twee principe oplossingen mogelijk, te weten;

- * statisch stabiele toplaag
- * dynamisch stabiele toplaag

Het verschil tussen beide principe oplossingen is met name gelegen in het al dan niet toelaatbaar achten van verplaatsing van toplaag materiaal onder windgolfbelasting.

Een op statische stabiliteit ontworpen toplaag bestaat uit zwaarder materiaal, maar behoeft daarentegen weinig onderhoud of inspectie.

Een op dynamische stabiliteit ontworpen toplaag is daarentegen in 'beweging' als deze belast wordt tijdens stormcondities. Het vervormde profiel is qua krachtenverdeling juist in evenwicht met de optredende belasting. Een dergelijke constructie moet vaker geïnspecteerd worden, ook zal deze constructie wat vaker onderhoud (eventueel bijstorten van toplaag materiaal) nodig hebben.

5.2. GRONDMECHANISCHE STABILITEIT.

In de zone waar de voorgestelde constructie wordt beëindigd en overgaat in de vooroever (op een diepte van gem. laag-water) vindt ook tevens de golfaanval plaats.

Aan de hand van het Grondmechanica Delft rapport CO-286010/4 : "De Grondmechanische Stabiliteit van Steenzetting constructies" zal de stabiliteit getoetst worden. Hiertoe worden de volgende veronderstellingen gedaan;

- * De toplaagdoorlatendheid is t.o.v. de doorlatendheid van het basismateriaal zeer groot
- * De toplaag wordt niet gesteund, dit houdt in dat deze een zekere schuifspanning op het basismateriaal overbrengt
- * Het basismateriaal is een zogeheten Φ -materiaal. Dit is een niet cohesief materiaal (dit is correct voor zand)

De volgende situaties zijn voor de te beschouwen grondmechanische stabiliteit van belang;

- * De teruggetrokken golf
- * De golfklap

5.2.1. De teruggetrokken golf.

Het meest kritieke punt van het talud bij een teruggetrokken golf is net boven de buitenwaterspiegel gelegen (dit komt overeen met het golf-terugloop punt).

Voor het geval van een volledig doorlatende toplaag ontstaat het volgende stroombeeld;

Onderaan het talud, net boven de buitenwaterspiegel, zal het water ongeveer horizontaal uit het talud treden.

Halverwege tussen freatische lijn en de buitenwaterstand zal de stroming nagenoeg evenwijdig aan het talud plaatsvinden.

Voor beide situaties zijn eisen af te leiden waaraan voldaan moet worden, deze luiden;

$$\text{horizontale stroming : } \alpha \leq \frac{\rho'}{\rho} * \Phi$$

$$\text{evenwijdige stroming : } \text{tg } \alpha \leq \frac{\rho'}{\rho} * \text{tg } \Phi$$

waarbij

- α taludhelling (18.4°)
- ρ' onderwater gewicht grond (10.2 kN/m^3)
- ρ nat gewicht grond (20.2 kN/m^3)
- Φ hoek van inwendige wrijving (35°)

$$\text{horizontale stroming : } \alpha \leq 0.505 * \Phi = 17.7^\circ (1:3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{evenwijdige stroming : } \text{tg } \alpha &\leq 0.505 * \text{tg } \Phi \\ \alpha &\leq 19.5^\circ (1:2.8) \end{aligned}$$

De voorgestelde taludhelling bedraagt 1:3, dit voldoet niet aan de gestelde eis t.a.v. horizontale afstroming. Echter gezien de marges (eis 1:3.1, voorstel 1:3) kan gesteld worden dat de voorgestelde taludhelling acceptabel is. Een betere oplossing is echter wel een taludhelling van 1:3.5 (dit verschil in taludhelling is wel te maken) over de bovenste 2 m, waar de belasting zich kan concentreren.

5.2.2. Golfklap.

De belasting a.g.v. de golfklap op het talud wordt bepaald conform de T.A.W. leidraad "Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw" (zie ook bijl. 5).

$$\text{maximale drukstoot : } s' = \rho_v \times g \times q \times H$$

bij een talud 1:3 geldt $q = 2.7$

als golfhoogte wordt 1.0 m aangehouden

de maximale drukstoot bedraagt : $s' = 27 \text{ kN/m}^2$

de geschematiseerde breedte waarover de maximale drukstoot werkt; $b = 0.4 H = 0.4 \text{ m}$

De brekende golf treft het talud op een afstand h onder de stilwaterspiegel, deze afstand is taludafhankelijk, voor een talud 1:3 wordt gevonden; $h = 0.3 H = 0.3 \text{ m}$

De 'sterkte' kan met behulp van de vergelijking van Brinch Hansen voor een Φ -materiaal bepaald worden;

$$S = (N - 1) \cdot (q - \rho_v \cdot h) + N \cdot \frac{1}{2} b \cdot \rho_s$$

waarbij

N_s 33.3 voor $\phi = 35^\circ$

N_v 33.9 voor $\phi = 35^\circ$

ρ_s onderwater gewicht grond (10.2 kN/m^3)

ρ_v gewicht water (10 kN/m^3)

$$S = 58 \text{ kN/m}^2$$

De constructie wordt als voldoende veilig beschouwd als belasting en sterkte qua grootte een orde verschillend, in dit geval bedraagt dit verschil;

$$f = S / s' = 58 / 27 = 2.1$$

In die gevallen waarin getwijfeld wordt aan de grondmechanische stabiliteit van de constructie onder golfklap belasting kan gebruik gemaakt worden de methodiek zoals beschreven in eerder genoemd G.D. rapport. Met behulp van deze methodiek wordt een top laagdikte bepaald waarmee de benodigde sterkte wel gehaald kan worden. In bijlage 6 wordt e.e.a. nader toegelicht, het resultaat van een dergelijke berekening is;

$$d_1 \geq 0.56 \text{ m}$$

Omerekend naar een gewicht per m^2 voor fosforslakken bedraagt deze eis;

$$G \approx 900 \text{ kg/m}^2$$

5.2.3. Conclusies t.a.v. de grondmechanische stabiliteit.

In deze paragraaf is de grondmechnische stabiliteit van de voorgestelde constructie in de getijzone getoetst aan een tweetal bezwijkmechanismen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de voorgestelde taludhelling in deze zone iets te steil is in het geval van uittredend grondwater. Echter gezien de grootte wordt dit acceptabel geacht.

Om stabiel te zijn onder golfklap belasting moet de top laagdikte minstens 0.56 m bedragen wat overeenkomt met een gewicht van 900 kg/m^2 .

5.3. ONTWERP TOPLAAG.

Zoals gesteld zijn er twee principe oplossingen om de top laag te ontwerpen, deze zijn;

- * statisch stabiele top laag
- * dynamisch stabiele top laag

In bijlage 7 wordt een overzicht gegeven van constructies die volgens een van beide principes zijn gedimensioneerd. Als beschrijvende parameter hiervoor wordt gekozen $(H_1/\delta D_1)$.

Het voornaamste verschil tussen beide methodieken is gelegen in het al dan niet toestaan van beweging van het top laag materiaal. Wordt er gekozen voor een statisch stabiele top laag dan wordt verondersteld dat elke steen die verplaatst geen bijdrage meer levert aan de sterkte van de constructie. In het geval er gekozen wordt voor een dynamische stabiele top laag is verplaatsing van materiaal wel toelaatbaar.

De grens tussen beide methodieken kan globaal getrokken worden tussen de volgende waarden;

$$\begin{aligned} \text{statisch stabiele top laag} &: (H_1/\delta D_1) \leq \text{ca. } 4 \\ \text{dynamisch stabiele top laag} &: 7 \leq (H_1/\delta D_1) \leq \text{ca. } 20 \end{aligned}$$

In de hierna volgende paragrafen worden de resultaten van dergelijke berekeningen gepresenteerd.

Tevens worden de consequenties behandeld t.a.v. beheer en onderhoud in relatie tot de keuze van een bepaalde principe variant.

5.3.1. Statisch stabiele top laag.

In bijlage 8 wordt een overzicht gegeven van de benodigde steendiameter onder golfaanval. Uitgangspunten voor de uitgevoerde berekeningen zijn;

H_s	: 0.9 m
T_s	: 3.5 s
Talud	: 1:3
ρ	: 2700 kg/m ³
ρ_{steen}	: 1023 kg/m ³
P_{water}	: 0.4
N	: 2000 golven

De hydraulische randvoorwaarden zijn conform de afgeleide randvoorwaarden voor de meest ongunstige situatie, evenals de materiaalparameters.

Uitgangspunt voor de keuze van een bepaalde sortering is dat er geen schade wordt geaccepteerd, dit impliceert een schade factor van maximaal 3 (S in bijl. 8).

Verder is het aantal golven op 2000 gesteld wat overeenkomt met een normale stormduur, opgemerkt moet worden dat de invloed van deze parameter op de benodigde steendiameter gering is.

De doorlatendheidsparameter (P) wordt op 0.4 gesteld. Bij een statisch stabiele top laag moet ervoor gezorgd worden dat de top laag niet deformeert a.g.v. erosie (transport) van het basismateriaal. Dit kan gerealiseerd worden door het aanbrengen van een filterlaag onder de breukstenen top laag. Dit type constructie heeft een P-waarde van 0.4.

Dit resulteert in de volgende, statisch stabiele, top laagconstructie;

nom. diam.:	$D_s = 0.23$ m
sortering	: 10 - 60 kg
dikte	: $2 D_s = 0.46$ m
gewicht	: 750 kg/m ²
toepassing:	tussen vooroever en $\pm$ NAP -4 m
filterlaag:	keuze tussen - geotextiel - granulair filter

Het verder optimaliseren van deze constructie heeft om tweeërlei redenen weinig zin.

Ten eerste volgt uit de berekeningen dat hoogstens één sortering lichter (5 - 40 kg) acceptabel is, echter gezien de materiaalafmetingen ($D_s = 0.19$ m) is het niet waarschijnlijk dat de top laagdikte beduidend kleiner uitgevoerd kan worden (vanuit een uitvoeringstechnisch oogpunt). Hierdoor wordt een evt. besparing op het materiaal weer teniet gedaan.

Ten tweede kan gesteld worden dat er bij een lichtere sortering lokaal weer meer geconcentreerde schade kan optreden, met als gevolg meer onderhoud.

Vervolgens is in bijlage 10 de invloed onderzocht van het steengewicht op de vervormingen. De volgende materialen zijn hiervoor onderzocht:

* fosforslakken : 'tout-venant' - $D_1 = 35 \text{ mm}$
40 - 200 mm - $D_1 = 55 \text{ à } 100 \text{ mm}$
* breuksteen : 80 - 200 mm - $D_1 = 110 \text{ à } 150 \text{ mm}$

Voor de berekeningen zijn deze materialen als volgt geschematiseerd:

mat. 1	$D_1 = 35$ mm	(tout-venant)
mat. 2	$D_1 = 70$ mm	(40 - 200 mm)
mat. 3	$D_1 = 100$ mm	(80 - 200 mm)

Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

De vervormingen bij toepassing van fosforslakken 'tout-venant' zijn acceptabel, er dient echter een lagdikte toegepast worden van ongeveer 1.3 m over ongeveer 2 m hoogte vanaf de bovenbeëindiging, dit om te voorkomen dat a.g.v. deformatie het basismateriaal onbedekt komt te liggen, de voorgestelde laagdikte komt overeen met een gewicht van 2100 kg/m²

Het toepassen van de fosforslakken 40-200 mm in de bovenste zone levert een aanzienlijke besparing op qua laagdikte (0.6 m wat overeenkomt met 970 kg/m², eveneens over 2 m vanaf de bovenbeëindiging), verder zijn ook de vervormingen van het profiel veel geringer

Het toepassen van lichte breuksteen levert eigenlijk weinig extra winst meer op qua laagdikte t.o.v. de zwaardere fosforslakken, met als nadeel dat er een tweede materiaal in de constructie over een bepaald oppervlak toegepast moet worden

5.3.3. Beheer en onderhoud constructie.

In de voorgaande paragrafen is een tweetal principe varianten voor de toplaagconstructie besproken. De gevolgen van een zekere keuze voor het beheer en onderhoud zullen hier besproken worden.

STATISCH STABIELE TOPLAAG

Als er gekozen wordt voor een statisch stabiele toplaag is er in wezen weinig onderhoud aan de constructie te verwachten. Er moet echter gewaakt worden voor ondermijning van de toplaag vanaf de onverdedigde vooroever. In dit geval mag de overgang verdedigd talud - vooroever niet aangetast worden omdat hiermee indirect de standvastheid van de constructie in gevaar komt (bij voortschrijdende erosie wordt het filter (doek of granulair) aangetast en verliest in deze zone zijn functie, dit komt tot uitdrukking in deformatie van de toplaag hetgeen ontoelaatbaar is).

Concluderend kan gesteld worden dat er wat de toplaag aangaat weinig onderhoud is te verwachten maar dat de vooroever en met name de overgang naar het talud regelmatig geïnspecteerd moet worden.

DYNAMISCH STABIELE TOPLAAG

In het geval er gekozen wordt voor een dynamisch stabiele toplaag zijn er in principe nog 2 mogelijkheden, te weten;

- * fosforslakken 'tout-venant'
- * fosforslakken 40 - 200 mm (deze laatste sortering kan uit de eerder genoemde sortering verkregen worden door deze volgens vastgestelde normen te zeven)

In het geval van de sortering 'tout-venant' zijn de vervormingen van de toplaag groter en moet er voor gewaakt worden dat er geen materiaal verloren gaat doordat het materiaal ofwel op de vooroever terecht komt of door stroming wordt meegevoerd (individuele stenen die bijv. aan de rand liggen).

Bij toepassing van de sortering 40-200 mm zijn weliswaar de vervormingen geringer maar ook de toegepaste laagdikte is kleiner. Dit houdt in dat er ook bij toepassing van deze sortering erop toegezien moet worden dat er weinig verlies van materiaal optreedt.

In beide gevallen moet rekening worden gehouden met het periodiek bijstorten van materiaal (bijv. als in een winterseizoen er relatief veel stormen uit het Noorden zijn voorgekomen).

Ook bij het toepassen van een dynamisch stabiele toplaag moet gewaakt worden voor ondermijning vanaf de onverdedigde vooroever zijde. Echter gezien het dynamische karakter van de toplaag en het ontbreken van een ondergelegen filterlaag is hier enige aantasting wel toelaatbaar. Maar ook bij deze constructies geldt dat de vooroever regelmatig geïnspecteerd moet worden.

CONCLUSIES

Het grote verschil tussen een constructie waarbij de topplaag statisch stabiel is en eenzelfde constructie met een dynamisch stabiele topplaag is gelegen in de inspectie en instandhouding van de overgang tussen de onbeschermde vooroever en de taludverdediging. In het geval van de statisch stabiele topplaag is de aantasting van deze overgang niet toelaatbaar in het andere geval wel.

Verder moet opgemerkt worden dat in het geval de topplaag dynamisch stabiel is er rekening moet worden gehouden met een groter verlies aan topplaag materiaal dan in het geval van een statisch stabiele topplaag.

6. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.

In deze nota is met name het door de Directie Zeeland voorgestelde ontwerp voor een bodem- en taludverdediging, bestaande uit een laag van fosforslakken direct op het basismateriaal, geanalyseerd en getoetst op een aantal bezwijkmechanismen, te weten;

- * topplaagstabiliteit
- * filterstabiliteit
- * grondmechanische stabiliteit

De analyse moest opgesplitst worden in twee delen al naar gelang de diepteligging van de constructie. De hiervoor genoemde bezwijkmechanismen treden niet allen op dezelfde plaats op, deze zijn diepte afhankelijk.

Hiertoe wordt de constructie verdeeld in twee delen en wel een deel dat door windgolven belast wordt (aansluitend op de onverdedigde vooroever) en een deel dat voornamelijk door stroming en scheepvaart wordt belast. Constructief gezien kan gesteld worden dat de scheidingslijn ligt op N.A.P. -4 à -5 m.

Beide constructie delen worden vervolgens getoetst op de dan relevante bezwijkmechanismen.

Voor wat de dieper gelegen constructie betreft kan gesteld worden dat het voorgestelde ontwerp voldoet aan de gestelde eisen.

Voor de constructie die in de invloedszone van de windgolven ligt is een uitspraak wat moeilijker. Er zijn constructief gezien verschillende varianten denkbaar.

Voor het dimensioneren van de topplaag zijn twee principe oplossingen mogelijk, te weten;

- * een statisch stabiele topplaag
- * een dynamisch stabiele topplaag

Die op zich weer verder onderverdeeld kunnen worden.

Als er gekozen wordt voor een statisch stabiele topplaag dan wordt geen beweging van het topplaagmateriaal geaccepteerd, dit houdt impliciet in dat ook aandacht besteed moet worden aan de filterconstructie onder de topplaag, in bijlage 11a wordt deze variant geïllustreerd.

Als gekozen wordt voor een dynamisch stabiele topplaag dan wordt beweging van topplaagmateriaal wel geaccepteerd, de mate waarin kan door de keuze van de sortering fosforslakken (40-200 mm of 'tout-venant') enigszins beïnvloed worden zoals blijkt uit bijlage 10, in bijl. 11b en 11c worden deze varianten geïllustreerd. Voor alle varianten geldt dat de overgang van talud naar onverdedigde vooroever regelmatig geïnspecteerd moet worden om te voorkomen dat de taludverdediging ondermijnd wordt.

De keuze voor een dynamisch stabiele constructie lijkt gezien de aard en opbouw van de constructie voor de hand te liggen. De keuze tussen een van beide varianten (bijl. 11b of 11c) ligt wat moeilijker.

Wordt er gekozen voor een topplaag van alleen 'tout-venant' fosforslakken (bijl. 11c) dan moet vanaf N.A.P. -5 à -4 m een topplaagdikte van 1.3 m gerealiseerd worden. Bij de andere variant (bijl. 11b) wordt boven deze grens van N.A.P. -5 à -4 m fosforslakken 40-200 mm toegepast, de topplaagdikte bedraagt dan ca. 60 cm. Het nadeel van deze variant is dat er twee verschillende materialen in de constructie verwerkt moeten worden die ogenschijnlijk niet veel van elkaar verschillen.

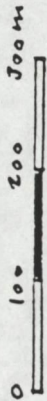
Resumerend kan gesteld worden dat de voorgestelde constructie van fosforslakken 'tout-venant', met een aanpassing wat de topplaagdikte in de bovenste zone betreft, de voorkeur verdient. Wel moeten de volgende aandachtspunten in ogenschouw genomen worden;

De overgang tussen verdedigd talud en onverdedigde vooroever moet regelmatig geïnspecteerd worden.

Door het dynamische karakter van de topplaag moet rekening worden gehouden met licht verlies aan topplaag materiaal, dit kan door regelmatig bijstorten verholpen worden.

Z U I D E R G A T

Schaal



NAP-10m (1984/5)

aanvulling onder 1:3

TE PEILEN GEBIED

7:5000 ± 35000

13:5000 ± 65000

41 b 40 39b 38 37b 36 35b 34 33b 32b 31b 30b 29b 28b 27b 26b 25b 24b 23b 22b 21b 20b 19b 18b 17b 16b 15b 14b 13b 12b 11b 10b 9b 8b 7b 6b 5b 4b 3b 2b 1b

42

streek

HAVEN

WILHELMUS

WP - HULSTER

AMBACHT

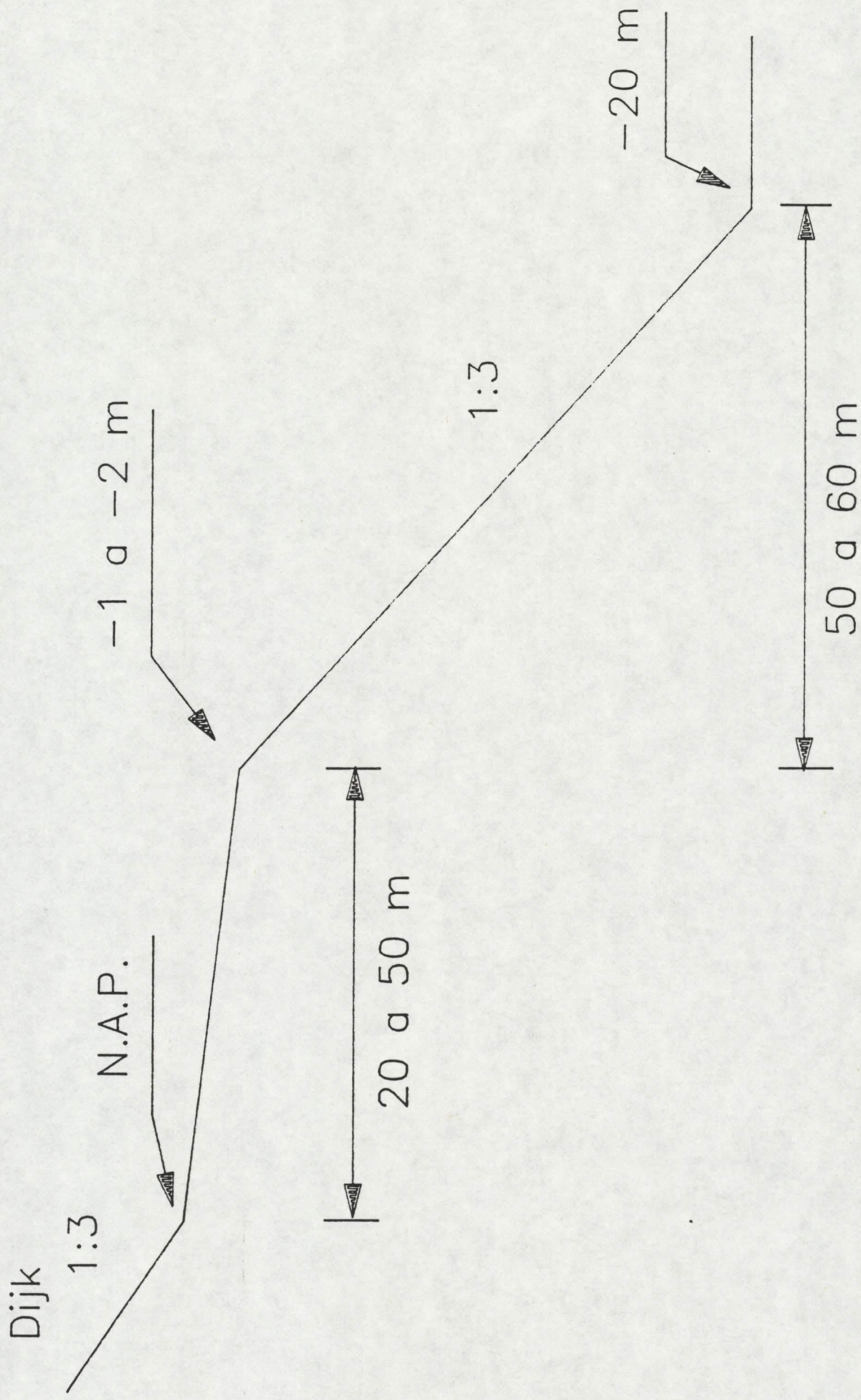
POLDER

De overdediging WALSOORD
Plan met aanvulling 1:3

CAL. WP
WALSOORDEN

E					
D					
C					
B					
A	15 juli '95	B S			
	DATUM	PARAAF			
NUMMERING RAAIEN 23 1/m 1 GEWIJZIGD IN 39b 1/m 31b (nummering waterschap)					
OMSCHRIJVING					
WIJZIGINGEN					

OVERZICHT GEOMETRIE



PRINCIPE OVERZICHT TALUD + BODEMVERDEDIGING

Dijk

1:3

N.A.P.

-1 a -2 m

VERDEDIGING

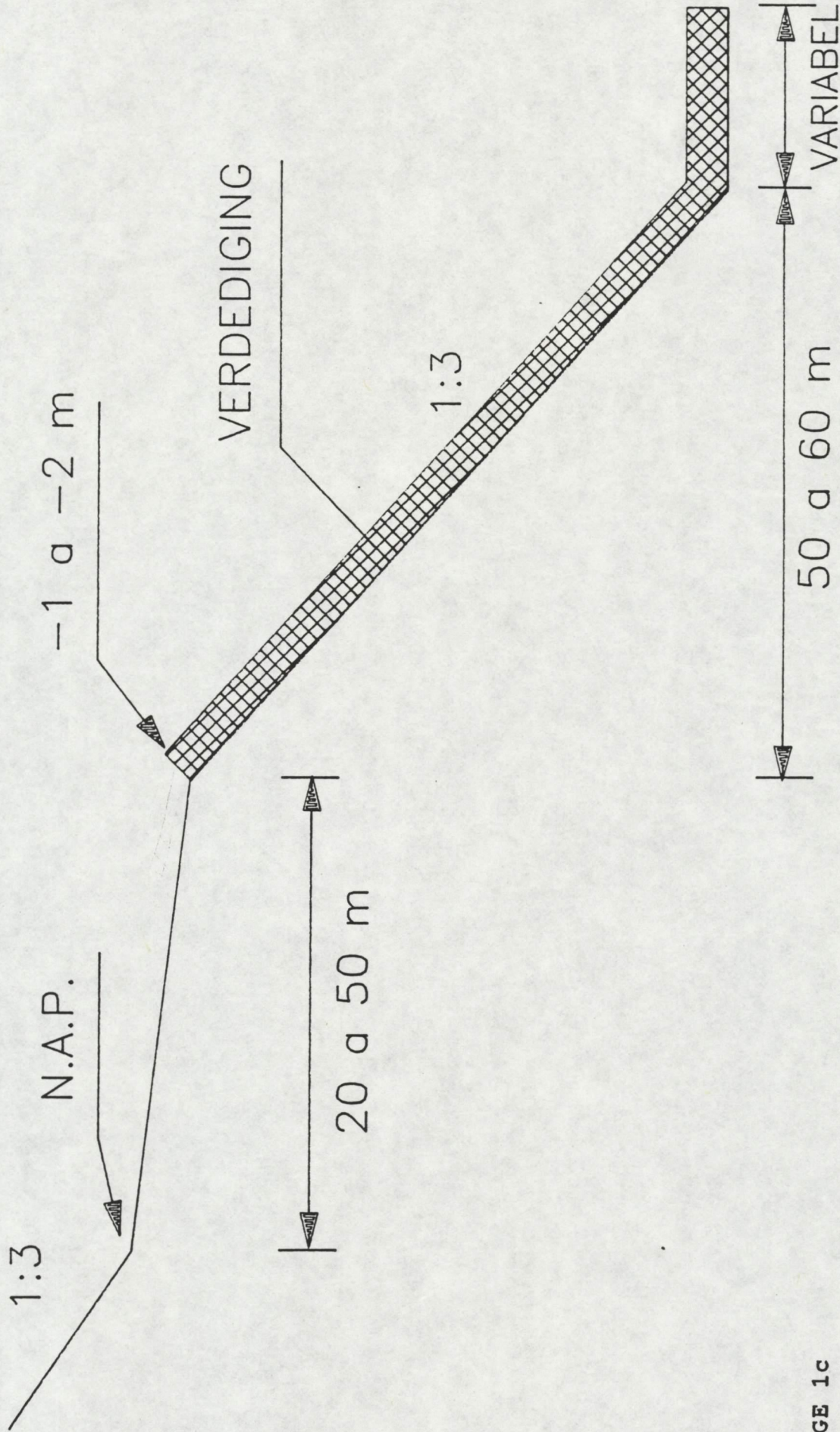
1:3

20 a 50 m

50 a 60 m

BIJLAGE 1c

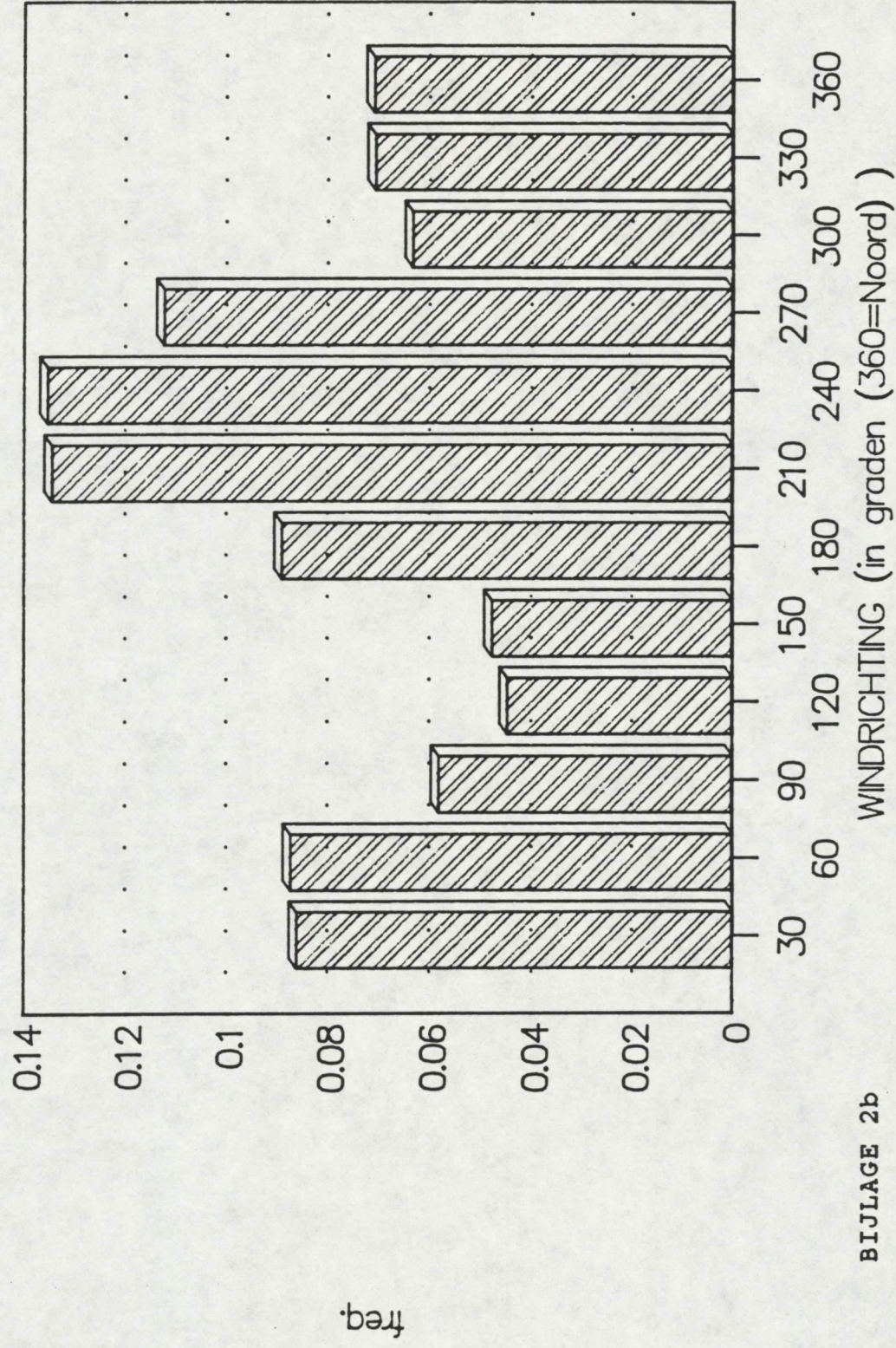
VARIABEL



DISTRIBUTIEVE FREKWENTIEVERDELING VAN UURGEMIDDELDE POTENTIELE WINDSNELHEID (PER 100 000 WAARNEMINGEN)														
VLISSENGEN (310)			1959 T/M 1980					GEHELE JAAR			OPEN TERREIN			
KLASSEN (M/S)			- NOORD					OOST			ZUID			
			330	360	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300

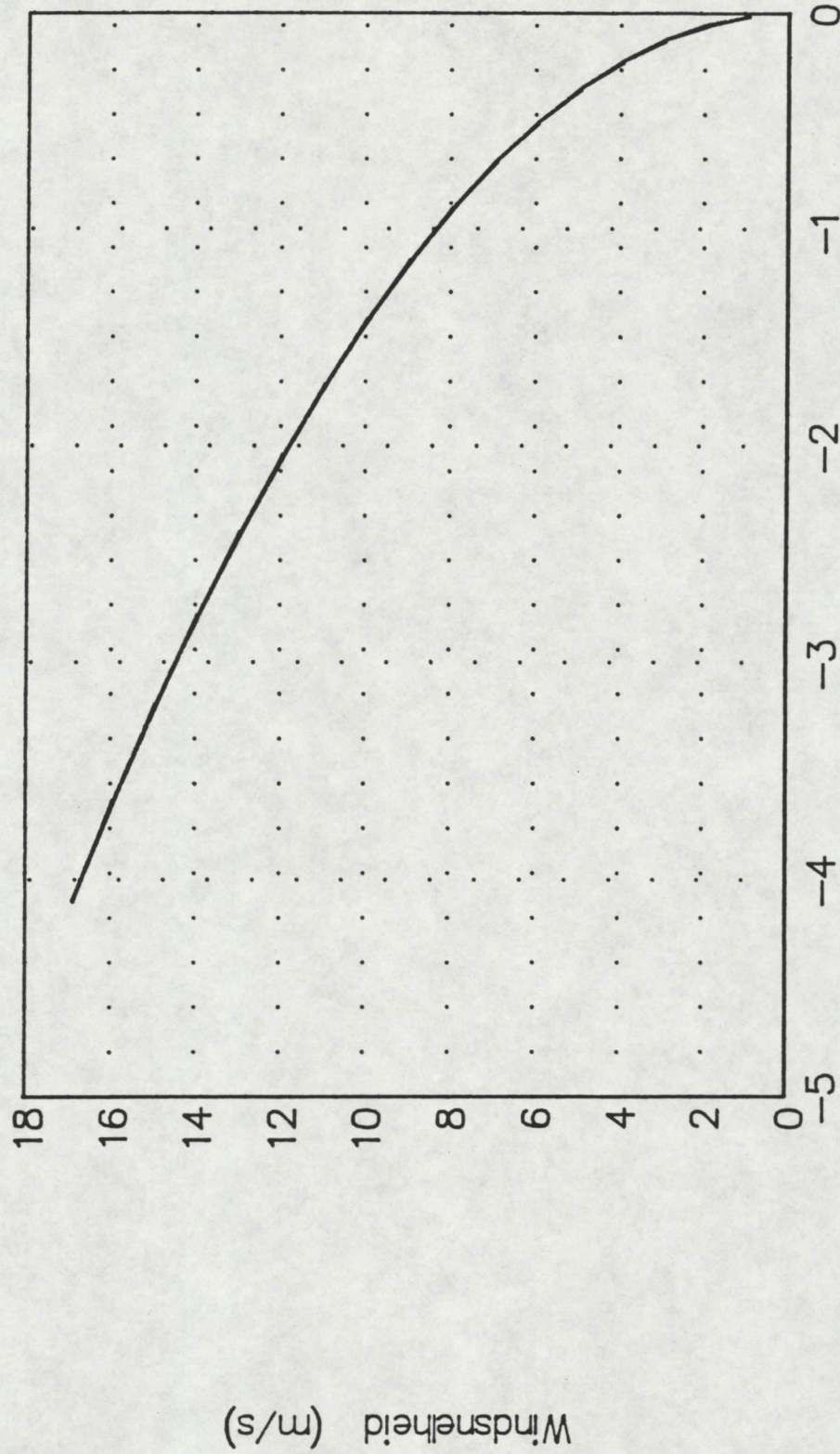
FREQUENTIEVERDELING PER WINDRICHTING

STATION : VLISSINGEN



OVERSCHRIJDINGSFREQUENTIE WINDSNELHEID

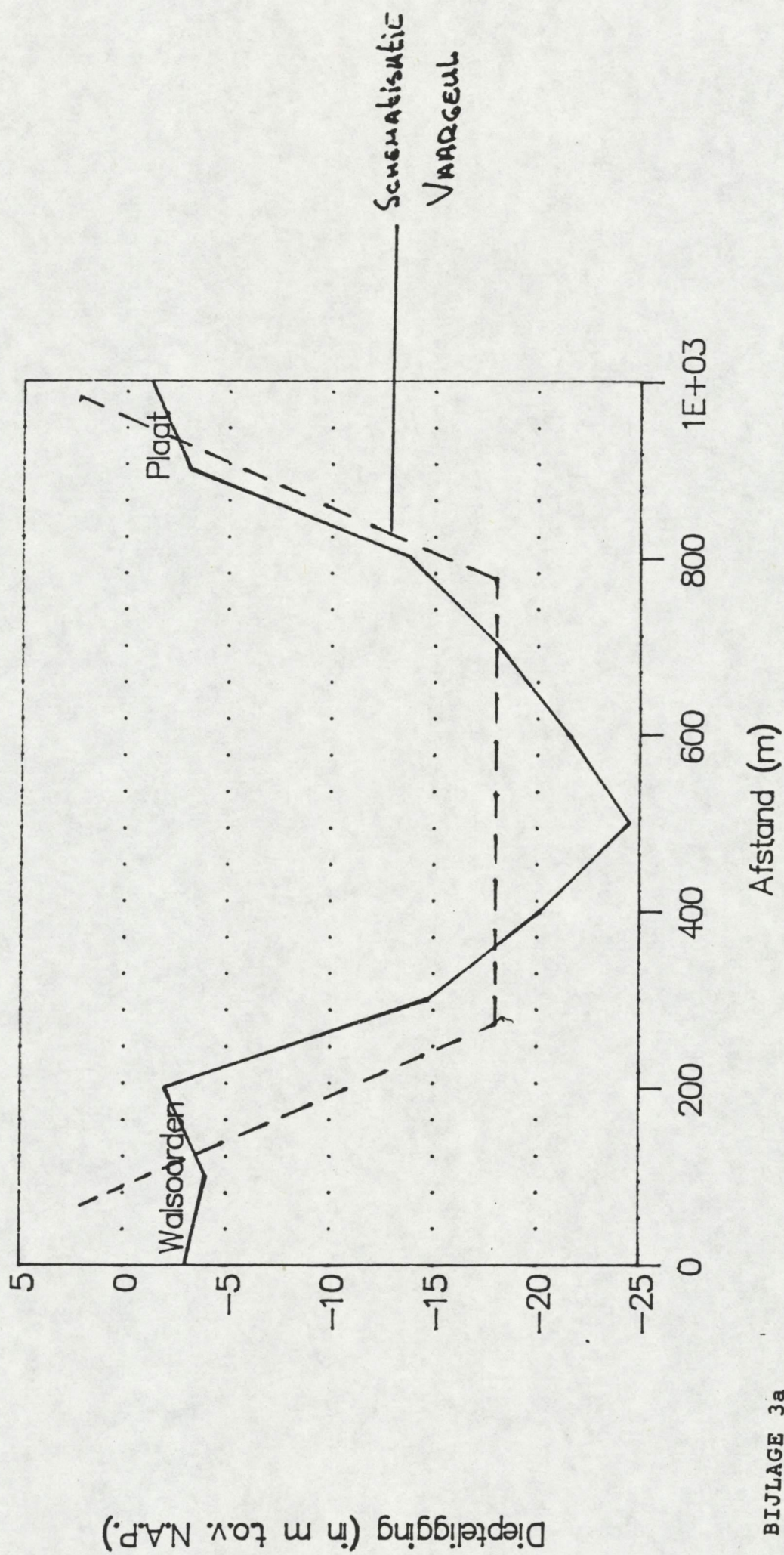
VOOR DE SECTOR NOORD (300-030')



OVERSCHRIJDINGSKANS WINDSNELHEID (Log)

WALSOORDEN : MAATGEVEND DWARSPROFIEL

T.B.V. SCHEEPVAART



0 = + NAP - l'gh

400

300

200

150

100

50

0

-5

-10

-15

-20

-25

Dwarsprof. A.

NAP

-5

-10

-15

-20

-25

Dwarsprof. B.

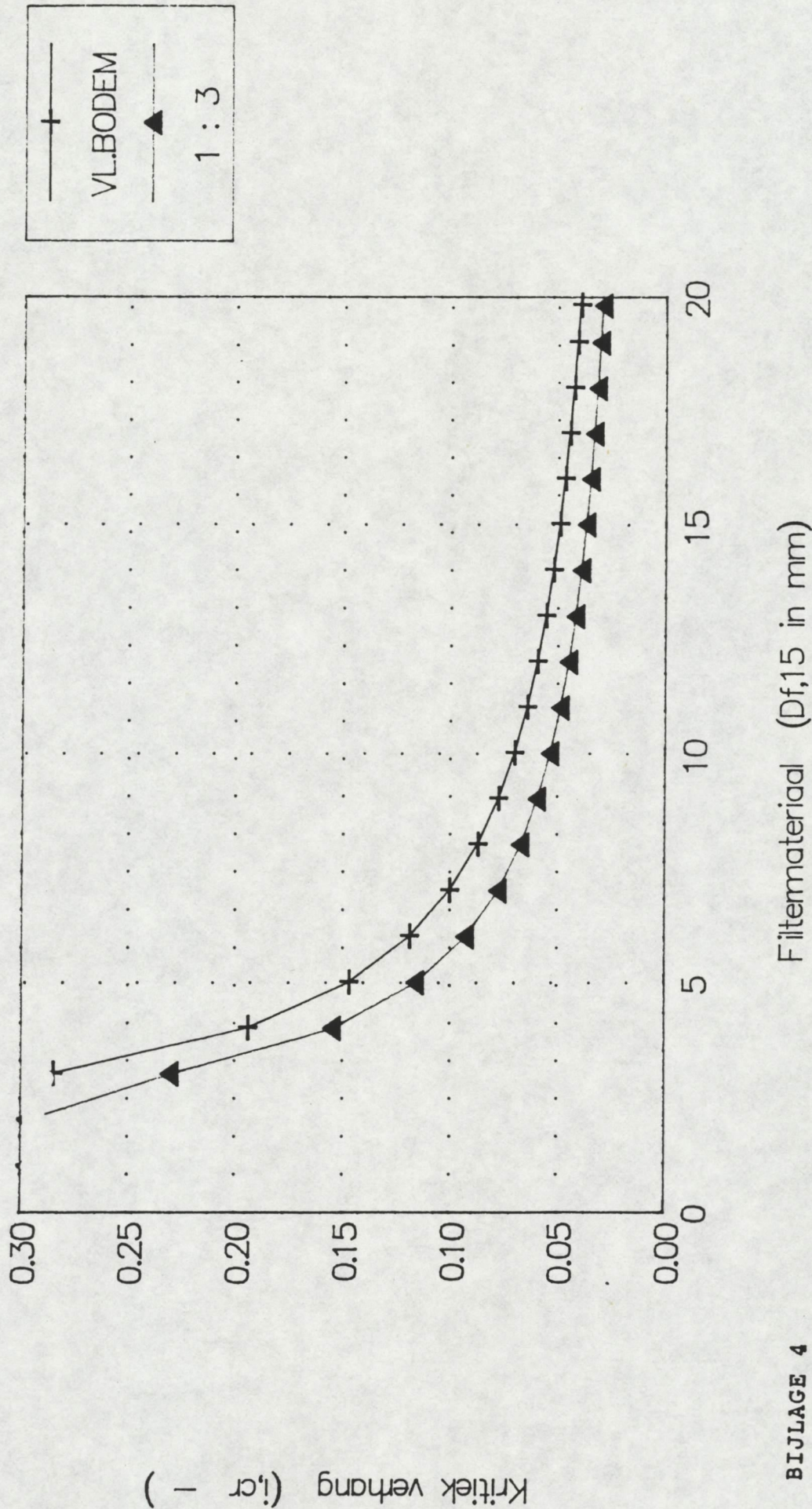
Boei.

Diepten in boei positie
beoord. a. d. h. v. opening
1988 tot okt 2 (50-88.064)

DWARSPROFIELEN LANGS DE VERDEDIGEN OEVER BIJ WALSOORDEN.

BEPALING KRITIEK PAR. VERHANG

als functie van basis- en filter mater.



De golfklap is in twee een drukstoot die over een zekere breedte werkt. Ten behoeve van de dimensionering wordt hij geschematiseerd als een lijnlast.

$$P = p \cdot b$$

hierin is:

P = grootte van de golfklap (N/m^1)

p = grootte van de maximale drukstoot (N/m^2)

b = breedte waarover de maximale drukstoot moet aangrijpen om de gehele golfbelasting te representeren (m)

- De maximale drukstoot

$$p = \rho_w \cdot g \cdot q \cdot H$$

hierin is:

ρ_w = dichtheid van water (kg/m^3)

g = versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)

H = golfhoogte (m)

q = factor afhankelijk van de taludhelling (zie onderstaande tabel)

taludhelling	q
1:2	2,3
1:3	2,7
1:4	2,3
1:6	2

- De geschematiseerde breedte waarover de maximale drukstoot werkt:

$$b = 0,4 \cdot H$$

- De brekende golf treft het talud op een afstand Δh onder de stilwaterspiegel (SWL) (fig. 20.6). Het gebied waarin Δh ligt is aangegeven in figuur 20.7.

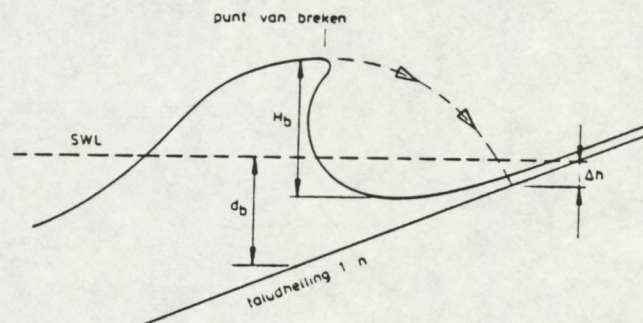


Fig. 20.6. De brekende golf.

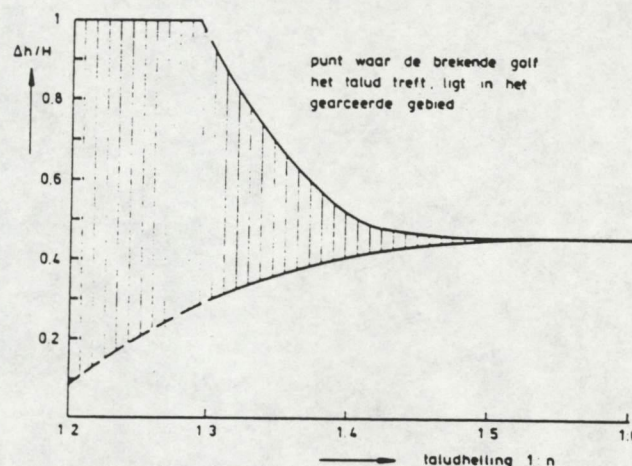
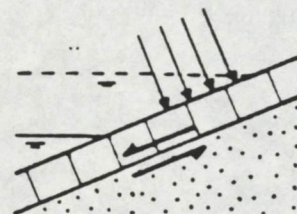


Fig. 20.7. Het punt Δh onder de stilwaterspiegel waar de golfklap het talud treft in verhouding tot de golfhoogte H uitgezet tegen de taludhelling 1:n.

C.12 GOLFKLAP - ϕ -MATERIAAL - $\lambda = 0$ - τ_s



De berekening van dit geval loopt analoog aan C.11.

Het enige verschil is de bijdrage van de toplaag aan de schuifspanning. Met behulp van de notaties uit par. 3.2 wordt dit:

$$q_y = \gamma_t \cdot d_t \cdot \sin \alpha$$

$$q_z = \gamma_t \cdot d_t \cdot \cos \alpha$$

De bijdragen van de waterspanningen ten gevolge van de golfklap en de horizontale stroming volgen uit par. 3.2.2.2:

$$\overline{p_r} = C_1 \cdot s + \frac{1}{2} b \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_w$$

$$\overline{p_l} = C_2 \cdot s + \frac{1}{2} b \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_w$$

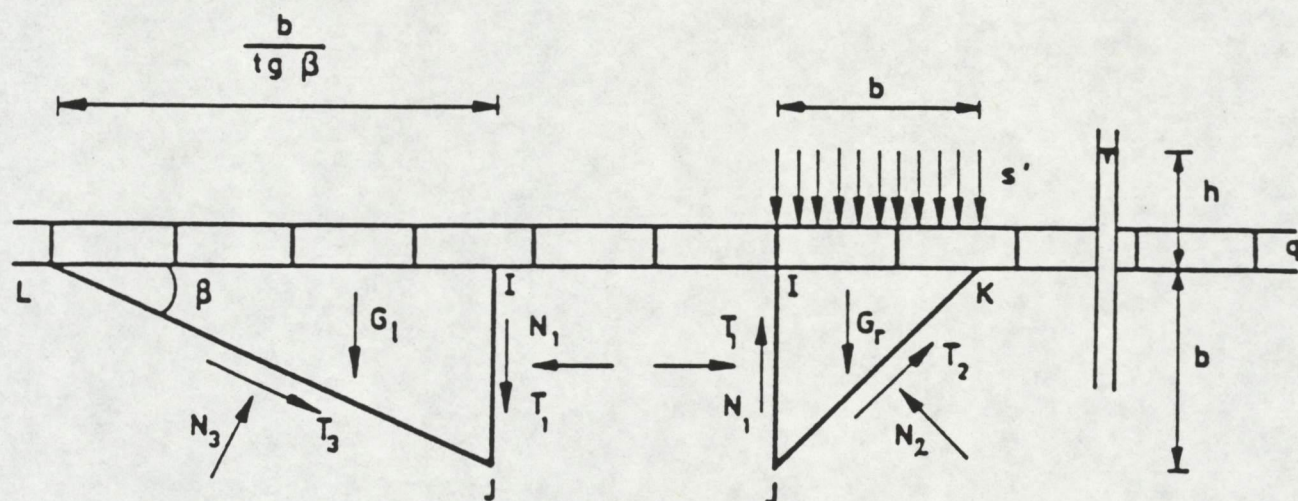
Invullen van deze vergelijkingen in de basisvergelijkingen (3.26), (3.27) en (3.28) levert:

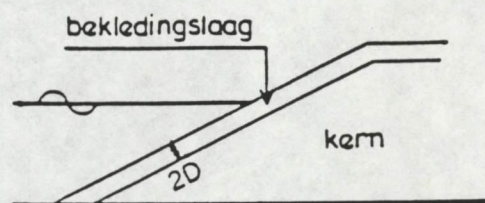
$$F_2 \cdot d_t \geq F_1 \quad (C55)$$

$$F_1 = \overline{p_l} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + \frac{G_l}{b} \sin \alpha - \tan(\phi + \beta) \cdot \left(\frac{G_l}{b} \cos \alpha - \overline{p_l} \cdot \tan \phi \right) + \frac{G_r}{b} \sin \alpha + \overline{p_r} \cdot \tan \phi + \tan(45 - \phi) \cdot \left(s' + \frac{G_r}{b} \cos \alpha + \overline{p_r} \cdot \tan \phi \right) \quad (C56)$$

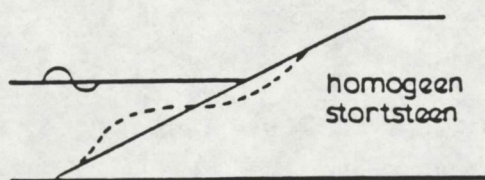
$$F_2 = \gamma_t \left(\frac{\tan(\phi + \beta)}{\tan \beta} \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} - \sin \alpha - \tan(45 - \phi) \cdot \cos \alpha \right) \quad (C57)$$

Dit resultaat is identiek aan C.10, behalve dat de uitdrukking voor de waterspanningen essentieel verschilt.

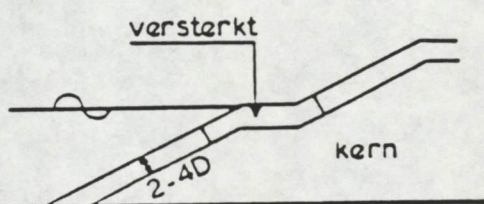




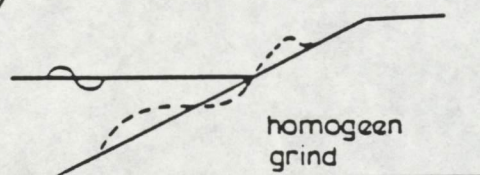
stortsteen golfbreker



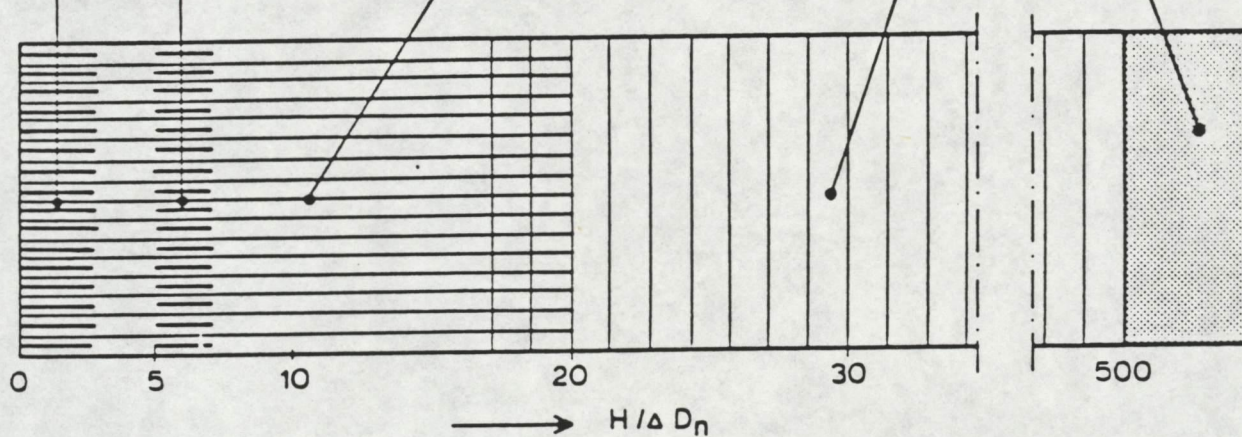
profielvorming stortsteen



„selfadjusted“ profiel



profielvorming grind/zand



statische stabiliteit stortsteen



dynamische stabiliteit stortsteen



dynamische stabiliteit grind



profielvorming zand

gebied voor dit onderzoek

TOEPASSINGSGEBIED LOSGESTORTE MATERIALEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 1

STATISCHE STABILITEIT VAN STORTSTENENTALUDS ONDER GOLFAANVAL.

INVOER

Hs : 0,9 m
Tz : 3,5 s
l : m 3
ρ steen : 2700 kg/m³
ρ water : 1023 kg/m³
P : 0,4
N : 2000 golven

RESULTATEN BEREKENINGEN

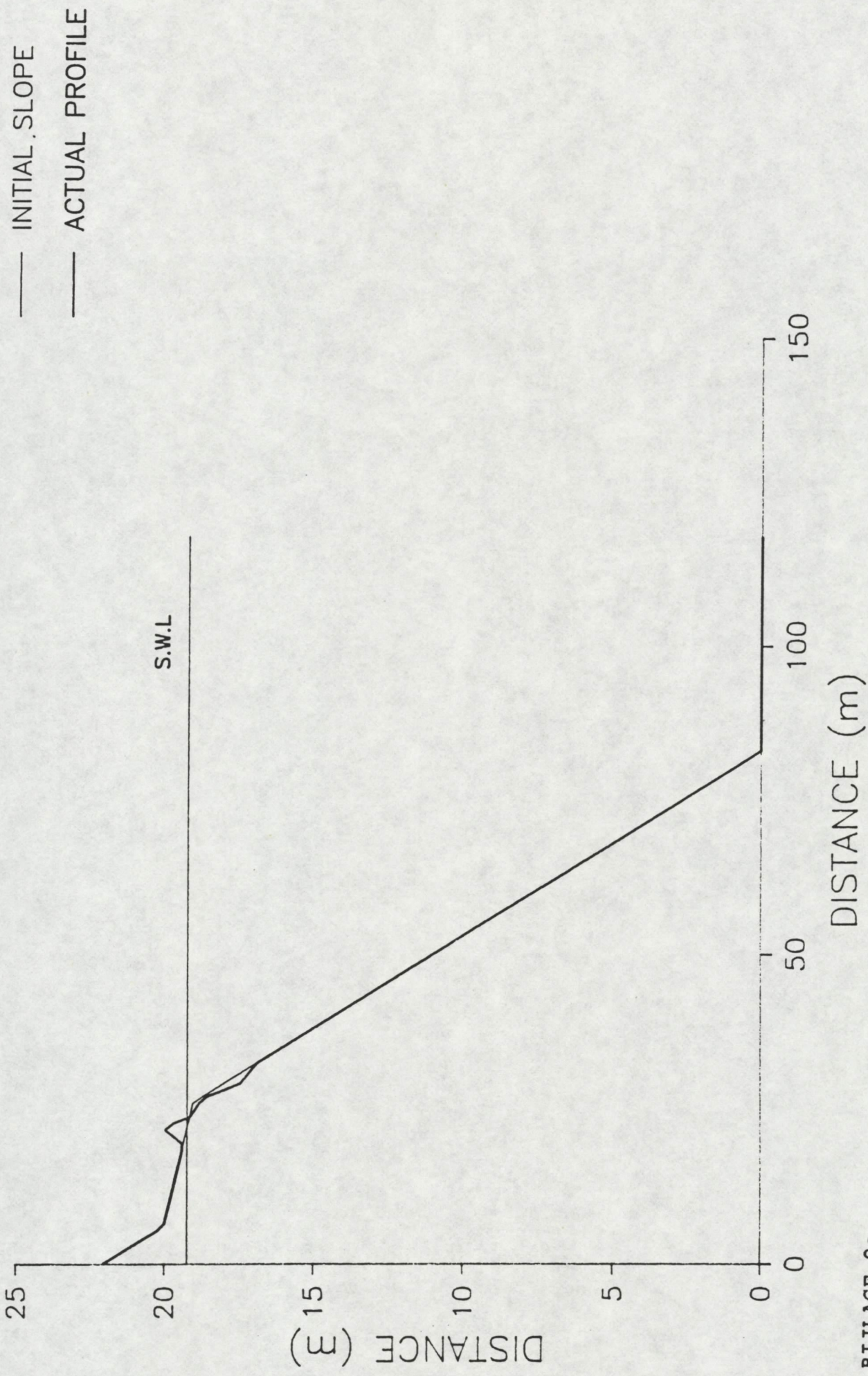
Ksi, z: 1,54
δ : 1,64

S (-)	Dn 50 (m)	Hs/δD (m)
1	0,28	1,98
2	0,24	2,28
3	0,22	2,47
4	0,21	2,62
5	0,20	2,74
6	0,19	2,84
7	0,19	2,93
8	0,18	3,01
9	0,18	3,08
10	0,17	3,14
11	0,17	3,20
12	0,17	3,26
13	0,17	3,31
14	0,16	3,36
15	0,16	3,41
16	0,16	3,45
17	0,16	3,50
18	0,16	3,54
19	0,15	3,57
20	0,15	3,61

* S - schadefactor (2 à 3 begin van beweging,
18 bezwijken

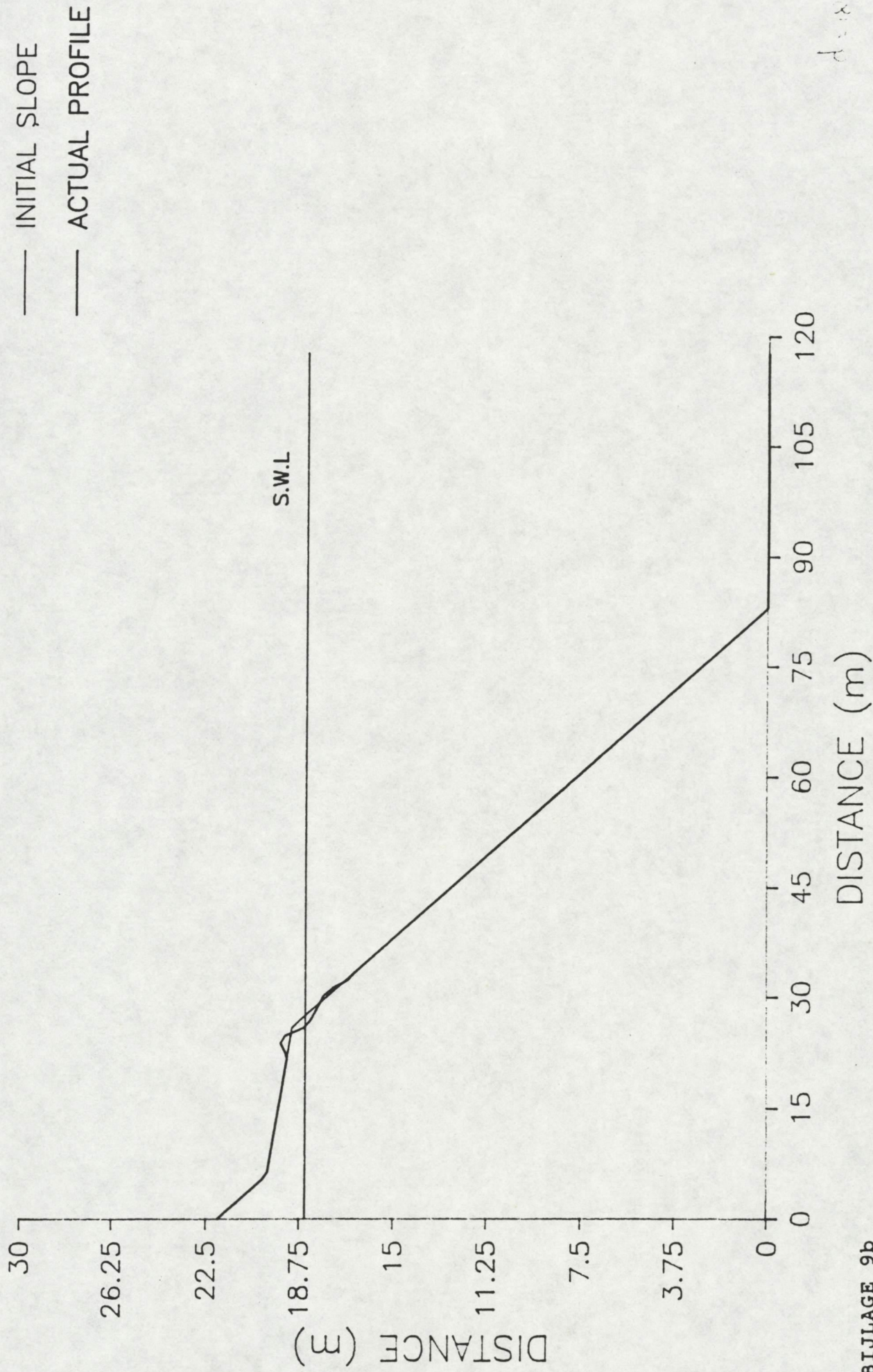
DYNAMICALLY STABLE PROFILE

RESULTS OF LAST COMPUTATION



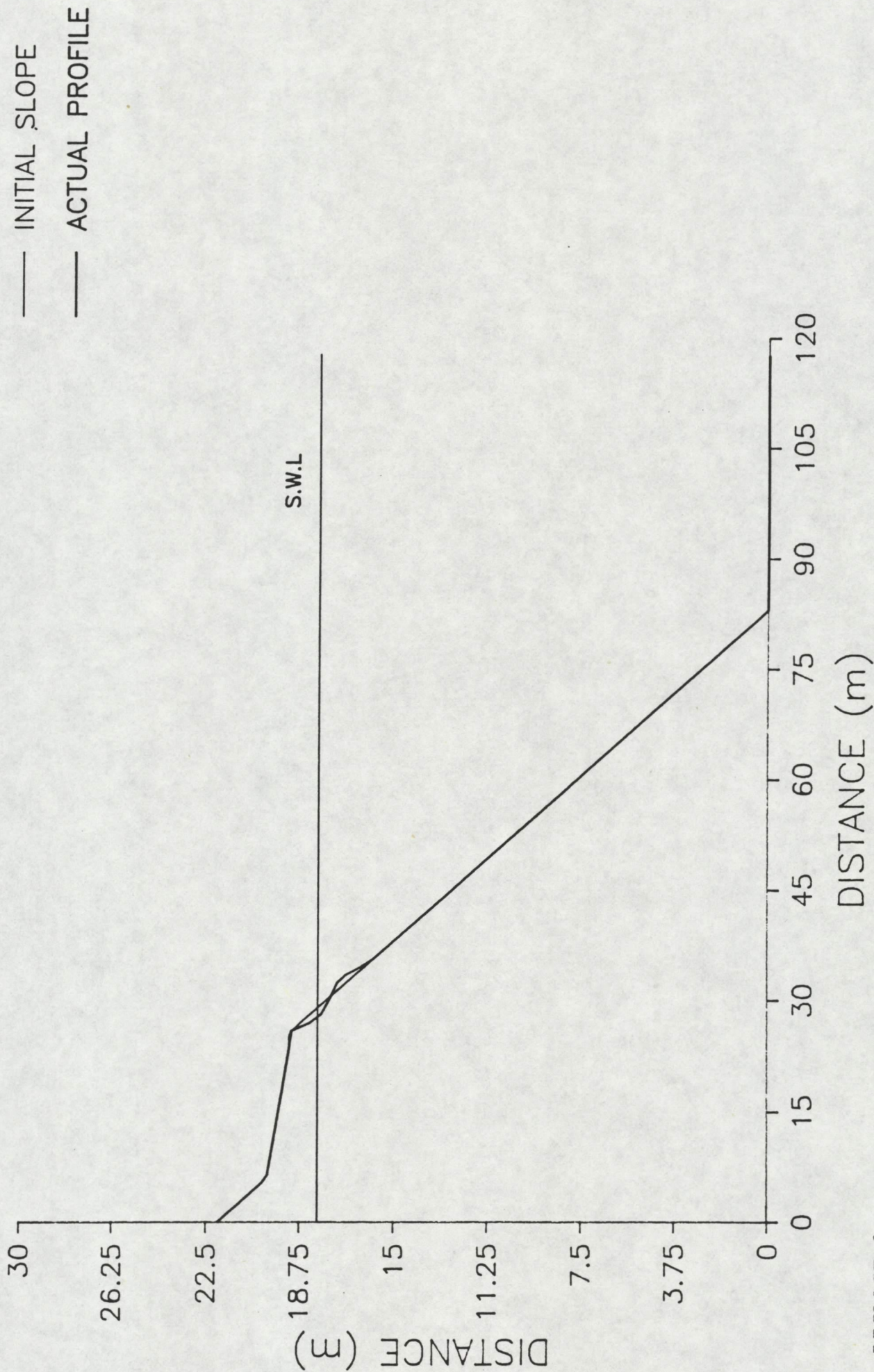
WALSOORDEN

DYNAMISCHE STABILITEIT FOSFORSLAKKEN



WALSOORDEN

DYNAMISCHE STABILITEIT FOSFORSLAKKEN



WALSOORDEN

VERVORMING PROFIEL BIJ VERSCHILLENDE D,50

