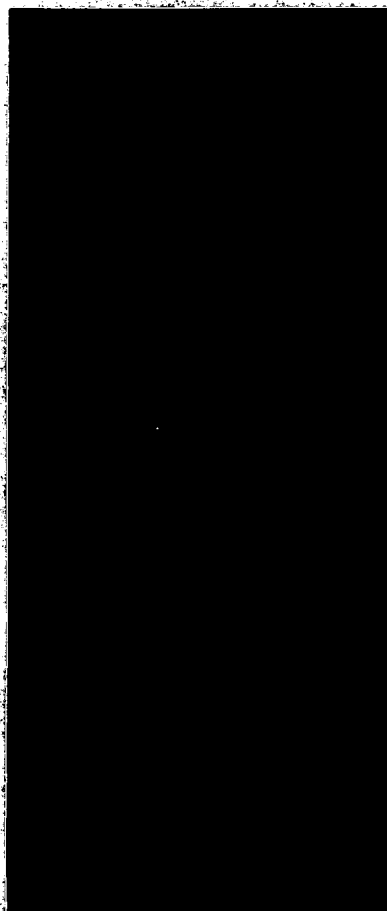
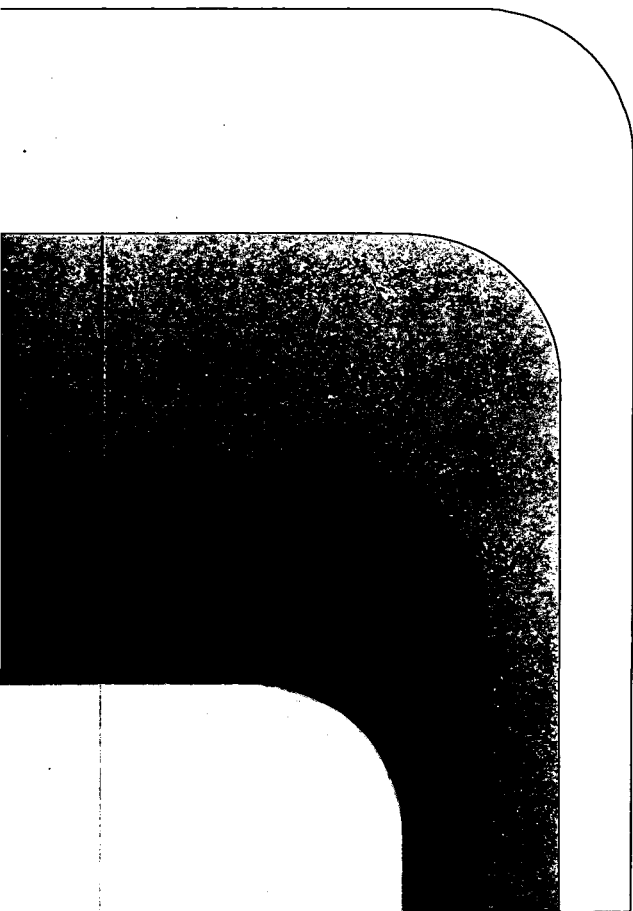


technische adviescommissie voor de waterkeringen



TAW-A3.8416

STERKTE VAN HET BUITEN-
BELOOP VAN EEN "GROENE
DIJK" TIJDENS EEN
SUPERSTORMVLOED

WL/M 1980
mei 1984

INHOUD

| | blz. |
|---------|--|
| 1 | <u>Inleiding</u> 1 |
| 1.1 | Opdracht..... 1 |
| 1.2 | Probleemstelling..... 2 |
| 1.3 | Conclusies..... 3 |
| 2 | <u>Opzet van het onderzoek</u> 8 |
| 2.1 | Schaalkeuze en modelfaciliteit..... 8 |
| 2.2 | Beschrijving van het model..... 9 |
| 2.3 | Modelbouw en verzorging van de grasmat..... 11 |
| 2.3.1 | Inbouw van het grastalud..... 11 |
| 2.3.2 | Conditie van de grasmat..... 12 |
| 2.3.3 | Aanpassingen aan de Deltagoot en afwerking van het model..... 14 |
| 2.4 | Instrumentatie..... 16 |
| 2.5 | Proevenprogramma en randvoorwaarden..... 18 |
| 2.5.1 | Proef P01; Getijproef..... 20 |
| 2.5.2 | Proef P02; Schade-ontwikkelingsproef..... 22 |
| 2.5.3 | Proef P03; Lange-duurproef..... 22 |
| 2.6 | Wijze van presentatie van de onderzoekresultaten..... 23 |
| 3 | <u>Modelresultaten</u> 24 |
| 3.1 | Proef P01; getijproef..... 24 |
| 3.1.1 | Waterbeweging op het talud..... 24 |
| 3.1.2 | Klei-erosie en kwaliteit van de grasmat..... 28 |
| 3.1.3 | Waterspanningen in het dijklichaam, gemeten in model..... 32 |
| 3.1.3.1 | Meetopstelling..... 32 |
| 3.1.3.2 | Meetresultaten..... 33 |
| 3.1.3.3 | Verklaring waterspanningsvariaties..... 34 |
| 3.1.3.4 | Conclusies met betrekking tot de waterspanningen in het dijklichaam..... 38 |
| 3.2 | Proef P02; schade-ontwikkelingsproef..... 38 |
| 3.2.1 | Uitbreiding van de gaten in de grasmat..... 39 |
| 3.2.2 | Kwaliteit van de grasmat..... 41 |
| 3.3 | Proef P03; lange-duurproef..... 42 |

INHOUD (vervolg)

| | | |
|-----|--|----|
| 4 | <u>Karakteristieken van de toegepaste kleisoorten.....</u> | 43 |
| 4.1 | Dichtheid van de kleien..... | 43 |
| 4.2 | Granulaire samenstelling..... | 45 |
| 4.3 | Humusgehalte..... | 46 |
| 4.4 | Plasticiteits-index en Attenberger greznen..... | 46 |
| 4.5 | Samenvatting van de kleikarakteristieken..... | 47 |
| 5 | <u>Interpretatie en evaluatie schademechanisme.....</u> | 49 |

REFERENTIES

TABELLEN

FIGUREN

FOTO'S

TABELLEN

- 1 Begeleidingsgroep modelonderzoek "Groene Dijk"
- 2 Grassoorten-samenstelling van de grasmat, beoordeeld op 12 september 1983
- 3 Vergelijking van de grassoorten-samenstelling van de grasmat op 12 september 1983 en 3 oktober 1983
- 4 Monsterstaat grondmechanisch onderzoek "Groene Dijk"
- 5 Posities meetinstrumenten
- 6 Aantal maal dat gedurende opeenvolgende perioden van 10 minuten een bepaald oploophniveau wordt overschreden
- 7 Dimensieloze golfoploophniveau R_u/H_g voor elk contactpunt van de oploophmeter als functie van de tijd
- 8 Berekening van dimensieloze golfoploophoverschrijdingskromme op basis van tabel 6 en tabel 7
- 9 Watersnelheden boven het talud in de oploophzone
- 10 Markante resultaten van de waterspanningsmetingen

FIGUREN

- 1 Lokatie dijktracé Noorderleegpolder-Holwerd
- 2 Voorlopig ontwerp "Groene Dijk"
- 3 Deltagoot, faciliteit voor grootschalig modelonderzoek
- 4 Langsdoorsnede model "Groene Dijk" in de Deltagoot
- 5 Zeefkromme van het kernzand van de dijk
- 6 Aan- en afvoersysteem ten behoeve van vertikaal getij en randbalk
- 7 Beginprofiel in de raaien 1, 2 en 3 ten opzichte van het gewenste profiel
- 8 Tijdbalk voor de getijproef
- 9 Waterstand gedurende een superstorm
- 10 Golfhoogte en golfperiode gedurende een superstorm
- 11 Patroon van de aangebrachte gaten voor de schade-ontwikkelingsproef
- 12 Aantal golven gedurende een superstorm dat een bepaald oploopniveau bereikt of overschrijdt
- 13 Dimensieloze golfoploop-overschrijdingskromme
- 14 Golfoverslag tijdens een superstorm
- 15 Groene Dijk. Snelheden in de oploopzone ca 0,05 m boven het talud
- 16 Uitwerking AZTM snelheidsmetingen
- 17 Groene Dijk, profielverandering gemeten in model ten opzichte van beginpeiling (na 8 uur golven)
- 18 Groene Dijk, profielverandering gemeten in model ten opzichte van beginpeiling (na 15 uur golven)
- 19 Groene Dijk, profielverandering gemeten in model ten opzichte van beginpeiling (na 22 uur golven)
- 20 Groene Dijk, profielverandering gemeten in model ten opzichte van beginpeiling (na 29 uur golven)
- 21 Groene Dijk, profielverandering gemeten in model na 8, 15, 22 en 29 uur golven
- 22 Mechanisme klei-erosie en vorming wortellaagje
- 23 Schade-ontwikkeling gat nummer 1, NAP +4,50 m
- 24 Schade-ontwikkeling gat nummer 2, NAP +5,00 m
- 25 Korrelverdelingsdiagram klei uit de onderlaag
- 26 Korrelverdelingsdiagram klei uit de graszoden
- 27 Brekertypen

FOTO'S (opgenomen in Band B: Fotobijlage)

In deze uitgave zijn alleen de omcirkelde foto's opgenomen

- ① Snijden van graszoden op de dijk bij de Westhoek
- ② Aanbrengen van de kleilaag en de graszoden in de Deltagoot
- ③
 - Aansluiting grasmat-gootwand
 - Gereed grastalud
 - Aanvang getijproef (P01)
- ④ Golfaanval op grastalud tijdens de getijproef
- 5 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 6 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 7 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 8 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 9 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 10 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 11 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 12 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- ⑬ Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 14 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 15 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 16 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 17 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 18 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- 19 Veroudering van de grasmat gedurende de getijproef
- ⑳ Uitbreiding van gat in de graszode onder golfbelasting bij stagnant waterpeil
- 21 Uitbreiding van gat in de graszode onder golfbelasting bij stagnant waterpeil
- ㉒ Uitbreiding van gat in de graszode onder golfbelasting bij stagnant waterpeil
- 23 Uitbreiding van gat in de graszode onder golfbelasting bij stagnant waterpeil
- ㉔ Veroudering van de grasmat gedurende de lange-duurproef

STERKTE VAN HET BUITENBELOOP VAN EEN "GROENE DIJK" TIJDENS EEN SUPERSTORMVLOED

1. Inleiding

1.1 Opdracht

In zijn brief van 8 juli 1983, kenmerk AL35660, verleent de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat een machtiging aan de Rijkswaterstaat, Directie Friesland, voor de uitvoering van een modelonderzoek op grote schaal naar de stabiliteit van een grasdijk, een zogenaamde "Groene Dijk". Op basis van deze machtiging geeft de Hoofdingenieur Directeur van Rijkswaterstaat, Directie Friesland, in zijn brief van 19 oktober 1983, kenmerk RFB8498, opdracht aan het Waterloopkundig Laboratorium voor de uitvoering van een modelonderzoek op schaal 1:1 in de Deltagoot van het Laboratorium "De Voorst" in de Noordoostpolder. De opdracht wordt verleend conform de aanbieding voor modelonderzoek van 9 november 1981, kenmerk V9053/LV1428/Bur/gve, echter met inachtneming van de volgende wijzigingen:

- De opzet van het proevenprogramma is naar aanleiding van tussentijdse besprekingen gewijzigd. De voornaamste wijziging betreft het achterwege laten van een proef met doorgroeistenen, waarvoor in de plaats een lange duur belastingsproef wordt uitgevoerd.

Deze wijziging werd gemotiveerd door de verwachting dat een "Groene Dijk" zonder doorgroeistenen voldoende sterk zou blijken te zijn. Wanneer deze verwachting bevestigd zou worden zou de proef met doorgroeistenen natuurlijk overbodig worden. Het uitvoeren van een lange duur proef vergroot het inzicht in het gedrag van een grasbekleding en maakt vergelijking met soortgelijke proeven in de stroomgoot in Lith mogelijk. Het uitvoeren van een lange duur proef werd daarom een zinvolle aanvulling van het onderzoek geacht.

- In afwijking van de aanbieding zijn een aantal werkzaamheden met betrekking tot de bouw van het model en de voorbereiding van het onderzoek, die in eerste instantie buiten het aandeel van het Waterloopkundig Laboratorium zouden vallen toch opgenomen in de opdracht.

In feite zijn de voorbereidingen voor het modelonderzoek en de inbouw van het model al aangevangen in augustus 1983, na een intentieverklaring van de opdrachtgever, in afwachting van de definitieve opdracht.

Het modelonderzoek is uitgevoerd in de maanden oktober en november 1983, onder leiding van ir. A.M. Burger van het Waterloopkundig Laboratorium, die ook dit verslag heeft samengesteld. Een groot deel van de voorbereidingen is uitgevoerd onder leiding van ir. P. Vellinga. Voor de grondmechanische aspecten van het onderzoek heeft ir. J. Lindenberg van het Laboratorium voor Grondmechanica zorg gedragen. Van de zijde van de opdrachtgever is het onderzoek begeleid door een begeleidingsgroep die is samengesteld uit vertegenwoordigers van de verschillende belanghebbende overheidsdiensten. De samenstelling van deze begeleidingsgroep is gegeven in tabel 1.

1.2 Probleemstelling

In het noorden van Friesland wordt het vaste land tegen stormvloed beschermd door dijken. In het kader van de Deltawet is het grootste deel van deze waterkering in de afgelopen jaren op Deltasterkte gebracht. Dat wil zeggen dat deze dijken nu voldoen aan de veiligheidseis dat ze bestand zijn tegen een stormvloed die een herhalingsfrequentie heeft van 1/4000 per jaar. Hiervoor zijn omvangrijke dijkverzwaringen uitgevoerd.

Enkele delen van de Friese zeewering zijn echter nog niet op Deltasterkte, en zullen in de komende jaren moeten worden verzaamd. Het in dit verslag beschreven onderzoek heeft betrekking op het dijktracée tussen de Noorderleegpolder en Holwerd (zie figuur 1) met een lengte van ca 14 km.

De huidige zeewering bestaat grotendeels uit een met gras begroeide kleidijk, met een kruinhoogte van \approx NAP +5,0 m. Het vóórland van de huidige zeewering bestaat uit grasland op een niveau van \approx NAP +1,5 m. Dit voorland wordt aan de zeezijde beschermd door zomerkaden en landaanwinningswerken, die echter in de winter herhaaldelijk overspoeld worden.

Aan de zeezijde van de zomerkaden liggen uitgebreide kwelders die geleidelijk opslibben.

De beschikbaarheid van een grote hoeveelheid klei ter plaatse heeft het idee doen ontstaan om als alternatief voor conventionele dijkbouw, eveneens de mogelijkheden te onderzoeken van een deltaveilige met gras begroeide dijk. De omstandigheid dat de zeewering door het hoge voorland slechts enkele malen per jaar als zeewering hoeft dienst te doen, in combinatie met een relatief gematigde golfaanval, gevoegd bij de financiële en landschappelijke voordelen die een dergelijke dijk biedt heeft ertoe geleid dat in 1976 in principe is gekozen voor toepassing van een "Groene Dijk".

De twee constructie-varianten waartussen gekozen moet worden, zijn (zie figuur 2a):

- a "Groene Dijk", opgebouwd uit een zandkern, afgedekt met een kleilaag, begroeid met gras, waarin om constructieve redenen, tussen ca NAP +4,5 m en het Stormvloedpeil een strook betonnen doorgroeistenen in de grasmat wordt aangebracht.
- b "Groene Dijk" als genoemd onder a echter zonder dat om constructieve redenen doorgroeistenen worden aangebracht.

Het in dit verslag beschreven modelonderzoek beoogt randvoorwaarden te leveren voor de beoordeling van de technische haalbaarheid van bovengenoemde varianten. Hierbij gaat om financiële redenen de voorkeur natuurlijk uit naar variant 2b, zonder constructieve verzwaringen door middel van doorgroeistenen.

N.B.!

De technische haalbaarheid van elk van de genoemde basisvarianten is , binnen de in figuur 1 aangegeven alternatieven, onafhankelijk van de keuze van het dijktracée, dus onafhankelijk van de beslissing om al of niet (een deel van) het buitendijkse grasland in te polderen.

1.3 Conclusies

In het onderstaande zijn de belangrijkste conclusies van het onderzoek gepresenteerd. Ten aanzien van het waargenomen gedrag van de grasmat en de onderliggende kleilaag kan het volgende worden geconcludeerd:

- 1 De in de Deltagoot beproefde "Groene Dijk" (zie figuur 4) is in staat gebleken om een superstorm, die is gesimuleerd volgens de geschematiseerde specificaties van de figuren 9 en 10, zonder noemenswaardige beschadigingen te doorstaan.
Op de interpretatie van dit onderzoeksresultaat voor een "Groene Dijk" in de natuur wordt in conclusie 10 verder ingegaan.
- 2 Tijdens de gesimuleerde superstorm is ca 0,01 m klei-erosie van de toplaag opgetreden. Verder voortgaande erosie werd voorkomen doordat de graswortels uit de geërodeerde toplaag samengedrukt werden tot een beschermend viltachtig laagje. Hierdoor werd de belasting op de onderliggende kleilaag gereduceerd en werd uitspoeling van klei verhinderd.

- 3 Onder lange duur golfbelasting, gedurende 18 uur met een golfhoogte $H_s = 1,03$ m, behield het viltachtige wortellaagje zijn beschermende werking.
- 4 Na afloop van de proef met de gesimuleerde superstorm (P01) zijn in de grasmat 4 gaten gestoken met afmetingen van $l \times b \times d = 0,50 \times 0,20 \times 0,07$ m³ op niveau's van respectiekelijk 1,0 en 0,5 m onder het stilwater-niveau, op het stilwaterniveau en 0,5 m daarboven (zie figuur 11). Onder constante golfaanval met golfhoogte $H_s = 1,57$ m, bij een vaste waterstand, zijn de onderste twee gaten aanmerkelijk uitgebreid. De erosie van deze gaten is aangevangen na ca 5½ uur golfaanval. Na in totaal 8 uur golfaanval had het meest geërodeerde gat een oppervlakte van ca 6,3 m², een volume van ca 2,55 m³ en een maximale diepte van ca 0,44 m. De snelheid van de erosie nam ongeveer evenredig toe met de omtrek van het gat (= progressieve erosie).
De gaten op en boven het stilwaterniveau zijn tijdens de proef niet of nauwelijks geërodeerd.
- 5 De erosiebestendigheid van de klei in de graszoden was aanmerkelijk minder dan de erosiebestendigheid van de in het model daaronder toegepaste kleilaag. Het resultaat van de schade-ontwikkelingsproef (P02) is hierdoor zeker beïnvloed.
- 6 Meting van de variaties van de waterspanningen in het zandlichaam tijdens de proef heeft de veronderstelling bevestigd dat in het model waterspanningen in het dijklichaam geen bedreiging hebben gevormd voor de stabiliteit van de kleilaag in het model.

Met betrekking tot de waterbeweging op het talud en de golfbelasting van het talud kan het volgende worden geconcludeerd:

- 7 De golfoploop die is gemeten op het grastalud met taludhelling 1:8 voldoet vrijwel exact aan de relatie

$$Ru (2\%) = 8 \cdot f \cdot H_s \cdot \tan \alpha$$

waarin f = golfoploop reductiefactor in verband met de ruwheid en de doorlatendheid van het talud. Voor grastaluds geldt $f = 1$.

De totale golfoverslag die tijdens de gehele getijproef (proef P01) is opgetreden bedraagt ca $3 \text{ m}^3/\text{m}^1$. Zowel de golfoploop als de golfoverslag kunnen in de natuur tijdens een superstorm aanmerkelijk hoger zijn door overstuivend water en door windbelasting op de oplopende golftong, ten gevolge van een zeer sterke aanlandige wind.

- 8 De maximale watersnelheden op het talud bedragen opwaarts zowel als neerwaarts ca $2,0$ à $2,5 \text{ m/s}$. De afhankelijkheid van deze snelheden van de plaats op het talud voldoet slechts ten dele aan in de literatuur gevonden relaties.
- 9 Het ongeschonden blijven van de grasdijk onder gesimuleerde superstormomstandigheden wordt behalve door de sterkte van de grasmat voornamelijk bepaald door de relatief lage golfklapbelastingen die optreden op een talud met een helling $1:8$. Daarbij is het mogelijk dat onder de in het model aanwezige loodrechte golfaanval de golfklapbelastingen lager zijn dan onder scheef invallende golven. De resultaten van de proef geven dan ook geen antwoord op de vraag of een grastalud onder een steilere helling, of onder scheve golfaanval eenzelfde gunstig gedrag zal vertonen.

Op basis van de onderzoeksresultaten kunnen eveneens een aantal meer subjectieve, en tevens meer algemeen geldige, conclusies worden geformuleerd. Deze zijn in het navolgende gepresenteerd.

- 10 Hoewel het modelonderzoek slechts een schematisatie is van de situatie in de natuur onder superstormomstandigheden kan uit de resultaten van het modelonderzoek worden geconcludeerd dat een "Groene Dijk" volgens de specificaties van figuur 2a, op een locatie volgens figuur 1 in staat geacht moet worden een superstorm op zodanige wijze te doorstaan, dat de veiligheid van het achterland voldoende gewaarborgd wordt.
- 11 De wortelintensiteit, en daarmee de ouderdom, van de grasmat is in sterke mate bepalend voor de sterkte van de dijkbekleding. Bij een volwassen, dicht en diep doorwortelde, graszode is de wortelintensiteit in de toplaag (= bovenste $0,01$ à $0,02 \text{ m}$) zodanig groot dat na uitspoeling van enige klei uit de toplaag een viltachtig laagje wordt gevormd van samengedrukte wortels, dat met dieper gaande wortels hecht met de onderliggende kleilaag is

verbonden. Het proces van klei-erosie wordt hierdoor praktisch gestopt. Bij een jonge, slecht doorwortelde, graszode zal nog voordat klei-erosie uit de toplaag optreedt, de grasmat worden losgescheurd van de onderliggende kleilaag en zo aanleiding geven tot een voortgaande erosie van klei. De kwaliteit van het grasblad heeft tijdens het onderzoek geen waarneembare invloed gehad op de sterkte van de dijkbekleding. De verwachting is dan ook dat de slechte kwaliteit van het grasblad gedurende de wintermaanden weinig invloed heeft op de sterkte van de bekleding in de natuur. Oppervlakkige beschadiging van de grasmat, waarbij het wortelgestel intact blijft, heeft nauwelijks invloed op de sterkte van de toplaag. Echter, een beschadiging die door de dichtdoorwortelde toplaag heen gaat zal leiden tot een voortgaande erosie van de onderliggende minder doorwortelde kleilaag. Dit betekent dat bij het beheer van een "Groene Dijk" speciale aandacht moet worden gegeven aan de periodieke inspectie en het onderhoud van de dijk.

In hoeverre het tijdens het modelonderzoek waargenomen gedrag van de grasmat specifiek is voor de toegepaste grassamenstelling kan niet met zekerheid worden vastgesteld. De indruk bestaat echter dat de gevoeligheid voor de samenstelling gering is, mits de wortelintensiteit en de bewortelingsdiepte voldoende zijn.

- 12 De stabiliteit van de kleilaag op het buitenbeloop van de "Groene Dijk" volgens figuur 2a (dikte = 1,50 m) wordt niet bedreigd door wateroverspanning in het zandlichaam van de dijk, mits er in de natuur, net als in het modelonderzoek geen belangrijke stijging van de grondwaterstand plaatsvindt als gevolg van toevloeiing uit de ondergrond naar de zool van de dijk. De benodigde dikte van de kleilaag wordt bepaald door de verwachte maximale diepte van krimpscheuren in de kleilaag en door de extra veiligheid die aan een dikke kleilaag wordt toegekend, voor het geval dat de grasbekleding bezwijkt. Tevens speelt bij de dimensionering van de kleilaag de landbouwkundige behoefte aan een vochtbuffer een rol.
- 13 Met het steken, transporteren, inbouwen en verzorgen van graszoden is nu een zodanige ervaring opgedaan dat bij opnieuw toepassen van deze technieken geen problemen meer worden verwacht.

14 Aangezien de grasmat zelf, dat wil zeggen het grasblad en de wortelintensiteit als functie van de diepte bepalend zijn voor de sterkte van de dijkbekleding is het vooralsnog onmogelijk om de sterkte van grasdijken te bepalen door middel van klei^schalig modelonderzoek.

Een onderzoek van de erosiebestendigheid van klei zonder grasbegroeiing in een geschematiseerde modelopstelling geeft slechts een ondergrens voor de sterkte van de dijkbekleding.

2. Opzet van het onderzoek

Bij de opzet van het onderzoek is er in beginsel vanuit gegaan dat er een modelonderzoek moest worden uitgevoerd waarvan de resultaten uitsluitend moesten geven over de vraag of de sterkte van het buitenbeloop van een "Groene Dijk" zonder doorgroeiëtenen voldoende was om bescherming te bieden tegen een superstormvloed.

Al snel heeft de overtuiging post gevat dat zo'n onderzoek op schaal 1:1 diende te worden uitgevoerd. Op de motivatie van deze keuze wordt in paragraaf 2.1 ingegaan. Om praktische redenen is besloten om, voor wat betreft de vorm en de opbouw van de dijk, op een aantal punten af te wijken van het voorlopig ontwerp volgens figuur 2a. Op deze afwijkingen en de lay-out van het model wordt verder ingegaan in paragraaf 2.2. De modelbouw, de gebruikte technieken en materialen en de benodigde aanpassingen aan de modelfaciliteit worden besproken in paragraaf 2.3. In deze paragraaf wordt tevens ingegaan op de activiteiten die hebben plaatsgevonden in de periode tussen de bouw van het talud en het begin van de eerste proef. In paragraaf 2.4 wordt de toegepaste instrumentatie van het model besproken. Het proevenprogramma en de hydraulische randvoorwaarden voor de afzonderlijk proeven worden gepresenteerd in paragraaf 2.5.

In paragraaf 2.6 tenslotte wordt enige aandacht gegeven aan de wijze waarop de resultaten van het onderzoek worden gepresenteerd. Aangezien het onderzoek relatief weinig kwantitatieve resultaten oplevert wordt speciale aandacht gegeven aan een visuele presentatie.

2.1 Schaalkeuze en modelfaciliteit

De sterkte van een "Groene Dijk" wordt in hoge mate bepaald door de sterkte van de top laag: een kleilaag begroeid met gras. Op basis van de huidige kennis van deze materialen en de mate waarin de eigenschappen van deze materialen elkaar wederzijds beïnvloeden is het niet mogelijk om betrouwbare schaalrelaties af te leiden. Ook met betrekking tot de golfbelasting op een flauw talud (1:8) is zo weinig bekend dat geen verantwoorde schematisatie van deze belasting kan worden gemaakt.

Als uitvloeisel van deze overwegingen is het noodzakelijk geacht om de sterkte van een "Groene Dijk" te bepalen in een model op schaal 1:1, waarbij de sterkte en de belasting zoveel mogelijk gelijk moesten zijn aan die in de werkelijkheid tijdens een superstorm. Over het algemeen is modelonderzoek op schaal 1:1 voor

zeeweringen onder superstorm-omstandigheden niet mogelijk aangezien de golfhoogten die tijdens een superstorm optreden veel groter zijn dan die welke in een modelfaciliteit kunnen worden gerealiseerd.

Voor de zeeweringen langs de Waddenzee geldt dit echter niet. Door de geringe waterdiepte met plaatselijk uitgebreide kwelders, in samenhang met de beschutte ligging en de beperkte strijklengte van de wind is de golfhoogte tijdens een superstorm beperkt. Voor het dijktracé Noorderleegpolder-Holwerd wordt als maximale significante golfhoogte tijdens een superstorm $H_s = 1,85$ m aangehouden (zie paragraaf 2.5).

Door deze omstandigheid is het mogelijk om het modelonderzoek op schaal 1:1 uit te voeren in de Deltagoot van het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" in de Noordoostpolder. Een overzicht van de Deltagoot is gegeven in figuur 3.

2.2 Beschrijving van het model

In figuur 2a is het voorlopige ontwerp van de "Groene Dijk" voor het dijkgedeelte Noorderleegpolder en Holwerd gepresenteerd. Deze dijk bestaat uit een zandkern, afgedekt met een ca 1,50 m dikke kleilaag (inclusief teelaarde). Boven het stormvloedpeil (NAP +5,50 m) is de dikte van de kleilaag teruggebracht tot 0,80 m. De kruin ligt op een niveau van NAP +7,25 m; Het binnenbeloop heeft een taludhelling 1:3 en het buitenbeloop heeft een variërende taludhelling. Tussen de kruin en het stormvloedpeil (NAP +5,50 m) is de helling 1:8, tussen het stormvloedpeil en een niveau van NAP +4,50 m is de helling 1:9 en vervolgens sluit het talud via hellingen van 1:10, 1:12 en 1:20 vloeiend aan op het vlakke buitendijkse grasland (NAP +1,50 m). De totale lengte van het buitenbeloop is ca 70 m.

Van dit voorlopige ontwerp is bij de modelbouw (zie figuur 4) op een aantal punten afgeweken:

- Alleen het buitenbeloop van de dijk wordt in model nagebouwd. Het nabouwen van het binnenbeloop wordt voor de bepaling van de sterkte van de dijk niet van belang geacht.
- Voor het volledige talud wordt een helling van 1:8 aangehouden. De zwaarste golfaanval treedt ook bij het voorlopig ontwerp op op die delen van het talud die onder een helling 1:8 en 1:9 liggen. Door nu het volledige talud onder een helling 1:8 te leggen wordt de lengte van het grastalud aanmerkelijk verkort, waardoor de bouwkosten van het model worden gereduceerd. Deze afwijking ten opzichte van het voorlopig ontwerp

leidt tot een enigszins zwaardere golfaanval op het model. Het voorlopig ontwerp van de dijk is dus een iets veiliger dijk dan het ontwerp dat in model beproefd is.

- De toegepaste klei in de onderlaag van het model is niet gelijk aan de klei die in de natuur zal worden toegepast. De keuze van de klei in het model is volledig bepaald geweest door de beschikbaarheid.
- De belangrijkste afwijking van het model ten opzichte van het voorlopig ontwerp betreft de verdieping van de ligging van de vooroever van NAP +1,50 m tot NAP +0,50 m. De motivatie hiervoor is als volgt. Gedurende een superstorm varieert de waterstand voor de dijk tussen NAP +1,85 m en NAP +5,50 m; de golfhoogte varieert tussen respectievelijk $H_s = 1,00$ m en $H_s = 1,85$ m (zie paragraaf 2.5). Bij een ligging van de vooroever op NAP +1,50 m varieert de waterdiepte bij de teen van de dijk dus tussen 0,35 m en 4,00 m. Door beperkingen in de waterdiepte zal een deel van de aankomende golfenergie door breken worden gedissipeerd. Bij een onregelmatig golfbeeld zullen met name de hoogste golven het eerst breken. Hierdoor wordt de golfaanval op de dijk sterk gereduceerd. Dit proces treedt zowel op in de natuur als in de Deltagoot, en is derhalve geen reden om de ligging van de vooroever te veranderen. Echter, in de natuur zal een deel van de gedissipeerde golfenergie weer worden aangevuld doordat onder invloed van de wind (superstorm) de golfhoogte geleidelijk weer zal toenemen. Dit proces treedt in de Deltagoot niet op. Er is dus reden om te veronderstellen dat wanneer in het model de vooroever op NAP +1,50 m zou worden ingebouwd, dat dan de resulterende golfbelasting op de dijk geringer zou zijn dan in de natuur.
Door de vooroever te verdiepen van NAP +1,50 m tot NAP +0,50 m wordt dit effect ruimschoots gecompenseerd. Hierdoor zal de golfbelasting in het model zelfs iets zwaarder zijn dan die in de natuur tijdens een superstorm.

De bodem van de Deltagoot representeert het buitendijkse grasland in de natuur. De aansluiting van het dijktalud aan de horizontale gootbodem is gerealiseerd via een geleidelijke overgang door middel van een talud onder 1:11 (zie figuur 4). Om aansluitingsproblemen bij de overgang van de grasmat op de betonnen gootbodem te voorkomen is die aansluiting gesitueerd op de overgang tussen de gootbodem en het verdiepte gedeelte van de Deltagoot.

2.3 Modelbouw en verzorging van de grasmat

2.3.1 Inbouw van het grastalud

De inbouw van het model heeft plaatsgevonden volgens de modeltekening die is gepresenteerd in figuur 4. De zandkern van het model bestond uit middelfijn duinzand ($D_{50} \approx 225 \mu\text{m}$). De zeefkromme hiervan is weergegeven in figuur 5. Het zand is met behulp van een trilslede verdicht. Dit zand is vermoedelijk wat fijner dan het zand dat in de werkelijke "Groene Dijk" zal worden toegepast. Deze afwijking wordt echter van geen belang geacht. Over deze zandkern is een in dikte variërende kleilaag aangebracht. Onder het stormvloedpeil (NAP +5,50 m) is die dikte 1,0 m, daarboven is de dikte slechts 0,3 m. Met behulp van een hydraulische kraan is de kleilaag verspreid en in dunne lagen verdicht, op een zodanige wijze dat een talud onder een helling 1:8 ontstaat (zie foto 2).

Op de kleilaag worden graszoden gelegd. De gewenste afmetingen van deze zoden waren:

lengte : 5,00 m
breedte : 2,25 m
dikte : 0,50 m.

De zoden zijn gestoken van het buitentalud van de zeedijk bij Westhoek, gelegen boven Minnertsga, uit de zone tussen het stormvloedpeil en de dijkkruin (zie figuur 2b). Dit dijkvak is georiënteerd op het west-noord-westen (340°). De dijk is ca 10 jaar geleden verzwaaard, zodat verondersteld kan worden dat de grasmat volgroeid is. De bewortelingsdiepte van dit gras bedroeg ongeveer 0,40 m. Met behulp van speciaal ontwikkelde snij- en transportmethoden zijn de ca 12000 kg zware zoden aan het Waterloopkundig Laboratorium toegeleverd (zie foto 1). In het gebied waar de zoden zijn gesneden is de grasmat gedurende een aantal weken, voorafgaand aan het snijden, met extra zorg behandeld. De grasmat is extra bemest en geregeld besproeid. Reden hiervoor was niet om een optimale grasmat te verkrijgen, maar om te voorkomen dat de grasmat, die na de droge zomer van 1983 sterk was uitgedroogd, bij het snijden, transporteren en inbouwen onherstelbaar zou beschadigen.

In een periode van ongeveer 2 weken (van 23 augustus tot en met 5 september 1983) zijn 30 graszoden naast elkaar op het kleitalud in de Deltagoot gelegd (zie foto 2). De zoden zijn hierbij om praktische redenen 90° gedraaid ten opzichte van hun positie op de zeedijk bij Westhoek. De verwachting is dat dit

geen invloed heeft op de resultaten van het onderzoek. De periode tussen het steken van de zoden en het beproeven tijdens de getijproef (P01) belooft tussen de 28 en 41 dagen. Tijdens de inbouw van het model, maar ook tijdens en na afloop van het modelonderzoek zijn een aantal monsters genomen van de toegepaste kleien. Aangezien de herkomst van de klei uit de onderlaag anders was dan de herkomst van de klei in de graszoden worden beide kleien gescheiden behandeld. Van de gestoken monsters is een deel in het Laboratorium voor Grondmechanica geanalyseerd ter bepaling van de belangrijkste karakteristieken.

In tabel 4 is de monsterstaat gepresenteerd en zijn de uitgevoerde analyses aangegeven. De monsters 17 tot en met 30, die na afloop van het modelonderzoek zijn gestoken, zijn vooralsnog niet geanalyseerd, maar zijn opgeslagen in het laboratorium met het oogpunt om te dienen als materiaal voor erosieonderzoek in een mogelijk toekomstig fundamenteel onderzoek naar gras als dijkbekleding. De behandeling van de kleikarakteristieken kan het best plaatsvinden met een directe terugkoppeling naar de onderzoekresultaten. Daarom worden ze niet hier, maar in hoofdstuk 4 na de presentatie van de resultaten van het modelonderzoek behandeld.

2.3.2 Conditie van de grasmat

In aansluiting op de periode van inbouw is een rustperiode van ongeveer 4 weken ingelast om het gras van de geleden ontberingen tijdens het snijden, transporteren en inbouwen van de zoden te laten herstellen. Eén week voor aanvang van de getijproef P01 is het gras gemaaid.

Achteraf bezien is het inlassen van deze rustperiode een niet zo gelukkige beslissing geweest. Op basis van onvoldoende kennis van de biologie van gras is geredeneerd dat bij een goede verzorging, het gras zich gedurende deze rustperiode zou verdichten, en dat de naden tussen de afzonderlijke zoden zouden vergroeien, zodat een dicht en hecht geheel zou ontstaan. Echter, reeds na ongeveer één week vertoonde het gras op het laaggelegen deel van het talud rottingsverschijnselen. Na raadpleging van de vakgroep "Landbouwplantenteelt en Graslandkunde" van de Landbouw Hogeschool Wageningen is de oorzaak hiervan gevonden in de volgende combinatie van omstandigheden:

Tijdens, en direct na de inbouw van de grasmat was het uitzonderlijk mooi najaarsweer, met buitentemperaturen van ca 25° C. Het grootste deel van het

ingebouwde dijktalud bevond zich in de bouwhal, die de Deltagoot gedeeltelijk overkapt. Zeker op de lager gelegen delen van dit talud leidde dit tot een lichtintensiteit die slechts een fractie is van de lichtintensiteit buiten (maximaal 1 à 2%). Door de hoge temperaturen ontstond er dus een sterke verstoring van de balans tussen de luchttemperatuur en de lichtintensiteit die in de natuur steeds aanwezig is. Tevens was het grastalud betrekkelijk vochtig doordat er water uit het onderliggende zandpakket trad en doordat het talud direct na inbouw was besproeid. De laagstgelegen zoden bevonden zich in de zone waar grondwater uittrad, waardoor deze zoden met water verzadigd waren. De geringe luchtcirculatie in de min of meer afgesloten ruimte van de Deltagoot waarin het talud zich bevond was eveneens een bevorderende factor voor rotting.

Op advies van de Landbouw Hogeschool Wageningen is getracht om de achteruitgang van de kwaliteit van de grasmat te beperken. Hiervoor zijn de volgende maatregelen genomen:

- Het talud is niet meer besproeid terwijl nabij de teen van het talud maatregelen zijn genomen om het uittredende grondwater direct af te voeren.
- Met behulp van TL-verlichting is getracht de lage lichtintensiteit enigszins te verhogen. Bij nader inzien kan dit niet meer geweest zijn dan een druppel op een gloeiende plaat.
- Binnen de gegeven mogelijkheden is optimaal geventileerd, zowel overdag als 's nachts, met het doel de verdamping vanaf het grastalud te bevorderen en zoveel mogelijk profijt te trekken van lage nachttemperaturen.
- Het belopen van het grastalud is tot een minimum beperkt omdat op platgetrapte delen van het talud sneller rotting zal optreden.

Door deze maatregelen is de achteruitgang van de kwaliteit van de grasmat goeddeels gestopt. Als gevolg van de lage lichtintensiteit groeide uit de lager gelegen delen van het talud een slap, iel, sprieterig gras op. Het is echter niet aannemelijk dat een vergroeiing van de wortelstelsels van de verschillende zoden heeft plaatsgevonden. De mogelijkheid om deze reden de uitvoering van de proef te vervroegen was niet aanwezig aangezien de overige voorbereidingen voor de proef nog niet gereed waren, en omdat in een ander deel van de Deltagoot een modelonderzoek in uitvoering was.

Door Dhr. P.J. Huesmann, van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) is tweemaal een soortendeterminatie en een kwaliteits-beoordeling van de grasmat in de Deltagoot uitgevoerd. De eerste maal op 12 september 1983, dat wil zeggen ongeveer één week nadat het talud was ingebouwd, en de tweede maal op 3 oktober 1983, één dag voor aanvang van de getijproef. De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 2 en 3. Vooral uit de terugloop van de grondbedekingspercentages wordt de kwaliteitsachteruitgang duidelijk. Tevens wordt door de cijfers bevestigd dat de achteruitgang voor de lager gelegen delen van het talud groter is dan voor de hoger gelegen delen. Dit is een gunstige constatering omdat juist op de hoger gelegen delen van het talud de golfbelasting het zwaarst zal zijn. Samenvattend kan met betrekking tot de kwaliteit van de grasmat gesteld worden dat:

- de kwaliteit tijdens de 4 weken rustperiode is teruggelopen, en wel het sterkst op de lager gelegen delen van het talud
- vergroeiing van de afzonderlijke zoden vermoedelijk niet is opgetreden
- het wortelgestel van de grasmat vermoedelijk geheel intact is gebleven.

De achteruitgang van de kwaliteit van de grasmat tijdens de rustperiode moet natuurlijk in eerste instantie als negatief worden beoordeeld. Achteraf moet echter geconstateerd worden dat deze achteruitgang ook positieve kanten heeft. Immers, de ontwerpstorm voor deze dijk zal optreden in de winter (december, januari, februari). De kwaliteit en daarmee de sterkte van een wintergrasmat is minder dan die van een zomergrasmat. Door de achteruitgang van de kwaliteit van de grasmat in de Deltagoot is die wellicht meer in overeenstemming met de kwaliteit van een wintergrasmat. Deze overweging kon natuurlijk pas worden geformuleerd nadat was gebleken dat de grasmat de ontwerpstorm goed had doorstaan (zie hoofdstuk 3).

2.3.3 Aanpassingen aan de Deltagoot en afwerking van het model

Tijdens de inbouw van het grastalud en tijdens de rustperiode zijn een aantal voorzieningen getroffen om het verticale getij tijdens de getijproef te kunnen simuleren.

Aangezien de getijproef (P01) op schaal 1:1 wordt uitgevoerd is ook de tijdschaal gelijk aan één. Dit betekent dat het verticale getij, het rijzen en dalen van de waterspiegel, op schaal 1:1 moet worden nagebootst. De maximale snelheid waarmee de waterspiegel stijgt of daalt tijdens een superstorm is

$\frac{dh}{dt} \approx 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Voor het oppervlak van de Deltagoot geldt tijdens de getijproef A $\approx 1000 \text{ m}^2$ ($l \approx 200 \text{ m}$ en $b = 5 \text{ m}$). Dit betekent dat voor het simuleren van het verticale getij een debiet van $0,225 \text{ m}^3/\text{s}$ moet kunnen worden ingelaten of kunnen uitstromen. Dit debiet is veel groter dan de normale vul- en ledigingscapaciteit van de Deltagoot. Voor de zekerheid is daarom een aanvullend vul- en ledigingssysteem ontwikkeld voor $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

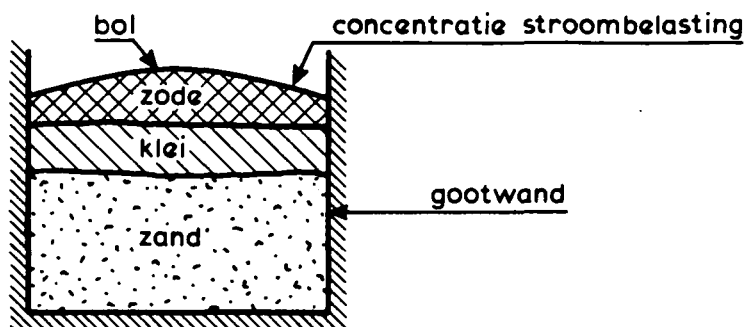
Voor het vulsysteem is gekozen voor een dieselpomp met een variabel debiet, een demontabele persleiding van de pomp naar een aansluitpunt aan de Deltagoot en een verdeelstuk om het water in de Deltagoot in te laten. Dit verdeelstuk (zie figuur 6) is enigszins assymetrisch in dwarsrichting van de goot. Om vooraf te bepalen of deze constructie het golfbeeld tijdens de proeven onacceptabel zou kunnen beïnvloeden is een modelonderzoek op kleine schaal uitgevoerd. Deze resultaten van dit onderzoek hebben aangetoond dat de beïnvloeding minimaal is. Bij het ontwerp van het verdeelstuk is ernaar gestreefd om bij de instroming in de Deltagoot een gelijkmatige verdeling over de volledige gootbreedte te verkrijgen.

Voor het ledigen van de Deltagoot is een vrij-verval-leiding $\varnothing 0,60 \text{ m}$ toegepast.

Tijdens de rustperiode voor het grastalud is speciale aandacht gegeven aan de afwerking van de naden tussen de afzonderlijke zoden en aan de aansluiting met de gootwand. Op plaatsen waar de naden niet volledig waren gesloten zijn die opgevuld met klei, die vervolgens is verdicht.

De aansluiting van de grasmat met de gootwand is mogelijk een zwakke plek in de constructie. Bezwijken van de constructie onder golfbelasting kan worden ingeleid door beschadiging van deze randen. De reden hiervoor is:

- de grasmat is verzwakt aan de randen door beschadigingen tijdens de inbouw
- het opvullen van de open naden tussen de graszoden en de gootwand is niet optimaal en zal steeds leiden tot een minderwaardige constructie ten opzichte van een ongeschonden grasmat
- doordat de zoden plaatselijk enigszins bol in de goot liggen (zie figuur) zal de stroombelasting door langs het talud op en neer stromend water juist bij de randen worden geconcentreerd.



stroomconcentratie bij randaansluiting

Om te voorkomen dat tijdens het onderzoek het grastalud beschadigt of bezwijkt ten gevolge van een zwakke randaansluiting is een afdichtingsconstructie toegepast. Deze constructie bestaat uit een strook Enkamat (type 7220, dikte 0,02 m) van 0,25 m breed die met 0,40 m lange krammen op het gras wordt bevestigd en die wordt afgedekt met een stalen hoekprofiel, DIN 100x150x10 mm. Het hoekprofiel is door middel van puntlassen aan de gootwand bevestigd. De naad tussen het hoekprofiel en de gootwand is afgedicht met cementspecie. De constructie is weergegeven in figuur 6 en op foto 3.

De constructie is aangebracht langs beide gootwanden over de volledige lengte (≈ 60 m) van het talud. Door plaatselijk 2 of meer lagen Enkamat toe te passen konden ongelijkmatigheden in de ligging van de grasmat worden gecompenseerd.

Direct voorafgaande aan de eerste proef (P01) is het talud in drie raaien, met stappen van 0,50 m, opgemeten. In figuur 7 is de ligging van het talud weergegeven ten opzicht van de gewenste ligging volgens figuur 4. In het algemeen ligt het talud 0,1 m lager dan gewenst. Dit is voornamelijk een gevolg van het feit dat de dikte van de toegeleverde graszoden geen 0,5 m was, maar slechts 0,40 à 0,45 m. Tevens heeft vermoedelijk de verdere verdichting van het onderliggend kleipakket tijdens de inbouw van de grasmat een rol gespeeld.

2.4 Instrumentatie

Het model is slechts beperkt geïnstrumenteerd geweest. De voornaamste reden hiervoor is dat er nauwelijks meettechnieken voor handen zijn om te meten aan met gras beklede taluds. Dit onderzoeksgebied is nog betrekkelijk nieuw. Tevens is de doelstelling van het onderzoek sterk gericht op een concreet project. De meer fundamentele aspecten van het onderzoek waren duidelijk ondergeschikt aan de beantwoording van de vraag of een "Groene Dijk" een superstorm kan doorstaan.

De instrumentatie van het model kan in drie groepen worden ingedeeld:

a Instrumentatie voor de bepaling van de randvoorwaarden, te weten:

- 2 golfhoogtemeters
- 1 akoestische golfhoogtemeter
- 1 drukdoos op de gootbodem ter bepaling van het stilwaterniveau
- 1 peilschaal voor de controle van het stilwaterniveau

b Instrumentatie ter bepaling van de ligging en de conditie van het grastalud en de waterbeweging op het talud, te weten:

- 1 weerstand golfploopmeter
- 1 golfoverslagmeter
- 1 watersnelheidsmeter
- 1 systeem ter bepaling van de ligging van het talud in drie raaien
- 1 pocket-penetrometer ter bepaling van de verweking van de met gras begroeide kleilaag

c Instrumentatie ter bepaling van de ligging van het freatisch niveau in het zandlichaam van de dijk, ter bepaling van de mogelijkheid dat de dijk door interne wateroverspanningen bezwijkt, te weten:

- 5 waterspanningsopnemers.

De posities van bovengenoemde instrumenten zijn, voor zover van belang, gegeven in tabel 5. Voor de aanduiding van de posities van de verschillende instrumenten is gebruik gemaakt van het vaste x, y, z-coördinatenstelsel van de Deltagoot volgens:

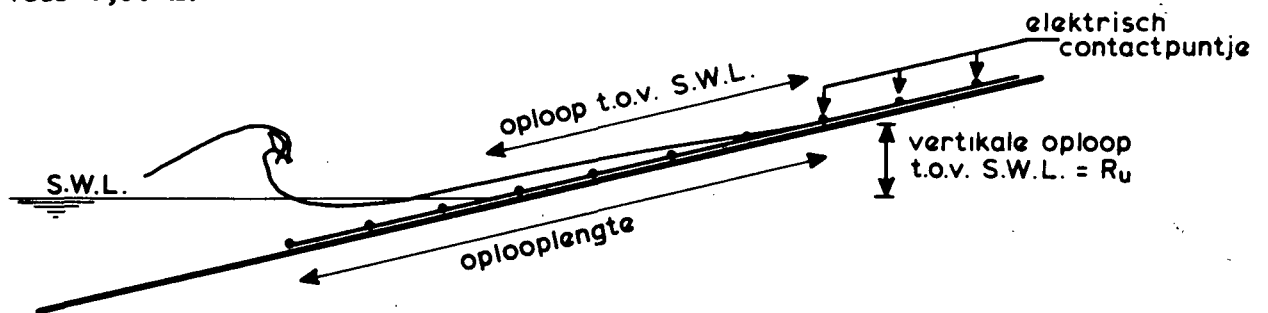
- x = horizontale afstand tot de middenstand van het golfschot.
Positief in de golfvoortplantingsrichting (m)
- y = horizontale afstand tot de oostwand van de Deltagoot (zie figuur 3). Positief in westwaartse richting (m)
- z = verticale afstand tot de gootbodem. Positief in opwaartse richting (m)

Op de functie van een aantal van de bovengenoemde instrumenten wordt in het onderstaande nader ingegaan.

De akoestische golfhoogtemeter is toegepast ter bepaling van de golfhoogte direct voor het breken op het talud. Bij deze golfhoogtemeter wordt de golfhoogte bepaald uit het tijdsinterval tussen uitzending van een geluidssignaal en de ontvangst van de reflectie van dit geluidssignaal op het wateroppervlak. Deze meting is discontinue. In verband met de steilheid van de golffronten direct voor het breken is het echter niet mogelijk om hier een ander type golfhoogtemeting toe te passen.

Voor de meting van de watersnelheden in de golfoploopzone is gebruik gemaakt van een Akoestische-Zand-Transport-Meter (AZTM). Dit instrument meet behalve sedimentconcentraties ook watersnelheden. Bij dit onderzoek zijn alleen de watersnelheden gemeten. Meting van de concentraties van geërodeerde klei van het op- en afstromende water was niet mogelijk in verband met de onbekende achtergrond concentratie van het in de Deltagoot aanwezige water. Een dergelijke concentratie meting wordt echter ook niet nuttig geacht voor dit onderzoek en is dus niet opgenomen in het meetprogramma.

Voor de meting van de golfoploop is gebruik gemaakt van een weerstands-golfoploopmeter, met een lengte van 16 m. Door middel van 32 elektrische contactpuntjes wordt bepaald welk deel van de oploopmeter op een bepaald moment nat is en welk deel droog. De oploopmeter is op de randconstructie langs het talud gemonteerd. Op deze wijze wordt de oploop gemeten met een onderscheidend vermogen van 0,50 m. Voor een talud met een helling van 1:8 betekent dit dat de verticale oploop kan worden bepaald met een onderscheidend vermogen van ongeveer 0,06 m.



Door de beperkte lengte van de oploopmeter (16 m) kan de golfoploop slechts worden gemeten in een zone met een hoogte van 2 m. De oploopmeter is gemonteerd in de zone tussen NAP +5,30 m en NAP +7,30 m (= kruinhoogte). Bij de inrichting en de uitwerking van de golfoploopmetingen is er voor gezorgd dat optimaal gebruik wordt gemaakt van de beperkte mogelijkheden.

Voor de bepaling van de draagkracht van de kleilaag van de grasmat is gebruik gemaakt van een pocket-penetrometer. Door voor de proef en periodiek tijdens de proef de draagkracht te meten kan een indruk worden verkregen van de verwerking van de kleilaag.

2.5 Proevenprogramma en randvoorwaarden

Aangezien de uitvoering van een volgende proef steeds afhankelijk is van het resultaat van de voorgaande proef is het proevenprogramma slechts ten dele vooraf gespecificeerd.

Er zijn 3 proeven uitgevoerd:

- Proef P01; de Getijproef. Gedurende deze proef zijn de golfhoogten, golfperioden en waterstanden die naar verwachting zullen optreden tijdens de ontwerpstorm voor de "Groene Dijk" zo nauwkeurig mogelijk gereproduceerd.
- Proef P02; de Schadeproef. Gedurende deze proef is bij een stagnant waterpeil en een constante onregelmatige golfbelasting de uitbreiding bestudeerd van een aantal van tevoren aangebrachte gaten in de grasmat.
- Proef P03; de Lange-duurproef. Gedurende deze proef is bij een stagnante waterstand en een constante onregelmatige golfaanval een deel van het talud langdurig belast.

In paragrafen 2.5.1 t/m 2.5.3 wordt voor deze proeven een overzicht gegeven van de motivatie voor de proef en de toegepaste randvoorwaarden.

Met betrekking tot de toegepaste randvoorwaarden moet nog worden opgemerkt dat:

- uiteraard alleen loodrechte golfaanval kon worden nagebootst. Het is zonder nader onderzoek echter niet mogelijk om een uitspraak te doen of dit een verzwaring of een reductie is van de golfbelasting ten opzichte van de natuur.
- de invloed van de wind op de waterbeweging op het talud is niet nagebootst. De golfoploop en de overslag zijn hierdoor waarschijnlijk in de natuur groter dan in het model. De golfterugloop zal echter door aanlandige wind worden gereduceerd, wat een reductie van de golfbelasting op de talud kan veroorzaken.
- het modelonderzoek is uitgevoerd met zoet water, terwijl in de natuur zout water aanwezig is. In hoeverre dit het gedrag van de taludbekleding beïnvloedt is niet te zeggen. Voor de grasmat zelf is de situatie met zoet water waarschijnlijk gunstiger; de onderliggende kleilaag daarentegen heeft onder belasting met zout water wellicht een grotere erosiebestendigheid dan met zoet water.

De onzekerheden ten aanzien van de invloed van bovengenoemde afwijkingen kunnen in het kader van dit onderzoek niet worden verkleind, en dienen daarom als gegeven te worden geaccepteerd.

2.5.1 Proef P01; Getijproef

De getijproef is uitgevoerd in volcontinue-bedrijf. De reden hiervoor is dat de sterkte van de grasmat en de verweking van de kleilaag niet alleen een functie is van de duur en de aard van de golfbelasting, maar eveneens wordt beïnvloed door het verloop van de waterstand en de periode dat het talud onder water staat. Wanneer de proef slechts gedurende de normale werktijden zou worden uitgevoerd zouden de onderbrekingen gedurende de nacht het resultaat van de proef kunnen beïnvloeden. Wanneer 's nachts het water op het talud zou blijven staan worden hierdoor de sterkte van het gras, de verweking van de kleilaag en de ligging van het freatisch niveau in het dijklichaam beïnvloed. Wanneer het talud 's nachts zou worden drooggezet wordt de ligging van het freatisch niveau eveneens beïnvloed. Daarom is gekozen voor een vol-continue model-bedrijf waarbij zo min mogelijk van de ideale tijdschaal, $n_t = 1$, wordt afgeweken. Om de noodzakelijke metingen en inspecties te verrichten is de proef periodiek onderbroken en het talud drooggepompt. Hierdoor is de totale duur van proef P01 ongeveer 48 uur geweest, waarvan gedurende een periode van 29 uur is gegolfd (zie figuur 8).

De hydraulische randvoorwaarden voor de getijproef zijn namens de opdrachtgever, door de Adviesdienst Hoorn van de Rijkswaterstaat, toegeleverd aan het Waterloopkundig Laboratorium.

Uit een superstorm is de meest kritieke periode met een lengte van 29 uur geselecteerd. Het verwachte verloop van de waterstand gedurende deze periode is weergegeven in figuur 9. De getijkromme is symmetrisch om het tijdstip $t = 14,5$ uur. Op dit tijdstip wordt het maximale stormvloedpeil NAP +5,50 m bereikt. In figuur 9 is tevens het gerealiseerde verloop van de waterstand gedurende proef P01 weergegeven. De verschillen tussen het gewenste en het gerealiseerde waterstandsverloop zijn minimaal. Gedurende de perioden van $t = 0$ uur tot $t = 1$ uur en van $t = 28$ uur tot $t = 29$ uur is bewust afgeweken van het gewenste verloop van de waterstand. Bij waterstanden lager dan NAP +2,35 m, de waterdiepte in de goot is dan kleiner dan 1,85 m, is het namelijk onmogelijk om, bij de gewenste golfperiode, golven met een acceptabele golfhoogte op te wekken.

Het verloop van de golfhoogte en de golfperiode is eveneens bepaald door de Adviesdienst Hoorn van de Rijkswaterstaat. Hierbij is gebruik gemaakt van de berekeningsmethode van Sverdrup, Bretschneider en Munk zoals beschreven in de

Shore Protection Manual [1]. Bij deze methode worden de significante golfhoogte H_s en de dominante golfhoogte T_p berekend op basis van de windsnelheid, de strijklengte van de wind en de waterdiepte.

Het berekende verloop van de golfhoogte en de golfperiode is weergegeven in figuur 10. Ook de geraliseerde golfhoogte en golfperiode tijdens de proef zijn in deze figuur weergegeven.

Bij lagere waterstanden is het verschil tussen het gewenste en het gerealiseerde verloop van de golfhoogte aanzienlijk. Dit is te verklaren uit het feit dat de gewenste golfhoogten zijn berekend voor de diepte van de Waddenzee. Hierbij is geen rekening gehouden met een veel geringere diepte op het voorland van de dijk. In feite zijn de gewenste golfhoogten bij lagere waterstanden niet bestaanbaar ter plaatse van het voorland van de dijk. Dus, evenals in de natuur, is in het model de golfhoogte direct voor de dijk beperkt door een beperkte waterdiepte. Doordat in het model de vooroever (dit is de gootbodem) één meter is verlaagd ten opzichte van de vooroever in de natuur (zie paragraaf 2.2) zijn de gerealiseerde golfhoogten in het model zelfs hoger dan de golfhoogten die in de natuur op een overeenkomstig tijdstip van de superstorm op de vooroever aanwezig kunnen zijn. Rondom het tijdstip van het maximale stormvloedpeil (NAP +5,50 m) zijn de verschillen tussen de gewenste en de gerealiseerde golfhoogte gering.

De gerealiseerde dominante golfperiode (T_p) ligt in het algemeen iets hoger dan de gewenste periode. Ook hierbij speelt het breken van golven op de vooroever een rol. Binnen een onregelmatig golfbeeld zullen de golven met de kortste periode, dit zijn de steilste golven, eerder en sterker breken dan de langere golven. Als gevolg hiervan neemt de dominante periode van het golfbeeld enigszins toe. Dit proces doet zich zowel in model als in de natuur voor. Het is dus aannemelijk om te veronderstellen dat, vooral bij lagere waterstanden, de werkelijke golfperiode direct voor de dijk iets hoger zal zijn dan bij het gewenste verloop van de golfperiode wordt aangegeven.

De onregelmatige golven zijn opgewekt volgens een Pierson-Moscowits-spectrum. Bij de opwekking van de golven is gebruik gemaakt van een recente ontwikkeling in de sturing van het golfschot. Deze ontwikkeling maakt het mogelijk om reflecties tegen het golfschot, van op het model gereflecteerde golven (gedeeltelijk) te voorkomen. Toepassing van deze sturing leidt tot een golfbeeld dat beter in overeenstemming is met het golfbeeld in de natuur. Voor een meer uitvoerige beschrijving van de mogelijkheden van dit systeem wordt verwezen naar [2]. De resultaten van proef P01 worden besproken in paragraaf 3.1.

2.5.2 Proef P02; Schade-ontwikkelingsproef

Deze proef is mogelijk geworden doordat, zoals in hoofdstuk 3 wordt beschreven, het talud na proef P01 vrijwel onbeschadigd was.

Doel van de proef P02 was om enig inzicht te verkrijgen in de wijze waarop en de snelheid waarmee een vooraf aangebrachte beschadiging van de grasmat zich uitbreidt onder golfbelasting.

Vóór de proef zijn in de grasmat vier gaten gestoken met een afmeting van $l \times b \times h = 0,50 \times 0,20 \times 0,07 \text{ m}^3$, volgens het patroon dat is aangegeven in figuur 11. De positie van de gaten is zodanig gekozen dat:

- de golfbelasting zo effectief mogelijk op de gaten wordt uitgeoefend
- de wederzijdse beïnvloeding van de gaten zo gering mogelijk is.

De gaten ① t/m ④ zijn aangebracht op een niveau van respectievelijk NAP +4,50 m, NAP +5,00 m, NAP +5,50 m en NAP +6,00 m. De waterstand gedurende de volledige proef was NAP +5,50 m. De onregelmatige constante golfbelasting wordt gekarakteriseerd door $H_s = 1,57 \text{ m}$ en $T_p = 5,26 \text{ sec}$. De grootste golfklappen op het talud worden uitgeoefend op een niveau van ongeveer $0,5 \cdot H_s = 0,78 \text{ m}$ onder het stilwaterniveau ligt. Dit betekent dat vooral de gaten ① en ② (zie figuur 11) zwaar zullen worden aangevallen. De gaten ③ en ④ worden voornamelijk horizontaal belast door op- en afstromend water.

Zoals vermeld zijn de golfbelasting en de waterstand gedurende de volledige proef constant geweest. Hierdoor wordt de belasting geconcentreerd op een betrekkelijk klein gedeelte van het talud.

De totale proefduur was 8 uur. Na respectievelijk 6 en 7 uur is de proef onderbroken voor inspectie van de grasmat en de gaten. De resultaten van deze proef worden besproken in paragraaf 3.2.

2.5.3 Proef P03; Lange-duur proef

Om een indruk te verkrijgen van de sterkte van een grasmat onder langdurige geconcentreerde golfaanval is een lange-duurproef uitgevoerd bij een vaste waterstand van NAP +3,20 m en een constante golfbelasting met een golfhoogte $H_s = 1,03 \text{ m}$ en golfperiode $T_p = 5,20 \text{ sec}$. De keuze van de waterstand is gebaseerd op de volgende overwegingen:

- Door de aanwezigheid van de (sterk uitgebreide) gaten na proef P02 in het talud boven ca NAP +4,25 m, is dit deel van het talud onbruikbaar voor de lange-duurproef.

- De golfoploophoogte boven het stilwaterniveau is ongeveer gelijk aan de golfhoogte H_g . Aangezien ook de golfoploop bij voorkeur buiten de zone van het beschadigde talud moet plaatsvinden, moet worden gekozen voor de waterstand lager dan NAP +3,25 m.
- Om de resultaten van de lange-duurproef zo waardevol mogelijk te maken is het aantrekkelijk om de proef uit te voeren op dat deel van het talud dat al bij eerdere proeven (proef P01) langdurig is belast. Uit figuur 9 blijkt dat vooral de zone tussen NAP +2,40 m en NAP +3,20 m langdurig aan directe golfaanval is blootgesteld.
- Bij waterstanden lager dan NAP +3,20 m neemt de realiseerbare maximale significante golfhoogte sterk af. Om de golfbelasting te maximaliseren is het wenselijk een zo hoog mogelijke waterstand te kiezen. De totale proefduur was 18 uur. Na respectievelijk 6 en 18 uur is de proef onderbroken voor een inspectie van de grasmat. De resultaten van deze proef worden besproken in paragraaf 3.3.

Na de keuze van de waterstand zijn de golfcondities bepaald in overeenstemming met de golfcondities die tijdens proef P01 bij overeenkomstige waterstand (NAP +3,20 m) zijn gerealiseerd.

2.6 Wijze van presentatie van de onderzoekresultaten

Op de wijze waarop de resultaten van het onderzoek worden gepresenteerd is enige toelichting vereist.

Door de aard van het onderzoek zijn de resultaten voor een deel niet te vatten in objectieve kwantitatieve criteria. Vooral ten aanzien van de kwaliteit van de grasmat en de staat waarin die zich na het onderzoek bevindt kunnen verschillende subjectieve interpretaties tot verschillende conclusies leiden. Daarom wordt voor de presentatie van de meer kwalitatieve resultaten veelvuldig gebruik gemaakt van (objectief) fotomateriaal, dat is gebundeld in de bij dit verslag behorende fotobijlage. Daarnaast is van het volledige onderzoek, inclusief de voorbereidingen, een film gemaakt die kan worden beschouwd als onderdeel van de verslaggeving. De titel van deze 14 minuten durende film is:

GROENE DIJK,

Modelonderzoek naar de stabiliteit van een met gras begroeid talud.

In opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Friesland, uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst".

3. Modelresultaten

3.1 Proef P01; getijproef

In deze paragraaf worden de resultaten van de getijproef (proef P01) gepresenteerd. De resultaten kunnen worden onderverdeeld in drie groepen:

- waterbeweging op het talud (3.1.1)
- gedrag van het talud (3.1.2)
- waterspanningen in het dijklichaam (3.1.3)

In paragraaf 3.1.1 wordt aandacht gegeven aan de golfoploop en overslag en aan de gemeten watersnelheden op het talud. In paragraaf 3.1.2 wordt het verloop van de kwaliteit van de dijkbekleding beschreven, waarbij aandacht wordt gegeven aan het grasblad, het wortelgestel en de verweking en erosie van de kleilaag. In paragraaf 3.1.3 wordt ingegaan op de mogelijkheid dat de kleibekleding schade ondervindt ten gevolge van waterspanningen in het dijklichaam. De foto's 3 en 4 geven een indruk van de golfaanval gedurende proef P01.

3.1.1 Waterbeweging op het talud

Gedurende een periode van 220 minuten, die aanvangt op het tijdstip waarop het maximale stormvloedpeil (NAP +5,50 m) wordt bereikt (14 uur en 30 minuten), is de golfoploop tegen het talud gemeten. De golfoplooppmeter bevond zich op het talud in de zone tussen NAP +5,30 m en NAP +7,30 m. Na 220 minuten is de meting afgebroken aangezien er toen nauwelijks nog oplopende golven optraden die het onderste niveau van de golfoplooppmeter bereikten.

De periode van 220 minuten is onderverdeeld in 22 perioden van 10 minuten. Voor elke 10 minuten is uit de golfoploopregistratie het aantal maal bepaald dat een oplopende golftong het niveau van de opeenvolgende contactpunten van de oplooppmeter overschreden heeft. Een overschrijding wordt geteld wanneer geconstateerd wordt dat er een contactpuntje eerst droog was, vervolgens nat wordt door de oplopende golftong, en daarna weer droog valt. Wanneer dus een aantal opeenvolgende golven een bepaald contactpunt voortdurend nat houden wordt dit als één golfoploop geregistreerd. Deze situatie doet zich veelvuldig voor bij de laaggelegen contactpunten.

In tabel 6 is per periode van 10 minuten cumulatief het aantal overschrijdingen van elk oplooppniveau weergegeven. Tevens is in deze tabel het cumulatief totaal aantal overschrijdingen voor de volledige periode van 220 minuten weergegeven.

Aangezien de hydraulische randvoorwaarden tijdens de gesimuleerde stormvloed-symmetrisch zijn ten opzichte van het tijdstip 14 uur 30 min. kan door vermenigvuldiging van de cumulatieve totaaltijden met een factor 2 het totaal aantal malen worden berekend dat een bepaald golfoploophoogte gedurende de stormvloed wordt overschreden. Dit resultaat is gepresenteerd in figuur 12.

In tabel 6 is eveneens weergegeven het verloop van de waterstand en de golfhoogte H_s gedurende de periode van 220 minuten. Hiermee kan het oploophoogte worden getransformeerd tot een dimensieloze vorm, volgens:

$$\text{dimensieloze golfoploop} = \frac{\text{oploophoogte} - \text{waterstand}}{\text{significante golfhoogte}} = \frac{R_u}{H_s}$$

De dimensieloze golfoploop $\frac{R_u}{H_s}$ voor elk van de 32 contactpunten van de oploophoogte varieert in de tijd door de veranderingen van de waterstand en de golfhoogte. $\frac{R_u}{H_s}$ is weergegeven in tabel 7. De waarden van $\frac{R_u}{H_s}$ zijn vervolgens toebedeeld aan klassen met een klassebreedte $\Delta \left(\frac{R_u}{H_s} \right) = 0,1$.^s Door combinatie van de klassen in tabel 7 en de aantallen golfoplopen^s in tabel 6 kan voor elke klasse het aantal golfoplopen worden bepaald dat de klassegrens overschrijdt. In tabel 8 zijn deze aantallen berekend en gepresenteerd. Tevens is op basis van de gemiddelde golfperiode T , die in tabel 6 is gegeven, voor elke periode van 10 minuten (= 600 sec) het aantal aankomende golven bepaald. Als laatste is het percentage bepaald van het aantal aankomende golven dat elke klassegrens overschrijdt. In figuur 13 zijn deze percentages grafisch uitgezet.

Om de golfoverslag te meten is juist achter de dijk kruin een overslag meetbak ingegraven. Enige overslag is opgetreden tijdens proef P01 tussen 13.20 uur en 16.20 uur (modeltijd). De registratie van de overslagmeting is uitgewerkt en gepresenteerd in figuur 14.

Op basis van de metingen en visuele waarnemingen wordt de totale overslag bepaald op $3 \text{ m}^3/\text{m}^1$. Dat wil zeggen dat tijdens proef P01 er 3 m^3 water overslaat per meter lengte van de dijk. Deze hoeveelheid overslag is gering. In de natuur zal door de zeer sterke aanlandige wind de overslag veel groter zijn, door overstuivend water en door windbelasting op de oplopende golftong. De geringe overslag tijdens het modelonderzoek maakt het echter waarschijnlijk dat ook in de natuur de overslag acceptabel laag zal zijn.

Als vergelijkingsmaat voor de golfoploophoogte wordt steeds gebruik gemaakt van de $R_{u,2\%}$; dit is de oploophoogte die door 2% van het aantal aankomende

golven wordt overschreden. De meest eenvoudige relatie om deze hoogte te bepalen voor basalt of gras op kleitaluds luidt [3]:

$$R_u = 8 \cdot f \cdot H_s \cdot \tan \alpha$$

met $\tan \alpha = 1/8$ en $f = 1$ wordt dit:

$$\frac{R_u}{H_s} = 1$$

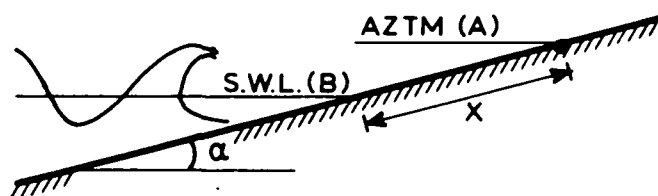
Het is verrassend te constateren dat de geanalyseerde metingen exact overeenkomen met deze waarde (zie figuur 13).

Door de variaties in de waterstand, de golfhoogte en de golfperiode tijdens de proef is het niet zonder meer mogelijk om het resultaat van figuur 13 te vergelijken met meer gecompliceerde golfplooprelaties waarin in enigerlei vorm de golfsteilheid H/L is verwerkt.

Tijdens proef P01 zijn periodiek snelheidsmetingen uitgevoerd van de watersnelheden in de oplopende en teruglopende golftong op het talud. De metingen zijn uitgevoerd rondom de stilwaterlijn, met behulp van een AZTM (zie paragraaf 2.4). In totaal zijn 18 metingen uitgevoerd, elk gedurende ca 5 minuten. Bij het plaatsen van de opnemer is er steeds naar gestreefd om de watersnelheden, parallel aan het talud te meten op een afstand van ca 0,05 m daarboven. Doordat de positionering van de AZTM onder zware golfbelasting niet eenvoudig was, varieert de meetpositie waarschijnlijk tussen ca 0,05 en 0,10 m boven het talud.

In tabel 9 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen. In kolom 1 is de nummering van de metingen aangegeven. In de kolommen 2 t/m 6 zijn de gegevens over de meetperiode en de positie van de AZTM weergegeven. Uit de verticale positie van de AZTM (A) en het stilwaterniveau tijdens de meting (B) kan de parameter X (kolom 8) worden berekend volgens:

$$X = \frac{A-B}{\tan \alpha}$$



Als voorbeeld van een AZTM snelheidsmeting zijn op figuur 15 de registraties van de metingen 7A, 7B en 7C gepresenteerd. Door de beperkte meetduur zijn de registraties niet geschikt voor een statistische verwerking. In de kolommen 9 en 11 van tabel 9 zijn van elke registratie daarom slechts de 6 grootste opwaartse en neerwaartse snelheden weergegeven. De keuze van dit aantal is betrekkelijk willekeurig bepaald uit de registraties. De gemiddelde waarden van deze 6 extreme waarden \bar{V}_+ en \bar{V}_- , zijn gepresenteerd in de kolommen 10 en 12 van tabel 9.

Zowel de maximale opwaartse als de maximale neerwaartse snelheden die tijdens de proef zijn geregistreerd bedragen ca 2,0 à 2,5 m/s.

Volgens Roos [4] kan de snelheid van het op- en afstromende water worden beschreven als:

$$\frac{\bar{V}_+ \text{ (of } \bar{V}_-)}{g \cdot T_p \cdot \tan \alpha} = f \left(\frac{X}{\sqrt{H_1 \cdot L_0}} \right)$$

waarin:

| | |
|-------------------|---|
| V_+ (of V_-) | = opwaartse (resp. neerwaartse) pieksnelheid |
| g | = gravitatie versnelling |
| T_p | = golfperiode |
| α | = taludhelling |
| X | = positie t.o.v. S.W.L. gemeten langs het talud |
| H_1 | = inkomende golfhoogte |
| L_0 | = golflengte op diep water |
| | = $\frac{g}{2\pi} \cdot T_p^2$ |

Roos baseert deze relatie op modelmetingen met regelmatige golven, bij verschillende taludhellingen. De meest flauwe taludhelling die door Roos is beschouwd is $\cot \alpha = 7$. Deze relaties voor V_+ en V_- zijn weergegeven in figuur 16. De relaties zijn afgeleid voor meetpunten boven het stilwaterniveau. Tevens zijn de door extrapolatie verkregen curven voor $\cot \alpha = 8$ gepresenteerd.

Uit de vergelijking van deze curven met de AZTM metingen uit tabel 9 zijn de volgende conclusies te trekken:

- De gemeten opwaartse snelheden V_+ zijn slechts ca 50% à 60% van de snelheden die worden berekend met de relatie van Roos [4].
- De afhankelijkheid van de gemeten opwaartse snelheden van de plaats op het talud voldoet redelijk aan de relatie van Roos [4].

- De neerwaartse snelheden V_- sluiten wat betreft de orde van grootte redelijk aan bij de relatie van Roos. De spreiding, naar veel lagere snelheden, is groot.

Aangezien de meetduur steeds ca $5\frac{1}{2}$ minuut bedraagt en de golfperiode $T_p \approx 5\frac{1}{2}$ sec, beslaat één meting ca 60 golven. De waarde van \bar{V}_+ (of \bar{V}_-) is dus in feite het gemiddelde van de 10% hoogste oploop- (resp. afloop-) snelheden. Voor de opwaartse snelheden is deze 10%-waarde blijkbaar te laag voor het vergelijkbaar maken van de oploopsnelheden bij onregelmatige met die voor regelmatige golven. De 1% of 2% overschrijdingswaarde van de opwaartse snelheden voldoet hiervoor waarschijnlijk beter.

3.1.2 Klei-erosie en kwaliteit van de grasmat

Tijdens proef P01 is het talud een aantal malen in 3 raaien opgemeten, met stappen van 0,5 m (horizontaal). Metingen zijn uitgevoerd direct voorafgaand aan de proef ($t = 0$ uur), na respectievelijk 8, 15 en 22 uur en na de proef ($t = 29$ uur). Om de veranderingen in de profielligging tijdens proef P01 zichtbaar te maken zijn de profielmetingen uitgezet ten opzichte van de peiling direct voor de proef ($t = 0$ uur). In de figuren 17 t/m 20 zijn deze peilingen voor de raaien 1, 2 en 3 gepresenteerd. De spreiding in de meetresultaten is van dezelfde orde van grootte als de profielveranderingen. Tevens neemt de spreiding in de metingen af, bij een toenemende afstand tot het golfschot; dat wil zeggen een afnemende spreiding voor meetpunten hoger op het talud. Deze spreiding wordt veroorzaakt door de wijze van profielmeting:

- Een peiling wordt uitgevoerd door een verticale baak, die aan een peilwagen is bevestigd, op het talud te laten zakken. De baak is vrij slap, daarom is de plaatsbepaling voor de dieper gelegen meetpunten niet erg nauwkeurig. Een horizontale plaatsafwijking van + of - 0,05 m kan hierbij optreden. Bij een taludhelling $\cot\alpha = 8$ betekent dit een verticale afwijking van + of - 0,006 m.
- De positie van de meetwagen tijdens de meting wijkt eveneens af van de gewenste positie. De horizontale plaatsafwijking is ongeveer + of - 0,04 m. Dit leidt tot een verticale afwijking van + of - 0,005 m.
- Bij het neerzetten van de peilbaak op het grastalud zal de voet van de baak meer of minder ver wegzakken in de kleilaag. De hierdoor veroorzaakte spreiding is afhankelijk van de vervormbaarheid van de kleilaag. De lager gelegen delen van het talud staan vrijwel voortdurend onder water, waardoor

de vervormbaarheid toeneemt. Hoger op het talud is de grasbedekking dikker. De mate van samendrukking van dit gras tijdens een meting veroorzaakt hoger op het talud een spreiding in peilingen. De totale spreiding in de peilingen door deze oorzaken bedraagt + of - 0,002 m.

Om profielmetingen voor verschillende tijdstippen beter visueel vergelijkbaar te maken is de spreiding in de metingen geëlimineerd door per sectie van het talud (lengte 5 m) voor de 3 raaien de gemiddelde taludligging te berekenen. In figuur 21 is de taludligging in beeld gebracht gedurende de proef. Door de grote spreiding in de peilingen is het eindresultaat soms niet reëel. Het is bijvoorbeeld niet reëel dat het talud tussen 210 m en 220 m ca 0,002 m omhoog is gekomen tijdens de proef. Toch is het goed mogelijk een aantal conclusies te trekken uit de resultaten van figuur 21:

- De maximale klei-erosie van het talud bedraagt 0,005 à 0,01 m. Een dergelijk geringe profielverandering zou wellicht eveneens veroorzaakt kunnen worden door plastische vervorming van de kleilaag onder voortdurende golfaanval. Echter de waarneming van blootgelegde blanke (witte) worteldelen met een lengte van ca 0,01 m bevestigt de veronderstelling dat het hier profielveranderingen door erosie van de klei betreft.
- De erosie is het meest uitgesproken rondom 180 m van het golfschot (NAP +2,45 m). Dit is verklaarbaar uit het verloop van de golfhoogte en het getij tijdens de proef.

Gedurende de eerste getijgolf ($t = 0-10$ uur) en gedurende de derde getijgolf ($t = 19-29$ uur) is de golfbelasting geconcentreerd in de zone rondom NAP +2,45 m en 195 m vanaf het golfschot (NAP +4,25 m). De zwaarste golfaanval, bij een waterstand van NAP +5,50 m treedt op op een niveau $0,5 H_s$ à $1,0 H_s$ onder het stilwaterniveau. Voor $H_s \approx 1,85$ m betekent dit dat de zwaarste golfaanval heeft plaatsgevonden in de zone tussen NAP +3,65 m en NAP +4,60 m. De erosie van de kleilaag treedt dus zowel op in de zone waar langdurig een matige golfbelasting aanwezig is als in de zone waar slechts gedurende enkele uren een zware golfbelasting optreedt.

- Na 8 uur golven is in feite de klei-erosie op het deel van het talud waarvoor $x < 194$ m al voltooid. Het talud waarvoor $x > 194$ m is gedurende de eerste 8 uur van de proef nog niet nat geweest. In de periode tussen $t = 8$ uur en $t = 15$ uur erodeert het talud waarvoor $x > 194$ m. De fluctuaties in de ligging van het talud na $t = 15$ uur moeten worden toegeschreven aan meet-onnauwkeurigheid.

- Uit de bovenstaande constatering^{en} kan worden geconcludeerd dat de klei-erosie betrekkelijk snel optreedt, na enkele uren golfaanval is voltooid en in dikte beperkt is tot 5 à 10 mm.

De bovenbeschreven ontwikkeling van de klei-erosie kan worden verklaard door beschouwing van de kleilaag in samenhang met zijn begroeiing. In figuur 22a is (geschematiseerd) een met gras begroeide kleilaag weergegeven. Vooral de bovenste laag klei is sterk doorworteld. De wortelintensiteit neemt naar onderen sterk af (zie figuur 22b). Wanneer nu door een golfbelasting klei uit de bovenlaag wordt weg-geërodeerd ontstaat een viltachtig wortellaagje, met een dikte van 1 à 2 mm, dat bestaat uit de graswortels die in de geërodeerde kleilaag aanwezig waren. Dit laagje heeft een dichte structuur, zodat uitspoeling van dieper gelegen kleilagen wordt voorkomen. Het viltlaagje bestaat uit de toplaag van een wortelstelsel dat zich uitstrekt tot een diepte van ca 0,4 m. Door de klei-erosie ontstaat dus geleidelijk een beschermend laagje dat voortgang van de erosie verhindert. Bij een kleine beschadiging van het wortellaagje zal enige voortgaande klei-erosie optreden totdat opnieuw een viltlaagje wordt gevormd. Pas bij beschadiging van de bovenlaag over een diepte groter dan ca 0,03 m zal voortgaande erosie kunnen optreden. Hierop wordt nog verder ingegaan bij de beschrijving van de resultaten van proef P02 (zie paragraaf 3.2).

In verband met het grote belang van een goede dichte doorworteling van de bovenlaag van de klei moet de aanwezigheid van onkruiden in een grasmat als negatief worden beoordeeld. In [5] is gebleken dat vooral rozetvormige onkruiden, met penwortels, lokaal een verstoring veroorzaken van de wortelstructuur van het gras. Wanneer onder golfbelasting de rozet afbreekt of afslijt ontstaat een kwetsbare plek in de grasmat.

Door het Laboratorium voor Grondmechanica zijn op de toplaag van het talud penetrometer-proeven uitgevoerd. Het doel van de metingen was om een indruk te verkrijgen van de mate waarin erosie van klei gepaard gaat met verweking van een oppervlaktelaag. Een afname van de vóór de proef gemeten weerstand geeft een aanwijzing dat verweking een rol kan hebben gespeeld. Indien geen relevant verschil wordt gevonden moet worden verondersteld dat het verwekingsverschijnsel niet is opgetreden.

De penetrometer-proeven zijn uitgevoerd op een groot aantal plaatsen verspreid over het talud, voorafgaand aan het onderzoek en tijdens het onderzoek na respectievelijk 8, 15 en 29 uur golven. Een penetrometerbepaling omvat het wegdrücken van een cirkelvormig stalen plaatje (in dit geval met een diameter van 5 mm) tot een merkstreep op het wegdrukstaafje (penetratiediepte = 5 mm) gelijktijdig wordt de benodigde kracht op een meetklokje afgelezen.

Voor aanvang van het onderzoek zijn penetratieweerstanden gemeten op 75 plaatsen verdeeld over 16 dwarsraaien in de Deltagoot. In de tabel is de maximale, minimale en gemiddelde weerstand vermeld evenals de standaardafwijking. Hetzelfde is gedaan voor de metingen tijdens dit onderzoek na 8, 15 en 29 uur golven.

| | aantal metingen | penetratieweerstand (kN/m ²) | | | |
|------------------------------------|-----------------|--|-----|-----------|--------------------|
| | | max | min | gemiddeld | standaardafwijking |
| na 0 uur golven (aanvang proef) | 75 | 363 | 100 | 194 | 58 |
| na 8 uur golven | 40 | 155 | 40 | 104 | 35 |
| na 15 uur golven | 7 | 90 | 30 | 74 | 21 |
| na 29 uur golven (einde proef) | 38 | 130 | 50 | 92 | 22 |

De serie metingen voor aanvang van het onderzoek en de serie na 29 uur bestreken het gehele taludoppervlak. De metingen na 8 uur en 15 uur zijn daarentegen slechts in de nabijheid van de gootwand uitgevoerd. Bovendien is de lage gemiddelde weerstand na 15 uur golven slechts gebaseerd op 7 penetratiemetingen.

Vergelijking van de voor aanvang van de proef gemeten weerstanden met de weerstanden die zijn gemeten nadat 8 uur was gegolfd tonen een belangrijke afname. Dit kan een gevolg zijn van een verweekte of doorweekte toplaag in de klei-zode. Tijdens de uitvoering van de metingen is echter vastgesteld dat bij de metingen niet of nauwelijks de weerstand van de klei werd bepaald.

Door de eerder beschreven erosie van de toplaag van de klei bestond de oppervlakte van de zode vrijwel uitsluitend uit graswortels. Door de opgetreden erosie werd dus niet langer de penetratieweerstand van de kleilaag gemeten maar de weerstand van een viltachtige laag verstrengelde wortels. Bij de meting is nog wel getracht om tussen de wortels de weerstand van de kale klei te bepalen, maar de grote spreiding in de meetresultaten na 8 uur golven toont aan dat dit slechts zeer ten dele is gelukt. De veel kleinere standaardafwijking bij de metingen na 15 uur en 29 uur geven waarschijnlijk een indicatie dat het bij deze metingen helemaal niet meer gelukt is om kale klei te penetreren.

Bovenstaande betekent in feite dat de karakteristieke penetratieweerstanden vóór en tijdens het onderzoek niet zodanig worden vergeleken dat een uitspraak over de verweking van de klei mogelijk is. Hierdoor is het natuurlijk eveneens onmogelijk om de relatie tussen verweking van de klei en erosie van de toplaag te bepalen.

3.1.3 Waterspanningen in het dijklichaam, gemeten in model

3.1.3.1 Meetopstelling

Tijdens de getijproef (P01) is op vijf plaatsen in het zandpakket onder de kleilaag het verloop van de waterspanning gemeten. De plaatsen van de waterspanningsopnemers zijn weergegeven in figuur 4 en tabel 5. Twee opnemers zijn aangebracht op de scheiding van de zandkern en de kleilaag. De overige 3 opnemers zijn aangebracht in het zandpakket. Meting van de waterspanningen in de kleilaag is met de beschikbare meetapparatuur onmogelijk.

Het doel van deze metingen was om de waterspanningen tegen de onderzijde van de kleilaag vast te stellen, om zo een indruk te krijgen van de belasting van deze kleilaag voor reële belastingscondities en de mogelijkheid van bezwijken van het model ten gevolge van overdrukken aan de onderzijde van de kleilaag. Deze metingen dienden dus voornamelijk voor de bewaking van de proef; om, wanneer bezwijken van de kleilaag zou optreden, te kunnen vaststellen of de waterspanningen in het dijklichaam hierbij een rol speelden. De metingen zijn door de afwijkingen van het model ten opzichte van de natuur (naden tussen de zoden onderling, naden met de gootwand, teenaansluiting, alleen buitenbeloop) niet zonder meer van toepassing op een "Groene Dijk" in de natuur.

Voorafgaand aan de getijproef (P01) is de verwachting uitgesproken dat de waterspanningsvariaties tijdens de proef relatief gering zouden zijn ten opzichte van de variaties in de golfbelasting en het getij. Deze verwachting was gebaseerd op de volgende overwegingen:

- tijdens het aanbrengen, verdichten en onder de gewenste helling brengen van het zand bleek dat het grondwaterniveau in het zandlichaam iets lager dan de bodem van het onverdiepte gedeelte van de Deltagoot was gelegen en daarmee tevens iets onder het niveau van de laagste waterspanningsmeters (figuur 4)
- de kwaliteit van de onderlaag van los aangevoerde en in de goot verwerkte klei alsmede de wijze van laagsgewijze verwerking en verdichting was zodanig dat een dichte en vrijwel ondoorlatende kleiafdekking werd verkregen. Afgezien van ca 5 m lengte ter plaatse van de teen van het talud (tussen $x = 161$ m en $x = 166$ m) alwaar geen kleionderlaag onder de graszoden aanwezig was (zie figuur 4), moet het uitgesloten worden geacht dat waterspanningsvariaties in het zand kunnen optreden als gevolg van doorsijpeling van deze kleilaag.
- de toplaag bestaande uit 0,4 à 0,5 m dikke graszoden moet aanmerkelijk doorlatender worden verondersteld met name ter plaatse van de naden tussen de zoden. Dit betekent dat insijpeling van water tot in het zand alleen mogelijk moet zijn geweest vanuit de strook van ca 5 m lengte bij de teen van het talud.

De verwachting dat bij het onderhavige dwarsprofiel en de opzet van het onderzoek slechts kleine waterspanningsvariaties zouden kunnen optreden heeft er mede toe geleid dat slechts 5 waterspanningsmeters zijn geïnstalleerd en dat deze opnemers zijn geconcentreerd rond een vrij laag niveau in de goot.

3.1.3.2 Meetresultaten

De meetresultaten tijdens proef P01 zijn geregistreerd met behulp van een pen-schrijver. Door de grote lengte van deze registratie is het niet mogelijk deze in zijn geheel te presenteren. Daarom zijn in tabel 10 enkele markante gemeten waterspanningen verzameld. Hieruit blijkt dat waterspanningsmeter 1 die het dichtst bij de teen van de dijk is gelegen, de grootste variaties te zien geeft, maximaal 0,59 m waterdruk.

Waterspanningsmeter 3, ca 5 m landwaarts van de teen van de dijk, vertoont een soortgelijk beeld doch in meer gedempte vorm. Ter plaatse van de waterspanningsmeters 4 en 5, die respectievelijk 30 en 35 m landwaarts van de teen van

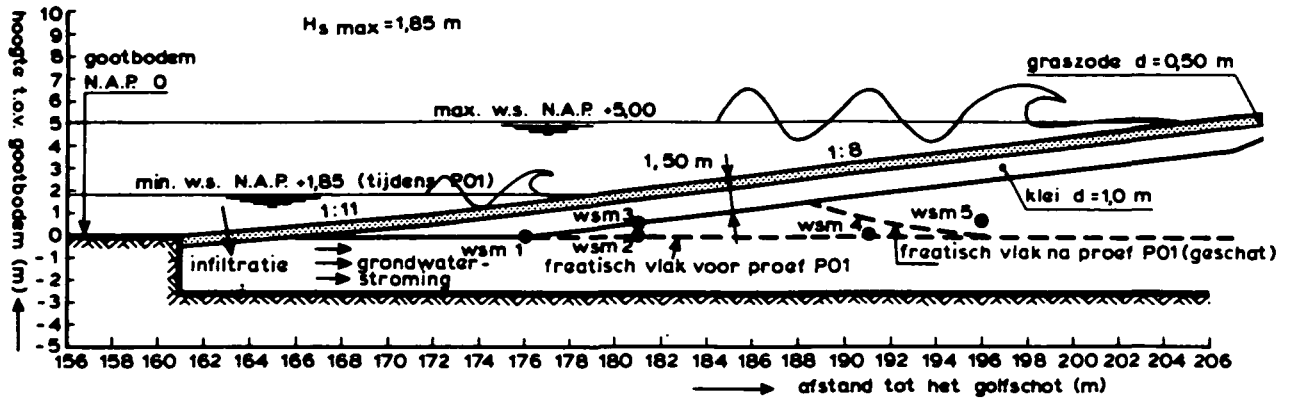
de dijk waren geplaatst, is nagenoeg geen waterspanningsverandering waargenomen tijdens de volledige getijproef P01. Waterspanningsmeter 2 vertoonde een sterk afwijkend verloop, namelijk een grote overdruk direct nadat de goot voor de eerste maal met water werd gevuld. Hoewel tijdens de proef kon worden vastgesteld dat ook deze opnemer goed functioneerde, traden in de registratie herhaaldelijk onverklaarbare variaties op. Het is niet onmogelijk dat dit gedrag toegeschreven moet worden aan luchtinsluitingen in het instrument met als gevolg capillaire aanzuiging van vloeistof vanuit de opnemer zelf. In tabel 10 is bij de waterspanning van opnemer 3 op enkele plaatsen een vraagteken geplaatst, omdat de penschrijver enkele malen weigerde. In dat geval zijn de waterspanningen voor opnemer 3 geschat aan de hand van vergelijking van de uitkomsten van opnemers 1 en 3 voor andere tijdstippen tijdens de proeven.

De golfdrukvariaties op het talud werden door opnemers 1 en 3 steeds geregistreerd. De amplitude van deze waterspanningswisselingen was evenwel steeds zeer klein. De maximale amplitude ter plaatse van waterspanningsmeter 1 bedroeg ca 0,01 m waterkolom en ter plaatse van waterspanningsmeter 3 slechts enkele millimeters. Tijdens hoge waterstanden en maximale golfhoogte registreerden ook de waterspanningsmeters 2 en 4 zeer kleine door golven veroorzaakte waterspanningsvariaties.

3.1.3.3 Verklaring waterspanningsvariaties

In paragraaf 3.1.3.1 is reeds aangegeven dat infiltratie van water in het dijklichaam slechts mogelijk is geweest ter plaats van de teen van de dijk, waar onder de graszode geen kleilaag aanwezig was. Bovendien is duidelijk dat direct voor de getijproef P01 de grondwaterstand in de dijk gelijk of iets lager was dan het niveau van de gootbodem, dat gelijk is aan het niveau van de waterspanningsmeters 1, 2 en 4.

Het feit dat tijdens de volledige proef de waterspanningsmeters 4 en 5 nauwelijks hebben gereageerd levert een aanwijzing dat het freatisch vlak (= grondwaterstand) tijdens de proef nauwelijks is verhoogd. Zoals uit het navolgende blijkt leveren de verschillen tussen de registraties van de waterspanningsmeters 1 en 3 hiervoor eveneens een aanwijzing.



Tijdens de top van het 2e getij (de piek van de stormvloed) bedroeg het verschil tussen beide registraties 0,20 m waterkolom (ca 2 kN/m²). Tijdens het verdere verloop van de proef was dit verschil aanmerkelijk kleiner.

Indien wordt uitgegaan van een extreme situatie, waarbij een constant drukverschil gedurende 48 uur tussen de opnemers 1 en 3 wordt aangenomen van 0,20 m waterkolom, bij een onderlinge afstand van 5 m kan een bovengrens worden berekend voor de hoeveelheid water die tijdens de proef kan hebben bijgedragen tot een verhoging van de grondwaterstand. Indien verder een doorlatendheid van het zandpakket wordt verondersteld van $k = 10^{-4}$ m/s en een doorvoerhoogte van 2 m kan de maximale toegevoegde hoeveelheid water worden berekend volgens:

$$V_{\max} = k \cdot i \cdot t \cdot h \cdot b$$

waarin:

- V_{\max} = maximaal toegevoegde volume water (m³)
- k = waterdoorlatendheid zandpakket = 10^{-4} (m/s)
- i = verhang tussen opnemers 1 en 3 (-)
 $= \frac{\Delta H}{\Delta L}$
- ΔH = verschil in waterspanning = 0,20 (m)
- ΔL = afstand tussen de opnemers = 5,0 (m)
- t = tijd = 2.24.3600 (s)
- h = doorvoerhoogte = 2 (m)
- b = breedte van de Deltagoot = 5 (m)

Per meter gootbreedte bedraagt dan de maximale toegevoegde hoeveelheid water

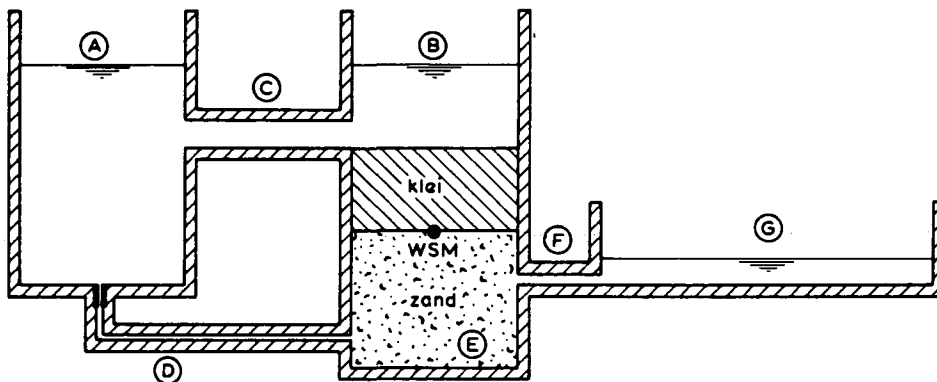
$$V_{\max}/b = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^1.$$

Met deze hoeveelheid water zal de grondwaterstand worden verhoogd over een lengte van ca 10 à 20 m.

Bij een poriëngehalte $n = 40\%$ bedraagt dan de gemiddelde verhoging van de grondwaterstand ca 0,25 m.

Gezien de aannamen moet deze schatting van de verhoging van de grondwaterstand als een absoluut maximum worden beschouwd.

Voor een verklaring van de variaties in de waterspanningen ter plaatse van de opnemers 1 en 3 is onderstaand geschematiseerd gedragsmodel opgesteld.

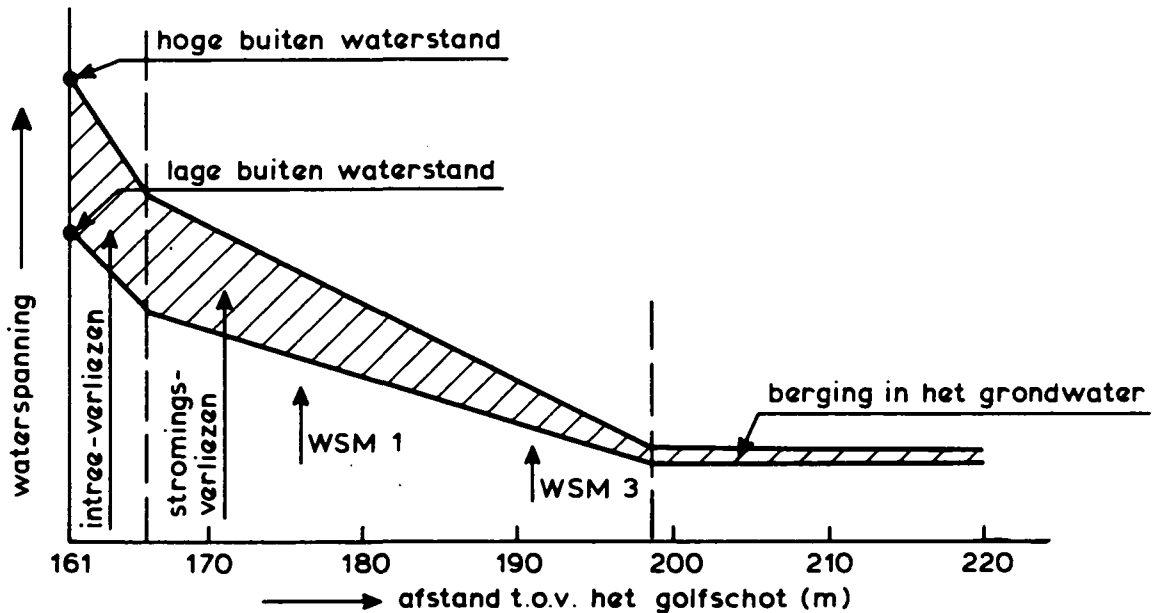


Geschematiseerd gedragsmodel waterspanningsvariaties

- Ⓐ Buitenrandvoorwaarde bij de teen van de dijk (golven en getij). Deze randvoorwaarde bepaald de infiltratie door de teen.
- Ⓑ Totaaldruk (golven en getij) op de kleilaag direct boven de waterspanningsmeter (WSM).
- Ⓒ Leiding met een lage weerstand, waardoor Ⓐ en Ⓑ elkaar wederzijds sterk beïnvloeden en vaak zelfs gelijk zullen zijn. Het droogvallen van het talud boven de opnemer wordt weergegeven doordat de bodem van vat A dieper ligt dan de bodem (bovenzijde kleilaag) van vat Ⓑ.
- Ⓓ Leiding met hoge weerstand en zeer hoge intree-weerstand ter simulatie van de waterstroming door het zandpakket en door de kleilaag van de zode bij de teen.
- Ⓔ Zand ter plaatse van de beschouwde opnemers (WSM 1 en WSM 3), afgedekt met de ondoorlatende kleilaag.

- Ⓕ Leiding met vrij hoge weerstand als simulatie van de stroming door het zand, met als gevolg een verhoging van de grondwaterstand.
- Ⓖ Bergingsmogelijkheid voor water door verhoging van de grondwaterstand. Slechts kleine niveau-veranderingen door grote oppervlak. en de grote weerstanden in de leidingen Ⓖ en Ⓕ.

Veranderingen in het gemiddelde waterstandniveau Ⓐ worden in Ⓔ direct gevoeld, echter wel sterk gedempt door de hoge intree-weerstand bij infiltratie van water bij de teen en de hoge stromingsweerstand door het zand. Het in de onderstaande figuur aangegeven beeld is van toepassing bij de relatief langzame niveau-veranderingen tijdens proef P01 door het vullen en leegpompen van de Deltagoot en door het verticale getij.



Voor het doorgeven van de snelle drukvariatiës ten gevolge van de golfbelasting via de infiltratiezone bij de teen van de dijk moeten de weerstanden in leiding Ⓖ te groot, en de verzadigingsgraad van het zand te laag worden geacht. Deze snelle wisselingen in de buiten-waterspanning kunnen alleen via directe belastingoverdracht door de klei naar de onderliggende opnemer worden doorgegeven.

De geringe amplitude ($H = 0,01$ à $0,015$ m) van de waterspanningsvariatiës als gevolg van de golven bevestigt de aanname van een relatief lage verzadigingsgraad in het zandlichaam.

3.1.3.4 Conclusies met betrekking tot de waterspanningen in het dijklichaam

- De tijdens de proeven gemeten waterspanningen en waterspanningsvariaties waren klein vergeleken met de variaties van de buitendruk. De grootste waterspanning trad op ter plaatse van waterspanningsmeter 1 tijdens de top van het 2e getij en bedroeg ca 6 kN/m². Op dit tijdstip was er sprake van een gemiddelde waterstand in de goot van ca 5,00 m (tevens 5,00 m boven niveau waterspanningsmeter 1).
- Tijdens de perioden dat de goot leeg was bedroeg de hoogste waterspanning ca 3 kN/m² eveneens ter plaatse van waterspanningsmeter 1. Deze overdruk onder tegen de klei is zonder meer onvoldoende om het evenwicht van de ca 1,5 m dikke kleiafdekking te verstoren.
- De golfdrukvariaties werden door 4 opnemers geregistreerd. Echter slechts in zeer sterk gedempte vorm. De maximale amplitude van deze snelle wisselingen bedroeg maximaal ca 0,15 kN/m² ter plaatse van waterspanningsmeter 1.
- De registraties van de waterspanningsmeters 1 en 3 tonen dat de variaties in gemiddelde buitenwaterstand vrijwel instantaan werden gevolgd. Dit wijst op een mechanisme dat gekenmerkt kan worden door beperkte insijpeling van water door de teen van het talud in de richting van het meer landwaarts gelegen freatisch vlak. Aan de hand van de waterspanningsregistraties van de verschillende opnemers kan worden geconcludeerd dat deze insijpeling onderhevig is geweest aan aanzienlijk stromingsweerstand waardoor een belangrijke verhoging van het freatisch vlak niet mogelijk was.
- Geconcludeerd kan worden dat het gedrag van de kleiafdekking tijdens de proeven niet beïnvloed is geweest door waterspanning of waterstroming vanuit de zandkern.

3.2 Proef P02; schade-ontwikkelingsproef

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van de schade-ontwikkelingsproef (proef P02). De resultaten kunnen worden onderscheiden in twee groepen:

- de uitbreiding van de vóór de proef aangebrachte gaten (3.2.1)
- de slijtage van de grasmat onder golfbelasting (3.2.2)

Voor een beschrijving van de randvoorwaarden van de proef en de keuze van de plaats van de gaten wordt verwezen naar paragraaf 2.5.2.

3.2.1 Uitbreiding van de gaten in de grasmat

Op de foto's 20 t/m 23 is een beeld gegeven van de ontwikkeling van de 4 gaten in de grasmat na respectievelijk 0, 6, 7 en 8 uur golven met een constant waterpeil van NAP +5,50 m en een golfhoogte $H_g = 1,57$ m. In de figuren 23 en 24 is de ontwikkeling van de gaten ① en ② nogmaals weergegeven. Na ca 5½ uur golven is voor het eerst geconstateerd dat beneden het stilwaterniveau erosie van de graszode optrad. Dit bleek met name uit het troebel worden van het water door uitgespoelde klei. Na 6 uur golven is de proef voor het eerst onderbroken voor een inspectie van de grasmat. Om een indruk te krijgen van de wijze waarop en de snelheid waarmee de gaten zich uitbreiden onder golfbelasting is vervolgens nog twee maal één uur gegolfd. In onderstaande tabel zijn enkele karakteristieke afmetingen van de erosiekuilen weergegeven.

| | | oppervlak (m ²) | volume (m ³) | grootste diepte (m) | grootste lengte (m) | grootste breedte (m) |
|-------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| gat 1 | na 0 uur golven | 0,10 | 0,01 | 0,07 | 0,20 | 0,50 |
| gat 1 | na 6 uur golven | 2,70 | 0,75 | 0,39 | 2,35 | 1,45 |
| gat 1 | na 7 uur golven | 4,50 | 1,65 | 0,44 | 3,25 | 1,90 |
| gat 1 | na 8 uur golven | 6,30 | 2,55 | 0,44 | 4,00 | 2,00 |
| gat 2 | na 0 uur golven | 0,10 | 0,01 | 0,07 | 0,20 | 0,50 |
| gat 2 | na 6 uur golven | 1,40 | 0,50 | 0,48 | 2,05 | 1,30*) |
| gat 2 | na 7 uur golven | 2,50 | 1,05 | 0,49 | 2,65 | 1,60*) |
| gat 2 | na 8 uur golven | 4,60 | 1,90 | 0,49 | 3,60 | 1,80*) |

*) breedte is wellicht beperkt door de aanwezigheid van de gootwand

Naar aanleiding van de figuren 23 en 24, en de foto's 20 t/m 23 zijn ten aanzien van de ontwikkeling van de gaten de volgende opmerkingen te maken:

- Het aanbrengen van een gat, met een diepte van 0,07 m, door de bovenste dicht doorwortelde zone van de graszode op een ongunstige plaats is blijkbaar voldoende om een voortgaande ontgronding in gang te zetten.
- Slechts de gaten ① en ② hebben zich onder de golfbelasting aanmerkelijk uitgebreid. Deze gaten bevinden zich op respectievelijk 1,0 en 0,5 m onder het stilwaterniveau. Bij een golfhoogte $H_g = 1,57$ m bevinden deze gaten

de meest doorwortelde zone is aangebracht. De uitbreiding van schade is ontstaan doordat de rand van een gat op enige diepte werd ondermijnd door een voortgaande erosie van minder dicht doorwortelde klei. Door deze ondermijning scheurde vervolgens de goed doorwortelde toplaag af door de combinatie van golfbelasting en eigen gewicht. Om een voortschrijdende schadeontwikkeling te krijgen moet de golfbelasting dus een aangrijpingspunt vinden in een slecht doorwortelde zone.

- De hoeveelheden ontgronding die zijn waargenomen (ca 2 à 3 m³ per gat) zijn zeer gering ten opzichte van de hoeveelheden die noodzakelijk zijn voor een dijkdoorbraak. Voor een dijkdoorbraak op een niveau van NAP +5,00 m (dit is het niveau van gat ②) moet volgens figuur 2a per strekkende meter dijk-lengte een ontgronding optreden van 30 à 35 m³, voor ongeveer de helft bestaande uit klei.

Gezien de extreme golfbelasting ($H_g = 1,57$ m) die gedurende lange tijd (8 uur) constant op dezelfde zone van de dijk is uitgeoefend moet het resultaat van deze schade-ontwikkelingsproef zonder meer als positief worden beoordeeld. De dijk is in staat om ook de na langdurige extreme golfaanval zijn waterkerende functie te vervullen. Echter het feit dat een betrekkelijk kleine beschadiging van de grasmat kan leiden tot een aanzienlijke ontgronding stelt wel eisen aan het dagelijks onderhoud en de inspectie van een "Groene Dijk".

3.2.2 Kwaliteit van de grasmat

Na de schade-ontwikkelingsproef kan voor grote delen van het talud nauwelijks nog worden gesproken van een groene dijk. Het oppervlak van het talud, voor zover aan langdurige golfaanval blootgesteld bestaat uit een viltachtig laagje wortels, waarop een laagje klei van enkele millimeters dikte is neergeslagen. Deze klei is voornamelijk afkomstig uit de geërodeerde gaten ① en ②. Met uitzondering van de 4 gaten is echter nergens schade op het talud opgetreden, ook niet in de zwaar aangevallen zone, op hetzelfde niveau als de gaten, maar daarnaast gelegen. Blijkbaar is de sterkte van de toplaag en de erosiebestendigheid daarvan zodanig dat geen spontane schade optreedt.

In hoeverre de grasmat nog in staat zal zijn om zichzelf te herstellen kan niet worden voorzien. Beschouwing van de randen van de gaten leert wel dat althans het wortelgestel nog tekenen van leven vertoont.

3.3 Proef P03; lange-duurproef

In deze paragraaf worden de resultaten besproken van de lange-duurproef (proef P03). De randvoorwaarden van de proef en een motivatie voor de keuze daarvan is reeds gegeven in paragraaf 2.5.3. Op foto 24 is een beeld gegeven van de conditie van de grasmat op drie overeenkomstige plaatsen in de meest aangeval- len zone van het talud, vóór de proef en na 18 uur golfaanval met een signifi- cante golfhoogte $H_g = 1,03$ m bij een stagnant waterpeil. Enige achteruitgang van de kwaliteit van de toplaag is waarneembaar op de foto's. Inspectie van het talud na de proef heeft echter geleerd dat door de langdurige golfaanval plaatselijk de viltachtige toplaag van wortels is losgescheurd van de onder- liggende kleilaag. Dit heeft echter nergens aanleiding gegeven tot voortgaande erosie van de kleilaag.

Aangezien het gras dat nog op het talud aanwezig was na proef P03 slap, ver- dord en geslonken was, waren de naden tussen de afzonderlijke zoden zeer dui- delijk herkenbaar. Het is daarom verrassend dat deze naden geen aanleiding hebben gegeven tot beschadiging van de grasmat en de zode. Blijkbaar zijn de imspanningen tijdens de inbouw van het model voldoende geweest om te voorkomen dat de naden in de grasmat zwakke plekken in de constructie zouden zijn.

4. Karakteristieken van de toegepaste kleisoorten

Zoals in paragraaf 2.3.1 is aangekondigd worden in dit hoofdstuk de uit monsteranalyse verkregen karakteristieken van de toegepaste kleisoorten beschreven en becommentariëerd. Wanneer dat mogelijk is worden deze karakteristieken vergeleken met de criteria die voor toepassing van klei in de dijkbouw worden gehanteerd en die onlangs door de Deltadienst van Rijkswaterstaat zijn geïnventariseerd [6]. Een monsterstaat is gepresenteerd in tabel 4.

Achtereenvolgens zal aandacht worden besteed aan de volgende klei-karakteristieken:

- Dichtheid (4.1)
- Vochtigheid (4.1)
- Granulaire samenstelling (4.2)
- Humusgehalte (4.3)
- Plasticiteits-index (4.4)
- Attenberger grenzen (4.4)
- Consistentie-index (4.4)

In paragraaf 4.5 is een samenvatting van de resultaten gepresenteerd alsmede een algemene beoordeling van de kleisoorten, mede in het licht van de resultaten van het modelonderzoek.

4.1 Dichtheid van de kleien

In totaal zijn 9 steekringmonsters gestoken waarvan 3 monsters direct na verdichten uit de kleionderlaag en 6 monsters uit een vanwege te grote maatafwijkingen afgekeurde graszode (vanaf ca 0,25 m onder het grasoppervlak). De dichtheid en het watergehalte van de 9 monsters zijn vermeld in onderstaande tabel.

| monster nr. | kleisoort | droge dichtheid γ_d [kN/m ³] | natte dichtheid γ_n [kN/m ³] | water-gehalte ω [%] |
|-------------|-----------|---|---|----------------------------------|
| 1 | onderlaag | 13,1 | 18,2 | 39 |
| 2 | onderlaag | 12,0 | 17,2 | 44 |
| 3 | onderlaag | 10,7 | 16,1 | 50 |
| 4 | zode | 14,5 | 17,7 | 22 |
| 5 | zode | 15,3 | 18,7 | 23 |
| 6 | zode | 14,8 | 18,3 | 24 |
| 7 | zode | 14,4 | 17,7 | 23 |
| 8 | zode | 14,6 | 18,1 | 24 |
| 9 | zode | 15,1 | 19,0 | 26 |

De dichtheid van de kleionderlaag na verdichten is vrij laag, gemiddeld $\gamma_d = 11,9 \text{ kN/m}^3$ en de resultaten van de 3 monsters vertonen veel spreiding. Deze lage dichtheid is waarschijnlijk het gevolg van het hoge watergehalte tijdens de verwerking van de klei in het model.

Het optimale watergehalte zoals dat met een proctorproef in het laboratorium kan worden bepaald ligt in het algemeen beneden de 25%, dus aanzienlijk lager dan het gemiddelde watergehalte van 44% van de monsters 1 t/m 3. Omdat bij het onderhavige onderzoek geen proctorproeven zijn uitgevoerd is niet aan te geven welk percentage van de proctordichtheid bereikt is bij het verdichten van de kleionderlaag. In de praktijk zal indien bij de verdichtingscontrole soortgelijke waarden voor de dichtheid en watergehalte worden gevonden in vele gevallen extra na-verdichting worden overwogen. Daarnaast zal het hoge watergehalte (in relatie tot de in 4.4 genoemde Attenberger grenzen) aanleiding kunnen zijn tot het afkeuren van de klei.

De dichtheden van de monsters 4 t/m 9 uit de graszoden zijn aanzienlijk hoger (gemiddeld $\gamma_d = 14,8 \text{ kN/m}^2$) dan die van de monsters uit de onderlaag. Bovendien is de spreiding klein en het gemiddelde watergehalte ($\bar{\omega} = 24\%$) relatief laag. De dichtheid en watergehalte van de grastoplaag is vanuit praktisch oogpunt voor dijken zeker acceptabel. Tijdens het onderzoek zijn tevens 4 monsters (monster 10 t/m 13) genomen uit het oppervlak van een schadegebied. De vochtgehalten van deze 4 monsters vertoonden weinig spreiding en bedroegen

gemiddeld 24% dus gelijk aan het gemiddelde watergehalte van de voor aanvang van het onderzoek genomen steekringmonsters.

4.2 Granulaire samenstelling

In tabel 4 is aangegeven dat korrelverdelingen zijn bepaald van de monster 1 t/m 3 uit de kleionderlaag en van 7 monsters afkomstig uit de graszode. In figuur 25 zijn de korrelverdelingen van de 3 monsters uit de kleionderlaag gepresenteerd. Ter karakterisering van de granulaire samenstelling worden hier het lutumgehalte (% deeltjes < 0,002 mm), het percentage deeltjes < 0,016 mm en het zandgehalte (% deeltjes > 0,060 mm) gebruikt.

Het lutumgehalte van monsters 2 en 3 bedraagt ca 30%. Het monster 1 bevat een veel hoger gehalte aan fijne delen namelijk 47%. Het zandgedeelte van de monsters bedraagt respectievelijk 13%, 30% en 25%. De gevonden percentages < 0,002 mm en > 0,060 mm liggen in het algemeen binnen de grenzen die in de praktijk voor dijkbouw worden gehanteerd. Alleen het zandgehalte van monster 2 is aan de hoge kant, 30% ten opzichte van maximaal 25% dat in bepaalde gevallen (dijkafdeklaag) als criterium wordt gebruikt. Uitgaande van de gemiddelde waarde voor het lutumgehalte van 35% en het zandgehalte van 22% van de monsters 1 t/m 3 kan het materiaal uit de onderlaag als een vrij vette klei worden gekarakteriseerd. Het percentage deeltjes < 0,016 mm (percentage afslibbare deeltjes) is respectievelijk 66%, 47% en 50%. Ook bij toepassing van een afslibbaarheids criterium bijvoorbeeld > 45% zal de klei geschikt worden voor toepassing bij dijkbouw.

In figuur 26 is de band aangegeven waarbinnen alle korrelverdelingsdiagrammen vallen van de monster^safkomstig uit de graszoden. De percentages behorend bij de hiervoor genoemde karakteristieke grenzen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

| karacteristieke grenzen (gewichtspcenten) | laagste en hoogste waarde | gemiddelde van de 7 monsters |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| % < 0,002 mm | (14 - 25)% | 18% |
| % < 0,016 mm | (28 - 38)% | 32% |
| % > 0,060 mm | (40 - 55)% | 49% |

De gemiddelde gehaltenes lutum en zand zijn zodanig dat van een schrale, zandige klei moet worden gesproken. De erosiebestendigheid van de klei uit de zoden moet vrij laag worden verondersteld. Het is dan ook zeer aannemelijk dat de bij het Groene Dijk-onderzoek in de Deltagoot gebleken hoge bestendigheid van de afdeklaag onder golfaanval moet worden toegeschreven aan de resistente additionele werking van het gras en de beworteling en zeker niet aan de bestendigheid van de in de zoden aanwezige klei.

Een en ander is echter een wisselwerking. Juist op een schrale zandige klei kan zich een goede grasmat ontwikkelen; die zeer erosiebestendig is onder golfaanval. Een zware vette klei daarentegen leidt tot een open grasmat, die voor wat betreft de grasmat erosiegevoeliger en schadegevoeliger is; voor wat betreft de onderliggende kleilaag, dus voor wat betreft het voortschrijden van schade is de erosiegevoeligheid echter gering.

Uit het bovenstaande wordt duidelijk dat de wijze waarop de samenstelling van de kleilaag de sterkte van de dijkbekleding (klei en gras) beïnvloedt nog niet volledig duidelijk is.

4.3 Humusgehalte

Voor toepassing van klei bij dijkbouw wordt in het algemeen een maximum gesteld aan het toelaatbaar gehalte aan organisch materiaal. De toelaatbare grens bedraagt 3 of 5%. De monsters 1 en 2 uit de kleionderlaag bevatten een gemiddeld humusgehalte van 2,2% (maximum: monster 2 = 2,6%). Het gemiddelde humusgehalte van de 8 onderzochte monsters uit de graszoden bedroeg 1,2% met een maximum van 1,5%.

Dit betekent dat in beide kleisoorten een laag gehalte aan organisch materiaal aanwezig is.

4.4 Plasticiteits-index en Attenberger grenzen

De plasticiteits-index en Attenberger- of consistentiegrenzen zijn bepaald voor beide bij het onderzoek toegepaste kleisoorten.

Voor de kleionderlaag is daartoe gebruik gemaakt van een mengsel van de monsters 2,3 en 16 en voor de klei uit de graszoden van een mengsel van de monsters 4, 6, 8 en 15. De resultaten zijn hieronder weergegeven.

| | uitrolgrens PL [%] | vloiegrens LL [%] | plasticiteits- index I _p [%] | gemiddeld watergehalte ω [%] |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|
| onderlaag klei (o) | 22 | 58 | 36 | 44 |
| graszode (b) | 20 (moeilijk te bepalen) | 36 | 16 | 24 |

De klei uit de onderlaag kan daarmee als een vrij plastische klei worden gekenschetst, de klei uit de graszode als een weinig plastische klei. Dit laatste is een gevolg van de sterk zandige samenstelling.

Met de Attenberger grenzen en het watergehalte kan een uitspraak worden gedaan over de mate van consistentie of rijpingsgraad van de klei. Een maat hiervoor levert de consistentie-index I_c die gedefinieerd is als

$$I_c = \frac{LL - \omega}{I_p}$$

In het algemeen wordt hiervoor bij de keuze van dijkbouwmaterialen een waarde geëist van I_c > 0,7 à 0,8. Voor de klei uit de onderlaag wordt voor de consistentie-index gevonden I_c = 0,39, dus zeer laag. Het materiaal moet als een weinig consistente klei worden gekarakteriseerd. De klei uit de graszoden heeft een consistentie-index I_c = 0,75 wat in het algemeen een acceptabele waarde zal worden geacht.

4.5 Samenvatting van de kleikarakteristieken

Op basis van de uitgevoerde monsteranalyses kan ten aanzien van de eigenschappen van de toegepaste kleisoorten het volgende worden geconcludeerd:

De klei uit de graszoden moet als een zandige, vrij schrale klei worden gekarakteriseerd. De dichtheid en mate van consistentie zal voor dijkafdekkingen in het algemeen acceptabel worden geacht. De erosiebestendigheid van een onbegroeide kleilaag moet echter als laag worden gekarakteriseerd.

De in de onderlaag toegepaste kleisoort is een vrij vette klei. De klei is evenwel weinig consistent en de na verdichting bereikte dichtheid is laag.

Voor taludafdekking bij dijknieuwbouw zal de klei tegenwoordig veelal niet worden geaccepteerd. Immers als gevolg van periodieke uitdroging en (golf-) belasting kunnen onder bepaalde omstandigheden in de loop der tijd belangrijke zettingen, deformaties en krimpscheuren ontstaan. Voor toepassing in een kortdurend onderzoek zoals het Groene Dijk-onderzoek in de Deltagoot treden geen wisselingen in de waterhuishouding op.

De resultaten van het onderzoek hebben uitgewezen dat de lage dichtheid en dientengevolge relatief lage schuif- en deformatieweerstand geen grote vervormingen van het talud hebben veroorzaakt. De conclusie dat deze klei heeft voldaan bij het Deltagootonderzoek is daarom zeker op zijn plaats.

De resultaten van de monsteranalyses van de toegepaste kleisoorten verklaren de tijdens proef P02 waargenomen schade-ontwikkeling. Hierbij werd onder meer geconstateerd dat de erosiebestendigheid van de klei uit de onderlaag aanmerkelijk groter was dan die van de klei uit de zoden.

5. Interpretatie en evaluatie schademechanisme

Uit de resultaten van het modelonderzoek, die zijn gepresenteerd in hoofdstuk 3, is duidelijk geworden dat de sterkte van het buitenbeloop van de beproefde "Groene Dijk" onder extreme golfbelasting aanmerkelijk groter is dan op basis van de mechanische sterkte van een grasmat mag worden verwacht. Als belangrijkste oorzaken van de grote sterkte moeten worden genoemd:

- De flauwe taludhelling, $\tan\alpha = 1/8$
- De grote bewortelingsdiepte van het gras, ca 0,40 à 0,45 m

Het ontstaan van schade aan een constructie is steeds het gevolg van het onderlinge verband tussen enerzijds de sterkte van de constructie en anderzijds de belasting op die constructie. Dat het bij de beproefde grasdijk voornamelijk de gematigde belastingen zijn die het gedrag van de dijkbekleding verklaren wordt in het onderstaande aannemelijk gemaakt.

Een dijkbekleding op het buitenbeloop bestaande uit een kleilaag met een grasmat kan in principe op drie verschillende manieren bezwijken:

a Hoge waterspanningen tegen de onderzijde van de kleilaag, in combinatie met een lage buitenbelasting kan tot opdrukken (open barsten) van de kleilaag leiden. In paragraaf 3.1.3 is aangetoond dat dit mechanisme bij de beproefde "Groene Dijk" geen enkele rol kan spelen.

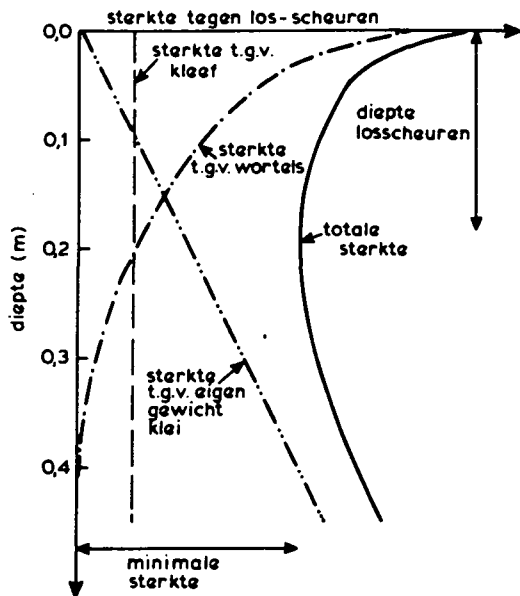
Bij het ontwerp van een dijkbekleding zal echter steeds met de mogelijkheid van optreden van dit mechanisme rekening moeten worden gehouden.

b Voortgaande erosie van de kleilaag waardoor de grasplanten geleidelijk hun houvast in de ondergrond verliezen doordat de wortels worden losgespoeld.

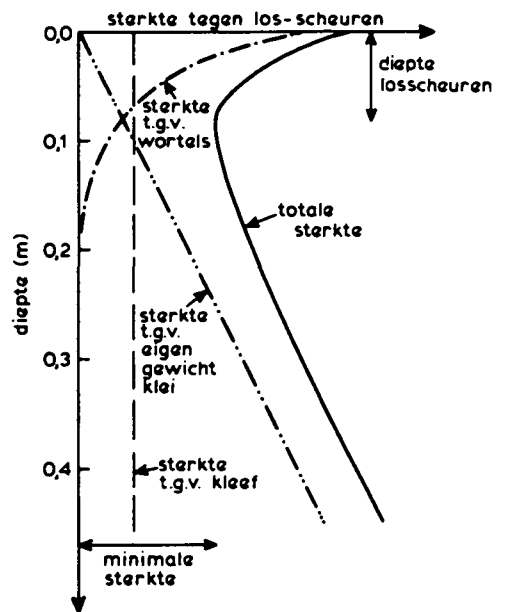
c Het losscheuren van de toplaag van de graszode van de ondergrond. Hierbij moeten de wortels die de grasplant verbinden met de ondergrond stuk voor stuk worden afgebroken. De diepte waarop dit gebeurt is, zoals in het navolgende aannemelijk zal worden gemaakt, onder meer afhankelijk van de wijze van beworteling van het gras.

Wanneer nu een ongeschonden grasmat door golven wordt aangevallen zal mechanisme b, erosie van de kleilaag direct optreden. Mechanisme c, het losscheuren van de toplaag is niet opgetreden tijdens de proeven. In onderstaande figuur is hiervoor een verklaring gegeven.

sterk doorwortelde zode



slecht doorwortelde zode



De sterkte van een grasbekleding tegen losscheuren van de toplaag is in feite opgebouwd uit drie bijdragen, die deels variëren met de diepte waarop het losscheuren optreedt:

- 1 De kleefkrachten die de samenhang van de kleilaag bepalen. Deze leveren een weerstand tegen scheuren bij homogene klei, die constant is over de diepte.
- 2 De wortel-intensiteit, die sterk bevorderend is voor de weerstand tegen losscheuren, neemt sterk af bij toenemende diepte.
- 3 Het eigen-gewicht van de bovenliggende kleilaag levert een weerstand tegen losscheuren en neemt lineair toe met de diepte.

In bovenstaand figuur is aangegeven hoe de drie bijdragen samenwerken, en zo de diepte en de bezwijkbelasting bij losscheuren bepalen. Blijkbaar is tijdens de getijproef P01 dit belastingsniveau niet overschreden. In de figuur is tevens aangegeven hoe de sterkte van de grasmat tegen losscheuren en de diepte waarop losscheuren optreedt worden beïnvloed door de bewortelingsintensiteit.

De belasting op het dijktalud wordt in belangrijke mate bepaald door de manier waarop golven op het talud breken, het brekertype. In figuur 27 is aangegeven hoe het brekertype afhangt van de brekerparameter ξ , die als volgt is samengesteld uit de taludsteilheid en de golfsteilheid:

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

Voor de proeven P01, P02 en P03 geldt globaal dat de waarde van de brekerparameter $\xi = 0,6$ à $0,8$. Dit betekent dat de golven weliswaar van het "plunging"-brekertype waren maar dat de overstortende golftong niet op een droog talud slaat, maar in de waterlaag die is gevormd door de voorgaande golf. De extreme vorm hiervan wordt gevonden bij "spilling"-brekers, waar de zone waarin de golven breken zo breed is dat gelijktijdig meerdere golven daarin breken (zie figuur 27). Het is bekend dat de grootste golfbelasting op een talud optreedt onder "plunging"-brekers die breken op een droog talud. De golfklappen veroorzaken dan snelle, grote drukfluctuaties en kortdurende hoge stroomsnelheden. Door de flauwe taludhelling ($\tan\alpha = 1/8$), en daardoor lage ξ -waarden wordt een zodanige reductie van de belasting van de grasmat verkregen dat blijkbaar de sterkte van de toplaag voldoende is om losscheuren te voorkomen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat in het modelonderzoek het effect dat wind (superstorm) heeft op de waterbeweging op het talud niet is gereproduceerd en dat slechts loodrechte golfaanval is opgetreden, terwijl niet bekend is wat de invloed van scheve golfaanval is.

Bovenstaande geeft een verklaring voor de verrassend positieve resultaten van de uitgevoerde proeven met betrekking tot de onbeschadigde toplaag. Tevens kan hiermee worden verklaard dat een kleine oppervlakkige beschadiging (bovenste 0,01 en 0,02 m) nauwelijks invloed heeft op de sterkte van de dijk-bekleding. Bij de schade-ontwikkelingsproef, P02 is onder zware golfaanval ($H_s = 1,57$ m) bij een vaste waterstand een flinke uitbreiding van de aangebrachte beschadigingen opgetreden. Deze uitbreidingen kunnen verklaard worden door het feit dat hier de relatief sterke toplaag over een hoogte van 0,07 m was verwijderd. De golfaanval werkt hierdoor direct op een relatief zwakke (minder doorwortelde) kleilaag. Hierdoor ontstond erosie van klei, wat leidt tot verdieping en horizontale uitbreiding van de beschadigingen. De dichtdoorwortelde toplaag bezwijkt vervolgens van onderaf, door ondermijning ten gevolge van klei-erosie. Stukken van de dichtdoorwortelde toplaag worden vervolgens door de brekende golven afgescheurd. Vooral op foto 21, na 8 uur golven is dit duidelijk waarneembaar.

REFERENTIES

- 1 Coastal Engineering Research Center.
Shore Protection Manual, 1973
- 2 Kostense, J.K. en Vis, F.C.
Generation and measurement of wave set-down and surfbeat in models.
Delft Hydraulics Laboratory, Synopsis for the International Conference on
Coastal Engineering, Houston, 1984.
- 3 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Rapport Golfoploop en Overslag, januari 1972
- 4 Roos, A.,
Experimenteel onderzoek naar het gedrag van tegen taluds oplopende
regelmatige golven.
Technische Hogeschool Delft, oktober 1972
- 5 Waterloopkundig Laboratorium,
Erosiebestendigheid van gras op kleitaluds,
Conceptverslag modelonderzoek, M 1930, maart 1984
- 6 Rijkswaterstaat, Deltadienst, Werkgroep Klei;
Klei onder steenzettingen voor Oesterdam en Philipsdam, maart 1984

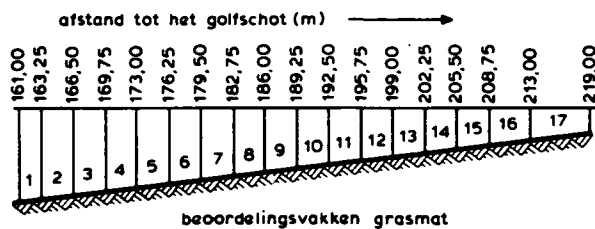
| Deelnemers | Dienst / Bedrijf | Adres | Postcode + Plaats | Telefoon |
|---------------------|--|---------------|--------------------|-------------|
| ir. R. Akkerman | Rijkswaterstaat, Meet- en Adviesdienst Delfzijl | Postbus 20003 | 9930 PA Delfzijl | 05960-14999 |
| ir. S.P. de Boer | Rijkswaterstaat, Directie Friesland | Postbus 2301 | 8901 JH Leeuwarden | 058 -442332 |
| ir. A.M. Burger | Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" | Postbus 152 | 8300 AD Emmeloord | 05274-2922 |
| ir. D.T. van Gulik | Provinciale Waterstaat Friesland | Postbus 1186 | 8900 CD Leeuwarden | 058 -925935 |
| ing. F. IJnsen | Rijkswaterstaat, Directie Friesland | Postbus 2301 | 8901 JH Leeuwarden | 058 -442332 |
| ing. L.A. Philipse | Waterschap Fryslân | Postbus 147 | 8860 AC Harlingen | 05178-6834 |
| ir. J.H. de Reus | Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn | Postbus 601 | 1620 AR Hoorn | 02290-12755 |
| ir. J.J.W. Seyffert | Rijkswaterstaat, Centrum Onderzoek Waterkeringen | Postbus 20907 | 2500 EX Den Haag | 070 -889370 |
| ir. P. Vellinga | Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" | Postbus 152 | 8300 AD Emmeloord | 05274-2922 |

Tabel 1 Begeleidingsgroep modelonderzoek "Groene Dijk"

| beoordelingsvak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-------------------------|-------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----|
| grondbedekking in % | 40-65 | 60-70 | 60-70 | 60-70 | 60-70 | 50-60 | 55-60 | 60-70 | 60-70 | 65-75 | 70-80 | 75-85 | 75-85 | 80-85 | 85 | 85 | 85 |
| grasaandeel in % | 85 | 86 | 87 | 86 | 90 | 91 | 92 | 89 | 90 | 89 | 87 | 90 | 88 | 88 | 94 | 89 | 85 |
| klaveraandeel in % | - | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 6 | 8 | 5 | 6 | 6 | 3 | 3 | 3 |
| onkruidaan-deel in % | 15 | 12 | 12 | 12 | 7 | 7 | 5 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 3 | 8 | 12 |
| Grassoorten in % | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Engels raaigras | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 8 | 12 | 20 | 40 | 20 | 10 |
| veldbeemdgras | 76 | 76 | 77 | 75 | 77 | 76 | 74 | 79 | 77 | 77 | 72 | 71 | 64 | 57 | 37 | 54 | 34 |
| roodzwenkgras | 14 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 12 | 14 | 14 | 12 | 14 | 14 | 16 | 18 | 14 | 16 | 16 |
| struisgras | 3 | 6 | 6 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| ruwbeemd | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | + | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| tuintjesgras | 1 | + | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | + | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| kweek | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 1 | + | + |
| kamgras | + | + | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | + | + | + | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| onkruiden | mali | mali dubl | mali dubl pbl | mali dubl pbl | mali dubl pbl | pbl mali dubl | mali pbl dubl | mali dubl pbl | mali dubl pbl | mali pbl pbl | mali pbl pbl | mali pbl pbl | mali pbl pbl | mali pbl bobl | mali pbl bobl | mali pbl dubl | |

mali = madeliefje
dubl = duizendblad
pbl = paardebloem
bobl = boterbloem

Beoordeling uitgevoerd door dhr. P.J. Huesmann,
(Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad)



TOELICHTING BEOORDELING GRASSOORTENSAMENSTELLING

De grasmatbeoordeling op soortensamenstelling was wat moeilijker uitvoerbaar dan van een grasmat in het open veld. Het gras in de Deltagoot was slap, ijl en lichtgroen van kleur in vergelijking met de graszoden (blokken) die, na te zijn afgekeurd, in de open lucht lagen opgeslagen.

Door het zo kort na het aanbrengen in fasen van die zoden, waarbij aan geregeld belopen niet te ontkomen is en het nat houden met gevolg een dichte tot zeer dichte grond. De grasmat was niet in optimale vorm ten gevolge van het transport en de inbouw in de Deltagoot. De fijnbladige grassen, zoals roodzwenkgras en ruwbeemd en misschien ook kamgras, zijn hierdoor wat in de verdrukking gekomen. Het aandeel van genoemde grassen was dan ook moeilijk vast te stellen. Bij het beoordelen van die grassoorten in de Deltagoot zijn de zoden buiten de goot mede een leidraad geweest.

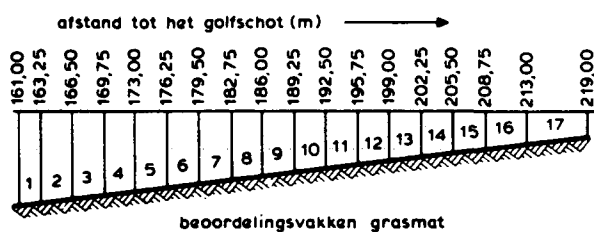
In de vakken 1, 2 en 3 was de grond zeer nat, waarschijnlijk een gevolg van het naar beneden zakken, resp. lopen van sproeiwater. Op één plaats werd sneeuwschimmel gevonden, ook al een gevolg van een te grote vochtigheid. De graslengte was 8-12 cm.

Tabel 2 Grassoorten samenstelling van de grasmat beoordeeld op 12 september, 1983

| beoordelingsvak : | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16,17 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| grondbedekking in % | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 september 1983 | 40-65 | 60-70 | 60-70 | 60-70 | 60-70 | 50-60 | 55-60 | 60-70 | 60-70 | 65-75 | 70-80 | 75-85 | 75-85 | 80-85 | 85 | 85 |
| 3 oktober 1983 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 40-45 | 40-45 | 40-45 | 40-45 | 40-45 | 45 | 45 | 50 | 50 | 60 | 55 | 65-70 | 65-70 |
| grasaandeel in % | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 september 1983 | 85 | 86 | 87 | 86 | 90 | 91 | 92 | 89 | 90 | 89 | 87 | 90 | 88 | 88 | 94 | 87 |
| 3 oktober 1983 | 94 | 90 | 92 | 92 | 95 | 97 | 94 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| klaveraandeel in % | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 september 1983 | - | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 6 | 8 | 5 | 6 | 6 | 3 | 3 |
| 3 oktober 1983 | - | - | - | - | - | 2 | 1 | + | - | 3 | + | + | + | + | + | + |
| onkruidtaandeel in % | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 september 1983 | 15 | 12 | 12 | 12 | 7 | 7 | 5 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 3 | 10 |
| 3 oktober 1983 | 6 | 10 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

Beoordeling uitgevoerd door dhr. P.J. Huesmann
(Rijkdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad)

TOELICHTING BEOORDELING GRASSOORTEN SAMENSTELLING



toestand grasmatt: op 3 oktober 1983 veel dode grassprietten die de grond nog wel een beetje bescherming zullen geven.

op 3 oktober 1983 ijl en slap gras, holle zode in vergelijking met de beoordeling van 12 september 1983, achteruitgang in grasbedekking

grassoorten : hoofdzakelijk veldbeemdgras, en zeer geringe hoeveelheden roodzwenkgras.

onkruid : hoofdzakelijk madeliefje, in vak 13, 14 en 15 en de rest. Verspreid voorkomend enkele paardebloemen en wat duizendblad.

algemeen : de randen zijn extra vast door belopen (werkzaamheden) sterke achteruitgang van de zode-dichtheid.

Tabel 3 Vergelijking van de grassoorten samenstelling van de grasmatt op 12 september 1983 en 3 oktober 1983

| monster no. | afkomstig uit bovenlaag (b) onderlaag (o) | wijze van monster neming | korrelverdeling | dichtheid | watergehalte | humusgehalte | Atterberger grenzen | opmerkingen m.b.t. monstername |
|-------------|---|--------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | o | V | x | x | x | x | | na verdichten in Deltagoot |
| 2 | o | V | x | x | x | x | x | na verdichten in Deltagoot |
| 3 | o | V | x | x | x | | x | na verdichten in Deltagoot |
| 4 | b | V | x | x | x | x | x | |
| 5 | b | V | | x | x | x | | |
| 6 | b | V | x | x | x | x | x | |
| 7 | b | V | | x | x | | | |
| 8 | b | V | x | x | x | x | x | |
| 9 | b | V | | x | x | | | uit oppervlaktebeschadiging |
| 10 | b | Z | x | | x | x | | uit oppervlaktebeschadiging |
| 11 | b | Z | x | | x | x | | uit oppervlaktebeschadiging |
| 12 | b | Z | x | | x | x | | |
| 13 | b | Z | x | | x | x | | |
| 14 | b | Z | | | | | | |
| 15 | b | Z | | | | | aanvulling | |
| 16 | o | Z | | | | | 4 + 6 + 8 aanvulling 2 + 3 | |
| 17 | | | | | | | | |
| t/m | b | B | | | | | | vanaf grasoppervlak |
| 30 | | | | | | | | bushoogte 0,40 m |

V = volumesteekring

Z = zakje (geroerde grond)

B = steekbus

Tabel 4 Monsterstaat grondmechanisch onderzoek "Groene Dijk"

Assenstelsel

x = horizontale afstand ten opzichte van het golfschot (m)

y = horizontale afstand ten opzichte van de oostwand van de Deltagoot
(oost is stuurboord ten opzichte van de golfvoortplantingsrichting) (m)

z = verticale afstand ten opzichte van de gootbodem (m)

| instrument | positie | | |
|-----------------------------|-------------|----------|-------------|
| | x (m) | y (m) | z (m) |
| golfhoogtemeter 1 | ca 75,00*) | 2,50 | n.v.t. |
| golfhoogtemeter 2 | 80,00 | 2,50 | n.v.t. |
| akoestische golfhoogtemeter | 162,00 | 2,50 | n.v.t. |
| golfoplopmeter | 202,5-218,5 | 0,15 | 4,80-6,80 |
| meetraai 1 | n.v.t. | 1,00 | n.v.t. |
| meetraai 2 | n.v.t. | 2,50 | n.v.t. |
| meetraai 3 | n.v.t. | 4,00 | n.v.t. |
| watersnelheidsmeter (AZTM) | variabel**) | 2,00 | variabel**) |
| waterspanningsmeter 1 | 176,00 | n.v.t. | 0,00 |
| waterspanningsmeter 2 | 181,00 | n.v.t. | 0,00 |
| waterspanningsmeter 3 | 181,00 | n.v.t. | 0,62 |
| waterspanningsmeter 4 | 191,00 | n.v.t. | 0,00 |
| waterspanningsmeter 5 | 196,00 | n.v.t. | 0,62 |

*) enigszins variabel

***) zie tabel 9

Tabel 5 Posities meetinstrumenten

| waterstand t.o.v. NAP (m) | | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,42 | 5,42 | 5,38 | 5,36 | 5,32 | 5,23 | 5,08 | 4,97 | 4,89 | 4,83 | 4,71 | 4,62 | 4,60 | 4,37 | 4,28 | 4,16 | 4,04 | 3,92 | 3,78 | cumulatief totaal |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| significante golfhoogte H _g (m) | | 1,83 | 1,83 | 1,84 | 1,84 | 1,85 | 1,85 | 1,83 | 1,80 | 1,77 | 1,75 | 1,69 | 1,63 | 1,59 | 1,58 | 1,57 | 1,56 | 1,55 | 1,52 | 1,46 | 1,41 | 1,36 | 1,35 | |
| gemiddelde - golfperiode T (s) | | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,85 | 4,85 | 4,85 | 4,85 | 4,8 | 4,75 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,75 | 4,75 | 4,75 | 4,70 | 4,65 | 4,65 | |
| tijd (uren+minuten) | | 14.30 | 14.40 | 14.50 | 15.00 | 15.10 | 15.20 | 15.30 | 15.40 | 15.50 | 16.00 | 16.10 | 16.20 | 16.30 | 16.40 | 16.50 | 17.00 | 17.10 | 17.20 | 17.30 | 17.40 | 17.50 | 18.00 | 18.10 |
| Golfoploophoogte t.o.v. NAP (m) | 5,30 | 87 | 85 | 77 | 72 | 86 | 85 | 88 | 96 | 88 | 87 | 62 | 76 | 78 | 81 | 28 | 51 | 33 | 15 | 10 | 4 | 2 | 1 | 1292 |
| | 5,36 | 87 | 85 | 77 | 72 | 86 | 85 | 88 | 95 | 87 | 86 | 59 | 69 | 73 | 68 | 19 | 40 | 25 | 9 | 8 | 2 | 2 | 1 | 1223 |
| | 5,43 | 87 | 85 | 77 | 72 | 86 | 85 | 88 | 95 | 86 | 83 | 54 | 68 | 68 | 52 | 18 | 37 | 21 | 8 | 8 | 1 | 2 | 1 | 1182 |
| | 5,49 | 87 | 85 | 77 | 72 | 86 | 85 | 87 | 95 | 85 | 79 | 51 | 59 | 59 | 45 | 15 | 35 | 16 | 6 | 4 | 0 | 2 | 1 | 1131 |
| | 5,56 | 87 | 85 | 77 | 71 | 86 | 85 | 86 | 95 | 84 | 77 | 45 | 54 | 55 | 41 | 13 | 31 | 14 | 6 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1097 |
| | 5,62 | 86 | 85 | 77 | 71 | 85 | 85 | 86 | 95 | 84 | 70 | 43 | 45 | 51 | 39 | 11 | 28 | 8 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1055 |
| | 5,68 | 85 | 85 | 76 | 70 | 84 | 83 | 85 | 95 | 84 | 69 | 38 | 40 | 44 | 29 | 10 | 21 | 7 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1009 |
| | 5,75 | 85 | 83 | 74 | 68 | 84 | 81 | 82 | 93 | 81 | 64 | 35 | 35 | 37 | 23 | 9 | 19 | 5 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 961 |
| | 5,81 | 85 | 83 | 74 | 67 | 81 | 78 | 82 | 89 | 79 | 57 | 31 | 28 | 29 | 23 | 5 | 16 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 914 |
| | 5,88 | 85 | 83 | 72 | 65 | 79 | 76 | 80 | 89 | 73 | 50 | 26 | 18 | 25 | 18 | 5 | 14 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 864 |
| | 5,94 | 83 | 82 | 71 | 64 | 76 | 75 | 76 | 83 | 68 | 45 | 25 | 17 | 23 | 16 | 3 | 14 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 826 |
| | 6,00 | 79 | 78 | 68 | 64 | 73 | 72 | 72 | 79 | 63 | 34 | 20 | 15 | 14 | 11 | 1 | 10 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 757 |
| | 6,07 | 78 | 77 | 65 | 59 | 66 | 71 | 70 | 75 | 60 | 33 | 16 | 13 | 13 | 10 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 719 |
| | 6,13 | 72 | 74 | 62 | 52 | 62 | 66 | 64 | 67 | 49 | 27 | 13 | 8 | 10 | 5 | 1 | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 644 |
| | 6,20 | 72 | 68 | 60 | 48 | 58 | 61 | 59 | 53 | 45 | 24 | 10 | 5 | 9 | 5 | 1 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 586 |
| | 6,27 | 67 | 63 | 57 | 47 | 51 | 57 | 56 | 45 | 42 | 19 | 10 | 4 | 7 | 5 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 537 |
| | 6,33 | 58 | 55 | 47 | 36 | 36 | 42 | 47 | 31 | 31 | 14 | 9 | 4 | 3 | 4 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 420 |
| | 6,40 | 52 | 51 | 42 | 33 | 32 | 38 | 41 | 27 | 25 | 14 | 7 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 372 |
| | 6,46 | 44 | 46 | 37 | 32 | 32 | 34 | 37 | 22 | 23 | 11 | 6 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 332 |
| | 6,53 | 36 | 40 | 30 | 29 | 26 | 30 | 32 | 18 | 22 | 9 | 6 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 284 |
| | 6,59 | 33 | 37 | 26 | 22 | 23 | 25 | 25 | 16 | 19 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 239 |
| | 6,65 | 25 | 31 | 20 | 17 | 18 | 18 | 17 | 11 | 15 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180 |
| | 6,72 | 19 | 23 | 18 | 15 | 16 | 15 | 14 | 9 | 14 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| | 6,78 | 16 | 20 | 18 | 13 | 13 | 13 | 13 | 6 | 12 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 131 |
| 6,85 | 15 | 17 | 16 | 11 | 11 | 11 | 12 | 2 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 108 | |
| 6,91 | 9 | 14 | 10 | 8 | 9 | 8 | 7 | 1 | 8 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76 | |
| 6,97 | 7 | 12 | 10 | 6 | 7 | 8 | 7 | 0 | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | |
| 7,03 | 7 | 11 | 9 | 6 | 6 | 7 | 6 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59 | |
| 7,10 | 6 | 9 | 9 | 6 | 4 | 2 | 3 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 | |
| 7,17 | 3 | 7 | 6 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | |
| 7,23 | 3 | 6 | 3 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | |
| 7,30 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | |

Tabel 6 Aantal maal dat gedurende opeenvolgende perioden van 10 minuten een bepaald oploophoogte wordt overschreden

| tijd (uren+minuten) | | 14.30 | 14.40 | 14.50 | 15.00 | 15.10 | 15.20 | 15.30 | 15.40 | 15.50 | 16.00 | 16.10 | 16.20 | 16.30 | 16.40 | 16.50 | 17.00 | 17.10 | 17.20 | 17.30 | 17.40 | 17.50 | 18.00 | 18.10 | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| niveau van de contactpunten van de oloploopmeter t.o.v. NAP (m) | 5,30 | -0,11 | -0,11 | -0,11 | -0,07 | -0,07 | -0,04 | -0,03 | -0,01 | -0,04 | 0,13 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,37 | 0,43 | 0,45 | 0,60 | 0,67 | 0,78 | 0,89 | 1,01 | 1,13 | | | | |
| | 5,36 | -0,08 | -0,08 | -0,08 | -0,03 | -0,03 | -0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | 0,16 | 0,23 | 0,29 | 0,33 | 0,41 | 0,47 | 0,49 | 0,63 | 0,71 | 0,82 | 0,93 | 1,05 | 1,17 | | | | |
| | 5,43 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,11 | 0,20 | 0,27 | 0,33 | 0,38 | 0,46 | 0,52 | 0,53 | 0,68 | 0,76 | 0,87 | 0,99 | 1,11 | 1,22 | | | | |
| | 5,49 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,15 | 0,23 | 0,30 | 0,37 | 0,42 | 0,49 | 0,55 | 0,57 | 0,72 | 0,80 | 0,91 | 1,03 | 1,15 | 1,27 | | | | |
| | 5,56 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,19 | 0,27 | 0,35 | 0,41 | 0,46 | 0,54 | 0,60 | 0,62 | 0,77 | 0,84 | 0,96 | 1,08 | 1,21 | 1,32 | | | | |
| | 5,62 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,22 | 0,31 | 0,38 | 0,45 | 0,50 | 0,58 | 0,64 | 0,65 | 0,81 | 0,88 | 1,00 | 1,12 | 1,25 | 1,36 | | | | |
| | 5,68 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | 0,34 | 0,42 | 0,48 | 0,53 | 0,61 | 0,68 | 0,69 | 0,85 | 0,92 | 1,04 | 1,16 | 1,29 | 1,41 | | | | |
| | 5,75 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | 0,21 | 0,24 | 0,29 | 0,38 | 0,46 | 0,53 | 0,58 | 0,66 | 0,72 | 0,74 | 0,89 | 0,97 | 1,09 | 1,21 | 1,35 | 1,46 | | | | |
| | 5,81 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,33 | 0,42 | 0,50 | 0,56 | 0,62 | 0,70 | 0,76 | 0,78 | 0,93 | 1,01 | 1,13 | 1,26 | 1,39 | 1,50 | | | | |
| | 5,88 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,31 | 0,37 | 0,46 | 0,54 | 0,61 | 0,66 | 0,74 | 0,80 | 0,82 | 0,97 | 1,05 | 1,18 | 1,31 | 1,44 | 1,56 | | | | |
| | 5,94 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,28 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,34 | 0,40 | 0,49 | 0,57 | 0,64 | 0,70 | 0,77 | 0,84 | 0,86 | 1,01 | 1,09 | 1,22 | 1,35 | 1,49 | 1,60 | | | | |
| | 6,00 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,32 | 0,32 | 0,34 | 0,34 | 0,38 | 0,44 | 0,53 | 0,61 | 0,68 | 0,74 | 0,82 | 0,88 | 0,90 | 1,05 | 1,13 | 1,26 | 1,39 | 1,53 | 1,64 | | | | |
| | 6,07 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,47 | 0,57 | 0,65 | 0,72 | 0,78 | 0,86 | 0,92 | 0,94 | 1,10 | 1,18 | 1,31 | 1,44 | 1,58 | 1,70 | | | | |
| | 6,13 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,39 | 0,39 | 0,41 | 0,42 | 0,45 | 0,51 | 0,60 | 0,69 | 0,76 | 0,82 | 0,90 | 0,96 | 0,98 | 1,14 | 1,22 | 1,35 | 1,48 | 1,63 | 1,74 | | | | |
| | 6,20 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,42 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,49 | 0,55 | 0,64 | 0,73 | 0,80 | 0,86 | 0,94 | 1,01 | 1,03 | 1,18 | 1,26 | 1,40 | 1,53 | 1,68 | 1,79 | | | | |
| | 6,27 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,46 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | 0,53 | 0,59 | 0,68 | 0,77 | 0,85 | 0,91 | 0,99 | 1,05 | 1,07 | 1,23 | 1,31 | 1,45 | 1,58 | 1,73 | 1,84 | | | | |
| | 6,33 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,49 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,56 | 0,62 | 0,71 | 0,80 | 0,88 | 0,94 | 1,03 | 1,09 | 1,10 | 1,26 | 1,35 | 1,49 | 1,62 | 1,77 | 1,89 | | | | |
| | 6,40 | 0,49 | 0,49 | 0,49 | 0,53 | 0,53 | 0,55 | 0,57 | 0,60 | 0,66 | 0,75 | 0,84 | 0,92 | 0,99 | 1,07 | 1,13 | 1,15 | 1,31 | 1,39 | 1,53 | 1,67 | 1,82 | 1,94 | | | | |
| | 6,46 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,57 | 0,57 | 0,58 | 0,60 | 0,63 | 0,69 | 0,70 | 0,88 | 0,96 | 1,02 | 1,10 | 1,17 | 1,19 | 1,35 | 1,43 | 1,58 | 1,72 | 1,87 | 1,98 | | | | |
| | 6,53 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,60 | 0,60 | 0,62 | 0,64 | 0,67 | 0,73 | 0,83 | 0,92 | 1,01 | 1,07 | 1,15 | 1,22 | 1,24 | 1,29 | 1,48 | 1,62 | 1,77 | 1,92 | 2,04 | | | | |
| | 6,59 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,67 | 0,71 | 0,77 | 0,86 | 0,96 | 1,04 | 1,11 | 1,19 | 1,25 | 1,28 | 1,43 | 1,52 | 1,66 | 1,81 | 1,96 | 2,08 | | | | |
| | 6,65 | 0,63 | 0,63 | 0,63 | 0,67 | 0,67 | 0,69 | 0,70 | 0,73 | 0,80 | 0,90 | 0,94 | 1,08 | 1,14 | 1,22 | 1,29 | 1,31 | 1,47 | 1,56 | 1,71 | 1,85 | 2,01 | 2,13 | | | | |
| | 6,72 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 0,74 | 0,78 | 0,84 | 0,94 | 1,04 | 1,12 | 1,19 | 1,27 | 1,34 | 1,36 | 1,52 | 1,61 | 1,75 | 1,90 | 2,06 | 2,18 | | | | |
| | 6,78 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,74 | 0,74 | 0,76 | 0,78 | 0,81 | 0,88 | 0,97 | 1,07 | 1,16 | 1,22 | 1,31 | 1,38 | 1,40 | 1,55 | 1,64 | 1,79 | 1,94 | 2,10 | 2,22 | | | | |
| | 6,85 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,78 | 0,78 | 0,79 | 0,81 | 0,85 | 0,92 | 1,01 | 1,11 | 1,20 | 1,27 | 1,35 | 1,42 | 1,44 | 1,60 | 1,69 | 1,84 | 1,99 | 2,15 | 2,27 | | | | |
| | 6,91 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,81 | 0,81 | 0,83 | 0,85 | 0,88 | 0,95 | 1,05 | 1,15 | 1,24 | 1,31 | 1,39 | 1,46 | 1,48 | 1,64 | 1,73 | 1,88 | 2,04 | 2,20 | 2,32 | | | | |
| | 6,97 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,84 | 0,84 | 0,86 | 0,88 | 0,92 | 0,98 | 1,08 | 1,18 | 1,28 | 1,35 | 1,43 | 1,50 | 1,52 | 1,68 | 1,77 | 1,92 | 2,08 | 2,24 | 2,36 | | | | |
| | 7,03 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,88 | 0,88 | 0,89 | 0,91 | 0,95 | 1,02 | 1,11 | 1,22 | 1,31 | 1,38 | 1,47 | 1,54 | 1,56 | 1,72 | 1,80 | 1,97 | 2,12 | 2,29 | 2,41 | | | | |
| 7,10 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,91 | 0,91 | 0,93 | 0,95 | 0,99 | 1,06 | 1,15 | 1,26 | 1,36 | 1,43 | 1,51 | 1,58 | 1,60 | 1,76 | 1,86 | 2,01 | 2,17 | 2,34 | 2,46 | | | | | |
| 7,17 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,95 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 1,03 | 1,10 | 1,19 | 1,30 | 1,40 | 1,47 | 1,56 | 1,62 | 1,65 | 1,81 | 1,90 | 2,06 | 2,22 | 2,39 | 2,51 | | | | | |
| 7,23 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,98 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 1,06 | 1,13 | 1,22 | 1,34 | 1,44 | 1,41 | 1,59 | 1,66 | 1,69 | 1,85 | 1,94 | 2,10 | 2,26 | 2,43 | 2,56 | | | | | |
| 7,30 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,10 | 1,17 | 1,27 | 1,38 | 1,48 | 1,55 | 1,64 | 1,71 | 1,73 | 1,89 | 1,98 | 2,15 | 2,31 | 2,49 | 2,61 | | | | | |

Tabel 7 Dimensieloze golfploopniveau $\frac{R_u}{H_s}$ voor elk contactpunt van de oloploopmeter als functie van de tijd

| | | klasse voor de dimensieloze golfoploop R_u/H_g | | | | | | | | | | | | | | aantal golven per 600 sec |
|--|--------|--|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| | -0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | |
| 1 | 87 | 87 | 85 | 85 | 79 | 72 | 52 | 33 | 16 | 7 | 6 | 2 | - | - | - | 125,0 |
| 2 | 85 | 85 | 85 | 83 | 78 | 68 | 51 | 37 | 20 | 12 | 9 | 4 | - | - | - | 125,0 |
| 3 | 77 | 77 | 76 | 74 | 68 | 60 | 42 | 26 | 18 | 10 | 9 | 2 | - | - | - | 125,0 |
| 4 | | 72 | 71 | 68 | 64 | 52 | 36 | 29 | 17 | 11 | 6 | 4 | 4 | - | - | 125,0 |
| 5 | | 86 | 86 | 84 | 76 | 62 | 36 | 26 | 18 | 11 | 6 | 1 | 1 | - | - | 125,0 |
| 6 | | 85 | 85 | 81 | 75 | 71 | 57 | 34 | 18 | 11 | 7 | 1 | 1 | - | - | 125,0 |
| 7 | | 88 | 87 | 85 | 80 | 70 | 56 | 37 | 17 | 13 | 7 | 3 | 2 | - | - | 123,7 |
| 8 | | 96 | 95 | 95 | 89 | 79 | 53 | 27 | 18 | 9 | 1 | 0 | 0 | - | - | 123,7 |
| 9 | | 88 | 87 | 84 | 81 | 68 | 60 | 42 | 23 | 15 | 12 | 6 | 2 | - | - | 123,7 |
| 10 | | | | 83 | 77 | 64 | 45 | 27 | 19 | 11 | 6 | 2 | 0 | 0 | - | 123,7 |
| 11 | | | | 62 | 51 | 43 | 31 | 25 | 13 | 9 | 6 | 3 | 1 | 1 | 0 | 125,0 |
| 12 | | | | | 69 | 59 | 40 | 28 | 15 | 5 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 126,3 |
| 13 | | | | | 78 | 68 | 51 | 37 | 23 | 13 | 9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 127,6 |
| 14 | | | | | | 81 | 45 | 39 | 23 | 16 | 5 | 5 | 1 | 1 | 0 | 127,6 |
| 15 | | | | | | | 19 | 13 | 10 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 127,6 |
| 16 | | | | | | | 40 | 35 | 21 | 16 | 10 | 9 | 2 | 1 | 1 | 127,6 |
| 17 | | | | | | | | 33 | 21 | 14 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 126,3 |
| 18 | | | | | | | | | 15 | 6 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 126,3 |
| 19 | | | | | | | | | | 10 | 8 | 2 | 2 | 1 | 0 | 126,3 |
| 20 | | | | | | | | | | | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 127,6 |
| 21 | | | | | | | | | | | | | 2 | 0 | 0 | 129,0 |
| 22 | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 0 | 129,0 |
| totaal aantal golven per klasse | 249 | 764 | 757 | 884 | 965 | 917 | 714 | 528 | 325 | 204 | 125 | 54 | 20 | 6 | 2 | |
| totaal aantal golven in betreffende periode | 375 | 1121 | 1121 | 1370 | 1624 | 1751 | 2007 | 2133 | 2259 | 2386 | 2513 | 2513 | 2396 | 1774 | 1650 | |
| overschrijdings- percentage | % 66,4 | 68,2 | 67,5 | 64,5 | 59,5 | 52,4 | 35,6 | 24,75 | 14,39 | 8,55 | 4,97 | 2,15 | 0,83 | 0,34 | 0,12 | |

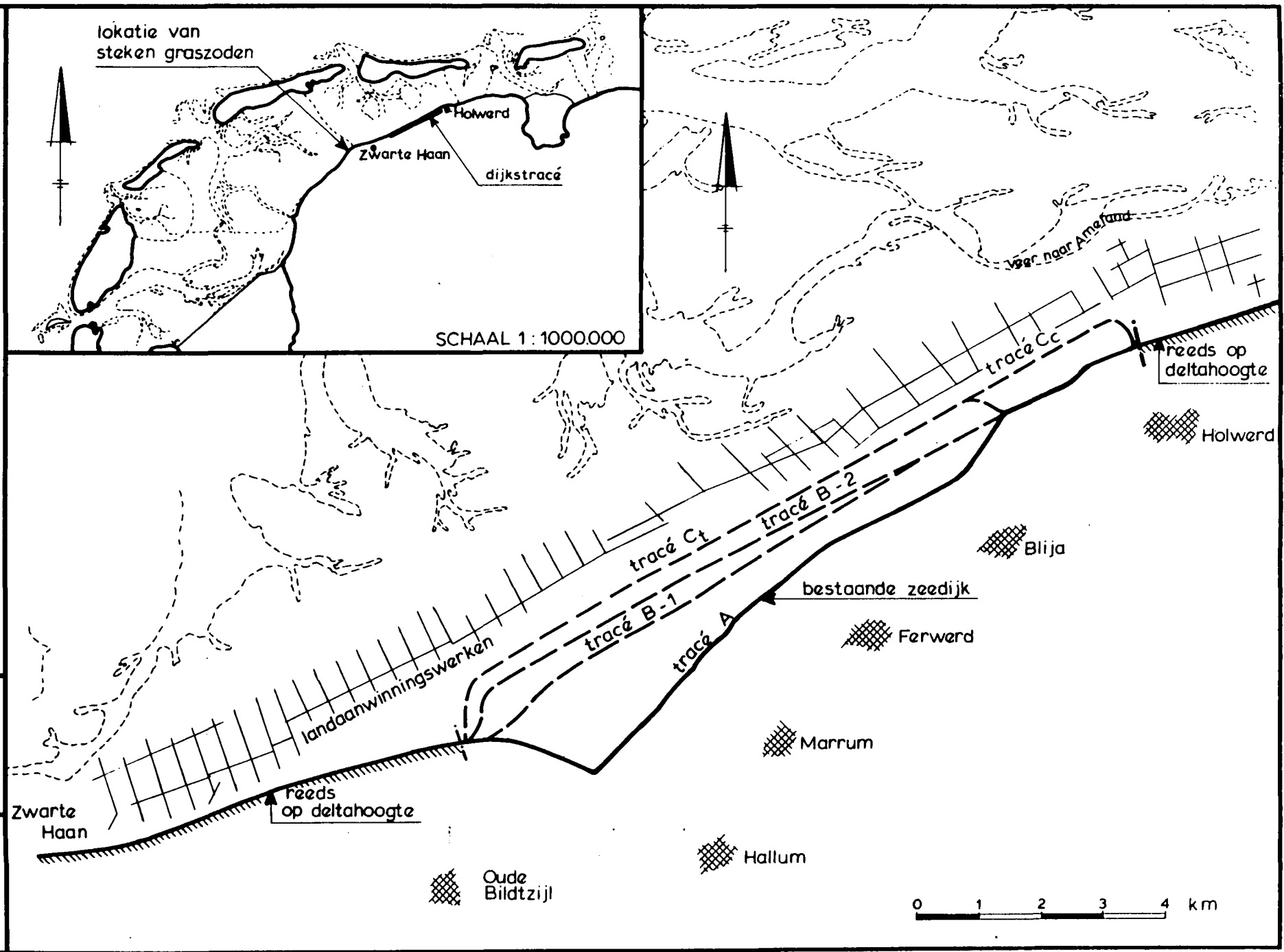
Tabel 8 Berekening dimensieloze golfoploop-overschrijdingskromme op basis van tabel 6 en tabel 7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | | 10 | 11 | | | | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------|-------------------------|---|--|------|------|------|------|------|-------------|--|-------|------|------|------|------|-------------|----------|-------|-------|---|---|---------------------------|
| meting no. | aanvangs- tijdstip | einde meting | meet- duur | positie onnemer | | water- diepte (B) | $\frac{X}{A-B} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$ | V_+ opwaarts (6 grootste waarden) | | | | | | \bar{V}_+ | V_- neerwaarts (6 grootste waarden) | | | | | | \bar{V}_- | H_{B1} | T_p | L_o | $\frac{\bar{V}_+}{g \cdot T_p \cdot \tan \alpha}$ | $\frac{\bar{V}_-}{g \cdot T_p \cdot \tan \alpha}$ | $\frac{X}{H_1 \cdot L_o}$ |
| | | | | hor | vert (A) | | | (m/s) | | | | | | | (m/s) | (m/s) | | | | | | | | | | | |
| (-) | u m s | u m s | u m s | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/s) | | | | | | (m/s) | (m/s) | | | | | | (m/s) | (m) | (s) | (m) | (-) | (-) | (-) |
| 7A | 05.50.50 | 05.56.15 | 00.05.25 | 181 | 2,08 | 2,16 | -0,64 | 2,15 | 1,95 | 1,80 | 1,70 | 1,50 | 1,40 | 1,75 | 1,75 | 1,60 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,58 | 0,83 | 5,55 | 48,05 | 0,257 | 0,232 | -0,101 |
| 7B | 06.11.40 | 06.17.05 | 00.05.25 | 179 | 1,82 | 2,14 | -2,58 | 2,30 | 2,00 | 2,00 | 1,90 | 1,85 | 1,85 | 1,98 | 1,75 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,60 | 1,60 | 1,68 | 0,83 | 5,55 | 48,05 | 0,291 | 0,247 | -0,408 |
| 7C | 06.31.40 | 06.37.05 | 00.05.25 | 183 | 2,29 | 2,11 | +1,45 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 1,03 | 1,75 | 1,30 | 1,25 | 1,25 | 1,20 | 1,20 | 1,33 | 0,83 | 5,55 | 48,05 | 0,151 | 0,195 | +0,230 |
| 9A | 08.20.00 | 08.25.25 | 00.05.25 | 179,5 | 1,90 | 2,05 | -1,21 | 1,10 | 1,05 | 0,95 | 0,90 | 0,90 | 0,85 | 0,96 | 1,10 | 0,90 | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,65 | 0,85 | 0,75 | 5,49 | 47,02 | 0,143 | 0,126 | -0,204 |
| 9B | 08.38.20 | 08.43.45 | 00.05.25 | 181,5 | 2,13 | 2,06 | +0,56 | 1,25 | 1,20 | 1,15 | 1,15 | 1,10 | 1,10 | 1,16 | 1,30 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,15 | 1,24 | 0,75 | 5,49 | 47,02 | 0,172 | 0,184 | +0,094 |
| 9C | 09.02.30 | 09.07.55 | 00.05.25 | 183,5 | 2,36 | 2,08 | +2,26 | 0,65 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,37 | 0,75 | 5,49 | 47,02 | 0,070 | 0,055 | +0,381 |
| 11A | 10.10.50 | 10.16.15 | 00.05.25 | 183,5 | 2,36 | 2,76 | -3,22 | 1,60 | 1,30 | 1,25 | 1,10 | 0,95 | 0,95 | 1,19 | 2,00 | 1,90 | 1,85 | 1,75 | 1,75 | 1,50 | 1,79 | 1,14 | 5,26 | 43,16 | 0,184 | 0,277 | -0,459 |
| 11B | 10.24.00 | 10.29.25 | 00.05.25 | 187,5 | 2,85 | 2,85 | 0 | 1,55 | 1,30 | 1,25 | 1,10 | 1,10 | 1,05 | 1,23 | 2,00 | 1,85 | 1,70 | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,85 | 1,14 | 5,26 | 43,16 | 0,191 | 0,289 | +0 |
| 11C | 10.42.40 | 10.48.05 | 00.05.25 | 189,5 | 3,13 | 2,94 | +1,37 | 1,70 | 1,40 | 1,35 | 1,10 | 0,95 | 0,85 | 1,23 | 1,80 | 1,75 | 1,75 | 1,70 | 1,70 | 0,55 | 1,54 | 1,14 | 5,26 | 43,16 | 0,191 | 0,240 | +0,195 |
| 11D | 10.54.25 | 10.59.50 | 00.05.25 | 191,5 | 3,34 | 3,00 | +2,74 | 1,65 | 1,20 | 1,15 | 1,05 | 1,05 | 0,90 | 1,17 | 1,75 | 1,70 | 1,65 | 1,50 | 1,45 | 1,45 | 1,58 | 1,14 | 5,26 | 43,16 | 0,181 | 0,245 | +0,391 |
| 13A | 11.40.25 | 11.45.50 | 00.05.25 | 193,5 | 3,58 | 3,79 | -1,69 | 1,60 | 1,30 | 1,10 | 1,00 | 0,95 | 0,85 | 1,13 | 2,00 | 1,85 | 1,80 | 1,75 | 1,45 | 1,45 | 1,72 | 1,56 | 5,29 | 43,66 | 0,174 | 0,265 | -0,205 |
| 13B | 11.54.10 | 11.59.35 | 00.05.25 | 195,5 | 3,94 | 3,85 | +0,72 | 1,60 | 1,30 | 1,25 | 1,10 | 1,05 | 0,95 | 1,04 | 2,00 | 1,85 | 1,75 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,73 | 1,56 | 5,29 | 43,66 | 0,160 | 0,267 | +0,087 |
| 13C | 12.12.30 | 12.17.55 | 00.05.25 | 197,5 | 4,07 | 3,98 | +0,72 | 1,70 | 1,40 | 1,35 | 1,05 | 0,95 | 0,80 | 1,21 | 1,80 | 1,75 | 1,75 | 1,70 | 1,70 | 1,55 | 1,70 | 1,56 | 5,29 | 43,66 | 0,186 | 0,262 | +0,087 |
| 13D | 12.29.10 | 12.34.35 | 00.05.25 | 199,5 | 4,30 | 4,16 | +1,13 | 1,65 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 0,90 | 0,90 | 1,15 | 1,70 | 1,65 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,87 | 1,56 | 5,29 | 43,66 | 0,177 | 0,134 | +0,137 |
| 18A | 15.38.40 | 15.42.25 | 00.03.45 | 202 | 4,63 | 4,82 | -1,53 | 2,20 | 1,90 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,40 | 1,69 | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,85 | 1,80 | 1,80 | 1,86 | 1,83 | 5,88 | 53,93 | 0,234 | 0,258 | -0,154 |
| 18B | 16.15.50 | 16.19.35 | 00.03.45 | 204 | 4,90 | 4,66 | +1,93 | 1,90 | 1,20 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,90 | 1,19 | 2,15 | 1,90 | 1,90 | 1,80 | 1,75 | 1,75 | 1,88 | 1,83 | 5,88 | 53,93 | 0,165 | 0,261 | +0,194 |
| 18C | 16.40.00 | 16.43.45 | 00.03.45 | 206 | 5,13 | 4,51 | +5,00 | 1,35 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 2,10 | 2,05 | 2,05 | 2,00 | 2,00 | 1,90 | 2,02 | 1,83 | 5,88 | 53,93 | 0,139 | 0,280 | +0,503 |
| 20A | 18.08.20 | 18.12.05 | 00.03.45 | 194 | 3,64 | 3,46 | +1,45 | 2,10 | 1,90 | 1,65 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,74 | 2,20 | 1,90 | 1,90 | 1,75 | 1,70 | 1,70 | 1,86 | 1,54 | 5,29 | 43,66 | 0,268 | 0,287 | +0,177 |

Tabel 9 Watersnelheden boven het talud in de ophoopzone

| fase proef POI | tijdstip cq periode (zie figuur 8) (uren+minuten) | waterspanningsmeter 1 | | | waterspanningsmeter 2 | | | waterspanningsmeter 3 | | | waterspanningsmeter 4 | | | waterspanningsmeter 5 | | |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| | | gemiddeld niveau | variaties tgv golven | opmerkingen | gemiddeld niveau | variaties tgv golven | opmerkingen | gemiddeld niveau | variaties tgv golven | opmerkingen | gemiddeld niveau | variaties tgv golven | opmerkingen | gemiddeld niveau | variaties tgv golven | opmerkingen |
| | | (m) | (m) | | (m) | (m) | | (m) | (m) | | (m) | (m) | | (m) | (m) | |
| vóór de proef | | 0 | 0 | nul-referentie | 0 | 0 | nul-referentie | 0 | 0 | nul-referentie | 0 | 0 | nul-referentie | 0 | 0 | nul-referentie |
| vullen goot | 15.10-17.00 | 0 + +0,20 | 0 | - | negatief | 0 | vreemd | 0 + +0,10 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| golven 1e getij | 17.50-02.05 | +0,30(top) | H=0,01 | - | negatief | | teken | ? | ? | pen vast? | +0,005(top) | - | - | +0,005(top) | - | - |
| | 02.05 | +0,24 | | | | | verwisseld? | | | | | | | | | |
| peilen | 02.05-03.05 | - | - | - | - | - | ? | ? | ? | pen vast? | - | - | - | - | - | - |
| leeg pompen+insp. | 03.05-05.40 | +0,17(min) | - | - | - | - | ? | ? | ? | pen vast? | - | - | - | - | - | - |
| vullen | 05.40-06.35 | +0,22(max) | - | - | - | - | - | +0,16(max) | - | pen los! | - | - | - | - | - | - |
| golven 2e getij, | 06.35-13.30 | +0,56(top) | H=0,015 | - | - | - | - | +0,34(top) | H=0,007 | - | +0,01(top) | - | - | +0,01(top) | - | - |
| tot de top | | | | | | | | | | | | | | | | |
| peilen | 13.30-15.00 | +0,56 | 0 | constant | - | - | - | +0,34 | 0 | constant | +0,01 | 0 | constant | +0,01 | 0 | constant |
| leeg pompen+insp. | 15.00-18.15 | +0,31(min) | - | - | - | - | - | ? | ? | pen vast? | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| vullen | 18.15-18.45 | +0,54 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| golven vervolg 2e | 18.45-02.40 | +0,59(top) | - | volgt | - | - | - | +0,39(top) | - | volgt neer- | +0,008 | - | - | +0,08 | - | - |
| getij (neergang) | | | | neergang | | | | | | gang | | | | | | |
| begin van peilen | 02.40 | +0,37 | - | - | - | - | - | +0,28 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| leeg pompen | 03.45-04.45 | +0,31(min) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| golven 3e getij | 05.30-12.30 | +0,40(top) | - | - | - | - | - | +0,31(top) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 12.20 | +0,36 | - | - | - | - | - | +0,30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| leeg pompen | 13.30-14.45 | +0,20(min) | - | volgt | - | - | - | ? | - | pen vast? | -0,01(min) | - | - | 0 (min) | - | - |
| | | | | neergang | | | | | | | | | | | | |

Tabel 10 Markante resultaten van de waterspanningsmetingen



VOORLOPIG ONTWERP "GROENE DIJK"

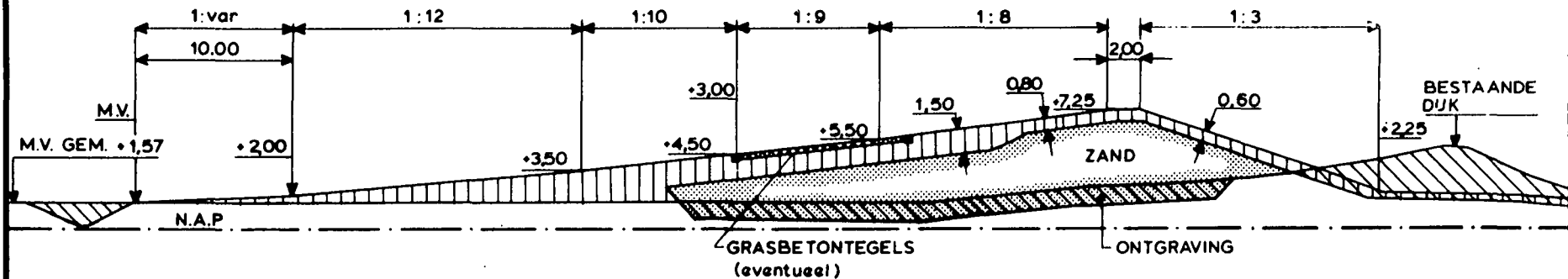


fig. 2 a schematische weergave van het voorlopig ontwerp van de "Groene Dijk"

niveaus in meters tov. N.A.P.
mden in meters

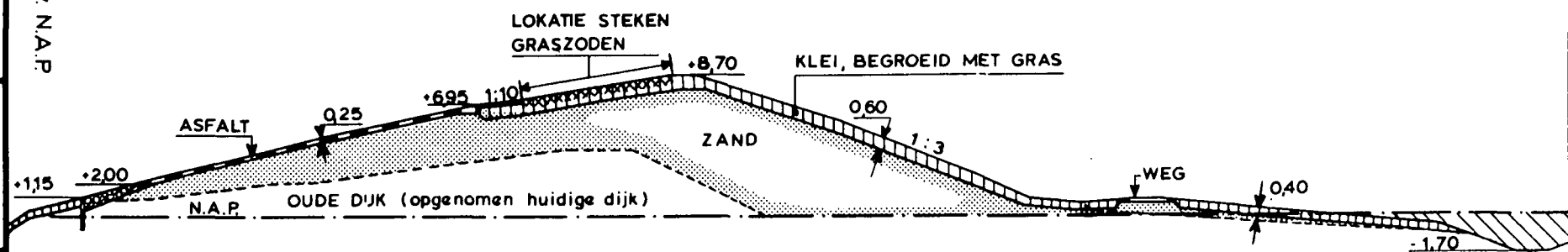
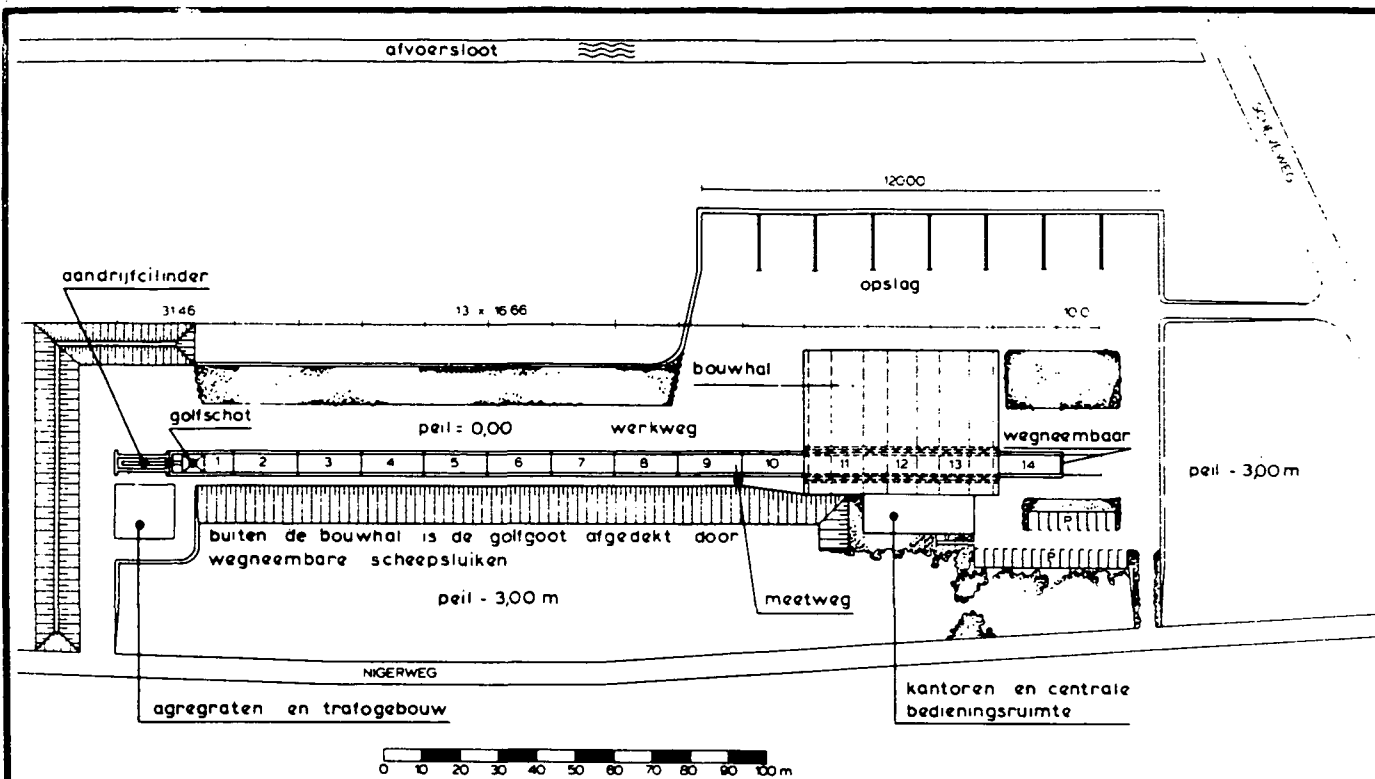


fig. 2 b schematische weergave dijksprofiel bij de "Westhoek"



golfgat : lengte 233 m
 (1...14) breedte 5 m
 diepte 7 m

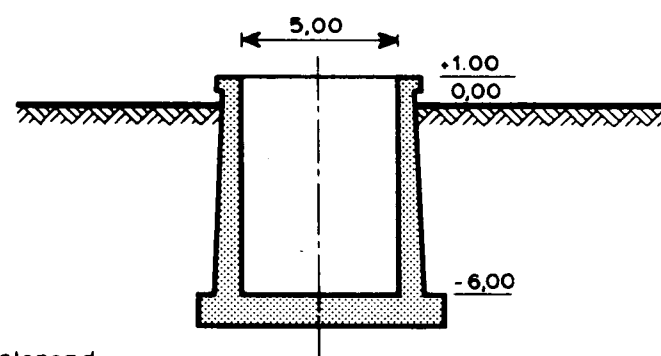
diepe sekties : lengte 50 m
 (11,12,13) breedte 5 m
 diepte 9,5 m

golfschot : door cilinder aangedreven translierend
 schot met aan één zijde water

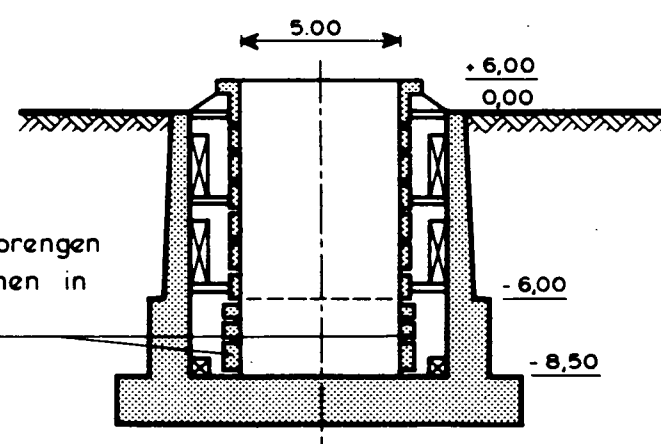
golffrekwentie - 0,1 - 0,5 Hz

max. golfhoogte bij 5 m waterdiepte:
 regelmatig - 2,5 m
 onregelmatig - 1,75 m significant

mogelijkheden voor het aanbrengen
 van meetinstrumenten en ramen in
 de gootwand



DWARSDOORSNEDE I (sektie 1..10,14)



DWARSDOORSNEDE II (sektie 11,12,13)

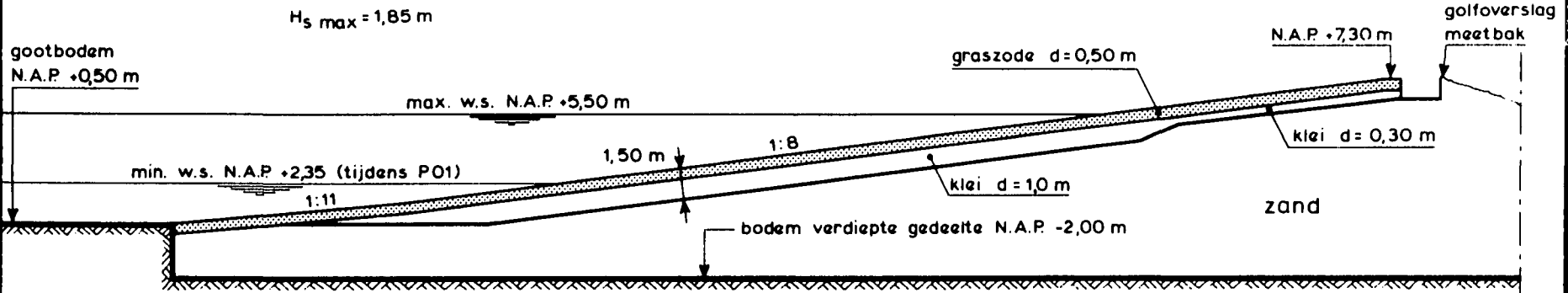
DELTAGOOT FACILITEIT VOOR GROOTSCHALIG
 MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

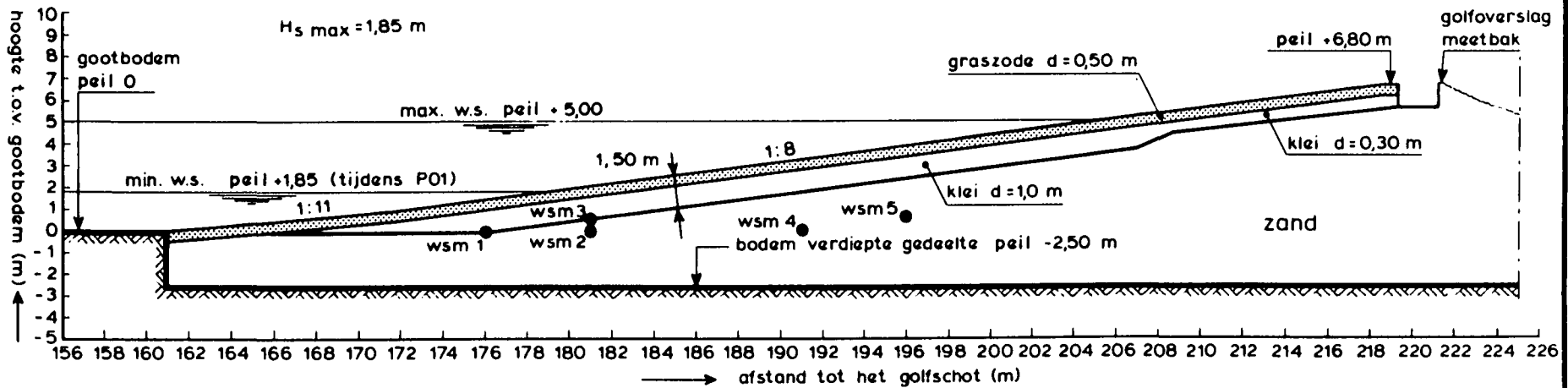
M 1980

FIG. 3

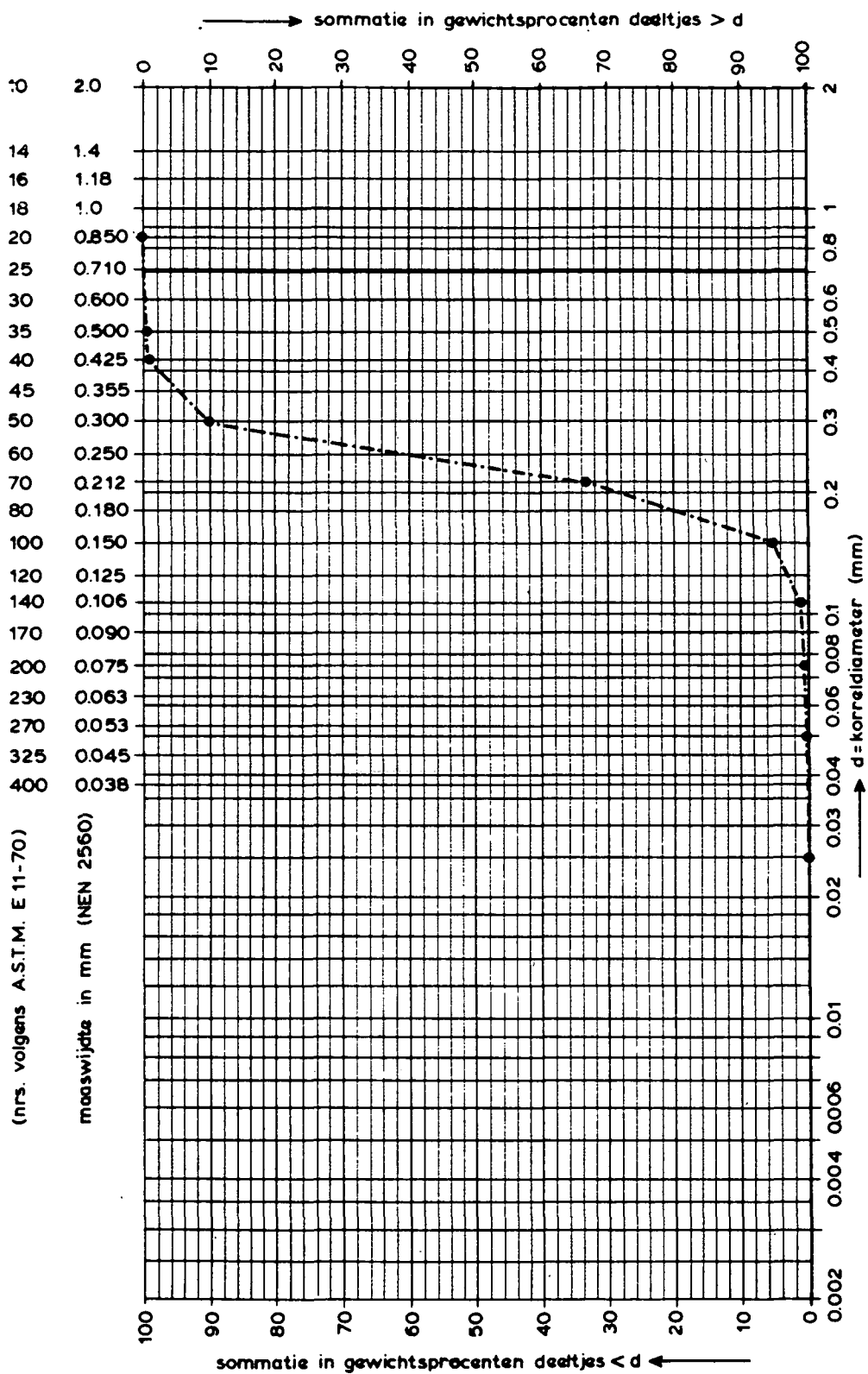
LANGSDOORSNEDE MODEL "GROENE DIJK"
IN DE DELTAGOOT



LANGSDOORSNEDE PROTOTYPE



LANGSDOORSNEDE MODEL

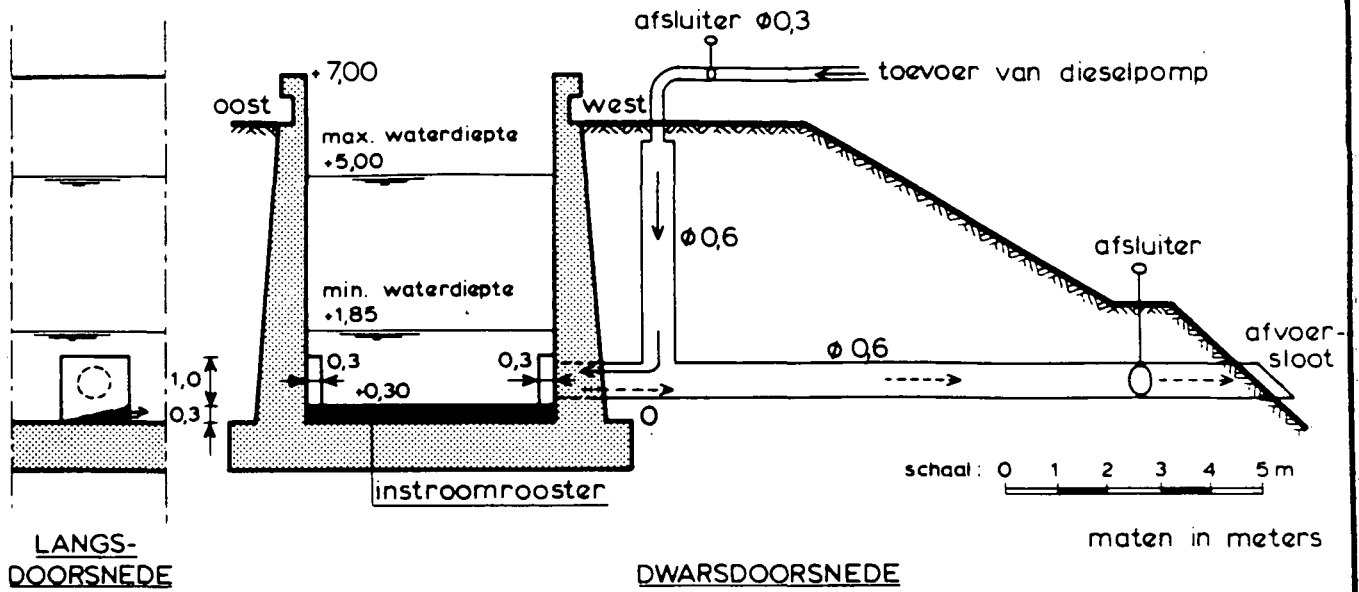


ZEEFKROMME VAN HET KERNZAND VAN DE DIJK

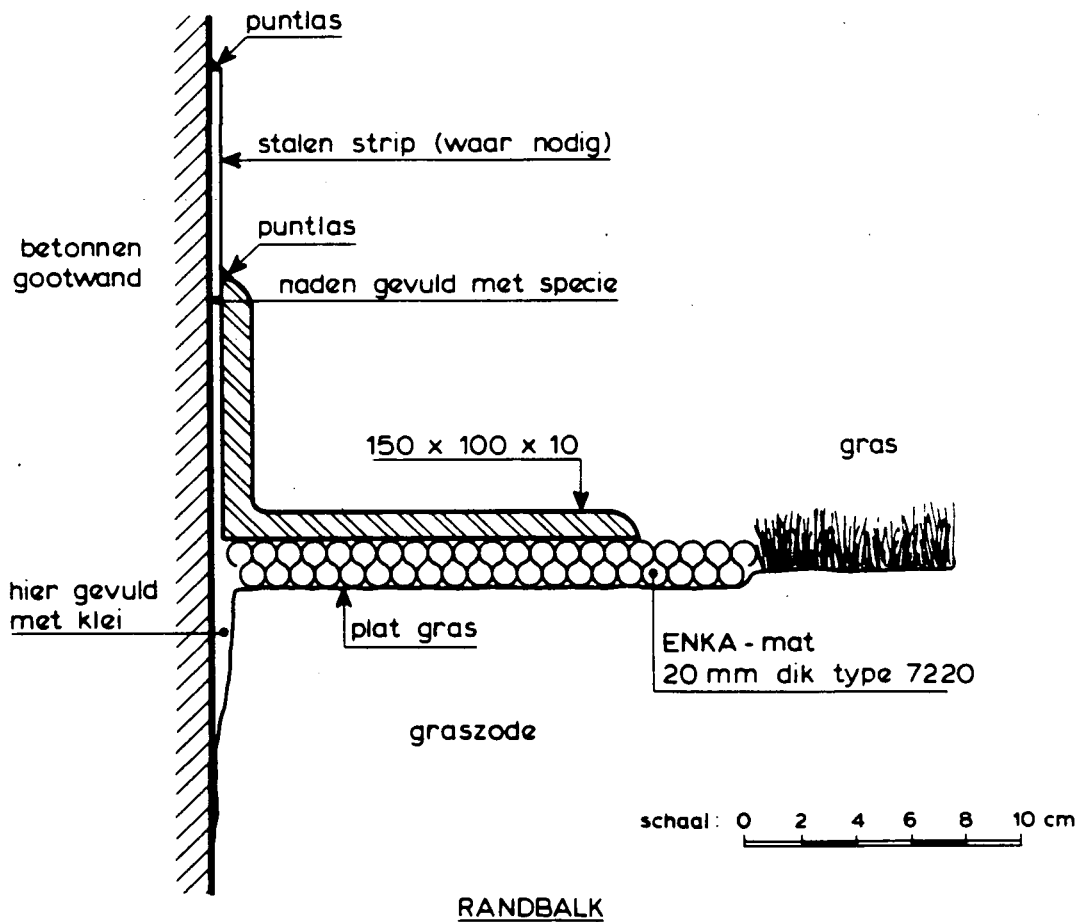
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 5



aan- en afvoersysteem ten behoeve van vertikaal getij

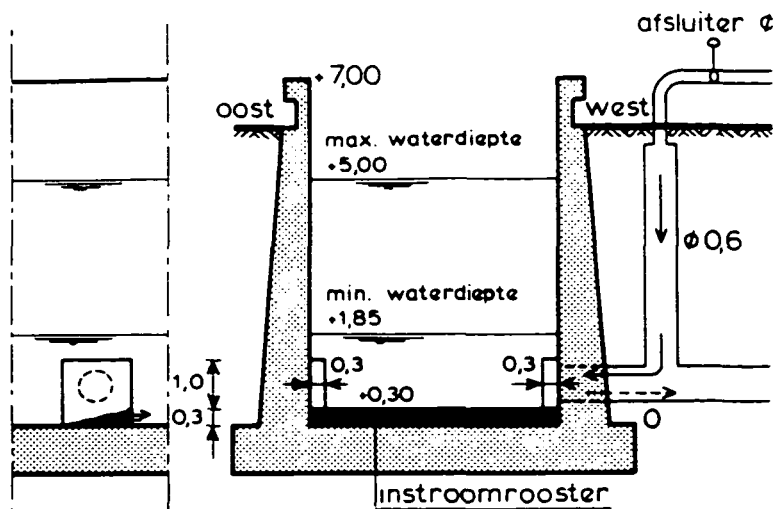


AAN- EN AFVOERSYSTEEM TEN BEHOEVE VAN
VERTIKAAL GETIJ EN RANDBALK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

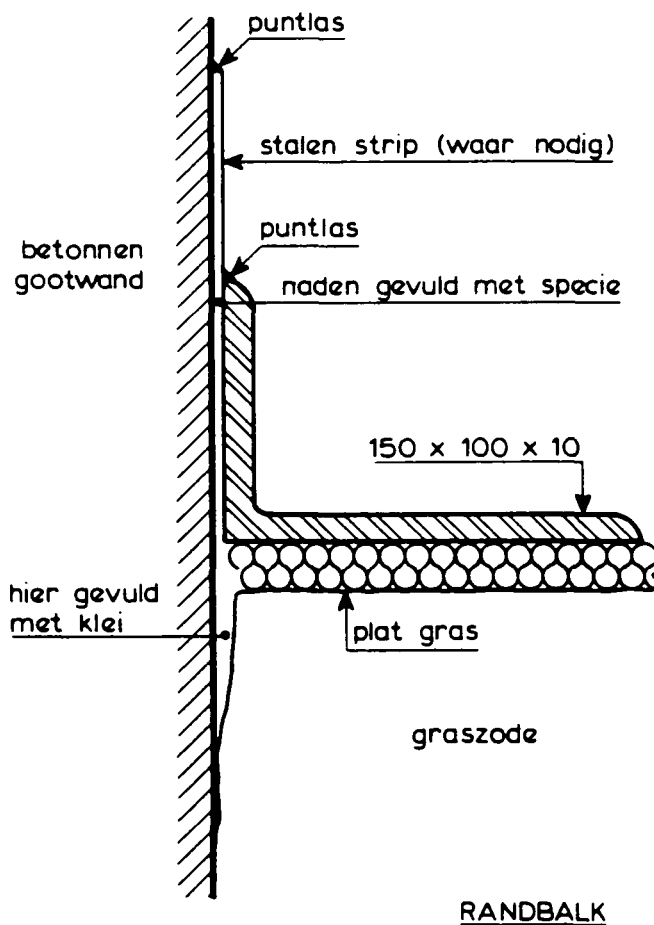
FIG. 6



LANGS-
DOORSNEDE

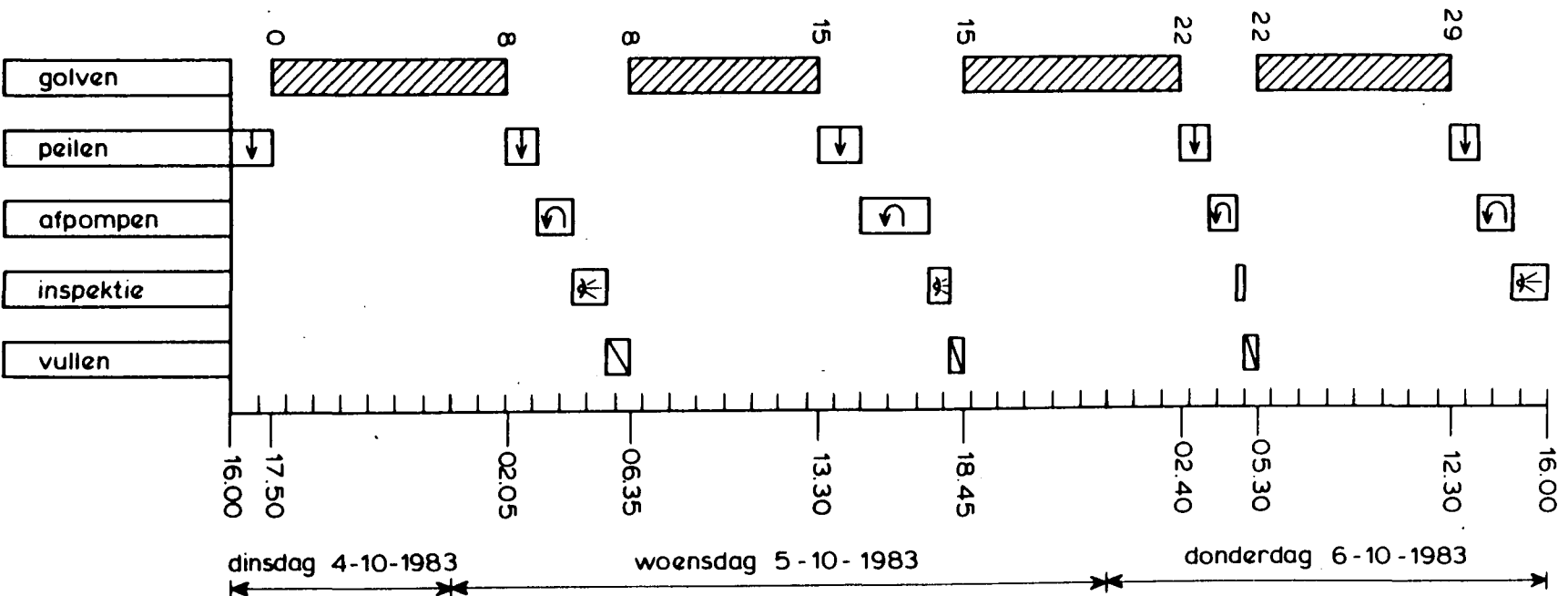
DWARSDC

aan- en afvoersysteem ten behoeve van vertikaal



AAN- EN AFVOERSYSTEEM TEN BEHOE
VERTIKAAL GETJ EN RANDBALK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



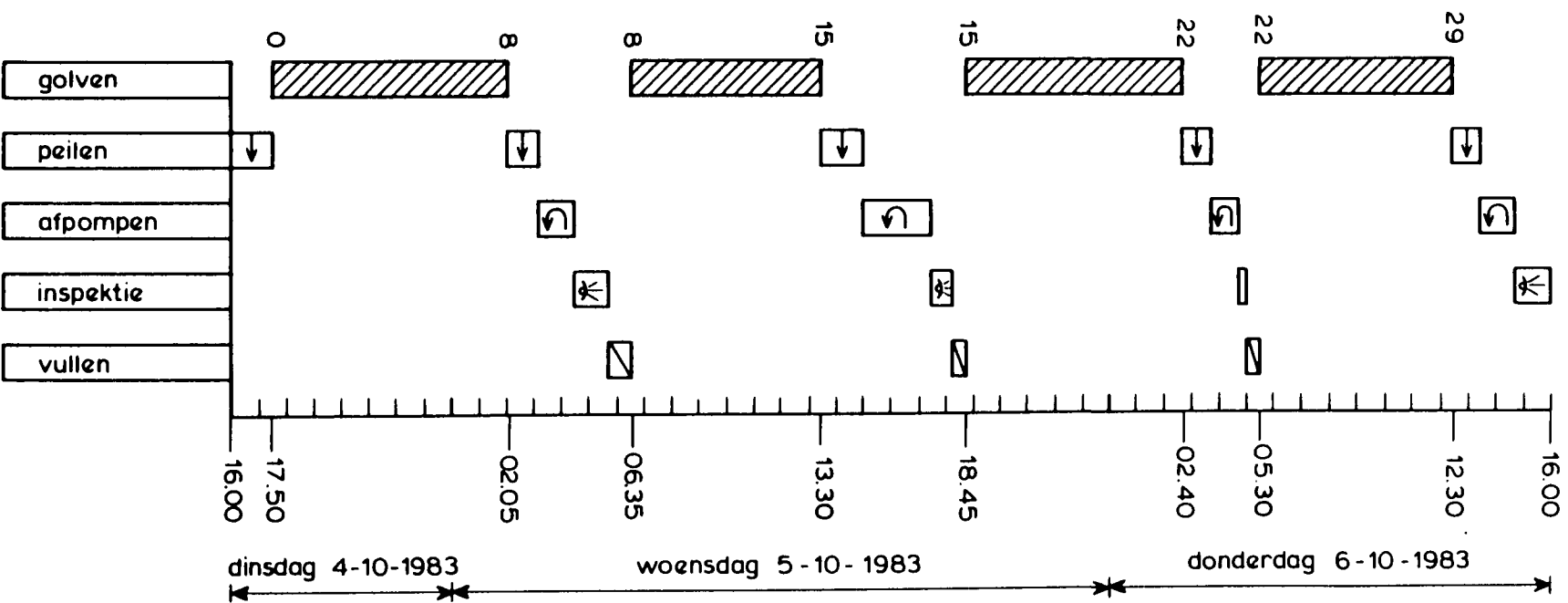
TJDBALK VOOR DE GETJUPROEF

P 01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 8



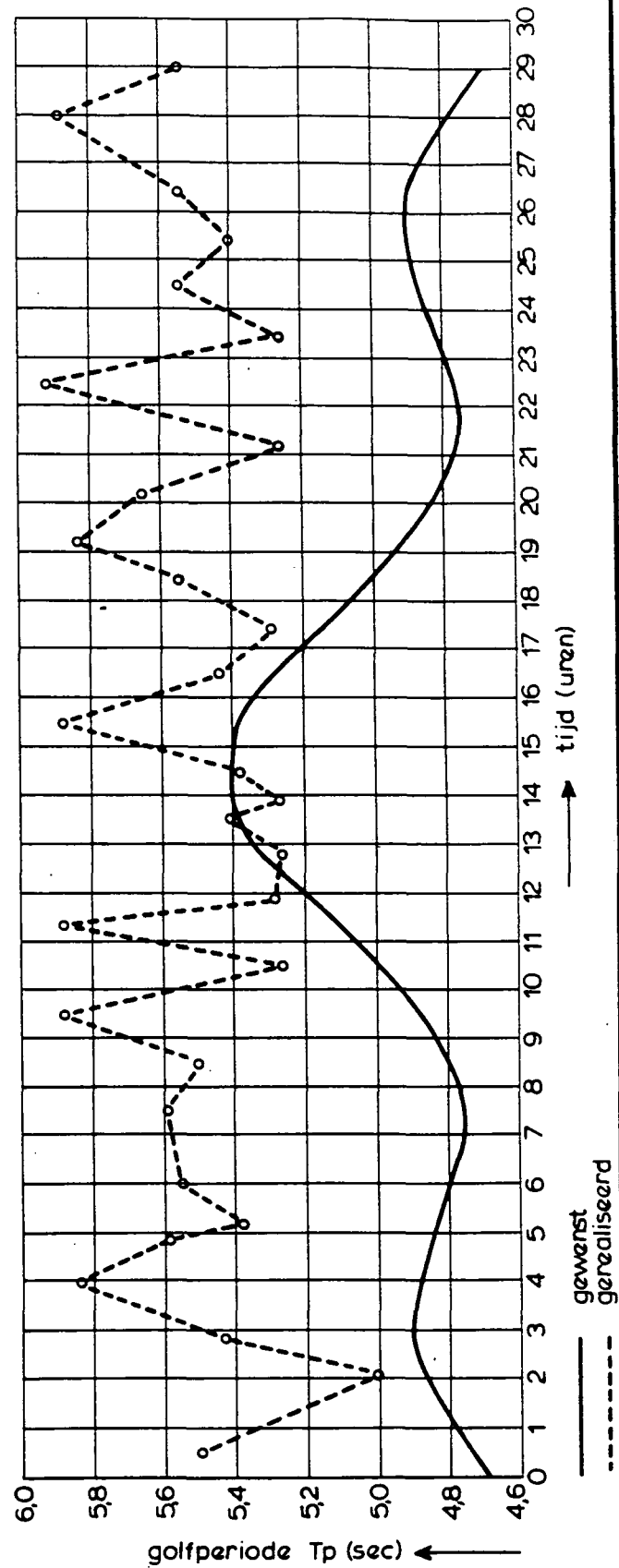
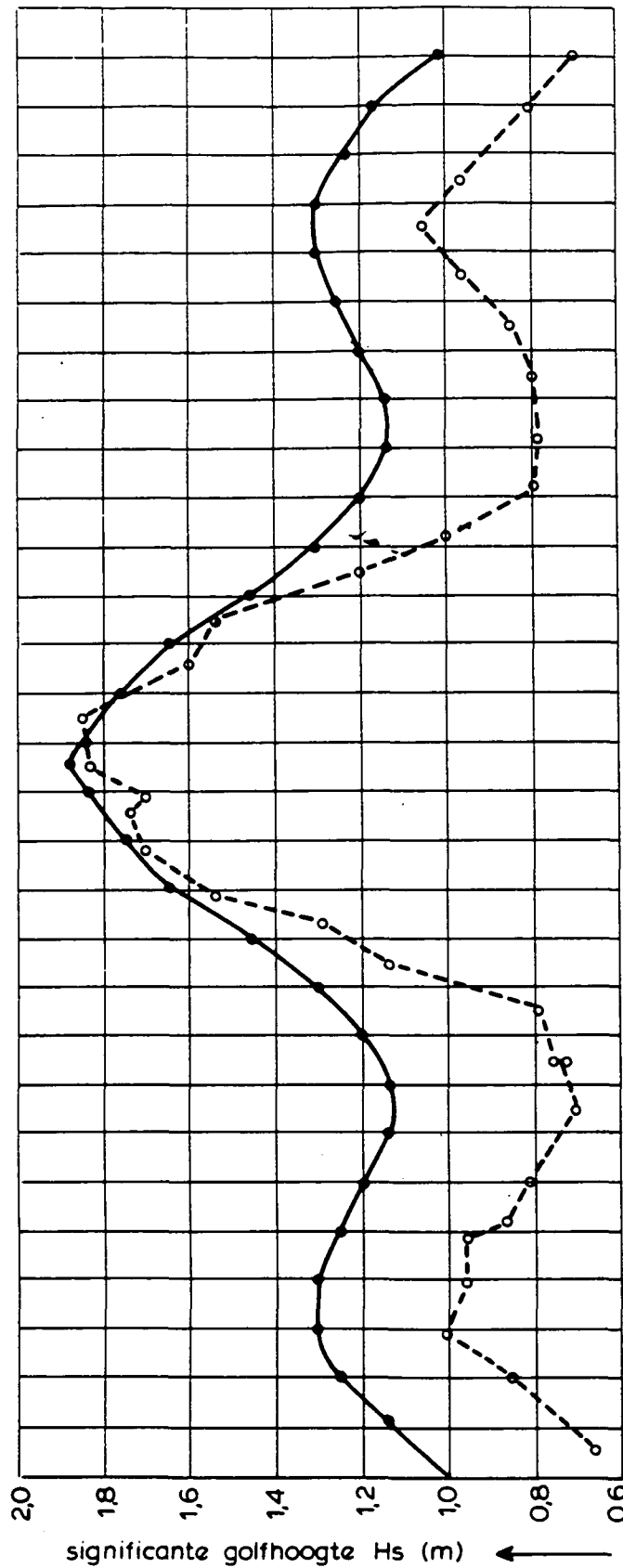
TJDBALK VOOR DE GETUJPROEF

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

P 01

M 1980

FIG. 8



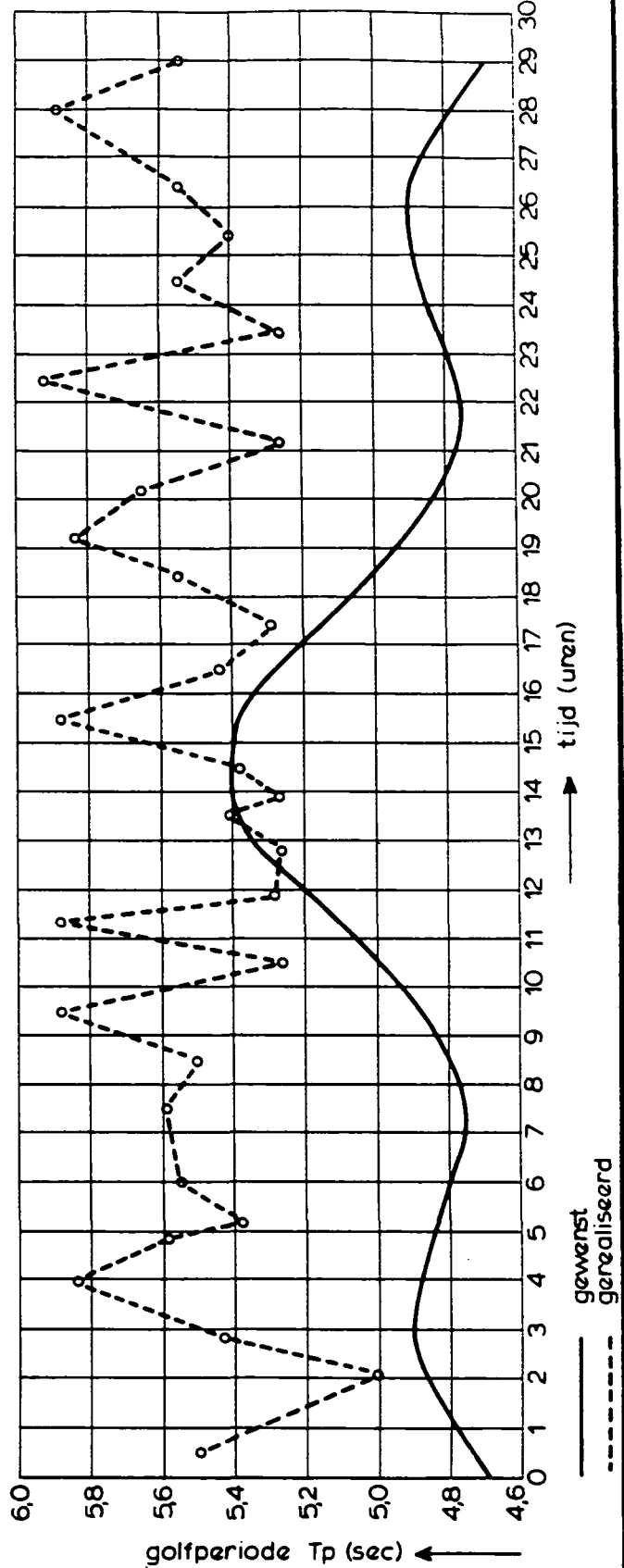
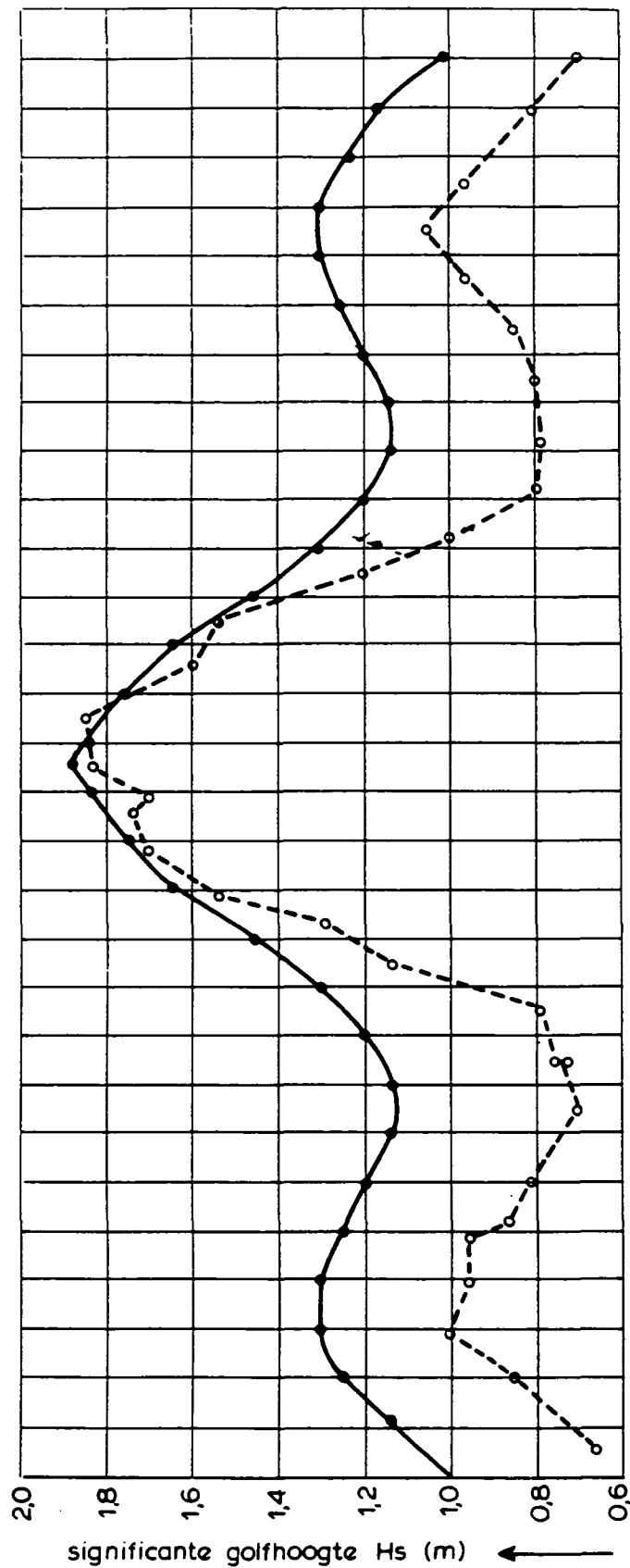
GOLFHOOGTE EN GOLFPERIODE
GEDURENDE EEN SUPERSTORM

P 01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 10



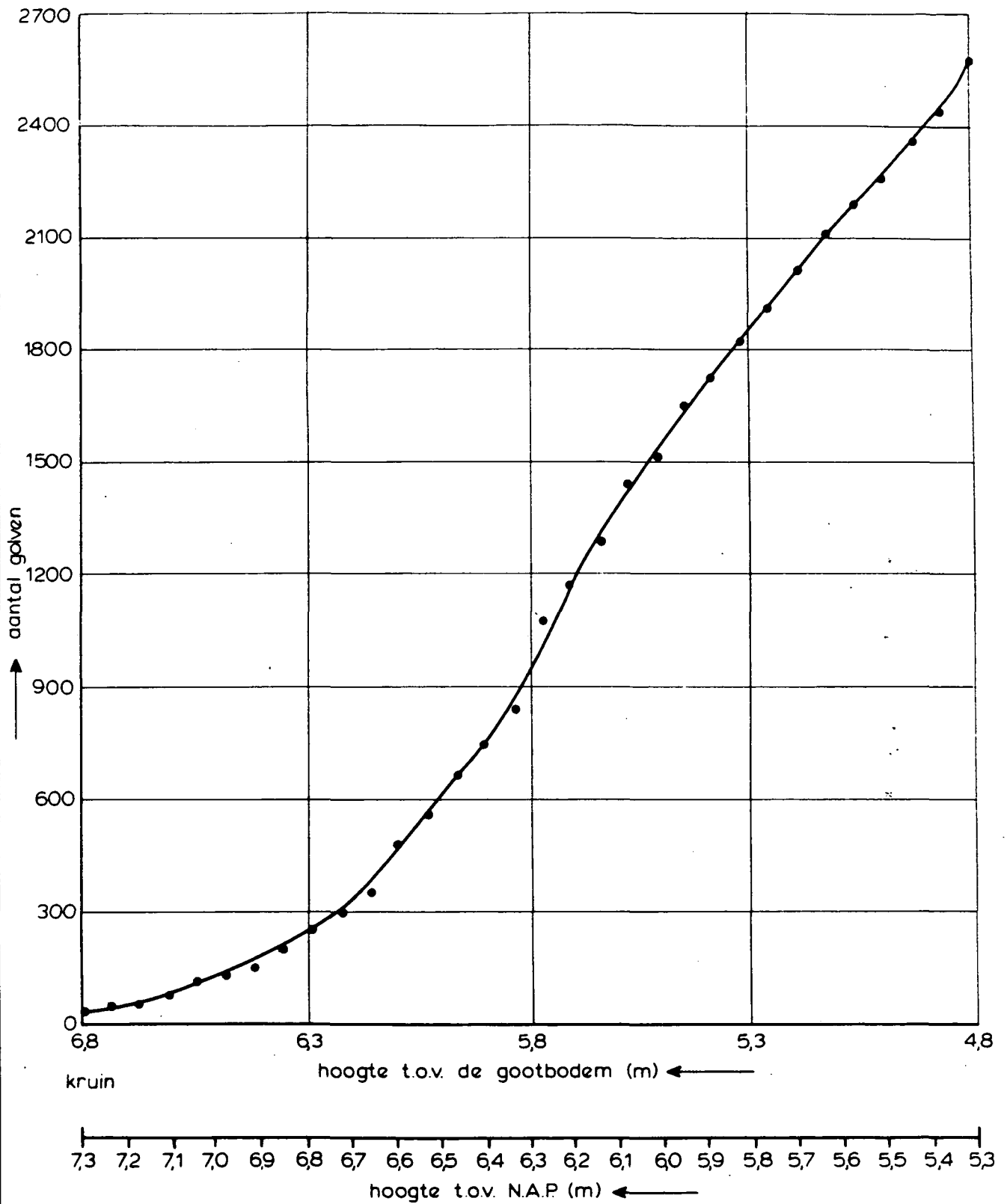
GOLFHOOGTE EN GOLFPERIODE
GEDURENDE EEN SUPERSTORM

P 01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 10



N.B. totaal aantal golven gedurende een superstorm = 20.000

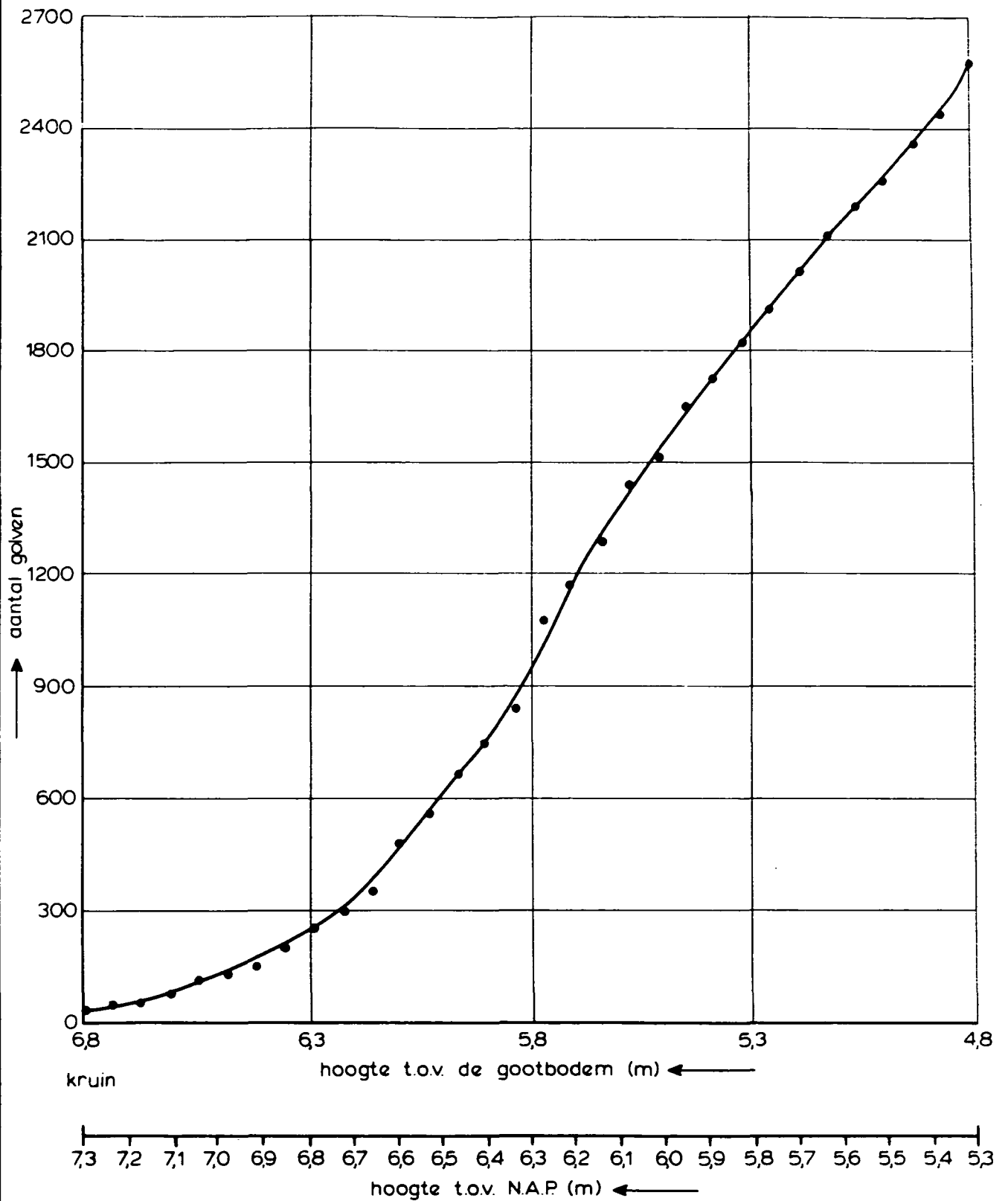
AANTAL GOLVEN GEDURENDE EEN SUPERSTORM
DAT EEN BEPAALD OPLOOPNIVEAU BEREIKT OF
OVERSCHR'JDT

P 01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 12



N.B. totaal aantal golven gedurende een superstorm = 20.000

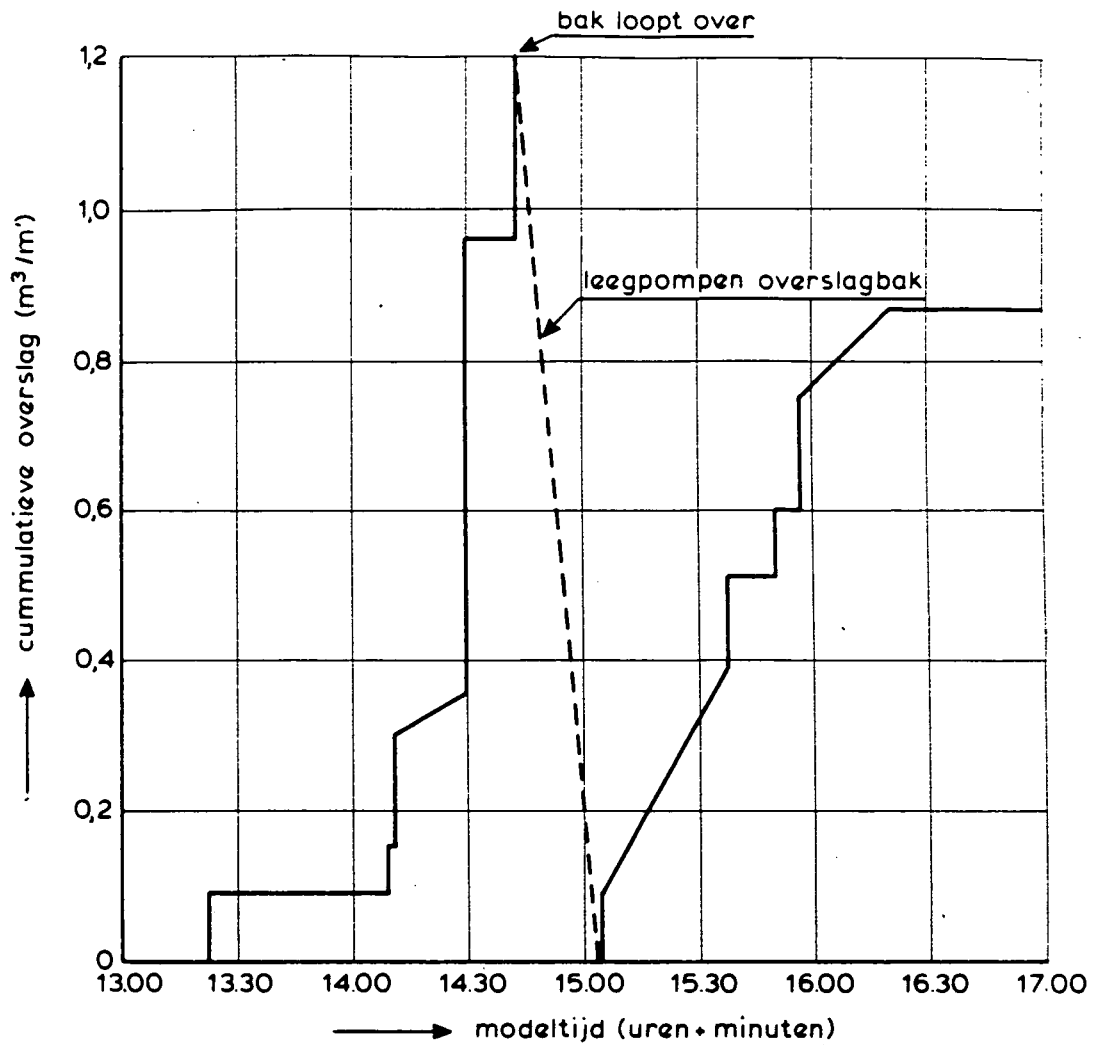
AANTAL GOLVEN GEDURENDE EEN SUPERSTORM
DAT EEN BEPAALD OPLOOPNIVEAU BEREIKT OF
OVERSCHR'JDT

P 01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 12



geschatte overloop van de bak op tijdstip 14.43 uur = ca. 0,60 m³/m'
 geschatte overslag tijdens leegpompen (14.43 u - 15.05 u) = ca. 0,30 m³/m'
 grootste overslag door één golf = ca. 0,85 m³/m'
 totale overslag tijdens superstorm :

| | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| tot 14.43 uur : | 1,20 | m ³ /m' |
| overloop op 14.43 uur : | 0,60 | m ³ /m' |
| tijdens leegpompen : | 0,30 | m ³ /m' |
| na 15.05 uur : | 0,87 | m ³ /m' |
| | <u>ca. 3,00</u> | <u>m³/m'</u> |

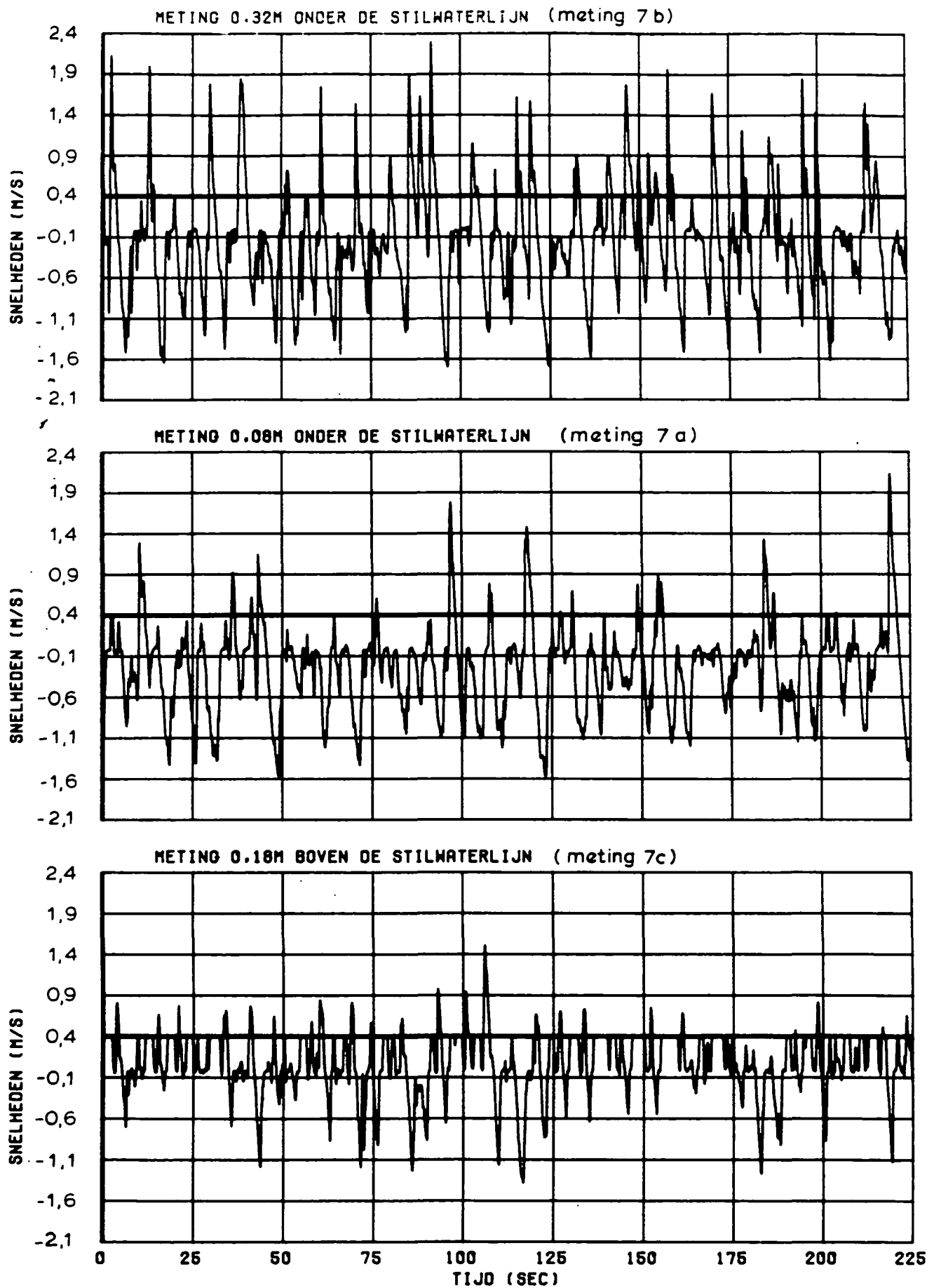
GOLFOVERSLAG TIJDENS EEN SUPERSTORM

P01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 14



GROENE DIJK. SNELHEDEN IN DE OPLOOPZONE
CA 0.05M BOVEN HET TALUD

METING :
7 a, b, c,

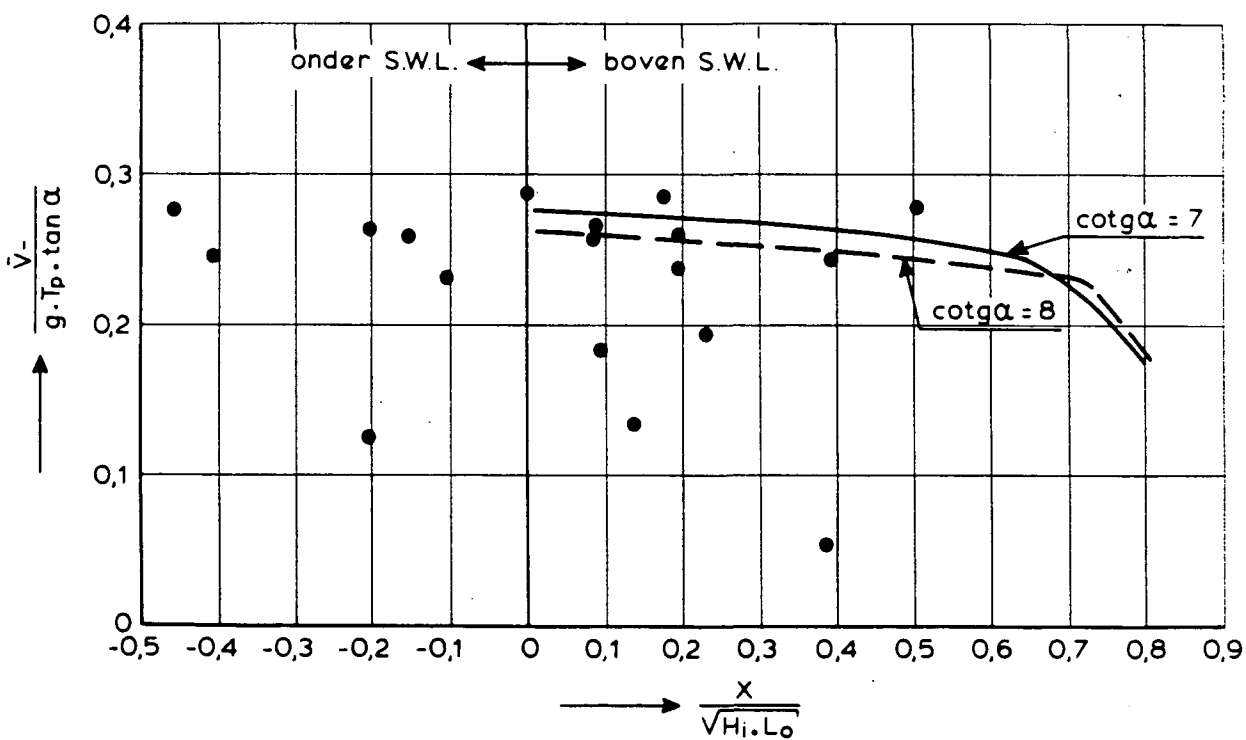
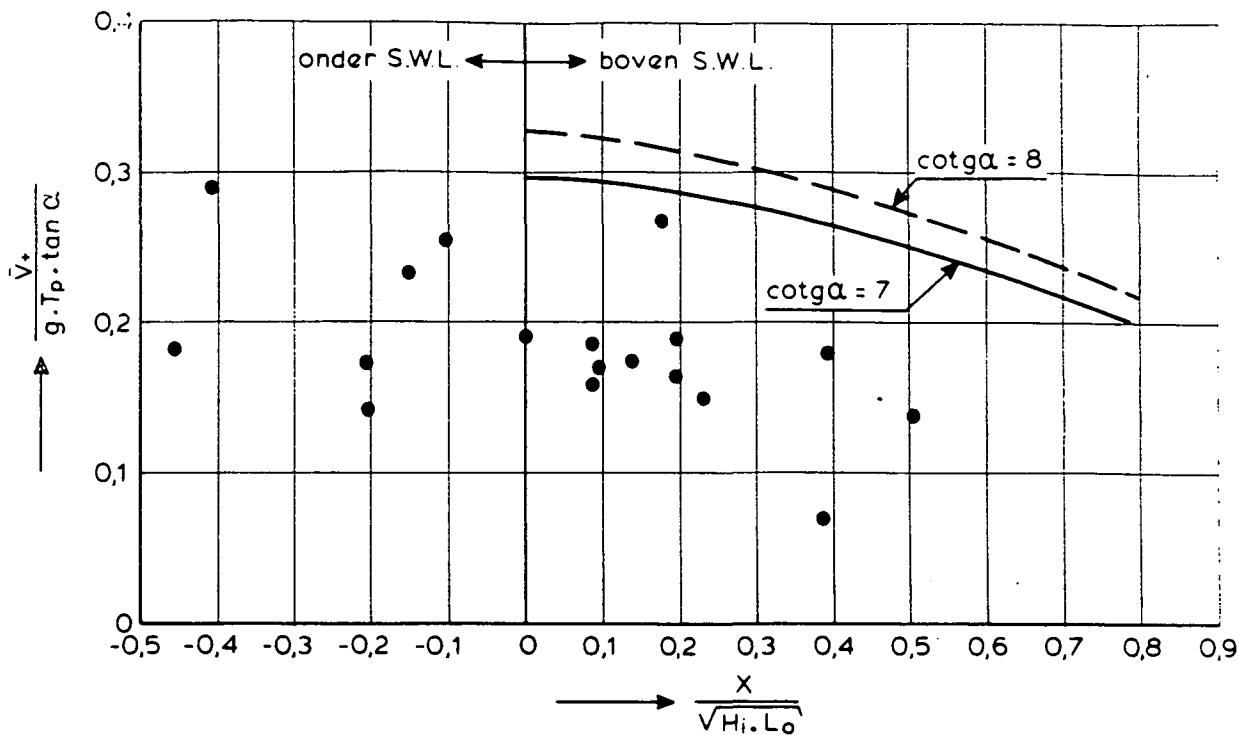
P 01

HS=0.825M

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1980

FIG. 15



- AZTM - meting proef P01 (zie tabel 9)
- relatie volgens Roos [4] voor $\cot\alpha = 7$
- - - - - geschatte relatie voor $\cot\alpha = 8$ op basis van Roos []

UITWERKING AZTM SNELHEIDSMETINGEN

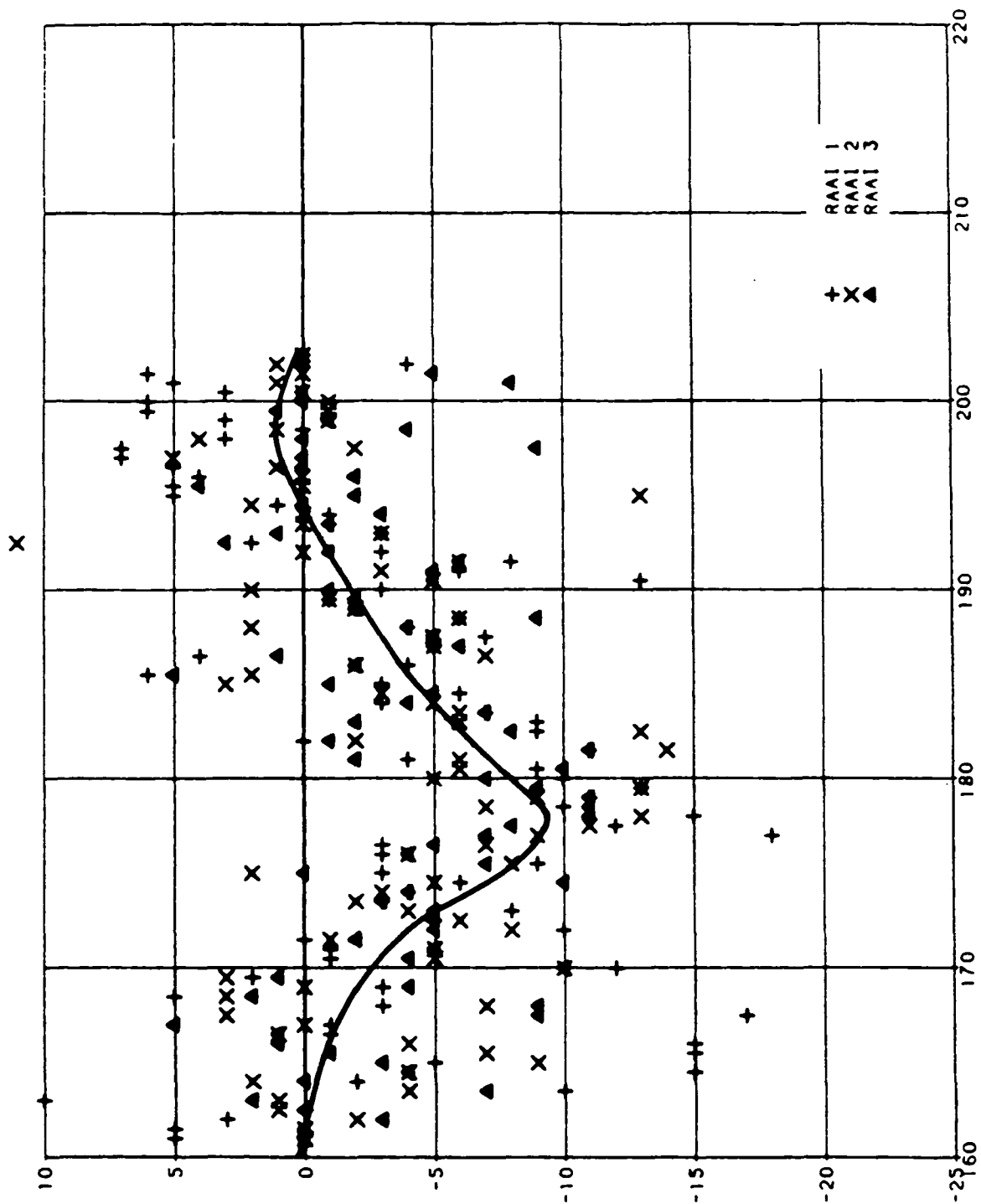
P01

COTG $\alpha = 8$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 16



PROFIELVERANDERING X10.-3 (M)

AFSTAND TOT HET GOLFSCHOT (M)

GROENE DIJK, PROFIELVERANDERING GEMETEN IN
 MODEL TEN OPZICHTE VAN BEGINPEILING

8 UUR

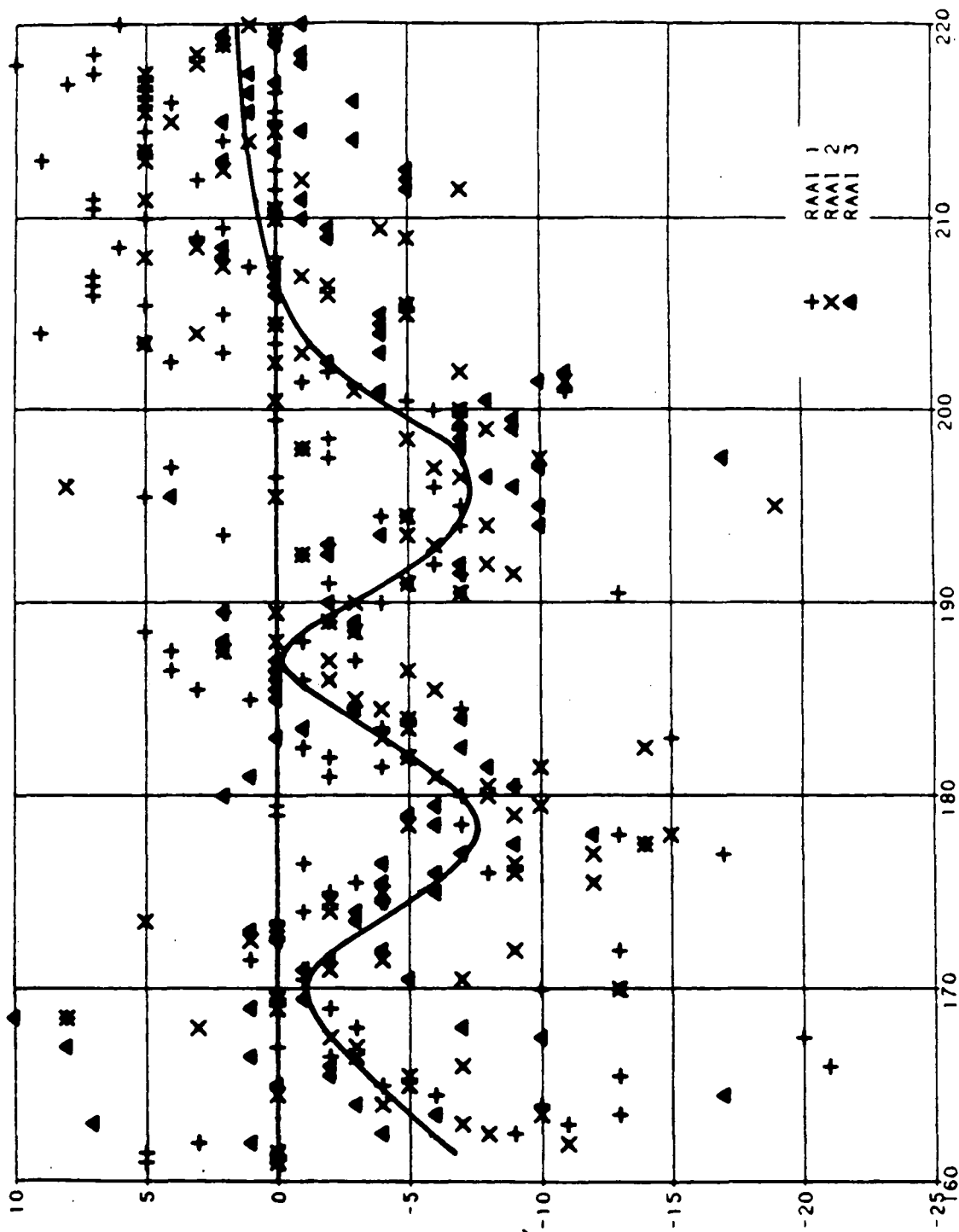
P01

SCHAAL HOR. 1:333
 SCHAAL VER. 4:1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG.17



PROFIELVERANDERING x 10.-3 (M)

AFSTAND TOT HET GOLFSCHOT (M)

GROENE DJK, PROFIELVERANDERING GEMETEN IN
MODEL TEN OPZICHTE VAN BEGINPEILING

15 UUR

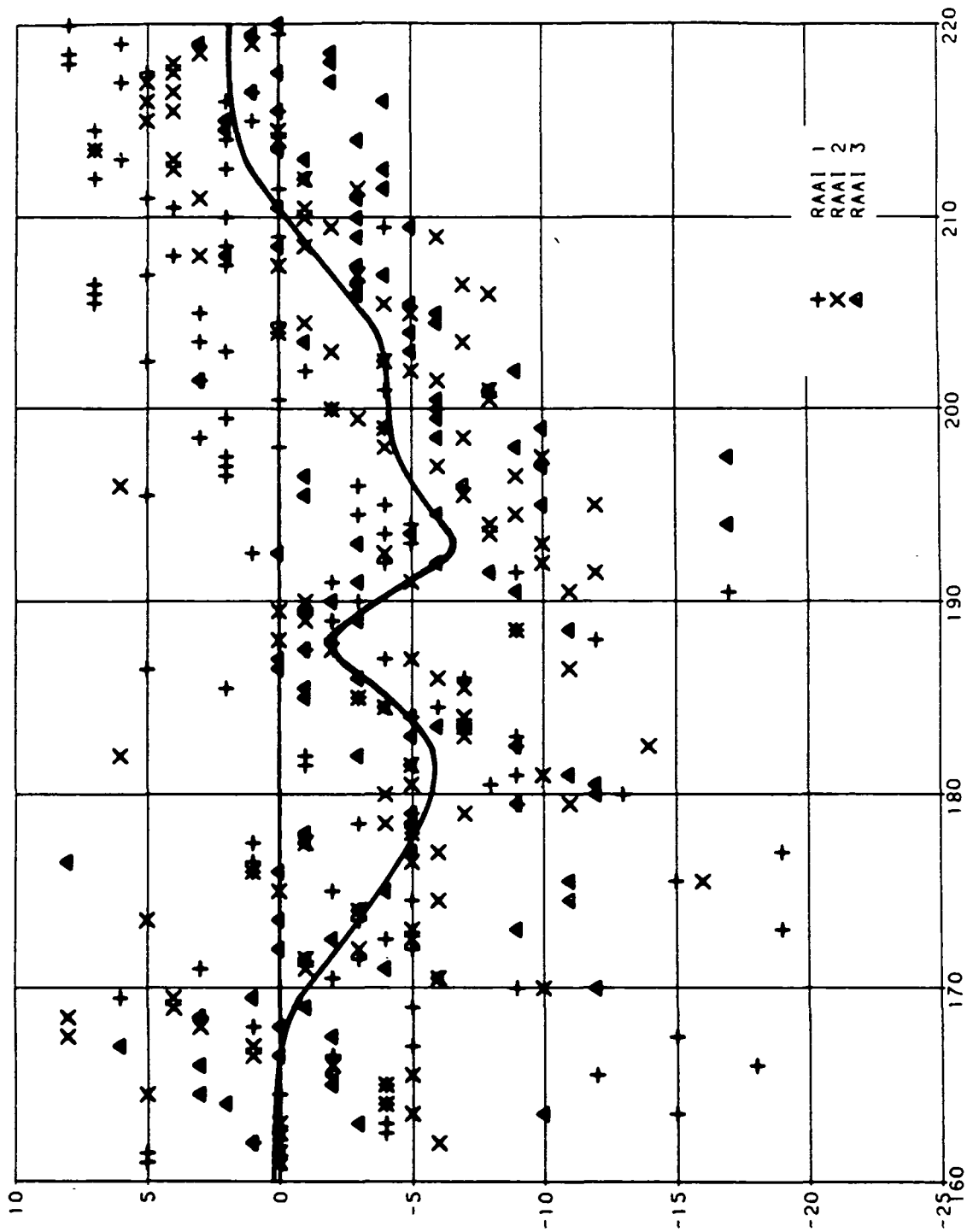
P01

SCHAAL HOR. 1:333
SCHAAL VER. 4:1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 18



PROFIELVERANDERING X10.-3 (M)

AFSTAND TOT HET GOLFSCHOT (M)

GROENE D'JK, PROFIELVERANDERING GEMETEN IN
 MODEL TEN OPZICHTE VAN BEGINPEILING

22 UUR

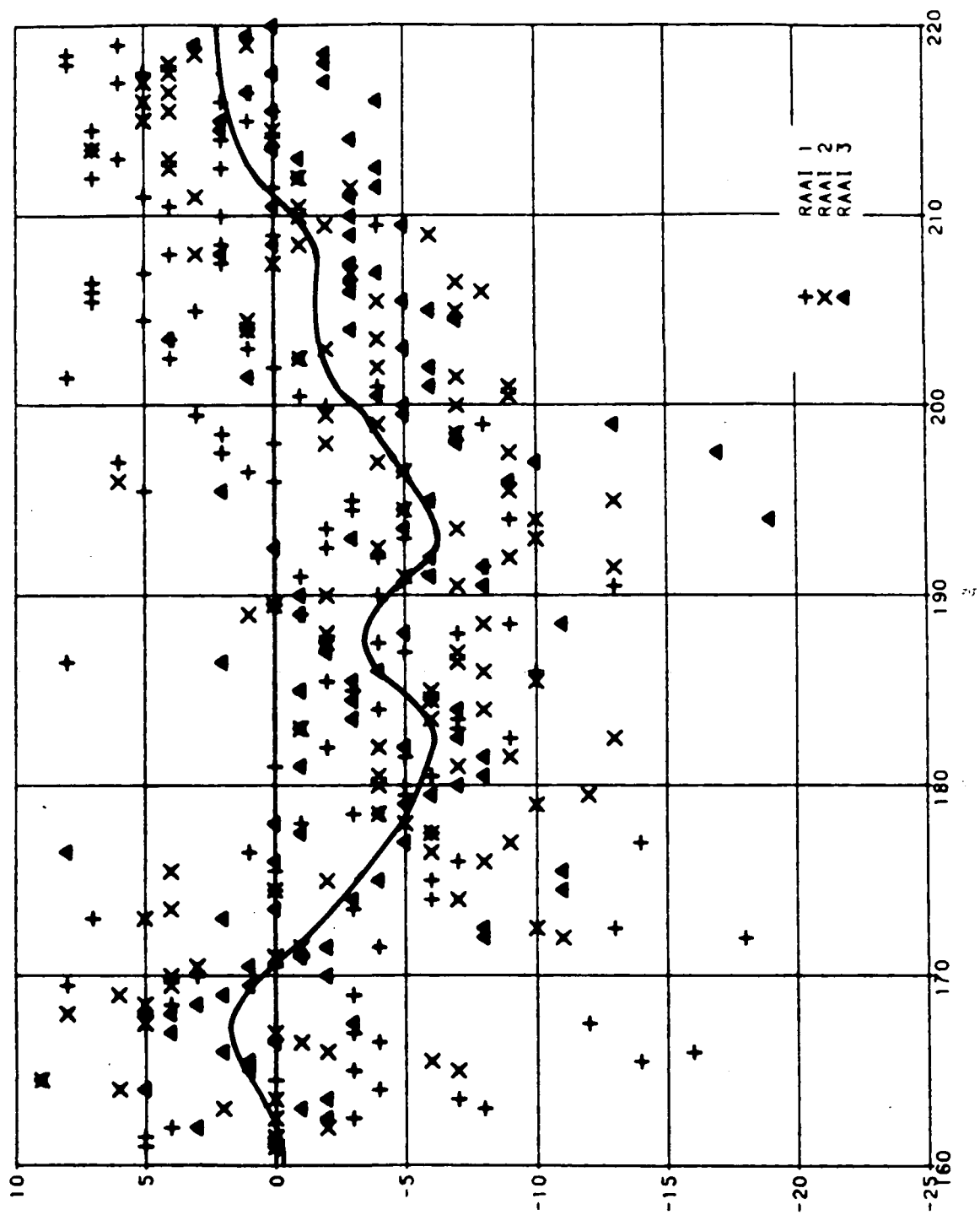
P01

SCHAAL HOR. 1:333
 SCHAAL VER. 4:1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 19



PROFIELVERANDERING X10.-3 (M)

AFSTAND TOT HET GOLFSCHOT (M)

GROENE DIJK, PROFIELVERANDERING GEMETEN IN
 MODEL TEN OPZICHTE VAN BEGINPEILING

29 UUR

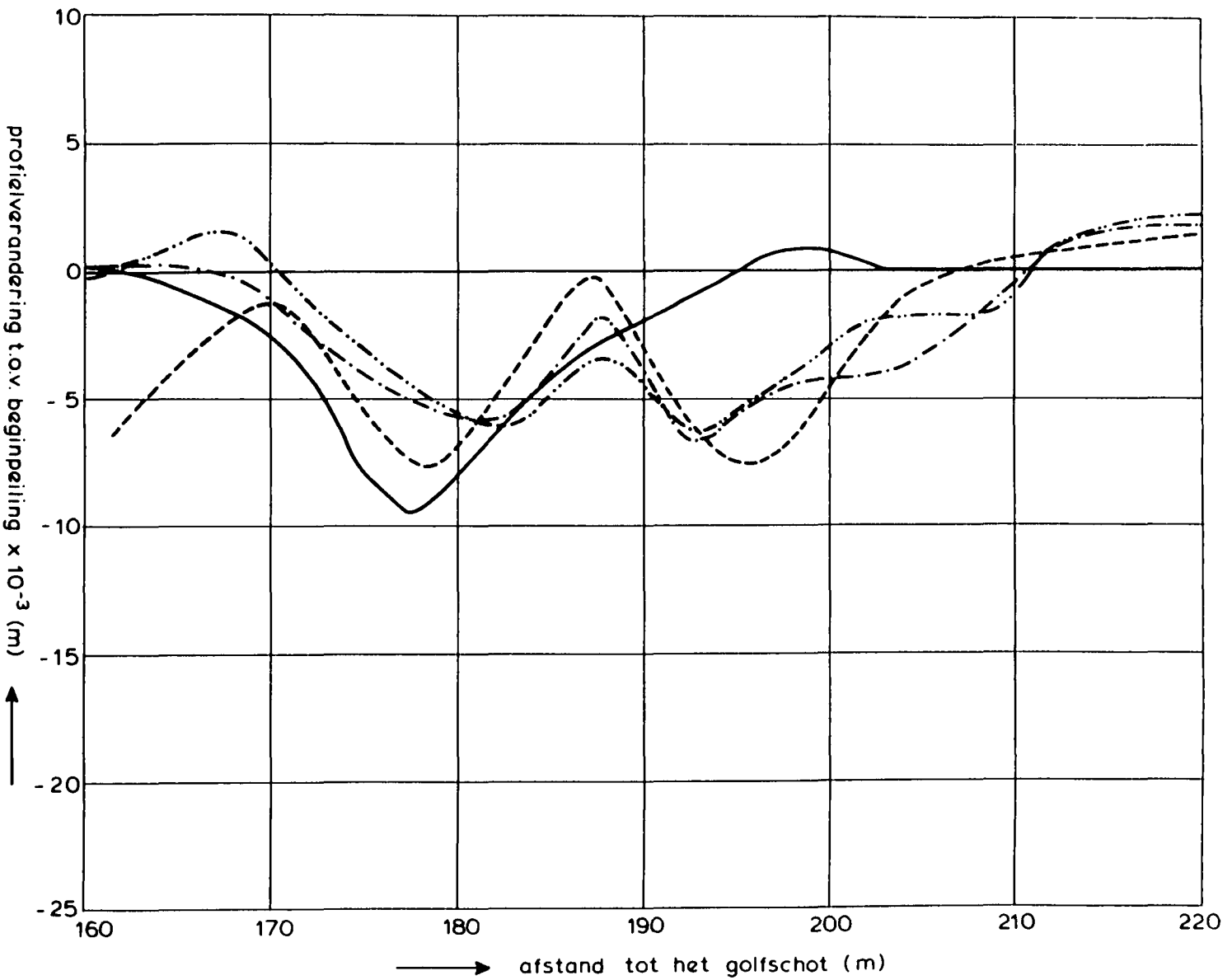
P01

SCHAAL HOR. 1:333
 SCHAAL VER. 4:1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG.20



- na 8 uur golven
- - - na 15 uur golven
- · · na 22 uur golven
- · - · na 29 uur golven

GROENE DIJK PROFIELVERANDERING GEMETEN
 IN MODEL NA 8, 15, 22 EN 29 UUR GOLVEN

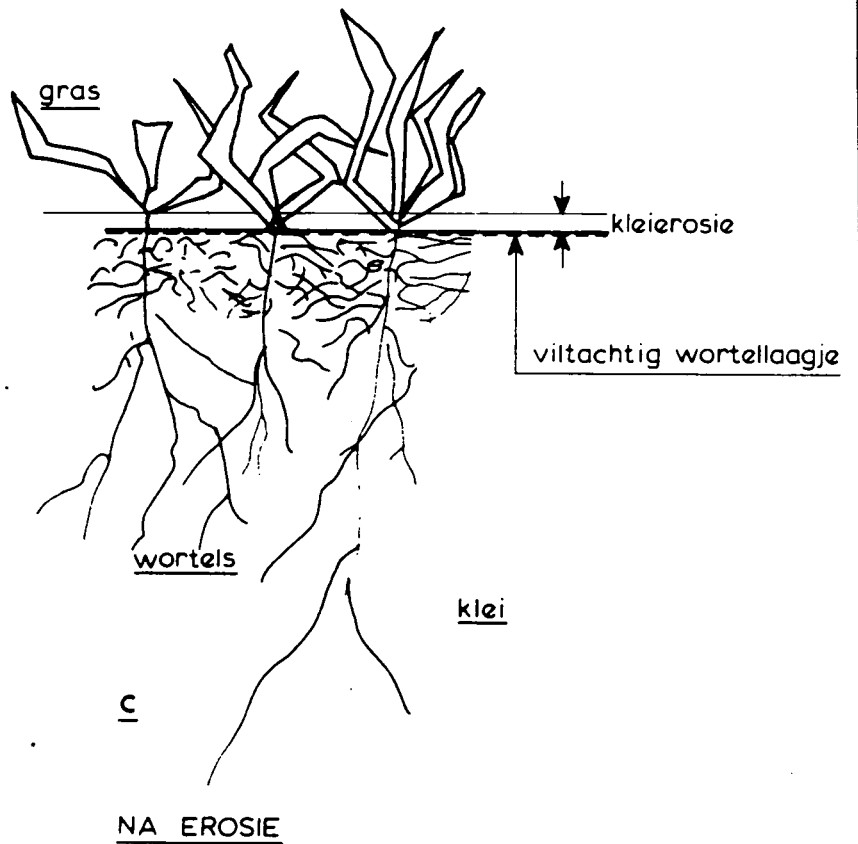
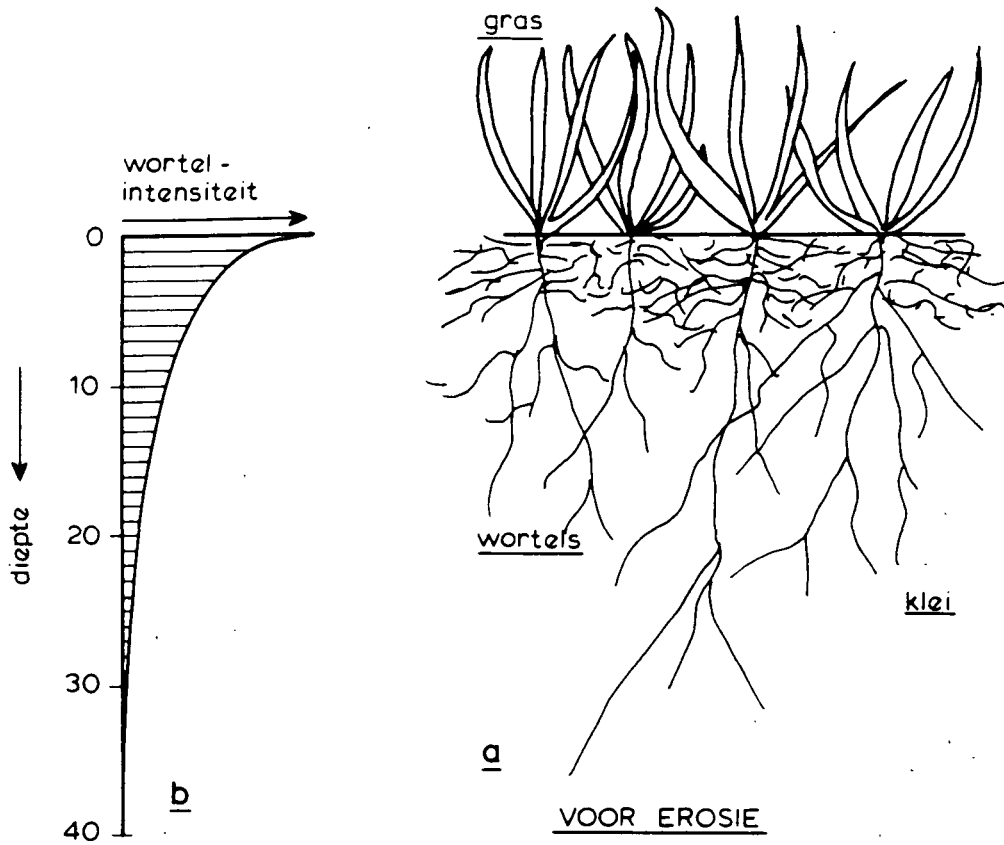
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PO1

SCHAAAL
 VER. 4:1
 HOR. 1:333

M 1980

FIG. 21



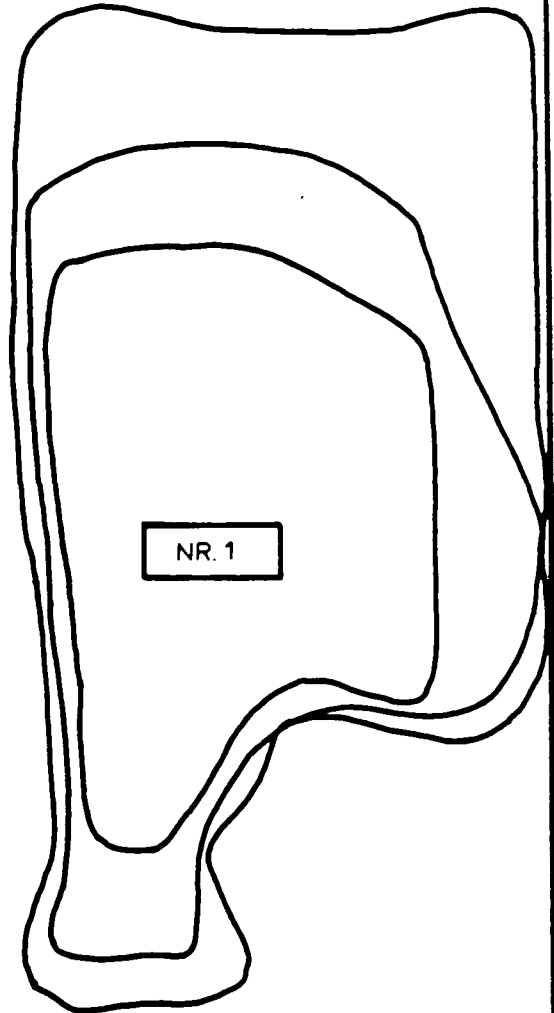
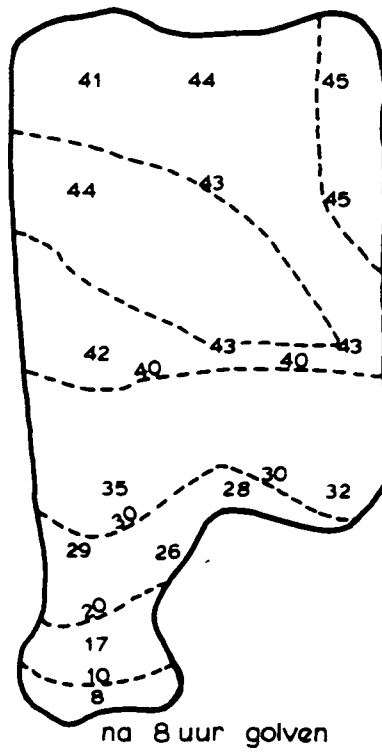
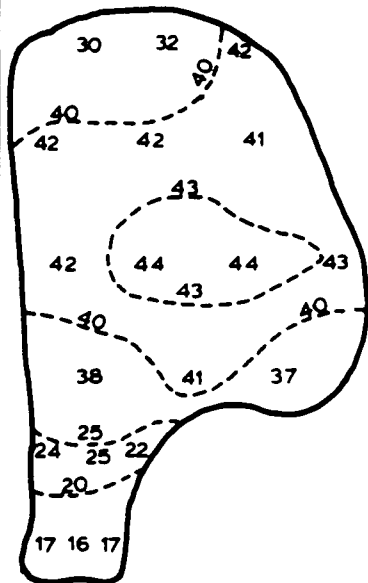
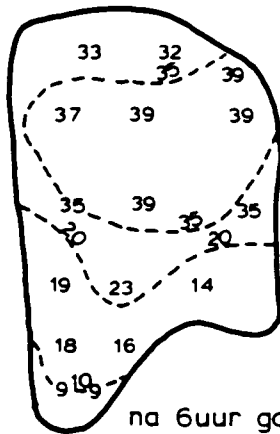
MECHANISME KLEI - EROSIE EN
VORMING WORTELLAAGJE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FIG. 22

7
na 0uur golven

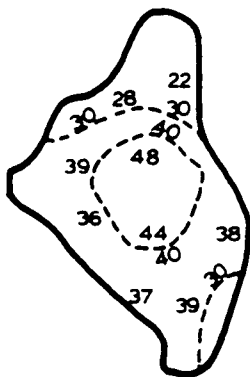


0 uur tot 8uur

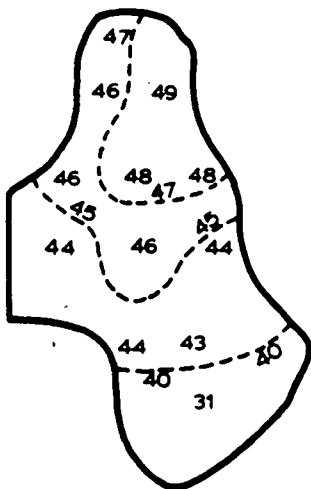
| | | |
|--|-------------|---------|
| SCHADE - ONTWIKKELING GAT NUMMER 1, N.A.P. + 4,50m | PO2 | |
| | ZIE FOTO 20 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M 1980 | FIG. 23 |

7

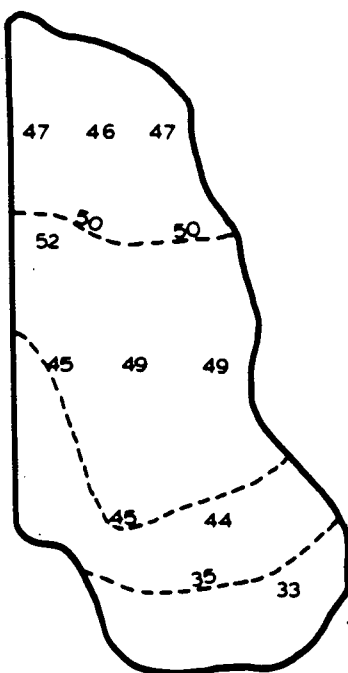
T = 0 uur



T = 6 uur



T = 7 uur



T = 8 uur



Ouur tot 8uur

SCHADE -ONTWIKKELING GAT NUMMER 2, N.A.P. +5,00m

P02

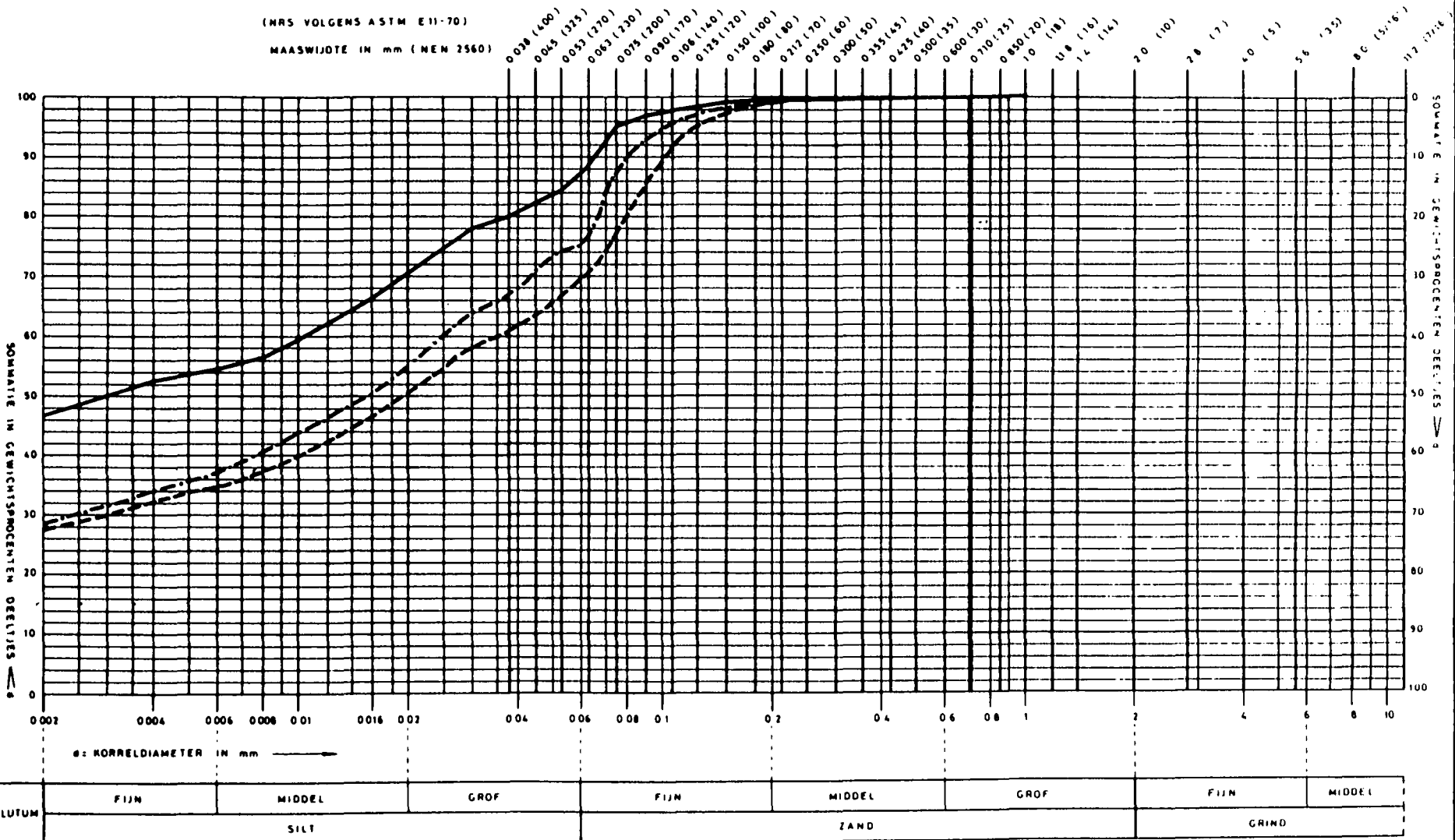
ZIE FOTO 21

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

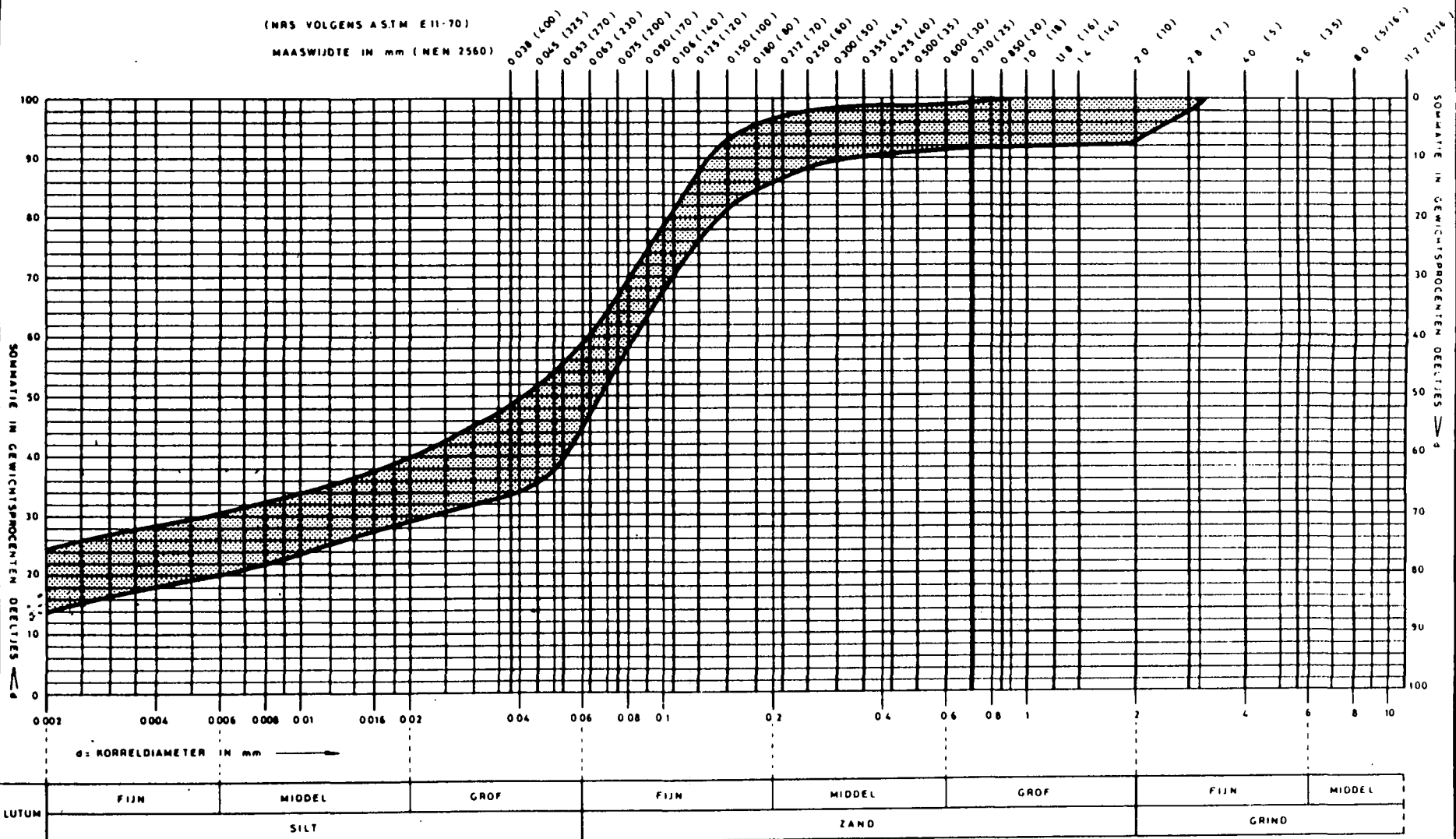
FIG. 24

KORRELVERDELINGSDIAGRAM KLEI UIT ONDERLAAG

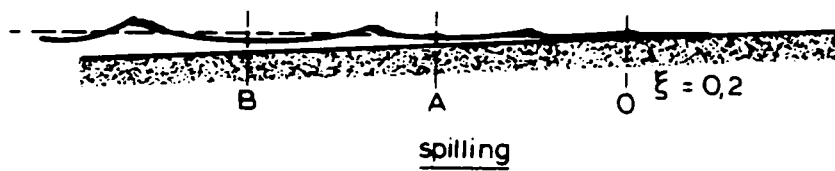
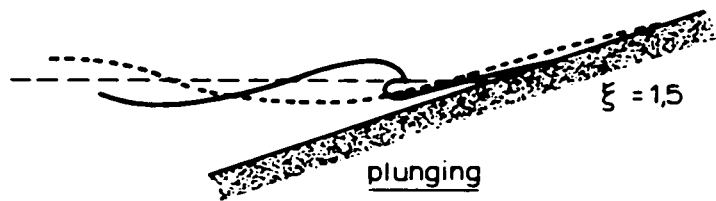
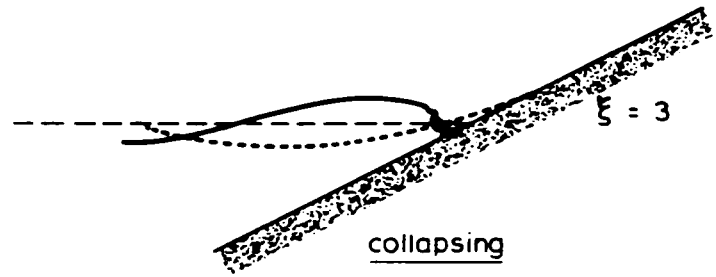
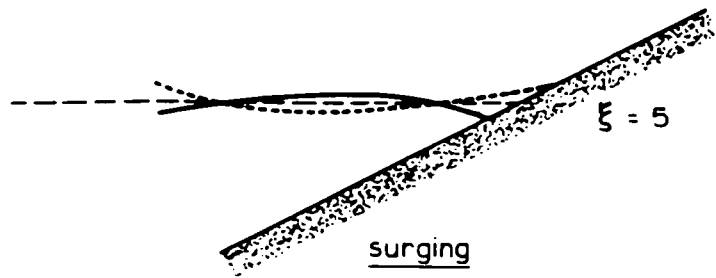


| | BORING | MONSTER | DIEPTE IN m T.O.V NAP |
|-----------|--------|---------|-----------------------|
| — | | 1 | kleionderlaag |
| - - - | | 2 | " |
| - . - . - | | 3 | " |
| | | | |

KORRELVERDELINGSDIAGRAM KLEI UIT GRASZODEN



| BORING | MONSTER | DIEPTE IN m T.O.V. NAP |
|--------|--------------|------------------------|
| | 4, 6, 8, 10, | klei uit graszoden |
| | 11, 12 en 13 | |
| | | |
| | | |

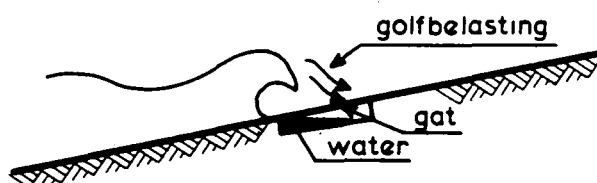


$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

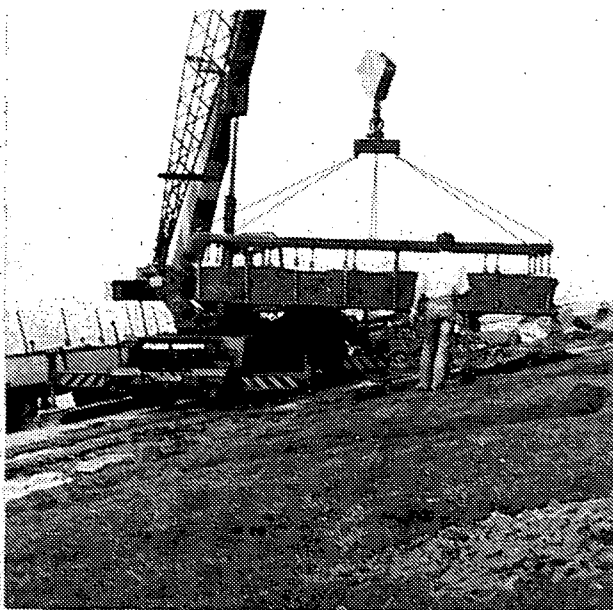
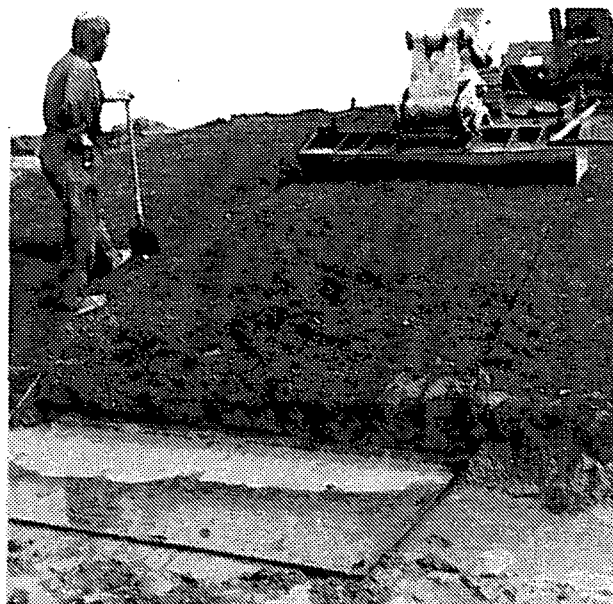
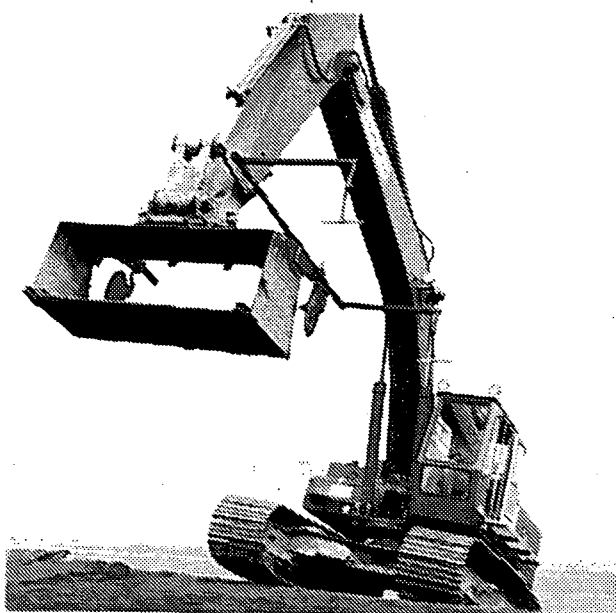
BREKERTYPEN

zich in de zone waar de golven breken op het talud. Hieruit valt af te leiden dat het niet zozeer de golfoploop of golfterugloop is die tot schade heeft geleid, maar veel meer het breken van de golf en de daardoor op het talud uitgeoefende belastingen.

- De uitbreiding van de gaten vindt voor het grootste deel plaats in opwaartse richting. Dit is te verklaren uit het feit dat de opwaartse belasting door een brekende of oplopende golf ongehinderd op de bovenrand van het gat kan werken, terwijl de belasting op de onderrand van het gat wordt gereduceerd doordat het gat vol staat met water.



- De snelheid waarmee de gaten zich uitbreiden neemt geleidelijk toe in de tijd. Dit blijkt behalve uit de berekende volumina van de gaten na 6, 7 en 8 uur golven eveneens uit het feit dat pas na 5½ uur golven er eerste aanwijzingen waren dat er erosie optrad.
- Aangezien de voortgaande erosie zich langs de rand van het gat afspeelt is het logisch om te veronderstellen dat de snelheid van erosie evenredig is met de lengte van de omtrek van het gat. Hiermee wordt tevens verklaard dat de snelheid van de ontgrondingen toeneemt bij toenemende afmetingen van het gat.
- Uit de vorm of de ontwikkeling van de gaten blijkt geen enkele aanwijzing dat de ontgraving op enige wijze is beïnvloed door de aanwezigheid van naden tussen de afzonderlijke graszoden.
- De grootste diepte van de gaten is steeds ongeveer gelijk aan de dikte van de graszoden. Geen enkele maal werd significante erosie geconstateerd van de onderliggende kleilaag. Vooral bij de gaten ① en ② na 8 uur golven is het duidelijk dat de bodem van de gaten overeenkomt met de scheiding tussen de kleilaag en de graszoden. Dit geeft een zeer sterke aanwijzing dat de erodeerbaarheid van de onderklei veel minder was dan de erodeerbaarheid van de klei in de graszoden. De klei-eigenschappen worden uitvoerig besproken in hoofdstuk 4.
- Uit het waargenomen mechanisme van de schade-ontwikkeling, blijkt duidelijk waarom pas schade is ontstaan nadat kunstmatig een gat in de topklaag, door

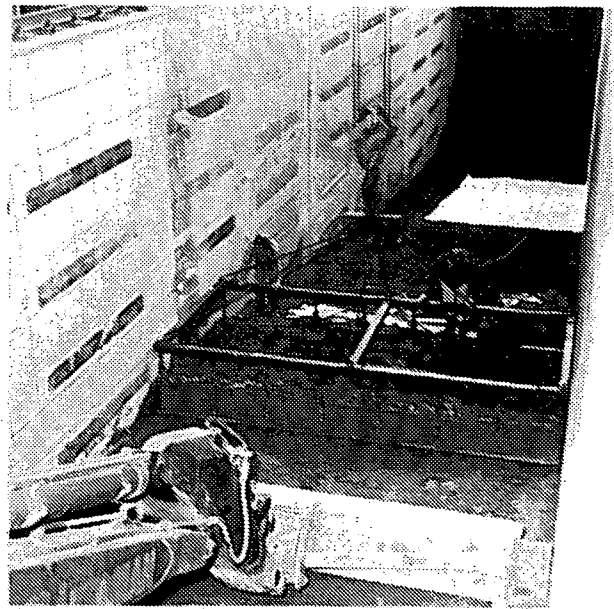
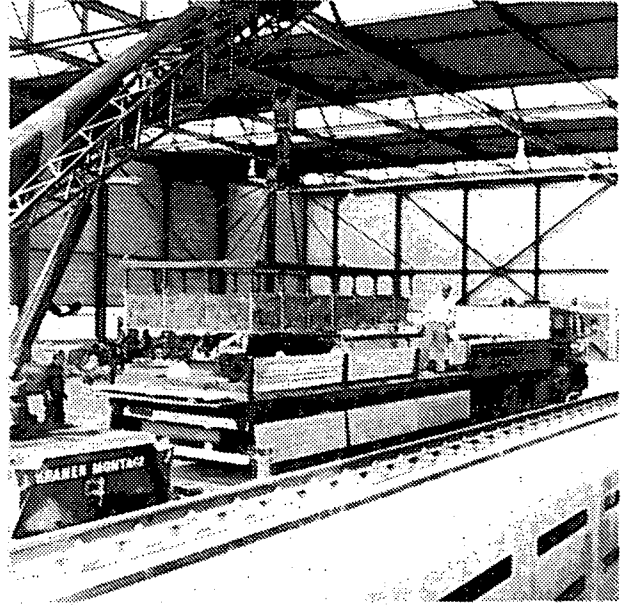
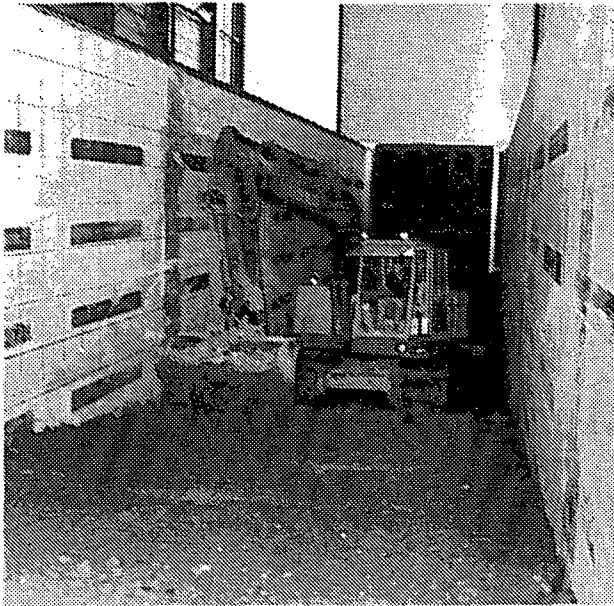


SNIJDEN VAN GRASZODEN OP DE DIJK BIJ
DE WESTHOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 1

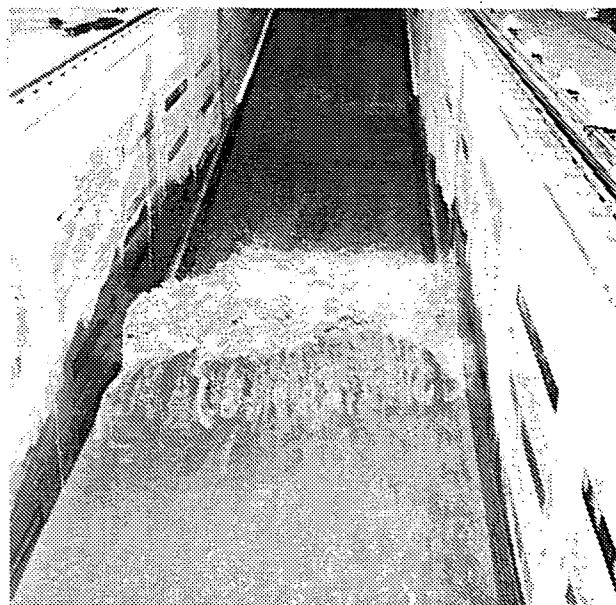
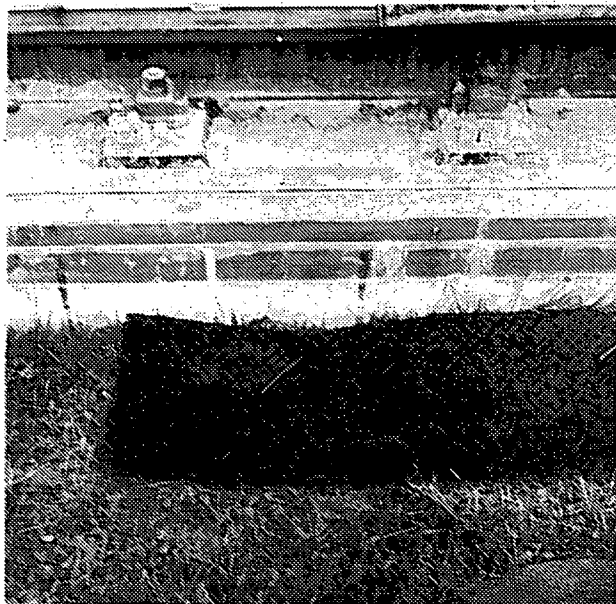


AANBRENGEN EN VERWERKING VAN DE KLEILAAG
EN DE GRASZODEN IN DE DELTAGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 2.

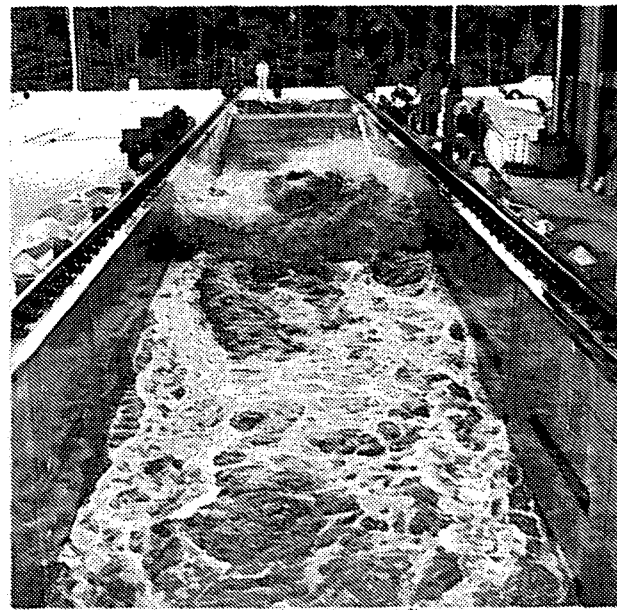
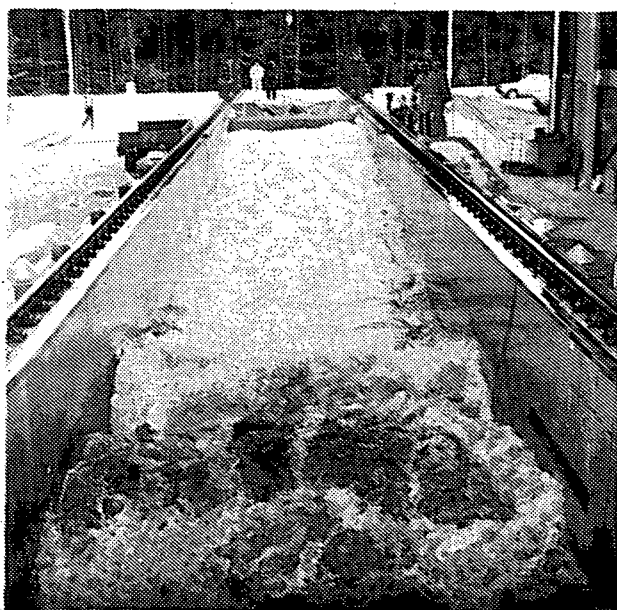
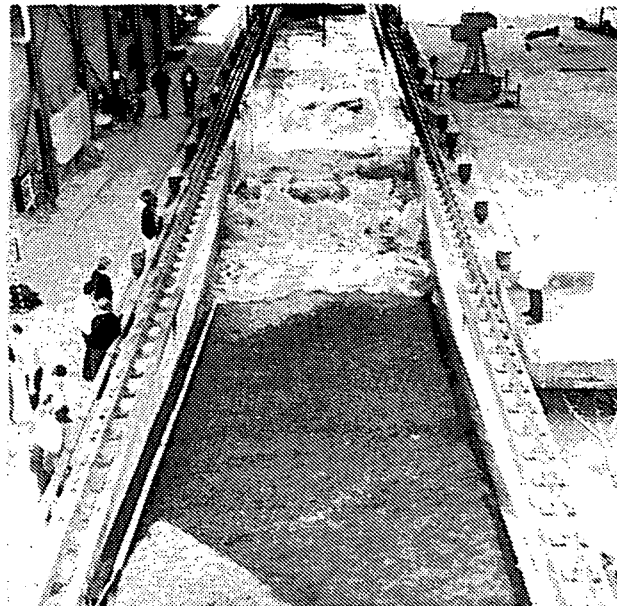
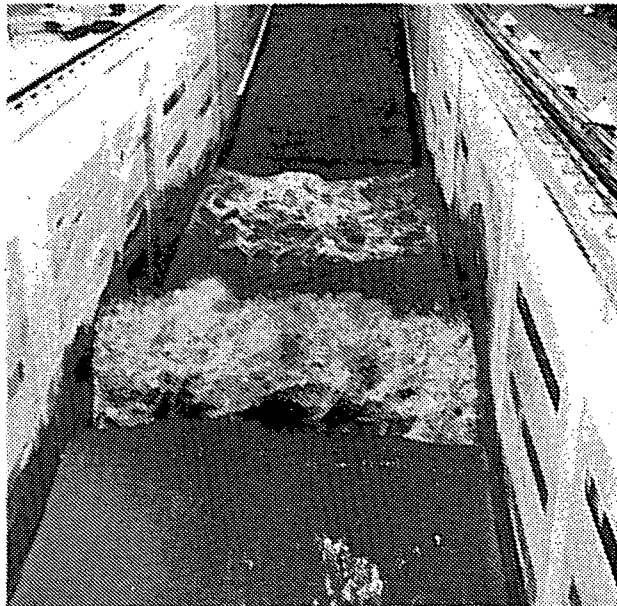


- AANSLUITING GRASMAT - GOOTWAND
- GEREED GRASTALUD
- AANVANG GETIJPROEF (P01)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 3



GOLFAANVAL OP GRASTALUD TIJDENS DE
GETIJPROEF

P 01

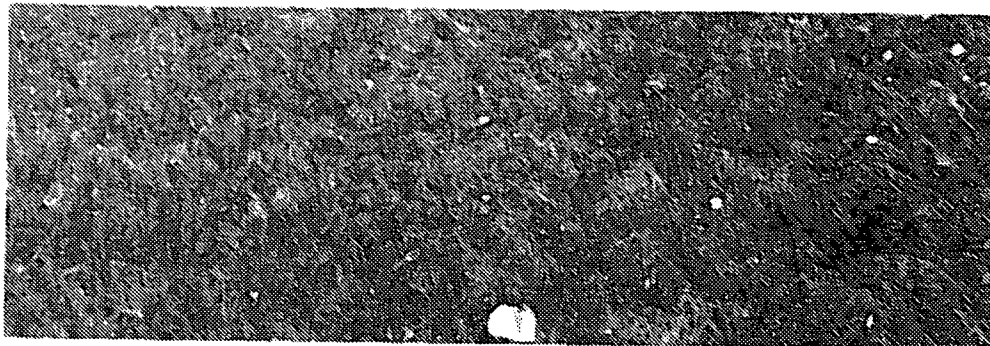
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

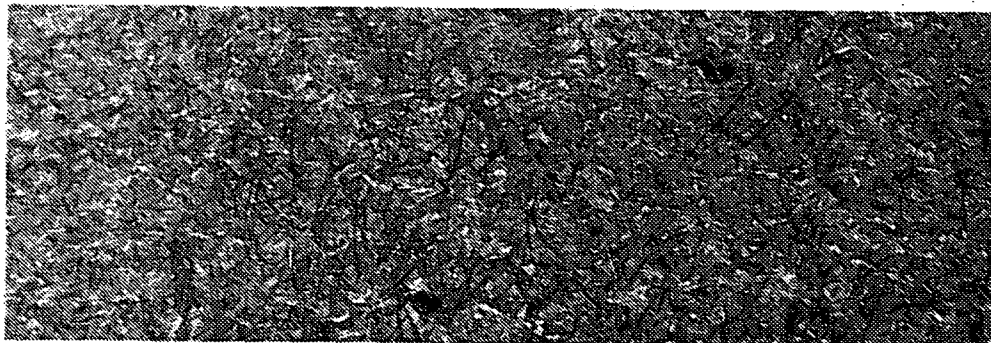
FOTO 4



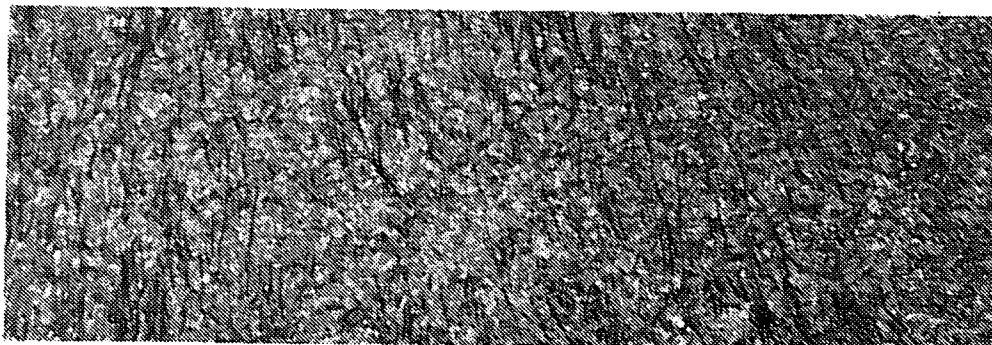
na 0 uur golven
(aanvang proef)



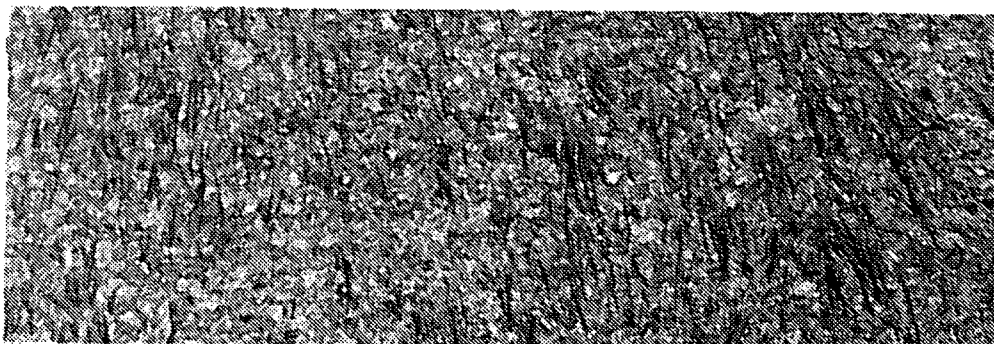
na 8 uur golven



na 15 uur golven



na 21 uur golven



na 29 uur golven
(einde proef)

VEROUDERING VAN DE GRASMAT GEDURENDE
DE GETIJPROEF

P 01

POSITIE
 $X_m = 197$ m
 $Y_m = 4,00$ m; $y_p = \text{NAP} + 4,50$ m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

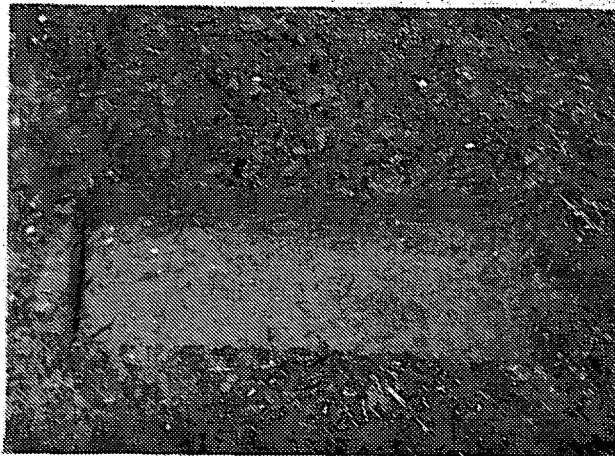
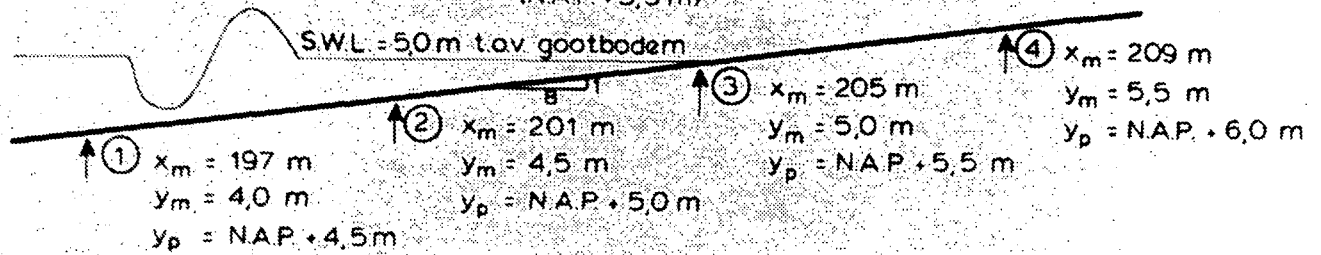
FOTO 13

$H_s = 1,57 \text{ m}$

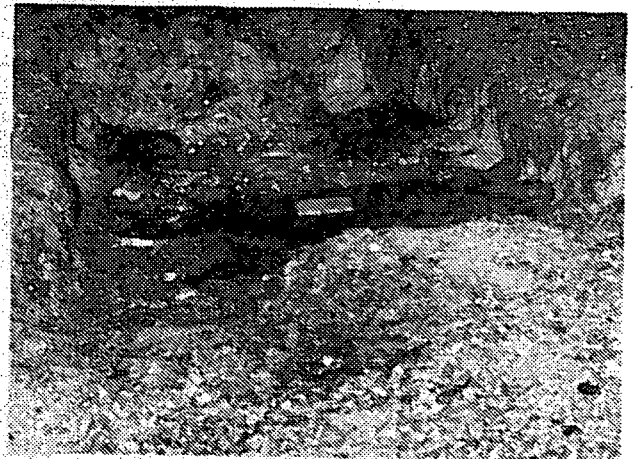
$T_p = 5,1 \text{ sec.}$

(NAP + 5,5 m)

SWL = 50 m t.o.v. gootbodem



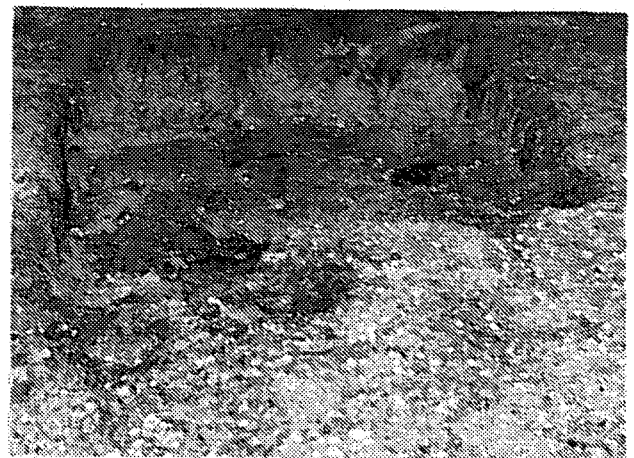
na 0 uur golven (aanvang proef)



na 6 uur golven



na 7 uur golven



na 8 uur golven (einde proef)

UITBREIDING VAN GAT IN DE GRASZODE ONDER
GOLFBELASTING BIJ STAGNANT WATERPEIL

P02

GAT ①

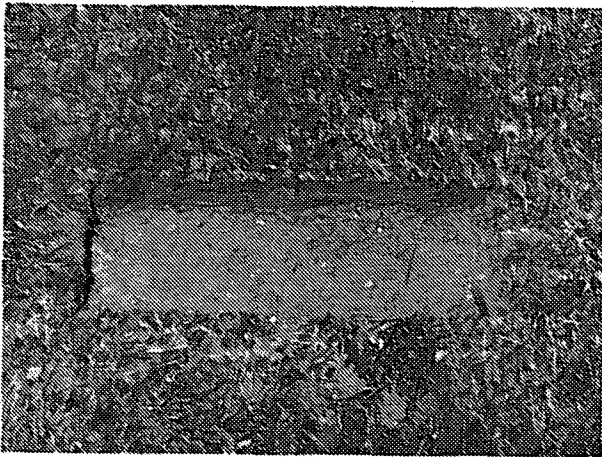
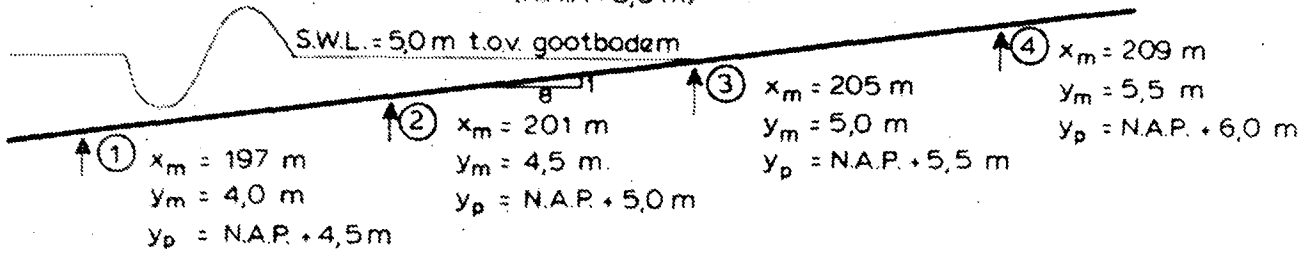
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 20

$H_s = 1,57 \text{ m}$
 $T_p = 5,1 \text{ sec.}$

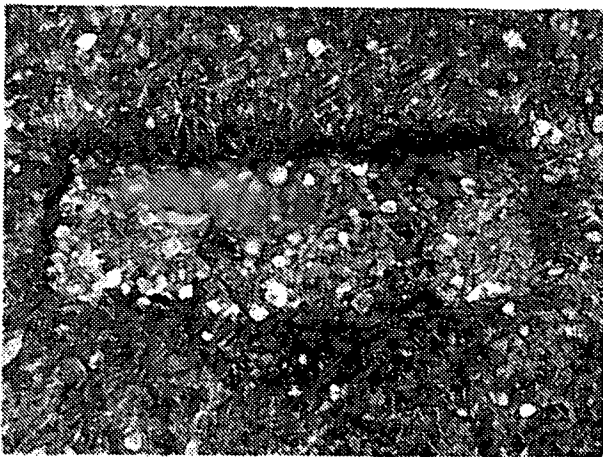
(N.A.P. + 5,5 m)



na 0 uur golven (aanvang proef)



na 6 uur golven



na 7 uur golven



na 8 uur golven (einde proef)

UITBREIDING VAN GAT IN DE GRASZODE ONDER
 GOLFBELASTING BIJ STAGNANT WATERPEIL

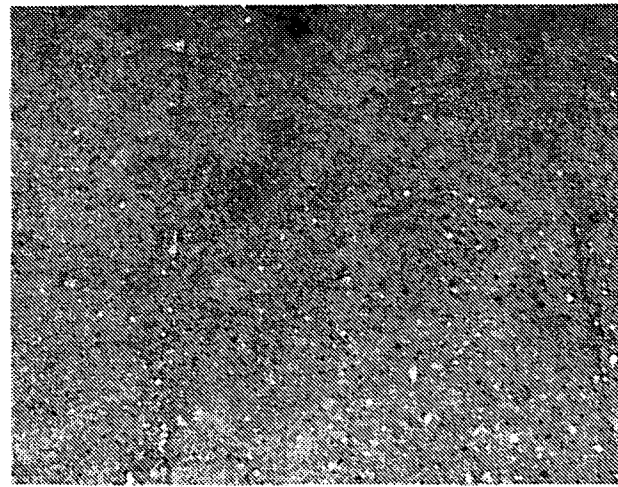
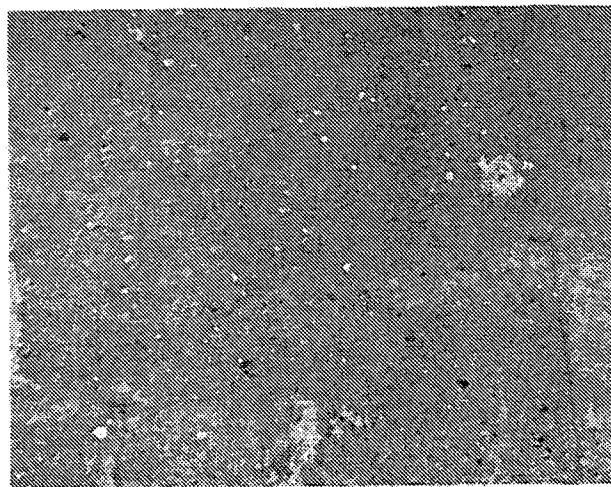
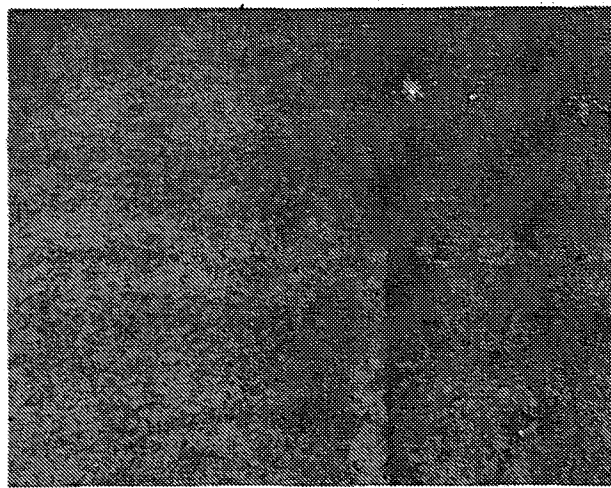
P02

GAT ③

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 22



na 0 uur golven (aanvang proef)

na 18 uur golven (einde proef)

VEROUDERING VAN DE GRASMAT GEDURENDE
DE LANGE-DUURPROEF

P 03

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1980

FOTO 24

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

De commissie adviseert de minister omtrent alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang kunnen zijn voor een doelmatige constructie en het onderhoud van waterkeringen dan wel voor de veiligheid van door waterkeringen beschermde gebieden.

