

C1 83.01

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

golfoploop en -overslag bij duinen tijdens
superstormvloed

verslag modelonderzoek

M 1819 deel II

februari 1983

golfoploop en -overslag bij duinen tijdens superstormvloed

verslag modelonderzoek

M 1819 deel II

februari 1983

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Achtergrond van het onderzoek.....	1
1.2 Opdracht.....	2
2. <u>Opzet van het onderzoek</u>	3
3. <u>Model en randvoorwaarden</u>	5
3.1 Modelfaciliteit.....	5
3.2 Proevenprogramma.....	5
3.3 Schaalkeuze.....	6
3.4 Uitvoering.....	6
4. <u>Resultaten</u>	8
4.1 Golven.....	8
4.2 Golfoploop tegen het duinfront.....	8
4.3 Golfoverslag over het duin.....	10
4.4 Haling in de onderzoekgoot.....	11
5. <u>Evaluatie en conclusies</u>	12
5.1 Situatie tijdens superstormvloed.....	12
5.2 Situatie tijdens 1976-stormvloed.....	15

LITERATUUR

TABELLEN

- 1 Resultaten golfhoogtemetingen
- 2 Golfoploop gebaseerd op aantal overschrijdingen
- 3 Golfoploop gebaseerd op tijdsduur van de overschrijdingen
- 4 Resultaten golfoverslagmetingen

FIGUREN

- 1 Prototype afslagprofiel superstormvloed
- 2 Prototype afslagprofiel 1976-stormvloed
- 3 Overzicht Scheldegoot
- 4 T01...T09 modelopstelling
- 5 T10...T11 modelopstelling
- 6 Verificatie golven
- 7 T01...T06 golfoploop gebaseerd op aantal overschrijdingen - superstormvloed
- 8 T07...T09 golfoploop gebaseerd op aantal overschrijdingen - superstormvloed
- 9 T10...T11 golfoploop gebaseerd op aantal overschrijdingen - 1976-stormvloed
- 10 T01...T06 golfoploop gebaseerd op tijdsduur van de overschrijdingen - superstormvloed
- 11 T07...T09 golfoploop gebaseerd op tijdsduur van de overschrijdingen - superstormvloed
- 12 T10...T11 golfoploop gebaseerd op tijdsduur van de overschrijdingen - 1976-stormvloed
- 13 T01...T09 golfoverslag als functie van de duinhoogte - superstormvloed
- 14 Gecombineerd energiedichtheidsspectrum haling en golfbeweging.

GOLFOPLOOP EN -OVERSLAG BIJ DUINEN TIJDENS SUPERSTORMVLOED

1. Inleiding

1.1 Achtergrond van het onderzoek

De voorlopige "Richtlijn voor de berekening van duinafslag ten gevolge van een stormvloed" uit 1972 [1] geeft onder andere aan dat bij de beoordeling van de veiligheid van een duinenrij ter hoogte van het ontwerppeil in aansluiting op het afslagprofiel een extra marge in duinbreedte van 10 m dient te worden aangehouden; dit om een eventuele doorbraak van het restprofiel te voorkomen.

Naar aanleiding van een verzoek van het Hoogheemraadschap Delfland aan de Werkgroep 5 "Duinen als waterkering" van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen om, met het oog op golfoverslag, een uitspraak te doen omtrent de vereiste hoogte van voornoemde reservestrook, is door het Waterloopkundig Laboratorium een analyse gemaakt van de waterspanningsmetingen, die zijn uitgevoerd tijdens het modelonderzoek naar duinafslag in de Deltagoot. De resultaten van deze analyse zijn door middel van een nota op de vergadering van Werkgroep 5 d.d. 16 november 1981 gepresenteerd [2].

Het blijkt niet mogelijk een afdoende uitspraak te doen over de vereiste hoogte van het duin in de reservestrook, aangezien geen goed inzicht bestaat in het bezwijkmechanisme van een duin bij erosie door golfoverslag. Wel is in voornoemde nota aangegeven hoe hoog de reservestrook zou moeten zijn om golfoverslag tot een acceptabel percentage te beperken.

Gezien de onbekendheid met het erosiemechanisme ten gevolge van golfoverslag werd het door het Waterloopkundig Laboratorium raadzaam geacht het duin zodanig te dimensioneren dat niet meer dan ongeveer 2% van de golven over de reservestrook heenslaat. Dit leidt tot een vereiste hoogte van de reservestrook van 4,25 m boven stormvloedpeil.

De interpretatie van de waterspanningsmetingen in de Deltagoot was noodzakelijkerwijze van beperkte nauwkeurigheid. Gezien de in de praktijk vergaande consequenties van een criterium als hierboven aangegeven, werd het door de Werkgroep 5 dan ook als wenselijk ervaren een afzonderlijk onderzoek op kleine schaal te verrichten, speciaal gericht op golfoploop en -overslag bij duinen tijdens superstormvloed.

1.2 Opdracht

Per telex xtv 1300 d.d. 25 november 1981 is door het Waterloopkundig Laboratorium aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen een onderzoeksvoorstel gedaan voor 7 proeven met verschillende duinhoogten maar overigens gelijke randvoorwaarden. Bij brief met kenmerk 2230 d.d. 2 december 1981 is door het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen ten behoeve van de Werkgroep 5 van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen opdracht verleend tot het uitvoeren van het voorgestelde onderzoek.

Dit onderzoek is in december 1981, als uitbreiding van het in die tijd in uitvoering zijnde gevoeligheidsonderzoek duinafslag (M1819-I), in de Scheldegoot van het Laboratorium De Voorst uitgevoerd. De voorlopige onderzoekresultaten zijn op de vergadering van de Werkgroep 5 van 2 februari 1982 gepresenteerd. Alhoewel de resultaten goed aansloten bij de interpretatie van de Deltagoot-metingen, werden deze door ir. J. van de Graaff van de Werkgroep 5 in strijd geacht met zijn waarnemingen van de golfoploop tegen het duin bij Delfland tijdens de stormvloed van 3 januari 1976. De Werkgroep 5 achtte het dan ook gewenst deze waarnemingen alsnog in het model te toetsen.

Dienovereenkomstig is door het Waterloopkundig Laboratorium per telex xtv 278 d.d. 1 maart 1982 aan het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen een aanvullend onderzoeksvoorstel gedaan ter verificatie van de waargenomen golfoploop tijdens de 1976-stormvloed. Bij brief met kenmerk COW/10.180 d.d. 19 maart 1982 is dit onderzoeksvoorstel geaccepteerd. De aanvullende proeven naar golfoploop zijn in maart 1982 uitgevoerd, eveneens in de Scheldegoot van het Laboratorium De Voorst.

Het onderzoek stond onder leiding van ir. W.M.K. Tilmans, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

2. Opzet van het onderzoek

In een definitieve richtlijn voor de berekening van duinafslag tengevolge van een stormvloed dient, met betrekking tot de beoordeling van de veiligheid van een duinenrij, een uitspraak gedaan te worden omtrent de minimum hoogte van het duin en de hoogte en breedte van een op het afslagprofiel aansluitende reservestrook. Ten aanzien van de kruin van de reservestrook kan gesteld worden dat deze zo hoog dient te zijn dat de golfoverslag tot een acceptabele waarde wordt beperkt.

Situatie tijdens superstormvloed

De door het Waterloopkundig Laboratorium gepresenteerde resultaten van de golfoploopanalyzer van de metingen tijdens superstormvloed in de Deltagoot [2] bemoeilijken de interpretatie voor toepassing in praktijksituaties door een aantal beperkende omstandigheden van de modeluitvoering [3]:

- in de Deltagoot zijn geen directe golfoplooppmetingen verricht. De golfoploop ter plaatse van de duinvoet is afgeleid uit het signaal van een aantal waterspanningsmeters, welke ten behoeve van het duinafslagmechanisme in en vlak vóór het duin waren geplaatst. Dientengevolge was ook het aantal geschikte metingen beperkt.
- de gepresenteerde resultaten hebben betrekking op een prototype beginprofiel dat een factor $S = 1,57$ steiler is dan het gemiddelde profiel langs de Nederlandse kust (zgn. referentieprofiel). De resultaten geven daarom een enigszins pessimistisch beeld van de te verwachten golfoploop en -overslag in de natuur.
- een verdere beperking in de interpretatie is het schaaffect in het model, dat zich manifesteert in de hoogteligging van de duinvoet. De uitgevoerde schaalserie naar duinafslag [4,5] heeft aangetoond, dat de uiteindelijke duinvoethoogte toeneemt naarmate de schaal waarop de modelproef wordt uitgevoerd, toeneemt. De in de Deltagoot uitgevoerde proeven op schaal $n_d = 5$ zijn dus, alhoewel in mindere mate, eveneens aan dit schaaffect onderhevig.
- in de analyse van de metingen is geen invloed van spatwater verdisconteerd.

In de huidige modelopzet zijn bovenstaande beperkende omstandigheden zoveel mogelijk geëlimineerd. Het uitgangsprofiel is gebaseerd op het naar prototype herleide afslagprofiel, gemeten tijdens de simulatieproef superstormvloed (M1263-III,

proef T3, [3]) in de Deltagoot direct na het hoogtepunt van de storm (zie figuur 1). Dit profiel is zonder samentrekking ($S = 1$) in de goot gebouwd en nabij de waterlijn in beton vastgelegd teneinde profielverandering tijdens de proefduur te verhinderen. De hoogte van de duinvoet is daarbij gekozen op N.A.P. + 5,0 m. Deze hoogteligging wordt ook verwacht tijdens superstormvloed met een maximum waterstand van N.A.P. + 5,0 m in de natuur. Ook zijn een aantal proeven uitgevoerd met een duinvoet op N.A.P. + 6,0 m.

Tijdens de proeven is de waterstand constant gehouden op de maximale stormvloedstand van N.A.P. + 5,0 m. Als golfrandvoorwaarde zijn golven toegepast met een significante golfhoogte op diep water $H_{os} = 7,6$ m, een piekperiode van het golfspectrum $\hat{T} = 12,0$ s en een vorm van het spectrum volgens Pierson-Moskowitz.

Situatie tijdens 1976-stormvloed

Ten behoeve van de verificatie van de golfoploop tijdens de stormvloed op 3 januari 1976 zijn de volgende randvoorwaarden aangehouden:

- 1) gemiddeld profiel van de gemeten kustprofielen in de TAW-raaien 107.730, 108.070 en 108.450 op 6 januari 1976 (waterpassing) en 29 januari 1976 (loding) (zie figuur 2 en [6]).
- 2) vaste waterstand op het maximale stormvloedpeil van N.A.P. + 3,0 m [7].
- 3) golfrandvoorwaarde, zoals tijdens het hoogtepunt van de storm op het licht-eiland Goeree gemeten [7]: significante golfhoogte $H_s = 4,8$ m en gemiddelde periode van het golfspectrum $T_{gem} = 7,8$ s op een waterdiepte van N.A.P. -21 m, overeenkomend met een significante golfhoogte op diep water $H_{os} = 5,25$ m en een piekperiode van het golfspectrum $\hat{T} = 9,35$ s.

Het uitgangsprofiel is wederom zonder samentrekking ($S = 1$) in het model gebouwd en rondom de waterlijn in beton vastgelegd teneinde profielverandering tijdens de proefduur te voorkomen. De hoogte van de duinvoet is daarbij gekozen op N.A.P. + 3,75 m, zoals is geconstateerd uit de uitgevoerde waterpassing na de stormvloed [7]. De helling van het duinfront is gevariëerd, teneinde de invloed hiervan op de golfoploop te onderzoeken.

3. Model en randvoorwaarden

3.1 Modelfaciliteit

De proeven zijn uitgevoerd in de Scheldegoot van het Laboratorium De Voorst (zie figuur 3). Vanaf de middenstand van het golfschot heeft deze goot een lengte van 50 m; de beschikbare lengte voor de inbouw van het kustprofiel is ca. 45 m. De breedte van de goot is 1 m; de hoogte is 1,20 m. De goot is voorzien van een golfmachine, waarmee onregelmatige golven kunnen worden opgewekt. Het golfschot is aan een wiegconstructie bevestigd, waardoor zowel een translaterende als een roterende beweging aan het golfschot kan worden opgelegd. Deze golfschotbeweging wordt bewerkstelligd door een hydraulische aandrijfcylinder, welke wordt gestuurd door een servo-systeem. Het stuursignaal wordt hierbij geleverd door een ponsband waarop een onregelmatig golfsignaal met vastgesteld energiedichtheidsspectrum is vastgelegd.

De Scheldegoot heeft on-line computerfaciliteiten waarmee de meetsignalen direct bemonsterd en verwerkt kunnen worden.

3.2 Proevenprogramma

Zoals blijkt uit de opzet van het onderzoek naar golfoploop en -overslag bij duinen (hoofdstuk 2) zijn er twee typen proeven uitgevoerd, namelijk:

- proeven met superstormvloed
- toetsingsproeven 1976-stormvloed

Het proevenprogramma is samengevat in onderstaande tabel.

proefnummer	duinhoogte t.o.v. N.A.P. (m)	duinvoethoogte t.o.v. N.A.P. (m)	helling duinfront	opmerkingen
proevenserie superstormvloed				
T01	+ 20,0	+ 5,0	1:0,7	-waterstand N.A.P.+5,0 m -golfhoogte $H_{gs}=7,6$ m -golfperiode $T=12,0$ s -uitgangsprofiel, zie figuur 1.
T02	+ 12,5	+ 5,0	1:0,7	
T03	+ 10,0	+ 5,0	1:0,7	
T04	+ 9,0	+ 5,0	1:0,7	
T05	+ 8,0	+ 5,0	1:0,7	
T06	+ 7,0	+ 5,0	1:0,7	
T07	+ 20,0	+ 6,0	1:0,7	
T08	+ 10,0	+ 6,0	1:0,7	
T09	+ 8,0	+ 6,0	1:0,7	
toetsingsproeven 1976-stormvloed				
T10	+ 10,0	+ 3,75	1:1,5 verticaal	-waterstand N.A.P.+3,0 m -golfhoogte $H_{gs}=5,25$ m -golfperiode $T=9,35$ s -uitgangsprofiel, zie figuur 2.
T11	+ 10,0	+ 3,75		

3.3 Schaalkeuze

Evenals dat bij eerdere onderzoeken naar duinafslag het geval is geweest [3,4,5] is de minimaal weer te geven waterdiepte 21 m beneden superstormvloedpeil, dit is N.A.P. -16 m. De maximale duinhoogte in het proevenprogramma is N.A.P. +20 m. De totale hoogte van het weer te geven kustprofiel is dus 36 m. Aangezien de hoogte van de Scheldegoot 1,20 m bedraagt, is de verticale schaal-faktor vastgesteld volgens:

$$n_d = 36 : 1,20 = 30 \quad (1)$$

De profielen zijn zonder samentrekking in het model gebouwd, dus:

$$n_l = n_d = 30 \quad (2)$$

Voorts is de hydrodynamische tijdschaal van toepassing:

$$n_t = n_d^{0,5} = 5,48 \quad (3)$$

Voor de opzet van de huidige proeven is uitgegaan van bovenstaande schaal-relaties.

3.4 Uitvoering

De modelopstelling van de proevenseries is weergegeven in de figuren 4 en 5. In de proevenseries is voor iedere proef een proefduur van 1 uur aangehouden. Tijdens de proeven zijn de volgende grootheden gemeten:

- waterstand

Tijdens iedere proef is de waterstand regelmatig gecontroleerd met behulp van een waterstandvolger (wavo) in een peilput, welke in open verbinding met de goot stond.

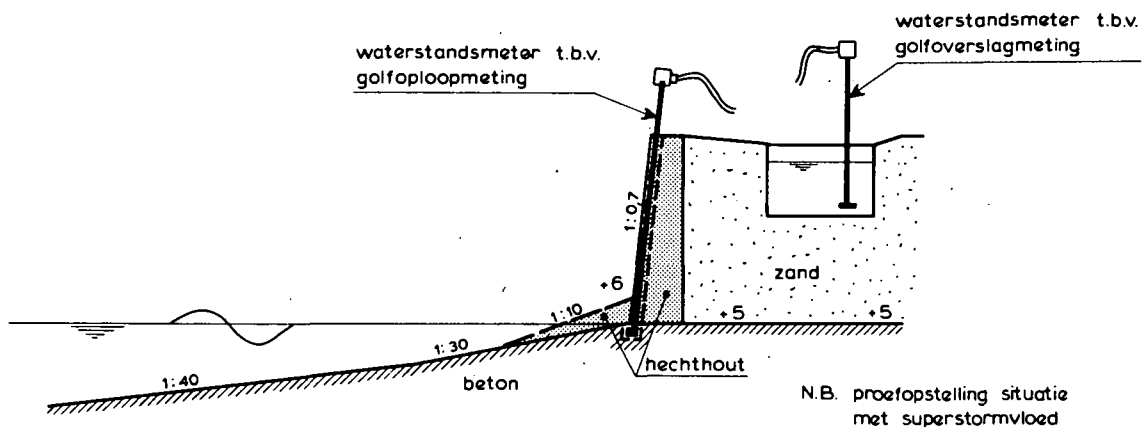
- golven

Tijdens iedere proef zijn de golven op een drietal plaatsen in de goot gemeten met behulp van twee golfhoogtemeters van het weerstandtype. Uit de simultane registraties van beide golfhoogtemeters kan met behulp van kruiscorrelatie het

inkomend golfsignaal gescheiden worden van het gereflecteerde signaal. De meetlocaties komen overeen met een waterdiepte $d = 2 H_{0S}$, $d = 1,5 H_{0S}$ en $d = H_{0S}$ (zie de figuren 4 en 5). De metingen zijn alle verricht in de gehele proeffase van 0 tot 1,0 uur.

- golfoploop tegen het duinfront

Teneinde de golfoploop tegen het duinfront te kunnen bepalen is in het duinfront een waterstandsmeter van het weerstandstype opgenomen (zie onderstaande schets). Tijdens de proefduur is de wateropzet tegen het duinfront continue geregistreerd en op "schijf" opgeslagen, alsmede met behulp van een papierschrijver vastgelegd. Na afloop van de proeven zijn de gemeten signalen verder verwerkt ten behoeve van de golfoploop-analyse.



- Golfoverslag over de duintop

Tijdens de proefduur is de hoeveelheid water, welke door golfoverslag over de duintop heenslaat, opgevangen met behulp van een bak achter het duin (zie bovenstaande schets). Hierdoor is het mogelijk, naast de frequentie van golfoverslag welke volgt uit de golfoploop-analyse, tevens de mate van golfoverslag vast te stellen. De hoeveelheid overslag is bepaald met behulp van een waterstandsmeter in de overslagbak met bekend nat oppervlak.

4. Resultaten

4.1 Golven

Evenals bij eerdere onderzoeken in het kader van de Werkgroep 5 is bij het onderhavige onderzoek een golfveld toegepast, waarbij het Pierson-Moskowitz spectrum zo goed mogelijk is benaderd. Tijdens de gehele proefduur van 1 uur zijn op verschillende afstanden vanaf het golfschot golfwaarnemingen verricht. De resultaten van de golfanalyse zijn in tabel 1 samengevat. In figuur 6 is tevens een verificatie gegeven van de gemeten golfhoogten en -perioden op diepte $d = 2 H_{os}$ en de gewenste waarden, berekend volgens de lineaire golftheorie. De reproductie in het model is goed te noemen.

4.2 Golfoploop tegen het duinfront

De registraties van de golfoploopmeter in het duinfront zijn op twee verschillende manieren uitgewerkt.

De gebruikelijke maat voor de golfoploop bij dijkprofielen is $z_{2\%}$, gedefiniëerd als de oploophoogte boven het stilwaterniveau welke door 2% van het aantal oplopende golftongen wordt overschreden. Bij duinen, waarbij het duinfront veel steiler is dan een dijktafsluiting, is er niet zozeer sprake van oplopende golftongen maar veeleer van watermassa's tegen het duinfront. Nochtans kan eenzelfde wijze van verwerking van de meetresultaten worden toegepast, volgens de relatie:

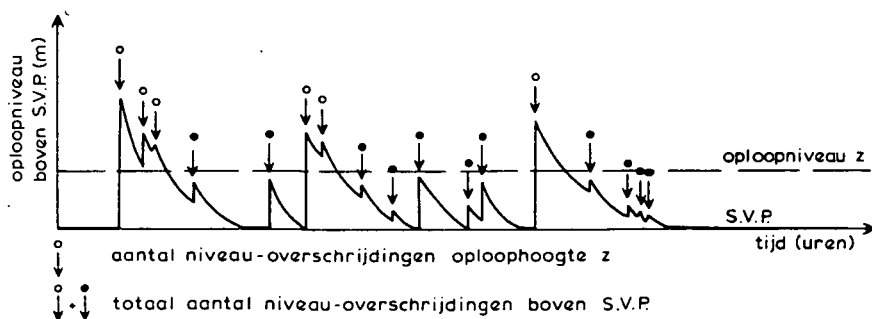
$$p_z = \frac{n_z}{n} \cdot 100\% \quad (4)$$

waarin:

p_z = percentage van het aantal niveau-overschrijdingen bij een zekere oploophoogte z

n_z = aantal malen dat het oploophoogte z overschreden is

n = totaal aantal niveau-overschrijdingen boven het stormvloedpeil, welke door de golfoploopmeter wordt geregistreerd (zie onderstaande schets).



De resultaten van de proeven die op bovenstaande wijze zijn verwerkt, zijn op Rayleigh-papier uitgezet en weergegeven in de figuren 7 tot en met 9. De figuren 7 en 8 geven de resultaten voor de proevenserie met superstormvloed met een duinvoethoogte van respectievelijk N.A.P. + 5,0 m (proeven T01...T06) en N.A.P. + 6,0 m (proeven T07...T09). De oploopresultaten van proef T09 zijn door "witte ruis" beïnvloed waardoor een uitwerking op basis van het aantal overschrijdingen minder zinvol is. Deze zijn dan ook niet opgenomen. Figuur 9 geeft de resultaten voor de proevenserie met de 1976-stormvloed (proeven T10...T11). De waarden van de oploopniveaus $z_{10\%}$, $z_{5\%}$, $z_{2\%}$ en $z_{\max}$ voor iedere proef zijn samengevat in tabel 2. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het totaal aantal niveau-overschrijdingen boven stormvloedpeil (100%) ter plaatse van het duinfront overeenkomt met ongeveer 335 inkomende golven per uur in het prototype op een waterdiepte $d = 2 H_{os}$.

In figuur 7 zijn tevens de resultaten van de golfoploopenalyse van het Delta-gootonderzoek weergegeven.

Bij dijkprofielen is de bovenbeschreven wijze van verwerking van de meetresultaten éénduidig, omdat dan het aantal inkomende golven praktisch gelijk is aan het aantal oplopende golven of het aantal oplopende golftongen. Bij duinprofielen zal het echter vaak voorkomen dat verschillende golven gezamenlijk één oplopend waterfront veroorzaken ("ruitereffect"). Hierdoor is het begrip "oplopende golf", en daardoor de definitie van de golfoploop, gebaseerd op het aantal overschrijdingen, niet meer éénduidig.

Om dit probleem te ondervangen is behalve bovenstaande verwerking van de meetresultaten ook een methode van uitwerking toegepast die is gebaseerd op het percentage van de tijd dat een bepaald oploopniveau overschreden wordt, volgens:

$$p_{z^*} = \frac{t_{z^*}}{t} \cdot 100\%$$

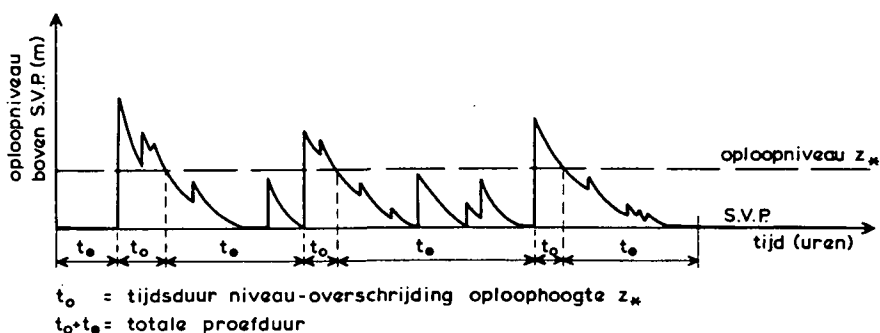
waarin:

p_{z^*} = percentage van de tijd dat een zeker oploopniveau wordt overschreden

t_{z^*} = tijdsduur van niveau-overschrijding z^*

t = proefduur

Een en ander is weergegeven in de volgende schets.



De resultaten van de metingen die op deze wijze zijn verwerkt, zijn eveneens op Rayleigh-papier uitgezet en weergegeven in de figuren 10 tot en met 12. De figuren 10 en 11 geven de resultaten van de proeven met superstormvloed voor een duinvoethoogte op respectievelijk N.A.P. + 5,0 m (proeven T01...T06) en N.A.P. + 6,0 m (proeven T07...T09). Figuur 12 geeft de resultaten voor de proeven met de 1976-stormvloed (proeven T10...T11). Tevens zijn in tabel 3 de waarden van de oploophniveau's $z_{10\%}$, $z_{5\%}$, $z_{2\%}$ en $z_{\max}$ voor iedere proef samengevat.

4.3 Golfoverslag over het duin

In de gevallen waarbij tijdens de proefduur golfoverslag over het duin heeft plaatsgevonden, is deze bepaald met behulp van een overslagbak achter het duin. De resultaten voor de verschillende proeven zijn samengevat in tabel 4. In figuur 13 is tevens het overslagdebiet als functie van de duinhoogte weergegeven. Voor de beproefde duinvoethoogten van zowel N.A.P. + 5,0 m als N.A.P. + 6,0 m kan deze functie afdoende worden beschreven met:

$$q = 31010 e^{-0,83 h} \quad \text{N.A.P.} + 7 \text{ m} \leq h \leq \text{N.A.P.} + 20 \text{ m} \quad (6)$$

waarin:

q = overslagdebiet in $\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$

h = duinhoogte t.o.v. N.A.P. in m

(stormvloedpeil N.A.P. + 5,0 m).

Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit overslagdebiet is gemiddeld over de proefduur. Tijdens perioden van overslag zal het debiet aan overslag dus veel groter zijn.

4.4 Haling in de onderzoekgoot

Tijdens het onderzoek is gebleken dat de proefresultaten onderhevig zijn geweest aan waterstandsvariatiën in de goot, welke worden opgewekt door golfgroepen en gereflecteerd bij het golfschot en het duin. De resulterende haling in de goot heeft een significant grotere periode dan de karakteristieke periode van de opgewekte golfbeweging. Als zodanig manifesteert deze zich dan ook als een extra top in het energiedichtheidsspectrum van de golven (zie figuur 14).

Teneinde de resulterende waterstandsvariatiën nabij het duinfront te bepalen, zijn de golfregistraties tijdens de proeven met de 1976-stormvloed (T10 en T11) nader geanalyseerd, waarbij de 'lange' component van de haling en de 'korte' component van de golfbeweging met behulp van een filterprogramma numeriek zijn gescheiden. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

proef	GHM	afstand vanaf het golfschot (m)	volledige spectrum		golfbewe- ging		haling	
			H _s (m)	T _p (s)	H _s (m)	T _p (s)	H _s (m)	T _p (s)
T10	1*	8,00	6,10	7,74	6,03	7,74	0,83	40,79
	2*	8,70	6,12	7,74	6,06	7,74	0,85	44,87
	3*	24,85	4,93	8,80	3,75	8,80	0,96	64,10
	4*	25,55	4,86	8,80	3,75	8,80	0,97	60,79
	5**	40,00	3,57	8,97	3,53	8,97	1,20	74,78
	6**	40,70	3,65	8,97	3,45	8,97	1,20	74,78
T11	1*	8,00	6,10	7,74	6,03	7,74	0,83	40,79
	2*	8,70	6,12	7,74	6,06	7,74	0,85	44,87
	3*	24,85	4,93	8,80	3,75	8,80	0,96	56,09
	4*	25,55	4,88	8,80	3,72	8,80	0,96	64,10
	5***	40,00	3,63	8,97	3,39	8,97	1,29	74,78
	6***	40,70	3,72	8,97	3,46	8,97	1,35	74,78

frequentiescheiding 0,06 Hz(*); 0,04 Hz(**); 0,05 Hz(***); zie figuur 14

Hieruit blijkt dat, herleid naar prototypewaarden, een maximale waterstandsvariatie nabij het duinfront van 1,20 m à 1,35 m top-dal waarde kan zijn opgetreden. Deze haling zal het analyseresultaat van de golfoploop en -overslag wellicht hebben beïnvloed.

5. Evaluatie en conclusies

5.1 Situatie tijdens superstormvloed

Uitgaande van een afslagprofiel direct na het hoogtepunt van de stormvloed, zoals afgeleid uit de proeven in de Deltagoot, is voor een aantal duinhoogten en een tweetal hoogten van de duinvoet de golfoploop tegen het duinfront en de golfoverslag over het duin bepaald.

De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 2 en 3 en de figuren 7, 8, 10, 11 en 13. Hieruit kunnen de navolgende conclusies worden geformuleerd.

- 1 Gezien de onzekerheden in de definitie van een oploophoogte, gebaseerd op het aantal overschrijdingen, verdient een oploophoogte, gedefiniëerd op basis van de tijdsduur van de overschrijdingen, de voorkeur. Op deze wijze wordt ook meer recht gedaan aan het fysische verband tussen golfoploop en golfoverslag.
- 2 Boven het 10%-niveau zijn de oploophoogten, gebaseerd op de tijdsduur waarover een zekere oploop wordt overschreden, voor de meeste proeven kleiner dan de oploophoogten gebaseerd op het aantal malen dat deze oploop wordt overschreden (zie onderstaande tabel); overigens resulteren beide definities in nagenoeg gelijke oploophoogten.

proef nummer	verhouding $z_{\text{aantal}}/z_{\text{tijd}}$		
	2%	5%	10%
T01	1,12	1,05	0,98
T02	1,10	1,03	0,91
T03	1,07	0,97	0,91
T04	1,06*	1,00	0,90
T05	1,07*	0,97	0,86
T06	1,10*	1,07*	0,86*
T07	1,12	1,02	0,93
T08	1,05	0,92	0,77
T09	-	-	-

* golfoploop resulteert in golf-
overslag

- 3 Bij een bepaald overschrijdingspercentage (in aantal golven zowel als in tijd) neemt de overeenkomstige oploophoogte af naarmate de duinhoogte, ten opzichte van de stilwaterstand afneemt. Dit effect hangt vermoedelijk samen met de opstuwende werking van het duinfront en de mate van golfoverslag.
- 4 Met betrekking tot de golfoploop bij de onderzochte duinvoethoogten kan worden geconcludeerd dat een duinvoetligging boven stormvloedpeil nagenoeg géén extra stuwend effect op de golfoploop heeft (zie ook onderstaande tabel).

proefnummer	verhouding golfoploop bij duinvoet 1 m boven en op stormvloedpeil					
	aantal			tijd		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%
T07/T01	1,01	0,94	0,93	1,01	0,97	0,98
T08/T03	1,09	0,98	0,88	1,10	1,03	1,04
T09/T05	-	-	-	1,01*	0,98	1,00

* golfoploop resulteert in golfoverslag

- 5 Indien als ontwerpnorm voor de duinhoogte wordt aangehouden dat tijdens het hoogtepunt van de storm niet meer dan 2% van de golven (ongeveer 7 golven per uur) over het duin mogen slaan, dan resulteert uit het huidige onderzoek een vereiste duinhoogte van ongeveer 4,5 m boven stormvloedpeil (zie ook onderstaande tabel). Dit resultaat komt goed overeen met de analyse-resultaten van de Deltagootmetingen welke resulteerden in een 2%-overslag-niveau (gebaseerd op het aantal overschrijdingen) van 4,25 m boven het stormvloedpeil.

hoogte duintop t.o.v. N.A.P. (m)	percentage van de golven dat resulteert in overslag
20,0	0 %
12,5	0,1 %
10,0	1,5 %
9,0	2,3 %
8,0	4,1 %
7,0	8,5 %

Het overeenkomstige overslagdebiet bedraagt ongeveer $12 \text{ dm}^3/\text{m}'/\text{s}$ gemiddeld over de tijd. In de perioden van overslag betekent dit gemiddeld $6 \text{ m}^3/\text{m}'$ per golf die tot overslag leidt.

- 6 Indien als ontwerpnorm voor de duinhoogte wordt aangehouden dat niet meer dan 2% van de tijd tijdens het hoogtepunt van de storm overslag mag plaatsvinden, dan volgt uit het huidige onderzoek een vereiste duinhoogte van ongeveer 4,0 m boven stormvloedpeil (zie ook onderstaande tabel).

hoogte duintop t.o.v. N.A.P. (m)	percentage van de tijd dat golfoverslag plaatsvindt
20,0	0 %
12,5	0,05 %
10,0	1,0 %
9,0	1,7 %
8,0	5,8 %
7,0	12,0 %

Het overeenkomstige overslagdebiet bedraagt ongeveer $18 \text{ dm}^3/\text{m}'/\text{s}$ gemiddeld over de tijd. In de perioden van overslag is dus het overslagdebiet ongeveer $0,9 \text{ m}^3/\text{m}'/\text{s}$.

- 7 Bovenstaande resultaten zijn vermoedelijk beïnvloed door een haling in de goot met een maximale waterstandsvariatie nabij het duinfront van 1,20 m à 1,35 m (top-dal waarde). Aangezien het mechanisme van de haling en het effect op de golfoploop onvoldoende bekend zijn, wordt het niet verantwoord geacht de golfoploopresultaten hiervoor te corrigeren. In ieder geval kan worden gesteld dat de onderzoekresultaten in orde van grootte de vereiste duinhoogte in relatie tot de golfoploop en golfoverslag aangeven.
- 8 Vooralsnog wordt aanbevolen een minimale hoogte van de reservestrook van 4,0 m boven het maximale stormvloedpeil aan te houden teneinde tijdens het hoogtepunt van de superstormvloed de overslag door golven te beperken tot ongeveer 2%, overeenkomend met overslag gedurende ruim 1 minuut per uur. Tijdens de perioden van overslag moet gerekend worden op een gemiddeld overslagdebiet van ongeveer $1 \text{ m}^3/\text{m}'/\text{s}$.
- 9 Gelet op het te verwachten overslagdebiet tijdens het hoogtepunt van de stormvloed, is nadere studie gewenst naar het erosiemechanisme van de reservestrook, veroorzaakt door golfoverslag. Vermoedelijk zal bij de voorgestelde hoogte van de reservestrook een verbreding van het restprofiel dienen te worden aangebracht teneinde de stabiliteit van de reservestrook niet in gevaar te brengen.

5.2 Situatie tijdens 1976-stormvloed

Uitgaande van een gemiddeld afslagprofiel, zoals dat nabij Kijkduin direct na de stormvloed op 3 januari 1976 is opgemeten, zijn een tweetal proeven met verschillende duinfronthellingen uitgevoerd teneinde de waargenomen golfoploop tijdens het hoogtepunt van de storm in de natuur te toetsen aan de gemeten golfoploop in het model.

De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 2 en 3 en de figuren 9 en 12. Hieruit kunnen de navolgende conclusies worden geformuleerd.

- 1 De bevindingen welke bij de proeven met superstormvloed onder conclusies 1 en 2 zijn geformuleerd, zijn ook bij de 1976-stormvloed van toepassing.
- 2 Met betrekking tot de golfoploop bij de onderzochte hellingen van het duinfront kan worden geconcludeerd dat een helling van 1:1,5 een hogere golfoploop veroorzaakt dan een verticale helling (zie ook onderstaande tabel). Deze laatste moet voor het afslagprofiel het meest reëel worden geacht.

oploophniveau	verhouding golfoploop bij een helling van het duinfront van 1:1,5 ten opzichte van een verticale helling	
	aantal	tijd
$z_{2\%}$	1,12	1,16
$z_{5\%}$	1,11	1,13
$z_{10\%}$	0,98	1,04

- 3 De waargenomen golfoploop tijdens het hoogtepunt van de storm op 3 januari 1976 bereikte soms een niveau van 1,5 m à 2,0 m boven de duinvoet(schatting ir. J. v.d. Graaff van Werkgroep 5). Dit komt overeen met een hoogte van 2,25 m à 2,75 m boven het stormvloedpeil. Deze schatting kan wellicht vergeleken worden met het 2%- tot 5%-oploophniveau zoals dat tijdens het huidige onderzoek is bepaald (zie volgende tabel).

1976-stormvloed	huidige onderzoek			
schatting incidenteel oploophniveau (m t.o.v. S.V.P.)	2%-niveau (m t.o.v. S.V.P.)		5%-niveau (m t.o.v. S.V.P.)	
	aantal	tijd	aantal	tijd
2,25 à 2,75	3,35 à 3,70	3,05 à 3,50	2,45 à 2,75	2,35 à 2,70

Alhoewel de bovenstaande onderzoekresultaten misschien enigszins zijn beïnvloed door de eerdergenoemde haling in de goot, is de overeenkomst met de schatting uit de natuur in orde van grootte redelijk te noemen. Vooralsnog geven de resultaten van de verificatieproeven dan ook geen aanleiding om de onderzoekresultaten van golfoploop en -overslag tijdens superstorm te herzien.

LITERATUUR

- 1 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Richtlijn voor de berekening van duinafslag ten gevolge van een stormvloed
juli 1972
- 2 Waterloopkundig Laboratorium
Schaalserie duinafslag. Golfoverslag bij duinen tijdens superstormvloed
Uitwerking van de meetresultaten van het onderzoek in de Deltagoot
Interim verslag deel 2, M1263-III, november 1981
- 3 Waterloopkundig Laboratorium
Schaalserie duinafslag. Uitwerking van de meetresultaten van het onderzoek
in de Deltagoot
Interim verslag deel 1, M1263-III, juni 1981
- 4 Waterloopkundig Laboratorium
Schaalserie duinafslag
Verslag modelonderzoek M1263-I, deel A en B, april 1976
- 5 Waterloopkundig Laboratorium
Schaalserie duinafslag
Verslag modelonderzoek M1263-II, deel A en B, april 1981
- 6 Rijkswaterstaat
Lodingen en waterpassingen kustgebied Zuid-Holland;
TAW-profielen, rijksstrandpalen 107.730, 108.070 en 108.450; tek.nr. 76-71192,
76-71193 en 76-71194.
Deltadienst, Waterloopkundig afdeling Hellevoetsluis
- 7 Waterloopkundig Laboratorium
Duinafslag ten gevolge van de stormvloed op 3 januari 1976. Toetsing van
de Voorlopige Richtlijn
Verslag onderzoek R587, mei 1978.

proefnummer	plaats t.o.v. golfschot					
	d = 2 H _{Os} x = 9,30 m		d = 1,5 H _{Os} x = 24,00 m		d = H _{Os} x = 39,40 m	
	H _s (m)	$\hat{T}$ (s)	H _s (m)	$\hat{T}$ (s)	H _s (m)	$\hat{T}$ (s)
T01	7,52	11,84	5,90	13,24	4,83	-
T02	7,53	11,67	5,96	13,20	4,79	-
T03	7,53	12,30	5,91	13,20	4,77	-
T04	7,52	12,13	5,93	13,20	4,78	-
T05	7,51	12,13	5,91	13,20	4,77	-
T06	7,57	12,13	6,06	13,20	4,65	-
T07	7,53	12,13	5,96	13,20	4,61	-
T08	7,57	12,13	5,99	13,20	4,62	-
T09	7,50	12,13	5,90	13,20	4,64	-
	x = 8,70 m		d = 2 H _{Os} x = 25,55 m		d = H _{Os} x = 40,70 m	
T10	6,04	7,74	4,82	8,80	3,48	-
T11	6,04	7,74	4,84	8,80	3,54	-

Tabel 1 Resultaten golfhoogtemetingen

proefnummer	hoogte duinvoet	hoogte duintop	helling duinfront	oplooppniveau t.o.v. N.A.P. (m)			
	t.o.v. N.A.P. (m)	t.o.v. N.A.P.(m)		z _{max}	z _{2%}	z _{5%}	z _{10%}
superstormvloed							
T01	5,0	20,0	1:0,7	16,55	9,75	8,15	7,10
T02	5,0	12,5	1:0,7	14,75*	9,35	8,25	7,10
T03	5,0	10,0	1:0,7	12,90*	9,60	8,00	7,05
T04	5,0	9,0	1:0,7	11,40*	9,10*	7,85	6,90
T05	5,0	8,0	1:0,7	11,20*	8,90*	7,75	6,85
T06	5,0	7,0	1:0,7	11,15*	8,70*	7,95*	6,90
T07	6,0	20,0	1:0,7	17,50	9,80	7,95	6,95
T08	6,0	10,0	1:0,7	14,35*	10,00	7,95	6,80
T09	6,0	8,0	1:0,7	-	-	-	-
1976 - stormvloed							
T10	3,75	10,0	1:1,5	9,70	6,75	5,70	4,85
T11	3,75	10,0	verticaal	9,55	6,35	5,45	4,90

*) golfoplooppniveau leidt tot golfoverslag

Tabel 2 Golfoploop gebaseerd op aantal overschrijdingen

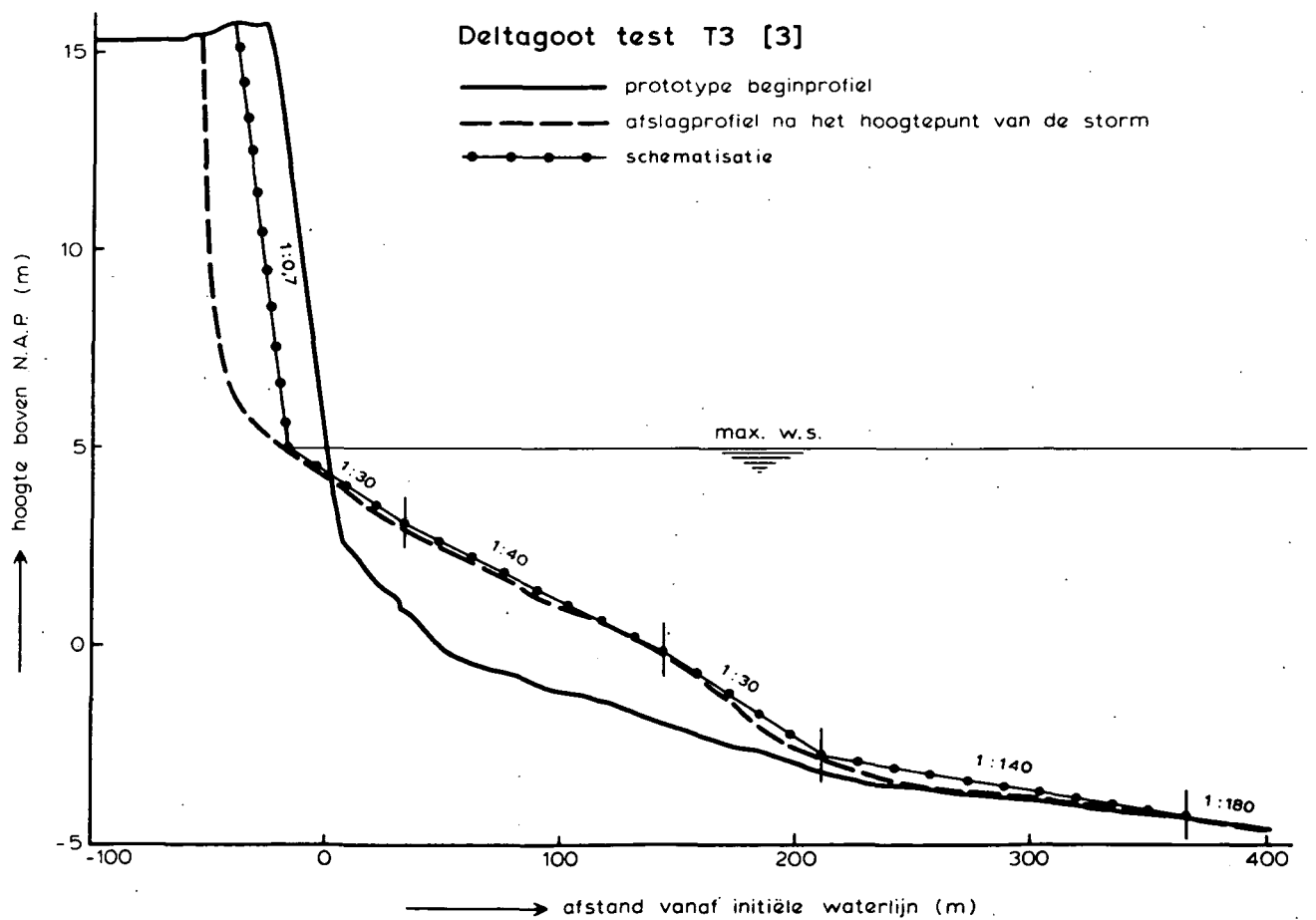
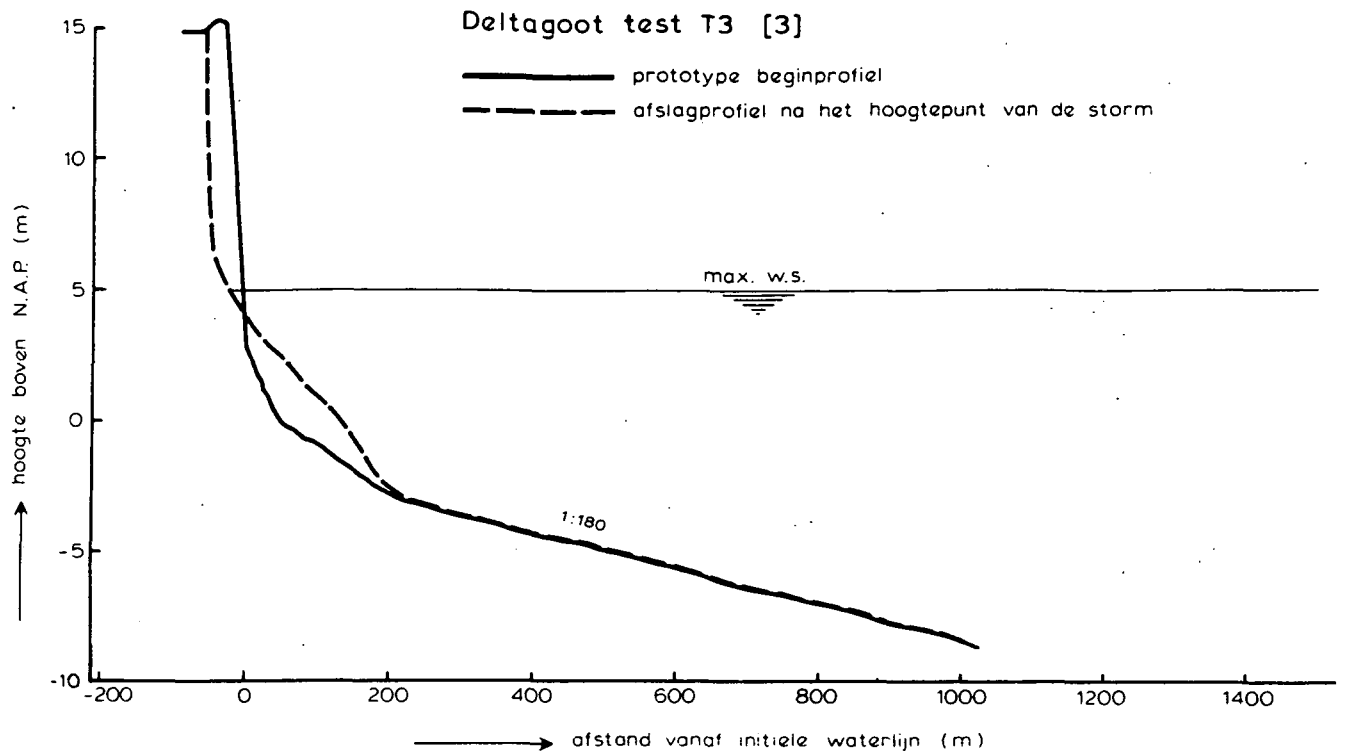
proefnummer	hoogte duinvoet t.o.v. N.A.P.(m)	hoogte duintop t.o.v. N.A.P.(m)	helling duinfront	oplooppniveau t.o.v. N.A.P. (m)			
				$z_{\max}$	$z_{2\%}$	$z_{5\%}$	$z_{10\%}$
superstormvloed							
T01	5,0	20,0	1:0,7	16,55	9,25	8,00	7,15
T02	5,0	12,5	1:0,7	14,75*	9,40	8,15	7,30
T03	5,0	10,0	1:0,7	12,90*	9,30	8,10	7,25
T04	5,0	9,0	1:0,7	11,40*	8,85	7,85	7,10
T05	5,0	8,0	1:0,7	11,20*	8,65*	7,85	7,15
T06	5,0	7,0	1:0,7	11,15*	8,35*	7,75*	7,20*
T07	6,0	20,0	1:0,7	17,50	9,30	7,90	7,10
T08	6,0	10,0	1:0,7	14,35*	9,75	8,20	7,35
T09	6,0	8,0	1:0,7	11,50*	8,70*	7,80	7,15
1976 - stormvloed							
T10	3,75	10,0	1:1,5	9,70	6,50	5,65	5,00
T11	3,75	10,0	verticaal	9,55	6,00	5,35	4,95

*) golfoplooppniveau leidt tot golfoverslag

Tabel 3 Golfoploop gebaseerd op tijdsduur van de overschrijdingen

proefnummer	overslag (dm ³ /m'/s)	
	model	prototype
T01	0	0
T02	0,0068	1,15
T03	0,0355	5,85
T04	0,1022	16,80
T05	0,1914	31,45
T06	0,7582	124,60
T07	0	0
T08	0,0456	7,50
T09	0,1909	31,65
T10	0	0
T11	0	0

Tabel 4 Resultaten golfoverslagmetingen

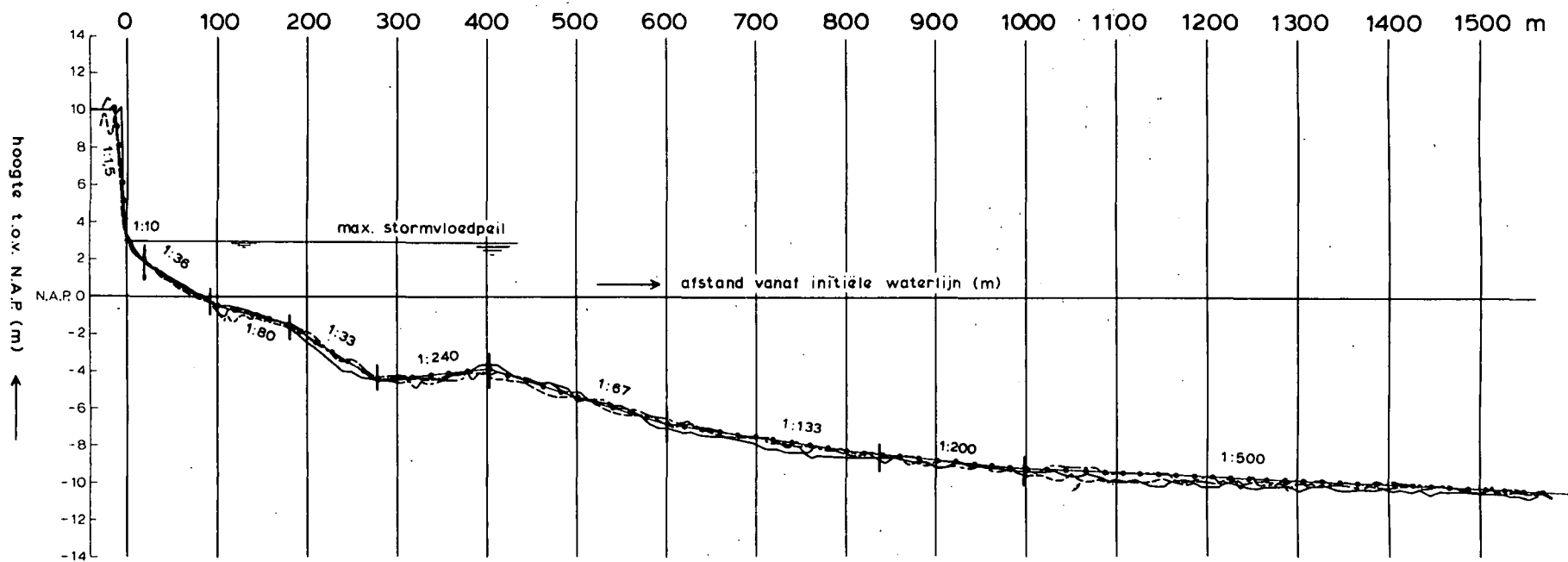


PROTOTYPE AFSLAGPROFIEL SUPERSTORMVLOED

PROTOTYPE AFSLAGPROFIEL 1976-STORMVLOED

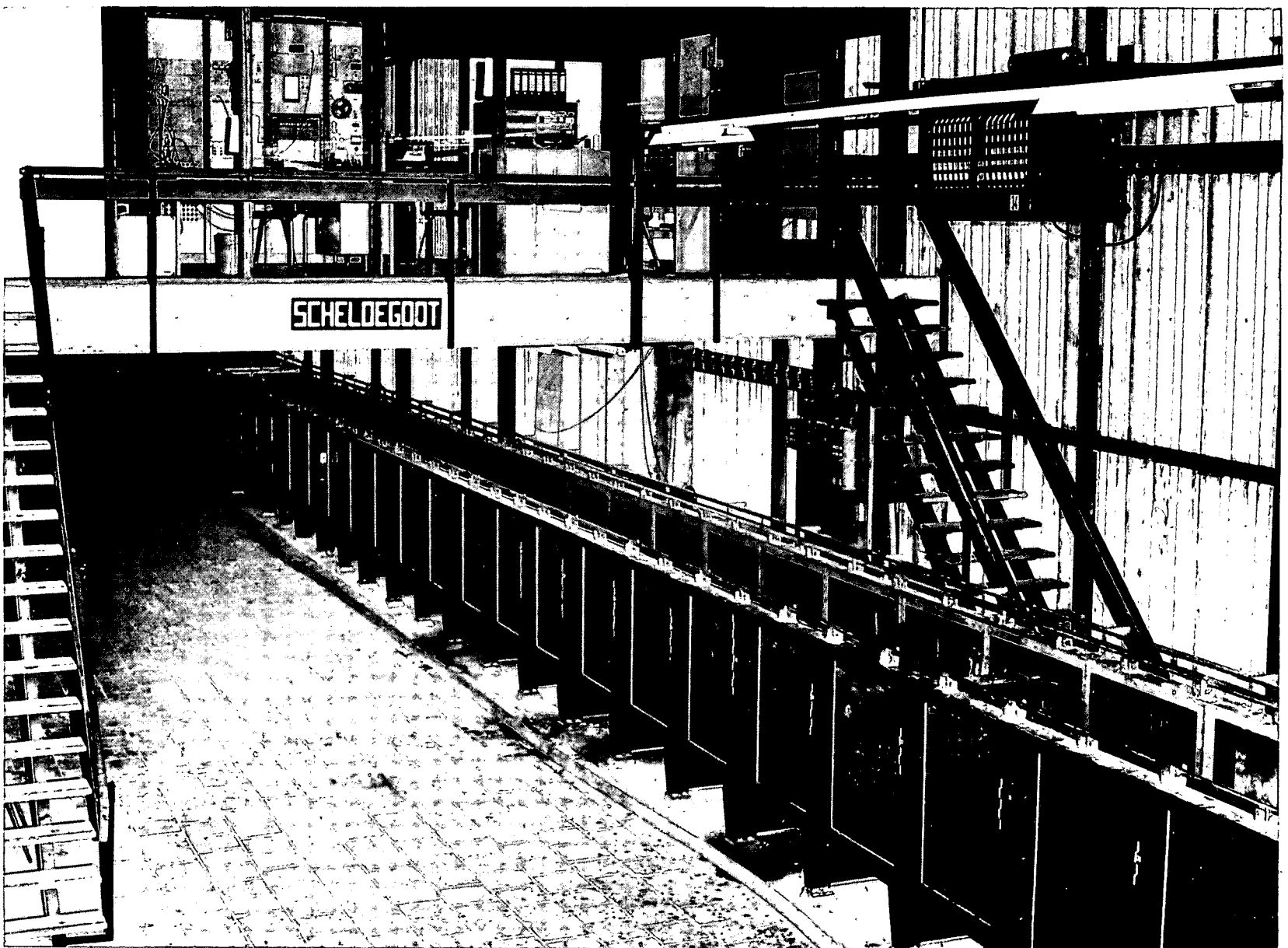
M 1819

FIG. 2



Kustgebied Zuid-Holland nabij Kijkduin

- Rijksstrandpaal no. 107.730
- - - - Rijksstrandpaal no. 108.070
- Rijksstrandpaal no. 108.450
- schematisatie

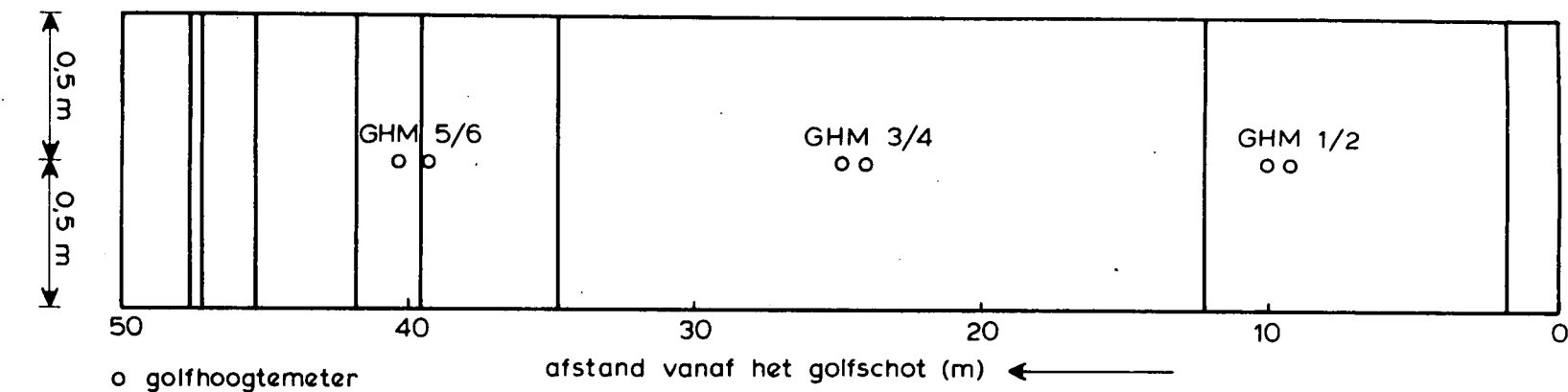


OVERZICHT SCHELDEGOET

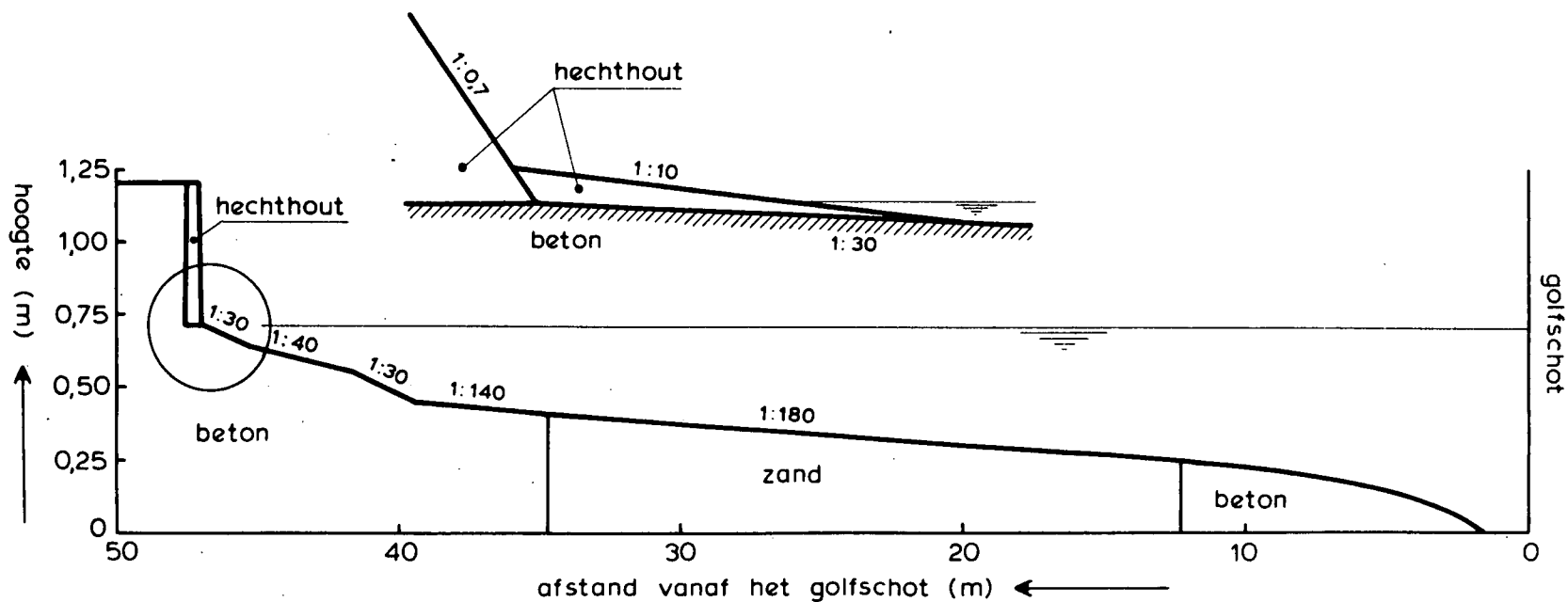
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1819

FIG. 3



BOVENAANZICHT



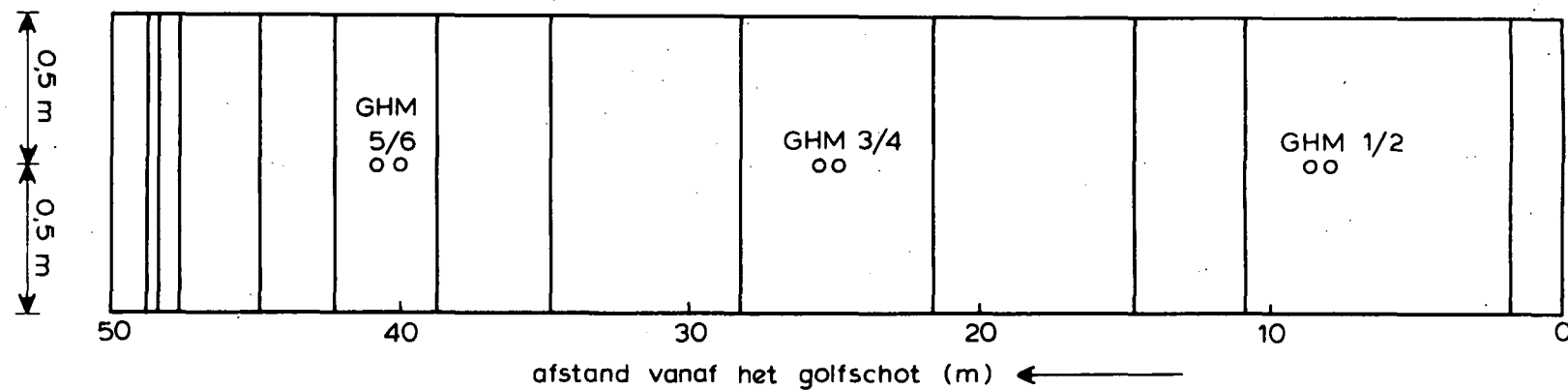
LANGSDOORSNEDE

MODELOPSTELLING

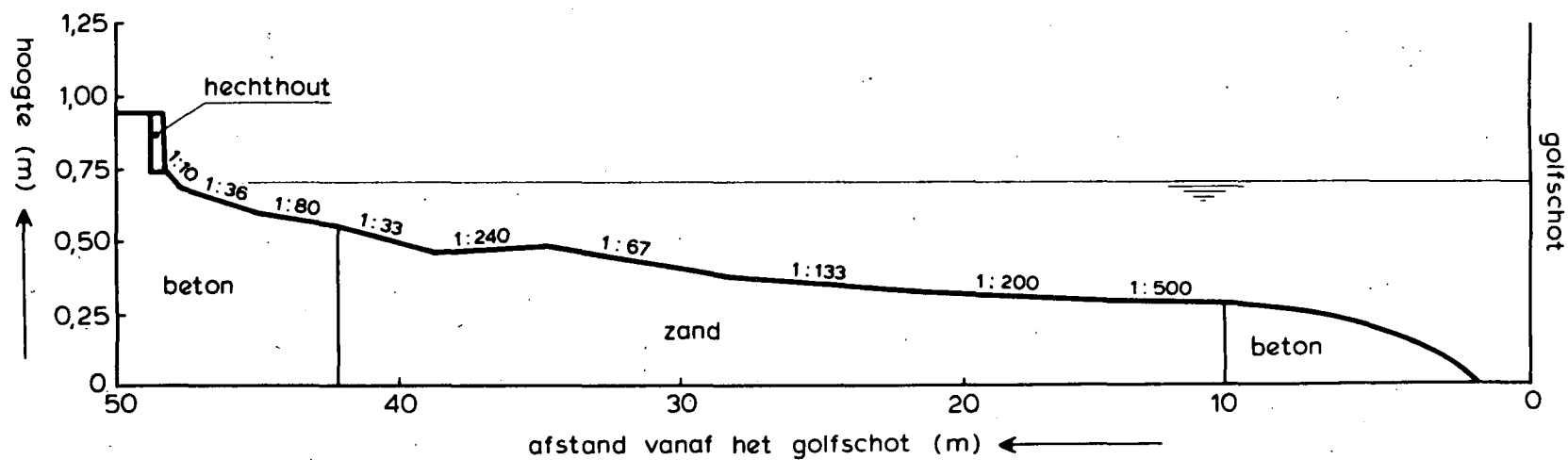
T10...T11

M 1819

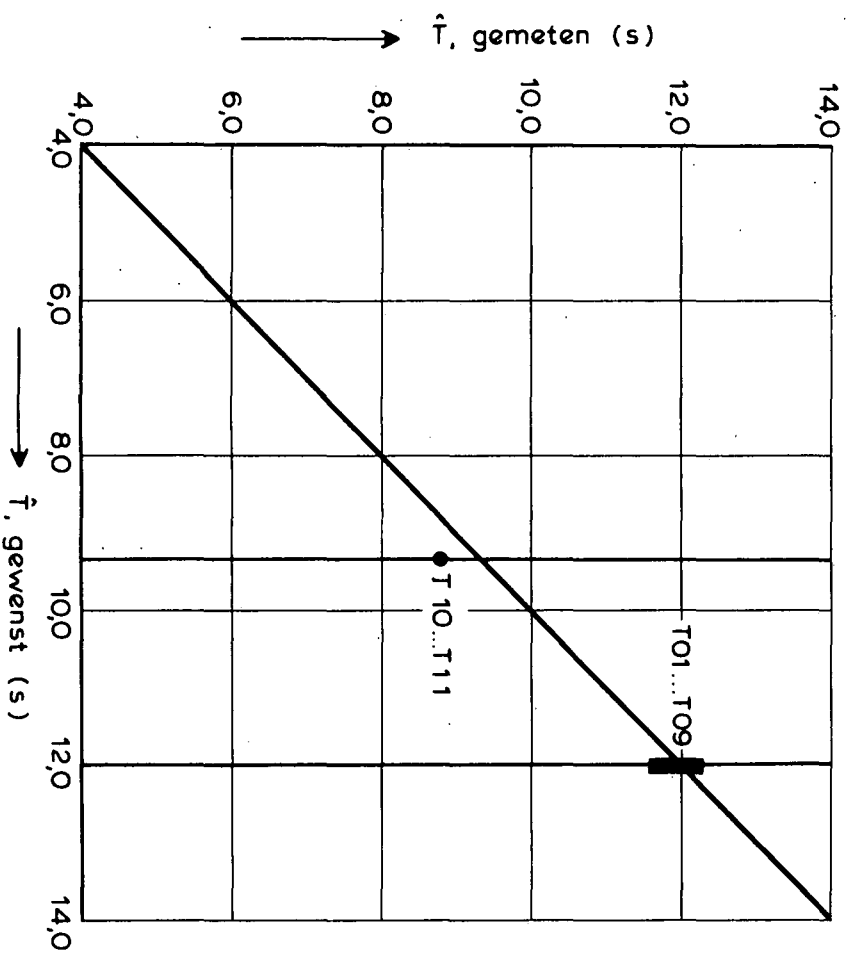
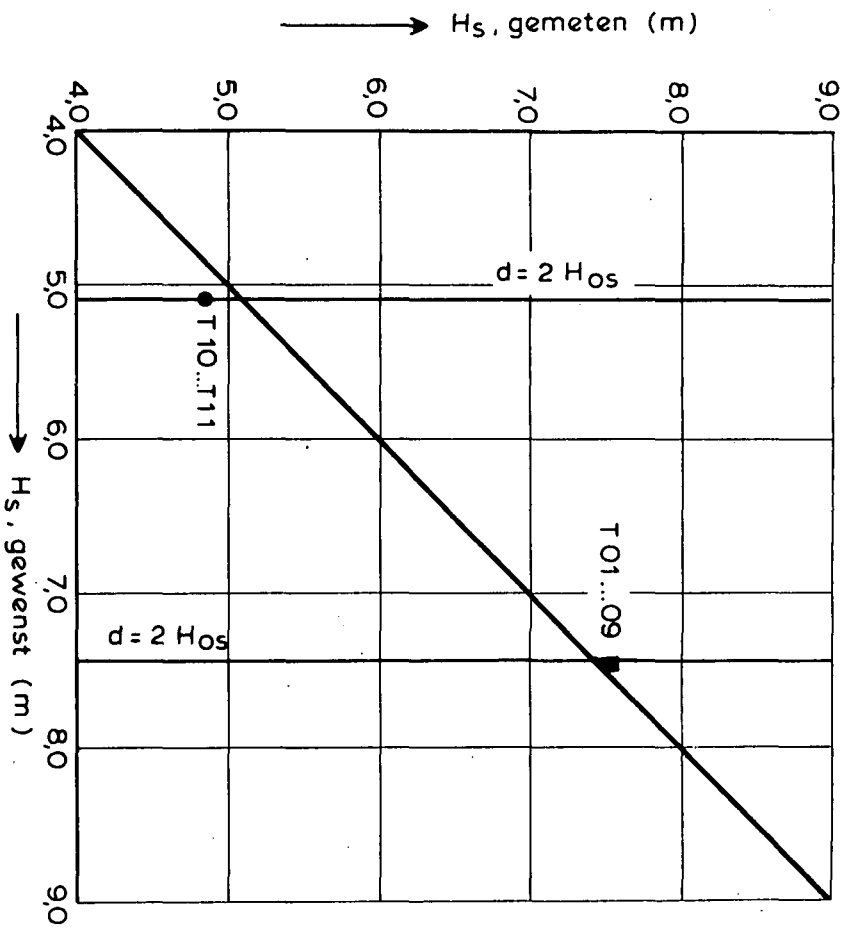
FIG. 5



BOVENAANZICHT



LANGSDOORSNEDE



VERIFICATIE GOLVEN

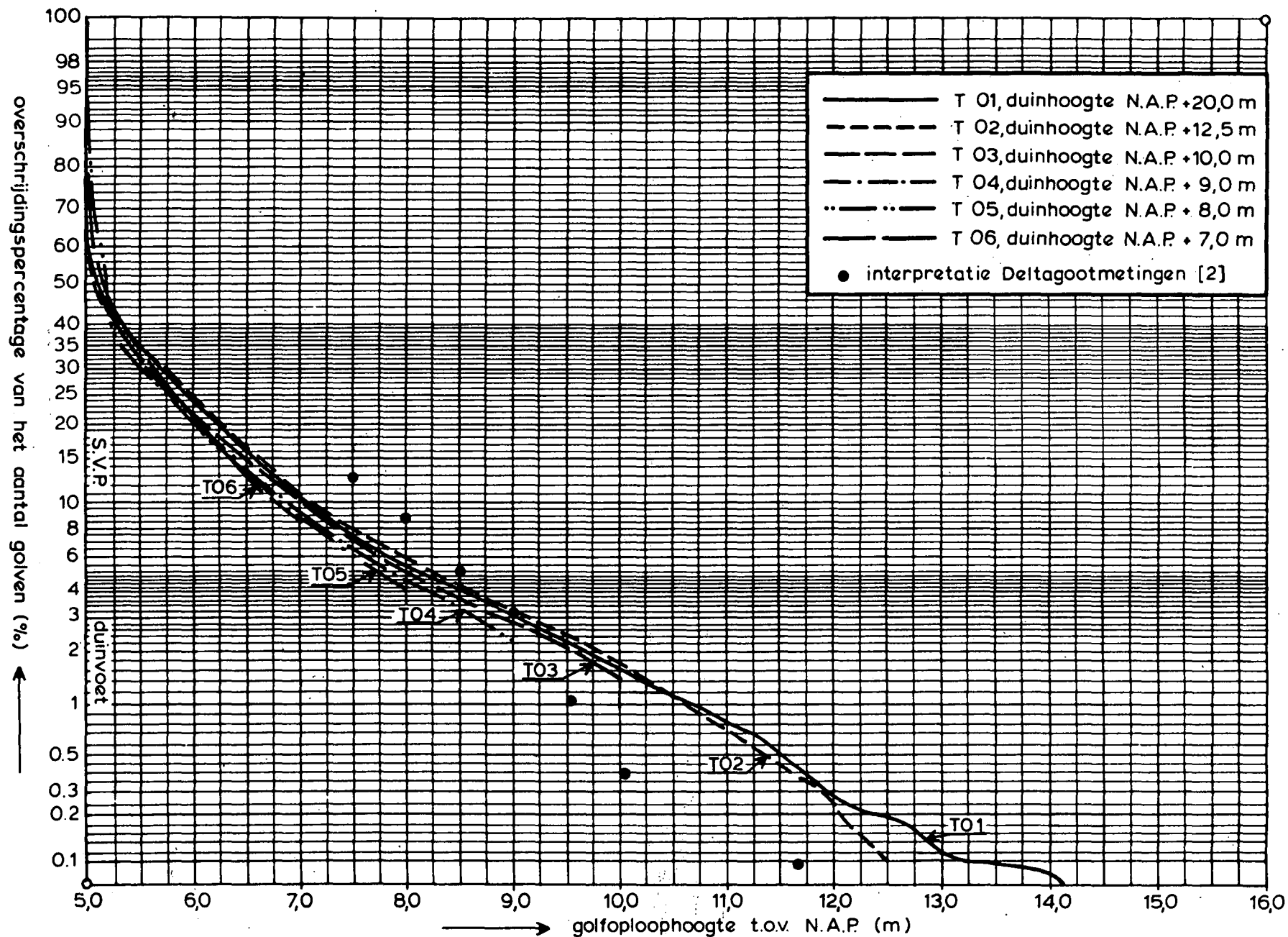
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

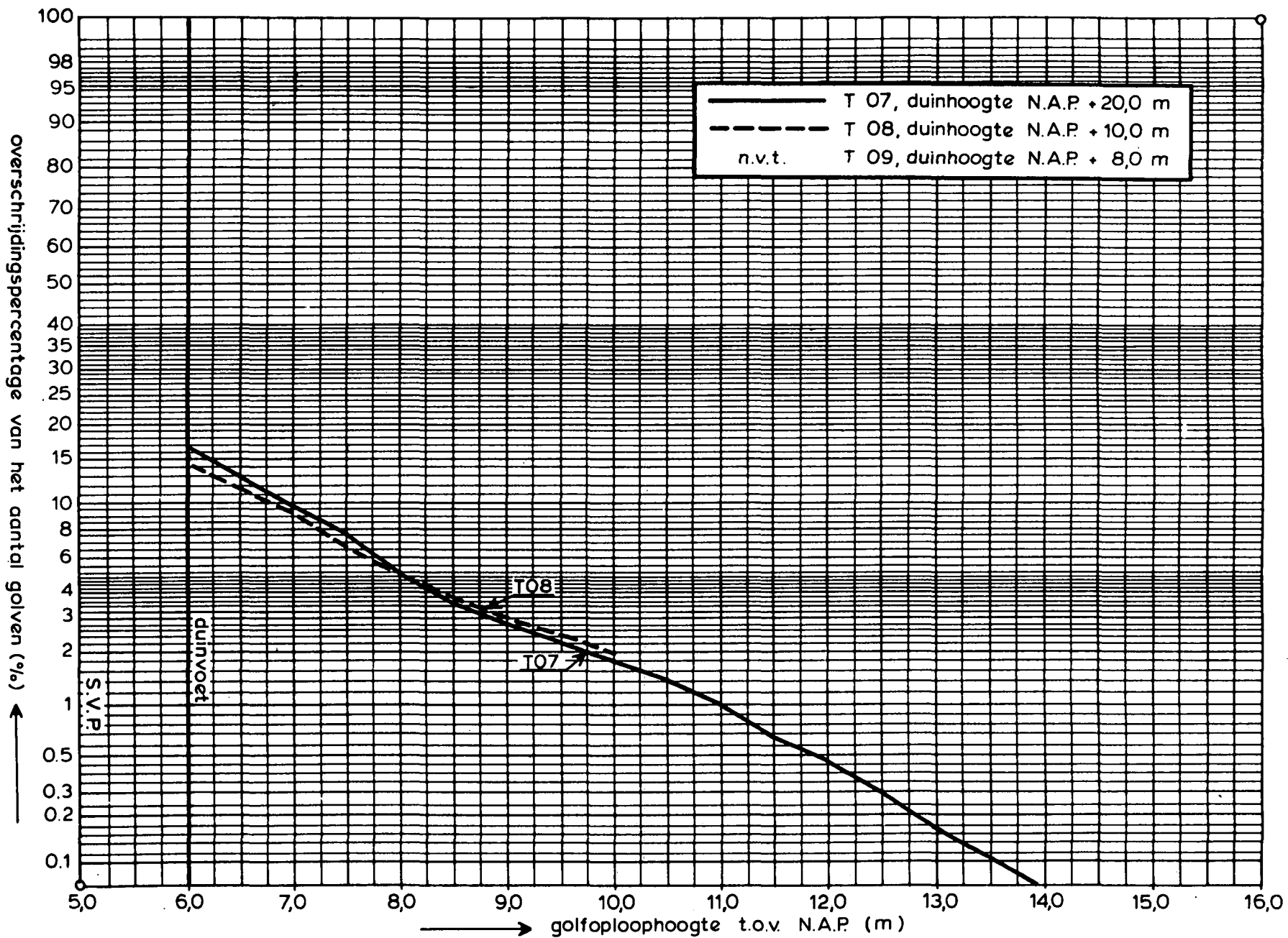
M 1819

FIG. 6

GOLFLOOP GEBASEERD OP AANTAL
OVERSCHRJDINGEN - SUPERSTORMVLOED

T 01... T 06
duinvoet N.A.P. + 5,0 m





GOLFLOOP GEBASEERD OP AANTAL
OVERSCHRJDINGEN - SUPERSTORMVLOED

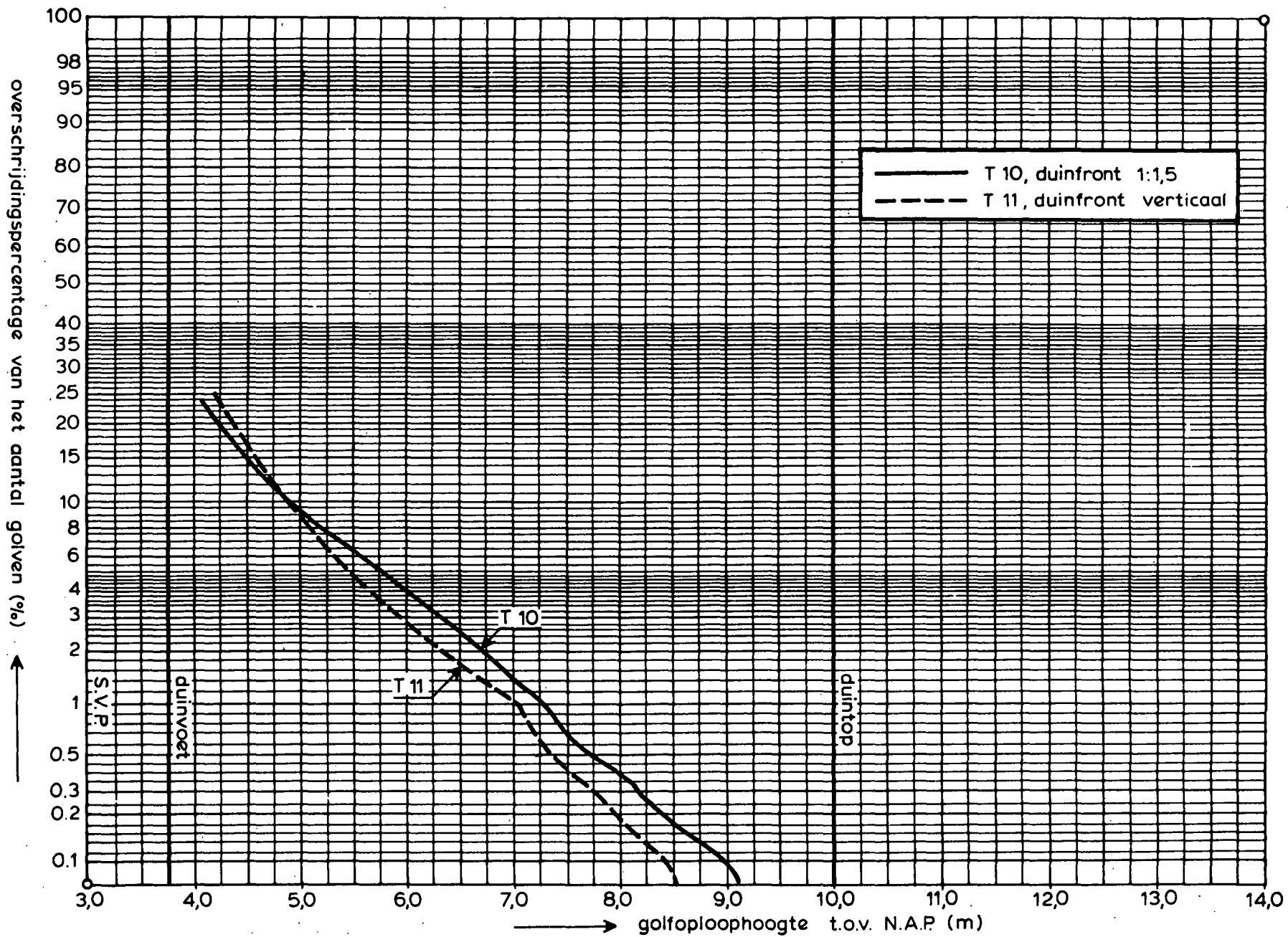
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 07...T 09

duinvoet N.A.P. + 6,0 m

M 1819

FIG. 8



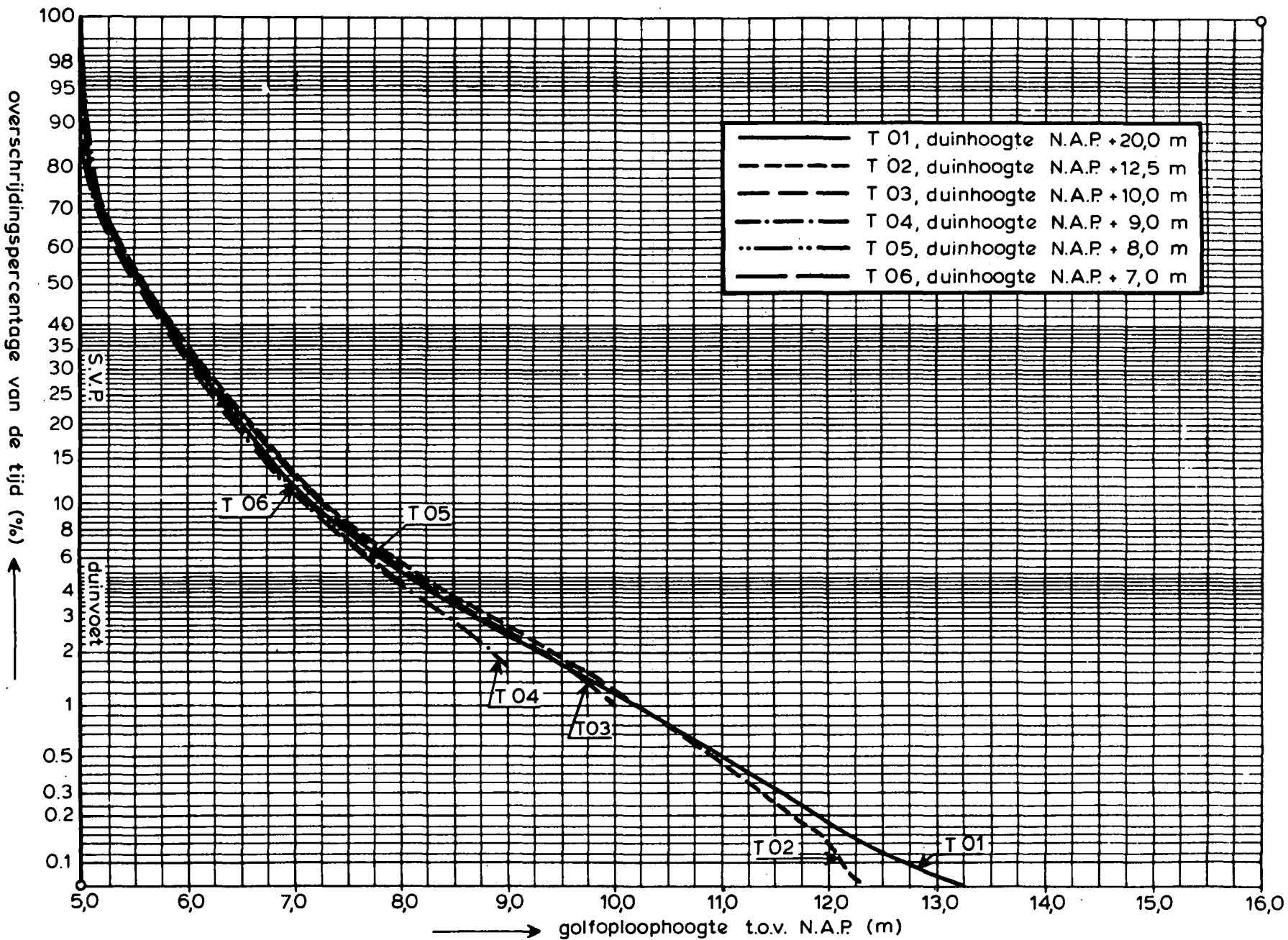
GOLFLOOP GEBASEERD OP AANTAL
OVERSCHRIJDINGEN - 1976 - STORMVLOED

T 10 ... T 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1819

FIG. 9



GOLFLOOP GEBASEERD OP TIJDSDUUR VAN
DE OVERSCHRJDINGEN - SUPERSTORMVLOED

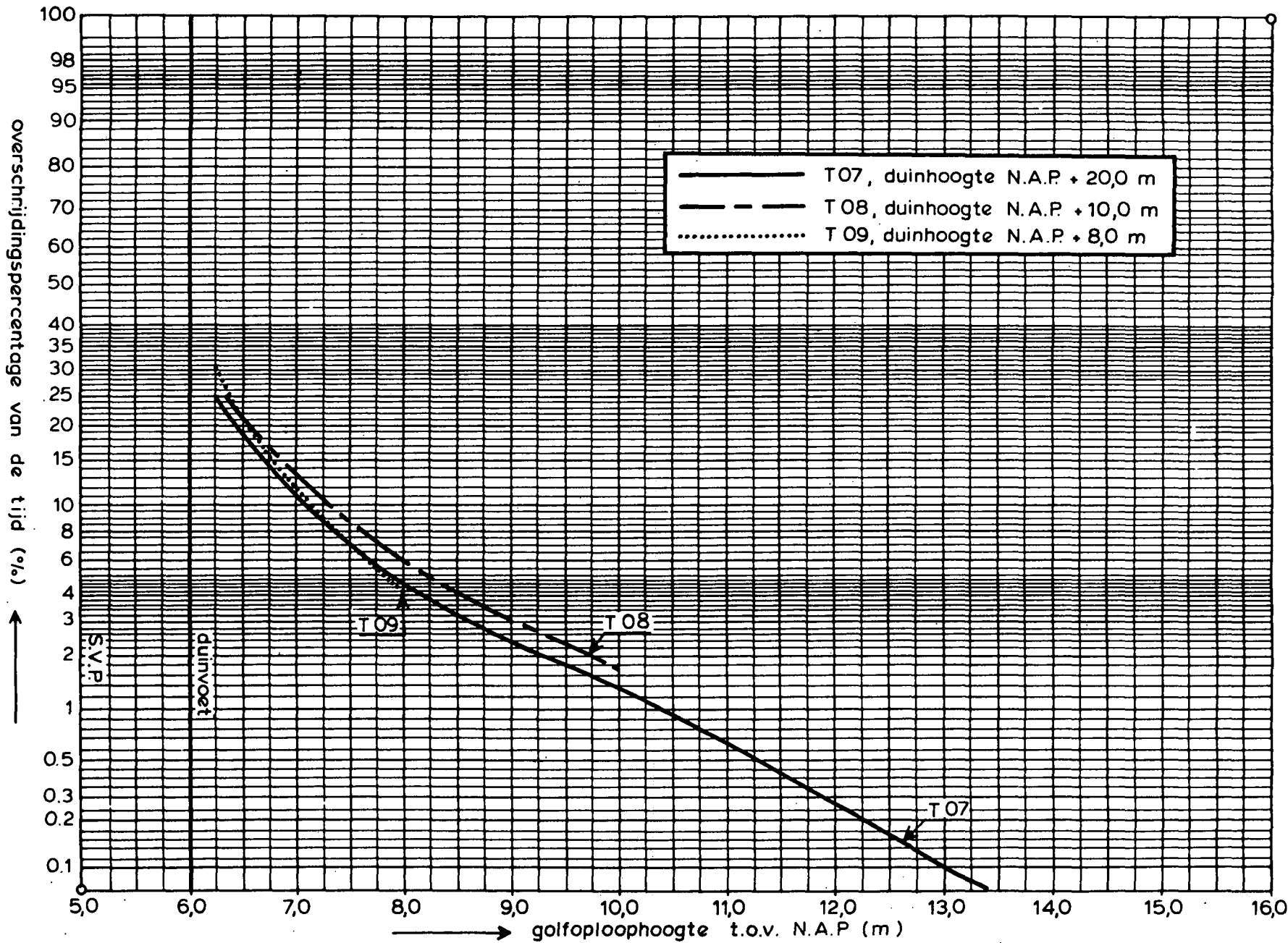
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 01... T 06

duinvoet N.A.P. + 5,0 m

M 1819

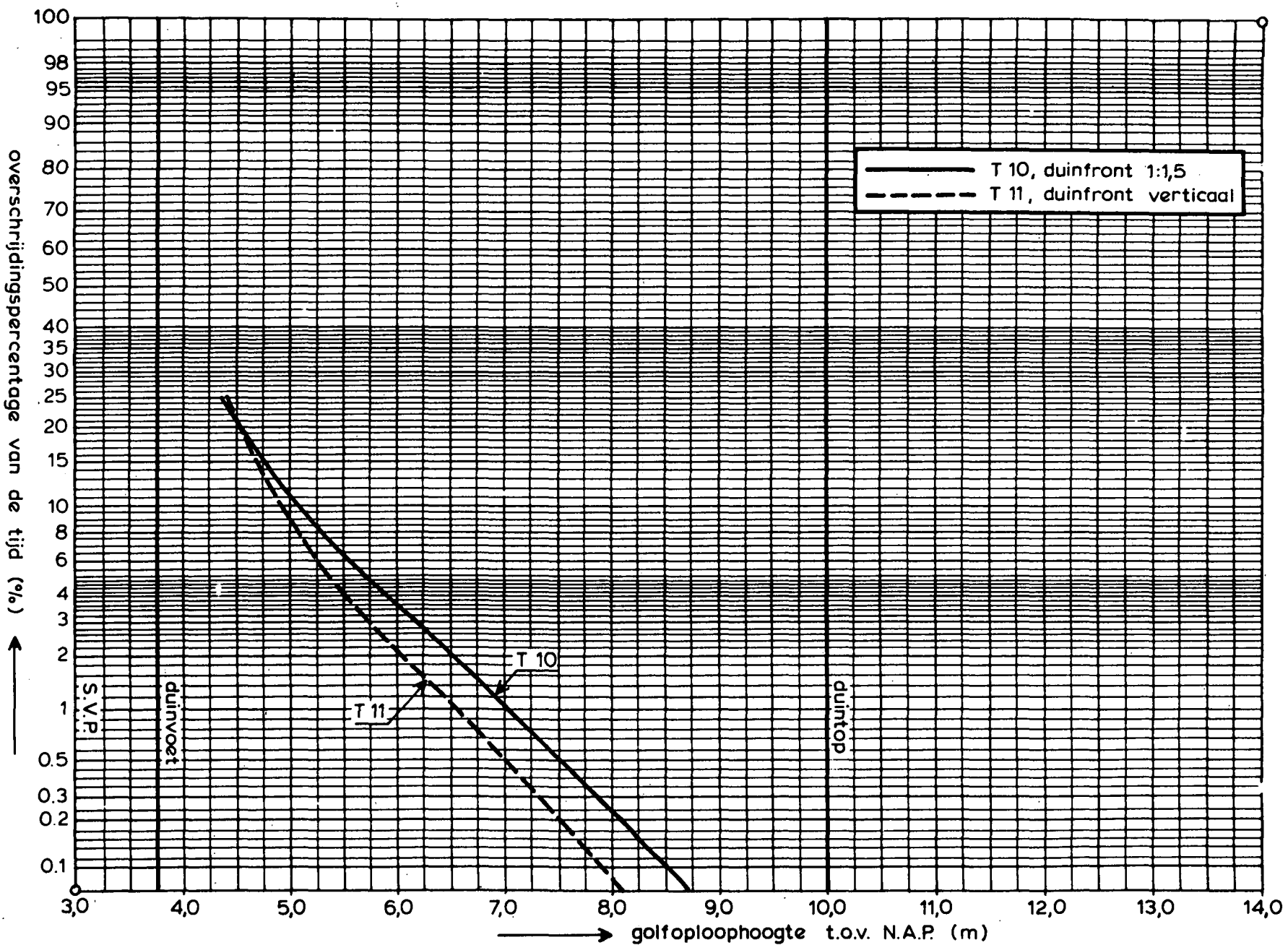
FIG. 10



GOLFOPLOOP GEBASEERD OP TIJDSDUUR VAN
DE OVERSCHRIJDINGEN - SUPERSTORMVLOED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T07...T09
duinvoet N.A.P. + 6,0 m
M 1819
FIG. 11



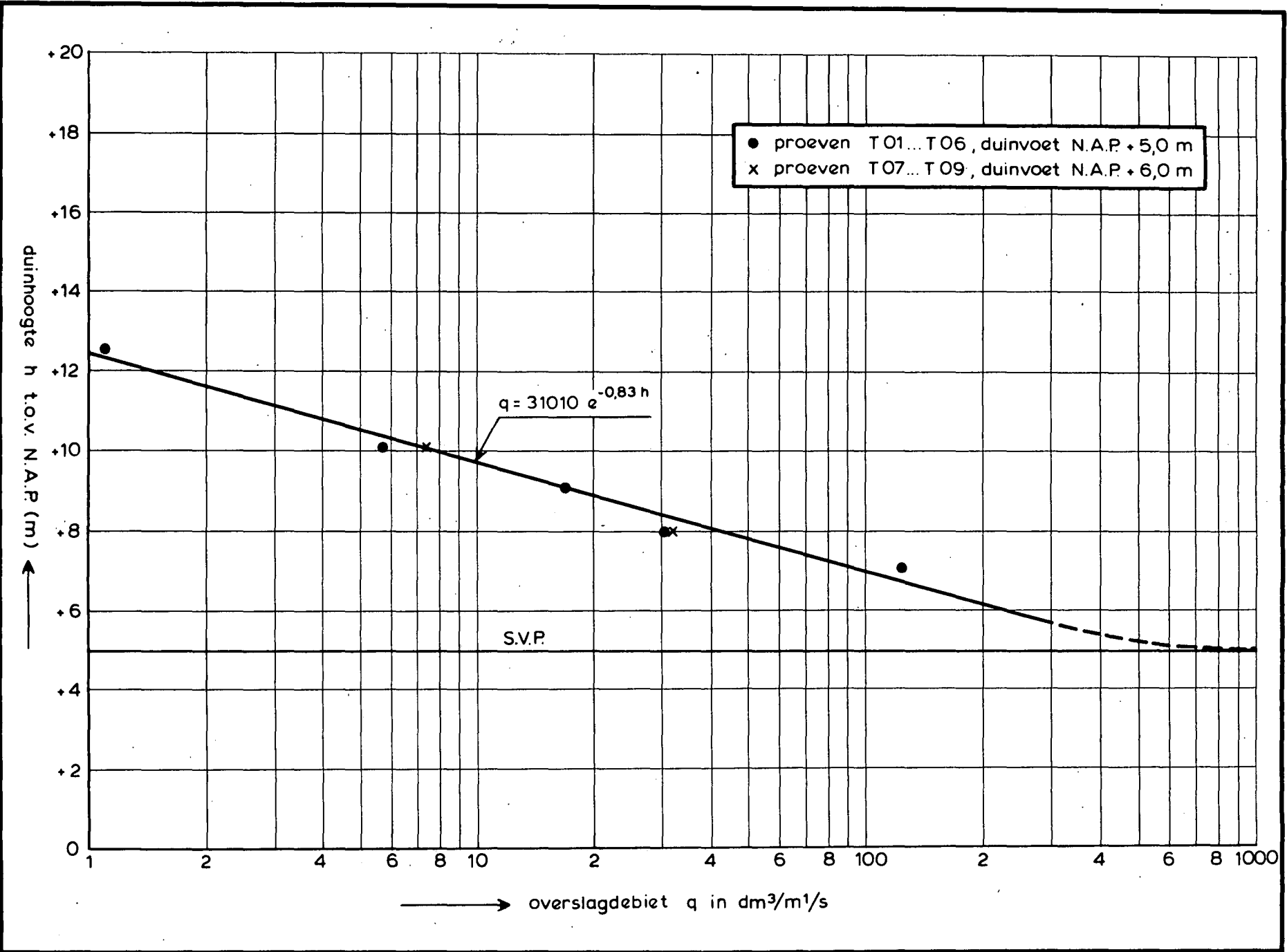
GOLFLOOP GEBASEERD OP TIJDSDUUR VAN
DE Overschrijdingen - 1976-STORMVLOED

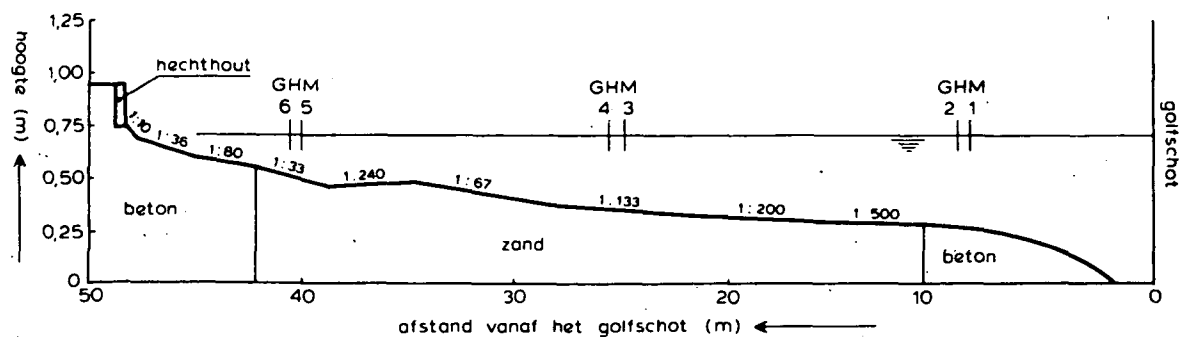
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T 10 ... T 11

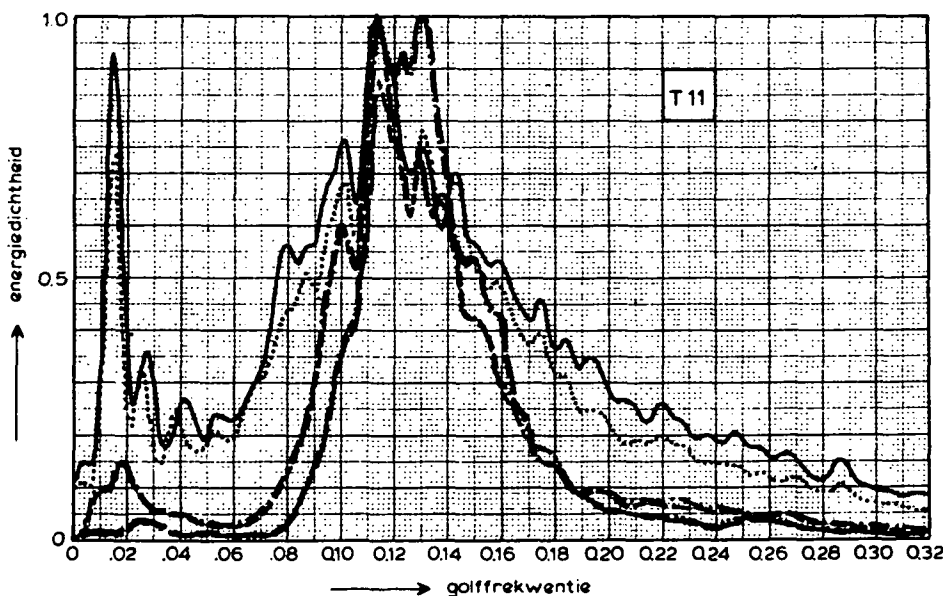
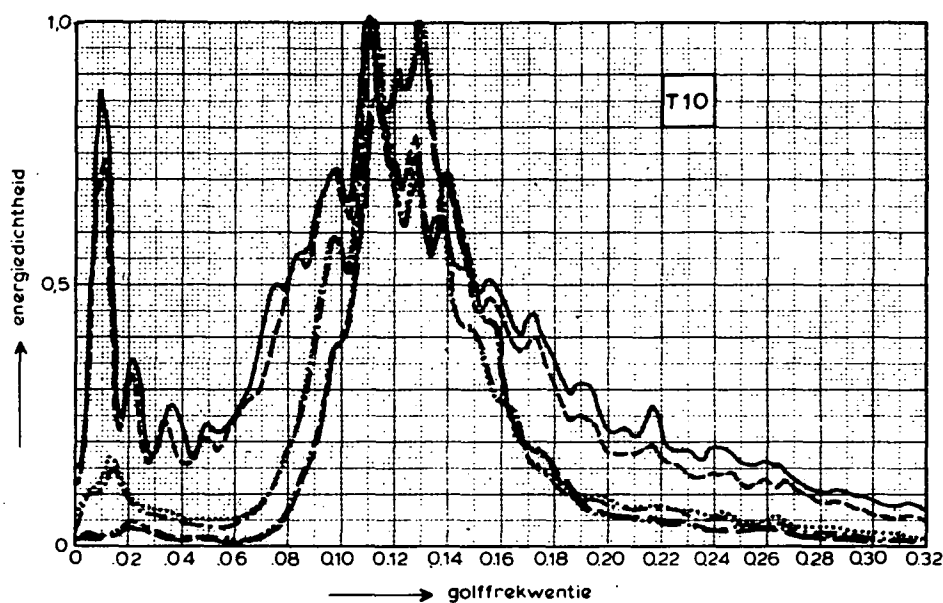
M 1819

FIG. 12





LANGSDOORSNEDE



GECOMBINEERD ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM
HALING EN GOLFBEWEGING

T10...T11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1819

FIG. 14

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands