

HYDRAULISCH ONDERZOEK NAAR DE GOLFGEDREVEN
STROMINGEN BIJ EEN RECHTE DAM

VLM/1989/H/5

R.H.C. Hoyinck

3028

HYDRAULISCH ONDERZOEK NAAR DE GOLFGEDREVEN

STROMINGEN BIJ EEN RECHTE DAM

-tekst-

Door R.H.C. Hoyinck

Begeleider: prof. dr. ir. J.A. Battjes
Technische Universiteit Delft
Faculteit: Civiele Techniek
Vakgroep : Waterbouwkunde
Sektie : Vloeistofmechanica

augustus 1989.

INHOUDSOPGAVE

§1. Inleiding	1.
§2. Inrichting van het model	
2.1 Algemeen	4.
2.2 De Golfbak	8.
2.3 De Golfmachine	9.
2.4 Het waterniveau in het bassin	13.
2.5 De diepte- en lengteschaal	14.
2.6 De dam	17.
2.7 Meetplateau en meetbrug	23.
§3. Meetmethoden	
3.1 De golfhoogtebepaling	25.
3.2 Waterniveaubepaling	
3.2.1 Bij stilstaand water	33.
3.2.2 Golfopzet	34.
3.3 Stromingsmetingen	38.
3.4 Bepaling van de golfrichting	42.
3.5 De meting	43.
§4. Meetresultaten	
4.1 Algemeen	45.
4.2 De invalrichting van de golven is loodrecht op de kustlijn	
4.2.1 $h=26$ cm, $H=4$ cm ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)	50.
4.2.2 $h=26$ cm, $H=6,3$ cm ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)	54.
4.2.3 $h=22,7$ cm, $H=3,5$ cm ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)	58.
4.2.4 $h=22,7$ cm, $H=4,1$ cm ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)	64.

4.3 De invalsricting van de golven is 15° met de kustlijn	
4.3.1 $h=26,2$ cm, $H=4,3$ cm ($\theta=15^\circ$; $T=0,8$ s)	68.
4.3.2 $h=22,6$ cm, $H=4,1$ cm ($\theta=15^\circ$; $T=0,8$ s)	73.
4.4 De invalsricting van de golven is -30° met de kustlijn	
4.4.1 $h=26,2$ cm, $H=4,3$ cm ($\theta=-30^\circ$; $T=0,8$ s)	78.
4.4.2 $h=22,5$ cm, $H=4,1$ cm ($\theta=-30^\circ$; $T=0,8$ s)	81.
4.5 De invalsricting van de golven is evenwijdig aan de dam	
$h=22,6$ cm, $H=3,7$ cm. ($\theta=25^\circ$; $T=0,8$ s)	85.
4.6 De invalsricting van de golven is loodrecht op de kustlijn	
en de ruwheid van damtalud en bassinbodem is gelijk	
$h=26,2$ cm, $H=3,5$ cm. ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)	89.
§5. Evaluatie van de meetresultaten	92.
§6. Conclusies.	102.

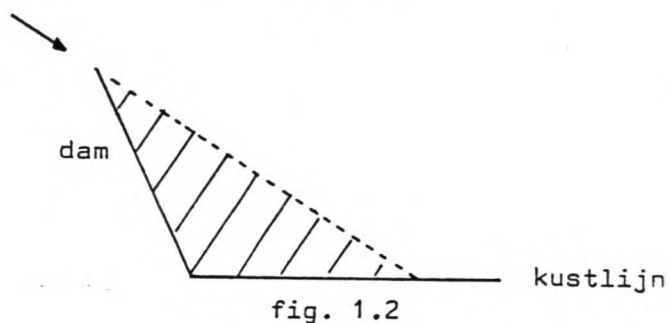
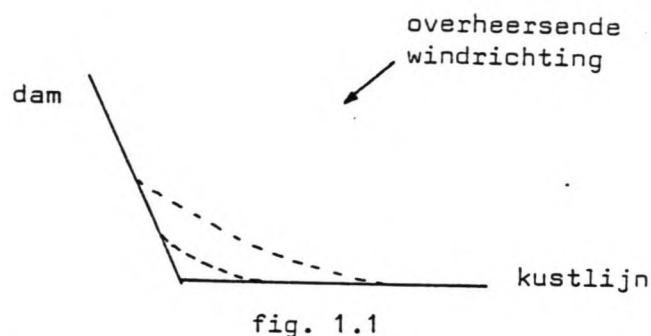
§1. INLEIDING

De invloed van een havendam op de water- en zandbeweging bij kusten is groot.

Indien de havendam langer is dan de breedte van een brekerzone zal, afhankelijk van de overheersende stromingsrichting, achter de dam aanzanding of uitschuring optreden.

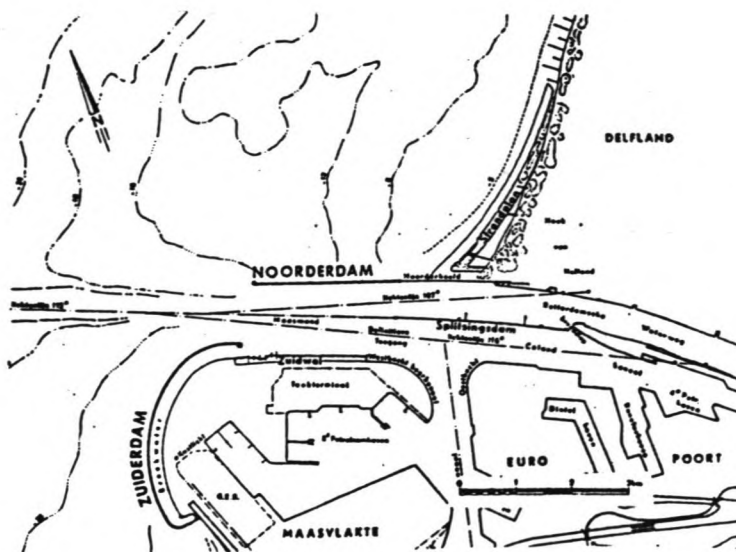
In de situatie zoals weergegeven in figuur 1.1 zal, door de langs de kustlijn naar de dam toe gerichte stroming, bij de dam aanzanding optreden.

In de situatie weergegeven in figuur 1.2 zal direct achter de dam aanzanding optreden terwijl op enige afstand van de dam uitschuring optreedt. De aanzanding direct achter de dam wordt veroorzaakt door een neer, die tengevolge van een gradiënt in de golfhoogte in het (gearceerde) schaduwgebied gevormd wordt.



In beide situaties zal direct achter de dam aanzanding optreden. Er zijn echter een aantal plaatsen bekend waar geen aanzanding maar juist erosie achter de dam optreedt, b.v. in Hoek van Holland.

Bij Hoek van Holland is in 1971, ter verbetering van de bereikbaarheid van Europoort, de Noorderdam verlengd (figuur 1.3). Verwacht werd dat door deze verlenging direct achter de dam aanzanding zou optreden, terwijl op enige afstand van de dam eventueel een achteruitgang van de kustlijn zou plaatsvinden.



In het gebied vlakbij de dam, waar de aanzanding verwacht werd, is de veronderstelde kustlijn kunstmatig met zand aangebracht, hetgeen mogelijk was door de beschikbaarheid van grote hoeveelheden zand van de Maasvlakte, waardoor de mogelijke achteruitgang op enige afstand van de dam voorkomen zou kunnen worden. Deze kunstmatig aangebrachte kustboog is in 1971 voltooid.

Uit de bewakingsmetingen blijkt echter dat de kustboog op enige afstand van de dam stabiel blijft, maar dat vlak bij de dam grote erosie optreedt. De achteruitgang van de kustlijn verloopt van circa 25 m/jaar over de eerste 400 m vanaf de dam tot enige meters per jaar op circa 700 m vanaf de dam. In de periode direkt na de suppletie was de achteruitgang veel groter (faktor 2) hetgeen mede veroorzaakt werd door de uitvlakking van het te steile dwarsprofiel na een suppletie.

In 1976/1977 is een herstelsuppletie uitgevoerd en tevens is de Noorderdam gedeeltelijk verhoogd om een mogelijke oorzaak van zandverlies over de dam te elimineren. De erosie na de herstelsuppletie vertoont echter een zelfde beeld als ervoor. De oorzaak van de grote afslag die direkt achter de dam optreedt is niet bekend. Teneinde enig inzicht te verkrijgen in het proces dat hier plaatsvindt, is het in het onderhavige rapport beschreven modelonderzoek uitgevoerd.

Een onderzoek in een (kust)model met een beweeglijke bodem is dermate complex en kostbaar dat hier van af is gezien.

Gekozen is voor een model met een vaste (betonnen) bodem, met als doel het bepalen van de door de golven opgewekte stromingen bij de dam, waaruit eventueel konklusies getrokken kunnen worden ten aanzien van de door deze stromingen veroorzaakte aanzanding en/of uitschuring.

Het onderzoek is uitgevoerd in een rechthoekig bassin, waarin onder een hoek van 115° met de rechte kustlijn een lange, rechte dam (12 m) aanwezig is. De dieptelijnen van de gladgestreken betonnen bodem van het bassin zijn recht en evenwijdig. Aangezien bij Hoek van Holland grote afslag direkt achter de dam is waargenomen bij stormen uit richtingen noordelijker dan loodrecht op de kustlijn (zie ook fig. 1.3), is in het model de invalshoek van de golven zodanig gekozen dat er geen diffractie van de golven om de kop van de dam optreedt.

Daarnaast is aangenomen dat de invloed van de getijstromingen op de zandbeweging achter de Noorderdam gering is ten opzichte van de invloed van de windgolven, zodat de getijstromingen in het model niet gesimuleerd behoeven te worden.

Bij de modelproef is uitgegaan van een bodem die reeds voor de aanvang van dit onderzoek in het bassin aanwezig was.

Dit bodemprofiel komt niet overeen met het bodemprofiel in het kustvak bij de Noorderdam. Het onderzoek wordt dan ook als een principe-onderzoek beschouwd dat gebaseerd is op de situatie bij Hoek van Holland. Wel worden de omstandigheden zoals die bij Hoek van Holland aanwezig zijn zo goed mogelijk in het model weergegeven.

Uitgaande van de beschikbare meetapparatuur en de situatie bij Hoek van Holland, worden in §2 de indeling van het model en de vorm van de modeldam bepaald.

De grootte en richtingen van de eventuele, door de golven opgewekte stromingen worden bepaald door middel van kleurstofinjectie. Naast de bepaling van de stromingsgrootheden worden tevens, zij het op beperkte schaal, de golfhoogten en de golfopzet in met name de zone bij de dam bepaald. De toegepaste meetmethoden worden in §3 behandeld.

In totaal zijn tien verschillende proeven uitgevoerd, waarbij het verschil tussen deze proeven veroorzaakt wordt door één of meer van de volgende variabelen:

- a. de waterdiepte in het bassin
- b. de golfhoogte
- c. de invalshoek van de golven.

De resultaten van de 10 verschillende proeven worden in §4 gepresenteerd en besproken, terwijl een interpretatie van de resultaten in §5 wordt gegeven.

De conclusies volgen in §6.

§2. INRICHTING VAN HET MODEL

2.1 Algemeen

Doel van het in het onderhavige rapport beschreven modelonderzoek is het verkrijgen van inzicht in de door golven veroorzaakte stromingen bij een dam die een hoek van 115° met de kustlijn maakt. Indien de prototype-omstandigheden in het model gereproduceerd zijn, kunnen de in het model verkregen meetresultaten en de naar aanleiding van die resultaten getrokken konklusies vertaald worden naar het prototype. Het reproduceren van de prototype-omstandigheden in het model stelt stringente eisen aan het model.

Naast deze theoretische eisen kunnen echter ook nog extra eisen, zowel praktische als technische, aan het model worden gesteld, b.v.:

- . Zowel de grootte van het model als de indeling van het model is afhankelijk van de grootte van het bassin waarin het modelonderzoek verricht wordt.
- . De vereiste invalshoek van de golven, golfhoogte en golfperiode moeten in het model verkregen kunnen worden.
- . De beschikbare meetapparatuur moet geschikt zijn voor het bepalen van de te meten grootte.
- . Er zal rekening gehouden moeten worden met de wijze waarop een bepaalde meting uitgevoerd kan worden.

Om deze reden wordt in dit hoofdstuk, naast de modelindeling, tevens de werking en de mogelijkheden van de golfmachine behandeld, alswel de (hulp)installaties die benut zijn bij het verrichten van de metingen.

Bij een goede reproductie van de prototype-situatie in het ^{schaal}~~numerieke~~ model zijn de processen die zich in het prototype en het model voordoen gelijk.

Eén van de voorwaarden noodzakelijk voor een goede simulatie van de in het prototype optredende processen is onder andere dat de bodemprofielen in het model en het prototype een grote gelijkvormigheid bezitten.

~~afvaren al~~

Indien de diepteschaal en de lengteschaal in het model aan elkaar gelijk zijn (niet-samengetrokken model), komt de in het model/aanwezige bodemhelling, niet overeen met de bodemhellingen in het kustgebied bij de Noorderdam. De gelijkvormigheid tussen beide bodemprofielen zou in principe vergroot kunnen worden door het model te beschouwen als een samengetrokken model ($n_1 \neq n_d$).

Samentrekking van het model zal echter consequenties hebben ten aanzien van de schalen van verschillende grootheden, waarvan verwacht wordt dat ze kenmerkend zijn voor het proces bij de dam en de kustlijn waardoor schaalears effecten op zullen treden, bijvoorbeeld:

- Een belangrijke grootheid kenmerkend voor het proces bij de dam en bij de kustlijn is de brekerindex γ , gedefinieerd door

geen definitie

$$\gamma = (\xi)^{0.17+0.08} \text{ waarin } \xi = \frac{m}{\sqrt{H_0/L_0}}$$

m = bodemhelling
 H_0, L_0 = respectievelijk golfhoogte en golflengte op diepwater.

Gewenst is dat $n_\gamma = 1$. Hiervoor is nodig $n_\xi = 1$.

$$n_\xi = 1 \text{ ofwel } n_{L_0} = n_1^2 / n_d \quad (2.1)$$

met n_1 = lengteschaal van het model

n_d = diepteschaal van het model

De voortplantingssnelheid c van de golven:

$$\text{Diep water : } c \approx \sqrt{g/k} \quad n_c = n_L \quad (2.2)$$

$$\text{Ondiep water: } c \approx \sqrt{gd} \quad n_c = \sqrt{n_d} \quad (2.3)$$

Niet juist

Aangezien in het model de golven komen van diep water en naar ondiep water gaan zal zowel aan (2.1), (2.2) als ook (2.3) voldaan moeten worden, hetgeen niet mogelijk is als $n_d \neq n_1$. Er zullen dus schaalears effecten optreden (de schalen van de afgeleide grootheden zijn niet konstant).

(Het bovenstaande had ook aangetoond kunnen worden met één van de termen $\sinh kd$, $\cosh kd$ of $\tanh kd$; Bij de afleiding van de belangrijke grootheden komt bijna altijd één van deze termen voor en omdat de golven van diep water naar ondiep water gaan, zijn de drie termen niet te vereenvoudigen. In geen van de termen treden schaalears effecten op indien:

$$n_k = \frac{1}{n_d} \text{ ofwel } n_L = n_d;$$

wordt niet aan deze schaalvoorwaarde voldaan dan zullen wel schaafeffekten optreden.)

Ten gevolge van de schaafeffekten kunnen de modelresultaten niet zonder meer naar het prototype worden vertaald, alhoewel de invloed van de schaafeffekten beperkt zal blijven indien de samenstrekkingsfactor $r (=n_L/n_d)$ niet al te groot wordt (3 á 5, zwak samengetrokken).

Ondanks dat de overeenkomst tussen bodemgeometrie in het model en prototype bij een samengetrokken model vergroot kan worden, is hier niet voor gekozen, omdat:

- . Door de onveranderlijke geometrie van de bassinbodem (rechte en evenwijdige dieptelijnen), de overeenkomst tussen het bodemprofiel bij Hoek van Holland (zie bijlage II.1) en het bassin slechts gering blijft.
- . Bij een samengetrokken model de processen bij de dam in het model en de Noorderdam verschillen.
- . Naast het niet exact kunnen schalen van de bodemgeometrie in het model hoe dan ook problemen ontstaan met het ontwerpen van de modeldam, aangezien de ruwheid en de doorlatendheid van de dam onbekend zijn en ook niet op een eenvoudige manier bepaald kunnen worden (zie ook §2.6). Dit betekent dat onafhankelijk van de bodemgeometrie de processen die zich bij de Noorderdam en bij de modeldam afspelen verschillend zullen zijn.

De consequentie is dat de bodemgeometrie en diens gevolg ook de waterbeweging in het model en het kustvak bij Hoek van Holland verschillend zijn, waardoor de modelwaarnemingen niet zonder meer naar de prototype-situatie vertaald kunnen worden.

Het modelonderzoek moet dan ook als een principe-onderzoek worden beschouwd dat slechts gebaseerd is op de situatie bij Hoek van Holland.

Bij het onderzoek is er echter wel vanuit gegaan dat de situatie zoals die bij Hoek van Holland aanwezig is zo goed mogelijk in het model weergegeven moet worden.

Bij de bepaling van de modelgrootheden worden schaalvoorwaarden gebruikt waarbij de grootheden zoals die bij Hoek van Holland aanwezig zijn als de prototype-grootheden worden beschouwd. Verondersteld is dat het model een niet-samengetrokken model is.

De situatie bij Hoek van Holland is echter niet het prototype van de situatie in het model. Het is dan ook eigenlijk niet correct om in dit verband het begrip schaal te gebruiken.

De onverwachte erosie achter de dam is niet alleen een verschijnsel dat bij Hoek van Holland, maar ook in Japan (Sendai Port -zie lit.6) is waargenomen.

In beide situaties valt de vorm en de ligging van de havendam op, namelijk een lange, rechte dam niet loodrecht op de kustlijn. Alhoewel het niet is aangetoond, lijkt het met name van belang dat deze kenmerken zo goed mogelijk in het model aanwezig zijn.

Daarnaast wordt het van belang geacht dat onder meer de:

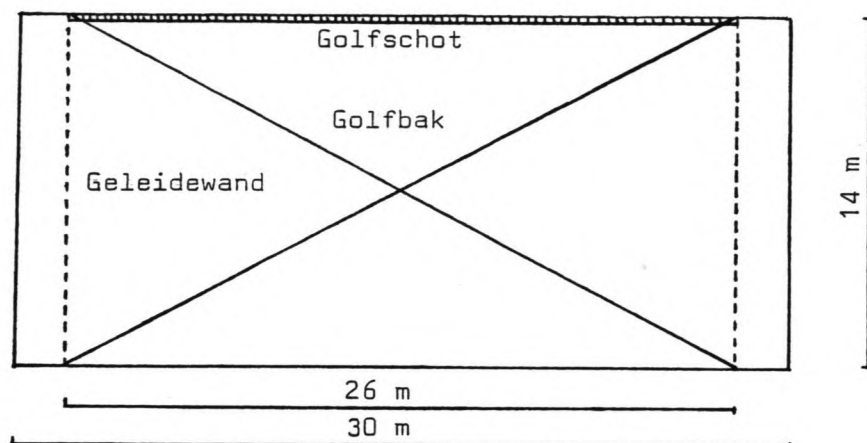
- golfperiode, hoogte en - invalshoek
- type golfbreker
- hoek dam-kustlijn
- kruinhoogte dam
- etc.

goed worden weergegeven in het model.

2.2 De golfbak

De in dit rapport beschreven experimenten zijn uitgevoerd in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de T.U.-Delft. Ter beschikking is een rechthoekig bassin met een lengte van 14 m en een breedte van 30 m. Op circa 2 m van de zijwanden van het bassin zijn in de lengterichting van het bassin geleidewanden gebouwd bestaande uit op elkaar gestapelde open stenen.

Het gedeelte van het bassin tussen de geleidewanden wordt, vanwege de aanwezigheid van een golfmachine, in het vervolg de golfbak genoemd (zie figuur 2.1). De functie van de open geleidewanden is het absorberen

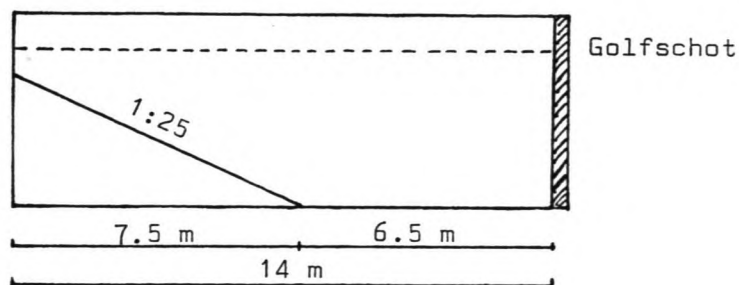


BOVENAANZICHT BASSIN

fig. 2.1

van een gedeelte van de golfenergie, waardoor de reflectie van de op de geleidewanden invallende golven grotendeels gereduceerd wordt. Indien de open geleidewanden niet aanwezig zouden zijn, zou de reflectie van de invallende golven tegen de zijwanden van het bassin groot zijn, waardoor het met de golfmachine opgewekte golfveld danig verstoord zou worden.

De gladgestreken betonnen bodem van de golfbak is tussen het golfschot en 6,5 m vanaf het golfschot horizontaal (zie fig. 2.2) en van daar tot aan de voorwand van het bassin is de bodemhelling 1:25 (deze bodemhelling was reeds voor de aanvang van dit onderzoek aanwezig).



DWARSDOORSNEDE GOLFBAK

fig. 2.2

2.3 De golfmachine

Bij Hoek van Holland is uit waarnemingen gebleken dat de grote kustafslag direkt achter de dam met name optreedt bij stormen uit richtingen loodrecht en noordelijker dan loodrecht op de kustlijn (zie fig. 1.3). In het Waterloopkundig Laboratorium is een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de getijstroming op de havenmond-uitbreiding bij Hoek van Holland (zie lit. 9). Aangezien bij het modelonderzoek slechts geringe snelheden worden waargenomen direkt ten noorden van de Noorderdam, wordt verondersteld dat de getijbeweging niet de direkte oorzaak van de kustlijnachteruitgang is, echter het getij zal wel invloed op de door de windgolven opgewekte stromingen bij de dam hebben. Het is onmogelijk de gehele getijcyclus in het model te reproduceren, doch wel bepaalde momenten uit die cyclus b.v. het tijdstip waarop de snelheden van de door het getij veroorzaakte stromingen maximaal zijn. De stromingen behorende bij dit tijdstip kunnen in het model worden verkregen door het instellen van een dwarsstroming in de golfbak.

Het modelonderzoek echter is uitgevoerd met als doel inzicht te krijgen in de oorzaak van de grote erosie direkt achter de dam en daar deze afslag met name optreedt bij windgolven uit de richting loodrecht en noordelijker dan loodrecht op de kustlijn, terwijl de stroomsnelheden in het bewuste kustgebied ten gevolge van het getij gering zijn, wordt de invloed van het getij op de stromingen achterwege gelaten. De in het model eventueel bij de dam en/of kustlijn opgewekte stromingen worden dus alleen door de windgolven veroorzaakt.

In het model worden de windgolven gesimuleerd met behulp van een over de gehele breedte van de golfbak aanwezige golfmachine. Met de golfmachine kan echter alleen een regelmatig golfveld (in golfhoogte, golf-invalshoek en golfperiode) worden opgewekt terwijl de in de natuur voorkomende windgolven onregelmatig zijn in richting, periode en hoogte. Het schematiseren van een onregelmatig golfveld naar een regelmatig golfveld kan aanzienlijke gevolgen hebben; zo zullen bijvoorbeeld, indien de golfhoogte niet gekenmerkt wordt door één waarde voor de golfhoogte maar door bijvoorbeeld de Rayleigh verdeling, de golfspanningstermen veranderen hetgeen direkt resulteert in een verandering van de golfspanningsafhankelijke grootheden, bijvoorbeeld de langsstroomsnelheid en de set-up (zie lit. 2).

De beweging van de golfmachine wordt via een rubber schot bestaande uit lamellen met een breedte van 0,40 m overgebracht op het water. Met behulp van de aan de golfmachine instelbare grootheden (fasen van de lamellen, translatie-amplitude, periode, rotatie-amplitude) worden de gewenste:

- a. golfinvalshoek
- b. golfhoogte
- c. golfperiode
- d. golfvorm

verkregen.

Zij worden achtereenvolgens behandeld:

ad a. De golfinvalshoek.

Het is mogelijk de golven onder een hoek met de golfmachine te laten uitstralen. Dit geschiedt door het instellen van een faseverschil tussen de rubberlamellen (0,40 m breed) van het golfschot waarmee de golfbeweging op het water overgebracht wordt.

Berekening faseverschil

(zie fig. 2.3):

. Gegeven waterdiepte h_0
voor het golfschot

. Gegeven periode T

$$L_0 (= \frac{gT^2}{2\pi})$$

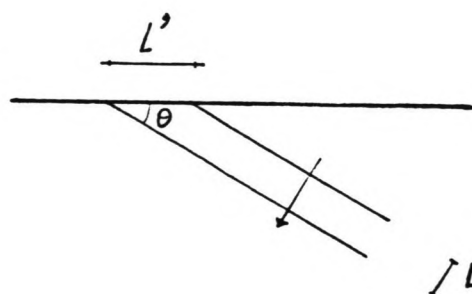


fig. 2.3

$$\left. \begin{array}{l} h_0 \\ L_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{h_0}{L_0} \xrightarrow{\text{tabel}} \tanh kh \rightarrow L (= L_0 \tanh kd) \left. \vphantom{\frac{h_0}{L_0}} \right\} \Rightarrow L' = \frac{L}{\sin \theta}$$

Gegeven: invalshoek θ

$$\begin{aligned} \text{Het in te stellen faseverschil} &: = \frac{360^\circ}{L'} \times \text{lamelbreedte} \\ &= \frac{360^\circ}{L'} \times 0,40 \end{aligned}$$

Bij de onder een hoek met de de golfmachine uitstralende golven worden de rubberlamellen, tengevolge van het in te stellen faseverschil, opgerekt; de rek is afhankelijk van de combinatie golfhoogte H , golfinvalshoek θ en waterdiepte h . Dit betekent dat bij het bepalen van de golfmachine-instelling rekening gehouden moet worden met de maximale rek van de rubberlamellen (circa 0,05-0,07 m), doch bij de in dit verslag beschreven proevenserie is geen belemmering ondervonden ten aanzien van voorgenomen combinaties (H , θ , h).

ad b. De golfhoogte.

Via de regelbare maximale uitslag (amplitude) van de lamellen van het golfschot wordt de gewenste golfhoogte voor het golfschot verkregen.

Aangezien de golfhoogte niet alleen afhankelijk is van de maximale uitslag van het golfschot maar ook van bijvoorbeeld de waterdiepte in het bassin en van de periode, is het niet mogelijk elke gewenste golfhoogte (direkt) in te stellen.

Aangezien de amplitude van de verplaatsing van alle lamellen gelijk is, is het golfveld voor het golfschot theoretisch uniform. In de praktijk blijkt de golfhoogte langs een raai evenwijdig aan het golfschot te variëren. Deze variatie in de golfhoogte kan een gevolg zijn van bijvoorbeeld:

- . de invloed van de damconstructie
- . de invloed van een stroming bij het golfschot
- . waterstandsverhang in het bassin ten gevolge van een circulatiestroming in het bassin.

Gezien

Ondanks deze variatie in de golfhoogte wordt voor het bepalen van de golfhoogte voor het golfschot de gemiddelde waarde berekend van de golfhoogten in verschillende punten gelegen op een raai, vlak voor en evenwijdig aan het golfschot.

ad c. De golfperiode.

De golfperiode is een onafhankelijk van de overige parameters direct op de golfmachine instelbare grootheid.

Aangezien de vorm van de golven voor het golfschot ook een grootheid is die op de golfmachine ingesteld moet worden (zie ad. d) en deze grootheid afhankelijk is van meerdere variabelen, waaronder de golfperiode T , kan het voorkomen dat bij de reeds voorgenomen combinatie van waterdiepte h en golfperiode de gewenste golfvorm niet in het model verkregen kan worden.

De gewenste periode van de modelgolven is derhalve afhankelijk van de gewenste vorm van de golven in het model.

ad d. De golfvorm

Met het golfschot kan zowel een roterende als een translaterende beweging worden gemaakt, waardoor het mogelijk is verschillende golfvormen op te wekken; de verhouding tussen beide wordt middels de slaghoek op de golfmachine ingesteld. Wordt, zoals tijdens de proef, uitgegaan van sinusvormige golven voor het golfschot, dan is de optimale slaghoek een functie van de golfperiode (T) en de waterdiepte voor het golfschot (h). (Hierbij dient wel bedacht te worden dat al wordt de ideale golf opgewekt, dan nog ontstaat een verschil tussen de theorie en de werkelijkheid omdat bijvoorbeeld de golven in het bassin worden opgewekt met een star golfschot, waardoor de orbitaalsnelheden ~~in het bassin~~ ^{ter plaatse} niet overeenkomen met de snelheden in theorie.)

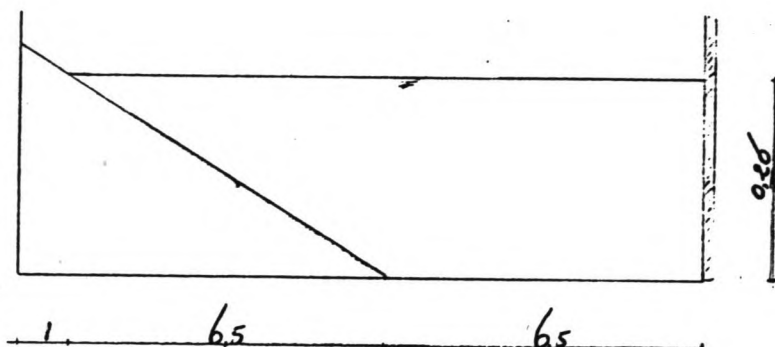
een uniforme, lopende golf.

2.4 Het waterniveau in het bassin

Zoals in § 2.1 reeds is beschreven is onder andere een grote lengte van de modeldam gewenst.

Een maximale damlengte kan onder andere verkregen worden door het optimaal benutten van de lengte van het bassin (14 m).

Rekening houdend met de golfopzet en enige loopruimte voor zowel de bereikbaarheid van apparatuur en het meetplateau als voor het verrichten van metingen langs de kustlijn, wordt de waterlijn gekozen op 13 m vanaf het golfschot (ofwel er is circa 1 m tussen de waterlijn en de rand van het bassin; zie fig.2.4), zodat de waterdiepte voor het golfschot 0,26 m wordt.



Dwarsdoorsnede bassin

(niet op schaal)

fig. 2.4

Bij de uitgevoerde proeven met een waterdiepte van 0,26 m zijn bij een aantal golfinvalsrichtingen onverwachte stromingen in de zone dam-kustlijn waargenomen. Zo is bijvoorbeeld bij de loodrecht op de kustlijn invallende golven een stroming langs de dam waargenomen gericht van de kustlijn naar de kop van de dam toe.

Bij proeven met een waterdiepte van 0,26 m zijn geen brekende golven *van de* *dam* waargenomen.

Aangezien het aannemelijk is dat de waargenomen stromingsbeelden significant veranderen indien wel een brekerzone langs de dam ontstaat, zijn proeven uitgevoerd met een gelijke golfinvalsrichting en golfperiode waarbij de golven langs de dam wel breken.

Bij deze proeven is de waterdiepte in het bassin verlaagd tot circa 0,22 m. (Verhogen van de golfhoogte resulteerde niet in het breken van de golven, maar alleen in toename golfoverslag.)

2.5 De diepte- en lengteschaal

Bij het onderzoek is er van uitgegaan dat de situatie bij Hoek van Holland zo goed mogelijk in het model weergegeven moet worden.

Bij de bepaling van de grootheden in het niet-samengetrokken model wordt de situatie zoals die bij Hoek van Holland aanwezig is als de prototype-situatie beschouwd (zie §2.1).

Bij de bepaling van de schaal van het model moet onder meer rekening worden gehouden met:

- a) de lengte van de modeldam
- b) de golfhoogte
- c) de ruwheid van de bassinbodem
- d) de invloed van de oppervlaktespanning.

ad a) Lengte modeldam

Opmerkelijk aan de situaties bij Hoek van Holland en Sendai Port is dat de dam een hoek met de kust maakt en dat de dam erg lang en recht is.

Bij het onderzoek wordt een goede weergave van de damlengte in het model van groot belang geacht.

De gewenste damlengte kan in het model verkregen worden door een combinatie van de werkelijke lengte van de modeldam en de lengteschaal van het model.

Aangezien echter de verschillende in het model optredende processen het duidelijkste waargenomen kunnen worden bij een minimale lengteschaal, zal de lengte van de modeldam maximaal moeten zijn.

Uitgaande van een dam van circa 3000 m bij Hoek van Holland en een beschikbare damlengte in het model van circa 12 m zou de schaal van het model 1:250 *zijn*.

ad b) De golfhoogte

De processen die in het model optreden zijn minder goed waarneembaar naarmate de golfhoogte in het model lager is. Aangenomen is dat de processen goed waarneembaar zijn bij een golfhoogte in het model van circa 4 cm.

Uitgaande van een golfhoogte van 4 m bij Hoek van Holland zou de schaal van het model 1:100 zijn.

ad c) De oppervlaktespanning

Bij modelproeven moet rekening worden gehouden met de oppervlaktespanning. De invloed van de oppervlaktespanning op de voortplantingssnelheid c , kan verwaarloosd worden indien de golflengte L minstens enkele malen groter is dan 0,17 m (zie lit.7).

ad d) De bodemruwheid

De bodemruwheid in het kustgebied bij Hoek van Holland is niet bekend maar verondersteld wordt dat deze in de orde van circa 5-10 cm is.

De ruwheid van de gladgestreken betonbodem in het model is gelijk aan circa 1 mm.

Uit de voorwaarde dat de schaal van de bodemruwheid gelijk is aan de diepteschaal, $n_T = n_D$ (indien $n_T \neq n_D$ treden schaaleffekten op) volgt dat de diepteschaal van het model gelijk moet zijn $10^{-1} \text{ m} / 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow n_D \approx 100$.

Aangezien de eisen, die aan de hand van de bovenstaande criteria aan de diepteschaal gesteld worden, gedeeltelijk tegenstrijdig zijn, zal een afweging gemaakt moeten worden tussen de criteria.

Een goede weergave van de lengte van de dam wordt van belang geacht bij het onderzoek. De bij deze voorwaarde behorende schaal van het model, $n=250$, is echter dermate groot dat verwacht wordt dat de in het model optredende processen onvoldoende nauwkeurig waargenomen kunnen worden ($H \approx 1,6 \text{ cm}$).

Gekozen is dan ook voor een kleinere schaal:

$$n_D = n_l = 100.$$

De schaal van de golfperiode is gelijk aan de wortel uit de diepteschaal (zie lit.7). Uitgaande van een golfperiode van 8 s bij Hoek van Holland worden de golfperiode T in het model 0,8 s en de golflengte in het model 1 m.

De invloed van de oppervlaktespanning op de voortplantingssnelheid c is derhalve in het model verwaarloosbaar.

De lengte van de modeldam is veel kleiner dan deze zou moeten zijn. Uitgaande van een 12 m lange dam in het model (zie § 2.6) en schaal 1:100, zou de dam in het prototype 1200 m moeten zijn, terwijl de lengte van de Noorderdam 3500 m is.

Deze aanzienlijk kortere lengte van de modeldam kan grote gevolgen hebben op het stromingsbeeld; zo zal bijvoorbeeld indien langs de dam een brekerzone ontstaat waarbinnen een stroming wordt opgewekt, de lengte waarin deze stroming zich kan ontwikkelen (zie lit. 4) van belang zijn.

2.6 De dam

Bij het principe-onderzoek wordt er van uitgegaan dat de modeldam zodanig ontworpen moet worden dat de processen bij de modeldam en de Noorderdam bij Hoek van Holland min of meer gelijk zijn indien het golfbeeld bij beide dammen gelijk zou zijn.

De bodemgeometrie en de waterbeweging komen in het model en het kustvak bij Hoek van Holland echter niet overeen. Vanwege deze verschillen wordt, indien een exacte reproductie van de Noorderdam in het model erg kostbaar zou worden, bijvoorbeeld door de detaillering van de modeldam, een geschematiseerde modeldam toegestaan.

Het ontwerp van de modeldam is gesplitst in twee delen:

- a) de bepaling van de vorm en afmetingen van het dwarsprofiel
- b) de bepaling van de constructiematerialen van de modeldam.

ad a) Vorm en afmetingen van het dwarsprofiel

Het proces bij de model- en prototype dam is, uitgaande van een niet-samengetrokken model en een gelijkvormig golfveld in het model en prototype, alleen dan identiek indien het dwarsprofiel van de modeldam gelijkvormig is aan het dwarsprofiel van de prototype dam.

Dit betekent dat met de geometrie van de prototype-dam en de lengte- en diepteschaal van de model ($n_d = n_l = 100$) de vorm en de afmetingen van de modeldam zijn bepaald.

Naast de plaats en richting van de modeldam in het horizontale vlak moet eveneens de plaats van de dam in het verticale vlak worden bepaald.

Bij de prototype-dam zijn de niveaus (hoogten) van de kenmerkende punten gegeven ten opzichte van het N.A.P. In het model is derhalve een referentieniveau gekozen dat overeenkomt met het N.A.P. in het prototype; het referentieniveau is dat niveau in het bassin dat overeenkomt met een gemiddelde waterdiepte van 0,26 m voor het golfschot (zie §2.4).

Alhoewel het lijkt dat het dwarsprofiel van de modeldam met de bovenstaande gegevens bepaald kan worden ontstaan toch een tweetal problemen bij het onderwerp, te weten:

1. In het model is de waterdiepte voor het golfshot (0,26 m) veel groter dan de waterdiepte die op grond van de bij de Noorderdam aanwezige diepte (10 m⁻ N.A.P) en de diepteschaal ($\eta_d=100$) aanwezig zou moeten zijn (0,10 m).

Dit betekent dat in het model het damgedeelte tussen 0,10 m⁻ en 0,26 m⁻ (0-niveau) zelf bepaald zal moeten worden.

2. De dwarsdoorsnede van de Noorderdam is langs de dam-as niet constant (zie bijlage II.1). Deze variaties in het dwarsprofiel kunnen ook bij de modeldam aangebracht worden.

Aangezien de processen bij de modeldam en de Noorderdam echter grote verschillen vertonen wordt het niet zinvol geacht de modeldam dermate gedetailleerd in het model weer te geven.

In het model wordt dan ook volstaan met een dam met een konstante dwarsdoorsnede.

Uitgaande van twee verschillende doorsneden van de Noorderdam (zie bijlage II.1) is het geschematiseerde profiel van de dwarsdoorsnede van de modeldam bepaald zoals aangegeven in bijlage II.2.

ad b. Bepaling van de konstruktiematerialen

De dimensionering van het materiaal waaruit de modeldam opgebouwd moet worden is erg complex vanwege het grote aantal verschillende facetten waarmee bij het ontwerp rekening gehouden moet worden.

De bij de dam aangevoerde energie wordt gedeeltelijk:

- a. vernietigd door brekende golven
- b. gereflekteerd tegen de dam
- c. door de dam getransporteerd
- d. over de dam getransporteerd.

De verhouding waarin de energiestroom tussen de verschillende bovenstaande factoren verdeeld wordt is, naast de geometrie van de constructie en het invallende golfveld (middels de coëfficiënt $\xi = m/\sqrt{H_o/L_o}$), in belangrijke mate afhankelijk van de hoogte, de ruwheid en de doorlatendheid van de damconstructie.

Aangenomen dat in het niet-samengetrokken model ($n_1 = n_d$) de model-dam en de dam in het prototype geometrisch gelijkvormig zijn, en dat het golfveld in het model zodanig geschaald is, dat de groot-[?] *heide* heid in het model en prototype dezelfde waarde heeft, dan zal het proces bij een ruwe en/of doorlatende dam in het model gelijk zijn aan het proces bij de prototype dam indien:

- de reductiecoëfficiënten van de golfreflectie in het model en het prototype gelijk zijn
- de verhouding tussen de door de dam getransporteerde hoeveelheid energie en de naar de dam toe gevoerde hoeveelheid energie in het model en het prototype gelijk is.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat zowel de doorlatendheid als de ruwheid van de prototype-dam bekend moeten zijn voor het schalen van de modeldam.

Probleem is echter dat beide grootheden niet alleen onbekend zijn, maar tevens ook niet op een eenvoudige wijze bepaald kunnen worden, bijvoorbeeld: de ruwheid van de taludhellingen is vanwege de grove gebruikte materialen niet met behulp van grafieken en/of formules te bepalen. Indien de ruwheid van de damconstructie toch bekend moet zijn, dan zal deze met behulp van een aparte (model)proevenserie bepaald moeten worden. Eenzelfde probleem is aanwezig bij de bepaling van de doorlatendheid van de constructie. Ook deze grootheid zal middels een proevenserie bepaald moeten worden, waarbij dan bovendien nog rekening gehouden zou moeten worden met het optreden van schaaleffekten (stromingen door een poreuze dam).

Aangezien door de niet-overeenkomende bodemgeometrie in het prototype en het model de processen bij de dam in het model en het prototype verschillend zijn, is besloten de ruwheid en de doorlatendheid van de Noorderdam niet middels een aparte proevenserie te bepalen maar de waarden van beide grootheden min of meer willekeurig aan te nemen.

Ten aanzien van de doordringing van golven door een constructie kan worden opgemerkt dat de doordringing naast de doorlatendheid van de constructie eveneens afhankelijk is van de golfperiode. In het algemeen wordt aangenomen dat bij rubble-mound golfbrekers, het type golfbrekers waartoe de Noorderdam behoort, de doordringing ten gevolge van golven verwaarloosd kan worden, indien de periode van de golven kleiner is dan circa 12 s (zie lit.3). Bij Hoek van Holland is de periode van de golven in de orde van 8 s, zodat in het model volstaan kan worden met een ondoorlatende damconstructie. Hierbij dient echter wel in ogenschouw genomen te worden dat, alhoewel geen energietransport door de dam plaats vindt, de damopbouw wel van belang kan zijn in verband met de energiedissipatie ter plaatse van het damoppervlak.

Ten aanzien van de ruwheid kan worden opgemerkt dat aangezien de Noorderdam is opgebouwd uit een groot aantal verschillende materialen (zie bijlage II.1), de ruwheid langs de omtrek van het dwarsprofiel van de dam zal variëren. Aangezien echter enerzijds de ruwheid langs de omtrek van het dwarsprofiel van de Noorderdam totaal onbekend is, terwijl er anderzijds grote verschillen in het proces bij de model- en prototype dam zullen optreden, wordt in het model volstaan met constante ruwheid van het onderwatertalud van de modeldam.

Bij het modelonderzoek wordt uitgegaan van een waterondoorlatende constructie. Van de modeldam is derhalve slechts de door de golven aangevallen zijde (zeezijde) van de damconstructie van belang, en kan met de bouw van alleen deze zijde van de dam volstaan worden. Deze (halve) damconstructie is gemaakt van beton met een dwarsdoorsnede conform bijlage II.2. De grote ruwheid van het onderwatertalud van de modeldam is naderhand verkregen door het aanbrengen van split ($D_{50}=0,65$ cm; zie bijlage II.2), dat met cement op het talud is vastgemaakt.

In de zone van 6 cm^- tot 2 cm^+ (referentieniveau) zijn bij de modeldam, net als in het prototype, onder een helling van 1:1,5 kubussen met een ribbe $R=3$ cm (de ribbe van de kubussen in het prototype is 2,55 m) willekeurig geplaatst.

Indien de kubussen zonder extra voorzieningen direct op de betonnen bodem worden geplaatst, zal de energiedissipatie binnen deze constructie gering zijn en derhalve de reflectie van de golven tegen de bodem met kubussen erg groot zijn. Teneinde dit te voorkomen zijn de kubussen, twee rijen dik, willekeurig geplaatst op een grof grind bed (zie bijlage II.3), zodat een gedeelte van de golfenergie zowel door de kubussen als door het grindbed geabsorbeerd wordt waardoor de reflectie reduceert. Bij de kop van de dam is, opdat de diepten geleidelijk verlopen, een overgangsconstructie tussen de dam en de bodem van het bassin aangebracht. Deze constructie, die van bovenaf gezien de vorm van een kwart cirkel heeft (zie bijlage II.3), is opgebouwd uit grof grind, dat niet door de golven en/of stromingen weggespoeld wordt. Vervolgens worden respectievelijk de hoek tussen de dam en de kustlijn, de lengte van de modeldam en de plaats van de dam in het bassin bepaald:

- . Hoek dam-kustlijn

Eén van de uitgangspunten bij het modelontwerp is dat de dam net als de Noorderdam niet loodrecht op de kustlijn geplaatst wordt. Uitgaande van het geschematiseerde bodemprofiel zoals dit in mei 1977 bij Hoek van Holland aanwezig was is de modeldam onder een hoek van 115° met de kustlijn geplaatst.

- . Lengte van de modeldam

De lengte van de modeldam moet maximaal zijn (zie §2.5). Bij de bepaling van de damlengte moet er rekening worden gehouden met golfoverslag over de dam omdat de hoogte van de kruin van de dam boven het gemiddelde waterniveau gering is. Opdat tijdens de proeven waarbij overslag over de dam optreedt het waterniveau in het bassin constant blijft dienen de zones voor en achter de dam met elkaar in verbinding te staan zodat het overgeslagen water terug kan stromen. Bij de bepaling van de plaats en de grootte van de verbinding tussen de zone voor en achter de dam moet er rekening mee gehouden worden dat zowel het golfveld als het eventueel aanwezige stromingsveld niet of slechts zeer gering door deze retourstroming beïnvloed mag worden. Om deze reden is de verbinding tussen de kop van de dam en het golfschot gekozen met een lengte van circa 2 m zodat de stroomsnelheden door de opening gering zijn, terwijl de reductie van de damlengte niet al te groot is.

Uitgaande van een hoek van 115° tussen de dam-as en de kustlijn en een opening van circa 2 m tussen het golfschot en de kop van de dam, wordt de lengte van de modeldam circa 12 m.

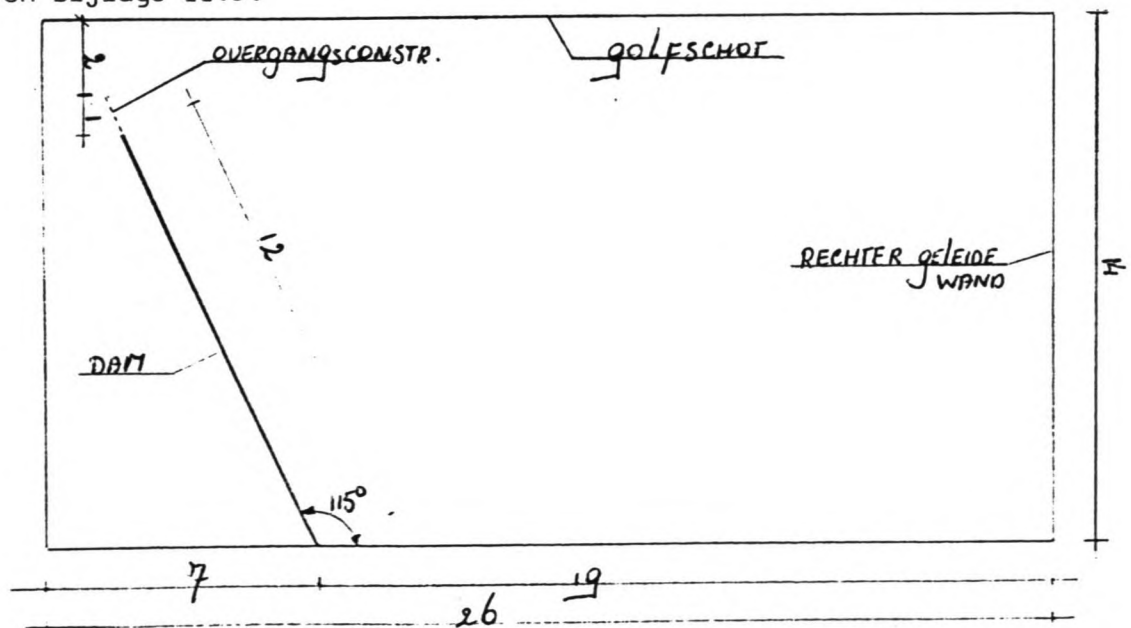
. Plaats van de dam in het bassin

Het primaire doel van het modelonderzoek is het bepalen van de door de golven opgewekte stromingen in met name de zone bij de dam (de plaats waar in het prototype de grote onverwachte kustafslag plaatsvindt). De stromingen in het resterende gedeelte van het bassin dienen echter ook bepaald te worden, omdat deze invloed kunnen hebben op het stromingsbeeld bij de dam waarbij met name de invloed van de direct door de golven opgewekte stroming langs de kustlijn groot kan zijn. Aangezien deze langs de kustlijn gerichte stroming niet direct een maximale (constante) snelheid zal bezitten, doch een snelheid die zich langs de kustlijn ontwikkelt tot de maximale waarde (afhankelijk van θ , T , H , m) wordt bereikt, is een maximale lengte van de kustlijn in het model vereist.

Gegeven? Verondersteld is dat de grote afslag direct achter de Noorderdam optreedt bij een golfinvalsrichting die evenwijdig aan de dam of noorderlijker is, ofwel een zodanige invalrichting van de golven dat geen golfdiffractie om de kop van de dam optreedt. De plaats van de dam in het model moet derhalve zodanig worden gekozen dat de golven evenwijdig aan de dam-as kunnen invallen.

Rekening houdende met beide voorwaarden is voor de aanzet van de dam op circa 19 m vanaf de rechter geleidewand gekozen.

De gekozen inrichting van het model wordt weergegeven in figuur 2.5. en bijlage II.3.



Indeling bassin (maten in m) fig. 2.5

2.7 Meetplateau en meetbrug

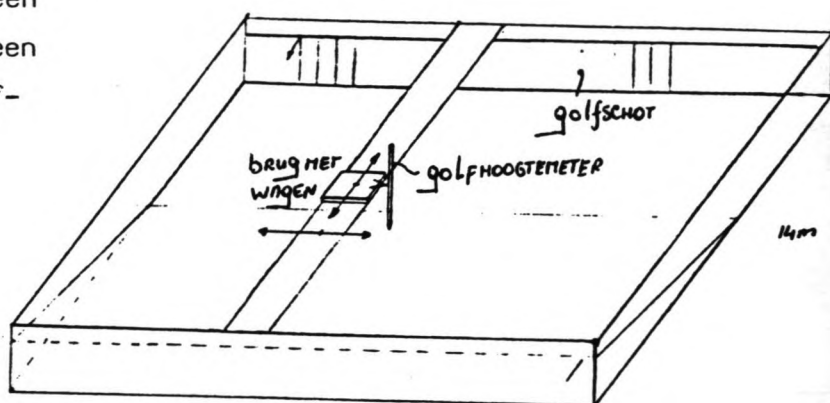
Zoals in §2.1 vermeld, worden in dit hoofdstuk ook de (hulp)installaties behandeld die bij de metingen zijn gebruikt.

Het meetplateau, de meetbrug en de loopbrug over het bassin zijn de drie tijdens de proef gebruikte (hulp)installaties.

. Meetbrug.

Tussen de voor- en de achterwand (14 m) van het bassin is een brug aanwezig met daarop een wagentje, waaraan een golfhoogtemeter bevestigd is (zie fig.2.6).

De brug en de wagen zijn onafhankelijk van elkaar verplaatsbaar en hebben een zodanig bereik dat de wagen en dus de golfhoogtemeter boven nagenoeg iedere plaats in het bassin geplaatst kan worden (nagenoeg, omdat problemen ontstaan bij de randen van het bassin).



Meetinstallatie

fig. 2.6

Aangezien de brug horizontaal is steekt de golfhoogtemeter, bij stilstaand water, altijd even ver onder de stil-waterspiegel (zie §3.1), waardoor de golfhoogtemetingen in verschillende roosterpunten continu na elkaar bepaald kunnen worden zonder dat problemen ontstaan ten gevolge van de afstand tussen de onderkant van de golfhoogtemeter en de waterspiegel (bij stilstaand water).

Een ander voordeel van deze vanaf de zijkant van het bassin verplaatsbare installatie (brug met wagen) is dat op snelle wijze de wagen met golfhoogtemeter boven een nieuw meetpunt geplaatst kan worden, zonder dat het golf- en/of stromingsbeeld verstoord wordt.

. Meetplateau.

Op enige meters boven het bassin is tevens een loopbrug aanwezig waaraan een plateau (circa 1,5 m x 1,5 m) is opgehangen. Het plateau en de brug zijn afzonderlijk zowel vanaf de zijkant van het bassin als vanaf het plateau verplaatsbaar en wel zodanig dat het plateau boven ieder punt in het bassin geplaatst kan worden.

De snelheidsmetingen worden (door middel van kleurstofinjecties, zie §3.3) vanaf het plateau verricht, waardoor het mogelijk is de metingen te verrichten zonder het stroom- of het golfbeeld te verstoren.

Daarnaast wordt het plateau tijdens de proef gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde waterniveaus.

Deze waterniveaumetingen worden met behulp van hevels verricht (zie §3.2) door in het bewuste meetpunt via een aan het plateau bevestigde constructie een hevelslang naar de bodem van het bassin te leiden. Bij deze meetmethode kunnen de waterniveaus tijdens de proef worden bepaald zonder dat de waterbeweging ernstig verstoord wordt.

. Loopbrug

De loopbrug, waaraan het plateau is bevestigd, is op circa 5 m boven het bassin. Vanaf de brug worden foto's genomen aan de hand waarvan het golfveld bestudeerd wordt, zie §3.4. Daartoe zijn in de loopbrug openingen aanwezig van waaruit foto's van rechtboven het gekozen basisingedeelte genomen kunnen worden, zonder dat vertekening van de foto's optreedt en dus ook grootheden, b.v. de golflengte, bepaald kunnen worden door het opmeten uit de foto.

§3. MEETMETHODEN

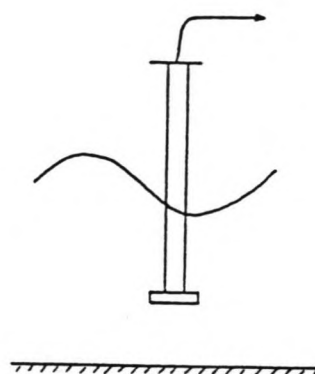
3.1 De golfhoogtebepaling

Op een willekeurige plaats in de golfbak kan de golfhoogte bepaald worden met behulp van een golf-

hoogtemeter. De werking van de gedeeltelijk onder de waterspiegel geplaatste golfhoogtemeter (zie fig. 3.1)

berust op de elektrische geleiding van water; afhankelijk van de hoogte van de waterkolom boven de onderkant van de golfhoogtemeter zal de doorgegeven spanning variëren (met extreme waarden bij een golftop en een golfdal).

De golfhoogtemeter wordt via een versterker aangesloten op een recorder en afhankelijk van de doorgegeven spanning zal de uitslag op de recorder groter/kleiner zijn.



Golfhoogtemeter

fig. 3.1

De golfhoogtemeter is bevestigd op een vanaf de zijkant van het bassin bestuurbare kar en brug (zie §2.4), waarmee de golfhoogtemeter in iedere plaats van de golfbak geplaatst kan worden. Alvorens de golfhoogtemetingen verricht kunnen worden, moet het totale golfhoogtemeetsysteem, bestaande uit een golfhoogtemeter, versterker en recorder, worden geijkt, ofwel de relatie tussen de waterstandsvariatie in het bassin en de uitslag op de recorder moet ingesteld/bepaald worden. De ijking van het meetsysteem wordt verricht bij water in de rusttoestand (geen golven). Het verband tussen de waterstandsvariatie en de uitslag op de recorder is lineair indien de hoogte van de waterkolom boven de onderkant van de golfhoogtemeter minimaal 4 cm is.

Zodra de waterkolom boven de onderkant van de golfhoogtemeter lager wordt dan 4 cm is de relatie tussen de uitslag op de recorder en de bijbehorende waterstandvariatie ten opzichte van het gemiddeld water-niveau niet exakt te bepalen (er treden verstoringen op in de relatie tussen uitslag recorder- waterstandvariatie); de situatie met een waterkolom lager dan 4 cm boven de onderkant van de golfhoogtemeter dient derhalve vermeden te moeten worden.

Hierdoor ontstaat echter wel een beperking in de beschreven en ook toegepaste methode ter bepaling van de golfhoogte: de golfhoogten kunnen alleen bepaald worden in plaatsen met een waterdiepte die groter of gelijk is aan $(4 \text{ cm} + 0,5 H)$, terwijl vaak in plaatsen met een geringere waterdiepte het golfhoogteverloop juist interessant is, bijvoorbeeld in een zone waar de golven breken.

Bij de ijking van het meetsysteem wordt er van uitgegaan dat de afstand tussen de onderkant van de golfhoogtemeter en de waterspiegel minimaal moet zijn. Uitgaande van bijvoorbeeld een maximale golfhoogte van 8 cm in het bassin, wordt de afstand tussen de onderkant van de golfhoogtemeter en de waterspiegel 8 cm $(4 \text{ cm} + H/2)$. De ijking van het systeem is dan als volgt:

1. Plaats de onderkant van de golfhoogtemeter 8 cm onder de waterspiegel. Stel de versterker zodanig in dat de doorgegeven spanning 0 V is en de recorder zodanig dat de schrijver midden op het papier staat.
2. Plaats de onderkant van de golfhoogtemeter op respectievelijk 4 cm $(8-H/2)$ en 12 cm $(8+H/2)$ onder de waterspiegel, waarbij de versterker zodanig ingesteld wordt dat de doorgegeven spanning respectievelijk $+x \text{ V}$ en $-x \text{ V}$ is, terwijl de bijbehorende uitslag op de schrijver wordt ingesteld op respectievelijk $-y \text{ cm}$ en $+y \text{ cm}$ (de maximale uitslag is 2,5 cm). De nauwkeurigheid van het golfhoogtemeetsysteem kan worden uitgedrukt in procenten van de (instelbare) schaalklasse van de versterker (circa 1-1,5 % van de maximale spanning van de gekozen schaalklasse); gekozen is voor de laagste schaalklasse (0-10V).

3. Herhaal de onder punt 2 vermelde handelingen totdat de gewenste uitslagen op de schrijver en de versterker verkregen worden indien de onderkant van de golfhoogtemeter respectievelijk 4 cm, 8 cm en 12 cm onder het wateroppervlak geplaatst wordt.
4. Plaats de onderkant van de golfhoogtemeter 8 cm onder het wateroppervlak.

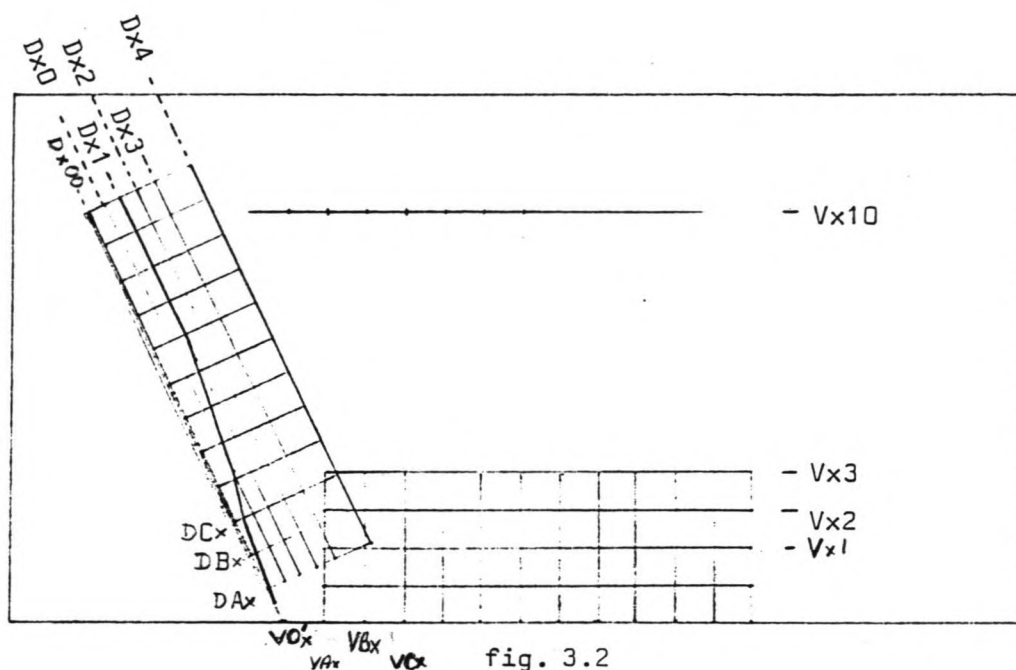
Zodra de onder de punten 1 t/m 4 vermelde handelingen zijn verricht, is het golfhoogtemeetsysteem geijkt.

Naast de bepaling van de golfhoogten is het voor de golfhoogtemetingen van belang dat de plaatsen in het bassin bekend zijn waar de golfhoogten bepaald worden.

Zoals reeds vermeld is de golfhoogtemeter bevestigd op een computer-gestuurde brug met wagen. Ieder punt in het bassin wordt in de computer beschreven ten opzichte van een assenkruis. De plaatsing van de brug en de wagen boven het gewenste meetpunt geschiedt door op de besturingseenheid de coördinaten in te typen van de plaats in het bassin waar de golfhoogtemeter geplaatst moet worden. Bij de golfhoogtebepaling gaat de interesse met name uit naar de golfhoogten in de zones langs de dam, langs de kust en voor het golfschot. In deze zones zijn roosters en meetpunten op de bodem van het bassin aangebracht. De golfhoogtemeetpunten zijn gelijk gekozen aan de roosterpunten.

Dat de golfhoogtemeetpunten ook visueel waargenomen kunnen worden, hetgeen als gevolg van de computer gestuurde plaatsing van de golfhoogtemeter niet noodzakelijk is, heeft als voordeel dat gecontroleerd kan worden of de plaats van de golfhoogtemeter overeenkomt met de gewenste plaats en dat bij een defect aan het besturingssysteem overgestapt kan worden op handbediening.

In het model zijn op de bodem van de golfbak twee roosters aangebracht, te weten: een rooster langs de dam en een rooster langs de kustlijn (zie fig.3.2 en bijlage 3.1), terwijl in het overige gedeelte van het bassin alleen enige punten gelegen op een raai evenwijdig aan het golfschot zijn aangebracht.



De golfhoogten worden, mits de waterdiepte voldoende groot is (groter dan $4 + H/2$ cm), bepaald in de volgende roosterpunten (zie fig.3.2 en bijlage 3.1):

- . Gelegen op een raai evenwijdig aan het golfschot: $V_x 10$ met $x = 0'$ A, B, C, ...
- . Gelegen op raaien loodrecht op de kustlijn b.v. $VO' x$ met $x = 10, 9, 8, 7, \dots$
- . Gelegen op de dichtstbijzijnde raai evenwijdig aan de kustlijn waar de golfhoogten in verband met de aanwezige waterdiepte nog net bepaald kunnen worden.

Bij een waterdiepte voor het golfschot van 0,26 m en 0,22 m zijn deze uiterste raaien respectievelijk $V_x 3$ en $V_x 4$ met $x = 0', A, B, C, D, \dots$

- Op het rooster langs de dam b.v. $Dx0$ met $x = A t/m L$ of DEx met $x = 0, 1, 2, 3, 4$.

De golfhoogten in de verschillende roosterpunten worden met één golfhoogtemeter bepaald. Tijdens de metingen moet derhalve de plaats waar de golfhoogtemeter is opgesteld op het schrijverpapier worden vermeld. De golfhoogten in de verschillende roosterpunten worden na afloop van de proef berekend.

Opdat eventuele geringe variaties van de golfhoogte in de tijd worden weggemiddeld, is gekozen voor een meetduur van minimaal 100 s per roosterpunt.

Indien de variatie van de golfhoogte gedurende de 100 s-periode in een roosterpunt en in de ~~h~~ het roosterpunt omringende punten gering is (zie fig. 3.3), wordt aangenomen dat het golfbeeld in het bewuste roosterpunt voldoende nauwkeurig gekarakteriseerd wordt door alleen de gemiddelde golfhoogte in de 100 s-periode.

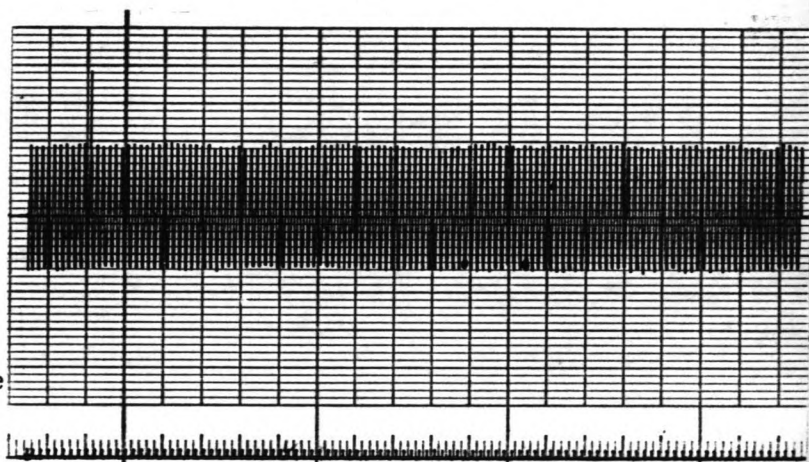


fig. 3.3

Bij een aantal proeven blijkt echter dat in verschillende plaatsen in het bassin een aanzienlijke variatie van de golfhoogte in de tijd optreedt (zie fig. 3.4).

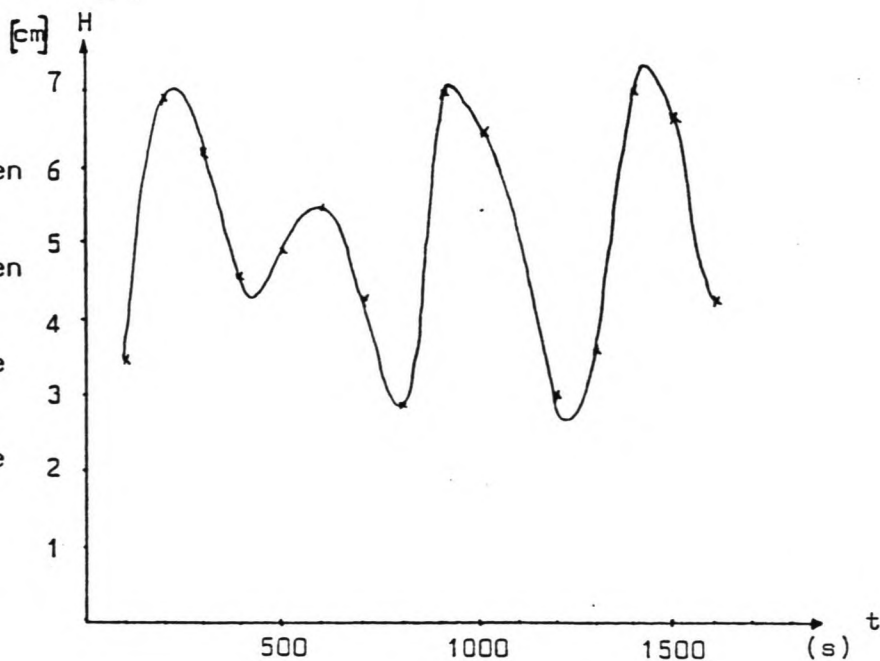


fig. 3.4

het golfhoogteverloop in de tijd

Bij deze proeven is gekozen voor een meetduur van minimaal 2×100 s per roosterpunt. De totale meetduur in een roosterpunt wordt opgedeeld in n perioden van 100 s ($n = 2, 3, \dots$) en van iedere periode (van 100 s) wordt de gemiddelde golfhoogte bepaald. Het in elk roosterpunt waargenomen golfbeeld wordt vervolgens gekarakteriseerd door drie kentallen: de maximale over een 100 s-periode gemiddelde golfhoogte, de minimale over een 100 s-periode gemiddelde golfhoogte, en de gemiddelde golfhoogte over de totale meetduur, respectievelijk $H_{\max}$, $H_{\min}$ en H .

$n \geq 3$?

Opvallend is dat in een roosterpunt op eenzelfde tijdstip de golftop- en golfdalwaarden, absoluut gezien, aanzienlijk kunnen verschillen, terwijl is uitgegaan van sinusvormige golven voor het golfschot. Dit verschil zal onder meer worden veroorzaakt door de vervorming van de golven en door:

a. Zakking van de golfhoogtemeter tijdens de proef.

De golfhoogtemeter is bevestigd op een vanaf de zijkant van het bassin bestuurbare brug met wagen. De verplaatsing van de wagen over de brug is dermate schokkerig dat de golfhoogtemeter tijdens de proef zakt ondanks de poging de meter met een wig vast te zetten. Dit betekent dat de waterkolom boven de onderkant van de golfhoogtemeter hoger wordt ofwel door de zakking van de golfhoogtemeter zal het bij de aanvang van de proef ingestelde nul-niveau (bij stilstaand water) verschuiven.

Door deze zakking wordt de indruk gewekt, dat de golftopwaarden veel groter zijn dan de golfdalwaarden, omdat beide waarden ten opzichte van het originele nul-niveau bepaald worden.

Ondanks het verschil tussen de gemiddelde golftop- en golfdalwaarden op de schrijver en de waarden van de gemiddelde golftop en golfdal in het bassin, is de uiteindelijke golfhoogte (som gemiddelde golftop- en golfdalwaarde) wel correct; dus de zakking van de golfhoogtemeter heeft geen invloed op de grootte van de uiteindelijke golfhoogte.

b. Verandering van het gemiddelde waterniveau.

In een groot aantal plaatsen in het bassin zal het gemiddelde waterniveau tijdens de proef verschillen van het niveau dat bij stilstaand water in het bassin aanwezig was.

Aangezien het golfhoogtemeetsysteem is geijkt ten opzichte van het waterniveau in de rusttoestand zullen als gevolg hiervan de golf-top- en golfdalwaarden op de schrijver niet overeenkomen met de waarden in de meetpunten. De verschillen in het waterniveau kunnen veroorzaakt worden door:

1. De verdamping of lek van het water en/of de opname van het water in de bodem van het bassin.

Beide processen veroorzaken een afname van het gemiddeld waterniveau in het bassin, waardoor op de schrijver de golftopwaarden kleiner en de golfdalwaarden, absoluut gezien groter zullen zijn dan de werkelijke golftop- en golfdalwaarden van de golven in het bassin.

In principe moet met een daling van het gemiddeld waterniveau tijdens de proef rekening worden gehouden bij de ijking van het golfhoogtemeetsysteem omdat voor een lineair verband tussen de uitslag op de recorder en de golfhoogte een minimale hoogte van de waterkolom boven de onderkant van de golfhoogtemeter van 4 cm vereist is.

Aangezien de afname van het waterniveau (circa $0.5 \text{ à } 1 \text{ mm/12 uur}$) minder is dan de zakking van de golfhoogtemeter tijdens de proef (zie onder -a-) zal het verband tussen de golfhoogte en de uitslag op de recorder lineair blijven.

2. Waterbeweging.

In meerdere plaatsen in het bassin zal tijdens de proef als gevolg van de golfbeweging en het eventuele stromingsbeeld plaatselijk een gemiddeld waterniveau aanwezig zijn dat hoger danwel lager is dan het gemiddelde waterniveau dat bij stilstaand water aanwezig was.

Aangenomen wordt dat de verschillen in de gemiddelde waterniveaus tussen de situaties met en zonder golven dermate klein zijn (zie ook de met de hevels bepaalde verschillen in de zone bij de dam), dat de golfhoogtemeting daardoor niet noemenswaardig wordt beïnvloed.

Tengevolge van deze variaties in het gemiddelde waterniveau zullen de golftop- en dalwaarden op de recorder niet overeenkomen met de waarden in het bassin.

De som van beide waarden zal echter wel gelijk zijn aan de golfhoogte in het bassin.

3.2 Waterniveaubepaling

3.2.1 Bij stilstaand water

Het waterniveau in het bassin wordt in de rusttoestand bepaald met behulp van een op de rand van het bassin bevestigde peilnaald (vaste peilnaald).

Het gemiddeld waterniveau in het bassin wordt bepaald bij een niet-inwerking zijnde golfmachine (stilstaand water), omdat bij een inwerking zijnde golfmachine door de golven een stroming in het bassin opgewekt kan worden en mogelijkkerwijs een waterstandsverhang in het bassin ontstaat.

Bij de aanvang van de proevenserie is de relatie bepaald tussen het met de vaste peilnaald gemeten waterniveau in het bassin en de waterdiepte voor het golfschot. Opdat de invloed van (geringe) oneffenheden in de betonnen bodem op de waterdiepte nihil is, zijn de waterdiepten in een reeks punten voor het golfschot bepaald en is vervolgens de gemiddelde waterdiepte berekend. Deze waterdiepten voor het golfschot (t.p.v. de horizontale bodem) zijn bepaald met behulp van een op een verplaatsbare driepoot bevestigde peilnaald.

Door het meten van het waterniveau in het bassin met de vaste peilnaald kan via de relatie waterdiepte voor het golfschot - waterniveau gemeten met de vaste peilnaald, vervolgens de waterdiepte in het bassin voor het golfschot worden bepaald.

Deze waterdiepte is onder andere van belang voor:

- . De instelling van de golfmachine, met name indien de golven onder een hoek met de kustlijn invallen (zie §2.3).
- . De instelling van de golfmachine indien de proef meerdere dagen in beslag neemt, waardoor dezelfde instelling van de grootheden op verschillende dagen noodzakelijk is.
- . De analyse van de proefresultaten.

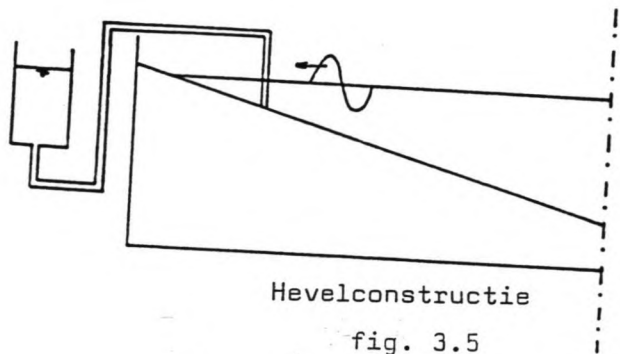
Het waterniveau in het bassin wordt niet alleen bij de aanvang van een proef maar ook aan het einde van een proef (c.q. aan het einde van een meetperiode) bij stilstaand water bepaald opdat een indruk van de eventuele daling van het waterniveau gedurende de proef (circa 0,5 à 1 mm/12 uur) wordt verkregen.

3.2.2 Golfopzet

Bij de aanvang van het onderzoek is er vanuit gegaan dat er geen set-up/set-down metingen uitgevoerd zouden worden. Aangezien echter het optredende stroombeeld geheel afwijkend is van het verwachte stroombeeld en de waterstandsvariaties bij de dam een oorzaak kunnen zijn voor het onverwachte stroombeeld, is besloten op beperkte schaal waterniveaumetingen tijdens de proef te verrichten.

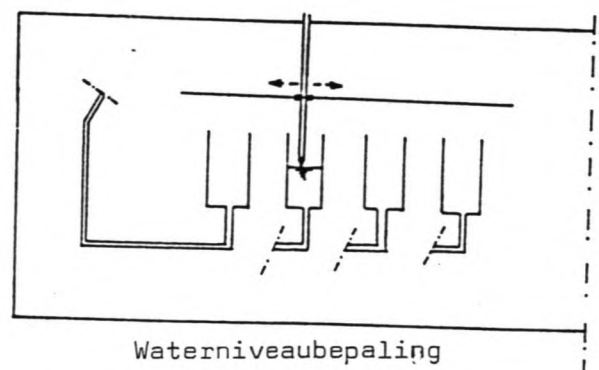
De waterniveaumetingen tijdens de proef worden verricht met behulp van hevels, vier in totaal h.o.h. 1 m.

Het ene uiteinde van een hevelslang wordt ter plaatse van de waterlijn via een aan het meetplateau bevestigde constructie naar de bodem van de golfbak geleid, terwijl het andere uiteinde van de slang verbonden wordt met één van de aan de zijkant van het bassin geplaatste potten (zie fig. 3.5).



De diameter van de slangen is zodanig gekozen dat enerzijds de golfbeweging niet in de potten waargenomen wordt doch anderzijds zo, dat de tijdsduur die verstrijkt alvorens het niveau in de pot gelijk is aan het gemiddelde waterniveau op de plaats in het bassin waar het slanguiteinde geplaatst is (de insteltijd) niet te lang is (maximaal enkele minuten).

Het niveau in de vier naast elkaar opgestelde potten aan de zijkant van het bassin wordt afgelezen met behulp van één op een geleide rail bevestigde peilnaald, die boven de gewenste pot geplaatst kan worden (zie fig. 3.6).



Net als bij de waterniveaumetingen bij stilstaand water met de vaste peilnaald is ook nu de relatie tussen het gemeten niveau in de pot en de waterdiepte voor het golfschot bepaald.

Aan de beschreven methode waarbij het gemiddelde waterniveau tijdens een proef bepaald wordt met behulp van hevels, kleven echter een aantal nadelen, te weten:

- . Ter plaatse van het meetpunt moet het uiteinde van de slang op de bodem geplaatst worden. Door de golfbeweging worden wisselende kracht op het slanguiteinde uitgeoefend waardoor het slanguiteinde op enige afstand boven de bodem kan geraken.
Bij de bodem is de stroming alleen evenwijdig aan de bodem gericht, terwijl op enige afstand van de bodem ook snelheidscomponenten loodrecht op de bodem aanwezig zijn. Ten gevolge van deze snelheidscomponenten loodrecht op de bodem wordt een extra bijdrage aan de drukken (fluktuerend) geleverd en zal derhalve een ander gemiddeld waterniveau c.q. niveau in de pot waargenomen worden. Vanaf de zijkant van het bassin is het moeilijk waarneembaar of het uiteinde gedurende de hele meetperiode op de bodem vast blijft zitten of dat het slanguiteinde door de wisselende golfkrachten van de bodem is geraakt, waardoor de kans op een incorrecte meting aanzienlijk is.
- . De slangen worden via een constructie op het meetplateau door de waterspiegel heen gestoken en vervolgens wordt het uiteinde van de slang op de bodem geplaatst.
Aangezien de slangen door de waterspiegel heen steken zullen deze het golf- en stromingsbeeld beïnvloeden.
- . Nadat het niveau in een serie meetpunten (drie of vier tegelijk) bepaald is wordt de gehele constructie, aan het meetplateau, boven een nieuwe raai geplaatst. De kans bestaat echter dat bij het verplaatsen van de constructie een slanguiteinde (even) boven de waterspiegel uitsteekt waardoor lucht in het ~~bewuste~~ hevelsysteem stroomt en de hevel niet meer werkt.
Een andere mogelijkheid, waarbij de kans groot is dat een luchtbel in een hevelslang terecht komt, is aanwezig zodra metingen verricht worden in meetplaatsen met een geringe waterdiepte waar de golven breken. Indien de luchtbel niet tijdig ontdekt wordt, zal een verkeerd waterniveau in de pot bepaald worden.

Indien bij de opzet van de proef voorzien zou zijn dat tijdens het experiment waterniveaumetingen verricht zouden moeten worden, dan was de set-up niet met behulp van deze storingsgevoelige hevelconstructie bepaald.

De gemiddelde waterniveaus tijdens de proef zouden dan bijvoorbeeld bepaald kunnen worden met behulp van in de bodem van de golfbak verzonden putten (zie fig. 3.7), met een kleine opening in de putdeksels die via de vloer van het bassin verbonden zijn met de meetpotten aan de zijkant van het bassin.

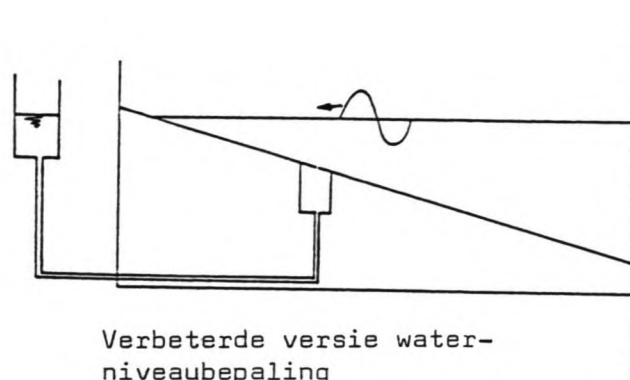


fig. 3.7

Met deze constructie zouden de in de vorige alinea beschreven nadelen ondervangen worden.

Aangezien enerzijds de waterniveaumetingen met de hevelconstructie veel tijd in beslag nemen en anderzijds de hevelslangen een beperkte lengte bezitten (circa 12 m) is slechts een gering aantal metingen in de zone dam-kustlijn, tot ongeveer halverwege de dam, uitgevoerd. Opdat desondanks ~~toch~~ een indruk van de variatie van het gemiddeld waterniveau langs de dam verkregen wordt is tijdens de proeven eveneens het waterniveau achter de dam bepaald. In deze zone treedt nageenog geen golfbeweging op en worden slechts zeer geringe stroomsnelheden waargenomen. De stromingen die achter de dam ontstaan zullen met name het gevolg zijn van de golfoverslag over de dam. Aangezien de golfoverslag gering is en de doorstroomopening tussen de kop van de dam en het golfschot groot is, zal het waterniveau achter de dam min of meer gelijk zijn aan het waterniveau bij de kop van de dam.

De waterniveaumetingen tijdens een proef nemen vaak enkele uren in beslag. Vanwege de daling van het gemiddelde waterniveau in het bassin tijdens een proef zal het gemeten gemiddelde waterniveau in een roosterpunt afhankelijk zijn van het tijdstip waarop de meting is verricht.

De invloed van de waterniveaudaling tijdens de proef kan groot zijn indien de verschillen tussen de in de roosterpunten bepaalde gemiddelde waterniveaus gering zijn, zoals bij enkele proeven is gebleken.

De invloed van de waterniveaudaling in het bassin tijdens de proef op de gemeten waterniveaumetingen kan op verschillende manieren gereduceerd worden.

Bij het in het onderhavige rapport beschreven onderzoek is aangenomen dat de zakking van het gemiddeld waterniveau tijdens de proef in het totale bassin even groot is. Door vervolgens gedurende de gehele proef het gemiddelde waterniveau in een plaats in het bassin te bepalen, is de zakking van het waterniveau in het bassin bekend.

Na correctie van de met de overige drie hevels op verschillende tijdstippen verrichte metingen kunnen ondanks de zakking van het waterniveau in de tijd de metingen toch onderling vergeleken worden.

Bij sommige proeven is in de zone bij de dam een fluctuatie van het gemiddeld waterniveau in de tijd waargenomen. Om deze reden is de plaats waar het gemiddeld waterniveau tijdens de gehele meetperiode regelmatig bepaald (= het referentieniveau) niet in de door de golven aangevallen zijde van de dam gekozen maar juist achter de dam waar de golven niet doordringen. Het in dit punt gemeten niveau is bij benadering gelijk aan het gemiddelde waterniveau bij de kop van de dam. Aangezien bij na genoeg alle proeven het niveau achter de dam bepaald is met hevel II, zijn de met de overige hevels bepaalde gemiddelde waterniveaus herleid naar het met hevel II bepaalde referentieniveau.

Bij sommige proeven is in een aantal roosterpunten een variatie van het gemiddelde waterniveau in de tijd waargenomen.

Alhoewel in de verschillende roosterpunten de fluctuaties van het gemiddelde waterniveau in de tijd nauwkeurig bepaald kunnen worden zouden de metingen dermate veel tijd in beslag nemen dat hier toch van afgezien wordt.

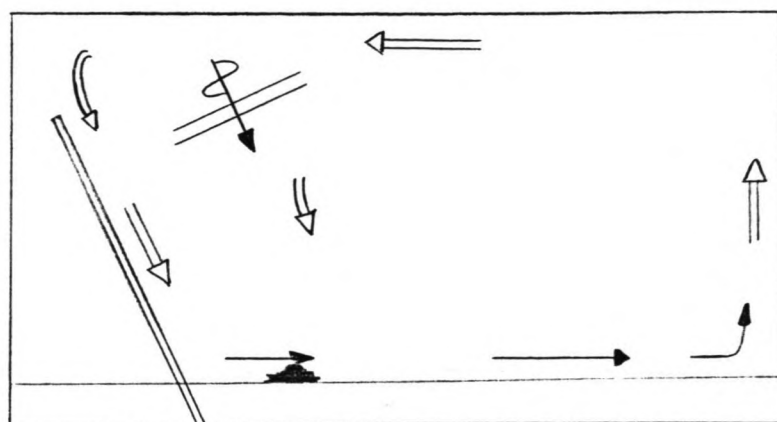
Volstaan wordt met de bepaling van het gemiddelde waterniveau in een meetpunt waarbij afhankelijk van het meetresultaat eventueel opgemerkt wordt dat het waterniveau in het roosterpunt niet constant is in de tijd. Nadeel is echter dat aangezien de gemiddelde waterniveaus in naast elkaar gelegen roosterpunten vaak slechts gering verschillen, de gradiënten in de gemiddelde waterniveaus erg onnauwkeurig worden bepaald.

3.3 Stromingsmetingen

Doel van het modelonderzoek is het bepalen van de door de golven opgewekte stromingen in het bassin.

Naast de plaatselijk door de golven aangedreven stromingen zijn er ook indirect opgewekte stromingen.

Wordt door de golven een naar één zijde van het bassin gerichte stroming opgewekt (b.v. in de brekerzone t.g.v. de onder een hoek met de kustlijn invallende golven) dan zal tevens een stroming met een tegenovergestelde richting in het bassin ontstaan, de indirecte stroming (zie fig.3.8) (aangenomen dat het stromingsbeeld in het model (quasi) stationair is dan kan het optreden



Stromingsbeeld

- ▶ plaatselijk aangedreven stromingen
- ==▶ indirecte stromingen

fig. 3.8

van de indirecte stroming verklaard worden met behulp van de massa-balans). In het bassin ontstaat een circulerende stroming. Vanwege de beperkte afmetingen van het bassin is, afhankelijk van de grootheden h , θ en H (maatgevend voor de grootte van de direkt aangedreven stroming), naast de direct door de golven aangedreven stroming de indirect aangedreven stroming eveneens goed waarneembaar.

Het doel van de proevenserie is het bepalen van de direkt door de golven opgewekte stromingen. De bepaling van de indirekt aangedreven stromingen is in principe niet van belang omdat deze indirekte stromingen slechts het gevolg zijn van de beperkte afmetingen van het bassin waarin de proeven uitgevoerd worden en dus niet in het prototype aanwezig zullen zijn.

Aangezien echter de indirecte stroming invloed kan hebben op de richting en/of grootte van de golfgedreven stroming en het vaak niet duidelijk is of een waargenomen stroming direkt door de golven opgewekt wordt dan wel slechts een gevolg is van deze direkte stroming wordt toch een groot gedeelte van het totale stromingsbeeld in het bassin bepaald (dus zowel van de direct golfgedreven stromingen als van de indirecte stromingen).

De in de proevenserie gebruikte methoden ter bepaling van zowel de stroomsnelheid als de richting van de stroming zijn:

- . drijvermetingen
- . metingen door middel van kleurstof-injectie (kaliumpermanganaat).

Voor de bepaling van de stromingen zijn roosters op de bodem van het bassin aangebracht (zie bijlage 3.1). De stromingen worden bepaald door de kleurstof (drijver) ter plaatse van een roosterpunt te injecteren (in het water te laten) en vervolgens te volgen totdat de kleurstof (drijver) een roosterlijn kruist.

Bij beide methoden wordt de stroomrichting visueel waargenomen, terwijl de (gemiddelde) stroomsnelheid over de door de drijver of kleurstofvlek afgelegde afstand berekend wordt als het quotiënt van de afgelegde afstand en de tijdsduur waarin de drijver of kleurstofvlek de afstand aflegt.

De bepaling van de stromingsrichting en -snelheid door middel van kleurstofinjecties heeft als nadeel dat door diffusie van de geïnjecteerde kleurstof een grote vlek ontstaat. Voor de stromingsbepaling moet het centrum van de vlek worden gevolgd.

De bepaling van zowel de tijdsduur die verstrijkt alvorens het centrum van de geïnjecteerde kleurstof een roosterlijn kruist als de afgelegde weg van het centrum van de vlek zal onnauwkeurig zijn.

De stromingswaarnemingen met de drijvers kunnen problemen opleveren in de zone's met een geringe waterdiepte en in de zone waar de golven breken. Ter plaatse van de ondiepe gebieden kunnen de drijvers de bodem van het bassin raken, terwijl in de brekerzone de drijver door de brekende golven (versneld) meegevoerd kan worden.

Daarnaast is het met de drijvermetingen alleen mogelijk de stromingen aan het wateroppervlak te bepalen.

Vanwege de geringe waterdiepte en de eventuele brekende golven langs de dam en langs de kustlijn worden in deze zone's de stroomsnelheid en de stroomrichting aan het wateroppervlak bepaald door het injecteren van kleurstof. Daarnaast wordt op beperkte schaal in de zone langs de dam de richting van de bodemstroming bepaald door middel van kleurstofinjectie.

In het overige gedeelte van de golfbak zijn zeer waarschijnlijk geen direkt door de golven opgewekte stromingen aanwezig. Aangezien enerzijds deze indirecte stromingen minder interessant zijn voor het onderzoek en anderzijds de snelheden van deze stromingen veel geringer zijn dan de snelheden van de stromingen langs de kust en/of langs de dam (geringe invloed op de direkt aangedreven stromingen), wordt in dit gedeelte van het bassin volstaan met een globale bepaling van de stroomrichtingen aan het wateroppervlak.

De richtingen worden bepaald met behulp van drijvers.

Indien met de drijvers toch een aanzienlijke stroomsnelheid in dit gedeelte van het bassin waargenomen wordt, dan kunnen via een aan het meetplateau te bevestigen constructie, de stroomsnelheid en de stroomrichting ook in deze zones van het bassin nauwkeurig bepaald worden.

Opdat geringe variaties in de stromingsgrootheden, bijvoorbeeld veroorzaakt door modelschommelingen, geen invloed hebben op het eindresultaat, worden per meetpunt meerdere metingen uitgevoerd. Het aantal metingen (minimaal twee) is afhankelijk van de waargenomen variatie in de afgelegde weg en/of snelheid in zowel het roosterpunt als in de omringende roosterpunten.

Bij een aantal proeven blijkt dat de stroomsnelheid en/of -richting in sommige roosterpunten, net als de golfhoogten en het gemiddelde waterniveau, aanzienlijk in de tijd fluctueert.

Voor het verkrijgen van een indruk van de verschillende stromingsbeelden die bij een proef optreden moeten de metingen in de afzonderlijke roosterpunten gecombineerd worden. Daar echter de stroomsnelheid en richting slechts in één plaats tegelijk bepaald kan worden, is de samenhang tussen de variaties van de stromingsgrootheden in de tijd in de verschillende roosterpunten niet of moeilijk te bepalen. De verschillende stromingssituaties zullen dan ook slechts zeer grof benaderd kunnen worden.

Voor een goede bepaling van het stromingsbeeld in het bassin moeten de snelheden in de verschillende roosterpunten niet alleen aan het wateroppervlak worden bepaald maar ook op verschillende afstanden daar onder.

De interesse in de snelheden als functie van de waterdiepte is met name aanwezig voor de zone langs de dam en de zone dam- kustlijn. ~~Er wordt vanuitgegaan dat~~ bij de bepaling van de stroomsnelheid en -richting in een bepaald punt onder de waterspiegel dezelfde procedure wordt gevolgd als bij de bepaling van de stromingsgrootheden aan het wateroppervlak. Na injectie van de kleurstof treedt spreiding van de kleurstof in het horizontale en het vertikale vlak op en ontstaat een kleurstofwolk. Vanaf het meetplateau is het dan nagenoeg niet waarneembaar op welke diepte de kleurstofverplaatsingen plaatsvinden. Aangezien bovendien in de zone langs de dam en zone dam- kustlijn de verspreiding van de kleurstof erg groot is, zijn in deze zone geen goede waarnemingen van de stromingen mogelijk. Er is derhalve afgezien van de stromingsbepaling als functie van de vertikaal. Echter, teneinde toch enig inzicht in het totale stroombeeld te krijgen zijn in de zone langs de dam en langs de dam- kustlijn naast de bepaling van de stroomsnelheden en stroomrichtingen aan het wateroppervlak eveneens de stromingsmetingen bij de bodem verricht.

Aangezien de exacte hoogte van de bij de bodem geïnjecteerde kleurstof niet bepaald kan worden en de gradiënt in de stroomsnelheid bij de bodem groot zal zijn, zal een geringe afwijking van de hoogte van injectie grote invloed op de gemeten snelheid hebben. Om deze reden zijn niet de stroomsnelheden maar alleen de stroomrichtingen bij de bodem van het bassin bepaald.

3.4 Bepaling van de golfrichtingen

Een indicatie van de golfrichtingen wordt verkregen door de analyse van foto's die zijn gemaakt vanaf de brug boven het bassin (zie §2.7), recht boven het te fotograferen bassingedeelte. Bij loodrecht op de kustlijn invallende golven zijn alleen foto's van zones langs de dam gemaakt, beginnend bij de kop van de dam en eindigend bij de kustlijn; bij scheef op de kustlijn invallende golven is naast de foto's van de zones langs de dam tevens een aantal foto's van de zone langs het golf-schot gemaakt, zodat de invalshoek van de golven gecontroleerd kan worden.

Aangezien enerzijds het golfbeeld in het bassin niet bij iedere proef in de tijd constant is (zie fig. 3.4) en anderzijds het aantal foto's die per proef van een bepaald kustgedeelte gemaakt worden slechts beperkt is, zal de betrouwbaarheid van de uit de foto's verkregen resultaten slechts gering zijn.

3.5 De meting

Bij de aanvang van een proevenserie wordt allereerst met behulp van de vaste peilnaald (zie §3.2.1) het waterniveau in het bassin bepaald. Komt dit niveau niet overeen met het gewenste waterniveau, dan wordt het niveau op peil gebracht. De toevoer/afvoer van water aan/uit het bassin kan met dermate grote hoeveelheden in een kort tijdsbestek geschieden dat er een schommeling van het water in het bassin ontstaat. Opdat tijdens de bepaling van het waterniveau in het bassin de schommelingen uitgedempt zijn wordt na een verandering van het waterniveau minimaal 10 minuten gewacht alvorens het waterniveau in het bassin bepaald wordt.

Tegelijkertijd met de instelling van het gewenste waterniveau in het bassin wordt, indien noodzakelijk, het bij de voorgenomen invalshoek van de golven behorende faseverschil (zie § 2.3) tussen de lamellen van het golfschot ingesteld.

Zodra het gewenste waterniveau in het bassin aanwezig is, moet het golfhoogtemeetsysteem geijkt worden (zie §3.1).

Voor het verkrijgen van de sinusvormige golven met gewenste golfperiode en golfhoogte, zullen drie grootheden op de golfmachine ingesteld moeten worden (zie ook §2.3) te weten: de golfperiode, de slaghoek en de translatie-amplitude van het golfschot. Van deze drie grootheden is de golfperiode een direkt op de golfmachine instelbare grootheid (gedurende de gehele proevenserie constant gehouden).

Aangezien de golfhoogten voor het golfschot niet alleen afhankelijk zijn van de ingestelde waarde van de slaghoek op de golfmachine maar ook van de waterdiepte in het bassin en de golfinvalshoek, is de voor het golfschot gewenste hoogte niet direkt op de golfmachine instelbaar. De (onbekende) golfhoogten zullen dan ook met de golfhoogtemeter bepaald moeten worden. Indien de aanwezige golfhoogte niet overeenkomt met de gewenste dan zal de uitwijking van het golfschot veranderd moeten worden. Aangezien deze verandering ook niet bekend is, herhalen de handelingen zich totdat de aanwezige golfhoogte overeenkomt met de gewenste golfhoogte voor het golfschot.

Na het in werking stellen van de golfmachine of na het veranderen van één of meerdere op de golfmachine instelbare grootheden verandert zowel het golfbeeld als het stromingsbeeld in het bassin.

Aangezien er enige tijd overheen gaat alvorens de door de golven opgewekte stromingen zich volledig ontwikkeld hebben en het nieuwe golf- en stromingsbeeld in het bassin constant zijn in de tijd, wordt na het veranderen van de instelling of na het inwerking stellen van de machine, circa 20 tot 30 minuten gewacht alvorens de golfhoogten voor het golfschot bepaald worden.

Dit betekent dat het veel tijd kan vergen om de gewenste golfhoogte voor het golfschot te verkrijgen.

Aangezien daarnaast de golfhoogten in punten gelegen op een raai evenwijdig aan het golfschot (raai $V \times 10$ -zie fig.3.7-) ook nog variëren en eveneens de golfhoogte in een (willekeurig) roosterpunt niet constant is in de tijd, is het nagenoeg onmogelijk de gewenste golfhoogte exact in het model voor het golfschot te verkrijgen. Een gering verschil tussen de gewenste en de aanwezige golfhoogte voor het golfschot wordt dan ook geaccepteerd.

Komt de voor het golfschot aanwezige golfhoogte voldoende overeen met de gewenste golfhoogte, dan kunnen de golfhoogte-, de waterniveau- en de stromingsmetingen worden verricht (zie §3.1, §3.2 en §3.3).

Eveneens worden de visuele waarnemingen genoteerd, zoals bijvoorbeeld golfbeeld wel/niet constant in de tijd, waarbij de eventuele variaties van het golfbeeld geschetst worden, of bijvoorbeeld wel/geen overslag over de dam. Na afloop van de metingen wordt nog een fotoserie gemaakt vanaf de brug boven het bassin. Een meetsessie wordt na het buitenwerking stellen van de golfmachine beëindigd (einde van de proef of het einde van de dag) met de bepaling van het waterniveau in het bassin en van de zakking van de golfhoogtemeter tijdens de proef.

§ 4. Meetresultaten

4.1 Algemeen

Tijdens het onderzoek zijn tien verschillende modelproeven uitgevoerd. De verschillen tussen deze proeven worden met uitzondering van één proef (zie §4.6), veroorzaakt door een variatie in één of meerdere van de grootheden:

a. De waterdiepte in het bassin.

Bij de opzet van de proeven is uitgegaan van een waterdiepte van 0,26 m voor het golfschot. Aangezien de golven bij de dam niet breken bij deze waterdiepte en langs de dam wel brekende golven werden verwacht, zijn eveneens proeven uitgevoerd bij een waterdiepte van 0,22 m voor het golfschot (zie ook § 2.4).

b. De invalshoek van de golven.

Bij het modelonderzoek is ervan uitgegaan dat het stromingsbeeld bepaald moet worden voor golfinvalshoeken die variëren tussen evenwijdig aan de dam en (theoretisch) evenwijdig aan de kustlijn, ofwel zodanig dat de aan de zeezijde van de dam invallende golven niet om de kop van de dam gediffracteerd zijn.

Opdat met een beperkt aantal proeven een redelijke indruk van het stromingsbeeld bij verschillende golfinvalshoeken wordt verkregen is gekozen voor drie karakteristieke golfrichtingen t.w.:

1. De invalsrichting van de golven is loodrecht op de kustlijn.

In de specifieke, theoretische situatie waarbij sprake is van een oneindig lange, rechte kustlijn met evenwijdige dieptelijnen en een loodrecht op die kustlijn invallend uniform golfveld, zal door de golven geen stroming langs de kustlijn worden opgewekt. Wordt er vanuit gegaan dat de dam geen invloed op het golf- en stromingsbeeld uitoefent, dan zal zeer waarschijnlijk in het model toch nog een labiele stroming langs de kustlijn ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld oneffenheden in de bodem of een niet uniform golfveld.

De invloed van de dam op het golf- en stromingsbeeld is echter niet verwaarloosbaar maar zal zeker in de zone bij de dam en de zone dam- kustlijn het golf- en stromingsbeeld bepalen. Hoever de invloed van de dam op het golf- en stromingsbeeld zich exact uitstrekt in het bassin zal pas tijdens de proeven blijken.

Aangenomen dat buiten deze invloedzone van de dam slechts labiele stromingen ontstaan, zal het in het bassin optredende golf- en stromingsbeeld het gevolg zijn van de invloed van de dam op het golfbeeld.

2. De invalsricting van de golven is nagenoeg evenwijdig aan de dam.

Wordt een (extreme) invalsricting van de golven evenwijdig aan de dam ingesteld dan blijkt onder andere uit het golfhoogteverloop langs een raai loodrecht op de kop van de dam (paragraaf 4.5), dat geen uniform, evenwijdig aan de dam gericht golfveld in het bassin opgewekt kan worden; de bij de dam invallende golven zijn niet direkt afkomstig van het golfschot maar bereiken de dam pas na refractie.

Teneinde toch een indruk te krijgen van het stromingsbeeld dat ontstaat bij (nagenoeg) evenwijdig aan de dam invallende golven, zijn proeven uitgevoerd met een invalshoek van de golven van $\pm 10^\circ$ met de dam.

Bij deze nagenoeg evenwijdig aan de dam invallende golven is het de verwachting dat de golven langs de dam niet breken en dat derhalve geen of slechts een geringe stroming langs de dam zal ontstaan, terwijl langs de kustlijn wel een stroming in de brekerzone zal ontstaan. De snelheid van deze stroming langs de kustlijn zal minimaal zijn bij de dam en toenemen naarmate de afstand tot de dam groter wordt, totdat uiteindelijk de evenwichtssnelheid wordt bereikt.

Door deze langs de kustlijn opgewekte stroming zal in het bassin een circulatiestroming ontstaan.

3. De invalrichting van de golven is 35° op de dam.?

? normaal op de Ingesteld is een invalrichting van de golven van 30° met de kustlijn c.q. 35° met de ^{via} dam (zie fig. 4.1). Bij deze invalrichting wordt verwacht dat in de brekerzone langs de kustlijn een naar de dam toe gerichte stroming ontstaat met als gevolg een circulatie-stroming in het bassin.

Ervan uitgaande dat de golven langs de dam breken, dan zal zeer waarschijnlijk in de brekerzone langs de dam een naar de kustlijn toe gerichte stroming worden opgewekt.

Deze eventuele stroming in de brekerzone langs de dam is tegengesteld gericht aan de, door de brandingsstroming langs de kustlijn veroorzaakte circulatiestroming langs de dam.

c. De golfhoogte

Uit waarnemingen bij Hoek van Holland is gebleken dat de kustafslag bij de dam met name optreedt bij grote golfhoogten.

Bij het modelonderzoek is uitgegaan van een gemiddelde golfhoogte van circa 4 cm voor het golfschot, terwijl bij een tweetal proeven (zie §4.2.2 en §4.2.3) een gemiddelde golfhoogte van respectievelijk 6,3 cm en 3,4 cm zijn ingesteld.

Bij alle proeven is uitgegaan van sinusvormige golven met een constante golfperiode van $T = 0,8$ s.

Bij de proeven die meer dan één dag in beslag nemen, moet er voor gezorgd worden dat de verschillende instelbare grootheden zoals bijvoorbeeld het waterniveau in het bassin en de golfhoogte voor het golfschot, op de verschillende dagen gelijk zijn. Al deze grootheden, met uitzondering van de golfhoogte, zijn eenvoudig instelbaar.

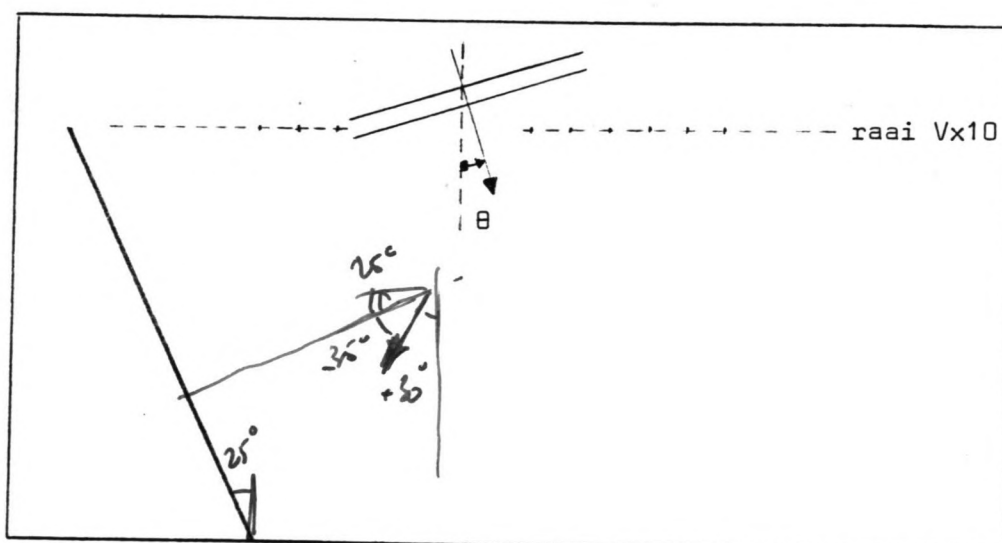
Aangezien een nauwkeurige instelling van de golfhoogte erg veel tijd kan vergen (zie ook §3.5) wordt, mede omdat de bepaling van de golfhoogte ten gevolge van de variatie van de golfhoogte in een raai evenwijdig aan het golfschot niet nauwkeurig is, een gering verschil in de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot op verschillende proefdagen toegestaan.

De tien proeven zijn in eerste instantie ingedeeld in drie groepen met onderling een verschillende invalrichting van de golven (zie fig. 4.1), terwijl binnen deze drie groepen nog onderscheid wordt gemaakt in de gemiddelde golfhoogte en/of de gemiddelde waterdiepte in het bassin voor het golfschot (zie tabel 4.1).

Bij de presentatie van de resultaten wordt gebruik gemaakt van de twee roosters, één evenwijdig aan de dam en een rooster evenwijdig aan de kust (zie uitvouwsblad, bijlage VI.1).

Een raai evenwijdig aan de dam (kust) wordt aangegeven met bijvoorbeeld Dxl (Vxl) en een raai dwars op de dam (kust) met bijvoorbeeld DCx (VCx).

Een punt op de raai DCx is bijvoorbeeld DC3.



Golfinvalsrichting θ

fig. 4.1

MEETPROGRAMMA				
Proefnr.	Paragraaf	Invalshoek van de golven $-\theta-$	Gemiddelde waterdiepte h	Gemiddelde golfhoogte langs raai $V \times 10$ H
-	-	-	cm	cm
I	4.2 4.2.1	0°	26	4,0
II	4.2.2	0°	26	6,3
III	4.2.3	0°	22,7	3,4
IV	4.2.4	0°	22,7	4,0
V	4.3 4.3.1	15°	26,2	4,5
VI	4.3.2	15°	22,6	4,1
VII	4.4 4.4.1	- 30°	26,2	4,2
VIII	4.4.2	- 30°	22,6	4,1
IX	4.5	25°	22,6	3,7
X	4.6	0°	26,6	3,5
Tijdens alle proeven: golfperiode $T=0,8$ s				

tabel 4.1

Bij verschillende proeven is een in de tijd variërend golf- en stromingsbeeld waargenomen. De bepaling van de golf- en stromingsbeelden bij deze proeven is moeilijk en zal veel tijd vergen.

Aangezien bij het in het onderhavige rapport beschreven onderzoek het zwaartepunt ligt bij de bepaling van de stromingsbeelden, zijn bij enkele proeven met een niet-constant golf- en stromingsbeeld de golfhoogtemetingen slechts summier uitgevoerd.

Teneinde de presentatie van de resultaten overzichtelijk te houden is bij enkele proeven een gedetailleerde beschrijving van het golfbeeld in de bijlagen weergegeven.

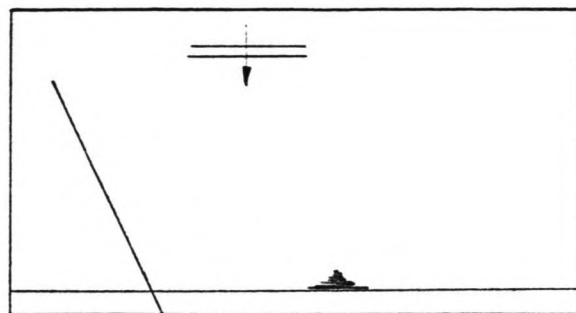
§4.2 De invalrichting van de golven is loodrecht op de kustlijn

§4.2.1 Proef I

$h=26$ cm, $H=4$ cm ($\theta=0^\circ$, $T=0,8$ s)

Golfhoogten

De gemiddelde golfhoogte van de loodrecht op de kustlijn invalende golven en de gemiddelde waterdiepte voor het golfshot tijdens de proef zijn in fig.4.2 weergegeven. De specifieke waarden van beide grootheden op de vijf dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn in tabel 4.2 vermeld.



$H=4,0$ cm ; $h=26,0$ cm ; $\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s

fig.4.2

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,1	26,2	(0,5)	stromingsmetingen
2	3,9	25,9	(0,1)	golfhoogtemetingen langs de dam
3	4,1	26,0		stromingsmetingen
4	4,1	26,3	(0,1)	golfhoogtemetingen
5	4,2	26,2	(0,1)	foto's

tabel 4.2

Tijdens de proef is visueel waargenomen dat:

- de golven bij de dam niet breken.
- er wel golfoverslag bij de dam optreedt.
- het golfveld in de zone dam- kustlijn niet in de tijd constant is (in het overige gedeelte van het bassin kan dit niet duidelijk visueel waargenomen worden).

De met de golfmachine ingestelde golfhoogte wordt bepaald/gecontroleerd aan de hand van het golfhoogteverloop langs raai Vx10. De golfhoogten in punten gelegen op deze raai zijn derhalve iedere meetdag bepaald gedurende een periode van 100 s/dag per roosterpunt (zie ook bijlage IV.1).

Aangezien het golfbeeld niet constant is in de tijd zijn slechts op geringe schaal golfhoogtemetingen uitgevoerd. De meetduur per roosterpunt langs de dam en langs de kust is slechts 1 à 2 x 100 s (zie bijlage IV.1, IV.2 en IV.3).

Een summiere indruk van de fluktuatie wordt verkregen uit de op de verschillende dagen waargenomen golfhoogte in bijvoorbeeld de punten DE1, DE2 (zie bijlage IV.3) en het verloop van de golfhoogte langs raai Vx3 (zie bijlage IV.1).

De in de bijlagen weergegeven golfhoogteverlopen zullen erg onnauwkeurig zijn.

Stroombeeld

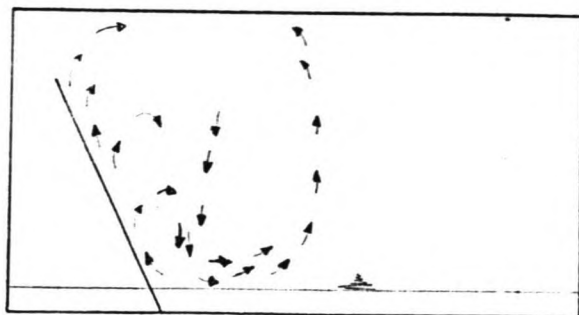
In de zone dam- kustlijn is niet alleen het golfbeeld maar ook het stromingsbeeld aan het wateroppervlak niet constant in de tijd. Waarschijnlijk zal de zone waar het stromingsbeeld (en ook het golfbeeld) in de tijd varieert zich verder uitstrekken dan alleen de zone dam-kustlijn.

Aangezien de variaties in het stromingsbeeld buiten deze zone slechts gering zijn en de stromingsmetingen bij een niet-constant golfveld, onder andere door het geringe aantal stromingsmetingen per roosterpunt, niet al te nauwkeurig, zijn de variaties in het stromingsbeeld buiten de zone dam- kustlijn niet in het verslag vermeld.

Ondanks de variaties van het stromingsbeeld in de tijd, is een globale indruk van het stromingsbeeld verkregen (zie fig.4.3 en bijlage IV.4 t/m IV.6).

Uit de stromingsmetingen blijkt dat:

- een met de wijzers van de klok meedraaiende neer in de zone dam-kustlijn ontstaat. De van de kustlijn af gerichte stroming langs de dam lijkt met name geconcentreerd boven de kniklijn onderwatertalud dam en de bodem van het bassin.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig.4.3

De snelheid van deze stroming neemt af bij een toenemende waterdiepte.

De plaats van de neerstromingen varieert zichtbaar in de tijd; bij benadering wordt een fluktuatie waargenomen tussen de in bijlage IV.5 gegeven situaties.

- Een loodrecht op de dam gerichte stroming bij de waterlijn tussen de raaien Dfx en DLx, terwijl de golven langs de dam niet breken.
- Een langs de kustlijn, van de dam af gerichte stroming, die bij VAL/VBl ontstaat en ter hoogte van de raaien Vfx/VGx bijdraait naar het golfschot toe.
Deze stroming maakt deel uit van een circulatiestroming, waardoor langs de raaien VBx-VAx een van het golfschot naar de kustlijn toe gerichte stroming ontstaat.

In het resterende gedeelte van het bassin (tussen raai Vfx en de rechter geleidewand) zullen eveneens stromingen ontstaan. Aangenomen is dat de stromingen in dit gedeelte van het bassin dermate gering zijn dat de invloed van deze stromingen op het stromingsbeeld in de zone langs de dam- kustlijn verwaarloosbaar is.

In principe is ervan uitgegaan dat de stromingen in de verschillende roosterpunten zowel aan het wateroppervlak als bij de bodem van het bassin bepaald worden. Aangezien echter tijdens deze proef, die als één van de eerste proeven is uitgevoerd, een onverwacht fluktuerend golf- en stromingsbeeld in de zone dam- kustlijn is waargenomen, hebben de stromingsmetingen aan het wateroppervlak dermate veel tijd in beslag genomen dat is afgezien van de bepaling van de stromingen aan de bodem van het bassin.

Het gemiddelde waterniveau

Tijdens de laatste twee dagen van de proef zijn in een gering aantal roosterpunten de waterniveaus tijdens de proef bepaald.

Aangezien met geen van de hevels het waterniveau continu in één roosterpunt is bepaald is de invloed van de zakking van het waterniveau tijdens de proef op de gemeten waterniveaus niet te bepalen (de totale zakking tijdens de proef is wel bekend). Teneinde toch een indruk van de gemiddelde waterniveauvariaties in verschillende roosterpunten te krijgen zijn de waterniveaus in de meetpunten bepaald ten opzichte van een constant referentieniveau.

De op beide dagen bepaalde gemiddelde waterniveaus zijn bepaald ten opzichte van het waterniveau dat bij de aanvang en ook het waterniveau dat na afloop van de proef in het bassin aanwezig is (zie tabel 4.3).

Roosterpunt	4 ^e meetdag		5 ^e meetdag	
	$\bar{h}-\bar{h}_{\text{begin}}$ (cm)	$\bar{h}-\bar{h}_{\text{eind}}$ (cm)	$\bar{h}-\bar{h}_{\text{begin}}$ (cm)	$\bar{h}-\bar{h}_{\text{eind}}$ (cm)
DB 00	+ 0,20	+ 0,29		
DC 00	- 0,19	- 0,10		
DD 00	- 0,15	- 0,06	- 0,09	- 0,03
	- 0,16	- 0,07		
DE 00	- 0,12	- 0,03	- 0,03	+ 0,03
	- 0,12	- 0,03		
DF 00	- 0,07	+ 0,03	- 0,01	+ 0,05
	- 0,07	+ 0,03		

tabel 4.3

De in de tabel vermelde gemiddelde waterniveaus zijn verkregen uit metingen die in een relatief kort tijdsbestek in een roosterpunt zijn uitgevoerd (binnen circa 1 uur); binnen deze aaneengesloten periode zijn per meetpunt meerdere metingen verricht. In de roosterpunten waar de gemiddelde waterniveaus vaker dan één maal per dag gedurende een niet aaneengesloten periode zijn bepaald, zijn de gemiddelde waterniveaus van iedere afzonderlijke periode apart in de tabel vermeld (zoals in de punten DD00, DE00, en DF00 op de vierde meetdag).

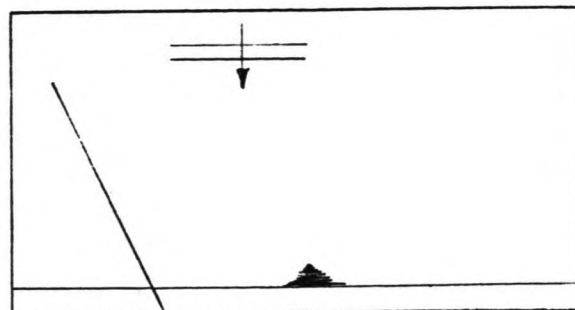
Uit de tabel blijkt dat de daling van het waterniveau in het bassin over de gehele dag dermate groot is ten opzichte van de variatie tussen de waterniveaus in de verschillende punten, dat het op grond van deze metingen niet mogelijk is enig inzicht in de waterniveaus/verhanglijnen in de zone dam-kustlijn te krijgen.

§4.2.2 Proef II

$h=26$ cm $H= 6,3$ cm ($\theta=0^\circ$, $T=0,8$ s)

Golfbeeld

Het verschil tussen deze en de voorafgaande proef is dat de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot nu 6,3 cm is in plaats van 4 cm (zie fig. 4.4).



$H= 6,0$ cm ; $h= 26,0$ cm ; $\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s

fig.4.4

De gemiddelde waterdiepte en de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot gedurende de twee dagen die de proef in beslag heeft genomen, zijn in tabel 4.4 weergegeven.

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	6,1 (VA10 t/m VI10)	26,3	(0,0)	stromingsmetingen
	6,4 (VA10 t/m VD10)	26,3	(0,0)	"
2	6,3 (VA10 t/m VD10)	26,3	(0,0)	golfhoogtemetingen

tabel 4.4

Na het inwerking stellen van de golfmachine is waargenomen dat:

- de golven niet bij de dam breken.
- de overslag over de dam erg groot is (dit wordt veroorzaakt door de combinatie (originele) waterdiepte (0,26 m) en grote golfhoogte).
- het golfveld in de zone dam- kustlijn zeer sterk in de tijd varieert.

Gedurende beide dagen zijn de golfhoogten in een aantal op raai Vx10 gelegen roosterpunten gedurende een periode van 100 s per roosterpunt per dag bepaald (zie bijlage IV.7). Tevens zijn gedurende een periode van 100 s de golfhoogten bepaald in roosterpunten gelegen op raai Vx3 en een drietal raaien loodrecht op de kustlijn (zie bijlage IV.7).

Aangezien visueel, een in de tijd niet-constant golfbeeld in de zone dam- kustlijn is waargenomen, zijn de tweede dag de golfhoogten in een zeer gering aantal roosterpunten gedurende een periode van circa 10 à 15 minuten continu bepaald (zie bijlage IV.8).

Uit de in de bovengenoemde figuren geschetste golfhoogteverlopen blijkt dat:

- . Langs raai Vx10 de golfhoogte gering toeneemt naarmate de punten dichter bij de dam zijn gelegen en dat in die roosterpunten waar de golfhoogten beide dagen zijn bepaald, de variatie in de golfhoogte slechts gering is.
- . Het verloop van de golfhoogte langs raai Vx3 grillig is.
In de punten van raai Vx3 waar de golfhoogte beide dagen zijn bepaald wordt een variatie in de (gemiddelde) golfhoogte waargenomen (met name in de punten DA3 en DB3). Deze variatie zal naar alle waarschijnlijkheid het gevolg zijn van het in de tijd niet-constante golfveld in de zone dam- kustlijn.
- . De variatie van de golfhoogte in de tijd in punten langs de dam dermate groot is dat niet van één gemiddelde golfhoogte in een roosterpunt gesproken kan worden.
Het wordt niet zinvol geacht meerdere metingen langs de dam te verrichten.

Stroombeeld

Naast het golfveld is ook het stromingsveld in de zone dam- kustlijn niet constant in de tijd.

De bepaling van een stromingssituatie in het bassin bij een in de tijd niet constant stromingsbeeld zal erg veel tijd vergen omdat het aantal te verrichten metingen groot is en omdat de meetresultaten in de afzonderlijke roosterpunten alleen dan gecombineerd kunnen worden indien de metingen bij een gelijke stromingssituatie zijn verricht.

Bij de onderhavige proef is aangenomen dat er een relatie tussen het golf- en stromingsbeeld aanwezig is, zodat bij een visueel waarneembare golfsituatie de stromingsmetingen verricht kunnen worden.

Ondanks een uitgebreide meetserie is het echter niet mogelijk gebleken om uit de in de afzonderlijke punten bepaalde stromingsgrootheden een goede indruk van de stromingssituatie in het bassin te krijgen.

Er wordt dan ook volstaan met een zeer grove schets van het stromingsbeeld aan het wateroppervlak (zie bijlage IV.9).

Gemiddelde waterniveau

Gedurende beide dagen zijn in een aantal roosterpunten in de zone dam-kustlijn de gemiddelde waterniveaus bepaald tijdens de proef.

De eerste meetdag is in geen enkel punt het waterniveau continu bepaald en kan derhalve de invloed van de zakking van het waterniveau in het bassin op het gemeten waterniveau tijdens deze proef niet worden bepaald. De waterniveaudaling tijdens deze dag is echter dermate gering (0.02 cm) dat deze geen grote invloed op de met de hevels bepaalde waterniveaus zal hebben.

De waterniveaudaling wordt verwaarloosd en als referentieniveau is het waterniveau gekozen dat gemiddeld genomen tijdens de proef in het bassin aanwezig was.

De tweede meetdag is gedurende de waterniveaumetingen, met één hevel het waterniveau achter de dam ter hoogte van DD00 bepaald. Het in dit punt gemeten niveau is het referentieniveau. Door de grote overslag over de dam ontstaat een stroming achter de dam, waardoor het waterniveau achter de dam ter hoogte van DD00 niet exact gelijk zal zijn aan het waterniveau bij de kop van de dam.

De gemiddelde waterniveaus in de zone dam-kustlijn zijn weergegeven in bijlage IV.10 en IV.11.

Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat het gemiddelde waterniveau in de tijd in een roosterpunt niet constant is (zie tabel 4.5) als gevolg van het in de tijd niet-constante golf- en stromingsbeeld.

Roosterpunt	Totale meetduur	Aantal metingen	$h_{\max}-h_c$	$h_{\min}-h_c$	$h_{\max}-h_{\min}$	$\bar{h}-h_c$
	minuten		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
DA1	35	3	+ 0,69	+ 0,64	+ 0,05	+ 0,67
DA2	45	5	+ 0,67	+ 0,64	+ 0,03	+ 0,66
DB2	45	5	+ 0,20	+ 0,11	+ 0,09	+ 0,14
DC2	45	5	- 0,14	- 0,19	+ 0,05	- 0,16

tabel 4.5

Wordt de invloed van de variatie van het gemiddeld waterniveau in de tijd op de gradiënten in het gemiddeld waterniveau verwaarloosd dan blijkt uit de metingen dat de toename van het gemiddelde waterniveau ten opzichte van het referentieniveau groot is in de ondiepe zone langs de kustlijn en niet langs de dam (zie het verloop van de gemiddelde waterdiepte in raai Dx00), dus in de punten gelegen binnen de brekerzone.

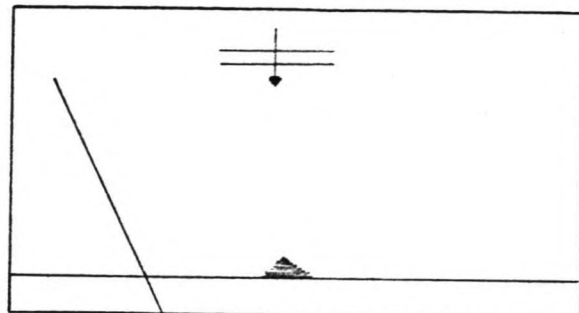
§4.2.3 Proef III

$h=22,7$ cm, $H=3,5$ cm ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)

Golfbeeld

De invalsricting van de golven is loodrecht op de kustlijn.

De gemiddelde golfhoogte voor het golfschot gedurende de twee dagen die de proef in beslag heeft genomen is in tabel 4.6 en fig. 4.5 weergegeven.



$H=3,5$ cm.; $h=22,7$ cm.; $\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s.

fig. 4.5

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	3,3	22,7	(0,1)	golfhoogtemetingen
2	3,6	22,7	(0,1)	waterniveau + stromingsmetingen mingsmetingen

tabel 4.6

De tweede dag is de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot hoger dan de eerste dag (zie tabel 4.6 en bijlage IV.12), waardoor het golf- en stromingsbeeld beide dagen niet gelijk is. Aangenomen wordt dat de verschillen tussen het stromings- en golfbeeld op beide meetdagen gering zijn en aangezien bovendien de nauwkeurigheid van het uiteindelijke meetresultaat slechts beperkt is vanwege het niet in de tijd constante golf- en stromingsbeeld, wordt verondersteld dat de op de verschillende dagen verrichte metingen met elkaar vergeleken/gecombineerd kunnen worden.

Tijdens de proef is visueel waargenomen dat:

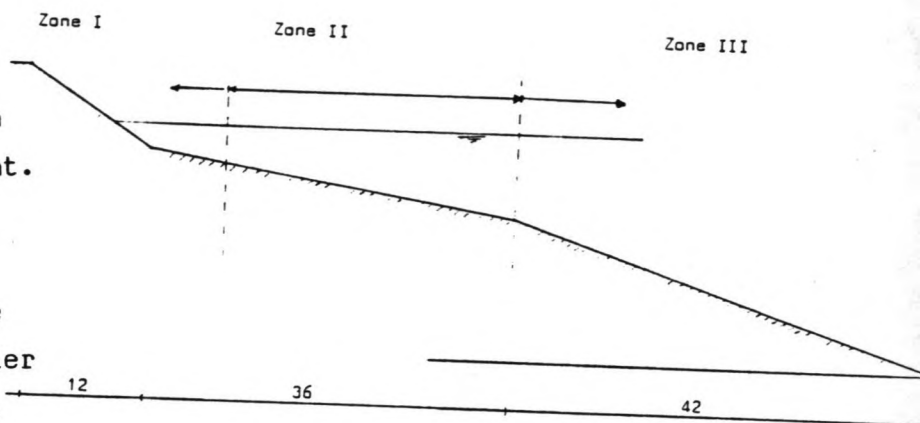
- De golven bij de dam breken.

Bij de schematisatie van het golfhoogteverloop dwars op de dam kan globaal onderscheid worden gemaakt in drie zones (zie fig. 4.6), te weten:

- Zone III:
de golfhoogten zijn min of meer constant.

- Zone II:
de golven nemen toe en worden ook steiler dichter bij de dam.

- Zone I:
de golven breken.



Kenmerkende golfhoogtezones
(maten in cm)

fig. 4.6

- Er geen golfoverslag over de dam optreedt.
- Het golfbeeld in de zone dam- kustlijn niet constant is in de tijd.
- De golven in met name de ondiepe zone langs de dam sterk bijdraaien, waardoor de golven uiteindelijk bijna loodrecht op de dam invallen.
- De brekerlijn langs de kust op circa 1,1 m van de waterlijn is.

Bij de proef zijn met name de stromingen bepaald en nagenoeg geen golfhoogtemetingen verricht.

Beide dagen zijn de golfhoogten in een gering aantal punten gelegen op raai Vx10 bepaald, terwijl de eerste meetdag de golfhoogten eveneens zijn bepaald in een aantal punten gelegen op het rooster langs de dam gedurende een periode van slechts 100 s per roosterpunt (zie bijlage IV.12).

Vanwege het (zichtbaar) fluktuuerende golfbeeld in de zone dam- kustlijn zal de meetduur van 100 s/roosterpunt gelegen op het rooster langs de dam te kort zijn voor het verkrijgen van een betrouwbare indruk van het golfhoogteverloop langs (of loodrecht op) de dam.

Bij benadering zijn twee "extreme" golfsituaties waargenomen waartussen het golfbeeld fluktueert; bij de ene "extreme" situatie zijn de golfkammen langs de gehele kustlijn evenwijdig aan de kustlijn, terwijl bij de andere "extreme" situatie de golfkammen tussen de raaien DFx en DBx bijdraaien, waardoor een geringe hoek tussen de golfkam en de dam ontstaat.

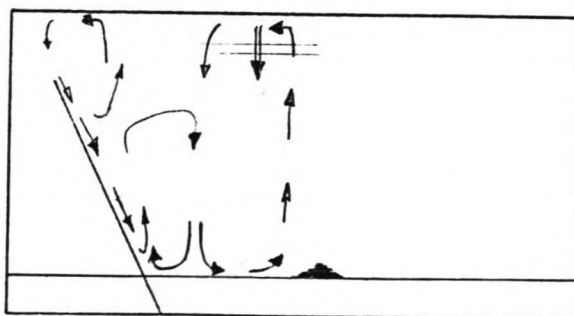
Stroombeeld

Alleen de tweede dag zijn stromingsmetingen aan het wateroppervlak uitgevoerd. In de zone dam- kustlijn wordt een fluktuuerend stromingsbeeld waargenomen.

Het in grote lijnen aan het wateroppervlak waargenomen stromingsbeeld in het bassin is weergegeven in fig.4.7 en bijlage IV.13 t/m IV.14 en kan globaal beschreven worden door:

- een met de wijzers van de klok meedraaiende neer in de zone dam-kustlijn. Bij benadering wordt een fluctuatie van de stromingen in de zone dam-kustlijn waargenomen tussen de "extreme" situaties weergegeven in bijlage IV.15.

Alhoewel de stroomsnelheden noch de stroomrichtingen in deze zone constant zijn in de tijd lijkt de naar het golfschot toe gerichte stroming (langs de dam) met name geconcentreerd boven de kniklijn onderwatertalud dam- bodem van het bassin.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig.4.7

- . Een naar de kustlijn toe gerichte stroming in de brekerzone langs de dam (zie bijlage IV.15), die nagenoeg niet in de tijd verandert. De snelheidsverdeling van deze stroming is als volgt:
de stroomsnelheid neemt af van de kop van de dam (tussen DKx-DLx: $V=0,125$ m/s) tot circa DGx ($V=0,04$ m/s), terwijl vanaf DGx tot DCx de snelheid van de langs de dam gerichte stroming weer toeneemt. De toename van de stroomsnelheid tussen DGx en DCx zal waarschijnlijk mede veroorzaakt worden door de afname van het stroomvoerend oppervlak van de brekerzone dichterbij de kust ten gevolge van de afnemende waterdiepte.
De stroming draait ter hoogte van raai DDx/DCx en stroomt tesamen met de neerstroming, boven de kniklijn onderwatertalud dam-bodembassin van de kust af. De snelheden van deze stroming nemen af met een toenemende waterdiepte.
- . Een, van de dam af gerichte stroming in de brekerzone langs de kustlijn tussen de raaien VAx en VFx (zie bijlage IV.13). Ter plaatse van raai VFx draait de stroming richting het golfschot en ontstaat een circulatiestroming.
De waargenomen stroomsnelheden in de zones buiten de brekerzone langs de kustlijn en buiten de zone langs de dam zijn slechts gering (kleiner dan $0,025$ m/s).
De stromingen in het bassingedeelte tussen raai VFx en de geleide-wand van het bassin zijn niet bepaald.

Gemiddeld waterniveau

In een zeer gering aantal roosterpunten in de zone dam- kustlijn zijn tijdens de proef de gemiddelde waterniveaus bepaald.
In de roosterpunten DB3, DC3, en DE3 zijn vijf waterniveaumetingen verricht.
De metingen kunnen, alhoewel het niveau achter de dam niet is bepaald, wel onderling vergeleken worden omdat de drie metingen op hetzelfde tijdstip zijn verricht.
De gemiddelde waterniveaus in deze roosterpunten herleid naar het niveau zoals dit met hevel II zou worden waargenomen (het gecorrigeerde gemiddelde waterniveau) en het maximale verschil, zowel positief als negatief tussen het gemiddelde waterniveau (van de vijf metingen) en de afzonderlijke metingen (5) zijn in tabel 4.7 vermeld.

Uit de metingen blijkt dat het gemiddelde waterniveau in DB3 beduidend hoger is dan het gemiddelde waterniveau in de overige twee roosterpunten, maar ook dat de variatie in het gemiddelde waterniveau in DB3 groter is dan de variatie in DC3 en DE3.

Roosterpunt	Gemiddeld waterniveau	Variatie
	(cm)	(cm)
DB3	40,10	+ 0,05 - 0,08
DC3	39,71	+ 0,03 - 0,01
DE3	39,75	+ 0,05 - 0,02

tabel 4.7

De foto's (zie bijlage IV.16 t/m IV.19) laten zien dat:

- er een geringe overslag over de dam optreedt tussen DL00 en DK00. Dit wordt naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door de constructie bij de kop van de dam (geleidelijke overgang tussen de dam en de bodem van het bassin). Langs het overige gedeelte van de dam wordt geen overslag waargenomen.
- het golfveld buiten de zone tussen de dam en raai Dx1 nagenoeg niet door de dam wordt beïnvloed, terwijl binnen deze zone het golfbeeld sterk verandert:
 - in de punten tussen de raaien Dx1 (valt tussen DL1 en bijna DG1 samen met de kniklijn onderwatertalud dam en de bassinbodem) en Dx0 is de voortplantingssnelheid van de golven groter dan de voortplantingssnelheid in de punten die buiten de zone tussen de dam en raai Dx1 vallen. Deze zone tussen raai Dx0 en Dx1 komt overeen met de zone waar visueel een hoge golfhoogte is waargenomen (zie fig. 4.6).
 - tussen de kruin van de dam en raai Dx0 draaien de golven sterk bij, waardoor een kleine hoek tussen de dam en golfkammen ontstaat.

In deze zone zijn visueel brekende golven waargenomen. In de zone dam- kustlijn is het golfbeeld niet constant in de tijd maar varieert de invalsrichting van de golven tussen loodrecht op de kustlijn en bijna loodrecht op de dam.

- de golfkammen op de foto's dermate vaag zijn dat de plaats van de brekerzone langs de dam noch de brekerzone langs de kust uit de foto's bepaald kan worden.

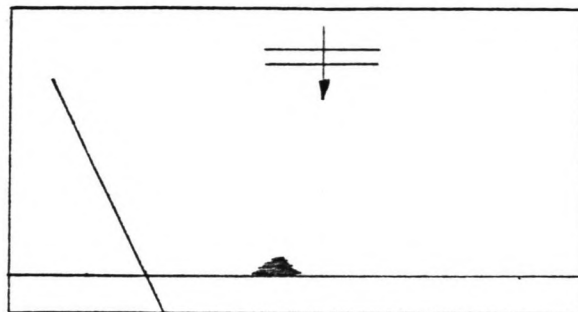
§4.2.4 Proef IV

$h=22,7$ cm, $H= 4,1$ cm ($\theta=0^\circ$; $T= 0,8$ s)

Golfbeeld

Deze proef is gelijk aan de voorafgaande met uitzondering van de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot die tijdens deze proef circa een 0,5 cm hoger is (zie fig. 4.8).

De nauwkeurige gegevens van de proef die drie dagen in beslag heeft genomen zijn in tabel 4.8 weergegeven.



$H=4,1$ cm ; $h=22,7$ cm ; $\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s

fig. 4.8

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,1	22,7	(0,2)	golfhoogten bij kust bepaald
2	4,1	22,6	(0,1)	golfhoogten bij dam bepaald
3	4,3	22,6	(0,1)	

tabel 4.8

Visueel is waargenomen:

- een smalle brekerzone langs de dam
- geen golfoverslag over de dam
- een, in de tijd niet-constant golfbeeld in de zone dam- kustlijn.

In een aantal roosterpunten gelegen op raai Vx10 zijn de golfhoogten alle proefdagen (drie) bepaald (o.a. voor de instelling van de golfmachine) gedurende een periode van 100 s per roosterpunt per dag - zie bijlage IV.20; Uit deze figuur blijkt dat zowel het verschil in de, op verschillende dagen bepaalde golfhoogten in een roosterpunt als de variatie van de golfhoogte langs de raai gering is.

De golfhoogten in roosterpunten bij de dam en voor de kust zijn met uitzondering van de in bijlage IV.22 vermelde punten gedurende een periode van 1 x 100 s bepaald (zie bijlage IV.20 en IV.21).

Uit de metingen blijkt dat:

- . de variatie van de golfhoogte in de tijd in de punten voor de kust (V..) noch in de punten voor de dam (D..) erg groot is.
- . het verloop van de golfhoogte langs de raaien VO'x, VBx en Vx4 grillig is.
- . in de ondiepe zone bij de dam en de zone dam- kustlijn de verschillen tussen de golfhoogten in de dicht bij elkaar gelegen roosterpunten groot kan zijn.

Aangezien in geen van de meetpunten een grote variatie van de golfhoogte in de tijd is waargenomen lijkt het aannemelijk dat het in bijlagen IV.20 en IV.21 geschetste verloop van de golfhoogte redelijk goed zal overeenkomen met het golfhoogteverloop in het bassin.

Stroombeeld

Alle drie de dagen zijn stromingsmetingen verricht en alhoewel in de zone dam-kustlijn het stromingsbeeld aan het wateroppervlak niet in de tijd constant is, kan het gemiddelde stromingsbeeld in het bassin aan het wateroppervlak globaal beschreven worden door (zie fig.4.9 en bijlage IV.23):

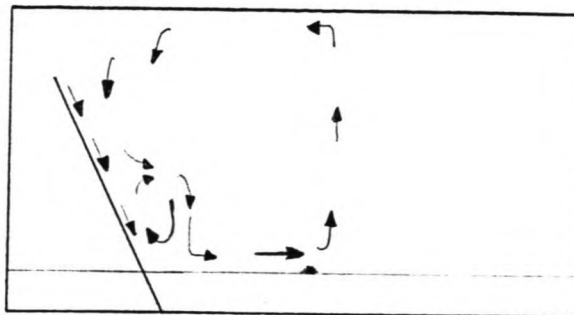
- . een met de wijzers van de klok meedraaiende neer in zone dam-kustlijn, waardoor langs de dam een naar het golfschot gerichte stroming ontstaat.

Deze stroming lijkt geconcentreerd boven de kniklijn onderwatertalud dam- bodembassin.

Naarmate de afstand tussen de plaats van het punt boven de kniklijn en de kustlijn groter wordt c.q. de waterdiepte groter

wordt, nemen de snelheden van de stroming af.

Met name de plaats van de neerstroming in de zone dam-kustlijn varieert in de tijd. Waargenomen zijn bij benadering de twee stromingssituaties aan het wateroppervlak, zoals in bijlage IV.24 zijn weergegeven.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig.4.9

- een, in de smalle brekerzone langs de dam, naar de kust toe gerichte stroming (zie bijlage IV.23 en IV.25) met een snelheidsverdeling langs de dam op de drie afzonderlijke dagen (zie bijlage IV.26) die afneemt vanaf de kop van de dam ($V \approx 0,15$ m/s tussen DLx-DKx) tot circa DFX-DHx ($V \approx 0,05$ m/s) terwijl vanaf DEX de snelheid weer sterk toeneemt (tussen DCx-DDx: $V \approx 0,09$ m/s); deze toename wordt waarschijnlijk mede veroorzaakt door een afname van stroomvoerend oppervlak van de brekerzone dicht bij de kust ten gevolge van afnemende waterdiepte. De stroomsnelheden buiten de brekerzone langs de dam zijn tussen de raaien DLx en DEX zeer gering (kleiner dan 0,025 m/s).

Opvallend is dat ondanks de fluktuaties van het golf- en stromingsbeeld in de tijd in de zone dam- kustlijn, de stroomsnelheden in de brekerzone langs de dam niet of slechts zeer gering in de tijd variëren.

- een, van de dam af gerichte stroming in de brekerzone langs de kustlijn tussen raai VAX en VFx/VHx met geringe stroomsnelheden ($V < 0,025$ m/s), die ter plaatse van raai VHx bijdraait waardoor tussen de dam en raai VHx een circulatie-stroming ontstaat (zie bijlage IV.23).

De stromingen zijn niet alleen gemeten aan het wateroppervlak maar eveneens, zij het slechts op beperkte schaal langs de dam, bij de bodem (zie bijlage IV.27).

Worden de richtingen van de stromingen aan het wateroppervlak en bij de bodem vergeleken (zie fig.4.10) dan kan opgemerkt worden dat:

- in de zone tussen de raaien DLx en DGx/DFx de richtingen in grote lijnen gelijk zijn.
- tussen raai DFx/DGx en de kustlijn boven de kniklijn onderwatertalud dam- bodem bassin

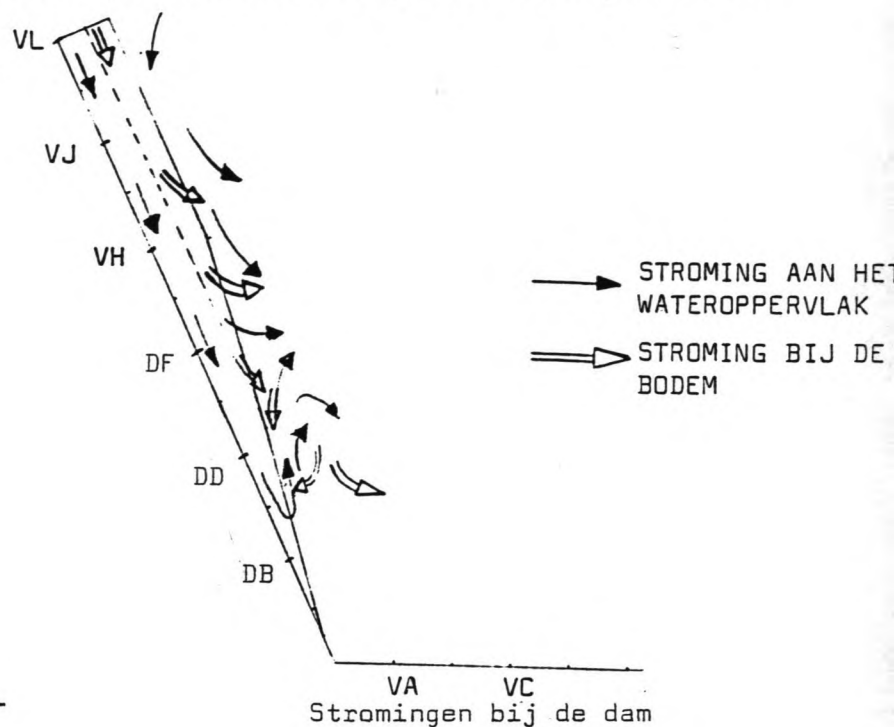


fig. 4.10

aan het wateroppervlak een naar het golfschot toe gerichte stroming aanwezig is, terwijl bij de bodem de stroming juist langs de kniklijn naar de kustlijn toe gericht is.

De bodemstromingen in de zone dam- kustlijn zijn naar de kniklijn onderwatertalud dam- bassinbodem gericht. Aangezien stroomlijnen elkaar niet kunnen snijden wordt aangenomen dat de aan het wateroppervlak van de kust af gerichte stroming boven de kniklijn mede gevoed wordt door de bodemstromingen.

Gemiddeld waterniveau

Op beperkte schaal zijn op alle drie de meetdagen de gemiddelde waterniveaus tijdens de proef in de zone dam- kustlijn bepaald (zie bijlage IV.28 t/m IV.29). Uit de metingen blijkt dat in de punten Dx00 voor $x = Et/m$ G en in DCO het gemiddelde waterniveau hoger is dan het gemiddelde waterniveau achter de dam, terwijl in de resterende roosterpunten waar het gemiddelde waterniveau tijdens de proef is bepaald, het waterniveau lager is dan het waterniveau achter de dam.

Alhoewel de grenzen moeilijk nauwkeurig vastgesteld konden worden lijkt het dat alleen in die roosterpunten waar de golven zijn gebroken het waterniveau hoger is dan het waterniveau achter de dam.

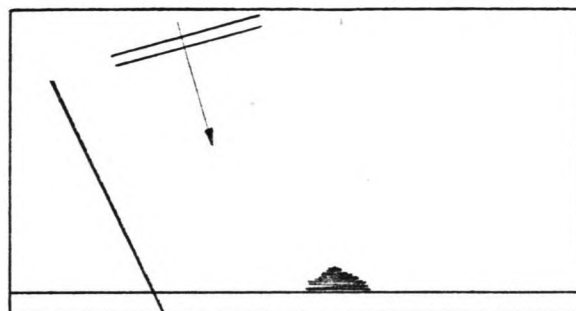
§4.3 De invalshoek van de golven is 15° met de kustlijn

§4.3.1 Proef V

$h=26,2$ cm, $H= 4,5$ cm ($\theta=15^\circ$; $T= 0,8$ s)

Golfbeeld

Tijdens de proef is de invalshoek van de golven 15° met de kustlijn (zie fig. 4.11). De gemiddelde golfhoogte en waterdiepte voor het golfschot op de drie afzonderlijke dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn in tabel 4.9 vermeld.



$H=4,5$ cm ; $h=26,2$ cm ; $\theta=15^\circ$; $T= 0,8$ s

fig. 4.11

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,5	26,2	(0,1)	
2	4,5	26,2	(0,0)	
3	4,6	26,2	(0,0)	

tabel 4.9

Visueel is waargenomen dat:

- de golven langs de dam niet breken, zelfs niet in de ondiepe zones.
- het golfbeeld in het bassin niet of slechts gering in de tijd varieert.
- er golfoverslag over de dam plaatsvindt. Eveneens is zichtbaar dat deze overslag langs de dam niet constant is en alhoewel de verschillende overslaggebieden visueel moeilijk bepaald kunnen worden, zijn toch een viertal zones langs de dam te onderscheiden (zie ook fig.- 4.12) te weten:

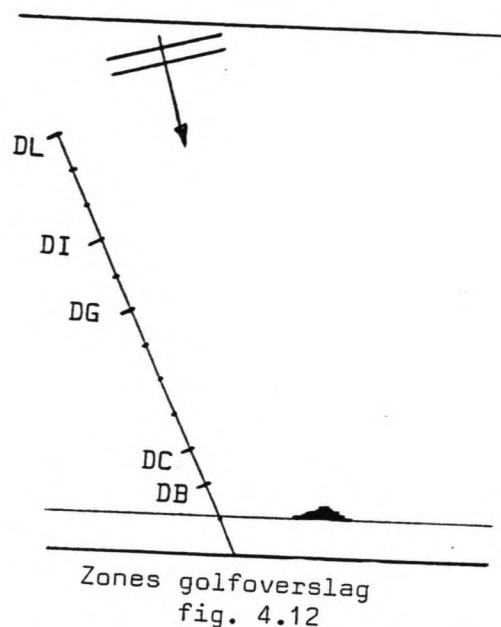
zone I tussen DL en DI;
de overslag is bij iedere
golftop aanzienlijk.

zone II tussen DI en DG;
de overslag is gering.

zone III tussen DG en DC;
er is geen overslag.

zone IV tussen DC en DB;
overslag over de dam is
gering.

- de breedte van de brekerzone
langs de kust en met name in
de zone bij de dam, varieert.



Alle drie de dagen zijn de golfhoogten in een groot aantal punten voor de kust en bij de dam bepaald. De waarnemingen op de dagen dat in roosterpunten de golfhoogten gedurende een periode van 2×100 s of langer zijn bepaald zijn in bijlage IV.30 en IV.31 weergegeven.

Het verloop van de gemiddelde golfhoogten voor de kust en langs de dam is weergegeven in bijlage IV.32 en IV.33.

Uit de geschetste golfhoogteverlopen blijkt dat:

- de verschillen tussen de op verschillende dagen bepaalde gemiddelde golfhoogte in een roosterpunt zeer gering zijn, zelfs in de zone dam-kustlijn.
- het golfhoogteverloop langs raai Vx10 tussen VO'10 en VD10 grillig is, terwijl de golfhoogte tussen VD10 en VH10 nagenoeg constant is.
- het verloop van de gemiddelde golfhoogte langs raai Vx3 groot is (VO'3: $H \approx 5,6$ cm; VC3: $H \approx 4$ cm).

Het punt DC4 ligt bij benadering op raai Vx3. Wordt de in dit punt bepaalde golfhoogte meegenomen bij de bepaling van het golfhoogteverloop langs raai Vx3 dan ontstaat een grilliger verloop (zie bijlage IV.34). Blijkbaar is voor een nauwkeurige bepaling van het verloop van de golfhoogte langs raai Vx3 de afstand tussen de punten te groot.

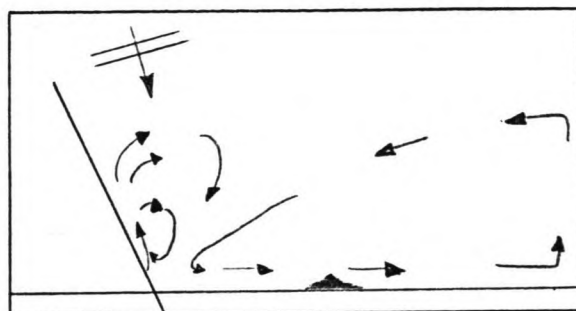
Aangezien de verschillen tussen de op de verschillende dagen bepaalde golfhoogten in de punten Vx3 met $x=0'$ t/m G gering zijn, is het aan-
nemelijk dat de in deze punten bepaalde golfhoogten wel redelijk
nauwkeurig zijn.

- Het verloop van de golfhoogte langs de raaien $VO'x$, VBx en VDx (loodrecht op de kustlijn) grillig is.

Op grond van deze golfhoogtemetingen lijkt het aannemelijk dat het golfbeeld in het bassin vrijwel constant is in de tijd en dat de geschetste golfhoogteverlopen redelijk nauwkeurig zijn.

Stroombeeld

Het stromingsbeeld aan het wateroppervlak zoals dit ten gevolge van de, onder een hoek van 15° met de kustlijn invalende golven in het bassin onstaat is weergegeven in fig.4.13 en bijlage IV.35 en IV.36. Deze figuren geven een combinatie van de, op alle drie de dagen verrichte metingen. Het stromingsbeeld in het bassin aan het wateroppervlak is grof te schematiseren door:



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak

fig. 4.13

- Een, van bovenaf op het bassin gezien, rechtsom draaiende neer in de zone dam- kustlijn, waardoor langs de dam een van de kustlijn af gerichte stroming ontstaat, die met name geconcentreerd lijkt boven de kniklijn onderwater talud dam- bassinbodem (zie bijlage IV.36). De snelheid van deze boven de kniklijn geconcentreerde stroming is maximaal tussen DBx en DCx en neemt af naarmate de afstand tot de kustlijn groter wordt ofwel bij een toenemende de waterdiepte.
- Een van de kustlijn af gerichte stroming tussen de raaien $Dx00$ en $Dx0$ voor $x=B$ tot circa $x=G/H$. Alhoewel de snelheden van de stroming moeilijk nauwkeurig bepaald kunnen worden vanwege de grote snelheidsgradiënten vlakbij en loodrecht op de dam, lijken ook bij deze stroming de snelheden maximaal tussen DBx en DCx en afnemend naarmate de afstand tot de kustlijn groter wordt.

Tussen DB00 en DF00 is de stroming nagenoeg evenwijdig aan de dam gericht, terwijl tussen DF00 en DH00 eveneens een snelheidscomponent loodrecht op de dam aanwezig is.

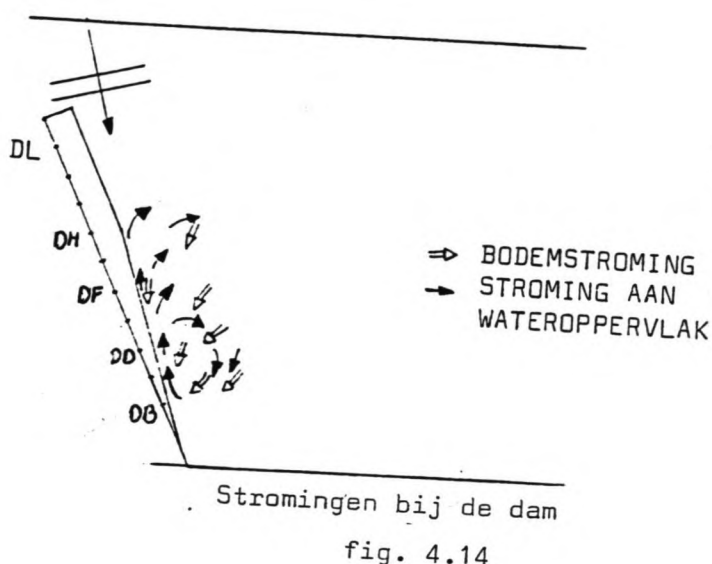
- Een van de dam af gerichte stroming in de brekerzone langs de kustlijn beginnende ter plaatse van raai VAx en een snelheidsverdeling langs de kustlijn, zoals weergegeven in bijlage IV.37. Aangezien de, direkt, langs de kustlijn opgewekte, stroming in het bassin circuleert, is de aanvangssnelheid van de stroming reeds aanzienlijk.

Naast de stromingen aan het wateroppervlak zijn de stroomrichtingen bij de bodem in de zone dam- kustlijn bepaald (zie bijlage IV.38).

De bodemstromingen lijken geconcentreerd naar de ondiepe zone langs de kniklijn onderwatertalud dam- en de bassinbodem. Worden de stroomrichtingen bij de bodem en aan het wateroppervlak in de zone dam- kustlijn vergeleken dan valt op dat (zie fig. 4.14) deze rondom de kniklijn niet gelijk zijn. Aangezien stroomlijnen elkaar niet kunnen snijden lijkt het aannemelijk dat

de naar het golfschot toe gerichte stroming aan het wateroppervlak boven de kniklijn onderwatertalud dam- bassinbodem mede door de bodemstroming gevoed wordt.

De bodemsnelheden ter plaatse van het onderwatertalud van de dam zelf, zijn nagenoeg niet te bepalen.



Gemiddeld waterniveau

Alle drie de dagen zijn in een gering aantal punten in de zone dam- kustlijn de gemiddelde waterniveaus tijdens de proef met een drietal hevels bepaald, terwijl met de vierde hevelconstructie (nr. II) het niveau achter de dam is bepaald (zie bijlage IV.39).

In bijlage IV.40 zijn de gemiddelde waterniveaus grafisch weergegeven ten opzichte van het gemiddeld niveau achter de dam.

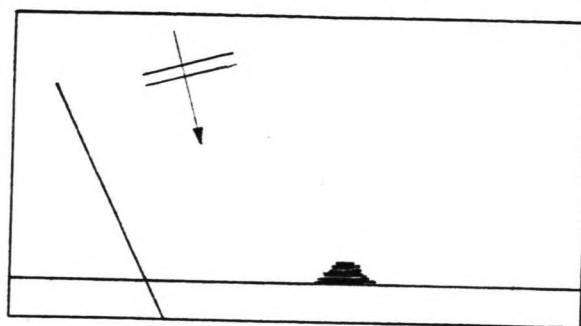
Uit de metingen blijkt dat in de punten DB00 en DC00 direkt langs de dam, het gemiddelde waterniveau verschilt (hoger danwel lager) van het gemiddelde waterniveau achter de dam maar dat eveneens de op verschillende dagen bepaalde gemiddelde waterniveaus in deze roosterpunten variëren. In de overige punten waar het gemiddeld waterniveau is bepaald wordt een niveau waargenomen dat zeer gering verschilt (minder dan 0,05 cm) met het gemiddelde waterniveau achter de dam.

§4.3.2 Proef VI

$h=22,6$ cm, $H= 4,1$ cm ($\theta=15^\circ$; $T=0,8$ s)

Golfbeeld

De invalsrichting is tijdens deze proef, net als bij de voorafgaande 15° met de kustlijn (zie fig. 4.15). De gemiddelde golfhoogte en waterdiepte voor het golf-schot tijdens de twee dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn weergegeven in tabel 4.10; het verschil tussen de in §4.3.1 en de in deze paragraaf beschreven proef wordt veroorzaakt door de waterdiepte in het bassin.



$H=4,1$ cm ; $h=22,6$ cm ; $\theta=15^\circ$; $T=0,8$ s

fig. 4.15

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,1	22,6	(0,0)	Golfhoogtemetingen
2	4,1	22,6	(0,0)	Stromingsmetingen

tabel 4.10

Na het inwerking stellen van de golfmachine wordt waargenomen dat:

- de golven langs de dam niet breken;
- er geen overslag over de dam optreedt;
- het golfbeeld in de zone dam-kustlijn niet of slechts gering in de tijd varieert.

Aangezien bij de onderhavige proef visueel een vrijwel constant golfbeeld in de tijd is waargenomen is, mede op grond van de waarnemingen bij proef V (§4.3.1) verondersteld dat de golfhoogten voldoende nauwkeurig worden bepaald bij een meetduur van 100 s per roosterpunt.

Wel zijn ter controle, de golfhoogten in een aantal roosterpunten langs de dam gedurende een langere periode bepaald (zie bijlage IV.42).

Uit deze metingen blijkt inderdaad dat de variaties van de golfhoogten in de tijd gering zijn. Het golfhoogteverloop bij de dam en de kust is weergegeven in bijlage IV.41, IV.43 en IV.44).

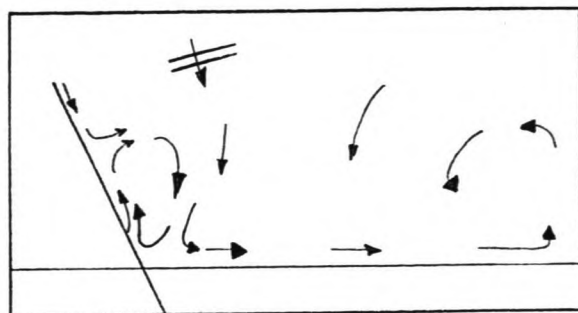
Uit deze figuren blijkt onder andere dat:

- . De golfhoogte langs raai Vx10, zij het geleidelijk, varieert (in VB10:H = 4,5 cm terwijl in VE10; H = 3,8 cm). In de roosterpunten waar de golfhoogten beide dagen zijn bepaald verschillen de gemiddelde waarden slechts gering (zie bijlage IV.41).
- . Het verloop van de golfhoogte langs raai Vx4 in met name de zone bij de dam ($x = 0$ t/m C) grillig is, terwijl langs het overige gedeelte ($x = C$ t/m H) de golfhoogte nagenoeg constant is.
- . De golfhoogte langs raai Dx2 voor $x = E$ t/m L nagenoeg constant is en dat deze hoogte (H 4,8 cm) hoger is dan de gemiddelde golfhoogte voor het golfschot (zie bijlage IV.43).
- . Dwars op de dam gezien de golfhoogte in een punt op raai Dx1 beduidend hoger is dan de golfhoogte in het bijbehorende punt op raai Dx0,5, terwijl met uitzondering van raai DLx de golfhoogten in raai Dx2 weer beduidend hoger zijn dan de golfhoogten in de bijbehorende plaatsen op raai Dx1 (zie bijlage IV.44).

Stroombeeld

Het stromingsbeeld aan het wateroppervlak is weergegeven in fig.4.16 en bijlage IV.45 en IV.46 en kan globaal beschreven worden door:

- . Een, van bovenaf op het bassin gezien, rechtsomdraaiende neer in de zone dam-kustlijn, waardoor langs de dam een naar het golfschot toe gerichte stroming ontstaat. Deze stroming is met name geconcentreerd boven de kniklijn onderwatertalud dam-



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig. 4.16

bodem bassin en bezit vooral tussen de raaien DCx en DDx een grote snelheid ($V \approx 0,20 \text{ m/s}$) die tussen DDx en DEx reeds bijna gehalveerd is ($V \approx 0,13 \text{ m/s}$).

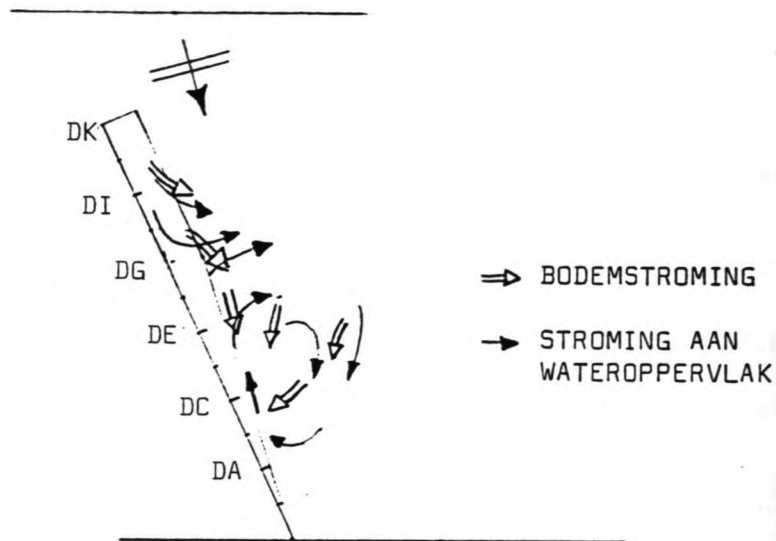
- Een direkt langs de dam naar het golfschot toe gerichte stroming in de zone tussen de raaien DBx/DCx en DFx/DGx. De snelheid van de stroming is tussen DD00 en DE00 aanzienlijk ($V \approx 0,07 \text{ m/s}$), terwijl tussen DE00 en DG00 de snelheden veel lager zijn ($< 0,025 \text{ m/s}$).
- Een naar de kust toe gerichte stroming direkt langs de dam in de zone tussen DL00 en DH/DG00. De snelheid van deze stroming is maximaal tussen DL00 en DK00 ($V \approx 0,14 \text{ m/s}$) en neemt af tot een zeer lage stroomsnelheid tussen DH00 en DG00 ($V < 0,025 \text{ m/s}$). De indruk is gekregen dat deze stroming een gevolg is van de circulatiestroming.
- Een langs de kustlijn opgewekte stroming in de brekerzone (zie bijlage IV.45). De snelheidsverdeling van deze stroming langs de kust in de raaien Vx1,5 en Vx2 is weergegeven in bijlage IV.47 (Aangezien raai Vx2 bij benadering samenvalt met de brekerlijn zijn de snelheden langs deze raai moeilijk te bepalen en derhalve minder nauwkeurig dan de langs raai Vx1,5 bepaalde snelheden).
Zichtbaar in het figuur is de grote aanvangssnelheid van de langs de kust gerichte stroming tussen de raaien VAx en VBx.

Naast de stromingen aan het wateroppervlak zijn op beperkte schaal in de zone langs de dam de stromingsrichtingen bij de bodem van het bassin bepaald (zie bijlage IV.48). In deze figuren is zichtbaar dat in de zone dam- kustlijn de bodemstromingen naar de kniklijn damtalud-bassinbodem zijn gericht.

Worden de stroomrichtingen aan het wateroppervlak en bij de bodem vergeleken zie (fig.4.17) dan blijkt dat bij de kop van de dam de stromingen gelijk zijn gericht terwijl in de zone dam- kustlijn de richtingen rond de kniklijn damtalud-bassinbodem tegengesteld zijn.

Aangezien stroomlijnen elkaar niet kunnen snijden lijkt het aannemelijk dat in de zone bij de kniklijn de stroming aan het wateroppervlak mede door de bodemstroming wordt gevoed. (Bij deze veronderstelling wordt er stilzwijgend vanuit gegaan dat de stroming langs de bodem van het bassin niet via het onderwatertalud van de dam retour richting het golfschot stroomt.

Alhoewel de stroming boven het talud tussen de raaien DCx en DEx nagenoeg niet bepaald kan worden, lijkt het vanwege de afname van de waterdiepte ten gevolge van het damtalud en de overgang gladde bassin- bodem- ruw damtalud niet aan- nemelijk dat ter plaatse van het talud een van de kustlijn af gerichte bodemstroming optreedt.



Stromingsbeeld bij de dam

fig. 4.17

Gemiddeld waterniveau

Beide dagen zijn in een beperkt aantal punten in de zone dam-kustlijn de gemiddelde waterniveaus tijdens de proef bepaald met drie hevels in punten gelegen aan de door de golven aangevallen zijde van de dam, terwijl tegelijkertijd met de vierde hevel het waterniveau achter de is dam bepaald (zie bijlage IV.49 en IV.50).

Uit de metingen blijkt dat:

- . Het verschil tussen de op verschillende dagen bepaalde gemiddelde waterdiepte in een punt gering is.
- . Dat met uitzondering van enige op de raai DBx gelegen punten, alleen een toename van het gemiddeld waterniveau ten opzichte van het niveau achter de dam wordt waargenomen in de punten direkt langs de dam (Dx00 met $x = C \text{ t/m F}$), waarbij de toename tussen de kust en DC00 beduidend hoger is dan de toename van het gemiddelde waterniveau tussen DD00 en DF00.

De in de punten DBx met $x = 1$ tot 3 waargenomen toename van het gemiddeld waterniveau wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat deze punten binnen de brekerzone zijn gelegen, terwijl het verschil tussen het gemiddelde waterniveau op de eerste en tweede dag in het punt DB3 aanwezig is doordat het punt de eerste dag wel en de tweede dag niet binnen de brekerzone ligt.

- . Dat het gemiddeld waterniveau loodrecht op de dam ter plaatse van de dam maximaal en tussen de raaien $Dx0$ en $Dx1$ minimaal is, terwijl op enige afstand van de dam het gemiddeld waterniveau min of meer gelijk wordt aan het gemiddeld waterniveau achter de dam.

§4.4 De invalshoek van de golven is 30° met de kustlijn

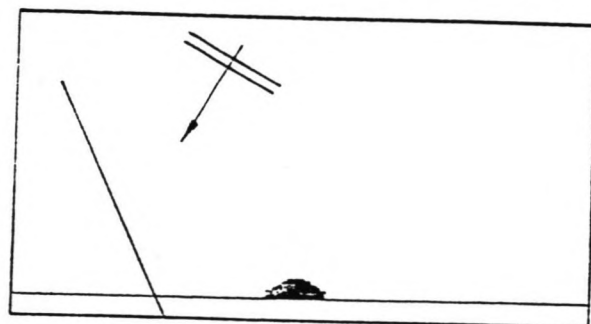
§4.4.1 Proef VII

$h=26,2$ cm, $H=4,3$ cm ($\theta=-30^\circ$; $T=0,8$ s)

Golfbeeld

De invalrichting van de golven tijdens de proef is 35° met de dam c.q. 30° met de kustlijn (zie fig. 4.18).

De gemiddelde golfhoogte en waterdiepte voor het golfschot tijdens de beide dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn weergegeven in tabel 4.11.



$H=4,3$ cm.; $h=26,2$ cm.; $\theta=30^\circ$; $T=0,8$ s

fig. 4.18

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,5	26,2	(0,0)	VO'3 t/m VH3: $H=4,3$
2	4,2	26,2	(0,0)	

tabel 4.11

Visueel wordt waargenomen dat:

- de golven langs de dam niet breken.
- er wel golfoverslag over de dam plaatsvindt.

De dam kan opgedeeld worden in vijf zones, waarbinnen visueel een min of meer gelijk overslagbeeld is waargenomen.

- zone I tussen DLx en halverwege DGx-DHx:
in deze zone is de overslag bij iedere golftop aanzienlijk.

- zone II tussen DGx en DEx:
de overslag over de dam is duidelijk minder dan in zone I.
 - zone III tussen DEx en DDx:
een toename ten opzichte van de overslag in zone II.
 - zone IV tussen DDx en DCx:
een afname van de overslag ten opzichte van de in zone III
waargenomen overslag.
 - zone V tussen DCx en DBx:
een duidelijk nog mindere overslag dan in zone IV.
- het golfbeeld in de zone dam- kustlijn niet in de tijd constant is.

In nagenoeg alle roosterpunten zijn de golfhoogten gedurende een periode van 2×100 s of langer bepaald (zie bijlage IV.51 en IV.52). Uit deze metingen blijkt dat het golfbeeld in met name de zone dam- kustlijn niet constant is in de tijd, zoals visueel reeds was waargenomen. Desondanks is het verloop van de gemiddelde golfhoogte bij de dam en bij de kust bepaald (zie bijlage IV.53 en IV.54). Uit deze figuren blijkt eveneens het niet constante golfbeeld in de tijd uit de verschillen tussen de op verschillende dagen bepaalde golfhoogten in een punt.

Opmerkelijk is dat:

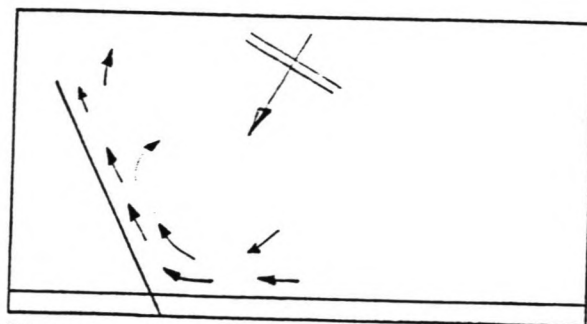
- het verloop van de golfhoogte langs raai Vx10 grillig is, alhoewel de variatie van de golfhoogte in de tijd in een punt op deze raaien gering is.
- de gradiënten in de golfhoogten langs raaien evenwijdig aan de dam groot zijn.

Stroombeeld

Door de onder een hoek van -30° met de kust invallende golven, wordt zoals te verwachten, een naar de dam toe gerichte stroming in de brekerzone langs de kust opgewekt. Tengevolge van deze stroming ontstaat in de zone langs de dam waar de golven niet breken een naar de kop van de dam gerichte stroming.

Wordt het stromingsbeeld aan het wateroppervlak in het bassin nader bestudeerd (zie fig. 4.19 en bijlage IV.55 en IV.56) dan blijkt dat:

- De stroomsnelheid langs de dam erg groot is (zie bijlage IV.56).
- De maximale snelheid van de evenwijdig aan de dam gerichte stroming optreedt boven de kniklijn van het damtalud, overeenkomend met raai Dx0.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig.4. 19

- Alhoewel wel variaties van het golfbeeld in de tijd in de zone dam-kustlijn zijn waargenomen, de variaties van het stromingsbeeld in de tijd slechts gering zijn.

Gemiddeld waterniveau

Beide dagen zijn de gemiddelde waterniveaus in een aantal punten in de zone dam- kustlijn bepaald. Tijdens deze proef is, net als bij de voorgaande, het referentieniveau gelijk aan het waterniveau achter de dam gekozen.

De resultaten zijn weergegeven in bijlage IV.57 en IV.58) Uit de figuren blijkt dat met name langs de dam het waterniveau beduidend hoger is dan achter de dam.

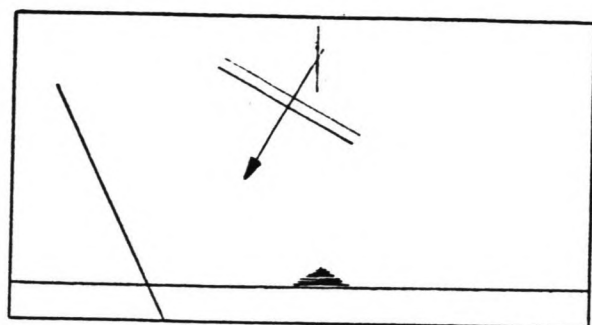
§4.4.2 Proef VIII

$h=22,5$ cm; $H=4,1$ cm; ($\theta=-30^\circ$; $T=0,8$ s)

Golfbeeld

Tijdens deze proef is net als in de voorafgaande de invalrichting van de golven -30° met de kustlijn (zie fig. 4.20).

De gemiddelde golfhoogten en waterdiepten voor het golfschot tijdens de drie dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn weergegeven in tabel 4.12.



$H=4,1$ cm ; $h=22,5$ cm ; $\theta=-30^\circ$; $T=0,8$ s

fig. 4.20

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	4,1	22,6	(0,0)	
2	4,1	22,5	(0,0)	
3		22,5	(0,0)	

tabel 4.12

Visueel is waargenomen dat:

- de golven langs de dam wel breken.
- er geen golfoverslag over de dam optreedt.
- het golfbeeld in het bassin min of meer constant is in de tijd
- de breedte van de brekerzone langs de kustlijn gering varieert.

Tijdens de proef zijn een groot aantal golfhoogtemetingen verricht met een meetduur per meetpunt van 2×100 s of langer (zie bijlage IV.59 en IV.60).

Het verloop van de golfhoogte bij de kust en bij de dam is weergegeven in bijlage IV.61 en IV.62).

Bij de voorafgaande proeven die meer dan één dag in beslag hebben genomen, is de instelling van de golfmachine gecontroleerd aan de hand van de gemiddelde golfhoogte langs raai Vx10.

Aangezien tijdens deze proef de variatie van de golfhoogte in de tijd in de roosterpunten langs de dam (Dxy met $x = E t/m L$ en $y = 0,5, 1, 2, 3$ of 4) gering is en door tijdgebrek de golfhoogten de eerste noch de tweede dag in al deze roosterpunten bepaald konden worden zijn de derde dag de golfhoogten alleen in de roosterpunten langs de dam bepaald en niet in punten op raai Vx10. De instelling van de golfmachine is gecontroleerd/gecorrigeerd aan de hand van de langs de dam verkregen golfhoogten.

Uit de metingen blijkt dat:

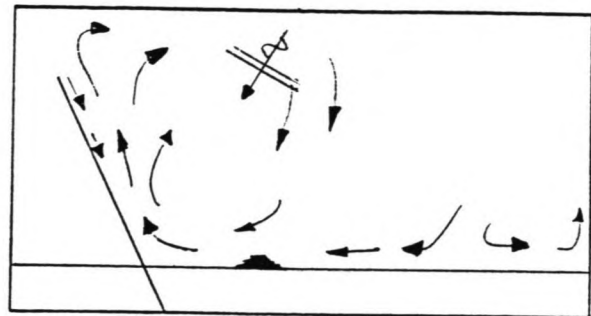
- . De variatie van de golfhoogten in de tijd in een roosterpunt gering is.
- . Alhoewel wel enig verschil wordt waargenomen tussen de op de verschillende dagen bepaalde gemiddelde golfhoogte in een willekeurig roosterpunt, dit verschil erg gering is.
Op grond van deze waarnemingen lijkt het dan ook aannemelijk dat het golfveld in het bassin min of meer constant is in de tijd en dat de instelling van de golfmachine alle drie de dagen nagenoeg gelijk is.
- . Het verloop van de golfhoogte langs raai Vx10 en Vx4 erg grillig is.
- . Het verloop van de golfhoogte langs de raaien Dx1, Dx2 en Dx3 min of meer gelijkvormig is.

Stroombeeld

De eerste en tweede dag zijn zowel de stromingen aan het wateroppervlak in een zeer groot gedeelte van het bassin alswel de stromingen bij de bodem van het bassin in de zone langs de dam bepaald.

Het nagenoeg in de tijd constante stromingsbeeld aan het wateroppervlak in het bassin (zie fig.4.21 en bijlage IV.63 en IV.64) kan globaal beschreven worden door:

- Een naar de dam toe gerichte stroming tussen raaien VLx en VAx in de brekerzone langs de kustlijn, die veroorzaakt wordt door de onder een hoek met de kustlijn invallende golven. Tussen raai VMx en de rechter geleide wand wordt een van de dam af gerichte stroming waargenomen.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig. 4.21

Deze stroming is het gevolg van de gradiënt in de golfhoogte langs de kust tussen raai VM en de geleidewand.

De snelheidsverdeling binnen de brekerzone langs de raaien Vx1,5 en Vx2 is voor $x = A \text{ t/m } L$ bepaald (zie bijlage IV.65).

- Een naar de kustlijn toe gerichte stroming in de brekerzone langs de dam.
- Een naar de kop van de dam toe gerichte stroming boven de kniklijn in het onderwatertalud van de dam (raai Dx0), dus een stromingsrichting boven raai Dx0 tegengesteld gericht aan de stroming boven raai Dx00. Voor die zones langs de raaien Dx00, Dx0 en Dx1 waar de stroming evenwijdig is aan de dam, is het verloop van de stroomsnelheden evenwijdig aan de dam bepaald (zie bijlage IV.65). Aangezien de brekerzone langs de dam smal is en de snelheidsgradiënten dwars op de dam groot, zijn de snelheidsmetingen langs raai Dx00 minder nauwkeurig dan langs de raaien Dx0 en Dx1.

Uit deze figuur blijkt onder meer dat met name de snelheden van de stromingen in de ondiepe zone langs de kust en de stromingen in de zone dam- kustlijn rondom de kniklijn damtalud-bassinbodem erg groot zijn.

Naast de stroming aan het wateroppervlak zijn op beperkte schaal tevens de stromingen bij de bodem van het bassin bepaald (zie bijlage IV.66). Het blijkt dat in die plaatsen waar de stromingen zowel aan het oppervlak als bij de bodem zijn bepaald, de stromingsrichtingen nagenoeg met elkaar overeenkomen (zie fig.4.22).

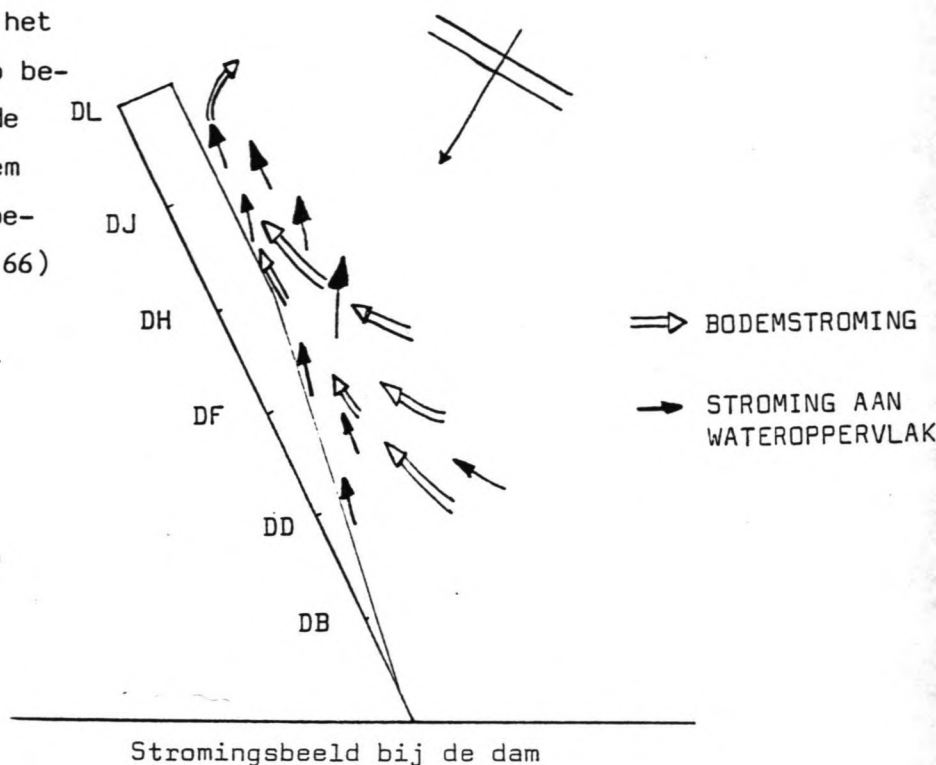


fig. 4.22

Gemiddeld waterniveau

De gemiddelde waterniveaus tijdens de proef zijn in een zeer beperkt aantal roosterpunten in de zone dam- kustlijn bepaald (zie bijlage IV.67).

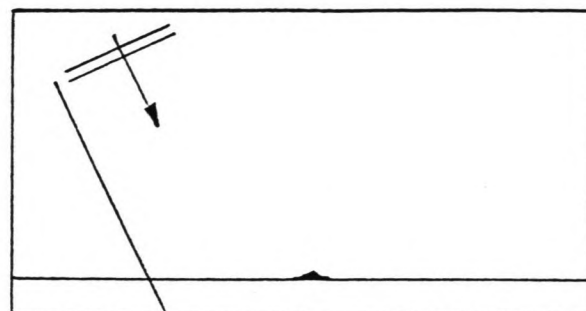
Uit de metingen blijkt dat met name in de direkt langs de dam gelegen roosterpunten $Dx00$ voor $x = C \text{ t/m G}$ en het punt $DC0$ het waterniveau be- duidend hoger en in de overige meetpunten het waterniveau (gering) la- ger is dan het waterniveau achter de dam. Het hogere waterniveau ten opzichte van het niveau achter de dam in de punten $DC0$ en $Dx00$ met $x=C \text{ t/m G}$ is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat deze punten binnen de brekerzone zijn gelegen, terwijl de overige roosterpunten waar het gemiddeld waterniveau is bepaald buiten de brekerzone liggen.

§4.5 Proef IX

De invalshoek van de golven is evenwijdig aan de dam
 $h=22,6$ cm; $H=3,7$ cm; ($\theta=25^\circ$; $T=0,8$ s)

Golfbeeld

Bij de in deze paragraaf uitgevoerde proef is de invalshoek van de golven evenwijdig aan de dam (zie fig.4.23). Aangezien echter het golfschot niet breed genoeg is, zijn de golven bij de kop van de dam niet direkt van het golfschot afkomstig hetgeen ook blijkt uit het golfhoogteverloop langs bijvoorbeeld raai DLx met $x = 0$ t/m 4, (zie bijlage IV.70).



$H=3,7$ cm ; $h=22,6$ cm. ; $\theta=25^\circ$; $T=0,8$ s

fig. 4.23

De gemiddelde golfhoogten en waterdiepten gedurende de beide dagen die de proef in beslag heeft genomen zijn weergegeven in tabel 4.13.

Dag	H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
1	3,7	22,7	(0,1)	V0' -VF4:H=3,7
2	3,8	22,6	(0,0)	

tabel 4.13

Visueel is waargenomen dat:

- de golven langs de dam niet breken.
- er geen golfoverslag over de dam optreedt.
- het golfveld nagenoeg niet in de tijd fluktueert.
- de brekerlijn langs de kustlijn ongeveer overeenkomt met raai Vx2 met $x = B, C, D, \dots$
- De golfhoogte langs de dam lager is dan in de overige punten in het bassin en dat de golven sterk bijdraaien naar de dam.

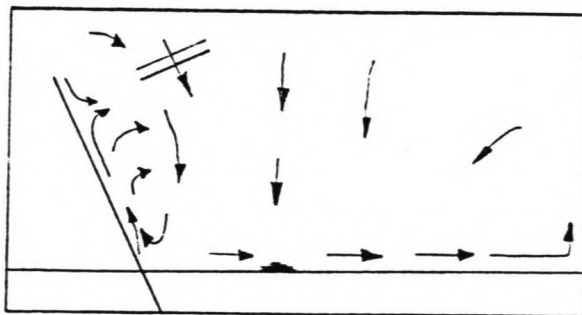
Aangezien visueel een constant golfbeeld werd waargenomen en dit op grond van de ingestelde invalshoek van de golven en de waterdiepte voor het golfshot ook werd verwacht zijn in een gering aantal roosterpunten de golfhoogten gedurende een lange periode (> 200 s) continu bepaald. Aangezien de variatie van de golfhoogte in de tijd in deze punten gering is, wordt verondersteld dat de golfhoogten voldoende nauwkeurig worden bepaald met een meetduur van 100 s per roosterpunt.

Uit de golfhoogtemetingen (zie bijlage IV.68 en IV.69) blijkt dat:

- . Het verloop van de golfhoogte langs raai Vx10 zeer grillig is, terwijl het verschil tussen de op de beide dagen bepaalde gemiddelde golfhoogte in een willekeurig punt op de raai zeer gering is.
- . Het verloop van de golfhoogte langs raai Vx4 grilliger is.
- . Het verloop van de golfhoogte langs de drie raaien Dx0,5, Dx1 en Dx2 met $x = E t/m L$ een gelijkvormig beeld geeft, namelijk:
 - langs de drie raaien evenwijdig aan de dam wordt de maximale golfhoogte bij de kop van de dam c.q. $x = L$ waargenomen;
 - de golfhoogte neemt langs alle drie de raaien gelijkmatig af vanaf de kop van de dam totdat in respectievelijk DE0,5, DE1 en DE2 de minimale golfhoogte wordt verkregen.
- . Dwars op de dam gezien neemt de golfhoogte tussen de raaien Dx2 en Dx0,5 voor $x = E t/m L$ af naarmate het punt dichterbij de dam is gelegen (zie ook bijlage IV.70).

Stroombeeld

Het stromingsbeeld aan het wateroppervlak is weergegeven in bijlage IV.71 en IV.72 en in fig. 4.24 en is een combinatie van de op beide dagen verrichte stromingsmetingen.



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak
fig. 4.24

Het waargenomen stromingsbeeld kan globaal beschreven worden:

- Een van de dam af gerichte stroming in de brekerzone langs de kustlijn. Het verloop van de stroomsnelheid langs de raaien Vx1,5 en Vx2 is weergegeven in bijlage IV.73. Hierbij dient te worden opgemerkt dat aangezien de brekerlijn langs de kust ongeveer overeenkomt met raai Vx2, de stroomsnelheden langs deze raai moeilijk te bepalen zijn en dientengevolge ook erg onnauwkeurig kunnen zijn. De reeds aanzienlijke stroomsnelheden tussen de raaien VBx en VCx zijn een gevolg van de circulatiestroming die in het bassin ontstaat.
 - Een neerstroming in de zone dam- kustlijn. De snelheid van de stromingen is met name groot in de ondiepe zone (tussen DCO en DDO) langs de kniklijn onderwatertalud dam- bassinbodem ($V \approx 0,20$ m/s.) en neemt af naarmate de waterdiepte groter wordt.
 - Een geringe naar de kustlijn toe gerichte stroming tussen DL00 en DI00 aan het wateroppervlak in de zone langs de dam, terwijl tussen DB00 en DG/DH00 een van de kustlijn af gerichte stroming ontstaat met een snelheid die maximaal is tussen DB00 en DCO0 ($V \approx 0,15$ m/s.) en afneemt naarmate de afstand tot de kustlijn groter wordt.
- Bij de kop van de dam is de snelheid tussen DL00 en DK00 maximaal en neemt af tot uiteindelijk tussen DI/DH00 helemaal geen evenwijdig aan de dam gerichte snelheidscomponent meer aanwezig is.
- Naast de stroming direkt langs de dam worden in de zone dam- kustlijn op iets grotere afstand van de dam ook aanzienlijke stroomsnelheden aan het wateroppervlak waargenomen.

Naast de stromingen aan het wateroppervlak zijn eveneens op zeer beperkte schaal in de zone dam- kustlijn de stromingen bij de bodem van het bassin bepaald (zie bijlage IV.74).

Opvallend is dat de bodemstromingen met name naar de kniklijn damtalud- bassinbodem zijn gericht en dat langs deze kniklijn een van de kust af gerichte stroming aanwezig is.

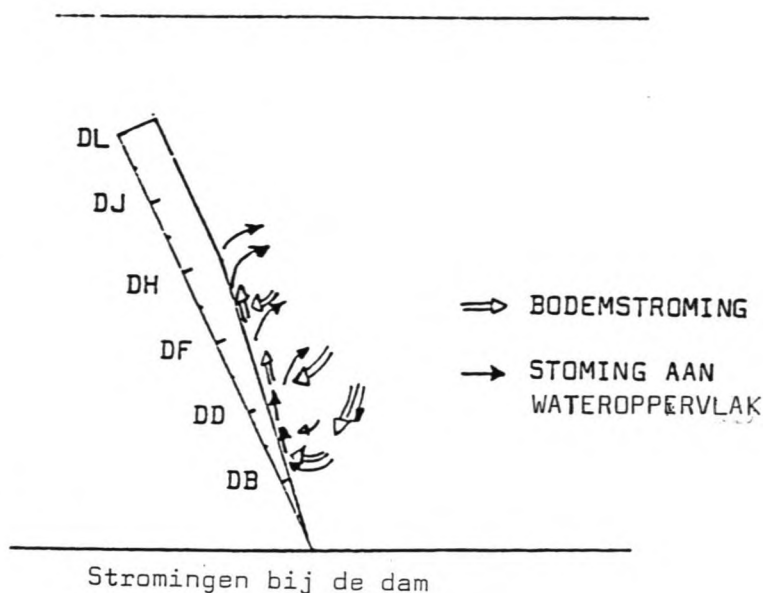


fig. 4.25

Worden de richtingen van de stromingen aan het wateroppervlak en bij de bassinbodem vergeleken (zie fig.4.25), dan blijkt dat met name op enige afstand van de kustlijn de richtingen aanzienlijk afwijken en zelfs tegengesteld kunnen zijn.

Gemiddeld waterniveau

Beide dagen zijn ook waterniveaumetingen uitgevoerd. De meetresultaten, met het gemiddeld waterniveau achter de dam als referentieniveau zijn weergegeven in bijlage IV.75.

Uit de metingen blijkt dat in slechts drie roosterpunten een aanzienlijke toename van het gemiddeld waterniveau ten opzichte van het gemiddeld waterniveau achter de dam wordt waargenomen, te weten: de punten DB2, DB3 en DCOO, terwijl in de overige punten de variaties tussen het gemeten niveau en het waterniveau achter de dam zeer gering zijn.

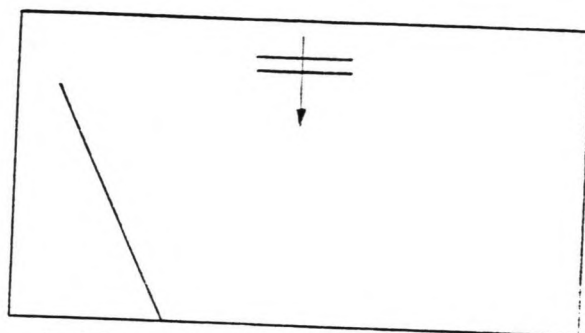
Alhoewel de brekerlijn bij de dam niet nauwkeurig is bepaald is de indruk verkregen dat alleen in de punten binnen de brekerzone het gemiddeld waterniveau hoger is dan het waterniveau achter de dam.

§4.6. Proef X

De ruwheid van het damtalud en de bassinbodem zijn gelijk; de invalshoek van de golven is loodrecht op de kustlijn.

$h=26,2$ cm; $H=3,5$ cm; ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)

De in deze paragraaf beschreven proef komt voor een groot deel overeen met de in §4.2.1 beschreven proef. Tijdens deze proef is echter als uitzondering op alle voorgaande proeven geen split op het onderwatertalud van de dam aanwezig, waardoor de ruwheid van het damtalud overeenkomt met de ruwheid van de bodem van het bassin.



$h=26,2$ cm; $H=3,5$ cm; ($\theta=0^\circ$; $T=0,8$ s)

fig. 4.26

De gemiddelde waterdiepte en golfhoogte voor het golfschot tijdens deze proef zijn in tabel 4.14 gegeven (zie ook fig.4.26).

H (cm)	h (cm)	(Δh) (cm)	Opmerkingen
3,5 (VO'10 t/m VN10)	26,2	(0,0)	Geen split op het onderwatertalud van de dam

tabel 4.14

Tijdens de proef zijn de golfhoogten langs een viertal raaien evenwijdig aan de kustlijn bepaald gedurende een periode van 100 s per roosterpunt. Uit de metingen (zie bijlage IV.76) blijkt dat:

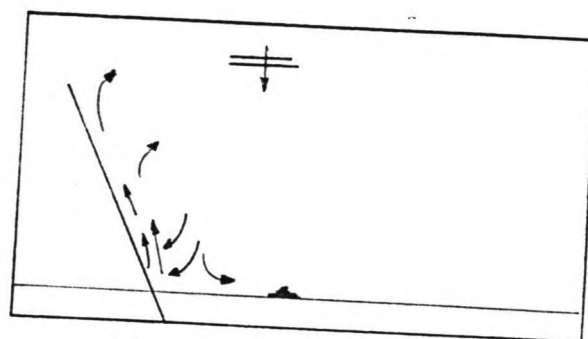
- Langs raai Vx10 voor $x = 0'$ t/m N de golfhoogte slechts zeer gering varieert.

- De golfhoogte langs respectievelijk de raai V_{x4} , V_{x3} en V_{x2} voor $x = C/D$ t/m N weinig varieert, terwijl voor $x = 0$ t/m C , de ruimtelijke variatie in de golfhoogte aanzienlijk is.

Stroombeeld

De stromingen in de zone langs de dam en de zone dam- kustlijn zijn zowel aan het wateroppervlak als bij de bodem van het bassin bepaald. Ten gevolge van de loodrecht op de kustlijn invallende golven ontstaat aan het wateroppervlak (zie ook bijlage IV.78 en IV.79 en fig.4.27):

- Een van bovenaf op bassin gezien rechtsom draaiende neer in de zone dam- kustlijn, waardoor langs de dam een van de kustlijn af gerichte stroming ontstaat. Deze stroming langs de dam heeft in de ondiepe zone bij de kustlijn een maximale snelheid evenwijdig aan de dam die afneemt naarmate de afstand tot de kustlijn toeneemt (zie bijlage IV.80).



Stromingsbeeld aan het wateroppervlak

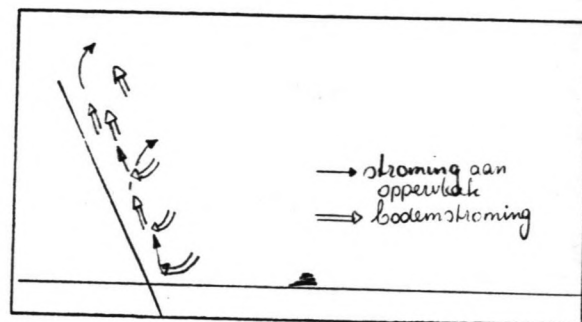
fig. 4.27

- Langs de kustlijn tussen de raaien V_{Ax} en V_{Ex}/V_{Fx} een evenwijdig aan de kust gerichte stroming die ter hoogte van raai V_{Fx}/V_{Gx} bijdraait richting het golfschot.

Het stromingsbeeld bij de bodem van het bassin kan beschreven worden door (zie bijlage IV.81):

- Een langs de kniklijn damtalud- bassinbodem van de kustlijn af gerichte stroming.
- Op grotere afstand van de dam een naar de kniklijn damtalud- bassinbodem toe gerichte stroming.
- Tussen de punten $DG2$ en circa $DJ2$ wordt een evenwijdig aan de dam naar het golfschot gerichte stroming waargenomen.

Worden de stromingsrichtingen bij de bodem en aan het wateroppervlak vergeleken (zie fig 4.28), dan blijkt dat alleen in de zone tussen DEx en DGx tegengestelde richtingen worden waargenomen, terwijl in de overige plaatsen de richtingen nagenoeg gelijk zijn.



Stromingsbeeld
fig. 4.28

Gemiddeld waterniveau

Dezelfde dag zijn een gering aantal punten in de gemiddelde waterniveaus tijdens de proef bepaald. Aangezien echter het aantal metingen per roosterpunt te gering is (één of maximaal twee maar dan in een hele korte tijdsduur bepaald), zijn de resultaten erg onbetrouwbaar en worden dan ook niet verder behandeld/vermeld.

§5. EVALUATIE MEETRESULTATEN

In totaal zijn tien proeven uitgevoerd met een verschillende golfinvalshoek, waterdiepte en/of golfhoogte. De samenstelling van de proevenserie is zodanig gekozen dat een indruk van de invloed van met name de golfinvalshoek en in mindere mate de waterdiepte op het golf- en stromingsbeeld verkregen wordt. De invloed van de golfhoogte op het golf- en stromingsbeeld is slechts summier te bepalen.

Bij een aantal proeven is een in de tijd niet-constant golf- en of stromingsbeeld in de zone dam-kustlijn waargenomen. Als gevolg van de gekozen golfhoogte- en stromingsmeetmethoden is de informatie die van een fluctuerend golf- en stromingsbeeld verkregen wordt gering. Bij deze proeven wordt derhalve niet gedetailleerd op de meetresultaten ingegaan.

Optreden van instationaire situatie.

Bij een groot aantal proeven is een in de tijd niet-constant golf- en stromingsbeeld waargenomen. Het is zeer aannemelijk dat deze instationaire situatie het gevolg is van instabiliteit van de met het golfschot uitgestraalde golven.

Een gevolg van instabiele golven is dat naast de met het golfschot uitgestraalde golven met frequentie $f_0 (= 1/T)$ eveneens stoorgolven ontstaan met een frequentie ongelijk aan de frequentie van de met het golfschot uitgestraalde golven.

Aangezien de frequenties van de stoorgolven en de met het golfschot uitgestraalde golven niet gelijk zijn, ontstaat in een de tijd niet constant golfbeeld (zweving, zie lit. 1).

Het is nagenoeg niet mogelijk met het golfschot sinusvormige golven op te wekken. Zelfs indien de oscillatie van het golfschot sinusvormig is dan nog ontstaan verstoringen waardoor de golven afwijken van de sinusvormige golven.

De in het bassin aanwezige (Stokes) golven (zie lit. 1 , $(kh)^{-3}ka < 1/3$) zijn instabiel indien:

$$kh > 1,36 \text{ ofwel } h/L < 0,22$$

(zie lit. 5)

met $k = 2\pi/L = \text{golfgetal (1/m)}$

$h = \text{waterdiepte (m)}$

$L = \text{golflengte (m)}$

$$L \neq L_0$$

Uitgaande van een golflengte van 1 m in het bassin ($T=0,8$ s, $L=gT^2/2\pi$) zijn de golven met het golfschot uitgestraalde golven instabiel indien de waterdiepte h groter is dan 0,22 m.

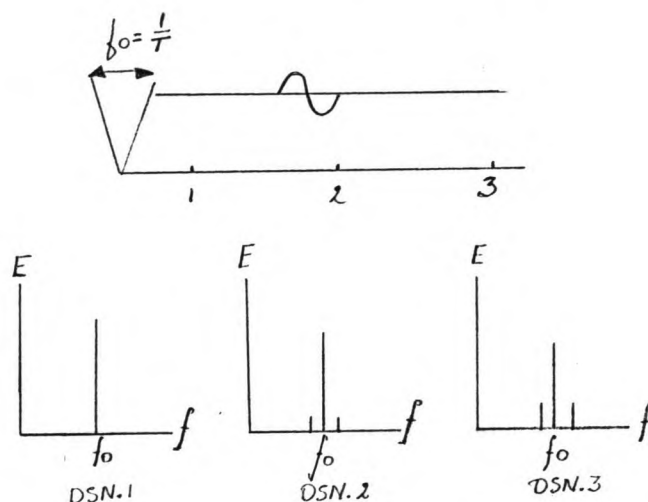
Aangezien de proeven zijn uitgevoerd met een waterdiepte van 0,22 m en 0,26 m is het aannemelijk dat in het bassin stoorgolven ontstaan.

Waargenomen is dat de variatie van het golfbeeld in de tijd bij de proeven met een waterdiepte $h=22,5$ cm minder is dan bij de proeven met $h=26$ cm en bij de proeven met een golfinvalsrichting (nagenoeg) evenwijdig aan de dam minder is dan bij de loodrecht op de dam invallende golven.

De amplitude van deze stoorgolven varieert met de afstand tot het golfschot.

Bijvoorbeeld (zie fig. 5.1):

In een goot worden golven opgewekt met een frequentie f_0 en is vervolgens de energiedichtheid tegen de golffrequentie uitgezet in een drietal punten op ongelijke afstand van het golfschot (de bodemdiepten zijn constant).



Ontwikkeling stoorgolven
fig. 5.1

De ontwikkeling van de stoorgolven in het bassin zal complexer zijn als gevolg van ondermeer de niet constante bodemdiepte en de golfreflectie. Tevens kunnen in het bassin stoorgolven zich voortplanten onder een hoek met de door het golfschot uitgestraalde golven.

Golfbeeld

Teneinde en indruk te krijgen van de invloed van de golfinvalshoek en de waterdiepte op het golfbeeld/golfhoogteverloop bij de dam zijn de bij de verschillende proeven waargenomen golfhoogteverlopen vergeleken. Uit de verschillende proeven met een min of meer constant golfbeeld zijn vier combinaties gevormd:

Combinatie A: Proef V : $\theta=15^\circ$, $h=26,0$ cm $H=4,5$ cm

(bijlage V.1 en V.2) Proef VI: $\theta=15^\circ$, $h=22,6$ cm $H=4,1$ cm

Proef IX: $\theta=25^\circ$, $h=22,6$ cm $H=3,7$ cm

Bij deze proeven breken de golven niet langs de dam en is het golfbeeld vrijwel constant in de tijd.

- Combinatie B: Proef IV: $\theta = 0^\circ$, $h=22,7$ cm, $H=4,0$ cm
 (bijlage V.3 en V.4) Golven breken bij de dam en geringe fluctuatie golfbeeld.
 Proef VI: $\theta=15^\circ$, $h=22,6$ cm, $H=4,1$ cm
- Combinatie C: Proef III: $\theta = 0^\circ$, $h=22,7$ cm, $H=3,4$ cm
 (bijlage V.5 en V.6) Proef IV: $\theta = 0^\circ$, $h=22,7$ cm, $H=4,0$ cm
 Bij beide proeven breken de golven langs de dam en fluctueert het golfbeeld in de zone dam-kustlijn gering.
 Bij proef III zijn de golfhoogten slechts in een gering aantal punten in de zone dam-kustlijn bepaald.
- Combinatie D: Proef IV: $\theta = 0^\circ$, $h=22,7$ cm, $H=4,0$ cm
 (bijlage V.7 en V.8) Brekerzone langs de dam en geringe fluctuatie golfbeeld
 Proef VIII: $\theta=-30^\circ$, $h=22,7$ cm, $H=4,1$ cm
 Brekerzone langs de dam en geringe fluctuatie golfbeeld.
 Proef VII: $\theta=-30^\circ$, $h=26,2$ cm, $H=4,2$ cm
 Geen brekerzone, wel overslag en grote fluctuaties van het golfbeeld.

Uit de in de bijlagen (V.1 t/m V.8) geschetste golfhoogteverlopen blijkt onder meer dat:

- Langs de raaien $Dx0/Dx0.5$ en $Dx1$ de golfhoogten van de kop van de dam naar de kust toe (van $x=L$ naar $x=E$):
 - afnemen bij $\theta=15^\circ$ en $\theta=25^\circ$ (zie bijlage V.1).
 - toenemen bij $\theta=0^\circ$ (zie bijlage V.5).
- Langs raai $Dx2$ voor:
 - $\theta=25^\circ$ de golfhoogten afnemen van $x=L$ naar $x=E$
 - $\theta=15^\circ$ de golfhoogten min of meer constant zijn en hoger zijn dan de golfhoogte voor het golfschot
 - $\theta=0^\circ$ de golfhoogten min of meer constant zijn.

. Langs raai Dx3 voor:

- $\theta = 0^\circ$ en $\theta = 15^\circ$ de golfhoogten toenemen van $x=L$ naar $x=E$
- $\theta = 25^\circ$ de golfhoogten afnemen van $x=L$ naar $x=E$

. Dwars op de dam gezien bij $\theta = 0^\circ$, 15° en 25° een grote gradiënt in de golfhoogte ontstaat.

Langs raai DEx treedt de minimale golfhoogte bij alle drie de golfinvalsrichtingen op tussen de dam en de punten DX0,5/DX1.

De plaats waar de maximale golfhoogte optreedt is op grotere afstand van de dam naarmate de hoek tussen de dam en de golfinvalsrichting kleiner is (zie bijlage V.2 en V.4).

Ofwel de afstand tussen het punt DE0,5/DE0 en het punt met de maximale golfhoogte is bij $\theta = 0^\circ$ kleiner dan bij $\theta = 15^\circ$ en bij $\theta = 15^\circ$ kleiner dan bij $\theta = 25^\circ$.

Opvallend is dat bij $\theta = 0^\circ$, 15° en 25° en $H \approx 4$ cm de maximale golfhoogte op raai DEX bij alle drie de proeven wel gelijk is (circa 5 cm) en groter is dan de golfhoogte voor het golfschot.

Deze aanzienlijke gradiënt in de golfhoogte zal waarschijnlijk het gevolg zijn van de golfrefractie bij de dam. Ter hoogte van raai Dx2 in de golfvoortplantingsrichting nagenoeg gelijk aan de golfvoortplantingsrichting voor het golfschot, terwijl bij de oeverlijn langs de dam de golfrichting dwars op de dam is. Als gevolg van de refractie in deze zone zal de golfhoogte afnemen.

De hogere golfhoogte langs raai Dx2 zou er op kunnen duiden dat er een geringe golfreflectie tegen de damconstructie optreedt.

. De golfhoogteverlopen bij de dam bij een golfinvalsrichting $\theta = -30^\circ$ en $\theta = 0^\circ$, 15° en 25° aanzienlijke verschillen vertonen (zie bijlage V.7 en V.8).

Dit verschil zal met name het gevolg zijn van de aanzienlijke verschillen in de voortplantingsrichting voor de dam bij $\theta = 30^\circ$ en $\theta = 0^\circ$, 15° en 25° .

In bijlage V.9 zijn de golfhoogteverlopen langs raai Vx3/Vx4 bij de proeven IV, V, VI, VIII en IX weergegeven.

Uit de geschetste verlopen blijkt onder meer dat:

- de golfhoogte langs de raai aanzienlijk varieert.
- de golfhoogte dicht bij de dam hoger is dan op enige afstand van de dam.

Deze variatie van de golfhoogte langs de dam zou eventueel kunnen worden veroorzaakt door de reflectie van de golven tegen de dam.

Gemiddeld waterniveau

Aangezien de gemiddelde waterniveaus slechts in een gering aantal punten in de zone dam-kustlijn zijn bepaald is de informatie die uit de metingen verkregen kan worden beperkt.

In het algemeen blijkt uit de waterniveaumetingen tijdens de proeven-serie dat:

- Bij de proeven met een niet-constant golf- en stromingsbeeld in de tijd ook het waterniveau niet constant is in de tijd.
- Alleen in de punten die binnen de brekerzone langs de dam of langs de kust liggen het waterniveau beduidend hoger is dan het waterniveau bij de kop van de dam.

Bij alle proeven breken de golven langs de kust. Het waterniveau in deze brekerzone langs de kust en dus ook langs de dam ter plaatse van de kustlijn is hoger dan het waterniveau achter de dam.

Breken de golven niet langs de dam dan is in de ondiepe zone langs de dam een grote gradiënt in het gemiddelde waterniveau aanwezig. Breken de golven wel langs de dam dan is eveneens een gradiënt in het waterniveau aanwezig omdat de set-up langs de dam minder is dan bij de kust. Het is aannemelijk dat als gevolg van deze verhanglijn langs de dam een naar het golfschot toe gerichte stromingsaandrijvende kracht werkt.

in welke richting?

id

}}

Zie ook p. 100 en p. 101

Stroombeeld

Bij nagenoeg alle proeven met een in de zone dam-kustlijn fluctuerend golfbeeld is eveneens het stroombeeld in deze zone niet constant in de tijd. Ondanks deze fluctuaties in het stroombeeld is bij deze proeven wel een globale indruk van het stroombeeld verkregen.

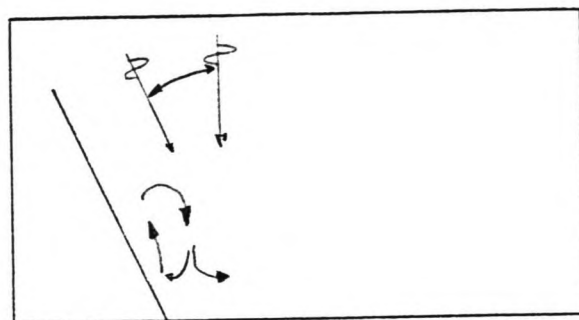
- In grote lijnen wordt het stroombeeld in het bassin bepaald door de invalshoek van de golven. Vallen de golven onder een hoek met de kustlijn in dan ontstaat een stroming langs de kust en een circulatiestroming in het bassin.
- In de zone dam-kustlijn wordt bij een groot aantal proeven een (onverwachte) neerstroming waargenomen. Bij de vergelijking van de bij de verschillende proeven waargenomen stroombeelden blijkt dat het al dan niet optreden van deze neerstroming afhankelijk is van de golf-invalshoek:

- $\theta = 0^\circ$, $\theta = 15^\circ$ en $\theta = 25^\circ$.

In de zone dam-kustlijn treedt een met de wijzers van de klok meedraaiende neerstroming op, die zich uitstrekt tot circa halverwege de dam (zie fig. 5.2).

De langs de dam van de kust afgerichte stroming lijkt met name bij de proeven met een ge-

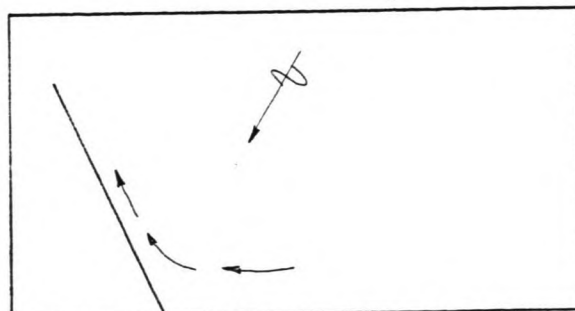
ringe waterdiepte geconcentreerd boven de kniklijn damtalud-bassinbodem. De snelheid van deze stroming neemt af naarmate de afstand tot de kustlijn en daarmee de waterdiepte groter wordt.



Stromingsbeeld zone dam-kustlijn
 $0^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$
fig. 5.2

- $\theta = -30^\circ$

Bij deze golfinvalsrichting ontstaat geen neerstroming. De in de brekerzone langs de kustlijn opgewekte stroming zet zich bij deze invalshoek voort langs de dam (zie fig. 5.3).



Stromingsbeeld zone dam-kustlijn
 $\theta = -30^\circ$
fig. 5.3

- Langs de dam wordt een naar de kust toe gerichte stroming opgewekt indien de golven langs de dam breken. Het ontstaan van een brekerzone langs de dam wordt, uitgaande van een golfhoogte van minimaal circa 4 cm voor het golfshot, bepaald door de waterdiepte en de golfinvalshoek.

- $h=26$ cm

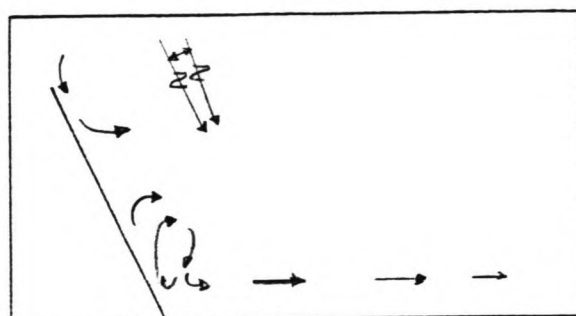
De golven langs de dam breken niet. Met uitzondering van proef VII worden bij de proeven met een waterdiepte van 26 cm slechts stromingen met zeer geringe snelheden (< 0.025 m/s) langs de dam waargenomen. In de ondiepe zone zijn wel stromingen aanwezig als gevolg van de neerstroming. Bij proef VII ($\theta=-30^\circ$) treedt als gevolg van de circulatie-stroming in het bassin langs de gehele dam een van de kust af gerichte stroming op.

- $h=22,5$ cm

Bij deze waterdiepte wordt het al dan niet breken van de golven bepaald door de golfinvalshoek.

- $\theta=25^\circ$ en $\theta=15^\circ$

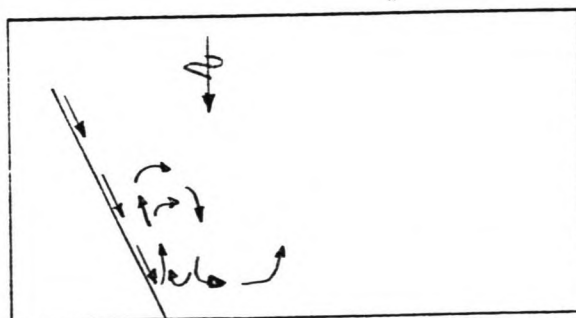
De golven breken niet langs de dam. Desondanks wordt toch een stroming met een geringe snelheid bij de kop van de dam waargenomen (zie fig. 5.4). Verondersteld wordt dat deze stroming het gevolg is van de circulatie-stroming in het bassin.



Stroombeeld bij de dam
 $\theta=25^\circ$, $\theta=15^\circ$; $h=22,5$ cm
fig. 5.4

- $\theta=0^\circ$

De golven langs de dam breken wel. Langs de dam wordt een naar de kust toe gerichte stroming opgewekt die in de zone bij de kust draait en tesamen met de neerstroming boven de knik-

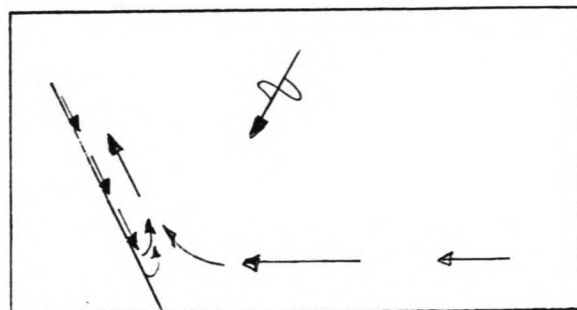


Stroombeeld bij de dam
 $\theta=0^\circ$, $h=22,5$ cm
fig. 5.5

lijn damtalud-bassinbodem van de kust af stroom (zie fig. 5.5). De stroomsnelheden langs de dam bij de proeven III en IV zijn weergegeven in bijlage V.10.

- $\theta=-30^\circ$

De golven breken langs de dam. Langs de dam ontstaat een naar de kust toe gerichte stroming.



Stroombeeld bij de dam
 $\theta=30^\circ$; $h=22,5$ cm
fig. 5.6

In de ondiepe zone bij de kust draait de stromingsrichting en stroomt vervolgens tesamen met de kuststroming langs de dam richting damkop/golfschot (zie fig. 5.6 en fig. 5.3).

De invloed van de waterdiepten in het bassin en van de golfinvalsrichting binnen de sector van $\theta=0^\circ$ tot $\theta=25^\circ$ op de neerstrooming zelf is nagenoeg niet te bepalen, omdat:

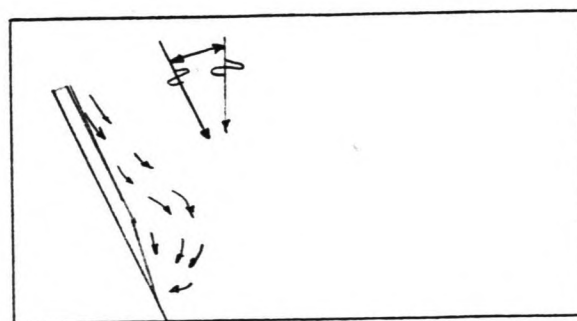
- . bij $\theta=0^\circ$ de neerstrooming niet constant is in de tijd
- . Bij $\theta=15^\circ$ en $\theta=25^\circ$ de snelheidsgradiënten in de neerstrooming erg groot zijn en derhalve de kans op onnauwkeurige metingen aanzienlijk is.

Wel wordt de indruk gekregen dat de breedte van de neer ter plaatse van de kustlijn bij proef IX ($\theta=25^\circ$) groter is dan bij proef V ($\theta=0^\circ$; $h=26$ cm) en bij proef V groter dan bij proef VI ($\theta=0^\circ$; $h=22,5$ cm).

Bij nagenoeg alle proeven zijn de stroomrichtingen bij de bodem van het bassin in de zone dam-kustlijn bepaald. Uit de vergelijking van de verschillende stromingsbeelden blijkt dat het globale stromingsbeeld bij de bodem wordt bepaald door de golfinvalshoek:

- . $\theta=0^\circ$, $\theta=15^\circ$ en $\theta=25^\circ$
(zie fig. 5.7)

De bodemstroming langs de dam is naar de kust toe gericht. In de zone dam-kustlijn zijn de stromingen gericht naar de kniklijn damtalud-bassinbodem.



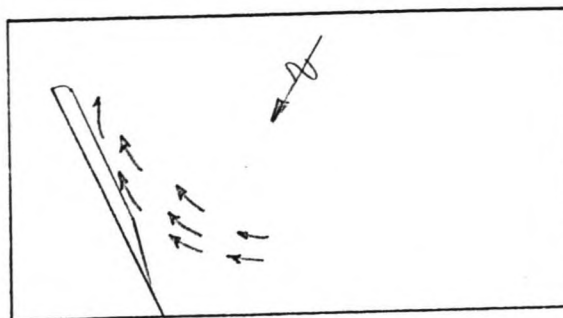
Stromingsbeeld bij de bodem
 $0^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$

fig. 5.7

De indruk wordt verkregen dat voor $\theta=0^\circ$ deze naar de kniklijn toe gerichte stroming minder geconcentreerd is dan bij de proeven met $\theta=15^\circ$ of $\theta=25^\circ$.

. $\theta = -30^\circ$ (zie fig. 5.8)

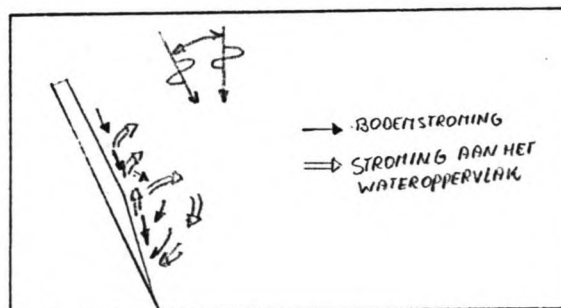
De bodemstrooming is in de gehele zone langs de dam gericht van de kust naar de damkop. De bodemstrooming heeft dezelfde stroomrichting als de strooming aan het wateroppervlak.



Stromingsbeeld bij de bodem
 $\theta = -30^\circ$
fig. 5.8

Bij de proeven met een golf invalshoek van $\theta = 0^\circ$, 15° en 25° zijn de richtingen van de bodemstrooming en strooming aan het wateroppervlak in de zone dam-kustlijn niet gelijk (zie fig. 5.9).

Op grond van de naar de kniklijn toe gerichte bodemstrooming lijkt het aannemelijk dat de neerstroming aan het wateroppervlak mede gevoed wordt door de bodemstrooming.



Stromingsbeeld zone dam- kustlijn
 $\theta = 0^\circ$, 15° of 25°
fig. 5.9

Een verklaring voor het ontstaan van de neerstroming is moeilijk te geven omdat er te weinig informatie over het golfveld (richtingen, golfhoogten) en gemiddelde waterniveaus is verkregen.

Op grond van de golfhoogtemetingen is echter wel de indruk gekregen dat de golven gedeeltelijk tegen de dam reflecteren (zie bijlage V.9).

Als gevolg van de golfreflectie zullen in de zone langs de de kust de golfhoogten toenemen en zal dientengevolge de set-up hoger zijn.

Bij de proeven met een golf invalrichting binnen een sector van evenwijdig aan de dam en loodrecht op de kust zal de invloed van de golfreflectie op het golfhoogtebeeld langs de kust met name in de zone bij de dam merkbaar zijn. In deze zone kan derhalve een aanzienlijke set-up worden verwacht met als gevolg dat stromingsaandrijvende krachten gericht langs de dam en langs de kustlijn ontstaan.

Wordt aangenomen dat de neerstroming eveneens in Hoek van Holland optreedt bij invalrichtingen binnen de sector van evenwijdig aan de dam en loodrecht op de kustlijn dan is het aannemelijk dat deze een grote erosie bij de dam kan veroorzaken.

??

De situatie bij Hoek van Holland komt echter niet overeen met de situatie in het model. Zo zal bij Hoek van Holland als gevolg van:

- . De flauwere bodemhelling het golfbeeld veranderen en de brekerzone langs de kust breder zijn dan in het model
- . De richtingsspreiding van het invallende golfveld afvlakking van de golfhoogteverlopen optreden.
- . De grotere damlengte de stroming langs de dam zich beter kunnen ontwikkelen.

Een belangrijke factor is eveneens de golfreflectiecoëfficiënt tegen de dam aan, die in het model noch bij Hoek van Holland bekend is.

Aangezien de indruk is verkregen dat de neerstroming het gevolg is van de golfreflectie tegen de dam, is het aannemelijk dat een verschil tussen de reflectiecoëfficiënten in het model en bij Hoek van Holland een significante invloed op het stromingsbeeld zal hebben.

Verwacht wordt dat de verschillen tussen de situaties in het model en de situatie bij Hoek van Holland dermate groot zijn dat geen goede indruk van het stromingsbeeld bij Hoek van Holland verkregen kan worden uit de modelresultaten.

voor "principe-onderzoek" voor situatie als in H.v.H.

Bij de Noorderdam in Hoek van Holland is een onverwachte erosie van de kust waargenomen aan de door de golven aangevallen zijde van de dam. De indruk is verkregen dat deze erosie optreedt bij golfvalsrichtingen binnen de sector van evenwijdig aan de dam tot evenwijdig aan de kust.

Het hydraulisch onderzoek is uitgevoerd met als doel een indruk te krijgen van de golfgedreven stromingen bij de dam die een hoek van 115° met de kustlijn maakt.

Aangezien de bodemgeometrie in het model niet overeenkomt met de bodemgeometrie bij Hoek van Holland dient het onderzoek als een principe-onderzoek beschouwd te worden.

Er zijn tien proeven uitgevoerd met een verschillende golfvalsrichting, golfhoogte en waterdiepte.

Bij het onderzoek is uitgegaan van een uniform golfveld met een golfperiode van $T=0,8$ s.

Bij een groot aantal proeven is een in de tijd niet-constant golf- en stromingsbeeld waargenomen. De instationaire toestand is het gevolg van stoorgolven.

Uit het onderzoek is met name een indruk gekregen van de invloed van de golfvalsrichting op het stromingsbeeld bij de dam.

Bij golfvalsrichtingen binnen de sector van evenwijdig aan de dam tot evenwijdig aan de kustlijn ontstaat in de zone dam- kustlijn aan het wateroppervlak een onverwachte neerstroming. Deze neerstroming treedt op onafhankelijk van een eventuele brekerzone langs de dam.

Bij proeven met een golfvalsrichting bijna loodrecht op de dam ontstaat een grote circulerende stroming in het gehele bassin.

De indruk is verkregen dat deze neerstroming het gevolg is van de golf-reflectie tegen de dam. } ?

Wordt aangenomen dat de neerstroming ook bij Hoek van Holland zal optreden dan is het aannemelijk dat deze een aanzienlijke erosie bij de dam kan veroorzaken.

De verschillen tussen de situatie in het model en de situatie bij Hoek van Holland zullen echter dermate groot zijn dat de modelresultaten niet naar de situatie bij Hoek van Holland vertaald kunnen worden.

zonder meer in kwantitatieve zin

Bij een voortzetting van het onderzoek zal het met name van belang zijn dat:

- . De golfreflectie tegen de dam bij Hoek van Holland overeenkomt met de golfreflectie tegen de dam in het model.
- . Uitgebreid metingen worden verricht in de ondiepe zones langs de dam en bij de kust.
- . De golfvoortplantingsrichtingen worden bepaald.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

1. Battjes J.A. Korte golven, collegedictaat b-76 T.U.-Delft.
2. Battjes J.A. Computation of set-up longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology.
3. Bijker, E.W. Coastel engineering Volume III, breakwater design, f-5 collegedictaat.
4. Eagleson Theoretical study of longshore currents on a plane beach, M.I.T; Hydronamics Laboratory Report no.82.
5. Mei, C.C. The applied dynamics of ocean surface waves.
6. Tanaka, N. Beach erosion at the up drift coast of a breakwater prolonged obliquely from the shore; Sendai Port Coastal Sediment.
7. De Vries Waterloopkundig onderzoek, collegedictaat b-80, T.U.-Delft.
8. Kustafslag Hoek van Holland, oorzaken, gevolgen en maatregelen. Gemeentewerken Rotterdam. Rapport 61.15-R8322.
9. Havenmond Hoek van Holland, getijbeweging; Strandplan Hoek van Holland. Waterloopkundig Laboratorium. Rapporten M900-24 en M900-25.
10. Afslag Noorderstrand, Hoek van Holland. Rijkswaterstaat Direkte Waterhuishouding en Waterbeweging, district kust en zee. Nota WWKZ 83G.001.

