

# PROEVEN OVER DEN INVLOED VAN GOLVEN OP EEN STRAND.

In verband met enkele waarnemingen  
aan de Nederlandsche kust

DOOR

P. D. TIMMERMANS.

## I N H O U D.

	Pag.
I. Inleiding . . . . .	3 (233)
II. De Methode der Experimenten . . . . .	4 (234)
Beschrijving van de golftank . . . . .	4 (234)
Het aanleggen van de stranden . . . . .	6 (236)
De waarnemingsmethoden . . . . .	7 (237)
De vorm der golven. . . . .	9 (239)
De schaal van de proeven . . . . .	13 (243)
III. Beschrijving der Experimenten . . . . .	14 (244)
Experimenten met rechten golfoploop op een zandig strand . . . . .	14 (244)
Proeven met een strandhelling van 2° . . . . .	14 (244)
Proeven met een strandhelling van 4° . . . . .	22 (252)
Proeven met een strandhelling van 6° . . . . .	26 (256)
Experimenten met scheeven golfoploop op een zandig strand onder een hoek van 15° met de strandhelling . . . . .	29 (259)
Proeven met een strandhelling van 2° . . . . .	29 (259)
Proeven met een strandhelling van 4° . . . . .	34 (264)
Proeven met een strandhelling van 6° . . . . .	44 (274)
Experimenten met schelpen en schelpgruis op een zandig strand met een helling van 2° en rechten golfoploop . . . . .	55 (285)
Experimenten met puimsteen op een zandig strand en rechten golfoploop . . . . .	57 (287)
Proeven met een strandhelling van 2° . . . . .	58 (288)
Proeven met een strandhelling van 4° . . . . .	60 (290)
Proeven met een strandhelling van 6° . . . . .	61 (291)
IV. Over de Vorming van Strandbanken en vrije (losse) Strandwallen . . . . .	65 (295)
Nomenclatuur . . . . .	65 (295)
Waarnemingen tijdens de experimenten . . . . .	67 (297)
De proeven met rechten golfoploop . . . . .	69 (299)
De proeven met scheeven golfoploop . . . . .	72 (302)
Analyse van de profielen . . . . .	74 (304)

	Pag.
Gegevens omtrent de verplaatsing van het materiaal . . . . .	78 (308)
Over het begrip neutrale lijn . . . . .	78 (308)
Het transversale zandtransport . . . . .	83 (313)
Het zijdelingsch zandtransport . . . . .	88 (318)
Over Strandbanken . . . . .	93 (323)
Aard en herkomst van het materiaal . . . . .	93 (323)
De vorm . . . . .	94 (324)
Aantal en ligging . . . . .	98 (328)
Theoriën over het ontstaan . . . . .	99 (329)
De aangroeiingsrug . . . . .	103 (333)
Eenige opmerkingen over bovenstaande theoriën naar aanleiding van de proeven . . . . .	104 (334)
Veranderingen van de strandbanken . . . . .	105 (335)
Over vrije (losse) strandwallen . . . . .	111 (341)
Het materiaal . . . . .	111 (341)
De inwendige bouw . . . . .	112 (342)
De vorm . . . . .	112 (342)
Het ontstaan . . . . .	112 (342)
Latere stadia in de ontwikkeling . . . . .	117 (347)
V. Over het Ontstaan van Strandhorens . . . . .	119 (349)
Het voorkomen van strandhorens aan het Nederland- sche strand . . . . .	120 (350)
Waarnemingen en opvattingen over het ontstaan van strandhorens van D. W. JOHNSON . . . . .	127 (357)
Opmerkingen naar aanleiding van de waarnemingen aan het strand . . . . .	129 (359)
Waarnemingen over de experimenteele vorming . . . . .	130 (360)
Conclusies over het ontstaan . . . . .	132 (362)
VI. Over Ribbels . . . . .	136 (366)
Nomenclatuur . . . . .	136 (366)
Het ontstaan . . . . .	137 (367)
Ribbelingen in de proeven gevormd . . . . .	139 (369)
Enkele waarnemingen aan het strand . . . . .	141 (371)
Fossilificatie en palaeogeografische beteekenis . . . . .	146 (376)
Summary . . . . .	150 (380)
Literatuurlijst . . . . .	155 (385)

## I. INLEIDING.

Mijn jarenlang verblijf aan de Nederlandsche kust gaf mij reeds kort na den aanvang van mijn geologische studie een steeds stijgende belangstelling voor de zoo talrijke grootere en kleinere verschijnselen van geologischen aard, die zich daar voordoen.

September 1930 legde ik, in een van die onvergetelijke Italiaansche nachten aan de oevers van het Lago Maggiore, aan Prof. ESCHER mijn plan voor, te trachten enkele van de problemen, die hierbij optreden nader tot hun oplossing te brengen.

Zijn onmiddellijke groote belangstelling werd mij een blijvende steun, waarvoor ik hem steeds dankbaar zal zijn.

De opening van het nieuwe laboratorium voor experimenteele geologie in September 1932 bracht mij de gelegenheid langs experimenteelen weg een onderzoek in te stellen.

Teneinde vertrouwd te geraken met de in het nieuwe laboratorium te volgen werkmethoden, bracht ik de maand October in het Waterbouwkundig Laboratorium van de Technische Hoogeschool te Delft door. Veel dank ik aan de behulpzaamheid mij door den directeur Ir. J. TH. THILJSSE, den bedrijfsing. Ir. N. A. VAN DEN HEUVEL, en de aan het laboratorium verbonden ingenieurs in die maand betoond. Ik ondervond van hen een groote gastvrijheid.

In November 1932 konden de proeven te Leiden een aanvang nemen. Zij werden in Juli en Augustus 1933 onderbroken teneinde tezamen met mijn collega Dozy het centrale deel van de Bergamasker Alpen geologisch in kaart te brengen, daarbij geholpen door DAMSTÉ en VISSER. De resultaten van deze opname zullen binnenkort door Dozy en mij worden gepubliceerd. De dagen tezamen doorgebracht in Alpenhutten en kampeementen vormen voor mij een nimmer vervagende herinnering van den meest aangenamen aard.

September 1933 gaf de hervatting van de proeven, die in het vroege voorjaar van 1934 werden beëindigd. Enkele aanvullende proeven vonden in Juni plaats.

De resultaten van de experimenten en enkele waarnemingen aan het strand zijn in dit werk samengevat.

Mijn welgemeenden dank betuig ik Dr. PH. H. KUENEN voor den raad mij soms tijdens de experimenten verstrekt. Dr. I. M. VAN DER VLERK ben ik dankbaar voor de vele blijken van belangstelling in mijn werk van hem steeds ondervonden. Een woord van erkentelijkheid richt ik tot het personeel van het geologisch laboratorium, in het bijzonder tot den technicus tweede klasse VERHOORN voor de vele goede diensten mij bewezen.

## II. DE METHODE DER EXPERIMENTEN.

Beschrijving van de golftank. (Zie fig. 1 en 2).

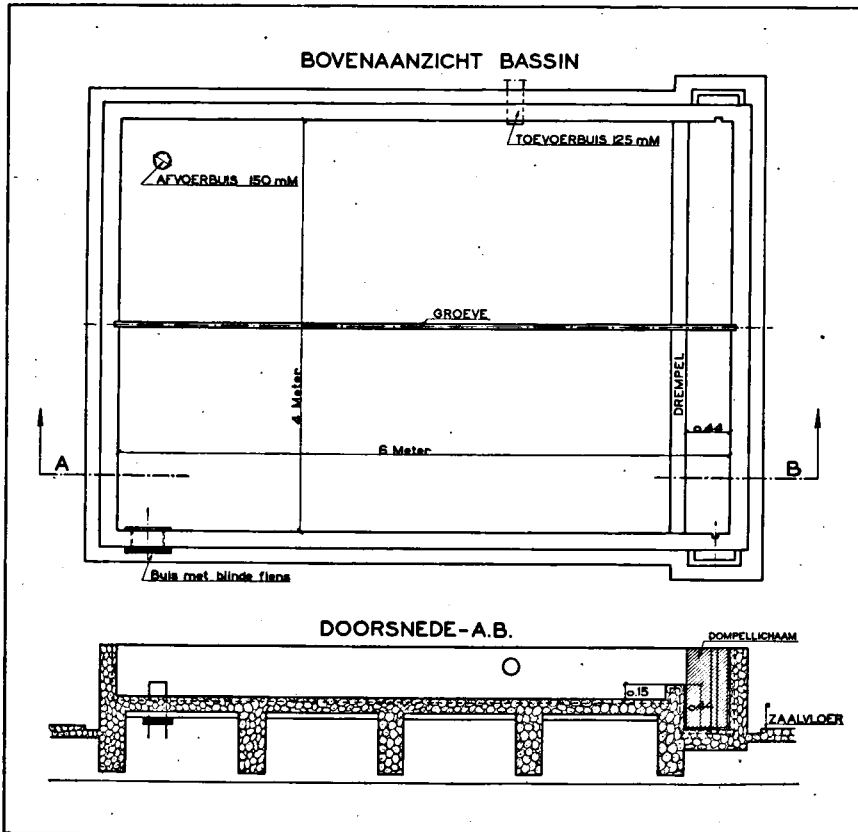


Fig. 1.

Bovenaanzicht en doorsnede van de golftank met de voornaamste maten.

De golftank is een binnenwerks 6 meter lange en 4 meter breede betonnen bak van 50 cm diepte, waarvan de bodem 30 cm boven de zaalvloer is gelegen. Aan een der korte zijden bevindt zich een golfmachine. De watertoevoer heeft plaats door een buis van  $12\frac{1}{2}$  cm diameter, uit een klein hoog gelegen reservoir, dat tevens als drukregelaar dienst doet. Het water kan hierin uit een diepgelegen groot reservoir worden opgepompt door twee centrifugaalpompen, die door

electromotoren van 5 en 30 P.K. worden aangedreven. In deze drukregelaar is een zoo lang mogelijke en daarom zigzag-vormige overlaat gebouwd, waardoor een constante waterspiegel en daarmee een constante drukhoogte en watertoevoer naar een stroomgoot en de golftank is gewaarborgd, onafhankelijk van stroomstooten in het electrisch net.

Een afvoerbuus van 15 cm diameter, die het water terugleidt naar het diepreservoir, heeft zijn opening in den bodem der golftank in een der hoeken tegenover de golfmachine. In de andere hoek is in den wand van de lange zijde der golftank een groote, tijdens onze proeven afgesloten, opening aangebracht teneinde bij latere experimenten ook getijwerking in de tank te kunnen opwekken.

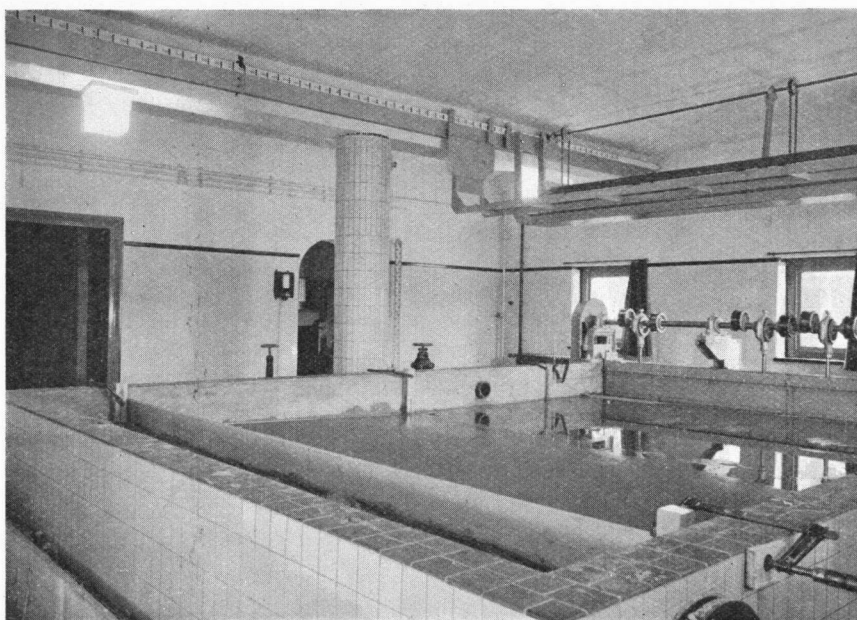


Fig. 2.

De golftank met een aangelegde helling en rechts het dorpellichaam en de excentrieken van de golfmachine.

Een 3.5 cm breede en 2.5 cm diepe groeve in het midden der golftank, in de lengterichting loopend, maakt het gemakkelijk, door middel van een daarin te plaatsen schot, de tank in twee helften te verdeelen om dan in beide helften onafhankelijk van elkaar te kunnen experimenteeren.

De golfmachine bestaat uit een dorpellichaam, dat de geheele breedte der golftank beslaat, van 25 cm breedte en 43 cm hoogte. Het is door middel van vier krukassen met excentrieken opgehangen aan de horizontale drijf-as. Deze as wordt aangedreven door een electromotor van 5.5 P.K., waarvan het aantal omwentelingen door een weerstand te regelen is. De omwentelingssnelheid kan echter niet beneden een zekere

grens dalen, omdat de electromotor een bepaald aantal omwentelingen moet maken om in staat te zijn het zware dompellichaam uit zijn laagste stand omhoog te brengen.

Verticale glij sleuven, aan de zijwanden der golftank aangebracht, waarin richels, op de zijkanten van het dompellichaam bevestigd, passen, zorgen voor de verticale beweging van het dompellichaam. Teneinde de op en neer gaande beweging van het dompellichaam, en daarmee de golfhoogte, te kunnen veranderen, zijn op de horizontale drijfassen drie stellen, ieder van vier excentrieken geplaatst. De excentrieken zijn langs de as verschuifbaar en zodoende verwisselbaar. De excentriciteit van de drie stellen excentrieken bedraagt 1, 3 en 5 cm, de verplaatsing van het dompellichaam dus 2, 6 en 10 cm.

Het dompellichaam beweegt in een dieper deel van de golftank, 79 cm diep, dat van het eigenlijke golfbassin gescheiden is door een drempel van 16.5 cm hoogte en 22 cm breedte. Deze drempel dient om te verhinderen, dat materiaal waarmee geëxperimenteerd wordt, zich onder het dompellichaam ophoopt, waardoor de golfmachine ontwricht zou worden.

Boven de lange zijden van de golftank zijn tegen de betonnen steunbalken der zoldering rails bevestigd. Over deze rails loopt een brug, die de golftank overspant en uit twee, aan de zijkanten door middel van haken aan elkaar gekoppelde deelen bestaat. Het eene deel is uitsluitend bestemd voor de plaatsing van een camera en is voorzien van een schaalverdeling in dm. Het andere deel dient als zitbank. De mogelijkheid, de deelen van de brug van elkaar los te maken, waarborgt een volkomen trillingvrije plaatsing van de camera.

Langs iedere rail is een schaalverdeling in halve dm aangebracht. Deze schaalverdelingen langs de lange zijde van de golftank met de schaalverdeling op de fotobrug vormen een coördinatenstelsel, dat veelvuldig gebruikt werd.

#### **Het aanleggen van stranden.**

De stranden werden aangelegd van de korte zijde der tank tegenover de golfmachine, naar de golfmachine toehellend. De basis van de stranden, d.w.z. de horizontale afstand tusschen voorlijn en achterwand bedroeg 3 m. Bij deze breedte bleef voor den drempel een breede strook van den tankbodem vrij van zand, en dus het water daar diep, wat een regelmatige golfvorming en golfoploop mogelijk maakte. Anderzijds waren de stranden breed genoeg om bij de grootste golven van boven de grens van den golfoploop tot beneden in vrij diep water te reiken.

Tegen de zijwanden der golftank waren op 50 cm en op drie meter van den wand tegenover de golfmachine, korte palen geklemd waarin verticale sleuven waren uitgezaagd. In de sleuven pasten de ruim drie meter lange glijlatten, die daarin gemakkelijk verstelbaar en door middel van een klemschroef vast te zetten waren. In de voorste palen, op drie meter van den achterwand, werden de glijlatten in verband met den 16.5 cm hoogen drempel op 15 cm boven den tankbodem vastgeklemd. Er worden namelijk door de golfmachine eerst dan golven gevormd als

de waterspiegel 1—2 cm boven den drempel uitstijgt en de diepte van het water in de tank dus minimaal 17.5—18.5 cm bedraagt. Bij latere proeven werd de hoogte onder aan het strand op 20 cm gebracht, daar vooral bij zwakke hellingen, waarbij wegens het geringe hoogteverschil van het strand voor en achter het waterpeil niet veel boven de hoogte van het strand aan den voorkant gebracht kan worden, de waterdiepte boven den drempel niet groot genoeg bleek voor het ontstaan van grootere golven. Een in het algemeen wat steiler voorstrand,  $\pm$  70 cm breed, vormde de overgang van de strandhelling naar den tankbodem.

Nadat de helling ruw was aangelegd, werd een stevige plank van 4 meter lengte in staande houding over de glijlatten getrokken en zoo de oppervlaktelaag van het zand vlak gemaakt.

Een geringe afwijking die daarin bestond, dat de helling tengevolge van het doorbuigen van de trekplank in het midden een weinig hooger lag, bleek dikwijls niet te vermijden. De vlak gemaakte strandhelling eindigde op 50 cm van den achterwand.

Voor het aanleggen der stranden werd ongeveer 5 m<sup>3</sup> duinzand gebruikt.

Mijn vroegere collega BAAK, thans assistent bij Prof. EDELMAN te Wageningen, was zoo vriendelijk de hieronder volgende gegevens omtrent de korrelgrootte en mineralogische samenstelling van dit zand voor mij te bepalen.

#### Korrelgrootte

0.5—0.2 mm .....	37 %
0.2—0.1 mm .....	62.5 %
< 0.1 mm .....	0.5 %.

Het kalkgehalte, d.w.z. het gehalte aan fijn schelpgruis, bedroeg  $\pm$  3 %. Een bromoformscheiding, s. g. 2.9, leverde een zware fractie op van 0.6 %, die voor 15 % uit opake mineralen bestond. De doorzichtige mineralen waren hoofdzakelijk: granaat 29 %, epidoot 26 %, hoornblende 19 % en saussuriet 12 %. In de overige 14 % werden van toermalijn, rutiel, stauroliet, distheen en andalusiët telkens 2 % aangetroffen en van zirkoon, sillimaniet, chloritoïd en augiet telkens 1 %.

De lichte fractie, 99.4 %, bestond voornamelijk uit kwarts met daarnaast veldspaat.

#### De waarnemingsmethoden.

De hoogte van den waterspiegel in de golftank werd bepaald met een tegen een der zijwanden bevestigde, rechte peilnaald met noniusaflezing. De naald wordt langzaam naar het wateroppervlak toegebracht totdat de waterspiegel aanspringt, welk oogenblik aan de vervorming van het spiegelbeeld zeer nauwkeurig is waar te nemen. De stand van den waterspiegel is zoo tot op 0.1 mm nauwkeurig vast te stellen. Welke nauwkeurigheid echter bij onze proeven niet vereischt was. De golfhoogte werd gemeten door steeds op hetzelfde punt een scherpkantige meterlat met zwartwitte em verdeling verticaal op den tankbodem te

plaatsen en de gemiddelde hoogte van golftop en golfdal te bepalen. De eerste 2 à 3 golven, die onmiddellijk na het in werking stellen van de golfmachine ontstonden, werden niet geremd door den regelmatigen terugloop van voorafgaande golven en liepen dientengevolge zeer hoog tegen de helling op.

De langere golven, die gedurende korten tijd in de tank bleven bestaan na het uitschakelen der golfmachine liepen eveneens hoog op. Om het resultaat der proeven niet door deze laatste golven te bederven werd hun ontstaan tegengegaan door met behulp van den weerstand langzaam de golfmachine uit te schakelen. In een enkele proef werden zij op andere wijze gedempt.

Opgemerkt werd, dat de golfhoogte bij een bepaald peil en een bepaalde stand van de weerstandschakelaar niet constant was, maar geringe variaties vertoonde.

De golfperiode werd met behulp van een stophorloge opgemeten door de tijd, waarin elf achtereenvolgende golven, tien intervallen omvattend, voorbij een bepaald punt liepen. Herhaalde metingen toonden aan, dat de golfperiode evenals de golfhoogte, niet volkomen constant was.

Teneinde tijdens de golfwerking over de geheele breedte der golftank van dichtbij waarnemingen te kunnen verrichten en na het beëindigen der golfwerking dieptelijnen uit te kunnen leggen, werd aan de fotobrug, die zich ongeveer 2.5 m boven den tankbodem bevindt, aan houten jukken een lage brug ter hoogte van den bovenkant der golftank opgehangen.

Om het groote relief van het strand op de afbeeldingen door middel van dieptelijnen zichtbaar te maken, werden langs de grenzen van het wateroppervlak, op verschillende niveau's draden lampenkatoen gelegd.

Voor het maken van schetsen en kaarten op schaal werd gebruik gemaakt van een over de fotobrug verschuifbaren, verticaal gestelden, kijker die van kruisdraden voorzien was. Met behulp van den kijker en de reeds eerder genoemde schaalverdelingen kon de ligging van ieder punt binnen de golftank tot op  $\pm 1$  cm nauwkeurig vastgelegd worden, en op de schaal 1:10 op millimeterpapier overgebracht.

De korte ribbelprofielen werden opgenomen door strooken millimeterpapier in het zand te steken en de oppervlaktelijijn daarop met potlood na te trekken.

Voor de eerste, ongeveer 1.30 m lange, strandprofielen werd gebruik gemaakt van een zinken plaat aan een kant scherp geslepen, die in het zand werd gedrukt, waarna het verloop van de oppervlaktelijijn met rood potlood op het zink werd aangegeven.

De latere, lange, profielen werden volgens een nauwkeuriger en snellere methode, door den hoofdassistent Dr. PH. H. KUENEN gevonden, opgenomen.

Bij deze methode werd de zinken plaat in het zand gedrukt, naar een zijde bewogen, en weer uitgetrokken. In de zoo gevormde sleuf werd een strook papier geplaatst, waarna door het indrukken van de zinken plaat op  $\pm \frac{1}{2}$  cm. van de achterzijde van het papier de sleuf gesloten werd. Vervolgens werd met wasrood gekleurde paraffine, die door



verwarming dun vloeibaar gemaakt was, met een fixatiefspruitje op het papier gespoten. De scherpe grenslijn tusschen het bespoten en het blank gebleven papier gaf volkomen getrouw de profiellijn weer.

### De vorm der golven.

Bij een nauwkeurige waarneming van de golven, bleken deze een eigenaardigen vorm te vertoonen. Zij vielen als een breede turbulente watermassa over den drempel, om in het diepere water daarvoor een normalen scherpen kamvorm aan te nemen. Bij het naderen tot het strand ontstond voor den golfkam een tweede kam, de voorkam, die snel in hoogte toenam, gelijktijdig waarmede de oude golfkam in hoogte verminderde. Gedurende korten tijd bezaten de golven een breedten vlakken kam. Daar de boven beschreven veranderingen te snel plaats vonden om met het oog tot in bijzonderheden te worden geanalyseerd, werd hiervan een vertraagde film opgenomen. Een serie beelden daaruit vindt men in fig. 3. De reeks is samengesteld uit een achttal beelden met een onderlinge afstand van negen beelden en tijdsverschil van  $\frac{9}{32}$  sec., voorafgegaan door een overzichtsfoto. Het water was hierbij door toevoeging van eenige handen witkalk gekleurd teneinde een grooter contrast met den zwarten achtergrond, waarop een schaalverdeeling in dm was aangebracht, te verkrijgen.

Teneinde de oorzaak te zoeken van dezen golfvorm, werd de golftank door een tusschenschot in twee helften verdeeld. In de helften werden stranden met verschillend profiel aangelegd (fig. 4). In de linker tankhelft

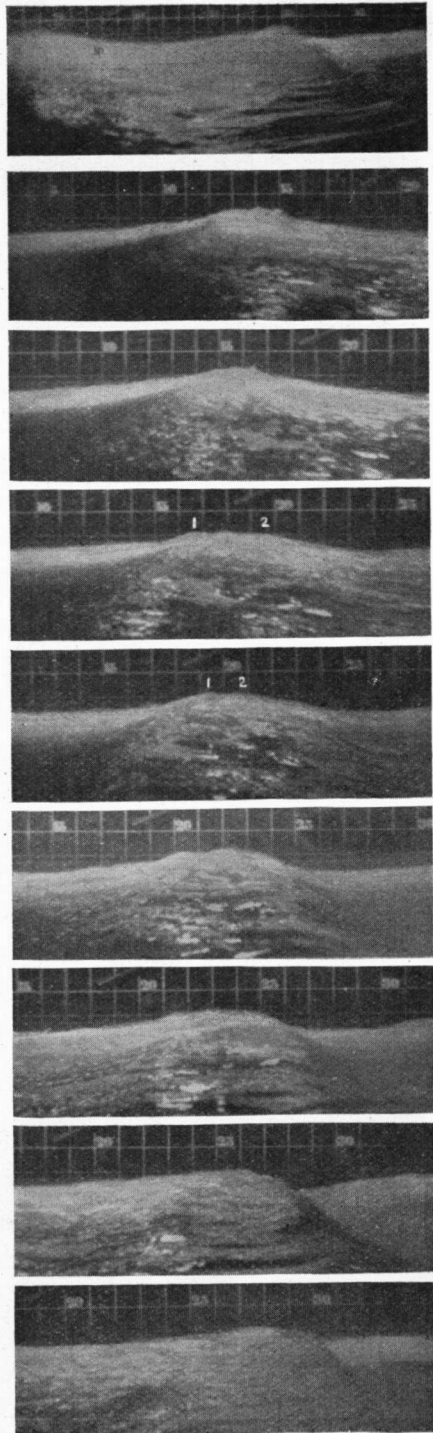


Fig. 3.

Een overzichtsfoto en serie filmbeelden van den vorm der golven met op den achtergrond een schaalverdeeling in dm.

werd de hoek tusschen den drempel en den bodem der tank afgesloten door een schuine plank, die goed tegen den bodem en den drempel aansloot, terwijl de voorhelling tot aan die plank werd verlengd. In de rechter tankhelft sloot een veel smaller voorstrand de 2° helling bij den tankbodem aan.

Bij gedurende korten tijd opwekken van golven bleek, dat in de linker tankhelft het profiel met dubbelen top niet meer optrad, in de rechter echter wel. De golven waren links lager en veel minder steil, terwijl de heftige branding, die rechts optrad, hier niet voorkwam. Ook in de rechter helft werd nu een schuine plank voor den drempel geplaatst om den invloed daarvan na te gaan. Het profiel met dubbelen top bleek bij de nu volgende golfwerking weliswaar sterk verminderd, maar toch nog duidelijk waarneembaar. Een vergelijking met de golven

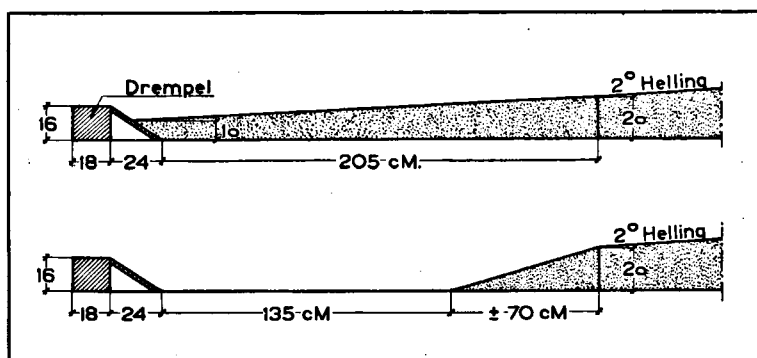


Fig. 4.

Het verloop van het voorstrand in de linker en rechter tankhelft.

in de linker helft toonde aan, dat zij even snel het strand naderden als rechts, maar op het oogenblik dat de voorkam de taak van den ouden kam overnam, plotseling achter geraakten.

Het zandige strand rechts ondervond de in de verdere proeven normale wijzigingen, waarbij een strandwal, brandingstrog en rug werden gevormd. Op het linker strand was dan nog slechts een onregelmatig ribbelveld ontstaan.

Nauwkeuriger waarnemingen van de golfvorming tijdens de voortzetting van de golfwerking leerden, dat de golven in de linker tankhelft, evenals rechts, alleen aan den top brekend ontstonden en over den drempel liepen, maar dan, in afwijking met rechts, onmiddellijk in voor hun hoogte te ondiep water kwamen zoodat ze als topbrekers door bleven loopen. Rechts daarentegen konden de golven in het diepere water zich herstellen, d.w.z. een normaal profiel aannemen, dat later overging in het profiel met dubbelen top, om tenslotte, op het voorstrand geremd, steiler te worden en met kracht te breken. De eindvorm van de linker en rechter strandhelft vindt men in fig. 5. De uitholling in het midden van het linker strand en de onregelmatige structuur op het hoogere deel van de 2° helling werden veroorzaakt, doordat de oorspronkelijk rechte

kamlijn der golven zich in twee lobben verdeelde die sneller opliepen, terwijl het middengedeelte achterbleef en een wat heftiger branding

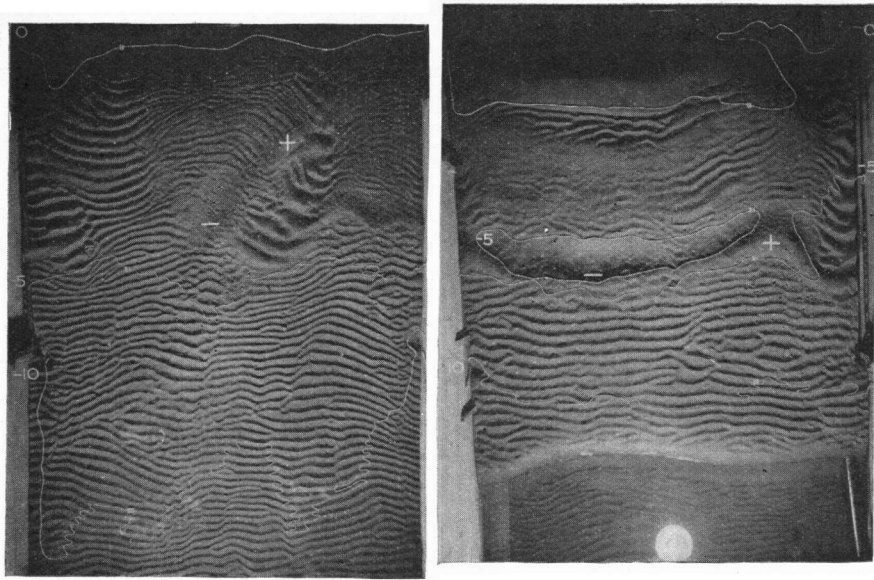


Fig. 5.

De vorm van het strand in de gescheiden linker en rechter tankhelft ontstaan door golfwerking van gelijken duur.

Op het linker strand komen bij de 0 lijn u-vormige ribbels met breede vlakke kammen voor. Tusschen de 0 en —5 lijn zijn in twee transversale banen (links en midden rechts) stroomribbels ontstaan. Rechts de in de latere proeven weerkerende vormen. (Alle verticaal opgenomen foto's zijn zoo geplaatst dat het licht van beneden invalt. De dieptelijnen zijn steeds in cm. aangegeven).

deed ontstaan (zie fig. 6). Op de rechter strandhelft hadden de bovengenoemde eenheden zich verder ontwikkeld.

Het is niet waarschijnlijk, dat de eigenaardige golfvorm geheel of ten deele het gevolg was van de wijze, waarop de golven werden opgewekt of meer in het bijzonder door den drempel werd veroorzaakt. Daarvoor zou ondersteld moeten worden, dat de golven bij het aannemen van het normale profiel eigenschappen in de beweging der waterdeeltjes behouden, die dan bij de nadering tot het strand het beschreven verschijnsel te voorschijn zouden roepen. Aannemelijker is, dat het verloop van den bodem of een interferentie met de teruglopende golven de oorzaken zijn.

Daar deze golven een veel sterkere uitwerking op het strand hadden, werden in de verdere proeven geen pogingen gedaan ze tot een eenvoudiger gedaante te vervormen. Wel bleek daarin, dat de afstand tusschen de beide kammen van een golf niet steeds even groot was en de overgang van den eenen vorm in den anderen langzamer en sneller kon verlopen. Op welke wijze dit mogelijk verband hield met de

periode en hoogte van de golven en de waterdiepte, kon niet worden bepaald.

Een analyse van de gefilmde golven gaf een hoogte van 11 tot 12 cm bij een lengte van  $\pm 160$  cm. De verhouding van hoogte en lengte was dus  $\pm \frac{1}{13}$  tot  $\pm \frac{1}{14.5}$ . Opmetingen op het oog gaven een verhouding van  $\frac{1}{20}$  en  $\frac{1}{38}$  afhankelijk van kortere of langere periode.

Ter vergelijking hiermede kunnen de cijfers van PARIS <sup>1)</sup> en SCHOTT <sup>2)</sup> geldend voor golven in diep water dienen.

De eerste geeft de verhouding hoogte tot lengte van normale oscillatie golven in diep water aan, als met den zeegang stijgend van  $\frac{1}{39}$

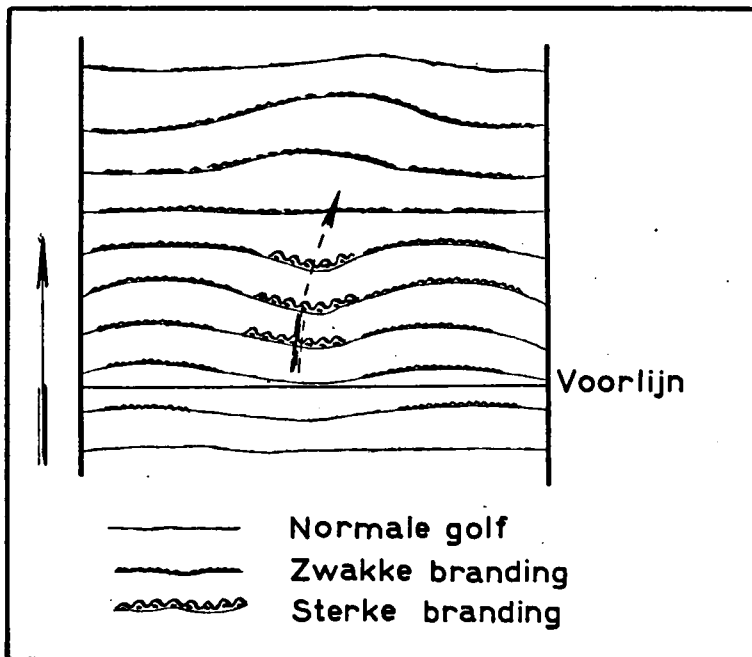


Fig. 6.

De vormen van den golfkam bij het oploopen in de linker tankhelft.

tot  $\frac{1}{19}$ . Volgens SCHOTT varieert de verhouding met de windsterkte van  $\frac{1}{33}$  bij matigen wind tot  $\frac{1}{17}$  bij storm, met als maximum  $\frac{1}{13}$ .

De kunstmatig opgewekte golven komen wat hun verhouding van lengte en hoogte betreft overeen met zeer steile oscillatie golven in diep water, terwijl bekend verondersteld mag worden, dat de laatsten wanneer zij bij de nadering tot de kust in ondieper water komen hoger en korter worden, zoodat de verhouding van hoogte tot lengte afneemt.

<sup>1)</sup> PARIS, A. Observations sur l'Etat de la Mer Recueillies à bord du Duplex et de la Minerve (1867—70). Revue Maritime et Coloniale XXXI, 1871.

<sup>2)</sup> SCHOTT, GERHARD. Ueber die Dimensionen der Meereswellen Richthofen, Festschrift. Berlin 1893.

Andere metingen toonden aan, dat de kunstmatige golftoppen bij een periode van 0.77 sec. voor de helft en bij een periode van 1.45 sec. voor twee derde boven stilwaterhoogte lagen. Deze cijfers zijn in goede overeenstemming met de waarnemingen van STEVENSON<sup>1)</sup>, betreffende golven voor twee derde van hun hoogte boven stilwaterpeil, welke hoogte volgens GALLARD<sup>2)</sup> in ondiep water toeneemt, zoodat juist voor de golf breekt drievierde zich boven het stilwaterpeil bevindt.

We kunnen aannemen, dat de opgewekte golven normale trochoidale oscillatie golven zijn, zij het wat steiler dan de golven in open zee. Zelfs indien zij bij het naderen tot het strand meer het karakter krijgen van translatie golven, zooals de breede vorm van den golfberg zou doen vermoeden, wijken zij hierin niet af van de natuurlijke oscillatie golven, daar deze wanneer de waterdiepte afneemt langzaam tot translatie golven worden vervormd (zie JOHNSON, lit. 25, blz. 36).

#### De schaal van de proeven.

Voor de in waterbouwkundige laboratoria te verrichten proeven zijn een reeks formules, de z.g. modelregels, opgesteld aan welker eischen een model moet voldoen en met behulp waarvan de resultaten der proeven tot de werkelijke waarden zijn te herleiden. Hoe men tot deze regels komt is door ENGELS uiteengezet (lit. 10).

Indien de lengteschaal der proeven  $1:n$  bedraagt, dan geldt voor de tijdsverhouding  $T = t\sqrt{n}$ , waarin  $T$  den werkelijken tijd en  $t$  den tijd in het model voorstelt.

Een aantal metingen van de periode der brekers aan het strand onder sterk uiteenlopende omstandigheden gaf uitkomsten van 7.0 tot 4.9 sec. De perioden van vrijwel alle golven in de experimenten lagen tusschen 1.0 en 1.5 sec. Afrondend kunnen we aannemen dat  $\sqrt{n} = \pm 5$ . De schaal der proeven bedroeg dus ongeveer  $1:25$ .

De hoogte van de golven, wisselend van  $\pm 2$  tot 9.5 cm, komt overeen met een werkelijke golfhoogte van  $\pm 0.5$  tot  $\pm 2.4$  m, golfhoogten die voor onze kust tot de normale gerekend kunnen worden.

De in de proeven gevormde strandwallen met een maximale hoogte boven het stilwater-oppervlak van 5 cm en boven het oorspronkelijk profiel van 4 cm komen overeen met door deze golven te vormen wallen met 1.25 m en 1 m hoogte. De basis van de strandwallen, in de proeven 50 cm en langer, zou in werkelijkheid 12.5 m bedragen.

Deze getallen hebben natuurlijk uitsluitend betrekking op vormen aan de kusten van waterbekkens zonder getijden gevormd, door golven met een constante basis, m.a.w. zonder dat waterstand-schommelingen door stuwung veroorzaakt optraden. Dit verklaart de betrekkelijk geringe afmetingen.

<sup>1)</sup> STEVENSON, THOMAS. The Design and Construction of Harbours. 3rd. Ed. Edinburgh 1886.

<sup>2)</sup> GALLARD, D. D. Wave Action in Relation to Engineering Structures. Corps of Engineers. U.S. Army. Professional Paper N<sup>o</sup>. 31. Washington 1904.

### III. KORTE BESCHRIJVING DER EXPERIMENTEN.

#### Experimenten met rechten golfoploop op een zandig strand.

*Proeven met een strandhelling van 2°.*

Met deze strandhelling vonden twee experimenten plaats. Zoowel proef I als proef II omvatte echter zeven afdeelingen, in het vervolg fasen genoemd. Voor het begin van iedere proef werd de strandhelling nieuw aangelegd. De fasen van een proef waren van elkaar gescheiden door een onderbreking in de golfwerking voor het doen van nauwkeurige waarnemingen of het maken van foto's. Na de onderbreking werd de proef gewoonlijk onder zooveel mogelijk gelijke omstandigheden voortgezet.

*Proef I.* De gegevens van de zeven fasen van proef I zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

TABEL 1.

Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golfhoogte in cm	Peil in cm
1	5	12,2	246	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —2	19,9
2	9	10,0	540	± 2	19,9
3	22	12,8	1031	± 3	19,9
4	33	13,3	1488	± 3	20,0
5	9	13,3	406	± 3	20,0
6	7	13,3	316	± 3	20,0
7	23	13,5	1022	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,0

Tijdens de fasen 1 en 2 ontstond op het voorstrand een systeem van symmetrische golf-ribbels evenwijdig aan het strand, dat zich langzaam het strand op uitbreidde. Tegelijkertijd vormde de terugloop der golven (de „backwash”) hoog op het strand de ribbels met smalle U-vormige dalen en breede platte kammen. Gedurende fase 4 werd het zand langs de 15 cm breede plank, langs de voorlijn verticaal op den tankbodem geplaatst, meer en meer verwijderd. Dicht erachter waren op vrij regelmatige afstanden een vijftal ongeveer 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> cm hoge, door steile hellingen begrensde, 25—35 cm lange, platte, tong-

vormige zandaccumulaties het strand opgegroeid. Aan de basis waren zij door een enkele breede ribbel met elkaar verbonden (fig. 7).

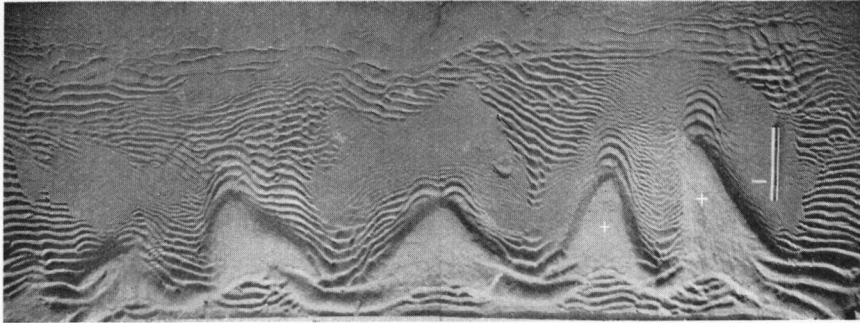


Fig. 7.

De tongvormige accumulaties, gescheiden door depressies, aan het eind van fase 4 van proef I. Duidelijk zijn hier aan de grens van den golfploop de u-vormige ribbels met breede vlakke kammen. Het meetlatje is 30 cm. lang.

Tusschen de tongen ontstonden door den onderstroom sterk asymmetrische stroom-ribbels, waarvan het profiel van fig. 8 den vorm weer-

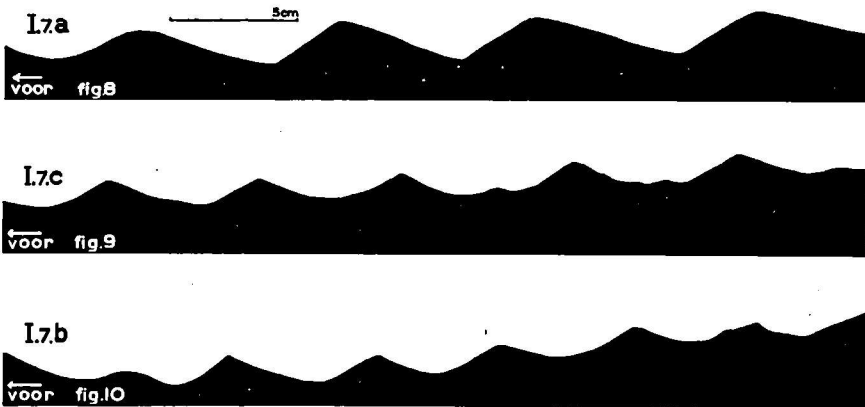


Fig. 8. Asymmetrische stroomribbels in een depressie tusschen twee tongen gevormd.

Fig. 9. Symmetrische golf-(oscillatie)ribbels van het voorstrand.

Fig. 10. Symmetrische golf-ribbels van het strand.

De figuren zijn op denzelfden schaal.

geeft. Zij gingen plaatselijk naar boven toe over in symmetrische ribbels. De U-vormige ribbels, hooger op het strand, ontwikkelden zich verder gedurende de fase 4. De U-vormige dalen waren 1—1½ cm breed, de vlakke strandgedeelten daartusschen 2½—3 cm. Op het voorstrand, buiten de foto van fig. 7, had het systeem van symmetrische golf-ribbels

zich volkomen ontwikkeld. De vorm van deze ribbels is in het profiel van fig. 9 vastgelegd. Ook op de strandhelling onder de bases der tongen ontstond een smalle zone van symmetrische ribbels, waardoor een profiel is opgenomen (zie fig. 10).

De fasen 5, 6 en 7 gaven de verdere ontwikkeling te zien. De tongen groeiden hoger het strand op en in twee gevallen zijdelings aaneen. De eerst volkomen gladde bovenzijden der tongen werden gedeeltelijk met kleine ribbels bedekt, terwijl zij na het beëindigen der golfwerking tot boven het wateroppervlak opgebouwd bleken te zijn. Het naar boven schuiven van de ribbels op het voorstrand werd door het inplanten van lucifers op de plaatsen der ribbelkammen nagegaan. In ongeveer 10 minuten verplaatste een op het voorstrand gelegen ribbel zich 1.5 cm strandopwaarts. Een andere, 72 cm achter de voorlijn op de 2° helling gelegen, in denzelfden tijd 1.3 cm. Fig. 11 geeft den eindtoestand van proef I weer.

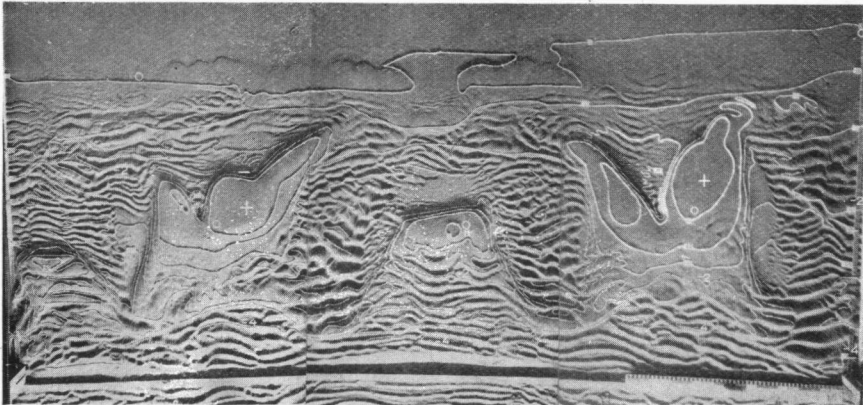


Fig. 11.

De gedeeltelijk zijdelings aaneengegroeide tongvormige accumulaties aan het eind van proef I. De witte cijfers geven de ligging van de dieptelijnen in cm. aan.

Het was duidelijk, dat de 15 cm hoge plank, die tijdens de latere fasen steeds meer blootgelegd werd, een sterk storenden invloed uitoefende op de golfwerking en reeds vrij spoedig zandtransport, het strand op of af, onmogelijk maakte. Bij de volgende experimenten werd zij dan ook verwijderd.

*Proef II.* Tijdens proef II heerschten overeenkomstige omstandigheden wat de golfhoogte, de golfperiode en het peil betrof, zooals uit de onderstaande tabel blijkt.



TABEL 2.

Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golfhoogte	Peil
1	60	13,3	2707	3 $\frac{1}{2}$	20,0
2	} 35	13,8	1522	3 $\frac{1}{2}$	20,0 constant peil
3	47	14,4—14,9	1931	3 $\frac{1}{2}$	20,0
4	13,5	13,6	595	3 $\frac{1}{2}$	20,0
5	31	13,9—14,4	1310	3 $\frac{1}{2}$	20,0
6	} 9	15,1	357	3 $\frac{1}{2}$ - 4	20,0 constant peil
7	9	25,5	212	1 $\frac{1}{2}$ - 3 $\frac{1}{4}$	16,4

Binnen korten tijd was het voorstrand en het onderste deel van de 2° helling bezet met symmetrische golf-ribbels. Ook nu ontstonden een viertal tongvormige zandaccumulaties, die echter reeds tijdens fase 1 door zijdelings uitgroeien zich twee aan twee vereenigden en twee door een geul gescheiden wallen vormden (zie fig. 12). Door deze geul en

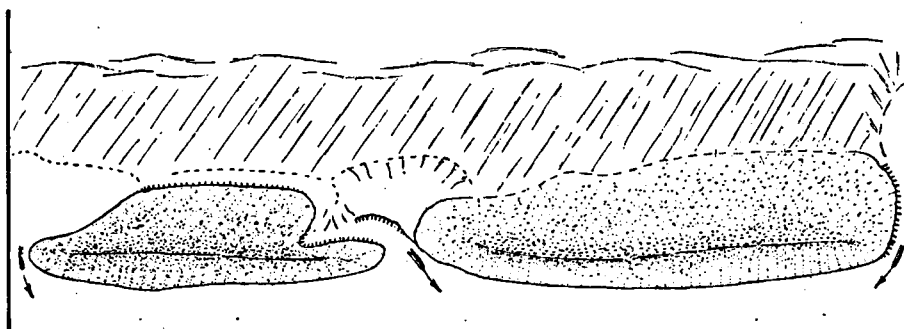


Fig. 12.

De vorm van het strand aan het einde van fase 1 van proef II. Achter de deelen van den strandwal de aangelegde helling met de grens van den golfoploop.

de geulen langs de zijmuren der golftank vond het, door de overslaande golven achter de wallen geworpen water, zijn weg terug.

Gedurende fase 2 namen de wallen bij hun verplaatsing strandopwaarts in volume toe. De overslaande hoeveelheid water werd steeds geringer en gelijktijdig daarmee werd de geul in het midden gedicht, zoodat over de geheele lengte van het strand een aaneengesloten strandwal was gevormd. Van de hellingen van deze strandwal was de voorhelling, waar de golfoploop (swash, het oplopen van een golf op het

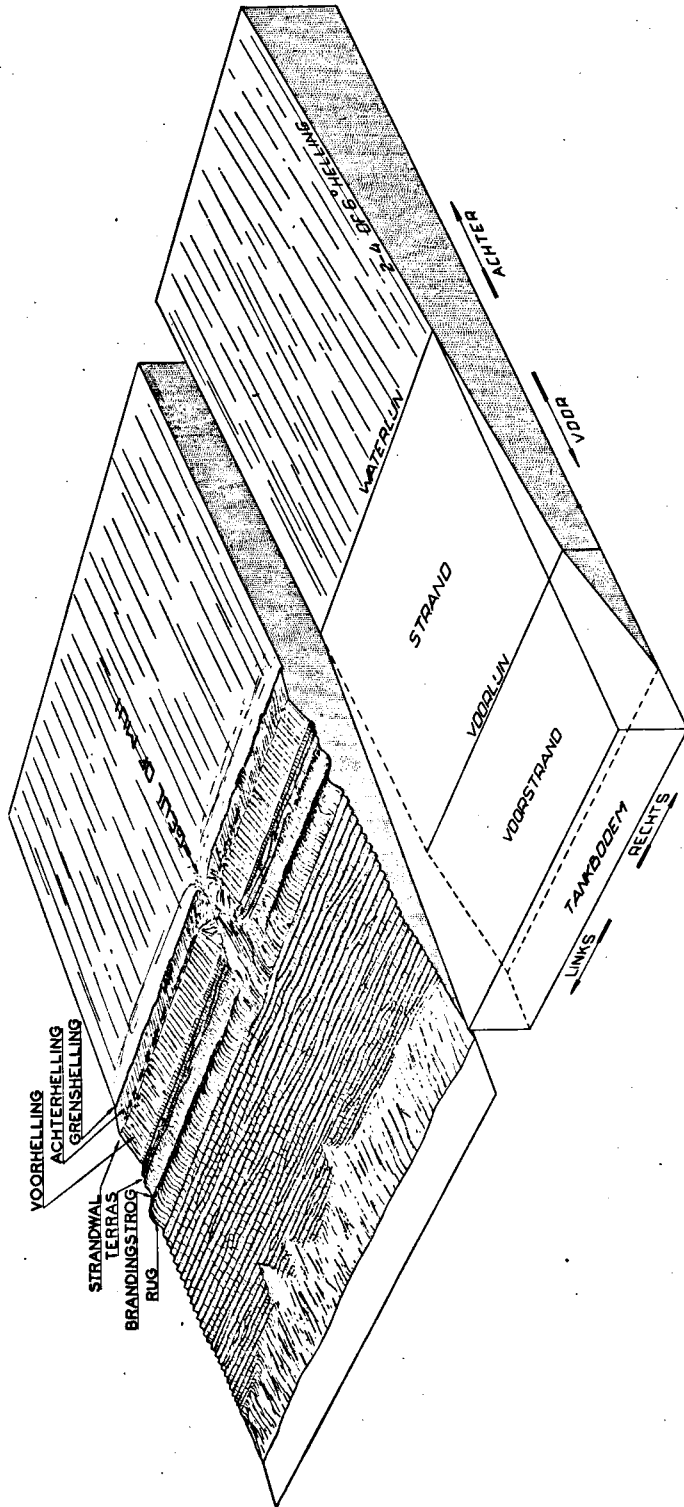


Fig. 13.

Blokdiagram in twee deelen van den begin- en eindvorm van het strand. In het rechter deel de bij de beschrijving van de proeven gebruikte plaatsaanduidingen, in het linker de daarbij toegepaste nomenclatuur.

strand na het branden) op plaats vond, het steilst en dikwijls ontstond een scherpe kamlijn. De flauwe achterhelling viel in een steile, tot enkele cm hooge helling, waarin het zand in zijn maximale hellingshoek lag, plotseling af naar de aangelegde  $2^\circ$  helling (zie fig. 13). Het lengteverloop van deze steile grenshelling was een onregelmatig gelobde lijn, die aan het eind van fase 2 maximaal 33 cm achter de kamlijn gelegen was (zie plattegrond in fig. 14). De strandwal transgredeerde als het ware over de aangelegde helling.

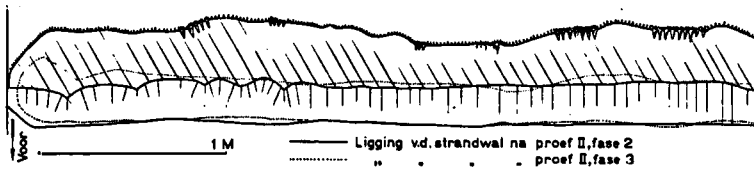


Fig. 14.

Plattegrond van den strandwal met afvloeigeultjes bij de grenshelling, gevormd in proef II, fase 2 en 3. (De plattegronden zijn op dezelfde wijze georiënteerd als de verticaal opgenomen foto's).

Op de voorhelling van den strandwal ontstonden in de richting van den golfloop tijdelijk kleine, enkele cm lange en aan de met de kamlijn samenvallende basis 2—3 cm breede, in een punt, de zoogenaamde apex, uitlopende ruggetjes, van elkaar gescheiden door trechtervormige geultjes.

Bij nauwkeurige waarneming bleek duidelijk dat deze micro-, „beach cusps” (microstrandhorens) door iederen golfloop weggevaagd en tijdens den terugloop weer te voorschijn gebracht werden. Nadat de aaneengesloten strandwal was voltooid, werd gedurende 16 minuten de waterpiegel langzaam verlaagd teneinde de golfwerking ten opzichte van het strand op een lagere basis te brengen, zooals in de natuur bij het vallende tij geschiedt.

Aan het eind van fase 2 vertoonde een gedeelte van de kamlijn op vrij geregelde afstanden een vooruitspringen van 2—3 cm, waarmede transversale hoogteverschillen in de voorhelling van den strandwal gepaard gingen (zie fig. 14). Van een ander deel van de kamlijn strekten ruim 1 cm lange micro-strandhorens met 2 tot 3 cm apex-afstand zich op de voorhelling uit. De geultjes ertusschen reikten tot de kamlijn.

De over de kamlijn geslagen golven vloeiden de achterhelling af en concentreerden zich daarbij aan het onderende in transversale geultjes. Het door deze geultjes meegevoerde zand vormde aan de steile grenshelling kleine delta's (zie fig. 15).

Metingen van de verplaatsing der ribbels tijdens fase 3 gaven op twee verschillende plaatsen een duidelijke verplaatsing respectievelijk van 4 en  $2\frac{1}{2}$  cm in 47 minuten.

Gedurende de fasen 3, 4 en 5 ondervond de strandwal weinig verandering. Hij werd iets hoger opgebouwd. Opmerkelijk was de vorming van een smalle zone, evenwijdig aan het strand, bezet met enkele, dikwijls

slechts twee, dicht bij elkaar gelegen ribbels (bij B—B in fig. 16). De lengte (kamafstand) van de ribbels bedroeg in die zone, de overgangs-

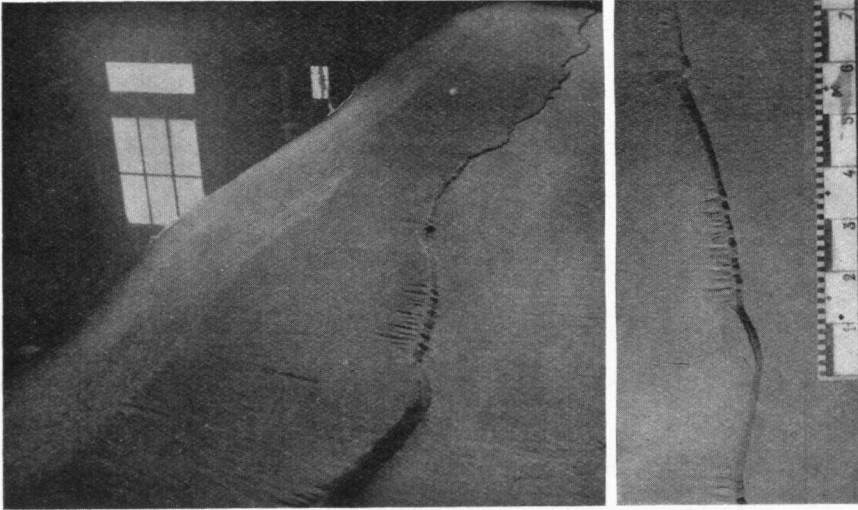


Fig. 15.

Overzichtsfoto en verticaal opgenomen detail van afvloei-euiltjes in de achterhelling van den strandwal met er voor aan de grenshelling kleine delta's.

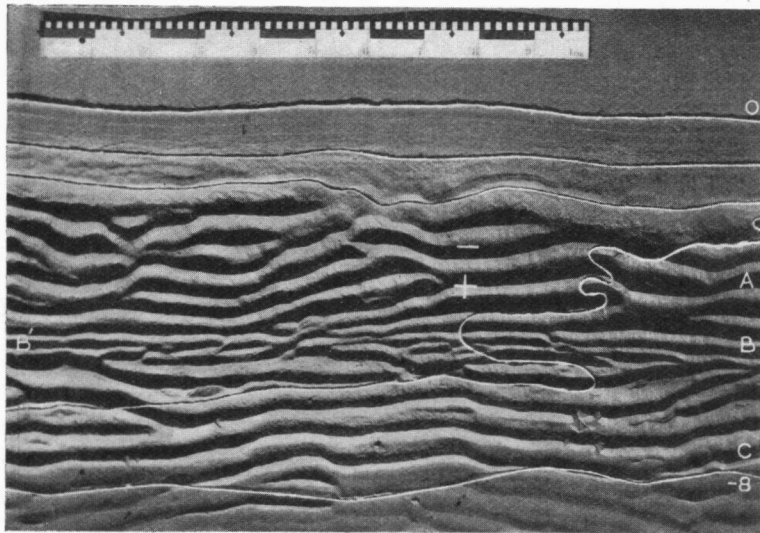


Fig. 16.

De overgangszone met kleine ribbels temidden van ribbels met grootere afmetingen. Dieptelijnen om de 2 cm.

zone, ongeveer 2.5 cm, terwijl hoger (A—B) en lager (B—C) op de helling 5 cm bereikt en overschreden werd.

De grootere, dicht daaronder gelegen, ribbels werden in hun geheel langzamerhand verhoogd.

De profielen van fig. 17, waarvan de ligging op den plattegrond

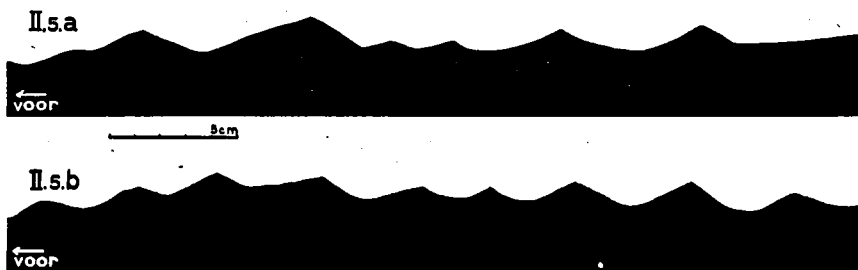


Fig. 17.

Twee profielen door de overgangszone met kleinere ribbels en de aangrenzende grootere ribbels in proef II. Voor de ligging der profielen zie de plattegrond van fig. 18.

(fig. 18) is aangegeven, doorsnijden de overgangszone en de aangrenzende ribbels.

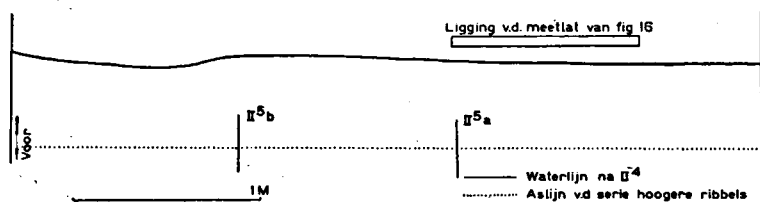


Fig. 18.

Plattegrond waarop de profielen van fig. 17 en het strandgedeelte van fig. 16 zijn aangegeven.

Het verlagen van het peil werd gedurende fase 6 in een langzamer tempo dan in fase 2 uitgevoerd. De geulen langs de zijmuren verzandden nu eveneens. Opmetingen van de golflengten van de ribbels aan het eind van fase 6 gaven de volgende uitkomsten:

gemiddelde golflengte	}	achter de overg. zone	$3\frac{1}{2}$ —5 cm
		in de overg. zone	$2\frac{1}{2}$ —3 cm
		voor de overg. zone	$3\frac{1}{2}$ —4 cm

Enkele kleine golven, opgewekt tijdens het afloopen van het water na het einde van fase 6, toen het peil van 20 cm tot 16,4 cm gedaald was, deden over de geheele lengte van het strand dicht boven de waterlijn micro-strandhorens ontstaan en sloegen in de helling een brandingsnis. De basisbreedte der micro-strandhorens bedroeg 1—2 cm, de lengte ongeveer  $2\frac{1}{2}$  cm.

In fase 7 werd de golfwerking bij het peil 16,4 korten tijd voortgezet, waarbij de micro-strandhorens zich echter niet verder ontwikkelden, maar verdwenen. De plattegrond van fig. 14 geeft nadere bijzonderheden over de veranderingen in de ligging der waterlijn tijdens verschillende fasen van proef II.

*Proeven met een strandhelling van  $4^\circ$ .*

Hieronder vallen de experimenten III tot en met VII, waarvan de gegevens in tabel 3 zijn samengevat.

TABEL 3.

Proef	Fase	Duur in min.	$10 \times$ golfperiode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golfhoogte in cm.	Peil in cm.	Peil boven drempelschot in cm.
III	1	57	16,7—19,3	1904	5— $5\frac{1}{2}$	23,4	—
	2	35	15,3—16,0	1341	$4\frac{1}{2}$ —5	23,4	—
	3	—	—	—	—	—	—
	4	16	27,3	132	2	23,4	1
	5	12	17,3	416	$2\frac{1}{2}$	2,34	1
	6	14	16,2	518	$2\frac{1}{2}$	23,4	1
	7	40	20,5—21,8	1143	2— $2\frac{1}{2}$	23,4	1,1
IV	1	16	25,0—24,5	363	$1\frac{3}{4}$ —2	24,4	1
	2	25,5	16,6—17,3	900	2	24,4	1
V	1	9	17,2	314	$2\frac{1}{2}$	24,4	1
	2	10	17,2	$\pm$ 350	$2\frac{1}{2}$	24,4	1
VI	1	5	16,2	185	$2\frac{1}{2}$	24,4	1
	2	5	17,8	169	$2\frac{1}{2}$	24,4	1
	3	15	16,6—17,4	521	$2\frac{1}{2}$	24,4	1
VII	1	$11\frac{1}{2}$	16,6—19,2	358	3— $3\frac{1}{4}$	24,4	2

*Proef III.* De opbouw van een strandwal vond tijdens fase 1 in een snel tempo plaats. De oorspronkelijk den strandwal doorsnijdende geulen waren voor het eind van fase 1 reeds gedicht, terwijl de strandwal dan zoo hoog was opgebouwd, dat het overslaan der golven beperkt was tot de lagere gedeelten der kamlijn.

Uit den plattegrond (fig. 19) blijkt, dat de ligging van de waterlijn door de golfwerking weinig veranderingen heeft ondergaan. Toch is veel materiaal van onder de oorspronkelijke waterlijn naar boven gebracht. Symmetrische golf-ribbels, evenwijdig aan het strand, ontstonden op het voorstrand en de dieper gelegen strandhelling.

Tijdens fase 2 viel het variëren van de golfhoogte op. In fase 3 werd gezocht naar een minder tijdroovende methode om de golfhoogte te kunnen veranderen dan het verwisselen van de excentrieken van de golfmachine. Reeds onder proef II bleek, dat de golfhoogte in sterke mate afhankelijk was van het peil, de waterdiepte, boven den drempel voor het dompellichaam. Hiervan werd gebruik gemaakt door in de dompelruimte tegen den drempel een verticaal, verstelbaar schot aan te

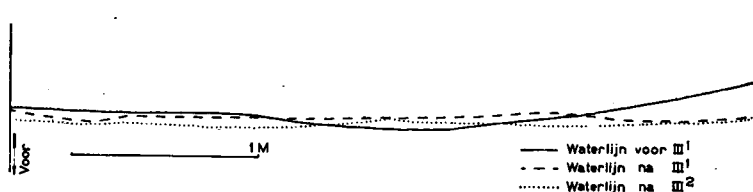


Fig. 19.

Plattegrond van de veranderingen tijdens de eerste fasen van proef III.

brengen. Door het stellen van dit schot op verschillende diepten onder het wateroppervlak kon de maximale golfhoogte tot de gewenschte golfhoogte beperkt worden.

De beperking der golfhoogte werd in de verdere fasen van proef III en in de latere proeven herhaaldelijk toegepast.

De lage golven van fase 4 tastten de voorhelling van den strandwal aan en deden daarop twee series micro-strandhorens ontstaan, waarvan de achterste 7 cm voor de kamlijn lag. De apex-afstand van deze micro-strandhorens bedroeg 1—1½ cm, de afstand van apex tot basis 1—2 cm. Zij lagen op een wat steiler deel van de helling, door klifvorming ontstaan en vielen aan de basis met de oude helling samen.

Tengevolge van de lange periode van de golven van fase 4 was de terugloop sterk ontwikkeld en strekte zich over vrijwel de geheele breedte van de voorhelling uit.

Iedere tweede golf stuitte onder aan de voorhelling op den met maximale snelheid zich voortbewegenden, terugloop van de vorige golf, werd daardoor sterk geremd en liep slechts weinig op. De daarop volgende golf ontmoette vrijwel geen terugloop en liep hoog op.

In fase 5, 6 en 7 werd de afbraak van den strandwal door de kleine golven voortgezet, wat plaatselijk een tot 1 cm hoog klif en series micro-strandhorens van dezelfde afmetingen als in fase 4 deed ontstaan (zie fig. 20). De overganszone was tijdens fase 6 aanwezig, echter veel minder fraai dan in proef II.

*Proef IV.* In proef IV werd de uitwerking van golven met beperkte hoogte op een 4° strand van begin af aan nagegaan.

Aan de grens van den golfloop ontwikkelden zich micro-strandhorens met  $\pm 2$  cm apex-afstand en  $\pm 3$  cm van apex tot basis.

Door de slechts 2 cm hoge golven werd een strandwal in eersten aanleg opgeworpen, die aan het eind van fase 1 nog doorsneden was

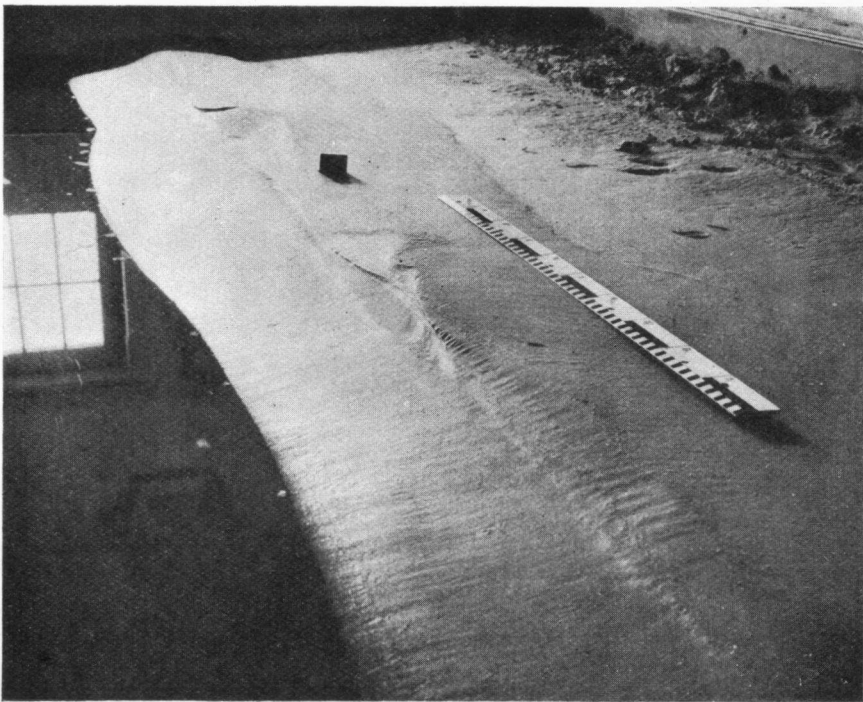


Fig. 20.

De strandwal wordt onder klifvorming afgebroken, terwijl tegelijkertijd op den voorground aan de kamlijn en op den achtergrond lager op de voorhelling series micro-strandhorens ontstaan (zie proef III).

door een vijftal grootere en eenige kleinere muien (zie het blokdiagram fig. 13). Aan den voet van de voorhelling lag dan een 9—10 cm breed ribbeldal. Daarvoor was de helling bezet met een systeem symmetrische



golf-ribbels, evenwijdig aan het strand, waarin de golflengte der ribbels op de dieper gelegen helling snel afnam. Beneden de 4 cm dieptelijn was de  $4^\circ$  helling volkomen ongestoord.

Tijdens fase 2 werden wel eenige van de kleinere muien gedicht maar een aaneengesloten strandwal werd niet gevormd. Terwijl op de eene strandhelft nog een  $\pm 2$  m lange, slechts door één geul doorsneden, strandwal ontstond, bleven op de andere helft een viertal schildvormige culminaties door geulen gescheiden. Het veld symmetrische ribbels breidde zich in het midden naar beneden uit door de vorming van zwak asymmetrische, boogvormige ribbels, die aan de zijde van het dompellihaam uitbogen. De helling der ribbels aan die zijde was een weinig steiler dan aan de strandzijde. De voorste der ribbels met 4 cm. golflengte, lag op 7.5 cm diepte.

Duidelijk waarneembaar was, dat ook bij de voorste ribbels door iedere golf zand boven de ribbelkammen heen en weer werd bewogen.

*Proef V.* In proef V werd getracht de in den aanvang van proef IV voor het opwerpen van den strandwal gevormde en daarna weer verdwenen serie micro-strandhorens van wat grootere afmetingen weer te doen ontstaan. Hiertoe werd bij hetzelfde peil en denzelfden stand van het drempelshot als gedurende proef IV in de eerste fase 9 en in de tweede ongeveer 10 minuten gewerkt met een golfperiode van 17.2 sec. De golfhoogte bedroeg  $\pm 2.5$  cm.

Het in fase 1 gevormde smalle veld symmetrische ribbels groeide in fase 2 verder de helling af. Fig. 21 en het profiel van fig. 22 geven

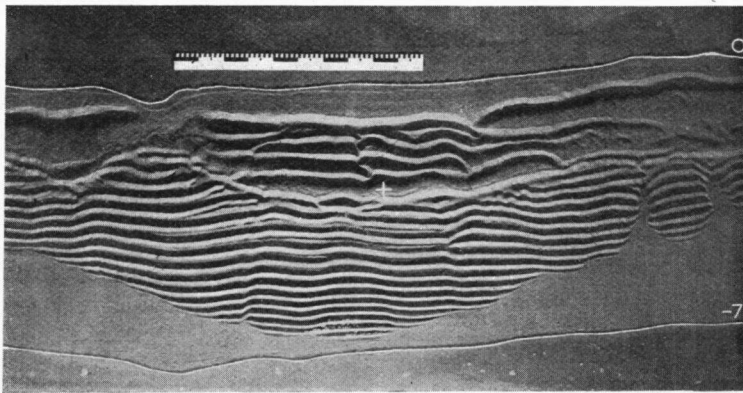


Fig. 21.

Het ribbelveld aan het eind van proef V. In de dalen van de ribbels plaatselijk de kleine centrale ribbel kenmerkend voor oscillatie ribbels.

den vorm van het ribbelveld en de ribbels weer. De opbouw van een strandwal zette in zonder dat micro-strandhorens werden gevormd.

*Proef VI.* Tijdens proef VI werd de uitwerking van kleine golven op een, op onregelmatige afstanden in de richting van den golfloop kunstmatig van ondiepe, smalle groeven voorzien strand onderzocht.



Fig. 22.

Profiel door het ribbelveld van proef V.

Op het vier meter lange strand werden telkens over een meter groeven aangebracht, met respectievelijk 5,  $7\frac{1}{2}$ , 10 en 15 cm tusschenruimte.

De eerste door de golfmachine opgewekte golven van fase 1, die niet door den regelmatigen terugloop van voorafgaande golven geremd werden, liepen als altijd zeer hoog op en slibden daarbij de onderreinden der groeven dicht. Het naar voren verlengen van de groeven gaf geen andere resultaten.

In fase 3 begon de opbouw van een strandwal. De hooger liggende deelen der groeven werden hierdoor voor den golfloop onbereikbaar. De strandwal zelf was doorsneden door vier muien, waardoor een sterke buitenwaartsche stroom ging, die de regelmatigheid van het ervoor liggende veld symmetrische golf-ribbels stoorde. Achter den strandwal, in de lagune vormde dezelfde stroom daar in de lengterichting van het strand gericht, asymmetrische stroom-ribbels.

In het verdere verloop van fase 3 verplaatste de strandwal zich achterwaarts en transgredeerde over het ribbelveld in de erachter gelegen lagune.

*Proef VII.* De  $4^\circ$  helling van proef VII was niet zoo volkomen vlak gemaakt als de hellingen voor de vorige proeven aangelegd. De invloed van primaire oneffenheden op hetgeen door de golfwerking ontstaat, werd nagegaan.

Gedurende  $11\frac{1}{2}$  minuut werden in totaal 385 golven met een gemiddelde periode van 1.79 seconden opgewekt. Het drempelschot was op 2 cm. onder den waterspiegel gesteld, de golfhoogte nam daardoor toe tot ruim 3 cm.

Een vijftal door geulen van elkaar gescheiden, strandwal-culminaties werden opgeworpen. De voorhellingen daarvan waren niet vlak maar vertoonden in de richting van den golfloop op onregelmatige afstanden, plaatselijk 2—3 cm, kleine geultjes en ruggen.

*Proeven met een strandhelling van  $6^\circ$ .*

Bij de proeven VIII tot en met XI lag het strand onder  $6^\circ$  helling. De gegevens van deze proeven zijn in Tabel 4 samengevat.

TABEL 4.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golf- hoogte in cm.	Peil in cm.	Peil boven drempe- schot in cm.
VIII	1	17,0	13,0	784	2 $\frac{1}{2}$	27,4	1
IX	1	10	12,4	484	4 $\frac{1}{2}$	27,4	2
	2	30	12,6	1429	4 $\frac{1}{2}$	27,4	2
X	1	10 $\frac{1}{2}$	13,4	470	6 $\frac{3}{4}$ —7	27,4	—
	2	25	12,6	1190	6 $\frac{1}{2}$	27,4	
	3	31	12,0—12,4	1525	8	28,9	
	4	30 $\frac{1}{2}$	13,0—12,4	1452	8	28,9	
XI	1	18	12,2—11,4	915	7—8	28,9	

*Proef VIII.* De kleine golven van proef VIII wierpen een lagen strandwal, doorsneden door op vrij regelmatige afstanden gelegen geulen, op. Een systeem symmetrische golf-ribbels evenwijdig aan het strand bezette het voorstrand en het lagere deel der 6° helling.

*Proef IX.* In proef IX werd de golfhoogte vergroot tot 4 $\frac{1}{2}$  cm. De bij deze golfhoogte opgebouwde strandwal-culminaties aan het eind van fase 1 ziet men in fig. 23 in plattegrond. Zij werden in fase 2

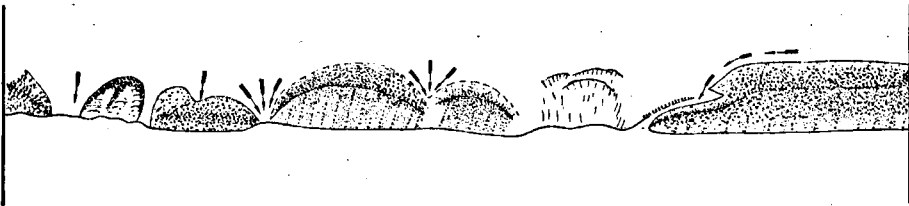


Fig. 23.

De strandwal-culminaties aan het eind van fase 1 van proef IX.  
De pijlen geven het door de geulen terugstroomende water aan.

hooger opgebouwd, waarbij de geulen eerst dieper werden, en groeiden daarna zijdelings aaneen, waarbij meerdere geulen werden dichtgeslibd. Aan den voet van enkele strandwal-culminaties lag een 6 cm breed en vrij diep ribbeldal. Voor den strandwal was een ongeveer horizontaal terras, 15—30 cm, grotendeels echter  $\pm$  20 cm breed, gevormd waarop tijdens de golfwerking bij iederen terugloop het ontstaan van ribbels was waar te nemen.

Aan de voorzijde was het terras begrensd door een systeem golf-ribbels, symmetrische ribbels met scherpe kammen, evenwijdig aan het

strand. Na fase 2 bevond zich voor de strandwal-culminaties een ongeveer 20 cm breed veld, een terras, bezet met onregelmatige golf-ribbels, meer naar voren overgaande in het regelmatige systeem van golf-ribbels.

De storende invloed van de stroomen uit de afvloeigeulen moet op het terras het sterkst geweest zijn, meer naar voren was geen storing waarneembaar. Het bleek, dat over een 75 cm breede zone onder de waterlijn de oorspronkelijke  $6^\circ$  helling was verlaagd.

*Proef X.* Tijdens proef X werd de uitwerking der grootste golven nagegaan. De golven, die onder op de  $6^\circ$  helling  $\pm 15$  cm achter de voorlijn brandden, bouwden binnen enkele minuten een duidelijk zichtbaren strandwal op. Zij vormden verder een ongeveer horizontaal terras dat in fase 4 ruim 50 cm breed was en een regelmatig oppervlak vertoonde. Daarvoor lag aan het eind van fase 1 evenwijdig aan het strand een diepe geul, een zwin, door een bank of rug gescheiden van een systeem golf-ribbels op de voorhelling gelegen (zie fig. 24, 25, 26). Bij de voort-

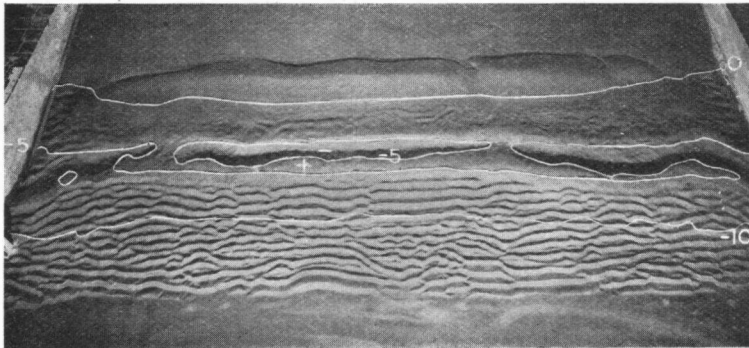


Fig. 24.

De vorm van het strand na fase 1 van proef X.

zetting in fase 2 werd waargenomen, dat de golven geremd werden op de voorhelling van den rug, boven de kruin van den rug brandden en in de geul erachter vielen. Dit zwin was dus een door de branding gevormde uitkolkingsholte.

In fase 3 en 4 werd het peil  $1\frac{1}{2}$  cm verhoogd, waardoor ook de golfhoogte toenam. De strandwal werd doorsneden door een viertal meanderende geulen, terwijl de uitkolkingsstrog in kortere en langere stukken uiteen viel.

Het eindstadium, d.w.z. de strand-configuratie, die relatief weinig meer aan veranderingen onderhevig was, werd in fase 4 bereikt en vastgelegd in fig. 27. De voorhelling van den strandwal was niet meer gelijkmatig vlak, maar vertoonde inzinkingen en plaatselijk klifvorming.

*Proef XI.* Proef XI gaf de inwerking van de hoogere golven bij het hoogere peil op een  $6^\circ$  helling van begin af aan te zien. Gedurende deze proef werden de veranderingen in de golfhoogte opgemerkt. Na geruimen tijd een golfhoogte van 7 cm waargenomen te hebben, nam zij eenigen tijd toe tot 8 cm en hoger. Fig. 28 geeft een overzicht van den eindtoestand. Het profiel van fig. 29 toont de afmetingen van den brandingstrog, die hier minder regelmatig is dan in proef X, en van den ervoor gelegen rug.

**Experimenten met scheeven golfoploop op een zandig strand onder een hoek van  $15^\circ$  met de strandhelling.**

Daar het niet mogelijk was de richting van de golven te veranderen, werd het strand scheef in de golftank gelegd. Het strand werd daardoor aan de rechterzijde, gezien vanaf de golfmachine, aanmerkelijk smaller dan aan de linker.

De helling van de glijlatten, die eveneens een hoek van  $15^\circ$  met de richting der strandhelling maakte, bedroeg achtereenvolgens in plaats van 2, 4 en  $6^\circ$  nu  $1^\circ 56'$ ,  $3^\circ 52'$  en  $5^\circ 48'$ .

*Proeven met een strandhelling van  $2^\circ$ .*

Het bleek, dat de steeds gevolgde methode om de helling aan te leggen bij de scheefliggende stranden voor verbetering vatbaar was. Bij de oude methode traden bij het aanleggen der scheeve stranden vooral bij de  $2^\circ$  helling hinderlijke afwijkingen op (zie fig. 31). Bij steilere hellingen waren de afwijkingen relatief geringer.

De helling werd daarom eerst in de lengte van het breede naar het smallere uiteinde en daarna op de oude wijze in de breedte getrokken. Voor het trekken in de lengte werd aan de achterzijde van het strand een horizontale glijlat aangebracht, terwijl aan de voorzijde een glijlat waterpas op de voorhelling werd gelegd, welke glijlat na het trekken werd verwijderd.

In deze afdeeling behooren de proeven XII tot en met XV, waarvan de gegevens in tabel 5 zijn samengebracht.

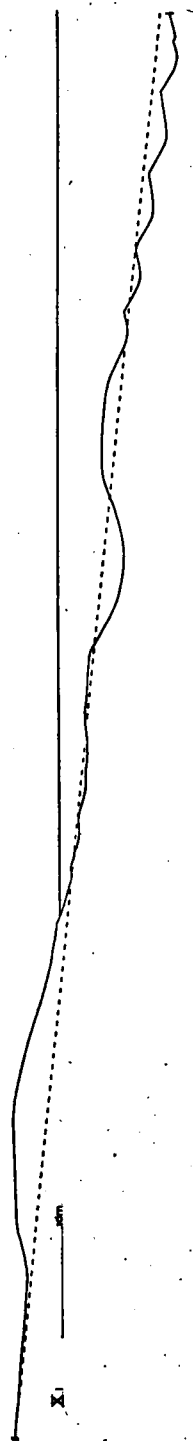


Fig. 25.

Profiel behoorende bij proef X, fase 1. De onderbroken lijn geeft de oorspronkelijk aangelegde helling weer. De ligging is te vinden in fig. 26.

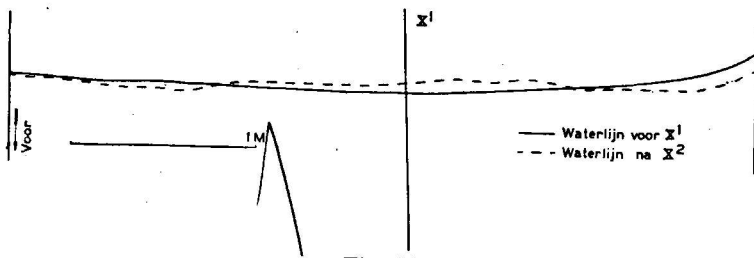


Fig. 26.

Plattegrond behoudend bij proef X, met profiel X.

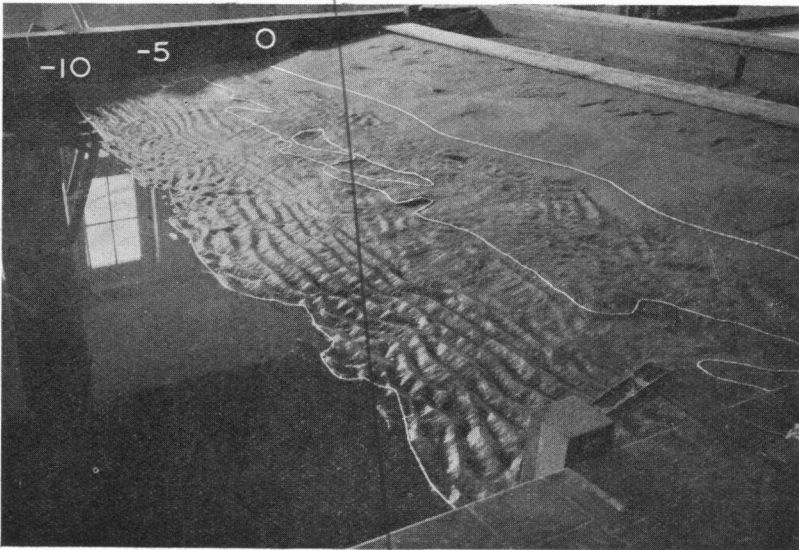


Fig. 27.

De vorm van het strand aan het eind van proef X. De strandwal wordt reeds weer afgebroken zooals uit de, op den achtergrond zichtbare, klifvorming aan de kamlijn blijkt.



Fig. 28.

De vorm van het strand aan het eind van proef XI met plaatselijk, achter den trog, aan den voet van den strandwal, een groot ribbeldal.

TABEL 5.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golf- hoogte in cm.	Peil in cm.	Peil boven drempel- schot in cm.
XII	1	33	12 —12,3	1630	5 — 5 $\frac{1}{2}$	23,1	—
XIII	1	60	13,0 —12,5	2823	2	23,5	1,2
XIV	1	45	13,5 —13,0	2038	4	23,5	4
XV	1	5 $\frac{1}{2}$	14,0	236	4	23,5	4
	2	2	14,0	86	4	23,4	4
	3	15	13,8	652	4	23,7	4
	4	35	13,4 — 13,2	1585	4	23,6	4

In proef XII werd de uitwerking van de grootste golven nagegaan, terwijl in proef XIII de golfhoogte werd beperkt tot 2 cm, om daarna in proef XIV weer toe te nemen tot 4 cm. Proef XV was een herhaling van proef XIV, echter eenige malen onderbroken teneinde de ontwikkeling fotografisch vast te leggen.

*Proef XII.* Bij den aanvang van proef XII brandden de golven, zooals te verwachten was, niet gelijktijdig over de geheele lengte maar links, waar het strand breed was, het eerst en rechts het laatst. De brandingszone lag op het voorstrand, verplaatste zich naarmate de proef vorderde het strand op en kwam links op de 2° helling te liggen.

Fig. 30 geeft de ligging van de na 15 minuten gevormde strandwalculminaties. In de breede geulen en in de lagune achter den strandwal ontstonden stroom-ribbels. De afzonderlijke culminaties groeiden zijdelings aaneen tot een strandwal, alleen in het midden bleef een mui in stand.

Aan het eind van proef XII vertoonde de strandwal plaatselijk micro-strandhorens, die zich van de kamlijn op de voorhelling uitstrekten. Voor den strandwal lag een smal terras, aan de voorzijde begrensd door een brandingstrog, die op de linker strandhelft het best ontwikkeld was, op de rechter in twee depressies uiteen viel en bij de muren vervaagde. Daarvoor bevond zich ongeveer aan het ondereind van de 2° helling een rug. Het daarbij aansluitende, reeds onmiddellijk bij den aanvang gevormde, systeem golf-ribbels evenwijdig aan het strand ging naar voren over in golf-ribbels evenwijdig aan de golven.

Op den plattegrond in fig. 31 zijn de veranderingen in de ligging der waterlijn aangegeven. De profielen van fig. 32, opgenomen met de paraffine-methode en uitgezet op den plattegrond, geven het strandprofiel na het beëindigen van de proef door het linker en het rechter gedeelte van het strand.

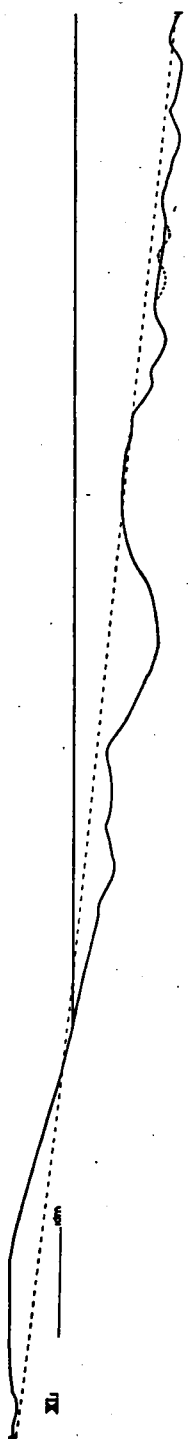


Fig. 29.  
Profiel behoorend bij fase I van proef XI.

*Proef XIII.* Proef XIII gaf bij kleinere golfhoogte een langzamer ontwikkeling te zien. De kleinere golven brandden op de 2° helling. De ribbelforming zette onmiddellijk in en wel in een smalle strook dicht onder de brandingszone gelegen. De golflengte van deze ribbels werd naar voren snel kleiner. Opmerkelijk was, dat bij het opbouwen van den strandwal vooral in het midden van de helling evenals in proef I eerst tongvormige zandaccumulaties ontstonden, die daarna zijdelings aaneengroeiden. Bij den rechtermuur werd een schildvormige accumulatie opgeworpen die langzaam naar het midden uitgroeide. De strandwal bleef lang onregelmatig van vorm, doordat de muien, oorspronkelijk tussehen de tongen gelegen, slechts langzaam werden dichtgeslibd. De steile grenshelling van den strandwal verliep aan het eind van de proef als een sterk gelobde lijn tengevolge van de ontstaanswijze uit de afzonderlijke tongen.

Fraaie series micro-strandhorens ontstonden op de voorhelling van den strandwal (zie fig. 33). Zij strekten zich uit van de kamlijn en waren in het algemeen in de inbochtungen van de voorhelling het best ontwikkeld. Duidelijk kon worden waargenomen, dat zij door iedere oplopende golf die over de kamlijn sloeg, volkomen werden uitgewischt. Bij het afstroomen van den terugloop werd daarna op regelmatige afstanden in zwak trechtersvormige banen het zand sterk meegesleept en ontstonden daardoor geultjes die tot aan de kamlijn reikten. Op het ongeveer horizontale terras, voor den strandwal ontstaan, lagen golf-ribbels met bochtige kammen evenwijdig aan de golven. Het ribbelniveau was dicht voor den strandwal een weinig lager dan aan de voorzijde van het terras. Een brandingstrog met een rug ervoor waren echter niet gevormd. De plattegrond in fig. 34 geeft de veranderingen van de waterlijn, den vorm van den strandwal en de ligging der profielen van fig. 35.

*Proef XIV.* Tijdens proef XIV verliep de opbouw van den strandwal door de grootere golfhoogte sneller. Het dichtslibben der geulen vond veelal op de in fig. 36 aangegeven wijze plaats. Vanaf het linker strandwaldeel groeide een smalle uitlooper „T”, waardoor de afvloeistroom uit de lagune S-vormig werd gebogen en waarschijnlijk aan



transporteerend vermogen verloor. De vorming van dezen uitlooper T is een gevolg van de zijdelingsche zandverplaatsing tengevolge van het scheef oploopen van de golven.

In de nabijheid van de geulen werd door het zijdelings afvloeiende

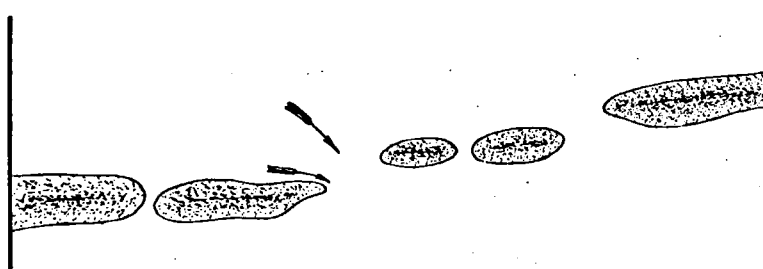


Fig. 30.

De strandwal-culminaties na 15 minuten golfwerking in proef XII.

overgeslagen water achter den strandwal op de reeds bestaande symmetrische golf-ribbels een stroom-ribbelsysteem gesuperponeerd. Naarmate de strandwal groeide werd de invloed der golven kleiner en ging

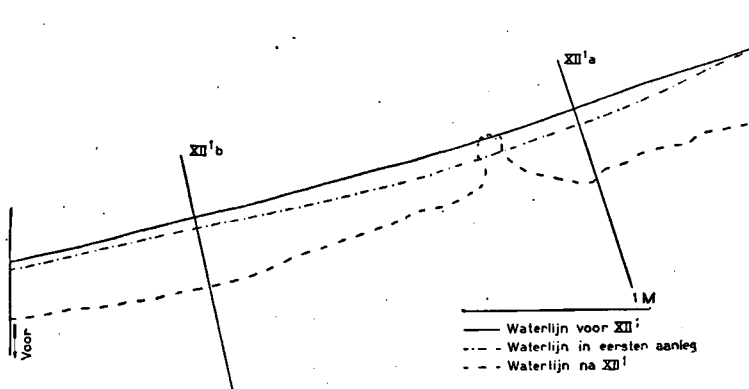


Fig. 31.

Plattegrond van de veranderingen van de waterlijn in proef XII met de profielen XII, 1a en b.

het samengestelde ribbelsysteem over in asymmetrische stroom-ribbels. In de richting van de geul kregen zij steeds bredere, platte kammen, terwijl de dalen diepe groeven werden. Duidelijk was waar te nemen hoe de steile grenshelling van den strandwal door subaquatische afschuivingen langzaam transgredeerde over de erachter gelegen ribbels.

Het verloop van de waterlijn voor en na de proef en den vorm

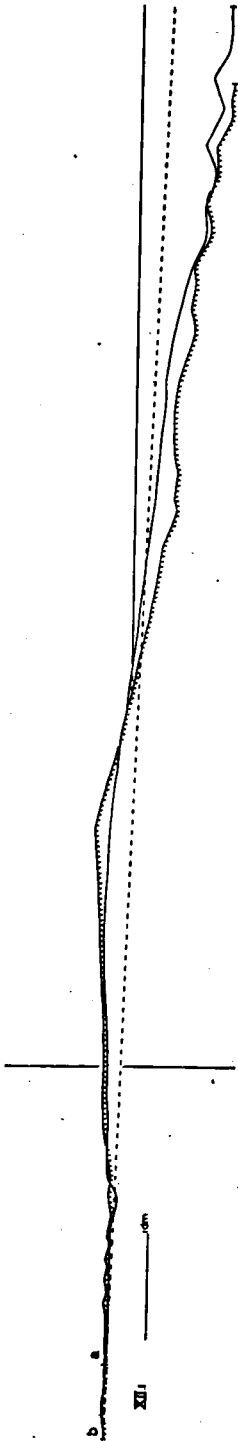


Fig. 32.

Profielen behorend bij proef XII. De onderbroken lijn stelt de aangelegde helling voor, de verticale lijn geeft de plaats van de oorspronkelijke waterlijn daarop aan. Beide profielen zijn in fig. 31 ingeteekend; ze liggen, evenals de nog volgende profielen, ongeveer in de richting van de aangelegde helling.

van den strandwal vindt men op den plattegrond van fig. 37 evenals de ligging der bijbehorende profielen van fig. 38. In het algemeen kan opgemerkt worden, dat weinig veranderingen meer optraden wanneer de golven over hun geheele lengte gelijktijdig braken. Het diepere deel van de strandhelling was dan geheel aangepast aan de richting der golven, zijdelingsch zandtransport vond dan niet meer plaats.

Een storenden invloed op den eindvorm had steeds het afvloeien van het, zich achter den strandwal bevindende, water door de geulen, die den strandwal doorsneden. De geulen werden daardoor verbreed en verdiept terwijl ervoor delta's ontstonden.

*Proef XV.* De ontwikkeling van proef XV is te volgen in de fig. 39, 40 en 41, die den vorm van het strand aan het eind van de fasen 2, 3 en 4 duidelijk weergeven.

Tijdens fase 3 werd het, eerst als een smalle rug, zijdelings uitgroeien der strandwal-culminaties links en het daaropvolgende omhoog werken van den strandwal, waarbij die over de achterliggende ribbels transgredeerde, waargenomen. Aan het eind van fase 3 waren vooral de stroom-ribbels achter den strandwal zeer fraai ontwikkeld.

In fase 4 werd de golfwerking voortgezet totdat de golven over de geheele lengte gelijktijdig braken en dus weinig veranderingen in het strandprofiel meer optraden. De tijdens fase 3 reeds gevormde rechter strandwal-culminatie groeide verder uit.

Op den plattegrond van fig. 42 zijn de ligging der waterlijn vóór en na de proef, de vorm van den strandwal en de profielen van fig. 43 aangegeven.

*Proeven met een strandhelling van 4°.*

De hieronder vallende proeven zijn samengevat in tabel 6.

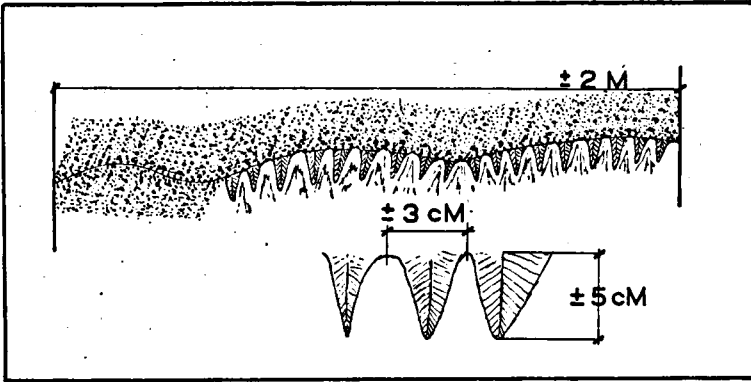


Fig. 33.

Een serie micro-strandhorens op de voorhelling van den strandwal gevormd in proef XIII.

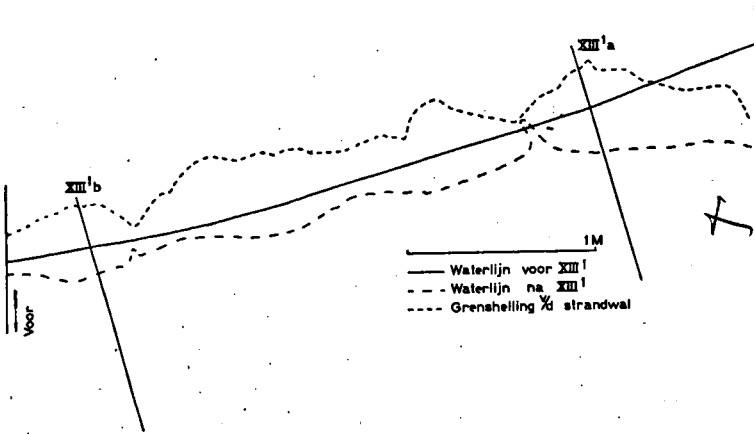


Fig. 34.

Plattegrond van den strandwal gevormd in proef XIII met de bijbehorende profielen.

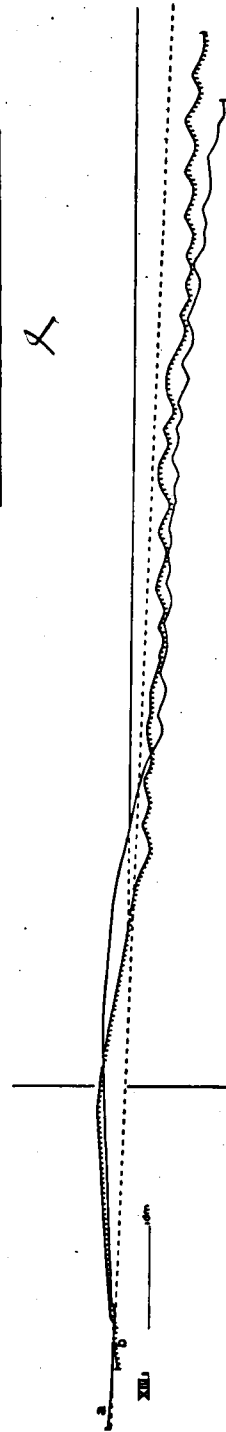


Fig. 35.

..... oorspronkelijke, aangelegde helling; - - - - - ligging van de waterlijn daarop.  
 Profielen opgenomen na proef XIII. De ligging is aangegeven in fig. 34. Het profiel a is ook bij de verdere profielen steeds het rechter profiel.

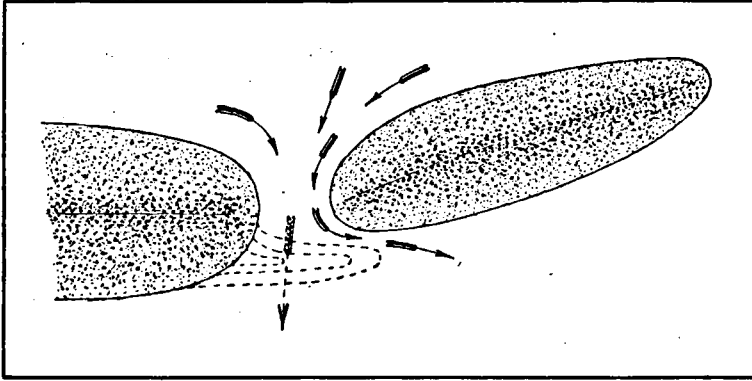


Fig. 36.

Het afsluiten van een muis door het zijdelingsch zandtransport tengevolge van den scheeven golfoploop. Proef XIV.

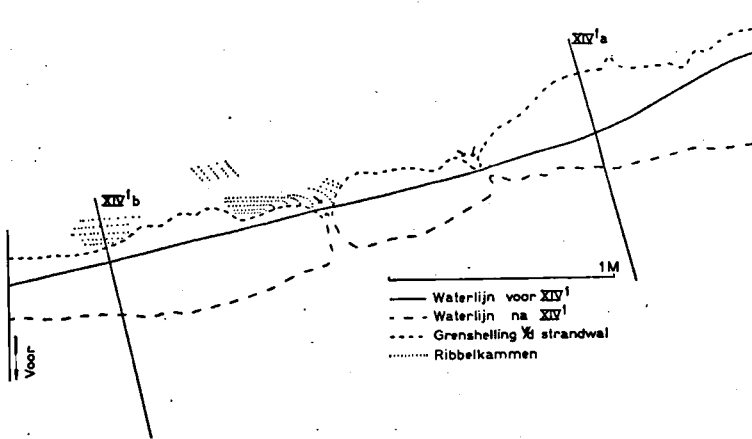


Fig. 37.

Plattegrond van den strandwal gevormd in proef XIV met de bijbehorende profielen. De pijlen geven het door de muien afstromende water aan.

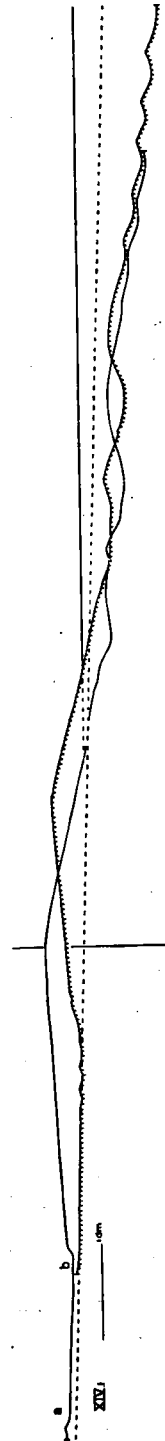


Fig. 38.

Profielen behoorend bij proef XIV.  
 — oorspronkelijke helling; — ligging van de waterlijn daarop.  
 .... Voor de ligging der profielen zie fig. 37.

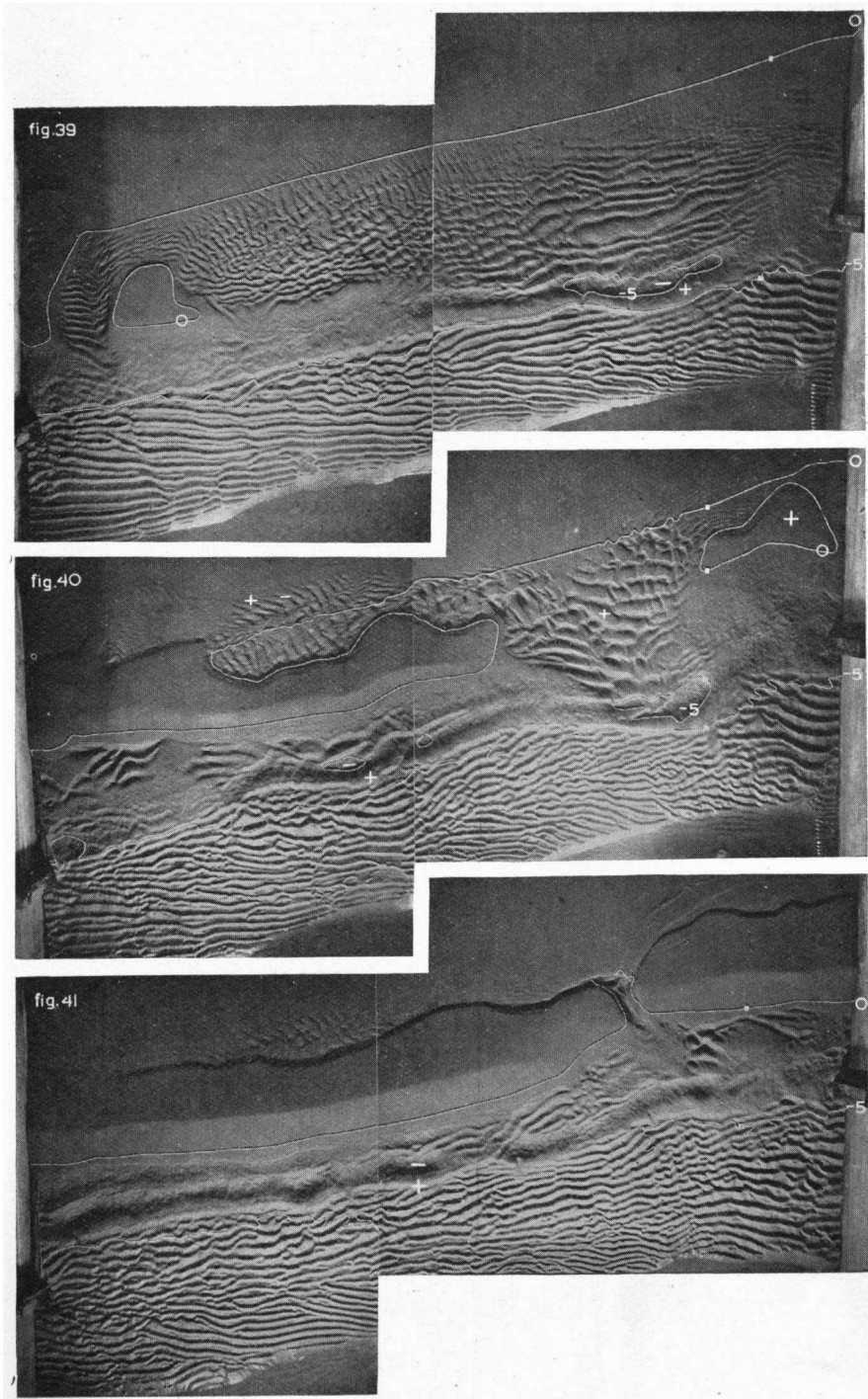


Fig. 39, 40 en 41.

Drie stadia van de ontwikkeling van het strandrelief in proef XV. Duidelijk zijn in fig. 39 de ribbels dwars op de lengterichting van het strand, in fig. 40 de stroom ribbelforming in de breede geul, terwijl de groei van den strandwal en brandings-trog en rug geheel te vervolgen is.

TABEL 6.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golf- hoogte in cm.	Peil in cm.	Peil boven drempel- schot in cm.
XVI	1	40	15,6 - 16,8	1481	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,9	1
XVII	1	63 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12,6 - 13,6	2908	2 <sup>+</sup>	20,9	2
	2	37	13,2 - 13,0	1695	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	21,0	2
XVIII	1	55	13,0 - 13,6	2481	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	20,9	3
XIX	1	35	12,0 - 12,4	1721	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,9	—
XX	1	35	12,0 - 12,6	1707	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,9	—
	2	30	11,8 - 12,4	1488	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,9	—

De proeven XVI tot en met XIX vormen een serie waarin getracht werd door het lager stellen van het drempelschot de golfhoogte in de opeenvolgende proeven regelmatig te doen toenemen, wat niet geheel is geslaagd. De in proef XVI grootere golfhoogte dan in proef XVII was waarschijnlijk voor een deel toe te schrijven aan waarnemingsfouten. Het is echter mogelijk dat het vrij groote periodeverschil in proef XVI en XVII invloed heeft gehad op het verschil in golfhoogte.

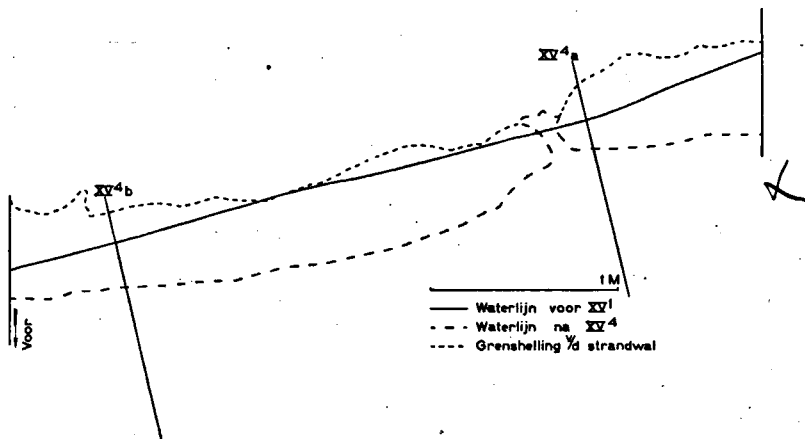


Fig. 42.

Plattegrond van den strandwal gevormd in proef XV met de profielen XV, 4a en b.

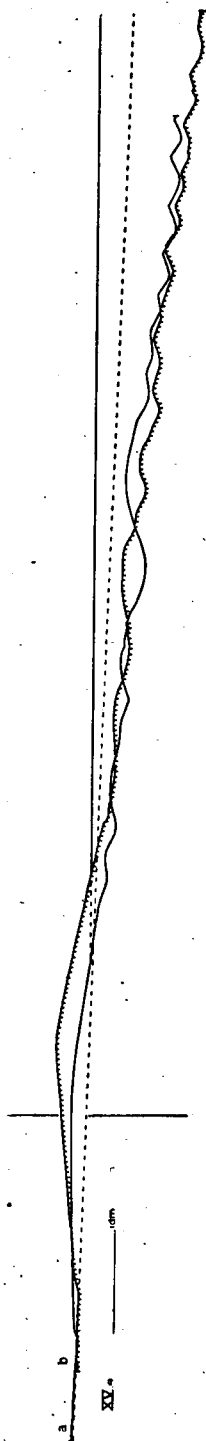


Fig. 43.  
 Profielen opgenomen aan het eind van proef XV. Voor de ligging zie fig. 42.

*Proef XVI.* In proef XVI begon de inwerking van de golven met de vorming van symmetrische ribbels, met vrijwel rechte kammen evenwijdig aan het strand, vooral op de rechter helft gevolgd door den opbouw van een strandwal. Aan den voet van de afzonderlijke strandwal-culminaties lag, evenals in fase 1 van proef IV en fase 1 van proef IX, een breed en diep ribbeldal. De ribbels liepen rechts onder een scherpen hoek tegen den strandwal en waren daarmee eerst vergroeid, later echter ervan gescheiden door het bovengenoemde ribbeldal. Aan het eind van de proef was een homogene strandwal opgeworpen, nog slechts door smalle afvoergeulen, waarvoor delta's waren ontstaan, doorsneden. Plaatselijk lagen aan de kamlijn microstrandhorens van apex tot basis enkele cm lang.

Het brandingsterras voor den strandwal gevormd, was bezet met symmetrische ribbels met vrij groote lengte en breede vlakke dalen. Op den voorrand van het terras lag een smalle zone golf-ribbels met kleine lengte en vertakte kamlijnen, een overgangszone, die naar voren toe plotseling overging in golf-ribbels met ongeveer tweemaal zoo groote lengte.

Het verloop van de waterlijn vóór en na proef XVI is op den plattegrond van fig. 44 aangegeven, evenals de ligging van de profielen van fig. 45.

*Proef XVII.* Fase 1 van proef XVII. kenmerkte zich door het verschil in de ontwikkeling van de linker en rechter strandhelft. Achter de zeer snel gevormde ribbelzone met vrijwel rechte ribbels evenwijdig aan het strand, deed een zijdelingsche stroom stroom-ribbels ontstaan. De eerste ribbelzone nam van links naar rechts in breedte toe, terwijl de lengte der ribbels van ongeveer 2 tot  $3\frac{1}{2}$ —4 cm steeg. In het middenveld, waar de zijdelingsche stroom het sterkst was, werd een systeem stroom-ribbels gesuperponeerd op de reeds bestaande golf-ribbels.

Aan het eind van fase 1 konden op het voorstrand en de  $4^\circ$  helling, de volgende eenheden onderscheiden worden (zie fig. 46).

1<sup>o</sup>. op het voorstrand en onder op de  $4^\circ$  helling een systeem symmetrische ribbels, waarvan de kammen meer evenwijdig aan den golfoploop waren.

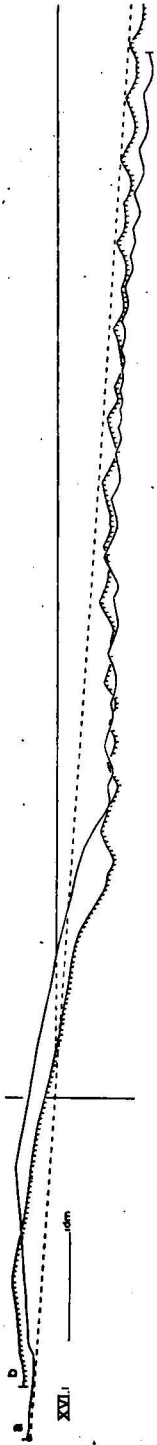


Fig. 45.  
 Profielen behoorend bij fase 1 van proef XVI. De ligging is aangegeven in fig. 44.

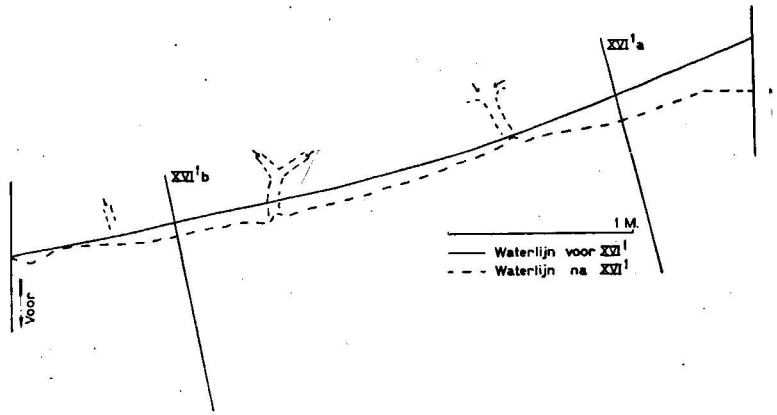


Fig. 44.

Plattegrond van de veranderingen in de waterlijn tijdens proef XVI met de profielen XVI, 1a en b. De pijlen geven het door de ingetekende muilen afvloeiende water aan.

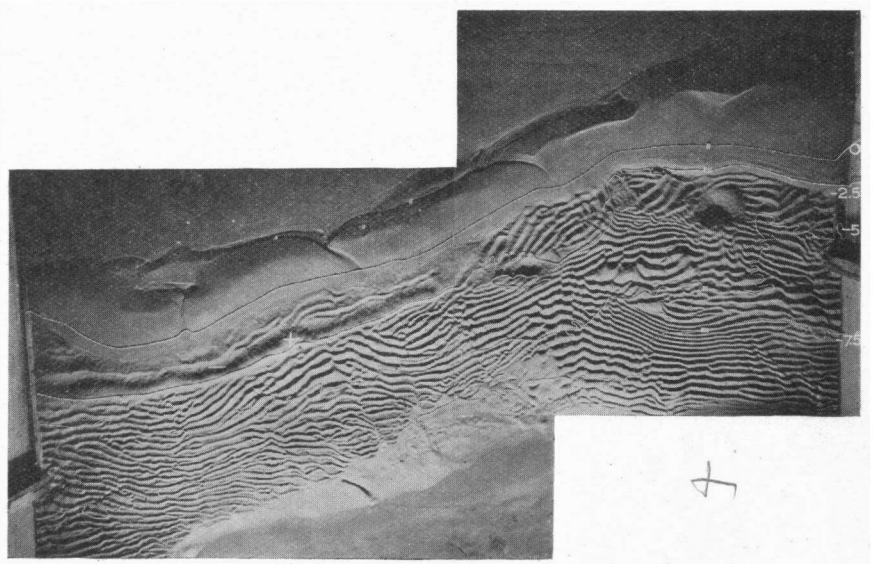


Fig. 46.

Het strandrelief aan het eind van proef XVII. Links zijn de resten van den ouden strandwal achter den nieuwen zichtbaar. Rechts wordt de strandwal onder klifvorming afgebroken.



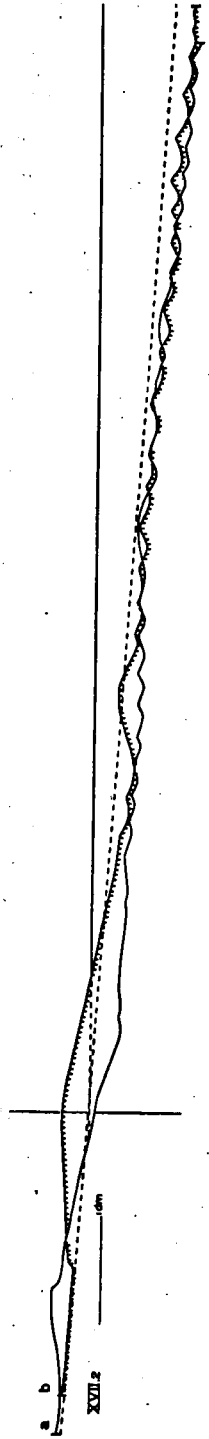


Fig. 47.

Profielen opgenomen aan het eind van proef XVII. De ligging is te vinden in fig. 48.  
 --- de aangelegde helling; | de ligging van de waterlijn daarop.

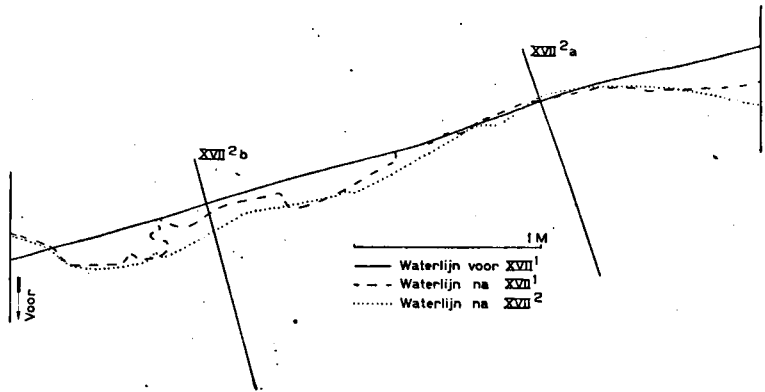


Fig. 48.

Plattegrond van de verandering in het verloop van de waterlijn in proef XVII met de profielen XVII, 2a en b.

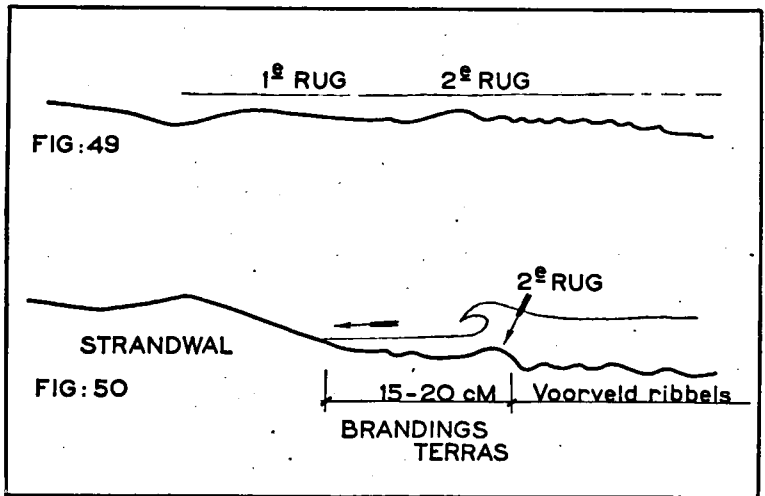


Fig. 49 en 50.

Schematische profielen van den groei van de ruggen in proef XVIII.

- 2°. een scheidings- of overgangszone links in den vorm van een rug met achtergelegen brandingstrog, rechts als smalle strook ribbels met kleine lengte, n.l. 1—1½ cm;
- 3°. een zone met ribbels ongeveer evenwijdig aan het oorspronkelijke strand, veelal rechts een weinig meer terugwijkend;
- 4°. de strandwal waarvan het opbouwen vooral in het begin slechts langzaam vorderde.

Tijdens de voortzetting in fase 2 richtten vooral de ribbels op het voorstrand rechts zich evenwijdig aan de golven, die in den regel dicht achter de overgangszone braken. De voorhelling van den strandwal werd hier in het laatst van fase 2 door de golven aangetast, waarbij een klif ontstond. De overgangszone was wel bij den aanvang van fase 2 beter ontwikkeld, maar werd daarna onregelmatig en moeilijk herkenbaar, zoodat de bovengenoemde ribbelsystemen niet scherp meer te scheiden waren.

Links groeide voor den oorspronkelijk opgeworpen langen, smallen strandwal een bredere hoogere, die bij het verdere verloop grootendeels over den eersten transgredeerde (zie fig. 46). Aan de voorzijde daarvan lag aan het eind van fase 2 een smal brandingsterras met een brandingstrog en rug.

Het strandrelief aan het eind van proef XVII ziet men in fig. 46 en in de profielen van fig. 47, die op den plattegrond in fig. 48 zijn uitgezet, evenals de verplaatsing der waterlijn.

*Proef XVIII.* In proef XVIII had vooral de vorming van den strandwal en den rug aan de voorzijde van het brandingsterras een opmerkelijk verloop. Bijna gelijktijdig met het ontstaan van een ribbel-

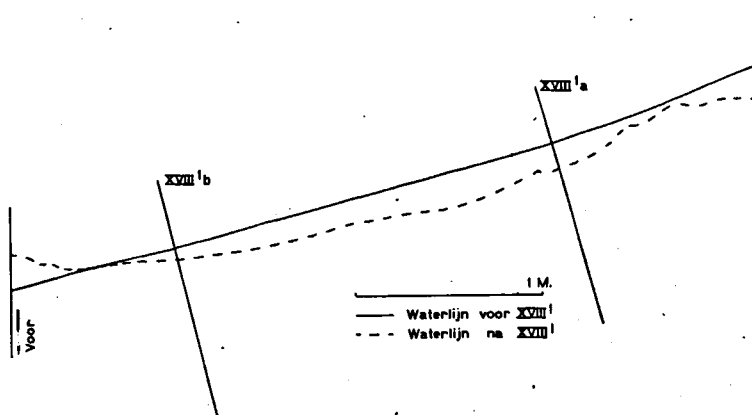


Fig. 51.

Plattegrond van de wijziging in het verloop van de waterlijn in proef XVIII, met de profielen XVIII, 1a en b.

veld van golf-ribbels met weinig bochtige kammen evenwijdig aan het strand en de daarachter gelegen zone met korte links terugwijkende

ribbels, werden op de rechter strandhelft twee door een smalle inzinking van elkaar gescheiden ruggen gevormd (zie fig. 49). Achter den eersten of binnensten rug bevond zich een smalle diepe inzinking, door den zijdelingschen stroom met stroomribbels bezet. Het was deze rug, die voor de golfwerking terugweek en tot een strandwal werd opgeworpen. De tweede of buitenste rug lag aan de voorzijde van het brandingsterras en was plaatselijk overgroeid door ribbels en moeilijk herkenbaar. De golven braken erboven of dicht erachter (zie fig. 50). De verder naar voren gelegen symmetrische ribbels richtten zich meer en meer evenwijdig aan de golven.

Aan het eind van proef XVIII was de tweede rug op de linker strandhelft klaarblijkelijk vergroeid met den strandwal. In het midden van de tank splitste de rug met een brandingstrog erachter zich van den strandwal af en liep verder naar rechts in groote trekken evenwijdig aan den golfoploop. Het driehoekige terras tusschen strandwal en rug ingesloten, was maximaal 30 cm breed en bedekt met onregelmatige golf-ribbels.

De plattegrond van fig. 51 geeft de ligging van de profielen uit fig. 52 en van de waterlijn vóór en na de proef.

*Proef XIX.* Proef XIX was de laatste van de reeks proeven met toenemende golfhoogte. Achtereenvolgens vormden zich symmetrische ribbels op het voorstrand evenwijdig aan de golven, op de  $4^\circ$  helling evenwijdig aan het strand, dan vrijwel gelijktijdig daarmee een rug met plaatselijk een korten brandingstrog erachter, terwijl tenslotte de opbouw van een strandwal, eerst als een verheffing van het strand nog volkomen onder water om geleidelijk omhoog te schuiven, weer den meesten tijd vorderde.

De eindvorm van het strand is vastgelegd in de foto van fig. 53 en de profielen van fig. 56. Op den plattegrond van fig. 59 vindt men de waterlijn vóór en na de golfwerking en de ligging van de bijbehorende profielen. Fig. 60 geeft een profiel door de

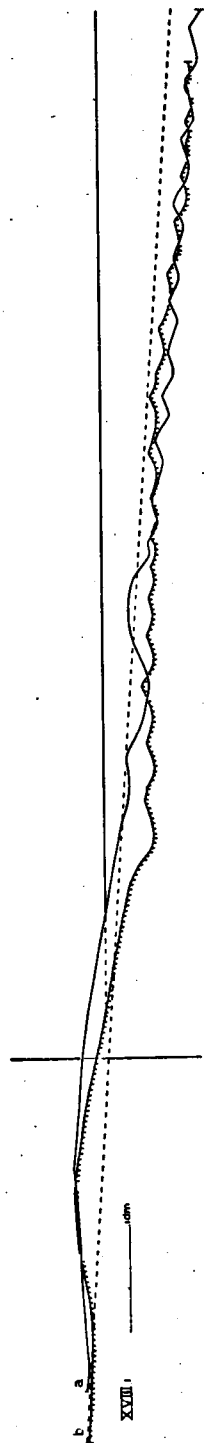


Fig. 52.

Profielen van het eind van proef XVIII. Voor de ligging zie fig. 51.

asymmetrische ribbels op het brandingsterras, onder een vrij groote hoek met het strand gelegen.

Proef XX. Proef XX tenslotte, was een herhaling van proef XIX teneinde na te gaan of onder uiterlijk gelijke omstandigheden de golven dezelfde uitwerking op het strand hadden. De mogelijkheid dat er niet voorziene factoren zouden bestaan, die groote invloed op het eindresultaat van golfwerking hadden, was geenszins uitgesloten.

Niettegenstaande de vooral op de linker helft sterk afwijkende vorm van het strand aan het eind van fase 1, waarvan de foto van fig. 54 en de profielen van fig. 57 een duidelijk beeld geven, bleek aan het eind van fase 2 het strandrelief slechts geringe, onbelangrijke afwijkingen van den eindvorm van proef XIX te vertoonen, zooals een blik op fig. 55 en de profielen van fig. 58 ons leert. De tijdens fase 1 op de linker strandhelft voor den strandwal gevormde wal is dan omhoog gewerkt en met den strandwal samengesmolten.

De verheffing, eveneens links, tusschen den rug en den strandwal op het brandingsterras ontstaan, waarvan de oorzaak niet duidelijk is, vormt de eenige meer belangrijke afwijking van het strandrelief aan het eind van proef XIX.

Hiertegenover staat de opmerkelijke overeenkomst in het verloop van den rug en den strandwal en de volkomen analogie van de ribbel-systemen en eenheden, die in beide proeven op dezelfde wijze en in dezelfde volgorde zijn gevormd. De plattegrond in fig. 62 geeft de verplaatsing van de waterlijn tijdens proef XX weer. In fig. 61 vindt men een profiel door de asymmetrische ribbels van het terras.

*Proeven met een strandhelling van 6°.*

De proeven XXI tot en met XXVI vonden met een 6° helling plaats. De gegevens hiervan zijn samengevat in tabel 7.

TABEL 7.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golf- periode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golf- hoogte in cm.	Peil in cm.	Peil boven drempel- schot in cm.
XXI	1	15	12,4	726	5 — 5 $\frac{1}{2}$	23,4	—
	2	17	13,0 — 12,4	803	5 $\frac{1}{2}$	23,4	—
XXII	1	27	13,6 — 13,0	1218	1 $\frac{1}{2}$	23,4	1
XXIII	1	37	13,7 — 12,7	1682	2	23,4	2
XXIV	1	30	14,0 — 12,8	1343	2 $\frac{3}{4}$ — 4	23,4	3
XXV	1	31	12,0 — 12,4	1525	4 $\frac{1}{4}$	23,4	4
	2	32	13,0 — 12,4	1512	4 $\frac{1}{4}$	23,4	4
XXVI	1	25	12,6 — 12,4	1200	5 $\frac{1}{2}$	23,4	—

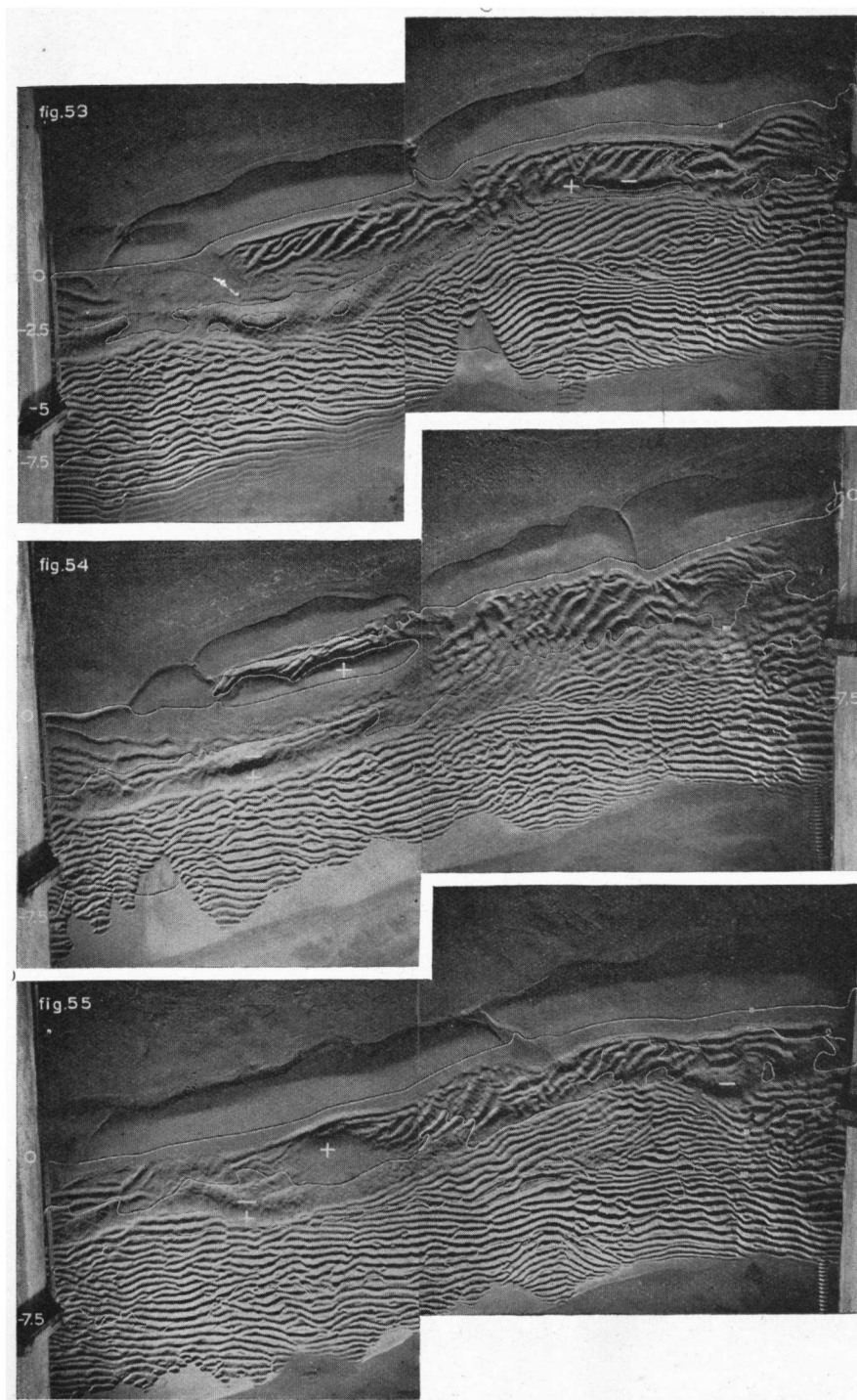


Fig. 53.

Vorm van het strand aan het eind van proef XIX. Duidelijk zijn hier de verschillende ribbelsystemen evenwijdig aan de golven, meer evenwijdig aan het strand en op het brandingsterras.

Fig. 54 en 55.

Twee stadia uit de ontwikkeling van de controleproef XX. Opmerkelijk zijn in het eerste de twee evenwijdige wallen links. In het tweede stadium wordt de strandwal vooral links reeds weer afgebroken.

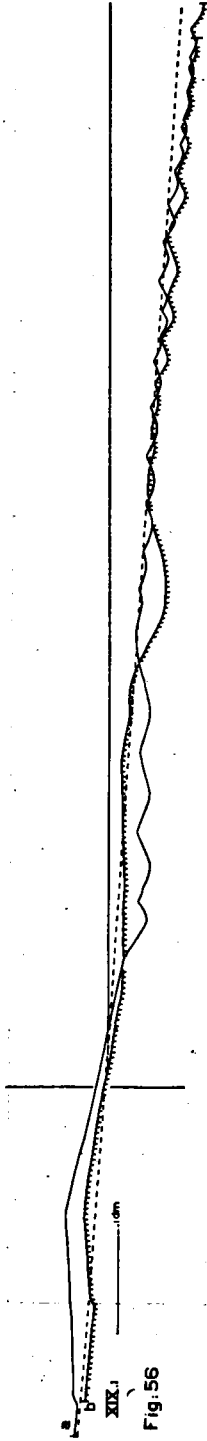


Fig. 56

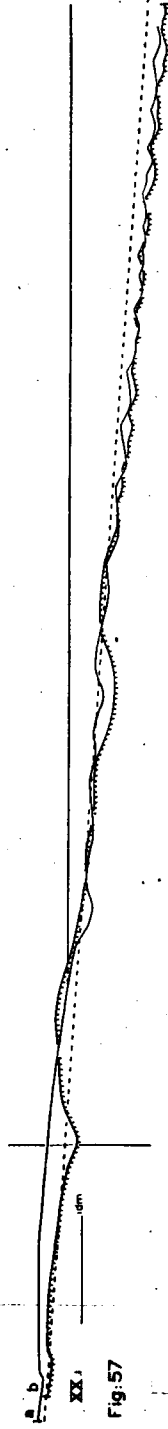


Fig. 57

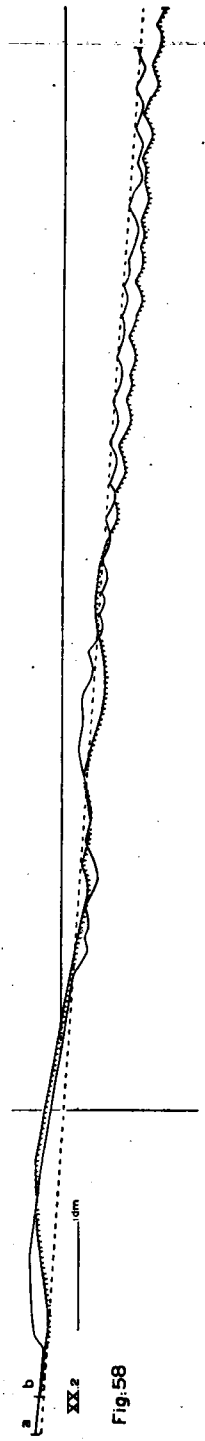


Fig. 58

Fig. 56, 57 en 58.

Profielen behorend bij fase 1 van proef XIX en fase 1 en 2 van proef XX.  
 De ligging is aangegeven in fig. 59 en 62.  
 ... de aangelegde helling; | de ligging van de waterlijn daarop.

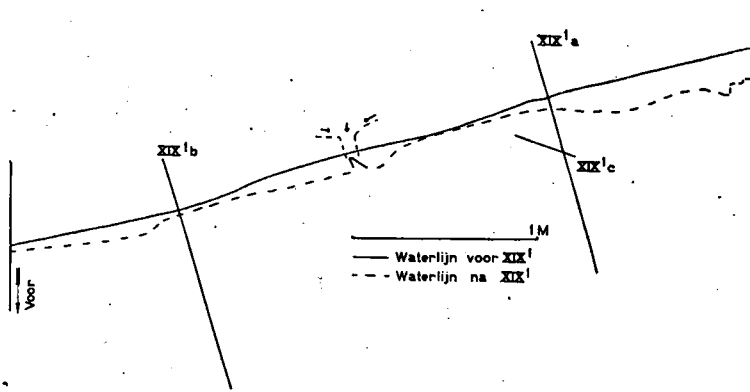


Fig. 59.

Plattegrond van proef XIX met de profielen van fig. 56 en het ribbelprofiel XIX, 1c van fig. 60. De pijlen geven het door de ingetekende mui afstromende water aan.

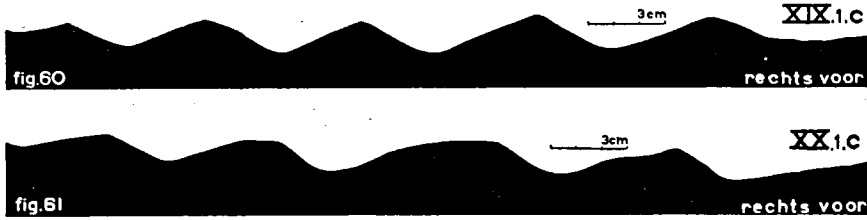


Fig. 60 en 61.

Profielen door de ribbels op het terras van proef XIX en XX.  
Voor de ligging zie de plattegronden van fig. 59 en 62.

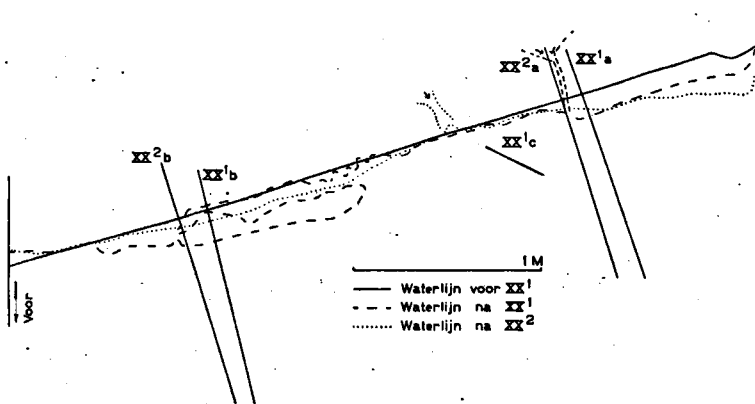


Fig. 62.

Plattegrond van proef XX met de profielen XX, 1a en b van fig. 57, XX, 2a en b van fig. 58 en het ribbelprofiel XX, 2c van fig. 61.

*Proef XXI.* Van deze proeven was de eerste met maximale golfhoogte een voorloopige waarin bleek, dat op de rechter strandhelft de vorming van een strandwal sneller vorderde dan links, terwijl het omgekeerde het geval was met den rug en brandingstrog. In de 2e fase werden de nog door den strandwal loopende drie muilen vrijwel geheel dicht geslibd, zoodat een homogene strandwal was gevormd. De rug werd plaatselijk bezet met ribbels en ontbrak rechts geheel, evenals de brandingstrog. De plattegrond in fig. 63 geeft de verplaatsing van de waterlijn door de golfwerking aan.

De verdere proeven vormen een reeks met geleidelijk toenemende golfhoogte.

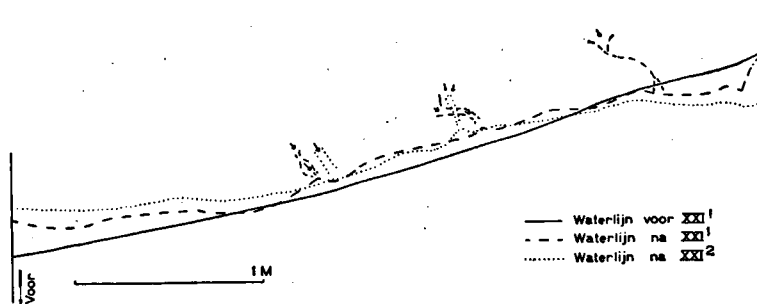


Fig. 63.

Plattegrond van de wijzigingen in het verloop van de waterlijn in proef XXI. De pijlen geven het door de ingetekende muilen afvloeiende water aan.

*Proef XXII.* De slechts  $1\frac{1}{2}$  cm hoge golven van proef XXII deden allereerst een smalle strook symmetrische ribbels evenwijdig aan het strand ontstaan, die op de rechter strandhelft zich verder naar voren uitbreidde, links echter smal bleef en plaatselijk zelfs geheel ontbrak.

Spoedig daarop volgden een viertal strandwal-culminaties, die tot een strandwal aaneengroeiden. Aan den voet van de voorhelling lag een breed en diep ribbeldal, dat echter niet analoog was aan den brandings-trog bij de grootere golven. De golven brandden op de voorhelling van den strandwal, ze waren het ribbeldal aan den voet van de voorhelling dan reeds gepasseerd. Het voorkomen van dit ribbeldal ook daar waar het voorgeleggen ribbelsysteem ontbrak, bewees de onafhankelijkheid daarvan.

Aan de kamlijn van den strandwal ontstond een serie micro-strand-horens, waarvan fig. 64 een duidelijk beeld geeft.

*Proef XXIII.* Tijdens proef XXIII week alleen de ontwikkeling van de ribbels af van die in de vorige proef. Tusschen het veld symmetrische ribbels, dat naar rechts breeder werd en het groote ribbeldal aan den voet van de voorhelling van den strandwal werd een veld scheefliggende ribbels ingeschakeld, die naar rechts den strandwal onder



een vrij grooten hoek naderden. Een overgangszone van ribbels met kleinere lengte vormde de scheiding tusschen de beide ribbelvelden (zie



Fig. 64.

Een serie micro-strandhorens aan den kam van den strandwal van proef XXII.

fig. 65). Op de voorhelling van den strandwal ontstonden aan de kamlijn tijdelijk series micro-strandhorens.

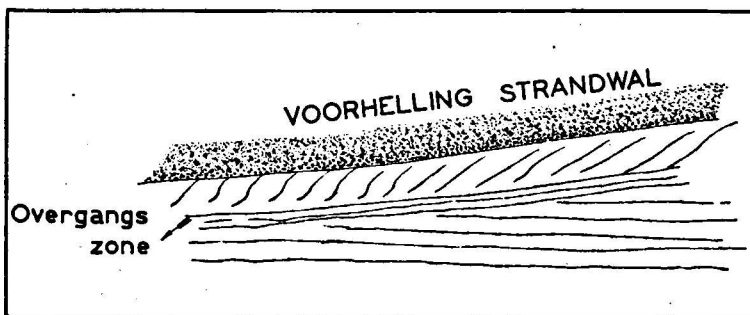


Fig. 65.

Schematische weergave van de ligging der ribbelkammen in proef XXIII.

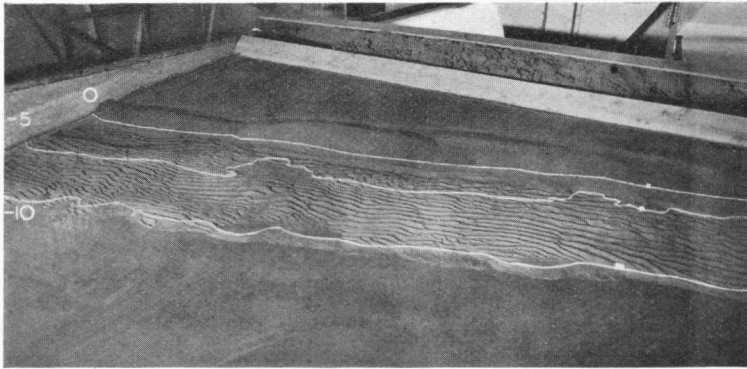


Fig. 66.

De vorm van het strand aan het eind van proef XXIV met een goed ontwikkeld ribbeldal aan den voet van den strandwal.

*Proef XXIV.* Proef XXIV vertoonde groote overeenkomst met proef XXIII. Uit een aantal afzonderlijke culminaties werd weer een strandwal opgebouwd met aan den voet van de voorhelling een breed en diep ribbeldal en aan de kamlijn tijdelijk series micro-strandhorens. Ook de beide ribbelvelden, waarvan het voorste bestond uit golf-ribbels meer evenwijdig aan de strekking van het strand en het achterste uit scheefliggende ribbels, werden gevormd, dit keer gescheiden door een minder duidelijke overgangzone.

Fig. 66 geeft een beeld van het strandrelief aan het eind van Proef XXIV.

*Proef XXV.* Fig. 67 toont den vorm van het strand aan het eind van fase 1 van proef XXV. Het primair ontstane ribbelsysteem, met symmetrische ribbels evenwijdig aan het strand, ging naar het voorstrand toe over in ribbels meer evenwijdig aan de golfbeweging, terwijl hun lengte in die richting afnam. Hooger op de 6° helling, waar de golven een brandingsterras vormden, werd het eerste systeem verdrongen door ribbels, die naar rechts sterk terugweken.

De strandwal, met een breed en diep ribbeldal aan den voet van de voorhelling, was aan het eind van fase 1 voltooid en werd in fase 2 vooral op de linker strandhelft sterk door klifvorming afgebroken. Op deze helft was een neiging tot vorming van een rug met brandingstrog merkbaar. Over het geheele strand werd in fase 2 de structuur van de ribbels sterk veranderd, zooals duidelijk blijkt uit fig. 68.

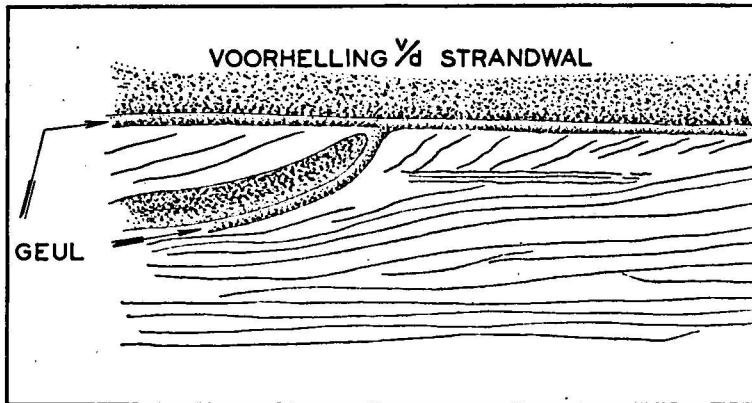


Fig. 67.

Het verloop van de ribbels aan het eind van fase 1 van proef XXV. Een rug nadert van links de voorhelling van den strandwal. Beide vertoonen een grooter ribbeldal aan den voet van de voorhelling.

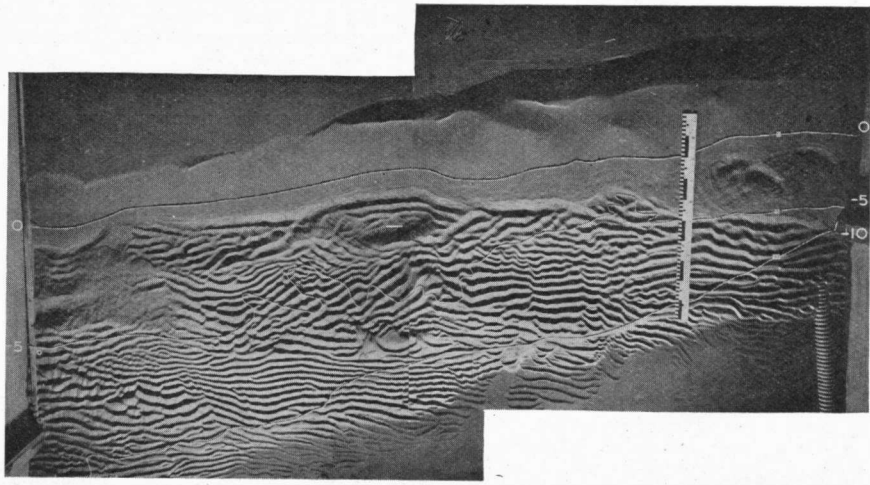


Fig. 68.

Het onregelmatig relief van het strand aan het eind van proef XXV. Links is de strandwal reeds geheel afgebroken. De ribbels liggen grotendeels evenwijdig aan de golven.

Met behulp van de profielen van fig. 69, evenals de verplaatsing der waterlijn uitgezet op den plattegrond van fig. 70, zijn de afwijkingen van de oorspronkelijke  $6^\circ$  helling vast te stellen.

*Proef XXVI.* De laatste van de reeks, proef XXVI, gaf een veel regelmatiger ontwikkeling te zien dan de vorige proef. Een systeem golf-

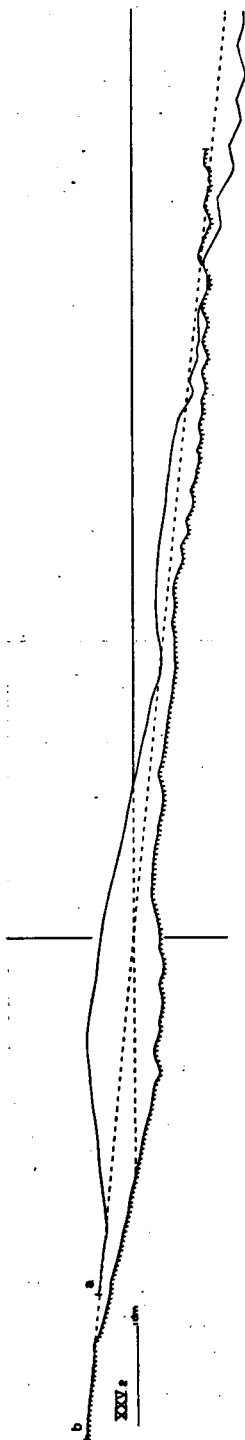


Fig. 69.

Profielen opgenomen na afloop van proef XXV.  
 .... de oorspronkelijke helling; — de ligging van de waterlijn daarop.  
 De profielen zijn aangegeven in fig. 70.

ribbels evenwijdig aan de golfbeweging ontstond op het voorstrand en onder op de  $6^\circ$  helling. Daarboven richtten de symmetrische ribbels zich meer evenwijdig aan de strekking van het strand. De opbouw van den strandwal vorderde rechts sneller dan links. Het terras voor den strandwal ontstaan, werd grootendeels aan de voorzijde afgesloten door een brandingstrog met voorgelegen rug (zie fig. 71). De verplaatsing der waterlijn en de ligging van de profielen van fig. 72 zijn op den plattegrond in fig. 73 aangegeven.

Bij de proeven met scheeven golfoploop bleek dat het strandprofiel analoge veranderingen ondervond als tijdens de proeven met rechten golfoploop, terwijl gelijktijdig daarmee het zijdelingsch zandtransport plaats vond.

Dit zandtransport was beëindigd wanneer de golven over de geheele lengte van het strand gelijktijdig braken. Het deel van het strand en het voorstrand onder de brandingszone had zich dan volkomen aangepast bij den scheeven golfoploop. Meestentijds waren dan de veranderingen in het strandprofiel, tengevolge van de vorming van een strandwal met het ervoor gelegen terras, van een brandingstrog en rug, eveneens geheel of grootendeels voltooid.

Het hoogere strand en de strandwal, en daarmee de waterlijn hadden zich meer recht op den golfoploop gericht. De strandwal was links meer het strand op teruggeweken dan rechts.

Bij verdere voortzetting van de golfwerking werd de strandwal veelal aangetast en verlaagd, waarbij klifvorming kon optreden (zie fig. 46 en 68) en de waterlijn zich door den in het algemeen sterkeren afslag links nog meer recht op den golfoploop stelde (zie fig. 46).

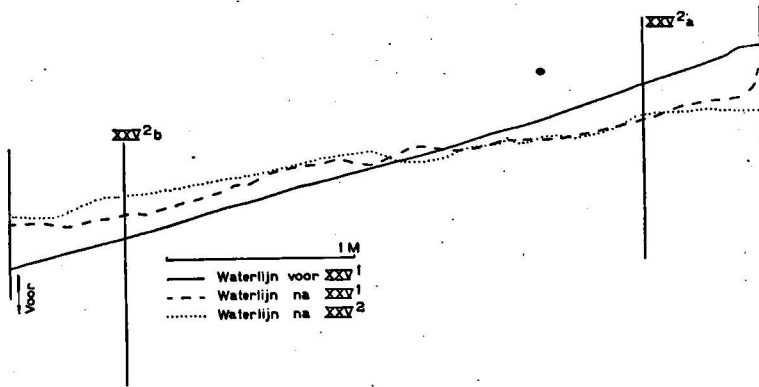


Fig. 70.

Plattegrond van proef XXV met de veranderingen in de ligging der waterlijn en de profielen XXV, 2a en b.

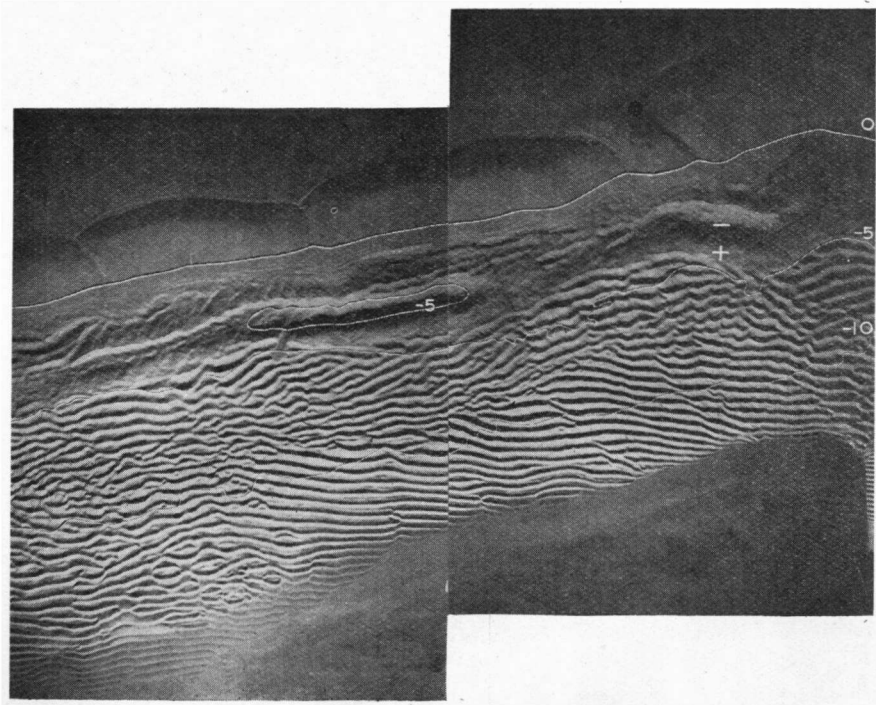


Fig. 71.

Het strand na afloop van proef XXVI. De ribbels evenwijdig aan de golven en evenwijdig aan het strand kunnen hier duidelijk worden onderscheiden, de -10 lijn volgt links ongeveer de grens.

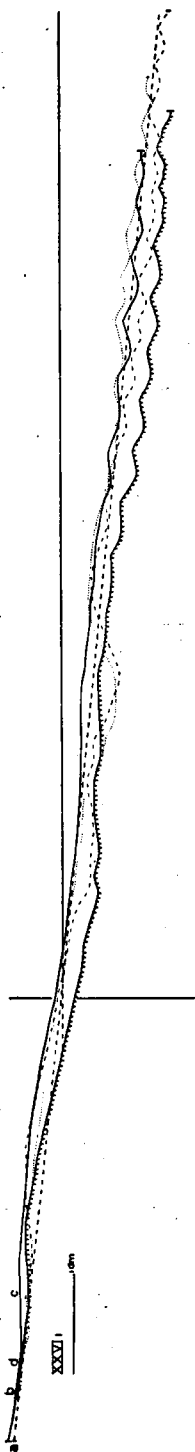


Fig. 72.

4 Profielen opgenomen na afloop van proef XXVI. De ligging van deze profielen is in fig. 73 aangegeven.

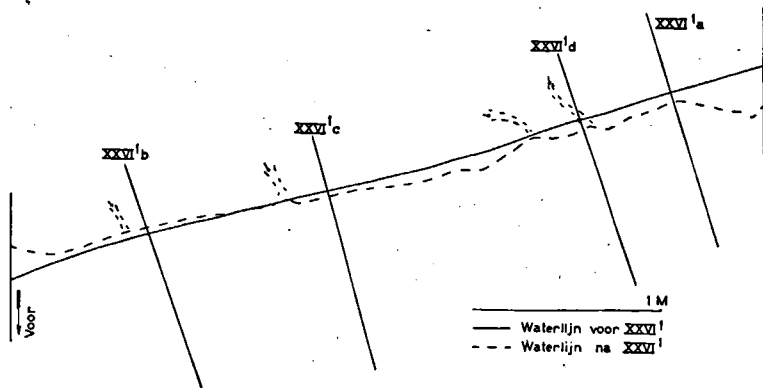


Fig. 73.

Plattegrond van proef XXVI waarin de vier profielen aan het eind opgenomen zijn aangegeven.

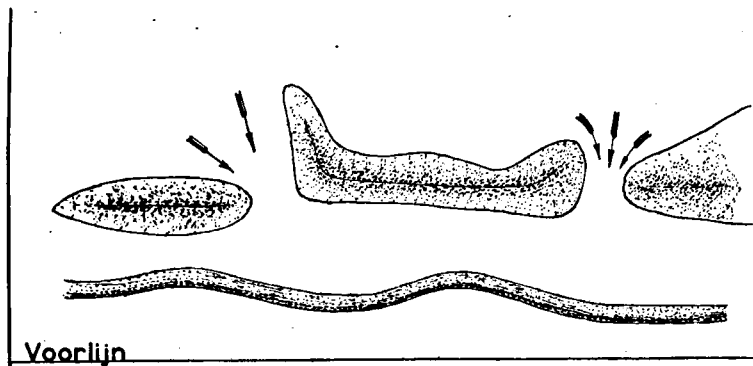


Fig. 74.

De vorm en ligging van de strandwal-culminaties en den brandingstrog aan het eind van fase 2 van proef XXVIII.

**Experimenten met schelpen en schelpgruis op een zandig strand met een helling van 2° en rechten golfoploop.**

De schelpen, in hoofdzaak van *Macra Subtruncata* Dac., werden door middel van een zeef met openingen van 7 bij 7 mm gescheiden in twee fracties, een grove fractie in hoofdzaak uit heele schelpen bestaande en een fijne uit schelpgruis. Met beide fracties werd geëxperimenteerd.

De proeven XXVII en XXVIII van deze afdeeling waren respectievelijk verdeeld in vijf en zes fasen, waarvan de gegevens hieronder in tabel 8 zijn samengevat.

TABEL 8.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golfperiode in sec.	Totaal aantal golven per fase	Golfhoogte in cm	Peil in cm
XXVII	1	4	—		5	23,5
	2	5	11,4	263	5½	23,5
	3	60	11,3—11,4	3172	5½	23,5
	4	15	11,8	763	6	26,0
	5	20	11,8	1017	6	26,0
XXVIII	1	35	12,4—10,0	1875	8—8½	25,0 26,5
	2	60	11,4—10,7	3258	8	26,5
	3	10	11,0	545	8	26,4
	4	10	12,6	476	8—8½	26,4
	5	43	12,2	2115	8½	26,7
	6	61	11,8	3210	8—8½	26,4
	na 40 min.		11,3		5½—6	
	na 60 min.		11,0		3½	

*Proef XXVII.* Tijdens de vijf fasen van proef XXVII werden in fase 1 en 2 op de aangelegde 2° helling in twee zones van ± 20 cm breedte, bij de waterlijn en 30 cm achter de voorlijn, schelpen van de grove fractie uitgestrooid. In fase 5 werden schelpen gebracht op de voorhelling van den strandwal en op en voor den rug, welke gelijktijdig met een terras en brandingstrog achter den rug gelegen tijdens fase 3 en 4 waren gevormd.

De golfhoogte bleek in het algemeen te gering te zijn om de schelpen voldoende in beweging te brengen. Het overwegend grootste deel der schelpen bereikte reeds na enkele golven de ook uit de natuur bekende stabiele positie met de bolle zijde naar boven en de randen der schaal een weinig in het zand gezakt en bleven in die positie gedurende het verdere verloop van de proef. Slechts in die gevallen, waarin de

schelpen in meerdere lagen dik opgestapeld waren en dientengevolge niet iedere schelp ruimte vond om zich met de bolle zijde omhoog in het zand vast te zetten bleven zij langeren tijd bewegelijk.

Een klein deel der schelpen werd door den onderstroom, tegen den golfoploop in, de strandhelling af getransporteerd.

Het langzaam de helling op werken van den strandwal was duidelijk vast te stellen. De schelpenzone, tijdens fase 2  $\pm$  30 cm achter de voorlijn op de 2° helling gebracht, was aan het eind van deze fase geheel bedolven onder een strandwal in wording en kwam aan het eind van de volgende fase weer geleidelijk te voorschijn op de voorhelling van den opgeworpen strandwal, welke dus over de schelpenlaag transgredeerde. De verhooging van het peil tot 26.0 cm voor fase 4, vond plaats om de schelpen van de waterlijn meer binnen het bereik der golfwerking te brengen. Zij geraakten ook bij dit peil niet in beweging.

*Proef XXVIII.* Voor den aanvang van proef XXVIII werden door middel van een zeef de schelpen weer uit het zand verwijderd. Het doppellichaam werd overgebracht op de excentrieken met de grootste excentriciteit, teneinde de grootste golfhoogte en daarmee grootere verplaatsing van de schelpen te verkrijgen.

In deze proef werd zoowel met de schelpen der grove fractie als met het schelpgruis der fijne geëxperimenteerd. Het peil, dat oorspronkelijk wegens de te verwachten grootere golfhoogte en dus hooger golfoploop verlaagd was tot 25 cm, werd tijdens fase 1 tot 26.5 cm verhoogd, zoodat de golven 20 cm voorbij de voorlijn op de 2° helling brandden en de golfoploop tot boven aan de helling reikte.

De schelpen, die eerst hoog op de helling 85 cm achter de voorlijn en later lager 65 cm erachter werden ingebracht, geraakten ook nu weinig in beweging. Van die het hoogst gelegen werden enkelen, van de lagere een klein deel de helling af vervoerd, de anderen zetten zich vast met de bolle zijde naar boven. Het schelpgruis, aan het eind van fase 1 ingebracht, werd door de golven over den in groei zijnden strandwal heengeslagen en nam aan den opbouw daarvan deel.

In fase 2 ingezet teneinde, alvorens nogmaals schelpen of schelpgruis in te brengen, de opbouw van den strandwal te voltooiën, werd wederom waargenomen dat de strandwal over de achterliggende schelpen transgredeerde, zoodat deze schelpen na eenigen tijd op de voorhelling weer te voorschijn kwamen.

Fig. 74 geeft de structuur van het strand aan het eind van fase 2. Een structuur die tijdens fase 3, waarin het schelpgruis op de voorhelling van het middelste strandwaldeel gebracht langs de omgebogen uiteinden daarvan de helling op werd gewerkt, slechts weinig veranderingen ondervond, maar vooral in fase 4 zeer sterk werd gewijzigd (zie fig. 75). Voor het rechter en linker strandwaldeel werden min of meer evenwijdig daaraan strandwal-culminaties opgeworpen, waarvan de linker grootendeels den achterliggenden strandwal overdekte. De in het midden van het strand gevormde culminatie smolt met het omgebogen einde van het middelste strandwal-deel samen tot een langgerekten scheefliggenden wal.



Opmerkelijk was de invloed van de stroomen uit de geulen, die den strandwal doorsneden op het verloop en de diepte van den brandingstrog. Daar, waar een dergelijke stroom den brandingstrog kruiste, boog deze met den voorgelegen rug naar voren uit, terwijl de trog een grootere diepte vertoonde.

Gedurende fase 5 ontstond uit de afzonderlijke deelen een homogene strandwal, waarna in deze fase en in fase 6 schelpgruis op de voorhelling gestrooid werd. Dit schelpgruis gaf in de eerste fase onder vermenging met zand aanleiding tot het ontstaan van een kleinen wal voor den strandwal, welke later vrijwel geheel in den laatsten opgenomen werd.

In fase 6 sleepte het teruglopende water het grootste deel van het schelpgruis de helling af, tot aan den voet van den strandwal. Het schelpgruis bleef in de brandingszone ten gevolge van de turbulentie

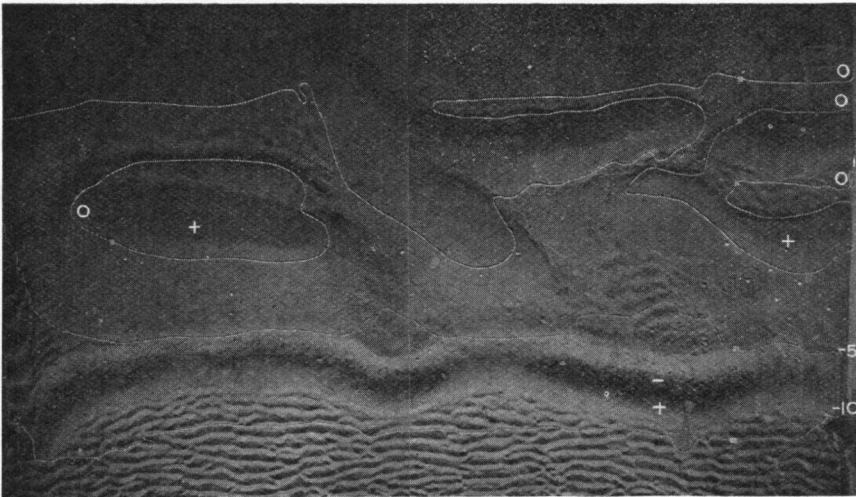


Fig. 75.

Vorm van het strand na fase 4 van proef XXVIII. Vergroeiingen van de strandwalculminaties van twee zones (in de lengte-richting van het strand) treden hier op. Links is dit bijna beëindigd, rechts nog niet begonnen. In het midden zijn de culminaties gedeeltelijk vergroeid. Opmerkelijk is het uitbuigen van den brandingstrog en rug voor de muien.

van het water in voortdurende beweging. Het golfprofiel met dubbelen top was tijdens deze proef sterk ontwikkeld. Eenige, op  $\pm 15$  cm onderlingen afstand boven de brandingszone aangebrachte driehoekige met een hoekpunt naar voren gerichte, schelpgruis-ophoopingten verdwenen spoedig tengevolge van transport van het materiaal de helling af. De verlaging van het peil aan het eind van fase 5 gaf geen verdere bijzonderheden.

**Experimenten met puimsteen op een zandig strand en rechten golfoploop.**

Het puimsteengrind (bims uit het Laacherseegebied), bestaande uit min of meer ronde stukjes puimsteen met maximaal 2 cm diameter,

werd voor het gebruik gezeefd. Met behulp van een zeef met openingen van 2 bij 2 mm werd het fijnste gedeelte eruit verwijderd.

De overblijvende grofste fractie met deeltjes van 0.2—2 cm diameter werd gewasschen, teneinde een te sterke troebeling van het water tijdens de experimenten te voorkomen.

*Proeven met een strandhelling van 2°.*

In Tabel 9 vindt men de gegevens van de proeven met deze helling uitgevoerd.

TABEL 9.

Proef	Fase	Duur in min.	10 × golfperiode in sec.	Totaal aant. golven per fase	golfhoogte in cm.	Peil in cm.		
						begin	eind	
XXIX	1	65	11,4	3421	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	26,5		
	2	15	11,7	769	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	26,15		
XXX	1	20	10,0	1200	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7	26,5		
	2	60	10,0	3600	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7	26,5		
		laatste 20 min. stijgend peil: aan het einde				7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		29,5
		3	19	10,2	1118	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	29,5	
		4	60	10,2	3547	7	29,2	
dalend peil, aan het eind 9,9				5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		23,7		
XXXI	1	60	9,8—10,9	3478	7 — 7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	26,5		
	2	15	11,5	783	7	26,8		

*Proef XXIX.* Reeds tijdens de eerste proef bleek het puimsteen-grind beter dan de schelpen en het schelpgruis te voldoen aan de gestelde eischen van groote bewegelijkheid bij de in de modelproeven aangewende kleine golfhoogten.

Het verplaatste zich grootendeels rollend over den zandbodem, waarbij waargenomen werd dat het grovere bims eerder in beweging geraakte dan het fijnere. Door hun grootere diameter rolden de deeltjes van het eerste gemakkelijker over kleine oneffenheden van het zandoppervlak heen en reikten zij door de rustige bodemlaag van het water tot in de lagen waar de, door de golfwerking opgewekte, stroomen zich veel meer deden gevoelen.

Slechts zelden werd puimsteen onder het zand bedolven.

Van het in proef XXIX dicht onder den maximalen golfploop uitgestrooide bims werd een klein deel omhoog, buiten het bereik der golven, geworpen. Het grootste deel rolde de helling af.

Van 20 tot 30 cm lange, smalle bims-ophooping, dwars op het strand van de grens van den golfploop zich naar voren uitstrekkend,

werd vooral het grovere grind de helling af getransporteerd, zoodat aan de toppen alleen fijner materiaal overbleef.

Fase 1 werd voortgezet tot het zandtransport door de golven beëindigd was. Een homogene strandwal met ervoor een 40—50 cm breed terras, een brandingstrog en een rug waren toen gevormd. De geul, die den strandwal nog doorsneed, had denzelfden invloed op het verloop en de diepte van den brandingstrog, als bij proef XXVIII werd opgemerkt. Het puimsteen hoopte zich op in den brandingstrog en in de dalen van het ribbelsysteem op het voorstrand.

In fase 2 werd de geheele voorhelling van den strandwal met een 1 tot 1½ cm dikke laag puimsteen bedekt, waarvan door de eerste golven een klein deel over den strandwal werd geslagen en het grootste deel door den terugloop meegesleept de helling afrolde en ook nu zich ophoopte in den brandingstrog, waar het door iedere golf heftig heen en weer werd bewogen.

*Proef XXX.* Tijdens proef XXX was de tank in twee helften verdeeld en werd uitsluitend in de linker tankhelft geëxperimenteerd. Dit spaarde veel tijd bij het zuiveren van het zand van puimsteen aan het eind van de proeven. Een profiel werd aangelegd, overeenkomend met het profiel van het linker strand van fig. 4, alleen tegen de drempelplank lager uitlopend. In fase 1 werd getracht door het uitleggen van een strook bims in de richting van den golfoploop een grens vast te stellen, waarbeneden het bims de helling af en waarboven het door de golven de helling op werd vervoerd. Het bims op het voorstrand verspreidde zich sterk zijdelings, dat erboven werd in het algemeen de helling op vervoerd, wat goed vast te stellen was door het achterblijven der zware, volkomen onbeweeglijke leischilfers in het bimsgrind aanwezig.

Voor fase 2 werd de 2° helling van de voorlijn tot 1.5 m afstand met een ± 1 cm dikke bimslaag bedekt, boven aan de helling afgesloten door een 25 cm breeden, 4—5 cm hoogen wal van bims. De golven vormden uit de bimslaag een drietal accumulaties, van waar een klein deel van het puimsteen de helling af werd gevoerd. Het aanbrengen van een zware puimsteenwal, ± 50 cm achter de voorlijn, bracht hierin geen verandering, wel echter de na veertig minuten ingezette verhooging van het peil. Vrijwel al het nog op de 2° helling aanwezige puimsteen werd daarna door de golven omhoog gewerkt.

De golfwerking met constant hoog peil in fase 3 veroorzaakte slechts geringe wijzigingen.

Aan het eind van de laatste fase van proef XXX, waarin de golfwerking plaats vond onder een geleidelijke daling van het peil van 29.2—23.7 cm, lag op het voorstrand een systeem symmetrische ribbels met rechte kammen evenwijdig aan het strand. Op de 2° helling waren twee bimszones evenwijdig aan het strand gescheiden door een zwak gewelfde, zandige strook met uiterst dunne bimsbestrooiing. De ligging van twee geulen, waarin de terugloop zich concentreerde, kwam sterk tot uiting in den vorm der voorste puimsteenzone die door deze geulen doorsneden werd. De bovenste bimslaag vertoonde aan de voorzijde een weinig duidelijken wal.

*Proef XXXI.* Teneinde te voorkomen dat, zooals bij de vorige proeven het geval was, vrij veel zand en bims in de dompelruimte geraakte werd het strandprofiel, na verwijdering van het puimsteen, in zooverre gewijzigd, dat het voorstrand niet meer tot aan de voor den drempel liggende plank reikte, maar op eenigen afstand daarvan eindigde (zie fig. 76).

Een strandwal-culminatie en brandingstrog met voorgelegen rug werden gevormd. De geheele ontwikkeling was als bij de eerste proeven met rechten golfloop.

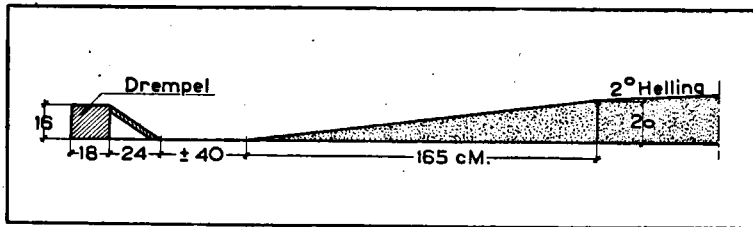


Fig. 76.

De aansluiting van het strand tegen den tankbodem voor het begin van proef XXXI.

In fase 2 werd puimsteengrind op de voorhelling van den strandwal-culminatie gebracht. De golven sloegen dit grootendeels daar overheen, waarna het door de geulen links en rechts het strand af werd vervoerd en zich in den brandingstrog ophoopte.

Nadat de geulen door nieuwe puimsteen-stortingen waren opgevuld en meer puimsteen op den strandwal was gebracht, groeide de strandwal, door het bims gesteund, snel zijdelings uit.

Na de afsluiting van deze proevenreeks werd het puimsteengrind door middel van een zeef uit het zand verwijderd.

#### *Proeven met een strandhelling van 4°.*

*Proef XXXII.* In proef XXXII, die 90 minuten duurde, werden 5300 golven, 9 cm hoog en met een periode van 1.02 seconde, opgewekt bij het peil 29.5 cm.

De geheele 4° helling was van de waterlijn tot aan de voorlijn bedekt met een 1—1½ cm dikke laag bimsgrind. Het voorstrand, daarbij aansluitend over 65 cm breedte eveneens.

Een klein deel van het puimsteen werd door de eerste, hoog oplopende golven ver de helling opgeworpen, buiten het bereik der latere golven. Een tweede, eveneens klein deel, bleef op het middenstrand boven de brandingszone achter. Het grootste deel werd door den onderstroom de helling afgevoerd tot in de brandingszone, waar het door iedere oplopende golf krachtig heen en weer werd gespoeld. De brandingszone waarin een brandingstrog gevormd werd, strekte zich zooals fig. 77 aangeeft verder naar voren uit en omvatte eveneens den voor den trog gelegen rug.

Zonder eenige waarneembare oorzaak werd het puimsteen van daaruit tijdelijk, in twee breede banen of over de geheele lengte van het strand, de helling opgewerkt en op het middenstrand opgehoopt, zoodat men den indruk kreeg dat een strandwal van puimsteen zich ging vormen, om korten tijd daarna weer de helling af te rollen meegesleept door den terugloop.

Na 60 minuten golfwerking was aan de grens van den golfoploop een kleine rug ontstaan, aan de basis 10—15 cm breed en 1—1½ cm hoog, door een ± 10 cm breede ondiepe geul gescheiden van de lage strandwal-culminatie van zand, die zich begon te vormen.

In het verdere verloop van proef XXXII werd de strandwal-culminatie eerst volkomen met puimsteen bedekt, later grootendeels weer daarvan ontbloot.

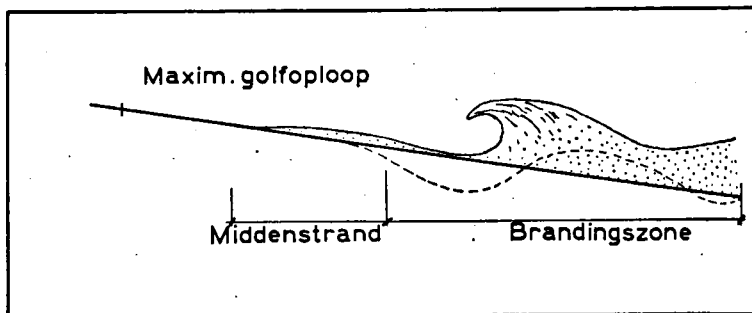


Fig. 77.

De brandingszone in proef XXXII.

Het puimsteen, dat over de strandwal-culminatie in de geul daarachter geraakte, werd door het afstroomende water door de geulen links en rechts, waarin zich stroom-ribbels vormden, weer de helling af meegevoerd. De kleine rug, aan de grens van den golfoploop, oorspronkelijk wat hooger opgebouwd, werd aan het eind door de golven aangetast en verlaagd.

Fig. 78 geeft den vorm van het strand aan het einde der proef weer.

De nagolven, optredend na het uitschakelen van den golfmachine-motor, werden gedempt door middel van een verticaal in de tank geplaatste zeef. Zij zouden anders vrij sterke storingen hebben bewerkt.

Voor het aanleggen der 6° helling voor de volgende proef werd het puimsteen uit het zand gezeefd.

#### *Proeven met een 6° helling.*

*Proef XXXIII.* Een profiel door de aangelegde 6° helling, het voorstrand en den tankbodem met drempel vindt men in fig. 79.

In de 45 minuten van proef XXXIII werkten 2700 golven van 9.5 cm hoogte met een periode van 1.0 seconde bij het peil 31.5 cm op het strand in. Evenals bij de vorige proef was de helling van de



Fig. 78.

Relief van het strand na afloop van proef XXXII. Aan de grens van den golfloop ligt een kleine wal. De trog is in het midden geheel met puimsteen gevuld. In de geul evenwijdig aan het strand en in de afvloegeulen langs de zijmuren bevinden zich stroomribbels.

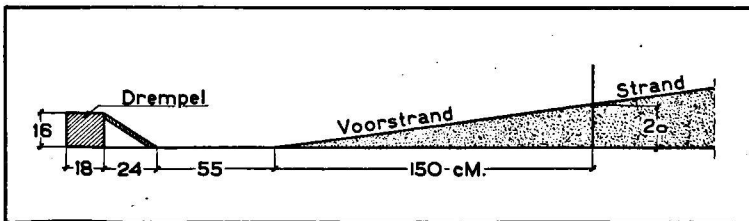


Fig. 79.

Profiel door het voorstrand van proef XXXIII.

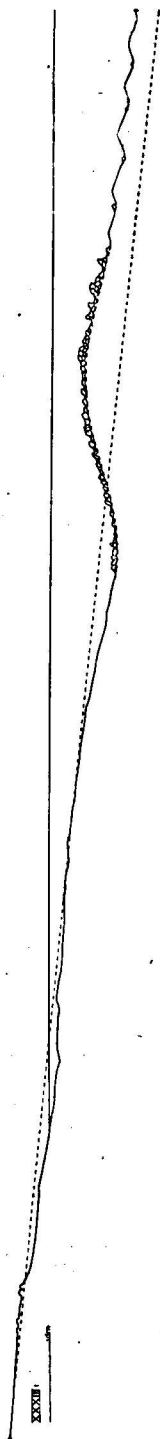


Fig. 81.  
Profiel opgenomen na afloop van proef XXXIII.



Fig. 80.

Het strand na proef XXIII. Het brandingsteras is hier breed, de trog vooral rechts diep.

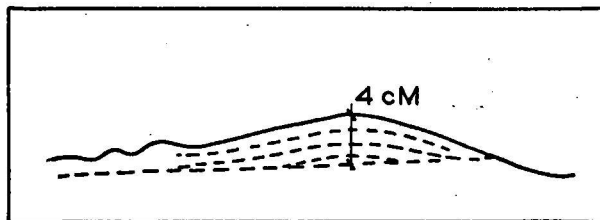


Fig. 82.

De gelaagdheid in den rug gevormd in proef XXXIII.

waterlijn tot  $\pm 75$  cm voor de voorlijn, met een  $1\frac{1}{2}$  cm dikke puimsteenlaag bedekt. Weer werd een klein deel van het puimsteen door de eerste, hoog oplopende golven ver de helling op geworpen en het verdere de helling afgevoerd en in de brandingszone geconcentreerd. De zandige  $6^\circ$  helling onderging daarna de veranderingen, reeds uit de vroegere proeven bekend. Op het voorstrand ontstond een systeem symmetrische golf-ribbels, op de  $6^\circ$  helling een terras, waarop golf-ribbels, met aan de voorzijde een brandingstrog en rug. Aan de grens van den golfoploop werd een lage smalle wal opgeworpen. Een staande golfbeweging trad op in de breedte der tankhelft. De golfhoogte werd in deze proef dan ook zoover mogelijk van het dompellichaam af opgemeten.

In de laatste 20 minuten van de golfwerking werd het puimsteen geleidelijk aan de brandingszone en den brandingstrog, waarin het zich opgehoopt had, onttrokken en verder de helling af getransporteerd naar den tankbodem voor den drempel.

In fig. 80 ziet men den eindvorm van het strand, waardoor het profiel van fig. 81 op 40 cm afstand uit den linker muur is opgenomen.

In een profiel door den rug voor den brandingstrog, die boven de oorspronkelijke helling was opgebouwd, werd een zwakke aanduiding van gelaagdheid gevonden. De zware leifragmenten gaven de  $6^\circ$  helling aan, daarboven bleek uit de ligging van het schelpgruis nog in het zand aanwezig de opbouw van den rug (zie fig. 82).



#### IV. OVER DE VORMING VAN STRANDBANKEN EN VRIJE- (LOSSE-) STRANDWALLEN.

##### Nomenclatuur.

Een algemeen verschijnsel voor zandige kusten is het voorkomen op den zeebodem van langgestrekte verheffingen min of meer evenwijdig aan het verloop van de kustlijn en op wisselenden afstand daarvan gelegen.

In de Geologische Nomenclator (Lit. 12) worden zij „zandwallen” genoemd, hoewel naar mijn ervaring de naam „bank” gebruikelijker is. In overeenstemming met de nomenclatuur van ESCHER (fig. 83) worden zij hier strandbanken genoemd. De Duitse benaming „Sandriff” werd reeds door LEHMANN gebruikt (Lit. 28 blz. 390) voor overeenkomstige vormen van de kust van Achter-Pommeren en is later opnieuw ingevoerd door BRAUN (Lit. 3 blz. 91), hoewel langs de Oostzeekust de naam „Riff” of „Bank” gebruikt wordt. BRAUN gaf aan den eersten naam de voorkeur, omdat hierin tot uiting komt dat het een „Riff”, d. i. een meest onder den zeespiegel gelegen verheffing van den zeebodem is, opgebouwd uit zand, die voor de scheepvaart hinderlijk kan worden.

Door HARTNACK werden zij, nadat BRAUN reeds had vastgelegd dat zij evenwijdig aan de kust verloop en de landhelling steiler is dan de zeehelling, als volgt gedefinieerd:

„Sandriffe sind durch die Brandungstätigkeit geschaffene und der Uferlinie meist parallel verlaufende langgestreckte flache Sandanhäufungen mit sanfter Luvseite, breitem Rükke und steilerer Leeseite, die nur auf einer flachgeböschten Schorre in der Nähe des Ufers gesellig hintereinander auftreiben und in Anordnung und Entstehung einer deutlichen Gesetzmäßigkeit unterliegen”. (Lit. 17 blz. 48).

Verwarring geeft het wanneer in de literatuur van jongeren datum von CHOLNOKY schrijft: „das Nehrung(Sandriff-)system” en dan verder deze termen door elkaar gebruikt. (Lit. 7 blz. 194).

De in de Geologische Nomenclator vermelde Engelsche benamingen „bar” en „offshore beach” lijken mij voor verbetering vatbaar. Overeenkomstig JOHNSON (Lit. 25 blz. 349) zou de naam „submarine bar” de voorkeur verdienen boven alleen „bar”. De term „offshore beach” is weinig toepasselijk voor deze submariene verheffingen van den zeebodem waarop eerst een strand ontstaat als zij boven den waterspiegel uitgroeien, maar dan (volgens JOHNSON e. a.) overgaan in een „offshore bar” of ook „barrier beach”.

Het minst verwarrend zijn de door CORNISH gebruikte namen „low” en „ball”, „low” voor de inzinkingen tusschen de sub-mariene strandbanken

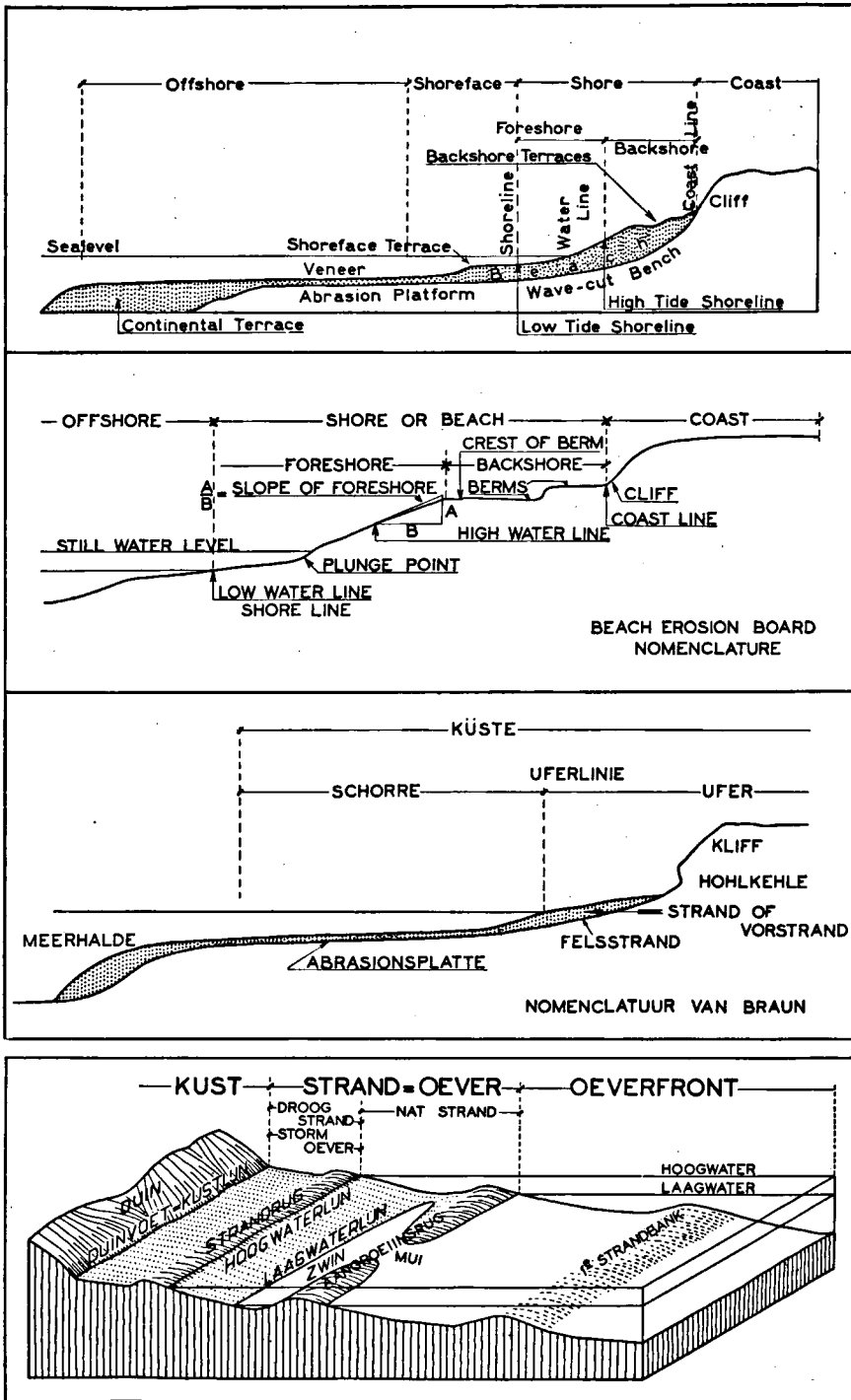


Fig. 83.

- a. De Nomenclatuur van JOHNSON voor een kust in een vergevorderd ontwikkelingsstadium.
- b. De Nomenclatuur gebruikt door de Beach Erosion Board.
- c. De Nomenclatuur van BRAUN opgesteld in overeenstemming met die van GULLIVER.
- d. De enigszins gewijzigde nomenclatuur voor de Nederlandsche kust van ESCHER.

en „ball” voor de strandbanken zelf (Lit. 8 par. 13). In het Fransch zijn zij „barre” geheeten.

De inzinkingen tusschen de strandbanken, „Riffalen” van OTTO (Lit. 31) worden aan onze kust zwinnen genoemd, terwijl onder de „Mulden” van HARTNACK (Lit. 17) zwinnen moeten worden verstaan die zoo diep zijn dat zij zich in den oorspronkelijken zeebodem hebben ingesneden.

De vrije- of losse-strandwal, zooals de naam reeds aangeeft geheel los van de achterliggende kust en daarvan door een lagune gescheiden, komt overeen met de Engelsche „offshore bar” of „barrier beach” en de „freier Strandwall” in de Deutsche literatuur. BRAUN onderscheidt nog de „Uferstrandwall” en de z.g. „Schorrenstrandwall” of „freier Strandwall”. (Lit. 3).

Verkeerdelijk wordt in het Interim Report van de BEACH EROSION BOARD DER V. S. (in het vervolg aangeduid met B. E. B.) de naam „offshore bar” gebezigd voor bars waarboven bij eb nog 3 ft. water stond, die dus volkomen submarien waren. (Lit. 20 par. 6/8). Door DE MARTONNE wordt wel het verschil in het voorkomen van vrije strandwallen en schoorwallen vermeld, maar beide worden „Cordon littoral” genoemd met welken naam eveneens de „submarine bar” van JOHNSON wordt aangeduid en welke term volgens hem overeenkomt met „bar” of „offshore bar”, „Nehrung” of „Strandwall” en „Lido”. (Lit. 30 blz. 985, 1004). Wel gebruikt hij in het geval van een vrijen strandwal verschillende malen den term „cordon littoral avancé” (zie blz. 1004 en 1013).

De verschillende benamingen voor de kustzone en het strand vindt men in fig. 83.

### Waarnemingen tijdens de experimenten.

Bij een beschouwing van de resultaten van de experimenten moet op den voorgrond worden gesteld, dat de meest eenvoudige omstandigheden voor golfwerking op een zandige kust heerschten. De kust was rijzend noch dalend, doch volkomen stabiel. De waterspiegel, beter gezegd het stilwaterpeil, was vrijwel constant, afgezien van de fasen 2 en 6 van proef II, waarin het peil langzaam werd verlaagd teneinde den invloed van de eb in zooverre na te gaan, dat de golfwerking t. o. v. het strand op een lagere basis kwam en verder uitgezonderd fase 1 van proef XXVIII, waarin het peil 1.5 cm werd verhoogd en fase 1 en 4 van proef XXXI, waarin het peil respectievelijk 3 cm werd verhoogd en ongeveer 6 cm verlaagd.

De invloed van eb en vloed en de daarmee gepaard gaande getijstroomen waren bij de proeven dus uitgeschakeld.

De hellingen van 2°, 4° en 6° werden uitgekozen, mede in verband met het onderzoek naar het ontstaan van „beach cusps” dat in een later hoofdstuk behandeld wordt, omdat zij de hellingen van flauwe tot normale, steilere en steile zandige kusten weergeven.

De helling van het natte strand bedraagt ten S. van IJmuiden minimaal 1°, ten N maximaal 1°30' (zie WENTHOLT, Lit. 40).

De zandige strandwalhellingen zijn volgens BRAUN voor de W.-kust van Jutland gemiddeld  $4^\circ$ , bij Sylt  $12^\circ$ , aan de Oostzeekust en Cascoigne  $2^\circ$  tot  $4^\circ$  en voor Holland in wezen vlakker n.l.  $1^\circ$  tot  $2^\circ$ .

Otto vermeldt voor de „Schorre’’ hellingen wisselend van 7' tot 46' (Lit. 31). De B. E. B. geeft voor de foreshore bij Long Beach N. Jersey hellingen van  $3^\circ$  tot  $13^\circ$ , terwijl hellingen van  $6^\circ$  tot  $8^\circ$  verreweg het meest voorkwamen. Overigens waren die hellingen aan snelle veranderingen onderhevig.

De in Nederland optredende hellingen zijn in het algemeen geringer dan die in de proeven gebezigd. Het experimenteeren met dergelijke

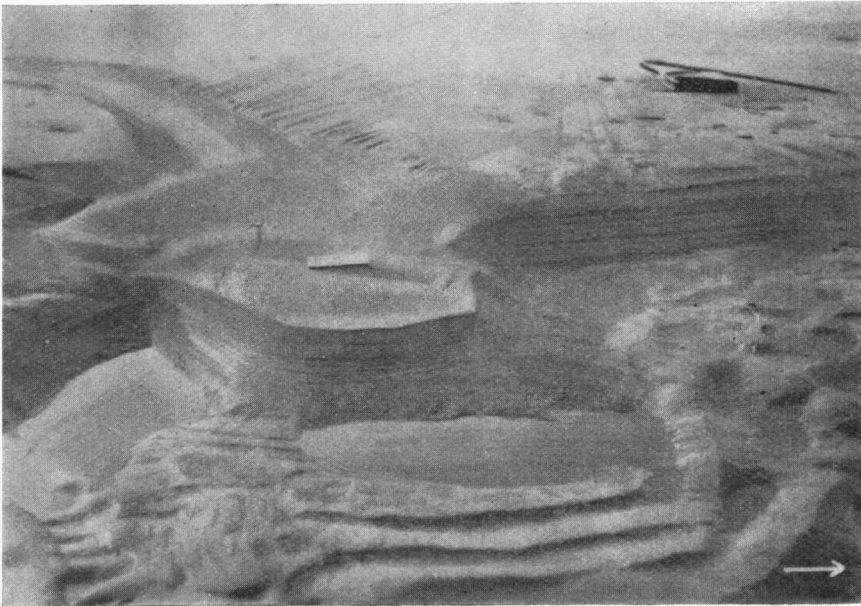


Foto B. G. ESCHER.

Fig. 84.

Afvloeigeul in de achterhelling van een aangroeiingswal met ervoor een in het zwin uitgebouwde delta. De stroom door het zwin, in de richting van den pijl, heeft de delta aangesneden, (Noordwijk). Het meetlatje in de geul is 15 cm. lang.

geringe hellingen was niet goed mogelijk door de daarbij noodzakelijke geringe waterdiepte. De omstandigheden tijdens de experimenten zijn verder analoog aan die, welke in de natuur optreden aan een kust na een negatieve niveau-verschuiving, die reeds weer beëindigd is. Ook dan wordt de kust gevormd door een gelijkmatige, niet of weinig geaccidenteerde, flauwe helling opgebouwd uit los, veelal zandig materiaal. Het is vooral in de eerste ontwikkelingsstadia van zulke relatief gerezen kusten dat vrije strandwallen en de daarvoor gelegen strandbanken worden gevormd (zie Lit. 25 blz. 348). Dit stemt overeen met de door HARTNACK genoemde vereischten voor de vorming van strandbanken, n.l.

een flauw hellenden zeebodem en geringe waterdiepte (zie boven blz. 293).

In de eerste reeks proeven, die het eenvoudigste geval vertegenwoordigen, was de golfoploop recht op de kust gericht. Ingewikkelder werd de werking der golven, onder een hoek van  $15^\circ$  met de kust oplopend, in de tweede reeks. Die hoek werd vastgesteld naar aanleiding van de waarnemingen, waaruit blijkt dat dit ongeveer den maximalen hoek is die de scheeve golfoploop bereiken kan. De zeebodem voor het strand oefent n.l. een richtende werking op de golven uit, tengevolge waarvan zij zwaaien en meer loodrecht oploopen. Zoo wezen waarnemingen van de B. E. B. aan Pensacola Beach, Fl., uit dat terwijl aan het einde van een 1200 ft. lange pier, bij 12 ft. diepte, de hoek tussehen de golfrichting en het strand  $45^\circ$  bedroeg, deze bij de branding tot  $5^\circ$ — $10^\circ$  was verminderd. (Lit. 20 par. 7/10).

Dat geen willekeurige vormen ontstonden maar integendeel de wijzigingen in de aangelegde  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  of  $6^\circ$  helling geheel werd beheerscht door de gecontroleerde factoren, wordt bewezen door de overeenkomst in de voltooiingsstadia van proef XIX en de herhalingsproef XX (zie fig. 53 en 55).

#### *De proeven met rechten golfoploop.*

Bij de experimenten met rechten golfoploop ontstonden in het eerste stadium onder invloed van de golven op het voorstrand en het lagere gedeelte van de strandhelling golf-(oscillatie-)ribbels met een algemeene strekking evenwijdig aan het strand. Fig. 19 geeft een beeld van dit stadium, hier reeds vrij ver gevorderd.

Spoedig daarop volgde boven de branding, een weinig hooger op de helling, de opbouw van losse zandculminaties, die zijdelings uitgroeiden en geleidelijk de helling op werden gewerkt. Bij dit omhoogwerken nam de hoogte van de culminaties toe, zoodat zij tijdens den terugloop gedurende korten tijd droog vielen, om tenslotte vrij hoog op de strandhelling gelegen aaneen te groeien tot een geheel, of bijna geheel gesloten strandwal. Door het aaneengroeien van de culminaties werden de kleinere geulen of muien het eerst dichtgewerkt zoodat een of meer grootere overbleven, waarin de afvloeiende stroom van het achter den strandwal opgestuwde water zich concentreerde. Het dichtwerken van deze laatste muien vorderde dan ook veelal aanzienlijken tijd. Langs de zijmuren van de golftank bleven steeds geulen in stand. In de fig. 23 en 12 zijn resp. een begin- en een eindfase van het aaneengroeien der culminaties te vinden.

De hoogte van den strandwal was dan dusdanig toegenomen dat de golfoploop nog slechts op de lage gedeelten iets over den kam sloeg of de oploop van de hoogste golven nog over de geheele breedte den kam bereikten, er overheen spoelden en als dunne laag water de achterhelling afliepen, daarbij materiaal meevoerend. Het zal duidelijk zijn dat ook in dit stadium, op dezelfde wijze als in de voorafgaande stadia, de strandwal door het transport van zand door deze dunne laag water nog achterwaarts de helling op wordt gewerkt, zij het ook in een veel lang-

zamer tempo. Het meegevoerde zand werd aan den rand van de achterhelling in het achter den strandwal opgestuwde water onder zijn maximale hellingshoek afgezet.

De afvloeiende laag water concentreerde zich soms onder aan de achterhelling in bepaalde banen, erodeerde dan kleine geultjes en zette daarvoor miniatuur-delta's af (zie fig. 15). Hetzelfde verschijnsel in de natuur geeft fig. 84, fraaie foto's zijn ook door WAGNER gepubliceerd (Lit. 37). Het terugwijken van den strandwal eindigde wanneer de kamlijn zoo hoog was opgebouwd of zoo ver was teruggedrongen dat geen golven er meer overheen sloegen.

Een ander gevolg van het overslaande water en het daarmee gepaard gaande zandtransport de achterhelling af, was het ontstaan van een min of meer scherpe kamlijn.

De opbouwende werking van den oploop is duidelijk. De proeven bevestigen de conclusie van de B. E. B. dat „The uprush which follows the plunge is a constructive agency by means of which berms are built or by means of which sand may be carried to higher levels of the foreshore or beach” (Lit. 20 3/44, zie ook fig. 83). De oploop bevat echter slechts een klein deel van de in de golven aanwezige energie. Een groot deel daarvan wordt in de branding omgezet in warmte, terwijl de rest direct op het natte strand („foreshore”) inwerkt door 1°. den stoot van vallend turbulent water in de branding en 2°. den daarop volgende oploop en minder hevigen terugloop.

Gelijktijdig met de ontwikkeling van den strandwal uit de losse culminaties kolkte de branding een trog uit in de helling, van de ribbels ervoor gescheiden door een steeds onder stilwater-niveau gelegen rug. Tusschen den trog en den voet van de voorhelling van den strandwal ontstond daarbij een min of meer horizontaal terras waarop zich kleine minder regelmatige ribbels vormden met een algemeene strekking ook hier evenwijdig aan het strand. Aan den voet van de voorhelling bevond zich veelal een wat breeder en dieper ribbeldal, dat zijn ontstaan dankte aan de uitkolkende werking van den terugloop, die hier zijn maximale snelheid en transporteerend vermogen bereikte.

De figuren 15, 24 en 28 geven een goeden indruk van een volgroeiden of vrijwel volgroeiden strandwal en een voltooide strand-configuratie. Hiermede is echter de ontwikkeling niet geëindigd. Bij voortzetting van de golfwerking ging na korter of langeren tijd de opbouwende werking over in een afbrekende. De voorhelling van den strandwal werd aangetast zoodat zij in plaats van den vlakken vorm, zooals fig. 24 en 28 toonen, een meer geaccidenteerd uiterlijk kreeg. Onregelmatige inzinkingen en verheffingen met een gering hoogte-verschil en in een later stadium klif-vorming, traden op. Men zou deze verschijnselen met recht kunnen betitelen als ouderdoms-symptomen van den strandwal. Twee stadia van de veranderingen van den strandwal, een weinig en een vergevorderd, zijn te vinden in de fig. 27 en 20.

Niet bij iedere proef vonden de boven beschreven veranderingen in de aangelegde helling in hun geheel plaats en waren terras, brandings-trog en -rug en strandwal even fraai ontwikkeld. Dit was afhankelijk van den duur van de proeven en van de golfhoogte. In het algemeen

voltrokken de wijzigingen in het profiel zich sneller naarmate de golf hoogte toenam. Dat bij deze wijzigingen zand van grootere diepte door de golven de helling werd opgewerkt, om te dienen voor het opbouwen van de losse culminaties en den strandwal, volgt reeds uit de eerste proef. De ontwikkeling werd hier in een tamelijk jong stadium vrijwel tot stilstand gebracht door den storenden invloed van de plank op de grens tusschen het voorstrand en de 2° helling. In fig. 7, die juist tot aan de voorlijn reikt, ziet men de losse culminaties die duidelijk de neiging vertoonen de helling op te groeien. Aan de basis zijn zij verbonden door breede vlakke ribbels. Duidelijk is aan de asymmetrische ribbelingen zichtbaar, dat de onderstroom de helling af zich concentreert in de inzinkingen tusschen de culminaties. Fig. 11, opgenomen na ruim twee uur golfwerking, toont een verdere stap in de ontwikkeling, die we hier als eindstadium kunnen beschouwen. De culminaties zijn hooger de helling op geschoven, terwijl een sterke tendenz tot zijdelings aaneengroeien links en rechts reeds tot resultaten heeft geleid. De onderstroom heeft zich nu geconcentreerd in het midden en langs de rechter zijmuur.

Het is duidelijk dat het ontstaan van een aaneengesloten strandwal hier werd verhinderd door de sterke belemmering, die het zandtransport van het voorstrand omhoog in de latere fasen van proef I, van de verticale plank bij de voorlijn ondervond. Een bijkomstige factor was dat deze plank de branding daar ter plaatse vasthield en een geringe verplaatsing daarvan, zooals die in de latere proeven werd waargenomen, onmogelijk maakte. Zoo lag tijdens fase 1 van proef X de branding in den aanvang onder op de 6° helling, ongeveer 15 cm achter de voorlijn, terwijl aan het eind van dezelfde fase de kamlijn van den rug, waarboven de branding plaats greep, ongeveer 45 cm achter de voorlijn lag.

Uit het feit dat de culminaties, niettegenstaande het vastleggen van de branding onderaan de 2° helling, toch het strand op terugweken volgt dat de oploop van de golven, na de branding, hiervan de oorzaak is. Dezelfde gevolgtrekking moet worden gemaakt na een beschouwing van de profielen van fig. 25 en 29. De golven braken boven den onder water gelegen rug, zooals uit de waarnemingen tijdens fase 1 van proef X blijkt, waarbij de overvallende golven den rug uitkolkten. Een in fig. 25 en 29 respectievelijk ongeveer 15 cm en ongeveer 10 cm breed terras scheidde de branding van den voet van den strandwal, zoodat ook hier alleen de oploop na de branding den strandwal bereikte. Het is dus de oploop die den strandwal teruggedrijft op de reeds eerder beschreven wijze.

Uit dezelfde profielen blijkt eveneens, dat het transport van het voor het opbouwen van den rug en den strandwal benodigde zand, van het diepste deel van de aangelegde helling en van het voorstrand, omhoog moet hebben plaatsgevonden. Exacte waarde is aan deze profielen echter niet toe te kennen, daar het eerste nog niet is opgenomen met de nauwkeurige paraffine-methode en in het tweede de ligging van de oorspronkelijke 6° helling geschat moest worden.

Een verplaatsing stroomopwaarts van den brandingstrog kon niet worden geconstateerd, maar vond waarschijnlijk in geringe mate plaats. Het punt waar de golven breken wordt immers bepaald door de diepte van het water. Bij het langzaam verlagen van de helling moet de bran-

ding zich een weinig de helling op verplaatst hebben, maar wierp daarbij een rug op die een verdere verplaatsing tegenwerkte. De in een smalle zone, achter den rug, geconcentreerde werking van de branding deed daar den trog ontstaan. De strandwal werd verder teruggeduwd, zoodat zich tusschen brandingstrog en strandwal een min of meer horizontaal terras inschakelde, aantonend dat de trog de verplaatsing van den strandwal veel langzamer of in het geheel niet volgde. Een geringe verplaatsing van den rug en trog in het jongste stadium van hun ontstaan is dus wel waarschijnlijk. Waarnemingen tijdens de golfwerking waren daar ter plaatse onmogelijk, wegens de sterke troebeling van het water door fijn slib en het vooral hier vele zand in suspensie.

Een indruk van de snelheid waarmee de veranderingen in een 6° helling bij een grootere golfhoogte van 6.75 tot 7 cm plaats grēpen geeft fig. 24, opgenomen aan het eind van fase 1 van proef X na 10 min. 30 sec. golfwerking in welk tijdsverloop  $\pm 470$  golven opliepen.

Enkele waarnemingen in fase 7 van proef I en fase 3 van proef II wijzen erop dat de ribbels zich over kleine afstanden de helling op verplaatsten. Of dit echter over de geheele breedte van het voorstrand en strand plaats vindt, staat niet vast. Een afzonderlijk onderzoek naar de verplaatsing van de oscillatie-ribbels (golf-ribbels) en de snelheid daarvan op wisselende hellingen en diepten zou wenschelijk zijn, temeer daar de vraag rijst of zandtransport plaats kan vinden uitsluitend door het voorttrekken van de oscillatie ribbels. Voor den zeebodem verder buiten de branding gelegen, is dit m.i. het geval. Meerdere malen werd waargenomen, dat ook bij de diepst gelegen ribbels bij het passeeren van iedere golf, zand opwolke en over de ribbelkammen heen en weer bewogen werd (zie b.v. fase 2, proef V). Daar waar stroomen optreden, of door het ondieper worden de golven op den bodem gaan inwerken, zal een grooter deel van het opgewoelde zand op de achterhelling van den ribbelkam bezinken. In en boven de brandingszone waar, door de sterke turbulentie van het water, groote hoeveelheden zand in suspensie worden gehouden, is transport daarvan op vele wijzen mogelijk.

#### *De proeven met scheeven golfoploop.*

Bij een samenvatting van de resultaten der proeven met een scheeven golfoploop blijkt dat, afgezien van de zijdelingsche zandverplaatsing waarop ik later nog nader terug zal komen, de veranderingen die in de aangelegde hellingen plaats vonden in groote trekken overeenkwamen met die tijdens de proeven met rechten golfoploop waargenomen. Ten duidelijkste blijkt dit uit de fig. 39, 40 en 41, die drie achtereenvolgende ontwikkelingsstadia van proef XV weergeven, opgenomen na  $7\frac{1}{2}$ ,  $22\frac{1}{2}$  en  $55\frac{1}{2}$  min. golfwerking met een middelmatig hooge golf van 4 cm.

Het ontstaan van den strandwal verliep in dit geval via de vorming en het aaneengroeien van slechts een tweetal culminaties waarvan, tengevolge van het zijdelingsch zandtransport, vooral de linker sterk uitgroeide. In andere gevallen werd de strandwal opgebouwd uit meerdere losse culminaties, wat zelfs in de vergevorderde stadia van fig. 46, 66



en 71 nog te zien is aan de bijna geheel verdwenen muien. Fig. 30 toont als jeugd stadium den vorm en ligging van de culminaties kort na den aanvang van proef XII.

De, evenals tijdens de proeven met rechten golfoploop, vrijwel constante ligging van den subaquatischen rug en brandingstrog, terwijl erachter de vorming van den strandwal geschiedt, is opvallend. Een geringe terugwijking aan de linkerzijde en een nog geringere rechts treden eerst op bij den overgang van het tweede naar het derde stadium. Hierbij moet echter opgemerkt worden, dat dan de achterliggende strandwal links in tegenstelling met rechts ouderdoms-symptomen begint te vertoonen, wat zich uit in een gelijkmatig terugwijken van de kamlijn door erosie van de voorhelling, gepaard met een versmalling van de achterhelling.

Een zelfde kleine verplaatsing van den rug en trog toonen de twee stadia van proef XX, vastgelegd in fig. 54 en 55.

De snellere voltooiing van den strandwal links werd in meerdere proeven vastgesteld. Een gevolg daarvan was dat de strandwal aan die zijde van de tank eerder ouderdoms-symptomen vertoonde (zie fig. 55 en 68). Het eerste moet worden toegeschreven aan de sterkere golfwerking op dit vooruitstekende strandgedeelte. De snellere overgang uit den volwassen toestand naar den ouderdom moet worden veroorzaakt door het zandverlies door het zijdelingsch transport.

Afwijkingen van grootere orde met den eindvorm van het strandoppervlak bij rechten golfoploop treden op in het ribbelpatroon. Tusschen de ribbelingen evenwijdig aan de golven, overwegend op het voorstrand gelegen en den rug werd een systeem ribbels ingeschakeld in hoofdtrekken evenwijdig aan de strekking van het strand evenals de rug en de strandwal in hun meer jeugdigen vorm. Een fraai beeld van de beide ribbelsystemen, die op alle foto's van de proeven met scheeven golfoploop voorkomen, geeft fig. 71.

Een tweede afwijking vindt men in de ligging van de ribbels op het terras achter den rug, waarvan de strekking een vrij grooten hoek maakt met de strekking van het strand.

Zeer zeker kwamen afwijkingen van de, voor den rechten en scheeven golfoploop geschetste, ontwikkelingsgang voor. Zij werden echter veelal voor het beëindigen van de proef weer opgeheven. Voorbeelden hiervan zijn te vinden in de beschrijving van proef XVIII (met fig. 49 en 50) in welke proef de strandwal niet werd gevormd uit enkele losse culminaties, maar groeide door het samensmelten van een tweetal evenwijdige eerst subaquatische ruggen. Verder in proef XVII, waarin de voortzetting onder vrijwel gelijke omstandigheden tijdens fase 2 voor den eersten, in fase 1 gevormden strandwal, een nieuwe werd opgeworpen die over den eersten transgreedeerde (zie fig. 46). Hetzelfde verschijnsel deed zich voor in fase 1 van proef XX en is in fig. 54 vastgelegd in een veel jonger stadium dan in fig. 46. Het kan hier toegeschreven worden aan een kleine verandering in peil en golfhoogte, wat voor proef XVII niet het geval is. Dat het ook bij loodrechten golfoploop optrad toont fig. 75.

Uit hetgeen in de voorafgaande bladzijden is gezegd, volgt dat de met groote nauwkeurigheid opgenomen profielen van de proeven met

scheeven golfoploop ons evenzeer gegevens kunnen verschaffen betreffende de vorming van den strandwal, rug en brandingstrog.

De proeven met schelpen en puimsteengrind werden voornamelijk genomen in verband met het volgende hoofdstuk over de vorming van strandhorens. In die met schelpen en schelpgruis kon de achterwaartsche verschuiving van den strandwal goed worden nagegaan door het transgredeeren over de schelpenlagen, die dan later op de voorhelling weer te voorschijn traden.

Nieuwe feiten over het ontstaan van strandbanken en strandwallen leverden deze proeven echter niet op.

### *Analyse van de profielen.*

Het zou ons te ver voeren ieder profiel hier afzonderlijk aan een nauwkeurige analyse te onderwerpen. Overzichtelijkheidshalve zijn de gegevens die alle profielen, ook die van de proeven met schelpen en puimsteen leveren, in diagrammen tezamen gebracht. De meeste van die diagrammen, betrekking hebbende op den strandwal, de brandingstrog en rug en het terras, zullen hieronder in het kort naar voren worden gebracht. Enkele anderen zullen later bij het zijdelingsch zandtransport ter sprake komen.

In het diagram van fig. 85 vindt men de betrekking tussehen de

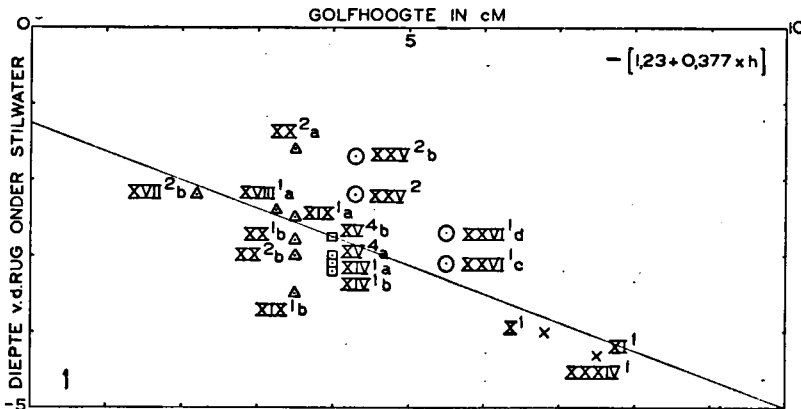


Fig. 85.

Diagram 1, het verband tussehen de diepte boven den rug en de golfhoogte. In den rechter bovenhoek de formule van de berekende lijn.

diepte van het water boven de kamlijn van den rug en de golfhoogte. Uit de uit totaal 18 punten berekende lijn, waarvan de formule luidt  $1.23 + 0.377 h$  (waarin  $h$  de golfhoogte is), kan worden afgeleid dat bij de hogere golven de rug in het algemeen wordt opgebouwd totdat de waterdiepte er boven ongeveer gelijk is aan de halve golfhoogte. Bij de kleinere golfhoogten wijzigde die verhouding zich ten gunste van de diepte. Aanzienlijke afwijkingen van dezen regel treden zeker op, maar

in het oog moet worden gehouden, dat niet altijd het volgroeide stadium zal zijn bereikt en bovendien over de geheele lengte van het strand niet meer dan twee profielen werden opgenomen. Dit zelfde geldt eveneens voor de verdere diagrammen.

Uit diagram 2 (zie fig. 86) blijkt, dat indien bij de proeven met

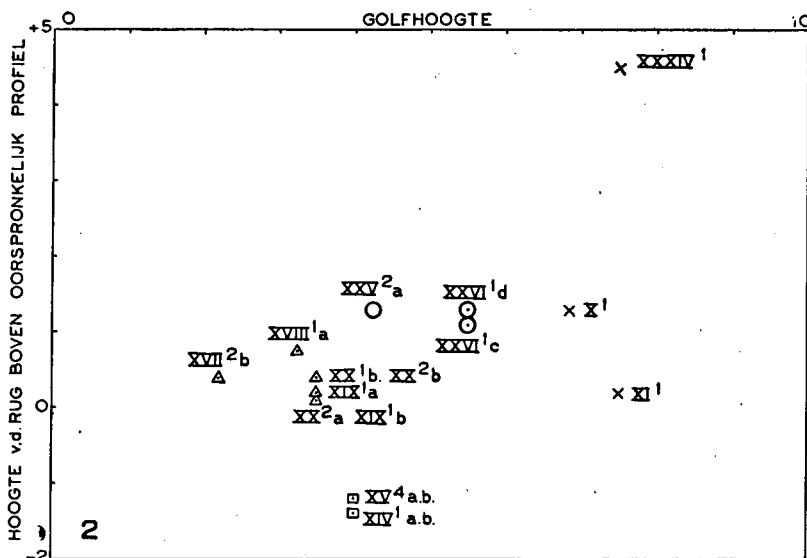


Fig. 86.

Diagram 2, de hoogte van den rug boven het oorspronkelijk profiel.

een 2° helling een rug werd gevormd, die aanmerkelijk beneden de oorspronkelijke profiellijn bleef. Bij de proeven met de 4° en 6° helling werd de kamlijn van den rug tot een weinig boven deze lijn opgebouwd, welk opbouwen, zooals we in diagram 1 zien, door de golfhoogte zelf is beperkt. De consequentie hiervan is dat wanneer een rug boven die hoogte wordt opgebouwd, d.w.z. wanneer op een reeds gevormden rug grotere golven inwerken, die rug achteruit gedreven wordt op dezelfde wijze als de strandwal.

Diagram 3 (zie fig. 87) geeft het verband tusschen de diepte van den brandingstrog beneden stilwaterpeil en de golfhoogte, die bij benadering gelijk aan elkaar blijken te zijn. Een belangrijke afwijking vertoont alleen het punt XXV<sup>2</sup>a uit het profiel van *a* van de overeenkomstige proef, welker eindvorm echter onregelmatig was (zie fig. 68).

De twee volgende diagrammen hebben betrekking op den strandwal. In diagram 4 (fig. 88) zijn de golfhoogte en de hoogte van den strandwal boven stilwaterpeil tegen elkaar afgezet. Daar hier alleen van belang is te bepalen tot welke maximale hoogte de golven een strandwal kunnen opbouwen, is steeds van de profielen *a* en *b* van één proef alleen de grootste waarde van de hoogte opgenomen. Er bleven zodoende een veertiental punten over, waaruit een lijn werd berekend waarvan de

formule is  $2.44 + 0.327 h$ . Een geringe afronding van de formule maakt de hoogte van den strandwal boven stilwaterpeil gelijk aan  $2.44 + 1/3 h$ , regelmatig met  $1/3$  van de golfhoogte toenemend.

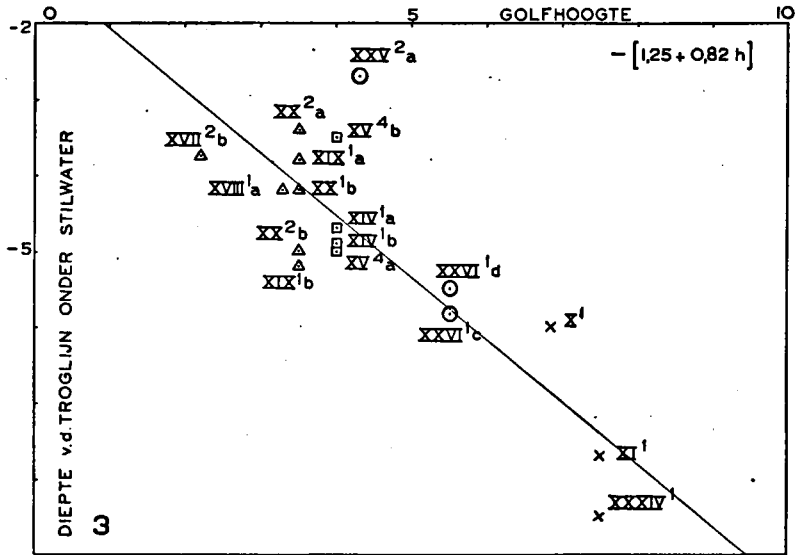


Fig. 87.

Diagram 3, het verband tusschen de diepte van den brandingstrog onder het stilwateroppervlak en de golfhoogte.

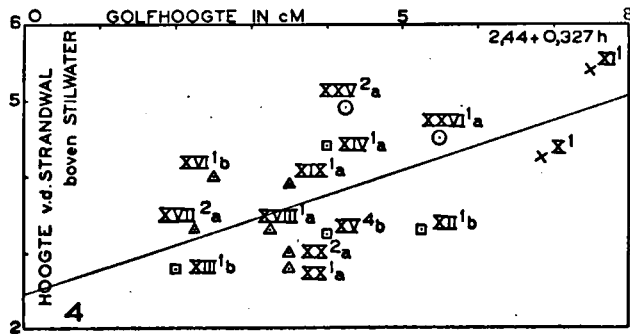


Fig. 88.

Diagram 4, het verband tusschen de hoogte van den strandwal boven het stilwateroppervlak en de golfhoogte.

Het vijfde diagram (zie fig. 89), waarin de hoogte van den strandwal boven de oorspronkelijke, aangelegde helling en de golfhoogte tegen elkaar zijn uitgezet, bewijst de onafhankelijkheid van die hoogte van de hoogte der golven. Grootere golven bouwen dus een slechts weinig werkelijk hooger strandwal op dan kleinere, maar drijven hem verder, hooger de helling op.

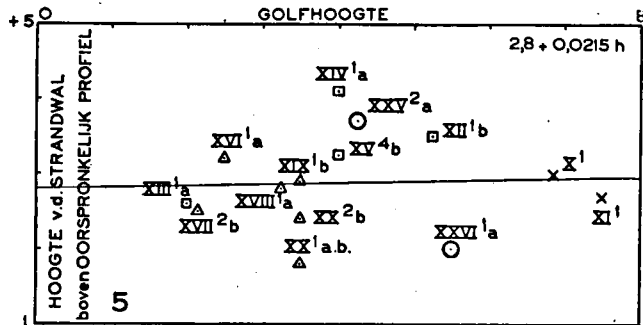


Fig. 89.

Diagram 5, de betrekking tusschen de hoogte van den strandwal boven het oorspronkelijk profiel en de golfhoogte.

Diagram 6 (zie fig. 90) toont dat de diepteligging van het terras toeneemt met de golfhoogte en wel met een factor weinig grooter dan  $1/3$  h. De juiste bepaling van de waterdiepte boven het nooit volkomen horizontale en steeds met ribbels bezette terras is moeilijk. De punten van het diagram zijn dan ook geschatte gemiddelde waarden.

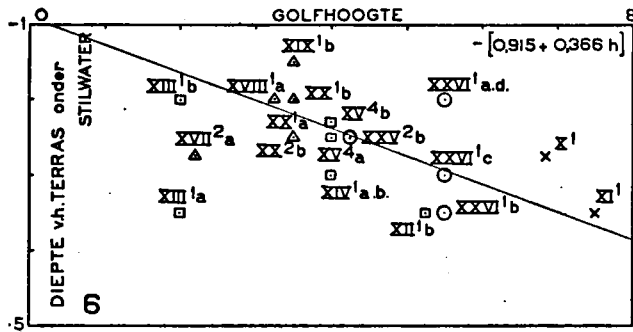


Fig. 90.

Diagram 6, het verband tusschen de diepteligging van het terras onder het stilwateroppervlak en de golfhoogte.

De overeenkomst met diagram 1, waarin de invloed van de golfhoogte op de diepteligging van de kamlijn van den rug is vastgelegd, is treffend. De lijnen van beide diagrammen loopen vrijwel evenwijdig. Het terras ligt in zijn geheel op een iets hoger niveau.

Het aantal opgenomen profielen is niet voldoende om gevolgtrekkingen te maken over een mogelijken invloed van de helling op de hoogte van den strandwal boven het stilwaterpeil en op de diepteligging van den rug. Uit de strooiing van de punten in de verschillende diagrammen blijkt wel dat de invloed van de helling vrij gering moet zijn en in ieder geval verre overtroffen wordt door die van de golfhoogte. Een uitzondering vormt diagram 2, waarop ik hieronder nog terug zal

komen. Niettemin verdient een uitgebreid onderzoek naar den invloed van de helling op de vorming van den strandwal en den rug aanbeveling.

### **Gegevens omtrent de Materiaalverplaatsing.**

#### *Over het begrip „Neutrale Lijn”.*

Teneinde de hellingszones waarin de golven opbouwend en erodeerend werken van elkaar te scheiden, werd in de proeven het begrip „neutrale lijn” ingevoerd. De neutrale lijn is dus de snijlijn van de aangelegde helling en het helling-relief na het beëindigen van de proeven, ervoor ligt de zone waar de golven abradeerend werken, erachter het gebied waar zij opbouwen. De ligging van de neutrale lijn geeft een indruk van het zandtransport dat in de richting van de helling omhoog of omlaag plaats vond.

De profielen van de verschillende proeven geven door de snijpunten van het oude met het nieuwe profiel uitsluitsel over de ligging van de neutrale lijn. Bij de proeven met een 2° helling (No. XII, XIII, XIV en XV) snijdt deze helling de voorhelling van den strandwal dicht onder het stilwaterpeil (zie fig. 38 en 43). Anders wordt dit bij de latere proeven, waarbij een rug werd gevormd die boven de oorspronkelijke profiellijn uitgroeide, wat bij de proeven met een 2° helling niet voorkwam (zie diagram 2). Hier werd het eerste snijpunt vervangen door een tweede kenmerkend snijpunt, op de voorhelling van den rug op een veel dieper peil gelegen. De neutrale lijn verplaatst zich als het ware sprongsgewijs naar voren.

Het brandingsterras kon zoo dicht onder de oude profiellijn gelegen zijn dat ook de kammen van de ribbels daarop die lijn doorsneden (zie b.v. fig. 58). Al deze meer naar achteren gelegen snijpunten zijn verder van geen belang, alleen de voorsten hebben betrekking op de neutrale lijn. Volledigheidshalve zijn van alle proeven de snijpunten van de oorspronkelijke profiellijn met den voet van den strandwal eveneens in diagram 7 (fig. 91) opgenomen; zij blijken, zooals te verwachten was, slechts in zeer geringe mate van de golfhoogte afhankelijk te zijn.

Wanneer we ook hier den invloed van de golfhoogte na willen gaan dan moeten de punten van de proeven met een 4° en 6° helling afzonderlijk worden beschouwd, dit ten gevolge van het feit, dat de helling hier bij de overgang van de 2° naar de 4° helling een veel grooteren invloed heeft dan in de vorige diagrammen. Voor deze punten is de invloed van de helling dus verwaarloosd. Hierin kan hoogstens een geringe fout schuilen; immers de diepte waarbij de golven breken en dat is, zooals we hieronder zullen zien, feitelijk de factor die de ligging van de neutrale lijn bepaalt, is weinig afhankelijk van de helling van den bodem.

Uit de formule voor de lijn berekend, blijkt bij extrapolatie dat de neutrale lijn bij grootere golf-hoogte op  $\pm \frac{3}{4} h$  diepte, d.w.z. onder het stilwaterpeil zal liggen. Voor de kleinere golven bij de proeven gebruikt, wordt dank zij de constante 1.19 die diepte ongeveer gelijk aan de golf-hoogte.

De neutrale lijn geeft de plaats aan waar de golven sterk aan transporteerend vermogen inboeten en de abraderende werking overgaat in een sedimenteerende. De oorzaak van dit verlies aan transporteerend vermogen moet liggen in het breken van de golven. Uit de ligging van de neutrale lijn kan dus worden afgeleid bij welke diepte golven van bepaalde hoogte breken. Bij kleinere golven is die diepte gemeten vanaf het stilwaterpeil ongeveer gelijk aan de golfhoogte, bij de grootere, hooger dan in de proeven werden opgewekt, neemt dit geleidelijk af tot ongeveer  $\frac{3}{4}$  van de golfhoogte.

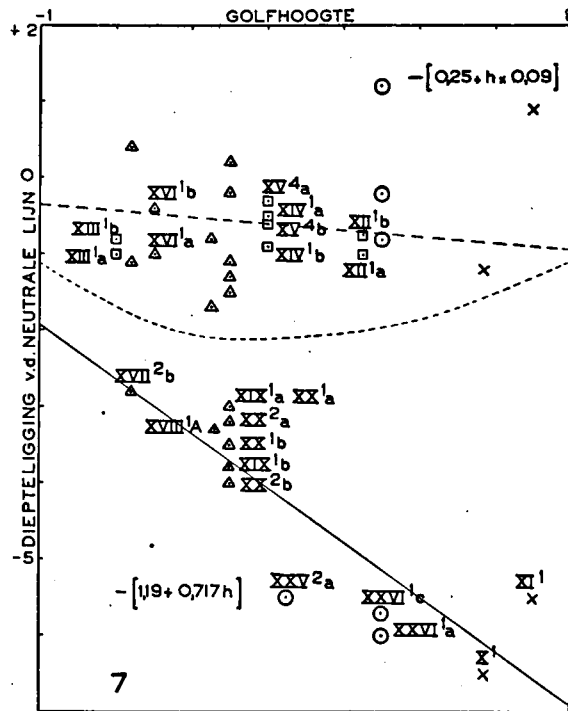


Fig. 91.

Diagram 7, het verband tusschen de ligging van de neutrale lijn en de golfhoogte. Uit de weinig belangrijke punten boven de stippellijn is de bovenste lijn berekend; uit de punten eronder de onderste, belangrijke lijn. De niet genummerde punten boven zijn afkomstig van de profielen op dezelfde verticale lijn onder de stippellijn.

Een verandering in de wijze van zandtransport vindt bij de neutrale lijn plaats. Het rustige transport door de golven hoofdzakelijk langs den bodem, wordt vervangen door het transport door de turbulente watermassa's na de branding. Aan deze verandering dankt de rug zijn ontstaan. Een rug wordt dus gevormd daar waar de diepte onder het stilwaterpeil  $\frac{3}{4}$  tot 1 maal de golfhoogte bedraagt. De opwaartsche groei ervan is beperkt, tot de diepte boven de kamlijn minimaal ongeveer de halve golfhoogte is.

Dat het zandtransport de helling op hier niet eindigt, bewijst de opbouw van den strandwal, waarvoor de zwakke abradeerende werking van den oploop op het brandingsterras niet alleen het benodigde zand kan leveren, zooals ook reeds eerder uit het resultaat van proef 1 is gebleken.

Over de vraag bij welke diepte golven breken, heerscht nog geen volkomen overeenstemming. RUSSELL<sup>1)</sup> vond dat translatie golven breken wanneer de waterdiepte gelijk is aan de golfhoogte. Voor oscillatie golven geldt volgens hem dezelfde regel. JOHNSON voert hiertegen aan dat hij noch helder noch consequent is in zijn bepaling van de golfhoogte (boven stilwaterpeil of hoogteverschil tusschen golfberg en golfdal?) en de waterdiepte (beneden stilwaterpeil of beneden golfdal?) voor deze golven (zie lit. 25 pag. 18).

Daarentegen vond BAZIN<sup>2)</sup> dat translatie golven veelal breken wanneer de golfhoogte tweederde van de totale diepte overtrof.

CORNISH<sup>3)</sup> geeft als regel dat oscillatie golven breken wanneer de diepte gerekend vanaf het ongestoorde wateroppervlak gelijk is aan de hoogte van den golftop boven het golfdal.

GAILLARD<sup>4)</sup> vond soms een regelmatig breken van oscillatie golven volgens denzelfden regel, in andere gevallen echter wanneer de verhouding van stilwaterdiepte tot werkelijke golfhoogte 1.16 tot 2.71 bedraagt. Hij nam waar dat de diepte waarbij golven breken afhankelijk is van de windsnelheid, helling en effenheid van den bodem en van de golflengte, terwijl hij waarschijnlijk acht dat de onderstroom een belangrijke factor is bij de bepaling bij welke diepte golven breken.

De invloed van de helling kan m.i. gering geacht worden, vooral wanneer geen plotselinge diepte-veranderingen optreden. GAILLARD's onderstelling dat de z.g. „undertow”, de onderstroom, een belangrijke factor is, werd in de proeven bevestigd door het uitbuigen van den rug daar waar een mui den strandwal doorsneet (zie fig. 40 en 75). De sterke uitgaande stroom, die zich als een onderstroom door de branding voortzette, drong de laatste naar buiten. Dat dit niet het gevolg is van een ondieper worden voor de muien door afzetting van een delta van meegevoerd zand, blijkt uit het inbuigen van 5 cm dieptelijn van fig. 75.

Naar aanleiding van hetgeen in den aanvang over den vorm der golven is vastgesteld, kan uit diagram 7 worden geconcludeerd dat oscillatie golven oplopend op een flauw hellende kust bij een geringe hoogte breken bij een stilwaterdiepte gelijk aan de golfhoogte, welke diepte bij grootere golven ongeveer drievierde van de golfhoogte bedraagt.

<sup>1)</sup> RUSSELL, J. SCOTT, Report of the Committee on Waves, appointed by the British Assoc. at Bristol in 1836. Report of the British Association VII, 1837 (1838—1839). Report on Waves, made to the meetings in 1842 and 1843. Report of the British Association XIV, 1844 (1845).

<sup>2)</sup> BAZIN, HENRI, Recherches Expérimentales sur la Propagation des Ondes. Mém. de l'Acad. des Sciences de l'Inst. de France XIX, 1865.

<sup>3)</sup> CORNISH, VAUGHAN, Waves of the Sea and Other Water Waves, Chicago, 1911.

<sup>4)</sup> GAILLARD, D. D., Wave-action in Relation to Engineering Structures. Corps of Engineers U. S. Army, Profess. Paper No. 31, 1904.



Bij mijn literatuur onderzoek naar de vorming van strandbanken en strandwallen bleek, dat de naam „neutrale lijn” reeds vroeger in een andere beteekenis is gebruikt (zie lit. 21 en lit. 25 pag. 11). CORNAGLIA <sup>1)</sup> heeft dezen naam ingevoerd voor de lijn waar het materiaal zeewaarts noch landwaarts wordt vervoerd en aan weerszijden waarvan drift in tegengestelde richting plaats vindt. Op de neutrale lijn zijn de landwaartsche en zeewaartsche componenten van de golven met elkaar in evenwicht. Zooals bekend verondersteld mag worden, gaat de elliptische beweging van de waterdeeltjes aan de oppervlakte bij golven in ondiep water naar den bodem toe over in een rechthoekige beweging (zie STOKES <sup>2)</sup>). Een verschijnsel wel genoemd de wet van de variatie der kleine, verticale assen, die aan den bodem nul worden, terwijl de groote horizontale as in ondiep water van oppervlakte tot bodem ongeveer constant blijft (zie AIRY <sup>3)</sup>). De plaats van de neutrale lijn voor een kust wisselt al naar gelang van de sterkte van de beweging der zee. In de Middellandsche Zee ligt zij volgens CORNAGLIA op ongeveer 10 m diepte, in de Oostzee volgens HEISER <sup>4)</sup> bij 8 tot 9 m, in de Zwarte Zee naar BOSCHITSCH <sup>5)</sup> op meer dan 10 m maximaal op 20 m diepte, welk laatste getal JAKUSCHOFF zeer hoog voorkomt (zie lit. 21).

Deze neutrale lijn zou de begrenzing naar zee zijn van de de helling opwaarts werkende kracht der golven. Materiaal dat buiten die lijn in dieper water geraakt, zou voor het opbouwen van en het transport langs de kust voor goed verloren zijn. Het wordt volgens JOHNSON opgehoopt in een meer permanente rustplaats in dieper en kalmer water en vormt daar het „continental terrace” dat tezamen met het door de golven gevormde „abrasion platform” (brandingsplat) de „continental shelf” (continentaal plat) vormt (zie fig. 83).

De term „neutrale lijn” van CORNAGLIA schijnt weinig ingang te hebben gevonden. Teneinde verwarring te voorkomen zou ik een „eerste” en een „tweede” neutrale lijn willen onderscheiden. De „eerste” buitenste, die van CORNAGLIA, gelegen daar waar de opkruisende werking van de golven op den bodem een aanvang neemt, zeewaarts, waarvan een gedeelte van het door de golven opgewoelde materiaal meer tot rust komt en het continentale terras opbouwt.

<sup>1)</sup> CORNAGLIA, P., Bericht auf den X. Intern. Schiffarts-Kongres, Milano 1915. *Nature*, XLV, 1892. *Sul Regime delle Spiagge e sulla Regolazione dei Porti*. Torino, 1891.

<sup>2)</sup> STOKES, G. G., *On the Theory of Oscillatory Waves*. Report on Recent Researches in Hydrodynamics, Mathematical and Physical Papers, I, 1880.

<sup>3)</sup> AIRY, G. B., *On Tides and Waves*. *Encyclopaedia Metropolitana*, V, 1848.

<sup>4)</sup> HEISER, Ueber die zweckmässige Anordnung der äusseren Hafendammen von Seehafen an sandigen Küsten. *Zeitschr. Bauwesen* 1920.

<sup>5)</sup> BOSCHITSCH, P. K., *Nachrichten des Zentralbüros für Hydrometeorologie*. Leningrad 1927, Bd. 7.

TABEL 10.

Profiel	Oppervlakte toename i.d. strandwal in cm <sup>2</sup> .	Oppervlakte afname in het profiel in cm <sup>2</sup> .	Verschil tusschen toe- en afname	Neutrale lijn		Golf- hoogte in cm.
				diepte in cm.	oorspron- kelijke diepte in cm.	
X 1	66	30*	+ 36	> 10		6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> - 7
XII 1a	81	127	- 46	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5-5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	b	105	- 92	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	
XIII 1a	77	175	- 98	5	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2
	b	61	- 64	5	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
XIV 1a	136	142	- 6	7	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4
	b	84	- 96	6	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	
XV 4a	35	194	- 159	3	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	4
	b	73	- 192	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2	
XVI 1a	78	148	- 70	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	b	58	- 81	5	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
XVII 2a	-					2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
	b	46	- 42	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5	
XVIII 1a	83	105	- 22	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
	b	45	- 83	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	
XIX 1a	53	73	- 20	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	b	12	- 41	5	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	
XX 2a	44	31	+ 13	> 7		3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	b	44	- 34	7	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
XXV 2a	118	48-26	+ 96	> 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
	b	-				
XXVI 1a	48	- 26		8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	b	13	- 132	2	0	
	c	32	- 34	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	
	d	21	- 33	> 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		

\* Deze cijfers geven de som van de toe- en afname van het profiel voor den strandwal, uitgezonderd profiel XXV, 1a, XXVI, 1a en d, waarin de oppervlakte-toename afzonderlijk, met een negatief teeken, is vermeld.

De tweede neutrale lijn, die ingevoerd bij de experimenten, daar waar de abradeerende werking van de golven overgaat in een opbouwende.

Door in de profielen de toename van het zandoppervlak boven en

de afname onder de tweede neutrale lijn met elkaar te vergelijken, krijgt men een indruk van de ligging van de eerste neutrale lijn (zie tabel 10). Zoo was in proef X (zie fig. 25) de toename van het oppervlak aan het einde van het profiel nog niet gecompenseerd door de afname en moet door de golven van 6 tot 7 cm hoogte al het zand voor het opbouwen van den strandwal van dieper dan 10 cm omhoog zijn gebracht.

Bij de verdere profielen moet rekening worden gehouden met het zijdelingsch zandtransport. In de rechter profielen is niet al het zand opgehoopt in den strandwal afkomstig van de erosie van de voorgelegen helling. In de profielen XIIa en b (zie fig. 32) ligt de eerste neutrale lijn op 6.5 cm diepte bij een golfhoogte in proef XII van 5 tot 5.5 cm. In de profielen XIIIa en b (zie fig. 35) daarentegen ligt de eerste neutrale lijn op 5 cm diepte, zoodat golven van 2 cm hoogte vanaf een diepte  $2\frac{1}{2}$  maal zoo groot al het zand omhoog hebben gebracht. De eerste neutrale lijn in profiel XIVa en b (fig. 38) ligt bij golven van 4 cm hoogte resp. op 7 en 6 cm diepte. Het zijdelingsch transport komt hier tot uiting in een schijnbaar diepere ligging van de eerste neutrale lijn rechts, wat eveneens het geval is in de profielen XVIa en b (fig. 45) met 5.5 cm en 5 cm bij een golfhoogte van 2.5 cm en in de profielen XVIIIa en b (fig. 52) met 8.5 en 4.5 cm.

De eerste neutrale lijn van profiel XVIIb bevond zich op 6.5 cm diepte. De rechter profielen van de proeven XX, XXV en XXVI waren over verreweg het grootste deel opgehoogd, dank zij de zandophooping door het zijdelingsch transport.

Uit het bovenstaande volgt, dat de eerste neutrale lijn maximaal op ongeveer  $2\frac{1}{2}$  maal de golfhoogte onder het stilwaterpeil ligt. Een uitkomst waaraan ik geen definitieve maar een voorloopige waarde toe zou willen kennen. Waarschijnlijk is die uitkomst zeer goed in overeenstemming te brengen met de reeds eerder genoemde diepte-liggingen van de lijn in verschillende zeeën in verband met de daarin voorkomende gemiddelde golfhoogten.

De volgende twee paragrafen behandelen het transversaal en zijdelingsch zandtransport teneinde een inzicht te geven in de herkomst van het zand in de natuur voor het opbouwen van strandbanken en vrije strandwallen gebruikt.

#### *Het transversale zandtransport.*

In de vorige paragraaf is over de zandbeweging het strand op reeds een en ander medegedeeld.

Dat in de proeven zand van het strand naar dieper water verdween, wordt waarschijnlijk door de verplaatsing helling-afwaarts van het puimsteengrind in de laatste proevenreeks. Het moet plaats vinden overal op de bodemhelling waar de voorwaartsche componenten van de golfbeweging overtroffen wordt door de samenwerkende achterwaartsche componenten en de zwaartekracht. Bovendien zal ook de hydraulische onderstroom, die ontstaat als gevolg van de opstuwung aan de kust, materiaal de helling af kunnen vervoeren. Het niet door het strandwaloppervlak gecompenseerde deel van de profielafname geeft een aan-

wijzing over dit transport, dat in de proeven met een 2° helling veel groter blijkt te zijn dan in die met een 4° en 6° helling.

Uit de plattegronden van de proeven III en X (zie fig. 19 en 26) blijkt, dat bij een 4° en 6° helling de waterlijn weinig werd verplaatst. De later te bespreken plattegronden van de proeven met scheeven golfoploop toonen hetzelfde en bovendien een sterke voorwaartsche verlegging van de waterlijn bij een 2° helling. De strandwal, die hier blijkens de oppervlaktebepaling gemiddeld groter is dan bij de andere hellingen, wordt minder ver de helling opgedreven.

Van groot belang in verband met het bovenstaande zijn de onderzoekingen van de B. E. B. (lit. 20 par. 3/33 tot 3/40).

Metingen van de horizontale componenten op 2 tot 15 ft. diepte toonden aan, dat de voorwaartsche componenten van de golven sneller maar korter van duur was dan de achterwaartsche. Nimmer waren beide bewegingen even sterk. In het algemeen overheerschte de zeewaartsche beweging de landwaartsche, hoewel soms het tegenovergestelde optrad.

De gemiddelde snelheid van de voorwaartsche beweging bedroeg 1.33 ft. per sec., van de achterwaartsche 1.29 ft. per sec., de maximale snelheid was dikwijls 5 ft. per sec., snelheden, groter dan de door GILBERT (lit. 14) gevonden kritische snelheid voor de zandbeweging van 40 ft. per minuut. De beweging van de waterdeeltjes is dus in staat zand in beweging te brengen.

Locale erosie van een strand kan een gevolg zijn van:

- 1°. direct zandtransport van het strand naar diep water als gevolg van golfwerking, onderstroom, etc.;
- 2°. transport langs het strand naar een ander strandvak.

„Evidently the question turns to a large extent, on whether wave action alone, in the absence of drift, will produce a net movement of sand in either direction between a beach and deep water.”

De B. E. B. onderstelt in het geval van een geringe subaquatische helling „it seems probable that the elimination of longshore drift would result in some beach material being thrown up by the waves into berms on other formations above low water level” (lit. 20 par. 3/39). Bij steilere subaquatische hellingen zou het omgekeerde plaats vinden.

Een definitief antwoord kan de B. E. B. echter niet geven, laboratorium experimenten zouden volgens haar meer licht kunnen verschaffen.

Afgaande op de resultaten van mijn proeven kunnen we deze vraag grootendeels als opgelost beschouwen. In aanmerking genomen, dat volgens de Nomenclatuur in het Interim Report gebruikt (zie fig. 83), de „beach” zeewaarts door de laagwaterlijn is begrensd, ligt bij de proeven de grens van het strand in engeren zin bij de waterlijn. Bij alle proeven, ook die waarin „drift” ontbrak, vond uitsluitend door de golven zandvervoer omhoog naar dit strand toe plaats.

Om de invloed van de helling volkomen vast te leggen, zullen verdere proeven met steilere hellingen moeten volgen.

Moeilijker te beantwoorden is de uitbreiding van dit vraagpunt, n.l. of de litorale zone, d.i. de zeebodem van het continentale plat (in het

Inter. Rep. verkeerdelijk „ocean bottom” genoemd) „for some distance offshore”, een belangrijke bron van materiaal is voor het opbouwen van een kust door de golven.

Geen van de experimenten van de B. E. B., o.a. de hierboven vermelde metingen van de componenten der golven, geeft directe uitkomsten over krachten die zand van of naar het strand kunnen vervoeren, waarbij echter opgemerkt werd dat ook geen der onderzoeken in ruw water werd verricht. Een uitzondering hierop vormt een experiment met houten ballen, zoodanig met lood verzwaard dat zij dezelfde zinksnelheid als zand bezaten, die 2000 ft. uit de kustlijn in zee werden gebracht, waarvan geen enkele op het strand werd teruggevonden. Een experiment waaraan m.i. geen groote waarde kan worden toegekend, in verband met het zandtransport in ribbelvorm. Toch wijzen waarnemingen van de B. E. B. erop dat „in certain cases such movements do occur”.

Alle waarnemingen, waaronder dagelijksche peilingen, wijzen op een zandbeweging in het algemeen evenwijdig aan de kust. Toch acht de B. E. B. het mogelijk, dat de litorale drift de directe materiaalbron voor strandvorming, periodiek wordt versterkt door toevoer van zand uit de diepere „offshore”-zone en verzwakt door terugkeer van zand naar dit rustiger gebied, hoewel „if this occurs it is probably in an erratic fashion” (lit. 20 par. 6/24). Een uitzondering moet worden gemaakt voor die gevallen waarin groote ondiepten uit los materiaal bestaande zich voor een open kust in de „offshore” zone bevinden. Grootere hoeveelheden kunnen dan op het strand worden gebracht. De slot-conclusie van de B. E. B. luidt: „The most important conclusion from the practical viewpoint of those designing beach-protective structures is that the seabottom offshore cannot be counted on as a source of beach-building material” (lit. 20, par. 6/18 en 6/19).

Een tegenstelling met het bovenstaande vormen de gevolgtrekkingen waartoe onderzoekingen van de Duitse Oostzeekust hebben geleid.

DEECKE stelt het glaciële karakter van de groote banken (Plantagenet-Grund, Adler-Grund, Oder-Bank en Stilo-Bank) vast en berekende globaal de geweldige zandmassa's die zij voor de vorming van de achterliggende kust hebben geleverd (Lit. 9).

„Durch die Litorina-Senkung und die damit verbundene Abhobelung dieser verschwindenden grossen Landstriche wird die Anspülung der unendlichen Sandmassen verständlich”; en eenige bladzijden verder: „Die vordringende See musste alles transportfähige Material landeinwärts treiben”.

Zonder twijfel spelen volgens DEECKE bij de verdeeling van dit zand de overheerschende windrichting en de daardoor beïnvloede kuststroomen een rol.

OTTO verdedigt het standpunt van DEECKE over de functie van de Plantagenet-Grund in het ontstaan van de Dars en Zingst (Lit. 31). De buitengewoon geringe helling varieerend van 7' tot 46' in de „äusserste Litoralzone” (d.i.: de zone zeewaarts van de „Schorre”), kan z.i. geen bezwaar zijn voor het transport van sedimenten van den zeebodem naar de „Schorre”. Moeilijker te beslissen acht hij de vraag of op grootere diepte dan 10 m. de bewegende krachten sterk genoeg zijn. Een be-

denking die, zooals we in de volgende bladzijden zullen zien, ongegrond is. Als werkzame factoren van „litoraler Bedeutung” worden stroomen en golven in wisselwerking optredend beschouwd. „Ihre morphologische Tätigkeit ist die Verfrachtung des Meeresbodenschuttes, die in unserem Gebiete im wesentlichen gegen die Küste hin erfolgt, im Bereich der Küstenströmung längs derselben eine Ablenkung erfährt und dort besonders lebhaften Charakter annimmt”. (Lit. 31 blz. 391).

Dezelfde overtuiging is HARTNACK toegedaan: „Sande dieses letzten Ursprunges (de zeebodem en vroegere Diluviale eilanden en banken) werden wohl vornehmlich die weiter draussen und schon in etwas grösserer Tiefe gelegenen Riffe aufbauen”. (Lit. 17 blz. 48).

Hoewel misschien de Plantagenet-Grund, slechts door een 10 m diep gebied van de kust gescheiden en de Oder Bank, binnen de 20 m lijn gelegen, maximaal tot 7 m diepte oprijzend en door een 13 m diepe geul van de kust gescheiden, min of meer tot de z.g. „offshore shoals” kunnen worden gerekend, waarvoor de B. E. B. een uitzondering maakt, is dit zeer zeker niet het geval voor de Stolpe-Bank, die begrensd door de 40—50 m lijn oprijst tot 15 m en van de kust gescheiden is door een geul van meer dan 30 m diepte.

DEECKE vermoedt dat zijn opvatting eveneens op de Noordzee van toepassing is. POPPEN heeft een onderzoek in deze richting ingesteld (lit. 32). In het algemeen heeft de bodem van de Noordzee een zandig karakter.

Waarnemingen van zeelieden, dat stormgolven op de Noordzee uit een diepte van 50 m zandkorrels aan dek spoelen, worden als bewijs aangevoerd dat deze golven zand van den zeebodem opwoelen (KRÜMMEL, O., Handbuch der Ozeanographie I). Meer van dergelijke waarnemingen leidden POPPEN tot de volgende conclusie:

„Es ist mithin gewisz keine gewagte Behauptung, dass der N-, NW- und W-Wind schon bei mäsiger Stärke Sandmassen an unsere Küste (de kust van de Deutsche bocht) verfrachtet, auf dem Boden die gröbereren Sände, nach oben hin von „grob” zu „fein” allmählich abnehmend, jene vielleicht ruckweise, die Ständig in der Schwebe. Wegen der überaus flachen Böschung unseres Kontinentalsokels wird es den Wellen ein leichtes sein, die Sände hinauf zu befördern.” (Lit. 32 blz. 289).

Er zijn vele feiten te vinden die POPPEN in zijn meening ondersteunen. De diepte van de Noordzee, die ten S. van 54° N.B., uitgezonderd in de Diepe Geul, en Noordelijker in het Oosten nergens meer dan 40 m bedraagt, is zoo gering dat vaststaat dat materiaal van den zeebodem door de golven in beweging wordt gebracht.

De maximale diepte, waarop golven op den zeebodem inwerken, is aanzienlijk grooter. Van de talrijke bewijzen hiervoor betrekking hebbende op de Noordzee is de studie van THOMAS STEVENSON<sup>1)</sup> het meest overtuigend. Bij het vergelijken van de diepte, waarop in de Noordzee slib sedimenteert en de sterkte van de golfwerking op die plaatsen, vond

<sup>1)</sup> STEVENSON, THOMAS, The Design and Construction of Harbours. Edinburgh 1886.

hij dat deze diepte in vrijwel even sterke mate als de golfwerking toeneemt. De bovengrens van de slibsedimentatie is dus een maat voor de maximale diepte van de golfwerking.

In de beschutte gebieden van de Noordzee, waartoe de Moray Firth, de Firth of Forth en ook de Nederlandsche kust in het smalle zuidelijke deel van de Noordzee wordt gerekend, reikt de golfwerking tot 25, 50 of 100 ft. In de meer open gedeelten treedt een aanmerkelijke opwoeling op bij 300—500 ft. en grootere diepte.

Een sterke opwoeling van den zeebodem is echter voor zandtransport verre van noodzakelijk en komt onder normale omstandigheden buiten de branding ook niet voor, zooals uit waarnemingen van de B. E. B. blijkt (zie volgende par. blz. 323). Zelfs de zwakste stroomen kunnen dit transport bewerkstelligen, wanneer door de golven voortdurend of tijdelijk door iedere golf zand in suspensie wordt gebracht.

Indien de stroomen gunstig zijn, zooals in de Duitsche bocht het geval schijnt te zijn, kan materiaal van het continentale plat door de gezamenlijke werking van golven en stroomen naar bepaalde kustgedeelten worden gebracht en dit materiaal daarna door de litorale drift naar andere kustgedeelten worden vervoerd.

Het is m.i. niet juist materiaal, dat eenmaal van het strand in de diepere „offshore” en op het continentale plat is geraakt, voor de kustvorming als voor immer verloren te beschouwen. Eerst nadat het materiaal over den rand van het plat den oceaan-bodem heeft bereikt, is dit het geval. Wel is waar, dat het transport van materiaal naar de kust toe, nog een volkomen onberekenbare factor is in de kustontwikkeling.

Het zou de moeite loonen te trachten langs experimenteele weg meer licht in al deze problemen te brengen. Modelproeven met gekleurd zand, in het groot onuitvoerbaar wegens de daarvoor vereischte hoeveelheden, zouden kunnen oplossen van welke diepte zand door de golven omhoog kan worden gebracht.

De bovenstaande conclusies zijn schijnbaar in tegenspraak met hetgeen in vorige paragrafen bij de bepaling van de ligging van de neutrale lijn van CORNAGLIA omtrent het transversale zandtransport is vastgesteld. Aan de volkomen theoretische neutrale lijn van CORNAGLIA kan in de natuur geen groote beteekenis worden toegekend. De proeven vormen te dien opzichte een bijzonder geval. Hierin moeten de golven, bij de poging een evenwichtsprofiel te doen ontstaan, zeer veel materiaal verplaatsen, te veel om omhoog te werken en tot een strandwal op te bouwen. Dientengevolge wordt een gedeelte beneden de denkbeeldige eerste neutrale lijn, de helling afgevoerd en een ander deel de helling op. Dit zet zich voort totdat een evenwichtsprofiel is ontstaan. In de verdere ontwikkeling is de eerste neutrale lijn, ook in de natuur, van geen belang. Indien geen materiaal-toevoer plaats vindt, wijkt het evenwichtsprofiel in zijn geheel langzaam terug doordat tengevolge van het transport van de fijnste vergruizingsdeeltjes, het slib, van de kust naar diepwater materiaal-verlies optreedt. Waar materiaal-aanvoer plaats vindt, verschuift het evenwichtsprofiel in zijn geheel zeewaarts.

Aan een in evenwicht verkeerende kust kan tijdelijk onder bepaalde omstandigheden materiaal van buiten de eerste neutrale lijn omhoog

worden gewerkt en onder andere omstandigheden misschien weer daar naartoe worden gebracht. Indien ook na het instellen van een evenwichts-profiel de eerste neutrale lijn denzelfden rol bleef spelen, dan zou tengevolge van het materiaaltransport zeewaarts en landwaarts de helling steeds toenemen; deze neutrale lijn is dan echter een grenszone tusschen den relatief rustigen zeebodem en het onrustiger kustgebied.

*Het zijdelingsch zandtransport.*

In de literatuur van ouderen datum vindt men als oorzaak van dit aan vele kusten plaats vindende transport alleen vermeld de „Küstenversetzung” van PHILIPPSON<sup>1)</sup>, ook wel naar KRÜMMEL<sup>2)</sup> „Strandvertriftung” genoemd.

De waterdeeltjes in den oploop en terugloop van de golven na het breken beschrijven onder invloed van den zwaartekracht concentrische parabolische banen (THOULET<sup>3)</sup>). Het door den oploop en terugloop meegevoerde materiaal beschrijft eveneens parabolen en wel grootere naarmate de korrelgrootte kleiner is. De snelheid van het transport hangt dus af van de korrelgrootte, s.g. en den vorm.

Dit verschijnsel werd het eerst opgemerkt door PALMER<sup>4)</sup>, die aan de waterdeeltjes een zigzag pad toeschreef.

Terecht bracht CORNAGLIA<sup>5)</sup> naar voren, dat het materiaal op de helling van den zeebodem voor het strand, bij het passeeren van nog niet brekende oscillatie golven scheef op het strand gericht, dezelfde parabolische beweging uitvoert.

In de latere literatuur (lit. 16, 20, 25, 35) wordt onderscheid gemaakt tusschen de zandverplaatsing langs het strand, de z.g. strandverplaatsing en het transport dat over den zeebodem voor het strand plaats vindt. JOHNSON voerde voor het eerste den naam „beach drifting” in en voor het tweede „which takes place in the shallow water seaward from the beach” en werd opgewekt door stroomen dicht voor het strand, den naam „longshore drifting”. Beide tezamen noemde hij „shoredrift” (lit. 25 blz. 94).

De B. E. B. heeft de tweede wijze van transport „offshore drifting” genoemd en toegeschreven aan een litorale stroom, terwijl „beach drifting sand” en „offshore drifting sand” worden samengevat in „litoral drift” (lit. 20 par. 5/8). Welke laatste naam m.i. de voorkeur verdient boven „shore drift”, daar het transport niet alleen over de „shore” maar eveneens over „shoreface” en „offshore” van JOHNSON zijn weg vindt.

Volgens TIEDEMANN is de „Küstenstrom” een oppervlaktestroom langs de kust die alleen te zwak is om erodeerend op den bodem te werken, maar het bewegelijke, door de branding in suspensie gebrachte zand verplaatst (lit. 35).

<sup>1)</sup> PHILIPPSON, A., Die Typen der Küstenformen, Richthofen-Festschrift 1893.

<sup>2)</sup> KRÜMMEL, O., Handbuch der Ozeanographie II.

<sup>3)</sup> THOULET, J., L'Océan, ses Lois et ses Problèmes.

<sup>4)</sup> PALMER, H. R., On the Motions of Shingle Beaches. Phil. Trans. o. t. Royal Society CXXIV, Part. I, 1834.

<sup>5)</sup> CORNAGLIA, P., Sul Regime delle Spiagge e sulla Regolazione dei Porti. Torino 1891.



Uitgebreide metingen van de getijstroomen en de door den wind opgewekte stroomen, door de B. E. B. op 600 ft. uit de kust in water van 15 ft. diepte op 1 ft. boven den zeebodem verricht, bewijzen hetzelfde voor de N. Jerseykust (lit. 20). Beide bleven respectievelijk met 5.2 ft. per min. en 17 ft. per min. ver beneden de kritische snelheid van GILBERT (zie blz. 314), en zijn dus op zichzelf te zwak om zand te vervoeren. Hiertegenover staan metingen met drijvers 10 tot 15 ft. buiten de branding, waarbij maximaal 4 ft. per sec. en gemiddeld 0.5 ft. per sec. werd gevonden, snelheden groot genoeg om zand in beweging te brengen (lit. 20 par. 3/7 tot 3/30).

In hoeverre het bovenstaande op de Noordzee met zijn zooveel sterkere getijstroomen van toepassing is, staat nog niet geheel vast. Bepalingen van de getijstroomen vanaf N. Hinder lichtschip gaven een gemiddelde vloedstroom van 45 m per min en gemiddelde ebstroom van 34 m per min, waarbij echter opgemerkt moet worden dat deze getallen betrekking hebben op oppervlaktestroomen in tegenstelling met de metingen van de B. E. B.

Dat evenals voor de N. Jerseykust de stroomsnelheid dicht bij de branding groot genoeg is om op zich zelf zand te vervoeren, kan gemakkelijk worden waargenomen.

VAN DER BURGT geeft aan, dat uit de voorloopige resultaten van het onderzoek naar het zandtransport langs de kust is gebleken, dat bij gunstige weersomstandigheden beneden de 5 m lijn het zandtransport sterk afneemt en dat dit transport vermoedelijk niet beheerscht wordt door den vrij zwakken kuststroom, doch uitsluitend door den wind en den daarmede gepaard gaanden stroom en golfbeweging in de brandingszone (lit. 4 blz. 281).

Ik stel voor den term „litorale drift” in te voeren en daarin te onderscheiden „stranddrift”, d.i. de strandverplaatsing van de Geologische Nomenclator, en „sub-aquatische drift”. Namen die herinneren aan de overeenkomstige Duitse en Engelse en de verdienste hebben aan te geven waar het transport plaats vindt.

Tijdens de proeven werden geen stroomen opgewekt en werd het zijdelingsch zandtransport uitsluitend door de scheef-oplopende golven veroorzaakt. De parabolische beweging van het water en het meegevoerde zand trad niet alleen op achter de brandingszone, maar overeenkomstig de opvatting van CORNAGLIA evenzeer in sterke mate er voor. Dit bleek daaruit, dat het voorstrand en het laagste deel van de 2°, 4° of 6° helling zich sneller aanpaste aan de richting van de golven dan het hooger gelegen strand. De rug lag dientengevolge in de oudere stadia van de proeven veelal meer evenwijdig aan de richting van de golven dan de strandwal (zie b.v. fig. 41). Vooral in den aanvang der proeven werd over een breede zone boven de branding bij iederen golfoploop en terugloop een sterke zijdelingsche verplaatsing van de watermassa's waargenomen, terwijl tengevolge van de stuwing van water op het uiterste linker stranddeel, waar de golven het sterkst inwerkten, een stroom naar rechts optrad. De asymmetrische ribbels, die op het brandingsterras ontstonden (zie fig. 46, 53, 55, 60 en 61), kunnen moeilijk alleen aan den terugloop worden toegeschreven en bewijzen het bestaan van een dergelijken stroom.

De opbouwende werking van de golven overheerschte langen tijd op de linker strandhelft de afbrekende, die noodzakelijk moet optreden tengevolge van het zandverlies door afvoer naar rechts (zie proef XV). Zooals we reeds eerder zagen verloopt de vorming van het strand links sneller dan rechts, ook dit waarschijnlijk tengevolge van de sterkere golfwerking op dit verder naar voren gelegen stranddeel.

Bij het opbouwen van den strandwal zette de stranddrift op de voorhelling in en begon daarmee de afbraak van den strandwal links. In de latere stadia van de proeven geschiedde het zandtransport hoofdzakelijk door stranddrift op de voorhelling van den strandwal. Deze stranddrift uitte zich in de wijze waarop de muien den strandwal doorsnijdend, werden dichtgewerkt. Zij bogen, in tegenstelling met de proeven met rechten golfloop, waarin ze transversaal op de strandrichting bleven, allen in meerdere of mindere mate naar rechts af alvorens geheel of gedeeltelijk te worden dichtgewerkt. Op welke wijze dit geschiedde toont proef XIV.

Het zal duidelijk zijn, dat het volkomen afsluiten van de muien in de proeven mogelijk is, doordat bij het terugwijken van den strandwal het overslaan van de golven afneemt en dientengevolge de uitgaande stroom door de muien geleidelijk verzwakt. Ware dit niet het geval, dan zou zonder twijfel de van links groeiende uitlooper in fig. 36, in een later stadium, bij zijn aanhechtingspunt met het linker strandwaldeel worden doorbroken. Het daardoor vrijgekomen zand zou zich snel naar rechts verplaatsen en zich met het rechter strandwaldeel vereenigen.

Dit nu zal in de natuur optreden, overal waar het zijdelingsch zandtransport door riviermonden of verbindingsgeulen van een lagune met de open zee wordt onderbroken. De constante zandbeweging wordt vervangen door een intermitterende, waarbij de zone waardoor het transport zijn weg vindt door den stroom uit den riviermond zeewaarts zal worden verlegd en banken worden gevormd.

Aan de hand van de plattegronden kan worden aangetoond, dat in de proeven een aanzienlijk deel van het transport boven het stilwaterpeil plaats vond.

Uit de plattegronden van de proeven met een 2° helling (zie fig. 31, 34, 37 en 42) blijkt bovendien door de groote voorwaartsche verschuiving van de waterlijn, dat een sterk zandtransport omhoog het zijdelingsche transport overheerschte (fig. 31, 37 en 42), maar dat indien de golfwerking lang genoeg voortgezet werd, de stranddrift meer op den voorgrond trad (zie proef XIII met fig. 34).

De plattegronden van de proeven met een 4° helling vertoonen in het algemeen een geringere vooruitgang van de waterlijn en wel dank zij de stranddrift rechts meer dan links (zie fig. 44, 51, 59 en 63). De strandwal is grootendeels achter de oorspronkelijke waterlijn teruggeweken, de stranddrift vindt in een hoogere zone van het strand plaats. Een uitzondering op den regel vormt de plattegrond van proef XVII (zie fig. 48), een proef die in zooverre een onregelmatig verloop had dat links een tweede strandwal vóór den eersten ontstond en over dezen transgredeerde, gelijktijdig waarmede rechts aan den strandwal reeds klifvorming optrad (zie fig. 46).

Op de plattegronden van de proeven met een  $6^\circ$  helling is de waterlijn links teruggeweken en rechts vooruitgeschoven. De strandwal is nog meer de helling opgedreven en daarmee de stranddrift op de voorhelling eveneens.

Bij de bepaling uit de profielen van den afstand van de projectie van de kamlijn der strandwallen op het wateroppervlak tot de waterlijn aan het einde van de proeven, bleek die afstand doorgaans rechts grooter te zijn dan links (zie fig. 92 diagram  $\alpha$ , waarin de profielen XX<sup>1</sup>,

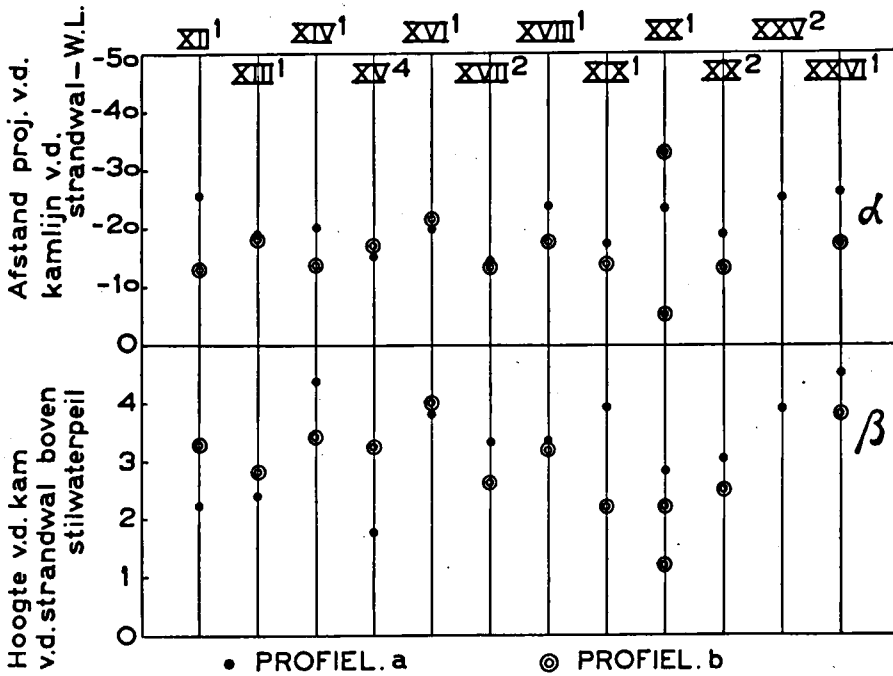


Fig. 92.

Diagram 8.  $\alpha$  de afstanden van de projecties van de kamlijnen der strandwallen op het stilwaterpeil tot de waterlijn op de aangelegde helling en  $\beta$  de hoogte van de strandwallen boven de aangelegde helling.

$a$  en  $b$  zijn opgenomen, hoewel zij geen waarde hebben). Een vergelijk van de hoogte van den strandwal links en rechts geeft in het algemeen een grotere hoogte rechts (zie fig. 92 diagram  $\beta$ ). Uit een combinatie van beide diagrammen volgt een grooter volume van den strandwal rechts tengevolge van het zandtransport langs de voorhelling. Tabel 10 op blz. 312 toont aan, dat dit in het algemeen juist is.

Dat het zijdelingsch transport vooral boven de branding plaats vond wordt nog eens duidelijk aangetoond door de ontwikkeling van proef XV (zie fig. 39, 40 en 41), waarin de strandwal evenzeer van links naar rechts groeide door de stranddrift als door het directe transport van zand uit dieper water omhoog.

Uit de proeven volgt, dat golven uit welke richting ook in de eerste

plaats zullen trachten een evenwichts-kustprofiel te doen ontstaan, gedurende welke poging het transversale transport sterk overheerscht. Het zijdelingsch transport begint meer op den voorgrond te treden naarmate het evenwichtsprofiel zijn voltooiing nadert en daarmede het transversale transport afneemt.

Quantitatieve waarden kunnen de experimenten ons over het zijdelingsche zandtransport niet verstrekken evenmin als over het transversale. Een veel dieper gaand onderzoek is daarvoor noodzakelijk en zal de verdeling van de litorale drift over de verschillende zone's van de kust onder wisselende omstandigheden kunnen ophelderen.

Teneinde de economische lengte van hoofden dienend tot bescherming van een kust te bepalen, stelde de B. E. B. een onderzoek in naar deze verdeling van de litorale drift aan de kust van N. Jersey en Californië (lit. 20, par. 7/1 tot 7/19). De totale hoeveelheid zand langs de kust vervoerd werd op verschillende afstanden van de branding bepaald door het gelijktijdig meten van de hoeveelheid zand in suspensie op verschillende diepte, de waterdiepte en de stroomsnelheid.

De uitkomsten van het onderzoek aan de kust van N. Jersey zijn samengevat in fig. 93. Aan de Californische kust bleek de totale hoe-

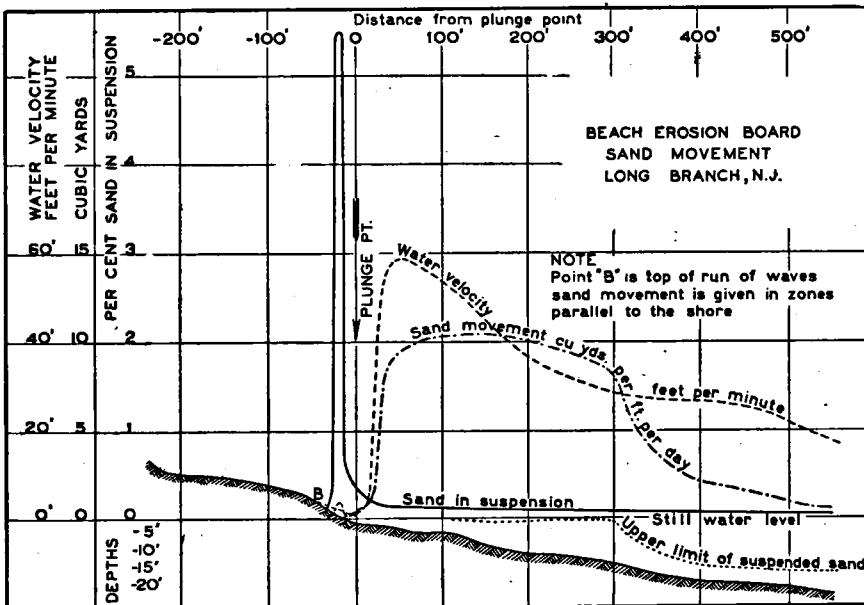


Fig. 93.

Diagram van de uitkomsten der waarnemingen, verricht door de Beach Erosion Board der V. S., over de zandverplaatsing langs de N. Jersey kust.

veelheid zand in suspensie tot 50 ft. buiten de branding minder dan  $\frac{1}{20}$  % te bedragen en in de brandingszone sterk te stijgen, zoodat 25 ft.

binnen de branding bijna 8% werd gevonden, terwijl daar het bedrag in suspensie van den bodem tot de oppervlakte constant was. De oploop is turbulent genoeg om een vrij groot deel van het zand tot aan de oppervlakte in suspensie te houden, de terugloop sleept het grootendeels zeer dicht langs den bodem mee. Verder dan 200 ft. buiten de branding werd bij golven van 2 ft. hoogte geen zand aangetroffen hooger dan 5 ft. van den bodem, terwijl verder dan 50 ft. buiten de branding aan de oppervlakte geen zand in suspensie meer werd aangetroffen.

De stroomsnelheid van 10 ft. per min, 900 ft. uit de branding, nam langzaam toe tot 26 ft. per min, 200 ft. daarbuiten, welk punt samen viel met het diepste deel van den trog tusschen het strand en een sub-marienen rug gelegen, en daalde in de branding tot 23 ft. per min. Tusschen de branding en de grens van den golfoploop bestaat geen continue stroom. Het hoogste gemiddelde bedroeg ongeveer 20 ft., binnen het brandingspunt  $\pm$  170 ft. per min. De zandbeweging werd berekend in zone's evenwijdig aan de kust en 1 ft. breed. In een zone 10 ft. boven het hoogwater-brandingspunt gelegen, was het transport 2.5 kubieke yards per getij, wat bij een getij per etmaal 2.4 kubieke yards per dag geeft. Bij de laagwaterlijn bereikte het nog 0.8 kubieke yards per dag om 100 ft. daarbuiten af te nemen tot 0.1, welk bedrag verder zee-waarts niet meer werd overschreden. Bij elkaar genomen beliep het totale zandtransport in de zone boven de laagwaterlijn 48 kubieke yards per dag, in de eerste 100 ft. breede zone zee-waarts nog 31 en in de volgende en verdere 100 ft. breede zones minder dan 10.

Deze cijfers toonen aan, dat de stranddrift een belangrijk percentage van de litorale drift inneemt. Zij bevestigen de juistheid van de waarnemingen in de proeven, dat een groot deel van de litorale drift boven het brandingspunt plaats vindt.

### **Over Strandbanken.**

#### *Aard en herkomst van het materiaal.*

Na hetgeen in de voorafgaande bladzijden naar voren is gebracht zal het duidelijk zijn, dat drie bronnen van oorsprong voor het zandige materiaal kunnen worden genoemd, n.l.:

- 1°. het strand en de kust, waaruit door afbraak materiaal vrijkomt,
- 2°. de zeebodem over een afstand verder of minder ver van de kustlijn,
- 3°. de naburige kustvakken, klifkusten die sterk van de golfaanvallen te lijden hebben en terugwijken, vanwaar door de litorale drift materiaal wordt aangevoerd.

Van den inwendigen bouw van de strandbanken is niets bekend. De doorsnede door den rug in proef XXXIII gevormd, duidde een flauw gewelfde gelaagdheid evenwijdig aan het oppervlak aan (zie fig. 82), zooals bij richting-constante golfoploop te verwachten is.

Het kan zijn dat in de verder zeewaarts gelegen strandbanken, waar veranderingen in de richting der golven zich het sterkst zullen doen gevoelen, een kriskras gelaagdheid optreedt.

*De vorm.*

Wat den vorm betreft kan ik terugwijzen op hetgeen in den aanvang van dit hoofdstuk in de definitie van HARTNACK daaromtrent werd vermeld. Zijn kennis van den vorm der strandbanken berust op een reeks van profielen, reikend tot op 10 m diepte, door de Hafengebäudeverwaltung in Swinemünde, Kolberg en Stolpmünde telkenmale in de jaren 1898, 1903 en 1908 opgenomen.

De strandbanken (ruggen) in de experimenten gevormd, vertoonden in het algemeen dezelfde gedaante.

OTTO beschikte over 52 profielen aan de N-kust van de Darss en Zingst tot 300 m uit den duinvoet reikend, op een onderlingen afstand van 250 m, welke profielen van 1907 tot 1911 ieder jaar werden opgenomen door het Königl. Wasserbauamt Stralsund-West (lit. 31). Hij vond niet steeds in overeenstemming met vroegere waarnemingen een altijd steilere landwaartsche dan zeewaartsche helling. Generaliseeren is volgens hem niet mogelijk, maar toch is in het meerendeel van de gevallen de lijhelling (landwaartsche helling) een weinig steiler dan de loefhelling.

Peilingen omtrent den vorm van de strandbanken voor de Nederlandsche Noordzeekust staan mij helaas niet ten dienste. Die in eerste en tweede zone hebben ook den boven beschreven vorm.

De waarde van de hellingen loopen volgens OTTO sterk uiteen. De steilste loefhelling bedroeg  $\frac{1}{20}$  ( $\pm 2^{\circ}.52'$ ) en de steilste lijhelling  $\frac{1}{7}$  ( $\pm 8^{\circ}.8'$ ). HARTNACK (lit. 17) vond voor een bepaalde strandbank een gemiddelde loefhelling van  $\pm 1^{\circ}.29'$  ( $\frac{1}{38}$ ) met in het steilste gedeelte  $2^{\circ}.28'$  ( $\frac{1}{23}$ ) en een gemiddelde lijhelling van  $2^{\circ}$  ( $\frac{1}{26}$ ) met in het steilste deel  $3^{\circ}.35'$  ( $\frac{1}{16}$ ). De breedte van den kam van den rug, die naar beide zijden eerst zeer flauw helde, bedroeg 30 m.

Beide maken een uitzondering voor de eerste, het dichtst bij den oever gelegen strandbank. Volgens den eersten is deze, soms minder dan vijftig m van de oeverlijn gelegen strandbank, steeds het minst duidelijk en dikwijls door een in de steilere helling ingeschakeld horizontaal of zwak hellend terras vertegenwoordigd, terwijl de tweede vaststelt dat de lijhelling, de steilere, niet de landwaartsche maar de zeewaartsche helling is, welke vorm geen uitzondering maar regel schijnt te zijn (zie fig. 94, profiel Q, W en V).

De inzinkingen tusschen de strandbanken („Rifftalen”, „Mulden”), de zwinnen van de Hollandsche kust, worden door HARTNACK nader beschouwd (lit. 17). Een constructie, grootendeels op gevoel, van den niet geleeden zeebodem, aansluitend bij den zeebodem buiten de strandbanken, als eigenlijke basis daarvan, gaf eenige profielen die een sterke overeenkomst vertoonden met de experimenteetele (zie fig. 94).

Bovendien bleek uit deze profielen het bestaan van twee soorten zwinnen:

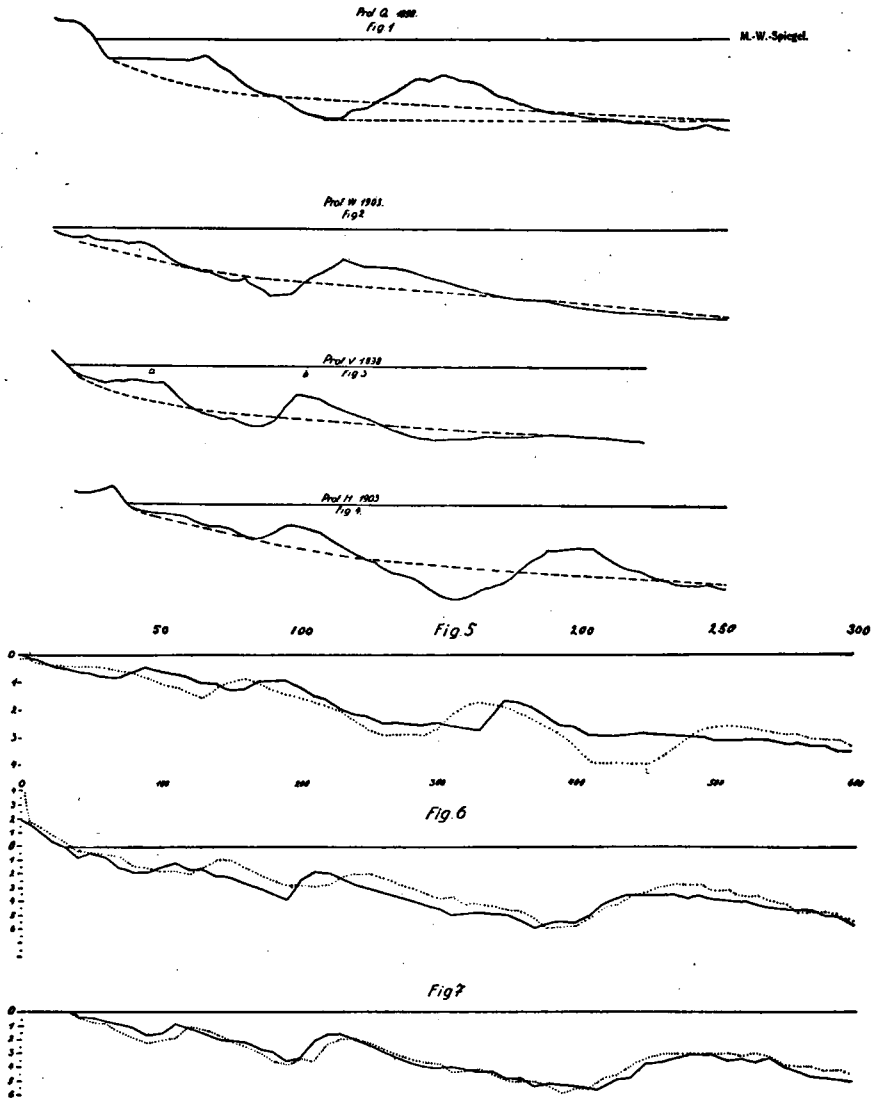


Fig. 94.

Fig. 1—4. Profielen van HARTNACK, opgenomen door de Hafenbauverwaltung in Swindemünde.

Fig. 5. Profielen van LEHMANN, westelijk van de Lebamonding. Gestippeld peiling van 15. IV. 1883; vol peiling van 16. III. 1883.

Fig. 6 en 7. Profielen van HARTNACK, oostelijk van de Lebamonding. Gestippeld peiling van 22/24. IV. 1911; vol peiling van 20/21. IX. 1911.

Alle profielen zijn 10 × verhoogd, die van fig. 1—4 zijn op een wat kleinere schaal dan de overigen. De aangegeven afstanden behooren bij de profielen eronder.

- 1°. overwegend diepe, opvallende zwinnen aan de landzijde, die tot meer dan een meter diepte onder de strandbank-basis kunnen reiken en als geulen, soms ook als afzonderlijke diepe gaten, opgevat moeten worden, zooals uit de profielen blijkt,
- 2°. in de meeste gevallen vlakke en breede, zeldzamer diepe zwinnen aan de zeezijde van de strandbanken.

Den eersten vorm kan men zich ontstaan denken binnen de eene of buiten de andere bank. In het laatste geval moet men rekening houden met de mogelijkheid, dat het zwin door de buitenste strandbank wordt opgevuld. Een andere mogelijkheid is, dat deze zwinnen zowel een „Vormulde” van de tweede als een „Rückmulde” van de eerste strandbank zijn. Een beschouwing van strandbanken aan een of beide zijden vrij gaf de oplossing van deze vragen. Van vijf en twintig aan de zeezijde vrije strandbanken bleken twaalf daar een zwin te vertoonen, een uitkomst waaraan m.i. geen definitieve waarde kan worden toegeschreven, gezien de constructie van de oorspronkelijke profiellijn. Geringe uitdiepingen van den zeebodem zullen gemakkelijk aan HARTNACK's aandacht ontsnappen. Van tien aan beide zijden vrije strandbanken vertoonden zes een min of meer duidelijk zwin aan de landzijde en vier een aan de zeezijde, terwijl bij twee aan beide zijden het zwin niet tot onder de aangenomen profiellijn reikte en dus geen werkelijke „Mulden” voorkwamen.

Deze vormen van „Vor”- en „Rückmulden” schijnen dus niet noodzakelijk tot het wezen van een strandbank te behooren, maar komen bijna zonder uitzondering voor in den diepen vorm, dus als erosie-trogen, waar een complex van verscheidene strandbanken optreedt.

Aan den voet van de lijhelling van de boven beschreven eerste strandbank bevindt zich een kleine „trog”, die onder een duidelijken hoek grenst tegen den grooteren, aan de lijszijde van de tweede strandbank (zie fig. 94, profiel V en W).

TABEL 11.  
Uit HARTNACK (lit. 17):

Sandriffzone	I	II	III	IV	V	VI
Entfernung von der Uferlinie	21	64	142	231	431	700
Differenz		43	78	89	200	260
Durchschnittl. Tiefenlage d. Riffbasis unt. Mittelwasser .....	0,81	2	3	4	6,3	9,5
Tiefenlage d. Riffculminat. unter Mittelwasser .....	0,3	0,8	16,	2,5	5,1	8,2
Durchschnittshöhe d. Riffe über mittlerer Basis .....	0,5*	1,12*	1,31*	1,65*	1,20	1,30
Häufigkeit des Vorkommens in %	13 %**	32 %	29 %	12 %	7 %	9 %

\* Diese Riffe wirken im Profil höher durch die bei diesen besondern häufigen Vor- und Rückmulden, die in den Zonen V und VI meist gänzlich fehlen.

\*\* Dit percentage heeft alleen betrekking op goed ontwikkelde zandwallen. De diepte-opgaven hebben betrekking op „mittlere Wassertiefe des seewärtigen Fusses des Riffs”.



TABEL II (vervolg).

Verdere bjeengebrachte gegevens.

Profielen	Zone I				Zone II				Zone III				Zone IV			
	Max. diepte v.h. 1e zwin	Afstand v.d. waterlijn	Diepte boven den kam	Max. diepte v.h. 2e zwin	Onderl. afstand v.d. kammen	Afstand v.d. waterlijn	Diepte boven den kam	Max. diepte v.h. 3e zwin	Onderl. afstand v.d. kammen	Afstand v.d. waterlijn	Diepte boven den kam.	Max. diepte v.h. 4e zwin	Onderl. afstand v.d. kammen	Afstand v.d. waterlijn	Diepte boven den kam	
LEHMANN (lit. 28) .....	0,80	45	0,45	1,25	45	90	0,95	2,70	85	175	1,65	3,96	90	255	2,58	
400 m W. v. d. Lebamond	terras	25	0,44	1,54	55	80	0,89	2,91	85	165	1,70	3,96	90	255	2,58	
OTTO (lit. 31) voor Zingst		30-60	0,2-0,5	1-2	60-100		0,5-2	2-4	110	170-210	1,5-2					
Diepte onder M. W. ....									max							
Inerim Report B. E. B. ...									150							
Wrightsville Beach N. Car.	1,2-1,5	± 50	0,90													
Fort Tilden, Long Island...	3,4-4,2	127,5-	2,0-2,4													
Getallen t.o.v. laagwater...		162,5														
Sea bright, N. Jersey .....	0,3-0,9	± 30														
N. Jersey kust .....		± 210														
(Seaside Heights, Ashbury		en														
Park, Long Branch).		minder														
Virginia, S van Cape Henry		± 100														
RUSSELL (lit. 34) .....		60	± 2,4	3,0-		82,5-	± 3,6			105-						
Lake Michigan .....				4,2		90				120					(Soms aanwezig).	

Afstand van de grootste diepte van het zwin tot de laagwater lijn 82,5 - 112,5 m.

Diepte lijn van het zwin ± 15 m. van de laagw. lijn.

*Aantal en ligging.*

LEHMANN stelde hieromtrent vast dat gewoonlijk een drietal aanwezig zijn, die zich als 1 m hoge wallen boven den vlakken zeebodem verheffen (lit. 28, blz. 390). Zij zijn niet overal altijd aanwezig en evenmin altijd in zeer regelmatige parallele rijen gerangschikt. De twee profielen waarover hij beschikte zijn in fig. 94 en tabel 11 opgenomen. De vorming van strandbanken is volgens hem beperkt tot vier—vijf meter diepte. OTTO (lit. 31) vond in de profielen twee tot vier strandbanken, terwijl aanwijzingen voor de voortzetting van de vorming in zwakkere mate verder zeewaarts niet ontbraken. De afstand van de kammen der strandbanken, die dicht bij elkaar komen naarmate zij de kust naderen, varieren aanmerkelijk (voor verdere gegevens zie tabel 11).

Vermelding verdient nog dat uit de reeks profielen volgt, dat de eerste strandbank twee km ten O. van Prerow, waar de kust het sterkst wordt aangetast, met het strand is vergroeid en zich naar beide zijden geleidelijk daarvan verwijderd. Op 2 km afstand westwaarts is de afstand van de oeverlijn gegroeid tot 60 m, gelijktijdig waarmede de tweede strandbank van 90 tot op 140 m afstand is gekomen. Op 7 km is de afstand van de eerste toegenomen tot 80 m en op 10.75 km tot 110 m, terwijl hier een nieuwe strandbank tusschen het strand en de eerste wordt ingeschakeld.

We hebben hier dus een geval, waarin de strandbanken niet volkomen evenwijdig aan de kust verlopen, maar plaatselijk de kust naderen, waarbij de binnensten uit kunnen vallen, om zich daarna weer ervan te verwijderen, waarbij de uitgevallen strandbanken weer ingeschakeld worden.

HARTNACK onderscheidt niet minder dan zes strandbankzones, waarvan echter meestal niet meer dan drie op elkaar volgen (lit. 17). Wanneer een z.g. „Zuwachsriff” optrad, werd dit als eerste strandbank beschouwd. De gemiddelde uitkomsten van de analyse der profielen zijn in Tabel 11 weergegeven.

De belangrijkste bepalende factor voor de ligging van de strandbanken blijkt de waterdiepte te zijn, terwijl de afstand tot de oeverlijn geen factor van invloed is, wel echter een indruk geeft van de helling van den zeebodem, welke weer voor hun ontstaan primaire betekenis heeft.

Het boven beschreven verschijnsel, dat de strandbanken de oeverlijn naderen en zich weer daarvan verwijderen, moet m.i. ook aan een verandering in de helling van den zeebodem worden toegeschreven. De helling zal daar waar de kust het sterkst aangevallen wordt het steilst zijn en dientengevolge zullen de strandbanken, wier ontstaan door de diepte wordt bepaald, daar dicht bij het strand liggen.

Overigens blijkt (zie tabel 11) de hoogte van de strandbanken vanaf de oeverlijn toe te nemen tot in de vierde zone, bij gemiddeld 4 m diepte gelegen, en daarna weer iets af te nemen. Het talrijkst zijn de strandbanken in de tweede en derde zone.

De afmetingen van de strandbanken in Lake Michigan, door RUSSELL vermeld (lit. 34), zijn eveneens in tabel 11 opgenomen.

Bovenstaande gegevens hebben allen betrekking op strandbanken in zeeën practisch zonder getijden of meren (het tijverschil bedraagt in de Oostzee bij Swinnemünde 2 cm en neemt verder oostwaarts nog af tot 0.5 cm), waarin echter door stuwing aan de kusten nog aanzienlijke niveauperanderingen kunnen optreden. Hieronder volgen enkele data over het voorkomen van strandbanken aan kusten met getijden.

De B. E. B. verschaft ons gegevens over „offshore bars and terraces” voorkomend aan de Atlantische kust van de V. S. (lit. 20) onder welken eersten naam, zooals ik in den aanvang van dit hoofdstuk reeds duidelijk maakte, ook de submariene strandbanken werden beschreven. Bijzondere aandacht wordt niet aan deze besteed. In het algemeen schijnt niet meer dan één rug op sterk wisselende afstand van de laagwaterlijn voor te komen. Slechts in een enkel geval werd meer dan een strandbank aangetroffen (zie tabel 11).

BEYER<sup>1)</sup> vermeldt een 100 m breed en ongeveer 1.5 m boven zijn omgeving oprijzend „Riff” op een afstand van 200 tot 500 m voor de Westkust van Sylt gelegen. Ervoor, zeewaarts, bevonden zich een of twee bij stormachtig weer door de branding verraden strandbanken. Ook voor de geheele kust van Jutland zouden meestal drie zulke strandbanken liggen (lit. 32, blz. 289).

Voor het kustvak IJmuiden—Noordwijk zijn, wanneer we de bij laag water veelal droogvallende maar steeds nog door een meer of minder diepe geul van het strand gescheiden wal, evenals HARTNACK in het geval van „Zuwachsriff” doet, als eerste opvatten, zeker nog twee, aan de branding of de lichtere kleur van het water duidelijk herkenbare strandbanken aanwezig. Een vierde komt waarschijnlijk ook voor. De kammen van eerste en tweede strandbank (de aangroeiingsrug buiten beschouwing gelaten) liggen, zooals bij een ruwe bepaling blijkt,  $\pm 1.25$  m en  $\pm 2.50$  m onder laag water.

#### *Theorieën over het ontstaan.*

Een kort overzicht van de oudere theorieën hierover kan in JOHNSON'S handboek worden gevonden (lit. 25, blz. 486). Betrekkelijk weinig was toen en is daarna over dit onderwerp gepubliceerd. Belangrijk zijn vooral de studie van HARTNACK (lit. 17) en de bladzijden die OTTO (lit. 31) hieraan wijdt, daar voor zoover ik kon nagaan alleen die publicaties berusten op een uitgebreide serie profielen. Wanneer we in de volgende bladzijden herhaaldelijk deze namen tegen zullen komen, dan vindt dit hierin zijn oorzaak.

HAGEN<sup>2)</sup> was de eerste die het ontstaan van een strandbank toeschreef aan het feit dat „Wo die Wellen aus der See mit den rücklaufenden Wellen oder mit dem verstärkten Rückstrom, den jede

<sup>1)</sup> A. BEYER, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste. Erlangen 1901.

<sup>2)</sup> G. HAGEN, Handbuch der Wasserbaukunst. 3. Teil, Das Meer, 1. Band. Berlin 1863.

derselben veranlasst, sich begegnen, Sandmassen zum Niederschlag gelangen."

In overeenstemming hiermede is RUSSELL's meening dat de twee, somstijds drie, zandruggen langs de oevers van het Michiganmeer opgevat kunnen worden als accumulaties van de afbraakproducten der kust langs de lijnen waar de onderstroom zijn kracht verliest tijdens stormen van wisselende sterkte. Hij merkt daarbij op, dat de ontwikkeling van deze vormen nog niet vastgesteld is (lit. 34).

GILBERT gaf een nauwkeuriger beschrijving van de wijze waarop de vorming plaats vindt: „Under conditions not yet apparent, and in a manner equally obscure, there is a rhythmic action along a certain zone of the bottom. That zone lies lower than the trough between the greatest storm waves, but the water upon it is violently oscillated by the passing waves. The same water is translated lakeward by the undertow, and the surface water above it is translated landward by the wind, while both move with the shore current parallel to the beach. The rythm may be assumed to arise from the interaction of the oscillation, the landward current, and the undertow." (lit. 13, blz. 45). Hierbij moet worden opgemerkt, dat GILBERT den naam „undertow" zoowel gebruikt voor den stroom langs den bodem, die het water van de golfkammen bij het breken voorwaarts geworpen weer terugvoert naar zee, als voor den hydraulischen onderstroom veroorzaakt door stuwing tegen de kust. Hetzelfde geldt voor de Duitse benaming „Sog".

LEHMANN beschouwde de strandbanken als voorloopers van de strandwallen (lit. 28). Een meening steun vindend bij BRAUN die de vorming van strandbanken analoog aan HAGEN als volgt beschrijft: „Die Sandriffe bilden sich da, wo der Sog oder Rückstrom einer Wellengruppe mit den Wellenbergen der nächsten Wellengruppe zusammentrifft" en verder: „Bei dem ersten Seegang wird sich ein erstes Sandriff, vielleicht gleich zwei, bilden. Dieses erste, innerste Sandriff wird so weit landwärts verschoben, als es dem stärksten Seegang bei dem höchsten Wasserstand, der an der Küste vorkommt, möglich ist und wird dabei so hoch aufgebaut dass es bei Rückgang des Wasserstandes und Seeganges trocken fällt. Damit ist aus dem Sandriff der Strandwall geworden." (lit. 3).

Dergelijke regelmatig afwisselende onderstromen treden alleen dan op wanneer het „Vorstrand" bijna of geheel voltooid is, d.w.z. wanneer de afbraak van een klifkust zoover is gevorderd, dat het abrasievlak bedekt is met een laag klifpuin. Indien aan een kust door een negatieve niveaushuiving of tengevolge van de branding een vlakke „Schorre" is gevormd, dan is deze verder de baan voor de litorale drift en de strandbanken er op zijn geen „Aufschüttungs-" maar een „Transportvorm", te vergelijken met buizen waardoor het zijdelingsch zandtransport plaats vindt.

OTTO merkt op, dat voor de theorie van BRAUN noodzakelijk is, dat steeds op dezelfde plaats interferentie optreedt, wat echter geenszins altijd het geval behoeft te zijn (lit. 31). De voorwaarden voor interferentie zijn overal gelijk zolang niet ergens door een of andere omstandigheid op een bepaalde plaats zich bijzonder gunstige voorwaarden voordoen. Dit nu schijnt OTTO in de brandingslijn („Brecher-

zone") het geval te zijn. Bij een bepaalde hoogte van de golven zal steeds op dezelfde diepte branding optreden, wat zich bij het verdere naderen tot de kust nog meerdere malen kan herhalen. „Es ist klar, dass unter dem brandenden Wellenkamm eine Störung der fortschreitenden, wie der rücklaufigen Bewegung der Wasserteilchen eintritt: aber noch mehr, die brechende Woge kann möglicherweise zugleich am Boden erosiv wirken und vielleicht zur Ausbildung des Rifftabes beitragen, jedoch m. E. nicht des Seeseits des Riffs befindlichen, wie es Passarge andeutet, sondern der landseitig vom Riff gelegenen.”

Wanneer eenmaal op de „Schorre” strandbanken zijn gevormd, zullen de golven daar het sterkst worden gestoord, zoodat de buitenbranding bij wisselende golfhoogte altijd op ongeveer gelijken afstand van de oeverlijn op deze strandbanken plaatsgrijpt.

Nieuwe ontstaans- of vervormingsvoorwaarden zullen alleen bij buitengewoon sterke stormen optreden wanneer de zeebodem geheel omgewoeld wordt. Zij zijn zeldzaam maar bewerken een spronggewijze verandering der vormen, zooals zoo dikwijls in de morfologie niet de gemiddelde werking maar de maximale werking de belangrijkste vormgevende factor is.

Nadrukkelijk verzet OTTO zich tegen de opvatting, die uit een oppervlakkige beschouwing van HAGEN's theorie volgt, dat de golfenlengte overeenkomt met de afstanden van de strandbanken. Uit golfmetingen in de Oostzee blijkt, dat ook tusschen de lengte van de stormgolven en die afstand geen overeenkomst bestaat.

HARTNACK (lit. 17) ziet de vorming van strandbanken als een gevolg van meerdere processen:

1°. Voor de strandbanken dicht bij den oever gelegen op de wijze door BRAUN aangegeven. Deze ontstaanswijze verklaart volgens HARTNACK de ligging van de strandbanken met de lizijde, steile zijde, naar zee gericht. De vorm van deze strandbanken geeft den vormenden kracht aan. De dikwijls steile leihelling naar zee wijst op een opbouwende kracht van land naar zee gericht. Aan deze voorwaarde voldoet alleen de „Soog”, d.i. de onderstroom. „Sie sind m. E. entweder eine reine Aufschüttungsform des Rückstromes oder eine Umwandlungsform bereits vorhandener Riffe durch den „Soog”, vielleicht mit einer geringen Aufschüttung verbunden” (lit. 17, blz. 57). Deze sedimentatie bij het op elkaar stooten van den met materiaal beladen onderstroom en de naderende groep golven, kan zeer goed op een dergelijke wijze plaats vinden dat de onderstroom de eigenlijke bouwer van de strandbank is, zoodat de loefhelling aan de zijde van het strand ligt.

De steilere zeehelling van het gevormde „Aufschüttungsriff” doet een dermate sterke onderstroom ontstaan, dat aan den voet van de helling de reeds eerder vermelde kleine holte wordt uitgekolkd (blz. 324).

2°. en 3°. In het algemeen verder van de kust volgt, bij het op elkaar stooten van twee zich in dezelfde richting maar met verschillende snelheid voortplantende golfstelsels en bij den overgang van een sneller golfstelsel in ondieper water voor het snellere, een plotselinge vermindering van het transporteerend vermogen waardoor een deel van het meege-

voerde zand wordt afgezet. Dit proces wint aan intensiteit door een samentreffen met den tegengesteld gerichten onderstroom („Soog”).

4°. De vroeger als eenige strandbank vormende factor en later onderschatte of geheel verwaarloosde werking van de golven op den zeebodem.

De door de golven in orbitoidale beweging gebrachte waterdeeltjes ondervinden van den gelijdelijk opstijgenden zeebodem een niet onbetekenende wrijving, waarvan eerst een zij het zwakke erosie later echter door de vermindering van den transportkracht een afzetting van het meegevoerde zand het gevolg is. Dit proces bevordert zichzelf, doordat wanneer eenmaal een begin van een strandbank is ontstaan de watermassa's hiertegen stooten en een kleine lokale onderstroom veroorzaken die mede tot de vorming van de vlakke „Mulde” aan de zeezijde van de strandbank zal bijdragen.

Uit talrijke waarnemingen volgt, dat de eigenlijke aanvoer van het materiaal en de afzetting in ruwen vorm bij sterken zeegang geschiedt. Gewoonlijk wordt dit materiaal over vlakten (terrassen) verdeeld, alleen daar, waar de grootste omwerking van het materiaal plaats vindt, ontstaan de ruwe grondvormen van de strandbanken. De zwakkere branding onder normale omstandigheden boetseert ze in den beschreven vorm. Betreffende hun materiaal zijn de strandbanken een „Aufschüttungsform” (accumulatievorm) door hun gedaante daarentegen een door de branding gevormde „Transportform” (transportvorm) van het zand.

Vereischten voor het ontstaan van strandbanken zijn ondiep water en een flauw hellende zeebodem. De ligging meest evenwijdig aan de oeverlijn is een gevolg van het zwaaien van scheef oplopende golven in ondiep water, zoodat ze tenslotte toch recht oploopen (golfrefractie van DAVIS). In een diepte grooter dan 10 m konden nog geen strandbanken worden vastgesteld.

De tot hier toe behandelde theorieën hebben alle betrekking op strandbanken voor kusten zonder getijdebewegingen; hieronder volgen enkele onderstellingen over hun ontstaanswijze mede onder invloed van getijden.

Bij CORNISH (lit. 8, par. 13) vinden we onder den titel „Low and Ball of a Sandy Shore”, dat de vorming van een „beach ridge or Full of sand” goed te constateeren is, wanneer bij aflagigen wind zand naar het strand wordt gebracht. „The building up of a Full of sand in front of the breaker is accompanied by the excavation of a trough, or Low, at the back of the breaker”. Zonderling is wat er op volgt: „This is roughly similar to the simultaneous excavation and elevation which produces the ridge and furrow so well known as „ripplemark”.

POPPEN sluit zich bij HAGEN's theorie aan, waar rust heerscht door de ontmoeting van den oplopenden golf en de z.g. „Soog” vormt zich een zandrug met meestal steile helling zeewaarts (lit. 32, blz. 289). De ligging van deze strandbank wordt bepaald door de wisselende sterkte van den wind in combinatie met de getijden. Dit verschijnsel wordt in de allereerste plaats door loodrecht het strand naderende golven veroorzaakt, scheef oplopende golven wekken de z.g. „Küstenstrom” op.

De waarnemingen van de B. E. B. (lit. 20, par. 6/6 tot 6/16) toonen

aan, dat de strandbanken neiging hebben zich te vormen gedurende perioden van ongewoon hooge getijden, die gewoonlijk voorkomen bij ruw weer en gepaard gaan met hooge golven. Het zand in de zoo plotseling gevormde strandbank opgehoopt, schijnt volgens andere waarnemingen gedurende perioden van goed weer en lage getijden weer naar het strand terug te keeren. Deze verplaatsing van zand, van het strand zeewaarts en in de tegengestelde richting, resulterend in een cyclische vorming en verdwijning van de strandbank is volgens de B. E. B. een duidelijk herkend verschijnsel. Of eenige werkelijke zandverplaatsing zeewaarts of landwaarts er het gevolg van is, staat niet vast.

In herinnering moet worden gebracht dat deze waarnemingen alleen betrekking hebben op de eerste strandbank.

#### *De aangroeiingsrug.*

Het „Zuwachsriff” van BRAUN neemt een bijzondere plaats in (zie lit. 3, „Die Form des Strandwalles”). Aan de basis van de 2° tot 4° hellende zeehelling van een strandwal ligt bij zee aan de grens van den golfoploop een tweede kleine wal, te beschouwen als de binnenste strandbank, die zijn gang van buiten naar het strand toe heeft beëindigd en nu bij den strandwal is ingelijfd. De oploop is hier de opbouwende factor, de terugloop is o.a. door het wegzakken van het water zwakker. Dit jongste bestanddeel bestaat uit een dakvormig naar land hellend vlak waarbij zich nog een steile, onder de maximale hellingshoek van het zand gelegen helling aansluit, de grenshelling van de proeven. Er binnen bevindt zich een altijd met ribbels bedekte, dikwijls nog water bevattende zone, waarachter de helling van het oudere strand volgt.

OTTO ziet het ontstaan van een aangroeiingsrug eenigszins anders (lit. 31, blz. 427). Wanneer lage waterstanden heerschen, bouwt de branding aan de naar buiten verschoven oeverlijn, die dan bij de eerste strandbank aansluit, een strandrug op, die weliswaar bij stijgend water weer vernietigd wordt, maar daarbij een belangrijke zandbron is voor een ophooging van het achterliggende strand.

Bij langdurige lage waterstanden kan de aangroeiingsrug zoo hoog opgebouwd worden, dat het „Mittelwasser” er niet meer bovenuit stijgt en de oeverlijn dan dus sprongsgewijs dikwijls tientallen meters zeewaarts wordt verschoven. De inzinking achter den aangroeiingsrug blijft als afgesloten lagune bestaan, die op den duur uitdroogt of verzandt. De basis van een dergelijke aangroeiingsrug is voor de Prerowbocht als een gesloten wal evenwijdig aan de kust te vervolgen, die echter bijna nooit over zijn geheele lengte droogvalt. Schildvormige, niervormige of anders gevormde deelen rijzen uit het water op en zijn dikwijls door zandtongen met het „Mittelwasserstrand” verbonden.

HARTNACK sluit zich aan bij BRAUN's meening, dat de aangroeiingsruggen het midden houden tusschen strandbanken en strandwallen. Uit hun aan- of afwezigheid zijn geen gevolgtrekkingen te maken omtrent een algemeene aangroeiing of achteruitgang van de kust.

*Eenige opmerkingen over bovenstaande theorieën naar aanleiding van de proeven.*

Onbevredigend zijn voor mij die theorieën, waarin het ontstaan van de strandbanken uitsluitend toegeschreven wordt aan de ontmoeting van de oplopende golven en de z.g. „Soog”. Zij geven geen dieper inzicht in het mechanisme van de vorming. Meer verdienste heeft de poging van OTTO de branding in dit proces te betrekken. Zijn verklaring voor het ontstaan van strandbanken door het vastleggen van de interferentie van de golven en den onderstroom in de brandingszones raakt de kern van het probleem der strandbankvorming. Hij komt m.i. de waarheid zeer nabij door de branding niet te beschouwen als een gevolg, maar als een oorzaak van het ontstaan der strandbanken.

Met HARTNACK's verschillende wijzen om de vorming van strandbanken te verklaren, kan ik slechts ten deele instemmen. Het is m.i. onjuist het ontstaan van de strandbanken dicht bij het strand gelegen toe te schrijven aan de „Soog”. De steilere zeehelling is daarvoor geen bewijs. De afzonderlijke culminaties, die tijdens de proeven geheel sub-aquatisch ontstonden, vertoonden een steilere helling aan de voorzijde en werden niettemin door de golven hoger opgebouwd en achterwaarts gedrongen. Het verschil tusschen de landwaartsche en zeewaartsche helling wordt veel geringer wanneer we ze niet t. o. v. een horizontaal vlak beschouwen maar t. o. v. de strandbankbasis die hier onder een grootere helling ligt. Het lijkt mij toe, dat deze vorm de normale vorm is van een strandbank, die dicht bij het strand in zeer ondiep water door de golven opgebouwd en langzaam teruggedrongen is. De geringe helling landwaarts moet een gevolg zijn van het feit, dat deze helling in zijn geheel evenals in de proeven een sedimentatie-oppervlak is.

De overgang van de strandbank in een vrijwel horizontaal terras, een vorm die de eerste strandbank dikwijls aanneemt (zie blz. 324), is een logisch gevolg van de opvulling van de oorspronkelijk daarachter gelegen inzinking. De steilere helling zeewaarts kan bovendien door eroderende krachten worden veroorzaakt en dus op een vernietiging van een gevormde strandbank wijzen. In een later stadium kan de hydraulische onderstroom door uitschuring aan het ontstaan van een steile helling medewerken.

Over de waarde van het tweede proces van HARTNACK betreffende de vorming van strandbanken in de dieper gelegen zones, verschaffen de proeven ons geen inlichtingen. Als bezwaar tegen een derde vormingswijze moet worden aangevoerd, dat niet is vermeld of de plotselinge vermindering van het transporteerend vermogen door het breken van de golven wordt veroorzaakt.

De vierde factor voor het ontstaan van de strandbanken vindt steun in de resultaten van de experimenten en moet naar mijn meening als de hoofdoorzaak worden beschouwd.

Tijdens de proeven werd zand van het voorstrand omhooggewerkt en door de branding naar den opgroeienden strandwal vervoerd. Het transporteerend vermogen van de golven neemt naarmate de diepte afneemt voortdurend toe tot de branding is bereikt en de golven breken. Daar vindt een plotselinge afname van dit vermogen plaats, meer



materiaal wordt aangevoerd dan na de branding kan worden vervoerd. De branding moet dus worden beschouwd als de oorzaak van het ontstaan der strandbanken. De factoren waar de branding in zijn ligging van afhankelijk is, zijn reeds eerder nagegaan. Het zal duidelijk zijn dat de onderstroom, één van die factoren, langs dezen weg invloed uitoefent op de ligging van de strandbanken.

Ook indien geen onderstroom voorkomt, zullen strandbanken worden gevormd. Hij accentueert waarschijnlijk wel den vorm der strandbanken, zooals uit fig. 71 en 75 blijkt.

De zwinnen, die volgens HARTNACK tot onder het oorspronkelijke bodemprofiel reiken, zijn niet slechts in tegenstelling met de ruggen, niet opgehoogde zones van den zeebodem, maar werkelijke erosie-geulen. In hoeverre zij, indien meerdere strandbanken optreden, toe te schrijven zijn aan een herleving van het transporteerend vermogen na de branding en een herhaling van het zoojuist beschrevene of aan een erodeerende werking van de getijde- of door den wind opgewekte stroomen afzonderlijk of samenwerkend, staat niet vast. In de proeven zijn zij uitsluitend het gevolg van de uitkolkende werking van de branding, wat in werkelijkheid zeker niet het geval zal zijn. Zooals we later nog zullen zien worden de stroomen langs de kust min of meer in de zwinnen geconcentreerd. Geheel onjuist, zooals uit de proeven blijkt, is POPPEN's meening dat scheef oplopende golven een andere, geringere uitwerking zouden hebben dan de recht oplopende.

Reeds is naar voren gebracht, dat de hoogte waartoe een strandbank maximaal opgebouwd kan worden, beperkt is tot een zekere minimale diepte boven den kam, afhankelijk van de golfhoogte. Indien een strandbank tot zijn maximale hoogte is opgebouwd en daarna de golfhoogte toeneemt zonder dat de waterstand daarmee evenredig stijgt, zal een verlaging van den kam van de strandbank hiervan het gevolg moeten zijn.

Deze problemen zullen in de volgende bladzijden uitvoerig ter sprake komen.

De aangroeiingsrug tenslotte is in zijn latere ontwikkeling het product van den golfloop na de laatste branding. Het ontstaan ervan is volkomen analoog aan de vorming in de proeven, door het overheerschen van de opbouwende werking van den oploop. De over den kam slaande golven dringen hem hooger het strand op, transgredeerend over de met ribbelingen bezette inzinking erachter.

#### *Veranderingen van de strandbanken.*

Over de intensiteit van de veranderingen die in het strandbankgebied optreden loopen de meeningen uiteen. Reeds LEHMANN nam waar dat de dichtst bij het strand gelegen strandbank de talrijkste en sterkste vormveranderingen ondergaat (lit. 28). Al te eenvoudig is zijn voorstelling van de verplaatsing, n.l. dat de „Riffe” bij een loodrecht op de kust gerichte wind op de wijze van duinen naderen tot het strand. Het komt volgens hem voor, dat een strandbank met een van zijn vleugels tegen het strand aangeschoven wordt. Op grond van een tweetal profielen (fig. 94) concludeert hij dat sterke veranderingen optreden. In

het eerste profiel zou de derde strandbank zich op 165 m en in het tweede op 255 m afstand bevinden. Een nadere beschouwing van deze profielen toont aan, dat LEHMANN in het laatste de eerste strandbank, als een min of meer horizontaal terras ontwikkeld, niet meer mede rekent en daardoor tot zulke groote veranderingen komt. Het terras als eerste tellend, blijken de drie reeds aanwezige strandbanken zich over geringe afstanden landwaarts te hebben verplaatst, terwijl een vierde is gevormd. De conclusie ligt voor de hand, dat in de maand verlopen tussehen het opnemen van de profielen een stormachtige periode met hooge waterstanden en golven heerschte. Gezien het bovenstaande kunnen we aan LEHMANN's verklaringen geen al te groote waarde toekennen.

De grootere beweeglijkheid van de eerste strandbank is echter algemeen erkend.

HARTNACK schreef deze groote veranderlijkheid toe aan het feit, dat de vormende krachten hier hun grootste sterkte bereiken (lit. 17, blz. 67). De geringe hoogte vergeleken bij de verdere strandbanken is een gevolg van het zandverlies door windtransport zoodra deze strandbank boven water uitgroeit en ligt verder in den kracht die een groot deel van deze strandbank opbouwt. (Zie over het ontstaan blz. 331). Al naar gelang de „Soog” of de golven in sterkte overheerschen, zou de vorm van de eerste strandbank zoodanig zijn, dat de steilere lizijde zeewaarts of landwaarts is gelegen. Niet alle strandbanken in deze zone worden dus door de „Soog” gevormd.

De B. E. B., wier waarnemingen bijna alleen betrekking hebben op de eerste strandbank, stelde voor Wrightsville Beach, N. C., vast, dat zij zich voor- en achterwaarts verplaatste (lit. 20, par. 6/8 en 6/12) en dat bij een landwaartsche verplaatsing, zeewaarts een andere werd gevormd. Permanente strandbanken zijn aan de Board niet bekend, wel zijn er aanwijzingen dat zij aanzienlijken tijd kunnen voortbestaan en in N. Jersey en N. C. gewoonlijk op dezelfde plaats worden aangetroffen (zie tabel 11).

Over de veranderingen die de verder zeewaarts gelegen strandbanken ondervinden, zijn de opvattingen meer verdeeld. BRAUN, zich op LEHMANN beroepend, onderscheidt een beweging loodrecht op en evenwijdig aan de kust, waarbij het materiaal waaruit de strandbanken zijn opgebouwd voortdurend wisselt. Uit de wijd verspreide meening (LEHMANN, ELBERT<sup>1)</sup>, GERHARDT<sup>2)</sup> e. a.), dat de strandbanken geleidelijk de kust naderen, doordat de brandingsgolven zand van de zeehelling over den kam op de landhelling spoelen, zou een zeer onbestendige vorm en ligging van de strandbanken volgen.

OTTO houdt dit voor niet juist (lit. 31): Zijn profielen vertoonen dikwijls slechts zeer geringe schommelingen in de ligging van de kamlijnen en soms in het geheel geen verplaatsing.

Overtuigender blijkt dat onder gunstige omstandigheden de strandbanken langen tijd hun vorm en ligging kunnen behouden. Hier tegen-

<sup>1)</sup> ELBERT, J., Die Landverluste an den Küsten Rügens. X. Jahrb. d. Geogr. Ges. Greifswald, 1906.

<sup>2)</sup> GERHARDT, Handbuch des Deutschen Dünenbaues.

over staat dat in de profielen ook, maar zelden voorkomt, dat na een jaar een strandbank en zwin van plaats hebben verwisseld.

Zonder dat daarin een bepaalde regelmaat te vinden is, verschuiven de strandbanken hun kammen nu eens zee- dan weer landwaarts, waarbij de onderlinge afstanden hier constant blijven, elders toe- of afnemen. Deze onregelmatige bewegingen duiden aan dat locale omstandigheden hierop den grootsten invloed hebben. Van een wetmatige nadering van de strandbanken tot de kust is aan de ongeveer in evenwicht verkeerende kust van de Zingst geen sprake.

HARTNACK is van meening, dat waar uit de weinige ervaringen alleen met zekerheid is gebleken dat veranderingen in korten tijd, dikwijls binnen enkele uren, kunnen plaats vinden, uit profielen maandelijks of met grootere tusschentijden opgenomen, geen onmiddellijke conclusies zijn te trekken (lit. 17).

Wanneer verder van veranderingen sprake is, maakt hij onderscheid tusschen de afzonderlijke strandbank wat vorm en ligging betreft en het geheele complex van strandbanken. De eerste is de veranderlijkheid zelve, het laatste vertoont zoowel in vorm als ligging een wonderlijk conservatisme (zie tabel 11). Ook hij vond nu eens in zijn profielen geen werkelijke veranderingen, elders echter in een later profiel een strandbank waar er eerst geen lag.

Belangrijke vormveranderingen bewerkt de „Soog” die door het opwekken van wervelingen bij het stooten op de steile landhelling van de strandbank of op een naderende groep golven, de diepere troggen en gaten aan den voet van de landhelling schijnt te veroorzaken.

Deze veranderingen zijn van weinig beteekenis voor de constantheid van het geheel. Het was deze niet te bestrijden constantheid in vorm, ligging en materiaal die volgens hem, OTTO verkeerdelijk ertoe leidde grootere en relatief snelle veranderingen te ontkennen. Hiermede kan HARTNACK zich niet vereenigen.

De enkelvoudige strandbank in de tweede en verdere zones heeft een kortstondigen levensduur, dezelfde krachten die hem opbouwen breken hem later weer af. Iedere strandbank ondergaat geleidelijk of soms ook plotseling een verlaging en verbredening, m.a.w. wordt afgebroken (zie fig. 94, profiel 6) gelijktijdig waarmede de rest ervan, verder oude strandbank te noemen, een weinig naar de kust wordt verschoven. Dit proces, even gelijkmatig als het opbouwen, zet zich voort totdat een vlakke verdeeling van de zandmassa's en daardoor een geringere waterdiepte is bereikt. Veranderde omstandigheden voor de vorming van een nieuwe strandbank zijn hiervan het gevolg. Andere krachten, namelijk de „Soog”, werken de ophooging van den bodem door hun erodeerende kracht tegen.

Gelijktijdig met het geschetste proces vormt zich reeds weer een nieuwe strandbank en wel in dezelfde mate groeiend als de oude vervalt. De zandmassa's daarvan zijn deels nieuw en kunnen deels nog van de oude strandbank afkomstig zijn. Zoo heeft terzelfder tijd een materiaalwisseling plaats.

Op grond van de beschreven waarnemingen en het feit dat het ontstaan en voortbestaan van strandbanken indirect aan een bepaalde

waterdiepte is gebonden, meent hij, dat van een verschuiving van een afzonderlijke strandbank van de plaats van zijn eerste ontstaan tot aan de kust geen sprake kan zijn. Aangenomen moet worden, dat de verplaatsing een voortdurend ontstaan en vergaan is op de boven beschreven wijze. De nieuw gevormde strandbank zal door de geringere waterdiepte t. o. v. de oude verdwenen strandbank een weinig landwaarts verschoven schijnen. Indien daarentegen de zeebodem eerst geërodeerd wordt tot op de vroegere of grootere diepte, dan ligt de nieuw gevormde strandbank op dezelfde plaats als de oude of schijnt een weinig zee- waarts verschoven. In het eerste geval wijzen peilingen met langere tusschentijden genomen steeds op dezelfde plaats, waarbij 20 tot 30 m verschil geen rol speelt, een strandbank uit.

Dat bij peilingen, zooals OTTO aangeeft, steeds op ongeveer dezelfde plaats een strandbank wordt aangetroffen, moet zoo zijn, gezien de afhankelijkheid van de vormende krachten van de waterdiepte. Schommelingen van die diepte tengevolge van sedimentatie, erosie en wisselende waterstanden werken terug op de vorming van de strandbanken en uiten zich in de horizontaal variabele ligging van de zich steeds opnieuw vormende strandbanken.

De geringste verplaatsing van een volkomen ontwikkelde strandbank is de eerste stap naar zijn ondergang. „Einen gültigen Beweis für diese Auffassung kann nur eine an der selben Stelle in täglicher Folge und tunlichst bei wechselnder Windstärke gemachte Peilung ergeben.”

De verplaatsing van de strandbanken langs de kust tenslotte heeft alleen betrekking op het materiaal en veroorzaakt geen anderen vorm.

De groote veranderingen in ligging, die de aangroeiingsrug aan de Nederlandsche Noordzeekust voortdurend ondergaat, zullen een ieder reeds bij enkele waarnemingen opvallen. Opmetingen van de verplaatsingen zijn voor zoover mij bekend nooit verricht. Een verplaatsing het strand op, waarbij de aangroeiingsrug transgredeert over het steeds met ribbelingen bezette oppervlak van het er achter gelegen zwin, kan dikwijls worden waargenomen. Door welke veranderingen in de omstandigheden een zoo het strand opgedreven rug weer verdwijnt, staat niet vast. Waarnemingen maken waarschijnlijk, dat de steile maximale helling, de grenshelling, waaronder de aangroeiingsrug gewoonlijk plotseling naar het zwin afdaalt en die 40 cm en hooger kan zijn, geleidelijk in hoogte afneemt, zoodat deze rug tenslotte volkomen bij het strand aansluit. De aangroeiingsrug neemt dus in hoogte af, het materiaal verkrijgt een meer vlakke verspreiding. Soortgelijke waarnemingen hebben misschien HARTNACK ertoe gebracht hetzelfde voor de dieper gelegen strandbanken te veronderstellen.

Stormen effenen, zooals bekend, het geheele strand van hoog tot laag en doen aan den duinvoet een klif ontstaan.

De aangroeiingsrug, bij eb meestentijds droogvallend, vormt nooit een aaneengesloten geheel maar is op wisselende afstanden doorsneden door geulen, de z.g. muien, waar het water bij vallend tij zijn weg naar zee door terugvindt. Het achter den rug gelegen zwin verwijdt zich naar de muien toe trechtervormig en neemt in diepte toe, zoodat ergens dwars op de lengterichting van het strand een waterscheiding

moet liggen. De zijdelingsche verplaatsing van de deelen van den aangroeiingsrug wordt nu aangeduid door het feit, dat deze waterscheiding zich veelal niet in het midden bevindt, maar noordelijker. Het in Noordelijke richting afstromende deel van het zwin krijgt een geringer deel van den waterafvoer, is smaller en ondieper. In een verder stadium vertoont het noordelijke zwin niet meer een trechtervormige verwijding naar een breede mui, maar is de aangroeiingsrug doorsneden door een zwak meanderende erosiegeul. Bij eb van N naar S over de banken van den aangroeiingsrug gaande, kan men zich zoo plotseling gevangen vinden op het zuidelijke uiteinde van een bank door een breede, vrij diepe mui, die lang door de steile, hoge grenshelling is verborgen.

Uit het bovenstaande blijkt, dat gelijktijdig met de verschuiving het strand op, de deelen van den aangroeiingsrug noordwaarts worden verplaatst, waarbij de noordelijke uiteinden zich het eerst bij het strand aansluiten.

Dit verschijnsel zal waarschijnlijk ook gedeeltelijk moeten worden toegeschreven aan den zuidwaarts gerichtten ebstroom, waardoor de uitgaande stroom in het zuidelijk deel van het zwin wordt versterkt en in het noordelijke deel wordt tegengewerkt. De noordelijke muiën zullen door den zwakkeren uitgaanden stroom eerder aan de, in de proeven steeds gebleken neiging van de golven ze dicht te werken, ten offer vallen.

Afwijkingen komen vrij veel voor en moeten aan de invloeden van winddriften worden toegeschreven.

Over de veranderingen die in de dieper gelegen strandbanken optreden staan mij evenmin exacte, op peilingen berustende, gegevens ten dienste. Opmerkelijk is, dat wanneer na stormachtige perioden van eenige dagen normalere omstandigheden terugkeeren de eerste en tweede strandbank zich, zonder voor het oog eenige verandering in ligging te hebben ondergaan, weer door de branding die erop plaats vindt kenbaar maken. Er zijn andere overwegingen die mij ertoe hebben gebracht de strandbanken aan kusten met getijstroomen voor zeer stabiel te houden. De langs de kust trekkende getijstroomen zullen namelijk hoofdzakelijk hun weg zoeken door de zwinnen tusschen de strandbanken en daardoor iedere verplaatsing van de strandbanken landwaarts, die een vernauwing van die zwinnen tengevolge zou hebben, tegenwerken. Steun voor deze opvatting vond ik in het feit, dat de stroom metingen van de B. E. B. de aanwezigheid van stroomconcentratie in de zwinnen aantoonde (zie blz. 323 en lit. 20 par. 7). Het voorkomen van groote, soms sikkelvormige, sterk asymmetrische ribbels met een kamafstand van meer dan 2 m en 15 tot 20 cm hoogte (zie fig. 102) in de bij eb geheel of gedeeltelijk droogvallende zwinnen binnen den aangroeiingsrug, geeft duidelijk blijk van het bestaan van sterke stroomen. Zij worden gevormd onder stormachtige omstandigheden wanneer de getijstroomen groote snelheden bereiken of gedurende matiger winden evenwijdig aan de kust, die de getijstroomen versterken. (Verdere bijzonderheden zijn in hoofdstuk VI te vinden).

Wanneer uit de proeven blijkt, dat de groei van de strandbank door de hoogte van de golven is beperkt tot een bepaalde minimale

diepte boven den kam (zie diagram 1), dan volgt daaruit omgekeerd dat een strandbank geen golven boven een bepaalde hoogte, zonder dat branding optreedt, kan laten passeeren. De golfhoogte, indien te groot, wordt beperkt op dezelfde wijze als dit tijdens de proeven door de drempelplank geschiedde. Dat daarbij de kam van de strandbank aan een verlaging en landwaartsche verbredening onderhevig was, kan wel als vaststaand worden aangenomen.

Het zal duidelijk zijn, dat de buitenste vierde, misschien zelfs vijfde of zesde strandbank bij stormachtig weer en groote golfhoogte den eersten stoot opvangt en de achtergelegen zones in hooge mate beschut en voor veranderingen behoedt. Het door HARTNACK voor de Pommersche kust vastgelegde verschijnsel, dat de hoogte van de strandbanken in de vierde zone het grootst is en naar beide zijden afneemt, is hiermede niet in strijd. Integendeel, strandbanken in de vijfde en zesde zone zijn betrekkelijk zeldzaam en we mogen aannemen, dat de omstandigheden waaronder zij worden gevormd te kort van duur zijn om deze strandbanken tot hun maximale hoogte op te bouwen. Dit is eerst in de vierde zone het geval en het zijn vooral de strandbanken hiervan die de beschermende taak vervullen. Men komt zoo tot een drieledige indeeling van het strandbanken-gebied, n.l. in twee, een binnenste en een buitenste veranderlijke zone, waartusschen een veel stabielere gebied waarin een of meerdere strandbanken. Opgemerkt moet worden, dat de veranderlijkheid van beide zijden niet plotseling, maar vooral van de zeezijde geleidelijk af zal nemen.

Profielen van de Nederlandsche kust, waaraan bovenstaande veronderstellingen te toetsen zouden zijn, ontbreken. Wanneer we echter in het licht van die veronderstelling de profielen van LEHMANN nagaan, dan blijkt, dat terwijl door hooge golven een vierde strandbank werd gevormd of wat ook mogelijk is, eerst buiten het profiel gelegen, over minstens 70 m landwaarts werd verplaatst, de er achter gelegen strandbanken slechts een relatief geringe ligging- en vormverandering ondergingen.

De door OTTO aangenomen sprongsgewijze veranderingen (zie blz. 331) zullen alleen in de buitenste strandbanken sterk zijn. Niet eens ben ik het met zijn opvatting, dat de maximale krachten tijdens stormen optredend, evenals elders in de morfologie, de voornaamste vormgevende factoren zijn. Er bestaat een principieel verschil met het hoogwater van een rivier waardoor wijzigingen in de bedding worden aangebracht die bij laag water geheel buiten het bereik van de zwakkere krachten liggen. De strandbanken, de aangroeiingsrug ten deele uitgezonderd, zijn voortdurend blootgesteld aan alle vormende krachten, sterk of zwak en zullen, waar stormachtige perioden in frequentie en duur toch in de minderheid zijn, in hun vorm en ligging de normale, middelmatige krachten weerspiegelen.

Ook voor mij staat de opmerkelijke stabiliteit van het strandbank-complex wat vorm en ligging betreft vast. Een stabiliteit die in zeeën met getijden eenerzijds wordt verkleind door de wisselende waterstanden, anderzijds wordt vergroot door de werking van de getijstroomen, die verplaatsingen tegengaan. In hoeverre deze factoren tegen elkaar opwegen, is de vraag.

In zeeën zonder getijden en in meren kunnen schommelingen in de waterstanden door windstuwing aanzienlijke afmetingen aannemen. Zoo geeft HARTNACK voor de kust van Hinterpommern bij stormvloeden stijgingen van 3.5 m aan (lit. 16, blz. 69). Terwijl hooge waterstanden in den aangroeingsrug en op het strand groote veranderingen teweegbrengen, verminderen zij de inwerking van de onvermijdelijk ermee gepaard gaande hooge golven op de dieper gelegen strandbanken door de niet geringe dieptetoename. De eveneens steeds erbij voorkomende winddriften langs de kust hebben denzelfden invloed als de getijstroomen. De inwerking op de strandbanken van de hoogere golven tijdens stormachtige perioden wordt dus veelal tegengewerkt door de grootere diepte en de getijstroomen en winddriften afzonderlijk of gecombineerd.

Voor de wijze waarop HARTNACK die stabiliteit verklaart, door een voortdurend ontstaan en vergaan van de strandbanken, geven zijn profielen, zooals hij zelf reeds erkent, geen overtuigende bewijzen. Belangrijk is, dat hij een volkomen verkeerde gevolgtrekking maakt door aan te nemen, dat tengevolge van de vlakke verspreiding van de oude strandbank en het daarbij plaats vindende ophoogen van den zeebodem en ondieper worden van het water, de omstandigheden voor de vorming van de nieuwe strandbank zich in dien zin wijzigen, dat dezè dichter bij het strand ontstaat en dus t. o. v. den ouden landwaarts verschoven schijnt te zijn. In het andere geval, n.l. wanneer de zeebodem wordt verlaagd en de diepte toeneemt, zal een nieuwe strandbank dichter bij het strand gelegen zijn. De ligging van de strandbanken in eersten aanleg wordt immers bepaald door de branding, die op haar beurt wat plaats betreft afhankelijk is van de golfhoogte en de diepte. Door een ondieper worden van den zeebodem wordt bij gelijkblijvende golfhoogte de branding en dus de strandbank zeewaarts verlegd.

Met betrekking tot het materiaal zouden we kunnen spreken van een dynamisch evenwicht. Door de geringere diepte, boven, en diengevolge de sterkere opwoelende werking van de golven op de strandbanken, wordt daar meer zand in suspensie en dus onder den invloed van de zwakste kuststroomen gebracht dan in de zwinnen. De strandbanken zijn banen, waarin de litorale drift zich min of meer concentreert, dit is echter geen primaire ontstaansvoorwaarde, maar een secundaire functie. Zij zijn door BRAUN terecht vergeleken met buizen waardoor het zandtransport plaats vindt (zie blz. 330).

#### **Over vrije (losse) strandwallen.**

Deze kustvorm is in de vorige bladzijden reeds een enkele maal genoemd in verband met het ontstaan der strandbanken.

#### *Het materiaal.*

We kunnen na het vele, dat vastgesteld is omtrent de bronnen van het materiaal voor het opbouwen van de verschillende kustvormen, hier volstaan met een enkele opmerking over den aard daarvan. Het is veelal zand, waarin in Nederland als vreemd organisch materiaal veel gruis van Molluscen-schelpen voorkomt en elders veel wier.

*De inwendige bouw.*

Hiervan is weinig bekend wegens de moeilijkheden bij het waarnemen in het droge zand van de bovenlagen en het loopzand van de diepere. Vast staat wel, dat de sorteering gering is en de gelaagdheid en laagwisseling in dwarsprofiel bijna altijd evenwijdig aan de oppervlakte zijn. Kriskras gelaagdheid is alleen in de bovenste lagen, waar stuifzand den strandwal overdekt, waar te nemen.

*De vorm.*

Het materiaal wordt, wanneer verschillen in s.g. en korrelgrootte voorkomen, zonair afgezet, waarmee in den regel hellingsverschillen gepaard gaan. Aan de basis bevindt zich dikwijls de reeds eerder genoemde aangroeiingsrug. De hellingen van de strandwallen zijn reeds eerder vermeld (zie blz. 298). De hoogte van den kam is zelden juist te bepalen volgens BRAUN door de meestal aanwezige duinvorming. Alleen in geval van grover materiaal zijn getallen bekend, n.l. voor de Oostzee 2 tot 3 m, de Noordzee 4 tot 5 m en de Atlantische Oceaan 10 tot 12 m boven het abraziëvlak.

Bij het ouder worden vervagen de profielverschillen en worden de wallen vlakker.

*Het ontstaan.*

Zonder in bijzonderheden in te gaan op de verschillende theoriën die over het ontstaan zijn opgeworpen, kunnen we vaststellen dat twee tegenover elkaar staande opvattingen hieromtrent bestaan.

E. DE BEAUMONT gaf aan, hoe de golfwerking erodeerend werkt op een ondiepen zeebodem, een gedeelte van het materiaal verplaatst en dit ophoopt in een rug evenwijdig aan de kust. Hij bracht naar voren, dat deze veranderingen het submariene profiel van de kusthelling meer in overeenstemming brengen met de waterbeweging. De golfwerking heeft de neiging een evenwichtsprofiel te doen ontstaan van welke poging de vrije strandwal een gevolg is. Het materiaal, waaruit de strandwal wordt opgebouwd, is dus afkomstig van den zeebodem ervoor (lit. 1).

SHALER<sup>1)</sup> en DAVIS<sup>2)</sup> leggen den nadruk op het verband tusschen vrije strandwallen en rijzende kusten. Volgens den eerste wordt de „offshorezone” na het rijzen ondieper door de sedimentatie van het erosiemateriaal afkomstig van het land en ander materiaal door de golven omhoog gewerkt. Eerst wanneer dit ver genoeg gevorderd is, vangt de vorming van den vrijen strandwal aan. Volgens den laatste is dit niet noodzakelijk. Beide nemen aan, dat het materiaal afkomstig is van den zeebodem „offshore”.

GILBERT (lit. 13) en RUSSELL (lit. 34) daarentegen maken geen

<sup>1)</sup> SHALER, N. S., Beaches and Tidal Marshes of the Atlantic Coast. National Geogr. Monogr. I, 1895.

<sup>2)</sup> DAVIS, W. M., Die erklärende Beschreibung der Landformen. Berlin 1912.



onderscheid tusschen schoorwallen en vrije strandwallen. Volgens GILBERT's beschrijving bestaat het materiaal waaruit de vrije strandwallen worden opgebouwd uit „shoredrift” door stroomen evenwijdig aan de kust aangevoerd. De sterkste turbulentie heerscht in de branding, bij een geleidelijk stijgenden zeebodem vrij ver uit de kustlijn gelegen. De „shoredrift”, afhankelijk van de turbulentie, volgt de brandingslijn in plaats van de waterlijn en wordt zodoende tot een doorlopenden rug opgebouwd. Zoowel het strand als de strandwal hebben dezelfde functie en zijn in hun voortbestaan afhankelijk van de „shoredrift”. Indien die afgesneden wordt gaan zij verloren.

JOHNSON is eveneens een aanhanger van de theorie van DE BEAUMONT (lit. 25, blz. 355). Er zijn zeker vele bewijzen dat materiaal langs de zeezijde van vrije strandwallen wordt vervoerd, maar het is niet mogelijk de groote hoeveelheden zand opgehoopt in de vrije strandwallen van de zuidelijke Atlantische kust en de Golfoasts der V. S., afkomstig te achten van een bron aan een der beide uiteinden van die wallen, waar zij samenhangen met het vaste land of tot voor kort zoo deden. De materiaalaanvoer van deze „headlands” is zoo gering en het materiaalverlies van de strandwallen door de schurende werking der golven zoo groot, dat de strandwallen niet bestendig zouden zijn, indien niet op nog andere wijze zand werd aangevoerd. Een voldoende bron van materiaal is de ondiepe zeebodem en „the on- and offshore action of waves is alone sufficient to excavate this material and build it into bars”.

Dat dit materiaal gelijktijdig daarmede zijdelings kan worden verplaatst, valt niet te betwijfelen, maar is voor den strandwal niet van vitaal belang.

De profielen van de vrije strandwallen, gevormd volgens de theorieën van DE BEAUMONT en van GILBERT verschillen principieel. Er zijn theoretisch drie profielen mogelijk:

1. de zeebodem snijdt het zeeniveau aan den binnenoever van de lagune (fig. 95, profiel *a*). De strandwal is gevormd volgens de theorie van GILBERT;
2. het verlengde van den zeebodem snijdt het zeeniveau ver landwaarts van de lagune (fig. 95, profiel *c*). De strandwal is gevormd volgens de theorie van DE BEAUMONT;
3. het verlengde van den zeebodem snijdt het zeeniveau in de lagune. Bij een normale helling duidt dit op een ontstaan volgens de theorie van GILBERT in den meest waarschijnlijken vorm (fig. 95, profiel *b*). Bij een zeer flauwe helling van den zeebodem en dus zeer breede lagune daarentegen volgens de theorie van DE BEAUMONT (fig. 95, profiel *d*).

Een analyse van achttien profielen toonde JOHNSON dat zestien van de 2e soort waren en dus gevormd volgens de theorie van DE BEAUMONT. Hieronder waren profielen van de Kurische Nehrweg, „de Golf van Venetië”, de kust voor Terschelling, Vlieland en Ameland en van N. Carolina, Maryland, N. Jersey, N. York en Texas, waaronder een viertal door de Lagune Madre en den Padre Island-strandwal. Een van

deze laatste, met een zeer breede lagune, naderde tot de 2e soort. De twee andere profielen, van Cape Hatteras, N. Carol., waren van de 3e soort, maar de submariene kusthelling is hier zeer vlak en de lagunes zijn uitzonderlijk breed. Deze drie kunnen zoowel volgens GILBERT's als volgens DE BEAUMONT's theorie zijn gevormd, maar hebben bijzondere kenmerken die op de laatste ontstaanswijze duiden. Toch is de litorale drift een bijkomstig proces van zeer groote beteekenis.

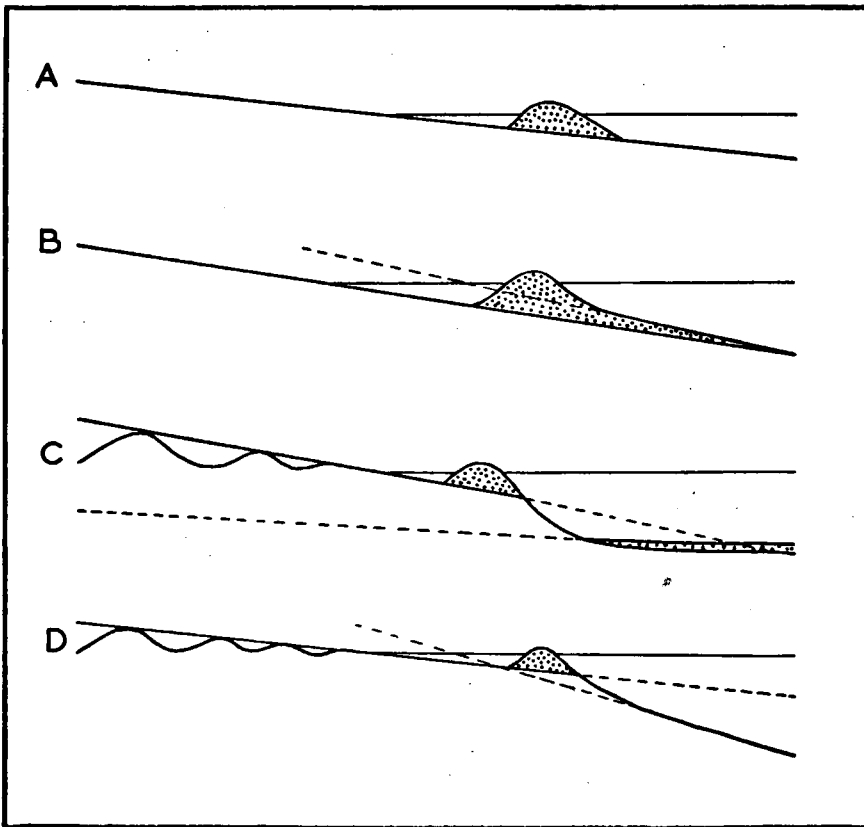


Fig. 96.

Theoretische profielen door op verschillende wijzen gevormde strandwallen (volgens JOHNSON).

Tot nieuw leven gewekt worden de opvattingen van GILBERT, zij het ook in gewijzigden vorm, door VON CHOLNOKY (lit. 7).

Wanneer de getijdestroomen sterk genoeg zijn, verhinderen zij het uitbouwen van een delta en verspreiden het materiaal daarvoor bestemd langs de kust. Zoo vormde de Rio Grande een fraai „Nehrung (Sandriff) system” van Vera Cruz tot Galveston. Dit zijn de z.g. „Seitennehrungen” van de delta. „Diese Nehrungen (Riffe) wurden bisher

nicht als Bestandteile der Delta in Betracht gezogen, trotzdem sie auffallend charakteristisch sind" (lit. 7, blz. 194).

Door het transport evenwijdig aan het strand door de golven ontstaat een „Sandriff”, zooals VON CHOLNOKY den schoorwal noemt, die wat zijn lengte en voortbestaan betreft geheel van dit transport afhankelijk is.

Het blijkt, dat VON CHOLNOKY de oostelijke Noordzeekust eveneens beschouwt als de resten van een systeem van „Flügelriffe” aansluitend bij de delta's van Rijn en Maas, Weser en vooral Elbe. Na de doorbraak van het Nauw van Calais zouden van dit groote systeem slechts de Friesche eilanden over zijn gebleven.

De proeven geven een overtuigend bewijs van de juistheid van DE BEAUMONT's theorie. Ook zonder de geringste zijdelingsche zandverplaatsing werd een strandwal gevormd. We hebben gezien hoe de losse, onafhankelijke culminaties, onder water ontstaan, geleidelijk boven stil waterniveau uitgroeiden en gelijktijdig daarmee door de golven werden teruggedrongen. We hebben bovendien gezien, dat de werkelijke hoogte van den vrijen strandwal, d.w.z. de hoogte boven het oorspronkelijke profiel, vrijwel onafhankelijk is van de golfhoogte, in tegenstelling met de hoogte boven het stilwaterniveau. De strandwal neemt niet werkelijk in hoogte toe bij grootere golfhoogte, maar wordt verder het strand op gewerkt wat een schijnbare hoogtetoename tengevolge heeft. Hetzelfde is zonder twijfel in de natuur het geval, zij worden daar echter door windtransport hooger opgebouwd. Ook een aangroeiingswal schijnt hooger, naarmate hij hooger gelegen is op het strand, dat hier eveneens een meer of minder flauw hellende basis vormt.

Met behulp van de in de proeven gevonden regels voor de hoogte van vrije strandwallen, die m.i. ook van toepassing zijn op wat hun hoogte betreft, toch eveneens van de golven afhankelijke schoorwallen, kan het zee-niveau ten tijde van de vorming van deze wallen worden afgeleid. Vereischt is hiervoor dat de golfhoogte bekend is en de juiste hoogte van de strandwallen kan worden vastgesteld. Hoewel BRAUN op de moeilijkheden van het laatste wijst, moet het toch mogelijk zijn met vrij groote nauwkeurigheid de grens tusschen de evenwijdig gelaagde primaire afzettingen van een strandwal en het kriskras gelaagde opgestoven zand vast te stellen. Het bovenstaande kan in het geval van „beach plains” (van JOHNSON, „Strandwallebenen” van BRAUN) dienen voor het bepalen van het bedrag van de daling of rijzing van een kust.

Het samensmelten van een nieuwen wal met een ouderen tot een enkelen strandwal, een verschijnsel uit de natuur o.a. beschreven door JOHNSON (lit. 25, blz. 414) werd ook onder de weinig veranderlijke omstandigheden van de proeven waargenomen.

Het zand gebruikt voor het opbouwen van de strandwallen bleek grootendeels afkomstig van de helling buiten den subaquatischen rug, die zich voor den strandwal bevond.

Dat in de proeven alle oorspronkelijk tusschen de culminaties gelegen openingen, uitgezonderd een enkele bij de muren, in den vrijen strandwal konden worden dichtgewerkt, is een gevolg van het ontbreken van getijstroomen. Duidelijk bleek hoe bij het optreden van litorale drift de mondingen van de geulen werden verplaatst.

Het belang van het zijdelingsch transport, uitgaande van een delta voor de vorming van de z.g. „Flügelriffe” van VON CHOLNOKY, is m.i. sterk overdreven. Het lijkt mij in hooge mate onwaarschijnlijk, dat de „Flügelriffe” van de Rio Grande zich naar weerszijden uit zouden strekken tot Galveston en Vera Cruz, d.w.z. over ongeveer 500 en 800 km. Bovendien blijkt uit drie van de vier profielen door Padre Island en de Lagune de la Madre (het noordelijke „Flügelriff” van de Rio Grande met de erachter gelegen lagune) die JOHNSON analyseerde, duidelijk, dat deze strandwal ontstaan is volgens de theorie van DE BEAUMONT, terwijl het vierde, met een exceptioneel breede lagune eveneens op die ontstaanswijze duidt. Het „headland” van de Rio Grande wordt door hem beschouwd als een materiaalbron voor de litorale drift, die maakt dat in de eerste 100 mijl noordwaarts geen enkele geul den vrijen strandwal doorsnijdt. We hebben hier te doen met vrije strandwallen uit den zeebodem opgegroeid.

Het mechanisme van het ontstaan stelt JOHNSON zich als volgt voor: door de flauwe submariene helling van de kust kunnen alleen kleine golven tot de kustlijn doordringen en daar een klif en terras vormen, groote golven bewerken hetzelfde in den zeebodem. Het geabradeerde materiaal wordt gedeeltelijk afgezet in minder turbulent water juist landwaarts van de brekers, d.i. op den rand van het submariene klif. Naarmate de zeebodem dieper wordt, wijkt dit klif terug en neemt de afzetting op het klif in volume toe, totdat een submariene rug van aanmerkelijke hoogte en onbepaalde lengte is gevormd. Bij het verder groeien komt de rug plaatselijk boven water en ontstaat een keten van eilanden, eerst gescheiden door breede ondiepe geulen, die door het uitgroeien der eilanden worden vernauwd. De eerst weinig gehinderde getijde- en hydraulische stroomen worden nu beperkt tot de weinige steeds nauwere openingen tusschen de eilanden. Deze vernauwing van de stroomen wordt gecompenseerd door het dieper uitschuren van de beddingen door de grootere snelheid, welke uitdieping zich waarschijnlijk zoover kan voortzetten, dat de geul door de submariene wal tot in den oorspronkelijken zeebodem wordt uitgesneden.

Zoodra de submariene rug de oppervlakte nadert, geraakt hij onder den invloed van de plaatselijke door den wind opgewekte golven, die slechts tot op geringe diepte werken. Niet langer worden de eilanden verlengd en de openingen verkleind door het verticale opbouwen van de nog submariene deelen van den rug. De stranddrift zet in als bijkomstige factor die door het transport van materiaal dat op de eilanden wordt gebracht, vooral aan het afsluiten van de overgebleven openingen deelneemt. Dit zet zich voort, totdat een evenwicht tusschen de in- en uitgaande stroomen en deze factoren is bereikt.

Deze beschrijving is vrijwel woordelijk van toepassing op de ontwikkelingsgang tijdens de experimenten waargenomen.

Dezelfde voorstelling vinden we in de, bij de strandbanken reeds naar voren gekomen theorieën van BRAUN (lit. 3) en HARTNACK (lit. 17). Zij beschouwen immers de strandbanken als voorloopers van den vrijen strandwal. Volgens den eersten kan het voorkomen, dat de submariene helling van dien aard is, dat de grootere golven dicht bij den oever

breken en dan een „Uferstrandwall” opbouwen. Bij een flauwere helling ligt de branding op de „schorre” en krijgen we de ontwikkeling „Sandriff—Strandwall” en wel een z.g. „Schorrenstrandwall” of vrijen strandwal, die boven den zeespiegel oprijst tot aan de binnenste grens van de sterkste golven en stroomen. In het klein vindt dat tijdens of na iederen storm op het strand, dat als „Schorre” dienst doet, plaats bij de vorming van een „Zuwachsriff”, dat door de laatste uitloopers van de branding wordt opgeworpen.

*Latere stadia in de ontwikkeling.*

ORTO noemt de veranderingen die een strandwal zal ondergaan door variaties in den waterstand. Constant peil gedurende langen tijd veroorzaakt een hooger en opbouw, stijgend water ruimt den ouden strandwal op en doet een nieuwen ontstaan, langzaam dalend water verandert den vorm doordat tengevolge van de ophooping van zand op de zeehelling in stede van een scherpen kam een klein plateau ontstaat. Bij een snel dalenden waterspiegel tenslotte behoudt de oude strandwal zijn vorm en meer of minder ver ervoor wordt een nieuwe opgeworpen.

Bij het afbreken van een strandwal worden kliffen gevormd met uitholling en instorting als gevolg. Een bijzondere hooge golf kan een bres maken in den kam, waarna door andere golven de landhelling wordt aangetast en een erosiegeul met miniatuur delta ontstaat. De eerste reeks van verschijnselen wordt door de proeven bevestigd, de tweede niet. Het kan zijn, dat een strandwal in opbouw, nog doorsneden door geulen, tijdelijk den indruk maakt reeds weer te worden afgebroken. De kleinere geulen, waarin het over den kam geslagen water zich op de achterhelling concentreert, (zie fig. 15 en blz. 298) staan, zooals we in de proeven gezien hebben, evenmin in verband met het afbreken van den strandwal. Nog enkele woorden mogen worden gezegd omtrent de verdere ontwikkeling van de vrije strandwallen.

Evenals alle andere kustvormen wijken zij ook wanneer geen positieve niveau-veranderingen plaats vinden, op den duur onder invloed van de abraadeerende werking van de zee, terug. Door hooge golven wordt materiaal van de zeehelling geërodeerd en op de achterhelling geworpen. Een terugtrekkende strandwal is smal, vóór steiler dan achter en vertoont aan den oever van de lagune kleine delta's.

De vrije strandwal transgredeert over de lagunaire afzettingen, waarmede de lagune geheel of gedeeltelijk is opgevuld. Het dagzoomen van veenlagen op de zeehelling is een zeker bewijs hiervoor. Aan den anderen kant brengt JOHNSON naar voren, dat het ontbreken van dit verschijnsel geen bewijs is dat de vrije strandwal nog in een jeugd-stadium verkeert en weinig of niet teruggedrongen is (lit. 25, blz. 379). Indien door de litorale drift de geulen, die de lagune met open zee verbinden voortdurend naar lij worden verplaatst, dan wordt daarbij de strandwal aan lij afgebroken en aan loef nieuw gevormd.

Hebben de geulen zich door lagunaire afzettingen tot op of in den ouden zeebodem ingesneden, dan zal de nieuw gevormde strandwal rusten

op mariene sedimenten en dus schijnbaar niet de geringste achterwaartsche verplaatsing hebben ondervonden. Beslissend is de verhouding van de snelheden waarmede de geulen worden verplaatst en de strandwal teruggedrongen.

Tenslotte zal de vrije strandwal tot op het vaste land achter de lagune teruggeweken en een stadium van rijpheid in de kustontwikkeling bereikt zijn. Dit is het geval in het eindstadium van de proeven. De losse culminaties zijn over de erachter gelegen lagune teruggeweken en daarbij zijdelings aaneengegroeid.

Bij verder transgredeeren van de zee wordt in het vaste land een nieuw klif geslagen of een oud, vervallen klif verjongd.

## V. OVER HET ONTSTAAN VAN STRANDHORENS.

Strandhorens zijn reeds lang bekend uit de Vereenigde Staten en Engeland en beschreven onder den naam „beach cusps”. Het waren deze beschrijvingen, die mijn oplettendheid op dit strandverschijnsel richtten en mij er toe brachten na te gaan of aan de Hollandsche stranden eveneens strandhorens voorkomen.

Het zijn, evenals de in hoofdstuk III beschreven micro-strandhorens, min of meer langgerekte spits toeloopeude ruggen, die zich in den regel loodrecht op de richting van het strand zeewaarts uitstrekken. Een exacte beschrijving ervan heeft JOHNSON (lit. 25, blz. 463) gegeven. Het zal dienstig zijn de voornaamste punten daarvan hier te doen volgen:

„When most perfectly developed, the ideal beach cusp has a shape suggesting an isosceles triangle and is so placed that the unequal side (hereafter called the base) is parallel to, but farthest from the shoreline. The „triangle” may be short and blunt, or may be so greatly elongated that the two equal sides extend far down the beach and finally unite to form an acute point (hereafter called the apex).

The same sides may be relatively straight, but are more often concave, sometimes convex, outward. The cusps may constitute the serrate seaward side of a prominent beach ridge, or may occur as isolated gravel hillocks separated by fairly uniform spaces of smooth sandy beach.

A cusp may rise from an inch or less to several feet above the general level of the beach.

Sometimes the highest part is comparatively near the apex; at other times the highest part is far back, and from it a long, sloping ridge trails forward toward the water. As in the form of cusps, so in the material of which they are composed, is there the widest variation. In building them the waves make use of everything, from the finest sand to the coarsest cobblestones. The length measured from apex to base is less significant than the distance between cusps, measured from apex to apex — elongation appears to be the result of rather accidental conditions, and to have no great significance.’’

De luchtfoto van fig. 96, mij welwillend voor publicatie afgestaan door de Luchtvaartafdeeling van het Ned. Ind. Leger te Bandoeng, geeft een zeer fraai beeld van een regelmatige serie strandhorens, liggend op het strand aan de westzijde van de smalle landtong, een tombolo, die het oorspronkelijke eiland Penandjongan aan de Zuidkust van de Preanger regentschappen met Java verbindt.



Fig. 96.

Luchtfoto van het schiereiland Penandjongan aan de zuidkust van Java.  
Op het rechterstrand van de tombolo die het oorspronkelijke eiland met  
de kust verbindt een fraaie serie strandhorens.

#### Het voorkomen van strandhorens aan het Nederlandsche strand.

Meerdere malen heb ik gedurende de jaren 1930, '31, '32 en '33 strandhorens aan onze stranden waargenomen. Hoewel zij hier minder algemeen worden gevormd en niet een dermate regelmatige ontwikkeling bereiken als in Noord-Amerika en op het schiereiland Penandjongan, komen zij toch meer voor dan verwacht werd.

Het materiaal, waaruit zij zijn opgebouwd, kan van drieërlei aard zijn:

- 1°. zand, van dezelfde of vrijwel dezelfde samenstelling als het gewone strandzand;
- 2°. buisjes van *Pectinaria belgica* Pall (goudkammetje) en *Terebella conchilega* Pall (schelpkokerworm);
- 3°. schelpen en schelpgruis overwegend afkomstig van *Mactra subtruncata* Dac. (half geknotte strandschelp) en in mindere mate *Tellina solidula* Pult. (grove plaatschelp) en *Tellina tenuis* Dac. (teere plaatschelp).

In de laatste twee gevallen dus ander materiaal dan waaruit het strand bestaat.



*ad 1.* Deze vorm van strandhorens steekt weinig af tegen de omgeving en ontsnapt dientengevolge gemakkelijk aan de aandacht, tenzij ze een groote regelmatigheid bezitten. Structuren, ruggen en inzinkingen loodrecht of nagenoeg loodrecht op de richting van het strand komen veelvuldig voor, maar betrekkelijk zelden herhalen zij zich zoo regelmatig dat men ze met recht als een serie strandhorens kan opvatten.

Op het door hoofden verdedigde strand ten noorden van Callantsoog nam ik in September 1931, eenigen tijd na hoog water, tusschen strandpaal 11 en 12 een kleine serie strandhorens uit zand bestaande waar. Het strand verliep daar ter plaatse van den duinvoet onder een flauwe helling, die dicht onder de hoogwaterlijn plotseling overging in een veel steilere. Ten noorden van een der hoofden strekten de strandhorens zich loodrecht op de richting van het strand, op de steilere helling uit. De onderlinge apex-afstand bedroeg 20—25 m, welke afstand geleidelijk afnam. De lengte van de strandhorens, d.w.z. de afstand apex—basis, welke laatste samenviel met de grens tusschen het steilere en het minder steile strand, bedroeg enkele meters. Aan de basis vertoonden ze een duidelijken dakvorm, de hellingen waren door een scherpen knik van elkaar gescheiden, welke vorm naar de apices toe verflauwde en overging in een gewelfden vorm (zie fig. 97). De hoogte-

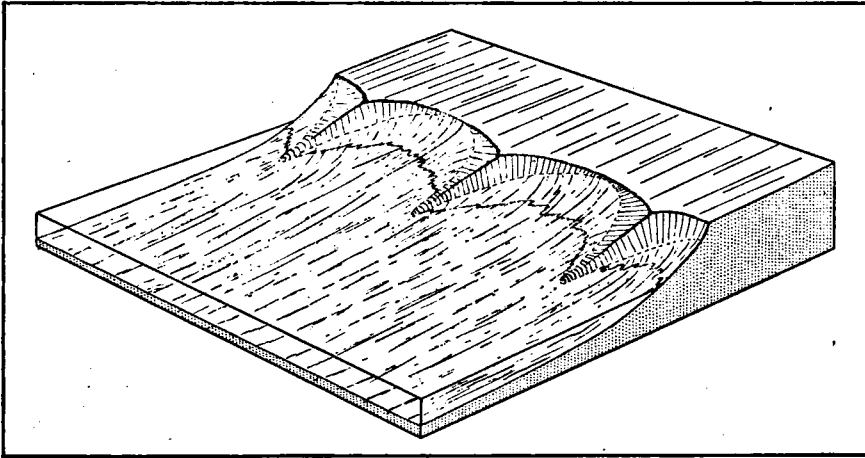


Fig. 97.

Schematische voorstelling van de strandhorens bestaande uit zand, waargenomen ten N. van Callantsoog.

verschillen tusschen de strandhorens en de tusschenliggende baaien waren dicht bij de bases het grootst en bedroegen enkele dm, de hellingen naar de baaien toe waren daar het steilst.

In November 1931 werd bij Zandvoort, tijdens laag water, op de voorhelling van een aangroeiingsrug een serie regelmatige strandhorens waargenomen met 9 tot 10 m apexafstand, die zich slechts weinig boven de tusschenliggende strandgedeelten verhieven, maar daartegen afstaken

door hun lichtere kleur. Dit laatste is te verklaren door een hooger gehalte aan fijn schelpgruis van het zand, waaruit zij bestonden.

Door de achterhelling van den aangroeiingsrug, waarop de strandhorens zich bevonden, liepen enkele geulen, die bij hun uitmonding in het achter den aangroeiingsrug gelegen, bij eb droogvallend zwin kleine delta's hadden uitgebouwd. Deze geulen vielen niet in het verlengde van de depressies tusschen de strandhorens op de voorhelling, waaruit blijkt, dat dit twee onafhankelijke verschijnselen zijn en hier niet erosieresten van een door geulen doorsneden aangroeiingsrug als strandhorens zijn opgevat.

In den winter van 1933 werd ten noorden van strandpaal 67 een serie strandhorens aangetroffen eveneens uit zand, rijker aan schelpgruis dan normaal strandzand, opgebouwd. Bijzondere omstandigheden hadden gedurende een periode van twee weken voorafgaande aan de waarneming geheerscht. Aanhoudende vorst, veroorzaakt door dikwijls krachtige wind uit oostelijke richtingen, die den waterstand laag hield en den golfslag klein en regelmatig, deed een wal van ijs ruim 0.5 m hoog ontstaan, waarover alleen bij hoog water de toppen van de hoogste golven nog heen sloegen.

Voor den ijswal viel het strand onder een steile helling af naar het diepe, bij laag water droogvallend zwin, dat zich over eenige honderden meters ten noorden en ten zuiden van strandpaal 67 uitstrekte en door een steil en hoog eruit oprijzende aangroeiingsrug van de zee gescheiden was. De steile helling, die sinds het begin van de oostenwind-periode gevormd moet zijn, zet zich zeer waarschijnlijk, zij het ook een weinig minder steil, onder en achter den ijswal voort. Hooger op het strand bevond zich een serie strandhorens waarvan de apices, op 1—2 m afstand van den ijswal gelegen, in de meeste gevallen omgeven waren door een rand van wit blazig ijs, dat sterk afstak tegen het vuilgrijze ijs waarmede de baaien waren opgevuld, hetgeen deze serie strandhorens bijzonder op deed vallen.

De apexafstanden tusschen de genummerde strandhorens, bij benadering opgemeten, zijn hieronder in m weergegeven.

10	9½	9	12	12½	12	9¾	6¾	8¼	12	14¼	12	12¾	13	7½	10½	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
spitse apex		breede, stompe apex				slecht ontwikkeld		spitse apex, uitgezonderd no. 12 met ronde apex, diep binnendringende baaien					slecht ontwikkeld			

In een enkel geval, bij no. 7, was de apex grootendeels overdekt met ijs. No. 9 vertoonde een samengestelden tweelingsvorm.

De afstand apex—basis, die bij de eerste strandhorens niet meer dan 1.5 m bedroeg, de lengte was dus gering, nam eerst langzaam en na no. 4 sneller toe tot maximaal 3 m. Bij de regelmatig ontwikkelde strandhorens van no. 10 tot en met no. 15, bedroeg het grootste hoogteverschil tusschen de kamlijn der strandhorens en de diepste lijn van de baaien 10—15 cm. Door de ijsopvulling van de laatsten was het hoogteverschil niet nauwkeurig te bepalen.

Gezien de ligging van deze serie kan met zekerheid worden aange-

nomen, dat zij in het begin van de oostenwind-periode voor het invallen van de vorst zijn gevormd, tijdens of kort na hoog water en door den daarna gevormden steeds groeienden ijswal volkomen zijn beschermd tegen de uitwerking van latere golven.

Een serie strandhorens van veel kleinere afmetingen trof ik geruimen tijd na hoog water aan tusschen strandpaal 69 en 70. Een vrij hoog op het strand gelegen rug was hier doorsneden door een ondiepe afvloeigeul van de bij laag water droogvallende ondiepe inzinking, die zich achter den rug bevond. Tengevolge van het hooger oploopen der golven in de geul, was aan een van de geuloevers in de ronding van het zuidelijke strandrug-uiteinde een steile helling ontstaan van eenige meters lengte. Een kleine serie strandhorens strekte zich daar van de bovenzijde van den strandrug over het steile hellinkje zeewaarts uit. Zij waren dakvormig, de apexafstand bedroeg 30—40 cm, de afstand apex—basis  $\pm$  30 cm. Daar het water tijdens de waarneming viel, waren zij kort te voren gevormd. Westenwind heerschte tijdens de waarneming.

*ad 2.* Het aanspoelen van buisjes van *Pectinaria belgica* Pall. en *Terebella conchilega* Pall. evenals van *Echinocardium cordatum* Penn. (hartvormige zeeklit) in groote hoeveelheden komt, tenminste in het kustvak IJmuiden—Noordwijk betrekkelijk zelden voor en is gebonden aan zeer bepaalde omstandigheden. Strandhorens uit dit materiaal opgebouwd zullen dus om deze reden reeds bij uitzondering voorkomende verschijnselen zijn. Toch werden zij verschillende malen aangetroffen. In den winter van 1932, tijdens een vorstperiode met sterken oostelijken wind, tengevolge waarvan de golfslag zeer gering en regelmatig was, nam ik gedurende een tweetal dagen tusschen strandpaal 66 en 67 meerdere rijen strandhorens, dicht onder de hoogwaterlijn en verder zeewaarts, waar.

De series bevonden zich op een breed, flauw hellend strandgedeelte, dat reikte van de hoogwaterlijn tot aan een bij laag water droogvallend zwin. Zij bestonden bijna geheel uit het bovengenoemde materiaal waartusschen zich schelpen van *Maetra subtruncata* Dac., *Tellina solidula* Pult. en *Tellina tenuis* Dac., *Solen siliqua* Linné, *Donax anatina* Lam. en de gastropoden *Natica monilifera* Lam. en *Natica nitida* Flem. en verder *Echinocardium cordatum* Penn. bevonden (zie fig. 98). De apexafstand bedroeg  $\pm$  60 cm, de hoogte boven het strand slechts enkele cm. Door de wisselende lengte van de strandhorens gaven de series een onregelmatigen indruk.

*ad 3.* Naast de reeds onder 1 beschreven strandhorens, die uit zand bestaan dat rijker aan schelpgruis is dan het normale strandzand, komen strandhorens voor, die geheel zijn opgebouwd uit schelpen en in mindere mate schelpgruis afkomstig van *Maetra subtruncata* Dac. Zij zijn de meest opvallende vorm, die aan ons strand voorkomt. De schelpen nemen hier de plaats in van de rolsteenen van de stranden van de Vereenigde Staten en Engeland.

Waarnemingen bij Zandvoort, in November 1931, tijdens laag water en wind uit oostelijke tot noord-oostelijke richtingen met dientengevolge een vlakke zee, gaven de volgende feiten: op de voorhelling van een

strandrug lagen loodrecht op de richting van het strand talrijke strandhorens, die reikten tot aan de laagwaterlijn en uit schelpen en schelpgruis bestonden. Zij waren het fraaist ontwikkeld in de grootere, flauwe inbochtigen landwaarts die de laagwaterlijn vertoonde. De apexafstand wisselde sterk van  $\pm 4$  m tot  $\pm 1$  m. De geheele ontwikkeling van de



Fig. 98.

Strandhorens dicht onder de hoogwaterlijn gelegen en voornamelijk opgebouwd uit buisjes van *Pectinaria belgica* Pall. en *Terebella conchilega* Pall.

serie was onregelmatig. Opmerkelijk was, dat in het ondiepe water voor de baaien tusschen de strandhorens delta's waren gevormd (zie fig. 99).

Fraaier van vorm en regelmatiger waren de series strandhorens, die gedurende een tweetal dagen van den winter 1933—1934 tusschen strandpaal 62 en 63, kort na hoog water werden aangetroffen. Zij bevonden zich aan de zeezijde van de smalle strook drooggevallen strand. Ten gevolge van den reeds eenige dagen heerschenden zwakken wind uit zuid-oostelijke richting was de golfhoogte gering, slechts  $\pm 0.5$  m, en de golfloop regelmatig. De apexafstand en de lengte van de strandhorens bedroeg op den eersten dag  $\pm 4.5$  m. Een overzicht vindt men

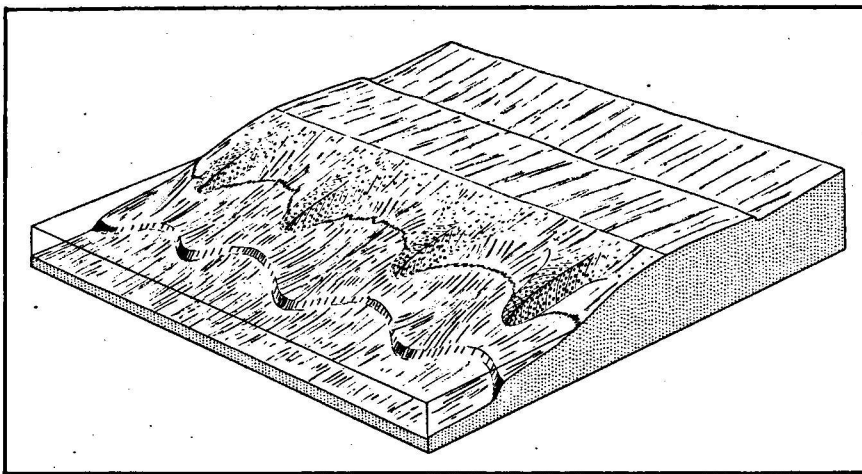


Fig. 99.

Schematische voorstelling van den vorm der strandhorens opgebouwd uit schelpen waargenomen bij Zandvoort.

op de foto van fig. 100. De breedte van het reeds drooggevalen strand bedraagt  $\pm 15$  m, de lengte van de strandhorens is groot. De foto van



Fig. 100.

Overzichtsfoto van strandhorens bestaande uit schelpen tijdens vallend water opgebouwd aan het strand bij Bloemendaal. De scherpe grens van het besneeuwde strand is de hoogwaterlijn.

fig. 101 toont de apices van enkele strandhorens van de hieronder vermelde derde serie. De oplopende golf, in dit geval voorafgegaan door een kleinere golf, zal spoedig branden, de terugloop van den voorafgaanden golf is reeds ver gevorderd. Beide foto's werden den tweeden dag opgenomen. Meerdere series strandhorens konden toen onderscheiden worden op een strandvak van 300—400 m. De strandhorens strekten zich zeewaarts uit van de lijn, waar de flauwe helling van het hooger gelegen strand overging in een, een weinig steilere helling. In de eerste serie bedroeg de apexafstand 6 tot  $6\frac{3}{4}$  m, eenmaal werd 13.5 uitgemeten, waarbij echter lager op de helling eenige kleinere strandhorens waren tusschengeschakeld. In de tweede serie, die zich op ongeveer 100 m afstand van de eerste bevond, werden apexafstanden van  $8\frac{1}{4}$ ,  $9\frac{3}{4}$ , 9 en



Fig. 101.

Een detail van de apices der strandhorens van fig. 100.

$7\frac{1}{2}$  m uitgemeten. De strandhorens waren hier dakvormige ruggen met ronde apices.

In de derde serie, die aansluit bij de tweede, kwam de apexafstand van  $\pm 4.5$  m, den vorigen dag waargenomen, eenige malen terug. De regelmatigheid nam in deze serie af, waarschijnlijk tengevolge van het feit dat strandhorens hooger en lager op het strand voorkwamen, terwijl naar het einde zij steeds dichter bij elkaar lagen, zoodat de baaien overgingen in smalle geulen.

Hierboven zijn eenige gevallen, dat strandhorens op onze stranden voorkwamen, beschreven; zij werden in meer gevallen aangetroffen en naar mijn meening zouden zonder twijfel, bij een dagelijksch onderzoek van een strandvak van enkele km lengte, veel meer feiten omtrent het voorkomen van strandhorens kunnen worden verzameld.

### Waarnemingen en opvattingen over het ontstaan van strandhorens van D. W. Johnson.

Een uitvoerig overzicht, waarin wat tot 1918 gepubliceerd was over „beach cusps” kritisch is beschouwd, kan men vinden in JOHNSON „Shore Processes and Shoreline Development” (lit. 25). In de literatuur van jongeren datum werden geen verdere publicaties over dit onderwerp gevonden.

JOHNSON neemt aan, dat er verband bestaat tusschen de golfhoogte en den apexafstand der strandhorens en meent dat er aanwijzingen voor zijn, dat zij recht evenredig met elkaar in grootte toenemen. Hij legt den nadruk op de soms ontkende regelmaat der strandhorens (JEFFERSON, lit. 22), welke regelmaat echter gestoord kan zijn. Dikwijls komt voor dat de bases van strandhorens samenvallen met een strandrug, zoodat zij een integreerend deel daarvan vormen. De strandrug kan dan al of niet doorbroken zijn in de centra der baaien, tengevolge van de concentratie van den golfloop en -aanval aldaar. Een bewijs voor het doorbreken van den strandrug van de zeezijde, is het voorkomen van delta's in de depressie achter den strandrug in het verlengde van de doorbraakpunten.

Primair is dus volgens zijn opvatting het ontstaan van strandhorens op de voorhelling van den strandrug, secundair, een gevolg van den geconcentreerden golfaanval in de baaien, het doorbreken van den strandrug op meerdere plaatsen. Geheel in tegenstelling met het bovenstaande is JEFFERSON's theorie (lit. 22 en 23), waarmee de strandhorens worden verklaard als erosieresten van een strandrug, op talrijke plaatsen doorbroken door het erachter opgestuwde water.

Hiertegenover staat volgens JOHNSON, dat dikwijls strandhorens voorkomen zonder eenig verband met een strandrug. Ze kunnen dus op de voorhelling van een strandrug ontstaan, maar oorzakelijk verband tusschen de beide vormen bestaat niet.

De terugloop sleept het fijnere materiaal mee en vormt daarmee een „shoreface terrace”. Wanneer echter strandhorens zijn gevormd, concentreert de terugloop zich in de baaien en de anders rechte grens van het terras krijgt nu door het ontstaan van kleine delta's voor de baaien een gelobd verloop (zie fig. 99).

De volgende factoren hebben volgens JOHNSON invloed op het ontstaan van strandhorens:

1°. De helling van het strand: de waarschijnlijke, geringe invloed hiervan op den apexafstand wordt verre overtroffen door den overwegenden invloed van de golfhoogte.

2°. De windrichting: hieraan wordt slechts een zeer geringen invloed toegekend op grond van waarnemingen van strandhorens zoowel bij zee-wind, afluide wind als wind langs de kust. Alleen dan, wanneer de wind een zeer onregelmatigen golfaanval veroorzaakt, wordt de vorming van strandhorens onmogelijk.

3°. Het getij: strandhorens kunnen tijdens alle fasen van een getij gevormd worden. Die van het langgerekte type ontstaan waarschijnlijk

wanneer tijdens vallend water de golfhoogte bij benadering constant blijft.

4°. De richting van den golfloop: uit talrijke waarnemingen blijkt, dat recht oploopen van een enkel regelmatig golfstelsel, evenwijdig aan de kustlijn, voor het ontstaan van strandhorens het gunstigst, vrijwel zeker noodzakelijk is. Nooit werd de vorming van nieuwe series strandhorens door scheef oplopende golven geconstateerd, wel echter het aantasten van reeds bestaande.

5°. De periode der golven: schijnt geen invloed te hebben zooals ook experimenteel bleek.

JOHNSON heeft getracht door middel van experimenteele onderzoekingen zijn conclusie, dat strandhorens worden gevormd door een golfstelsel evenwijdig aan de kustlijn, te bevestigen. In een gedeeltelijk met water gevulde tank van 5 ft. lengte en 5 ft. breedte, waarin aan de eene zijde een hellend strand van zand was aangelegd, werden aan de andere zijde door middel van een met de hand op en neer bewogen plank, rechte evenwijdige golven van wisselende afmeting en periode opgewekt. Teneinde het strand zoo vlak mogelijk te maken werd het overspoeld door groote golven, totdat een gladde, flauwe helling was bereikt. Het gelukte hem op deze eenvoudige wijze strandhorens te doen ontstaan van één tot enkele inch lengte en apexafstand. De hiervan opgenomen foto is weinig overtuigend. Mogelijk zijn het vormen analoog aan de in de experimenten te Leiden voorkomende microstrandhorens.

Het bleek dikwijls moeilijk de vorming van strandhorens in gang te brengen, welke moeilijkheid werd vermeden door het maken van groeven, rechthoekig op de kustlijn, in het klaarblijkelijk te regelmatige en gladde strand. De ligging en het aantal van de gevormde strandhorens waren onafhankelijk van de ligging en het aantal groeven.

Aan de hand van de vermelde feiten kwam JOHNSON tot de onderstaande theorie over de vorming van de strandhorens:

„Selective erosion by the swash develops from initial irregular depressions in the beach shallow troughs of approximately uniform breadth, whose ultimate size is proportional to the size of the waves, and determines the relatively uniform spacing of the cusps which develop in the inter-trough elevations.”

De golven zullen trachten de altijd in het strand aanwezige, oorspronkelijk onregelmatige, depressies te vervormen tot een kleiner aantal breede, ondiepe kanalen, breed daar ze dan meer geschikt zijn voor het verwerken van groote volumina water en ondiep, doordat de voorste gedeelten van de tusschenliggende ruggen eveneens door den golfloop en terugloop worden overspoeld en laaggehouden. De bovenste gedeelten van de ruggen, onbereikbaar voor den golfloop, worden meer geprononceerd doordat de depressies, waarin de terugloop zich concentreert, voortdurend dieper worden uitgeschuurd, waarbij het meegesleepte fijnere materiaal ervoor, in de reeds genoemde delta's, wordt afgezet.

De oorspronkelijk toevallig meer bevoorrechte depressies groeien zijdelings uit ten koste van de kleinere en vergrooten daarbij hun be-



voorrechting. Deze zijdelingsche groei zet zich voort zoolang de grootere kanalen den groei van de naburige kleineren kunnen overwinnen, m.a.w. een evenwichtstoestand is bereikt wanneer de kanalen ongeveer gelijke afmetingen hebben, die aangepast zijn aan de te verwerken volumina water. Bij kleine golven met een geringen golfoploop zal dit evenwicht zich reeds bij kleine afmetingen der kanalen hebben ingesteld.

De golven, die het zoo gevormde strand oploopen, spoelen in de regelmatige depressies grind, rolsteenen e. d. hooger het strand op. De ruggen die de depressies scheiden, worden tot strandhorens gevormd, waarvan de spitse punten den oploop verdeelen en den aanval van de golven concentreeren op de depressies.

Bij opkomend water wordt het geheele stelsel van strandhorens en baaien hooger het strand op verplaatst.

Zooewel de regelmaat van de strandhorens als de afwijkingen daarvan kunnen met deze theorie worden verklaard. Zij worden bepaald door het stadium, waarin het vormingsproces verkeert. De regelmaat, die bij den aanvang het geringst is, neemt geleidelijk toe en kan een hooge ontwikkeling bereiken. Een onderstelling, die volgens JOHNSON door zijn experimenten overtuigend werd bewezen.

#### **Opmerkingen naar aanleiding van de waarnemingen aan het strand.**

Het ontstaan van strandhorens op onze stranden is in zekere mate een uitzonderingsverschijnsel. Het mag in het eerst vreemd schijnen uit een uitzonderingsverschijnsel algemeene gevolgtrekkingen te maken, toch blijkt dit bij een nadere beschouwing zeer wel mogelijk. Wanneer we aannemen, dat op ieder strand een neiging tot het vormen van strandhorens kan bestaan, doch dat dit door storende invloeden van verschillende aard in vele gevallen verhinderd wordt, dan zal duidelijk zijn dat, juist aan de Nederlandsche kust waar de omstandigheden dikwijls snel en veelvuldig wisselen, het voorkomen van een enkele serie strandhorens, al zij het niet volkomen regelmatig ontwikkeld, uitsluitel kan geven omtrent de omstandigheden die voor de vorming van strandhorens vereischt of in ieder geval het gunstigst zijn.

Zoo toont het geringe aantal waarnemingen van strandhorens direct, maar indirect ook het groote aantal negatieve waarnemingen onder andere omstandigheden aan, dat bij wind uit Oostelijke richting de gunstigste voorwaarden heerschen. Dit feit komt des te sterker naar voren, wanneer we de onder 1 beschreven eerste en laatste serie buiten beschouwing laten. De eerste ontstaat op een door hoofden verdedigd strand, dus onder bijzondere omstandigheden. De laatste, een vorm die, zooals we later zullen zien, onder alle omstandigheden kan ontstaan waar zich aan den rand van den golfoploop een steile helling bevindt.

De groote invloed van de windrichting, waaraan JOHNSON zooals we zagen slechts een zeer geringe waarde toekent, wordt duidelijk, wanneer we het noodzakelijk verband tusschen de richting van den wind en de richting van den golfoploop en de hoogte der golven beschouwen.

Uit talrijke waarnemingen blijkt, dat bij oostelijken wind een stelsel van regelmatige golven van geringe hoogte parallel aan de kustlijn op-

treedt en volkomen recht daarop oploopt (zie fig. 101). Een verklaring hiervoor is dat de, in een periode van Oostenwind optredende, wisselingen in de windrichting geen noemenswaardigen invloed hebben op de golfbeweging onder de kust, terwijl de veel veranderlijker Westenwind herhaaldelijk nieuwe golfstelsels doet ontstaan, tengevolge waarvan de golfbeweging en de golfloop veel onregelmatiger worden. Alleen in het eerste geval, wanneer een regelmatige deining van vrije, niet meer door den wind voortgestuwde golven heerscht, is te verwachten dat de omstandigheden geruimen tijd constant blijven en het bereiken of benaderen van het evenwicht in de vorming van strandhorens mogelijk maken. Een opvallende regelmaat in de series kan dan ontstaan.

De bovenstaande waarnemingen stemmen overeen met JOHNSON'S bevindingen over den invloed van de richting en het karakter van den golfloop. Bij een beschouwing van de onder ad 1 beschreven uit zand opgebouwde strandhorens valt op, dat zij allen ontstonden op een steiler hellend strandgedeelte. Het is waarschijnlijk dat, althans voor dezen vorm van strandhorens, de helling van het strand niet alleen een geringen invloed heeft op den apexafstand, zooals JOHNSON waarschijnlijk acht, maar een belangrijke factor is voor de vorming van strandhorens. De ondervindingen, bij de experimenteele onderzoekingen opgedaan, wijzen eveneens in deze richting.

De rol, die de getijden bij de vorming van strandhorens spelen, is ook hier zeer gering. De beschreven series strandhorens waren bij uiteenlopende getij fasen gevormd. Het uittrekken van de strandhorens, tengevolge van het vallen van het water, heeft zeker plaats gevonden bij die weergegeven in fig. 100.

#### **Waarnemingen over de experimenteele vorming.**

De experimenten met rechten golfloop, beschreven in hoofdstuk III, onder meer opgezet in de hoop, exacte gegevens te verkrijgen over den invloed van de helling van het strand, de golfhoogte en de golfperiode op den apexafstand en zoo mogelijk een wetmatigheid te vinden in de betrekking tusschen elk van deze factoren en den apexafstand, hebben in dit opzicht teleurgesteld.

De mogelijkheid bestaat, dat de oorzaak hiervan gezocht moet worden in te korte perioden van de golven, die werden aangewend. Naarmate de periode korter wordt, neemt de afstand die de golfloop en terugloop doorlopen af, doordat de terugloop minder tijd vindt om de helling af te stroomen en spoedig stuit op den volgenden oplopenden golf, die daardoor geremd wordt. De golfloop en terugloop, tengevolge waarvan de strandhorens ontstaan, zijn dan in hun werking beperkt. De technische inrichting van de golfmachine liet echter geen langere perioden toe.

De experimenten met schelpen en puimsteen, beschreven in hoofdstuk III, hebben evenmin aan de verwachtingen beantwoord. Voor de eerste is dit verklaarbaar wegens de, reeds vroeger besproken, gebleken ongeschiktheid van het gebruikte materiaal. Voor de laatste, waarin getracht werd het bims den plaats te doen innemen van het grind en de rolstenen in de natuur, is mogelijk dat dit ten deele moet worden toe-

geschreven aan de te korte perioden van de golven en ten deele aan een, niet verklaarde, ongeschiktheid van het bims. Kunstmatige beïnvloeding had bij deze proeven evenmin succes (zie proef XXIX). Dat niettemin de proeven ons inzicht over het ontstaan van strandhorens hebben verhelderd, is een gevolg van het feit dat tijdens meerdere ervan kleine strandhorens (micro-strandhorens) werden gevormd, en het ontstaan daarvan nauwkeurig kon worden nagegaan. In de beschrijvingen van de proeven II fase 2 en 6, III fase 4 en 7 met fig. 20, IV fase 1, XII met fig. 33, XIII, XVI, XXII met fig. 64, XXIII en XXIV, zijn de bijzonderheden hieromtrent te vinden. Zij werden in het algemeen gevormd door kleine golven, slechts  $1\frac{1}{2}$  tot 3 cm hoog. Hoogere golven, n.l.  $5-5\frac{1}{2}$  cm, kwamen alleen voor tijdens proef XII.

Hoewel bij dergelijke golfhoogten de apexafstand volgens JOHNSON tusschen 5 en 25 cm (2 en 10 inch) zou moeten liggen (lit. 25, blz. 469), werd 3 cm nooit overschreden. De periode van de golven, waardoor zij werden gevormd, wisselde van 1.2 sec. tijdens proef XII, tot 2.7 sec. tijdens proef III, fase 4, waartusschen perioden van 1.4 sec., 1.6 sec., 2.0—2.2 sec. en 2.5 sec. voorkwamen.

Voor het ontstaan van micro-strandhorens kan dan ook worden aangenomen, dat de periode van de golven van geen belang is. Het bijzondere karakter van den golfloop en terugloop tijdens proef XII fase 4, moet gunstig zijn geweest voor de ontwikkeling van strandhorens, maar had geen bijzondere uitwerking.

Slechts in één geval, tijdens proef IV, ontstonden zij spoedig na het begin van de golfwerking op de aangelegde helling. Ondiepe groeven, die in de richting van den golfloop in het strand optraden, achtergebleven tengevolge van de methode van aanleg (zie b.v. fig. 64), kunnen de aanleiding tot hun ontstaan geweest zijn. In alle andere gevallen werden zij gevormd op de voorhelling van een door de golven opgeworpen strandwal, steiler dan de aangelegde helling en vielen dan veelal aan de basis samen met de kamlijn, of strekten zich los daarvan lager op de voorhelling uit. Proef II fase 2, XII, XIII, XVI, XXII, XXIII en XXIV geven voorbeelden van de eerste wijze van voorkomen (zie fig. 64 en fig. 20, voorgrond); tijdens proef III, 4 en 7 kwamen series van den laatsten vorm voor, die flauw zichtbaar zijn op den achtergrond van fig. 20.

De nadruk moet gelegd worden op het feit, dat in de proeven met scheeven golfloop, deze ten opzichte van de voorhelling waarop de micro-strandhorens ontstonden, volkomen recht was. De strandwal was steeds aangepast aan den golfloop.

Als regel ontstonden de micro-strandhorens eerst na den voltooiden opbouw van een strandwal. Gelijktijdig met hun ontstaan vertoonde de strandwal veelal duidelijk teekenen van achteruitgang, n.l. een verlaging van de voorhelling, tengevolge waarvan de kamlijn terugweek en soms een klif werd gevormd. Bij de serie micro-strandhorens van fig. 64 was dit het geval, maar zeer duidelijk blijkt het uit fig. 20. Tijdens verschillende proeven (II, fase 2 en XIII), werd van zeer nabij waargenomen op welke wijze de micro-strandhorens en tusschenliggende geultjes werden gevormd.

Het was duidelijk zichtbaar, dat de trechtervormige geultjes werden uitgeschuurd door de erodeerende werking van den terugloop. Wanneer de golfoploop over de kamlijn slaat en dus de terugloop boven aan de helling aanvangt, zullen de trechtervormige geultjes tot aan de kamlijn doorlopen en van de tusschenliggende micro-strandhorens dus de bases met de kamlijn samenvallen. Verklaarbaar is, dat de golfoploop ter plaatse van de geulen in sterkere mate over de kamlijn zal slaan en dientengevolge op de achterhelling de aanleiding zal zijn tot het uitschuren van ondiepe geultjes, in het verlengde van die op de voorhelling gelegen, met aan het uiteinde kleine delta's. Fig. 64 geeft een helder beeld van een op deze wijze gevormde serie micro-strandhorens. De afvloeiing van het achter den strandwal opgehoopte water, links op de foto zichtbaar, bewijst dat de micro-strandhorens in geen geval gevormd kunnen zijn door het doorbreken van den strandwal door dit water, overeenkomende met de wijze waarop JEFFERSON (zie blz. 357) zich strandhorens ontstaan denkt. De gevolgtrekking moet worden gemaakt, dat voor het ontstaan van micro-strandhorens de helling van overwegenden invloed is. Alleen dan, wanneer door een dikwijls tijdelijke verandering van de omstandigheden de voorhelling van den strandwal plaatselijk of over de geheele lengte te steil is geworden en de golven trachten deze helling te doen afnemen, m.a.w. de erodeerende werking van den terugloop overheerscht over de opbouwende van den golfoploop, ontstaan micro-strandhorens.

Nimmer werden bij de proeven in de eerste stadia, waarin veelal een intensieve opbouw van den strandwal plaats vond, micro-strandhorens waargenomen.

#### **Conclusies over het ontstaan.**

De waarnemingen, aan het strand en in het laboratorium over het ontstaan van strandhorens opgebouwd uit zand, combineerend kunnen de onderstaande gevolgtrekkingen worden gemaakt:

1°. de helling heeft een grooteren invloed dan JOHNSON onderstelde. Strandhorens worden gevormd wanneer de golfoploop plaats vindt op een te steile helling, die dientengevolge door de golfwerking wordt aangetast. Een zwakke afbrekende werking van de golven doet strandhorens ontstaan, bij sterkere aantasting van de helling zal een klif worden gevormd. Een oorzakelijk verband tusschen een strandrug of aangroeiingsrug en strandhorens op de voorhelling daarvan gevormd bestaat.

2°. de primaire oorzaak van het ontstaan van strandhorens is de selectieve erodeerende kracht van den terugloop. Dat selectieve erosie plaats vond, werd door JOHNSON eveneens ingezien, maar niet ondubbelzinnig werd naar voren gebracht, dat de terugloop de erosie verricht. In het op blz. 358 geciteerde leest men: „selective erosion by the swash develops from initial irregular depressions in the beach shallow troughs of approximately uniform breadth.” (Lit. 25, blz. 481).

Op blz. 482 vindt men: „The continual swashing of the water up

and down the beach, tends to enlarge the irregular depressions over which the water passes" en daaronder: „The tendency of wave action will be to develop from initial irregularities a smaller number of broad and shallow depressions in that portion of the beach traversed by the swash.”

Hoewel JOHNSON later duidelijk onderscheid maakt tusschen de „swash” (golfploop) en de „backwash” (terugloop), valt uit de beschrijving op te maken dat hier onder den naam „swash” golfploop en terugloop zijn samengevat en aan den terugloop dus een deel van de werking wordt toegeschreven.

Uit het zeer verschillende karakter van den golfploop en terugloop volgt eveneens, dat de terugloop den eersten stoot tot de vorming van strandhorens moet geven. De met groote initiaalsnelheid en energie van beweging het strand oplopende golf zal gemakkelijk over de kleine oneffenheden in het strandoppervlak heenvloeien, terwijl de terugloop, die zijn energie van beweging op de helling moet verzamelen, door die kleine oneffenheden in bepaalde banen zal worden geleid en dan door het uitschuren van geulen de neiging tot concentratie in die banen versterkt. Dat strandhorens worden gevormd door de afbrekende werking van golven op de voorhelling van een rug, is reeds door CORNISH (lit. 8, § 13, blz. 637 Ridge and Furrowstructure on a Sandy Beach) opgemerkt:

„A continuous Full is formed by on-shore action with gentle waves, but as the size of the breakers increases the wash tends to make the slope less steep. Neither the force nor the resistance are absolutely uniform along the shore, so that this action commences at selected places. From the moment that even the shallowest groove is thus formed, the backwash finds its way to the sea almost entirely by this path. The discharge of the breaker continues, however, to send the on-wash up the ridges as well as up the furrows. Sand, therefore, is still deposited on the ridges, which may continue to increase in height while the absolute level of the troughs may be lowered, and the amplitude from the crest of the ridge to the bottom of the trough necessarily increases.”

CORNISH merkte dus op, dat een oorzakelijk verband bestaat tusschen een „full” (strandrug) en de strandhorens (ridge and furrow structure) opgebouwd uit zand. Geenszins staat echter vast, dat uitsluitend door het toenemen van de golfhoogte de voorhelling van een strandrug kan worden aangetast en strandhorens ontstaan. Bij de experimenten is hieromtrent niets gebleken, geringe wisselingen in de golfhoogte kunnen ongemerkt hebben plaats gevonden, maar het is zeer de vraag of daardoor micro-strandhorens zijn gevormd. Waarnemingen in de natuur zullen afstluiten op de moeilijkheid de golfhoogte dicht bij het strand nauwkeurig te bepalen.

Dat de erosie door den terugloop de opbouwende werking van den golfploop overheerscht, wordt bewezen door het ontstaan van delta's voor de geulen, zooals dat door JOHNSON is beschreven (lit. 25, blz. 473) en ook door mij is waargenomen.

Duidelijk zal zijn, dat de boven beschreven vorm van strandhorens niet beperkt behoeft te zijn tot de wat steilere voorhelling van een strandrug of aangroeingsrug, maar overal kan ontstaan waar de helling

van het strand te steil is voor de erop plaats vindenden golfoploop. Een voorbeeld daarvan is de bij Callantsoog aangetroffen serie strandhorens.

Voor de strandhorens opgebouwd uit wormbuisjes, schelpen en schelpgruis en ander grof materiaal geldt het bovenstaande slechts ten deele. Zij zijn, zooals uit de waarnemingen aan het strand blijkt, niet gebonden aan een strandrug. Voor hun ontstaan geeft JOHNSON'S theorie, evenals voor de regelmaat van de verschillende vormen strandhorens, een in alle opzichten bevredigende verklaring. De opbouwende werking van den golfoploop speelt bij hun vorming een grootere rol door het omhoog en opzij duwen van het grovere materiaal, dat dan door den zooveel zwakkeren terugloop niet meer gesleept kan worden.

Voor al de schelpen worden gemakkelijk door de dikke laag water van den turbulenten golfoploop al wentelend de helling opgespoeld, waarbij ze veelal in de stabiele positie, met de bolle zijde omhoog, tot rust komen en door de dunnere laag van den veel minder turbulenten terugloop moeilijk te verplaatsen zijn.

Verkeerdelijk heeft CORNISH hier eveneens den nadruk op de werking van den terugloop gelegd (lit. 8, blz. 639). Van de strandhorens opgebouwd uit rolsteenen, „Shingle Barchanes” genoemd, wordt het volgende gezegd: „The shingle collects in ridges with intervening troughs of sand, the single being only swept out by the backwash where the water is concentrated in the troughs.”

Dat niettemin de terugloop de vorming van deze strandhorens inleidt en ook daarna erodeerend werkt, blijkt uit het ontstaan van delta's voor de depressies. Zij werden waargenomen bij de eerste serie strandhorens onder ad 3 beschreven.

Uit de beschrijvingen en afbeeldingen van de strandhorens, voorkomend aan de Oostkust van Noord-Amerika en eveneens uit fig. 96, krijgt men den indruk, dat de stranden van baaien, ingesloten tusschen meer of minder ver vooruitspringende schiereilanden, gunstige voorwaarden voor het ontstaan van strandhorens bieden.

Deze indruk wordt versterkt, wanneer we in aanmerking nemen dat aan dergelijke kusten de golfrefractie van DAVIS tracht de rechte golven te vervormen tot golven evenwijdig aan de kustlijn en dus loodrecht oplopend. De golfrefractie wordt veroorzaakt, doordat de golven bij de nadering van de kust sterker worden geremd naarmate de diepte afneemt en zij de remmende werking dus het eerst ondervinden voor de schiereilanden. De golfkammen blijven daar achter, terwijl zij voor de baaien, waar de grootere snelheid langer behouden blijft, vooruit ijlen. Wanneer de schiereilanden niet te geprononceerd zijn en de diepte niet te snel afneemt, zoodat de remmende werking zich geleidelijk kan doen gelden, verlopen de golven bij het bereiken van de brandingszone evenwijdig aan de kustlijn.

Golven van stelsels onder een geringen hoek met de algemeene richting van de kustlijn zullen bij hun nadering op dezelfde wijze worden vervormd. Naarmate de hoek grooter wordt, neemt de mogelijkheid van volledige aanpassing aan de kustlijn af, maar anderzijds de beschermende werking van de schiereilanden toe, zoodat de inwerking van scheef oplopende golven op het strand van de baaien beperkt zal zijn.

Het blijkt, dat de mogelijkheid dat in de baaien de golfoploop loodrecht op het strand plaats vindt en daarmee gunstige omstandigheden voor de vorming van strandhorens zich voordoen, groot is.

Opmerkelijk is, dat vooral de deining („groundswell” of „swell”), die zooals we eerder zagen, in den regel aan het Nederlandsche strand de strandhorens doet ontstaan, sterk den invloed van de golfrefractie ondervindt. Dit wordt toegeschreven aan het ontbreken van den voortstuwenden wind en is waarschijnlijk eveneens het gevolg van het feit, dat de deining tot op grootere diepte werkt en dus eerder door de remmende werking van den stijgenden bodem wordt beïnvloed.

Scheeve golfoploop zal op de stranden in de baaien eerder plaats vinden bij door den wind opgejaagde stormgolven, dan bij de tijdens kalm weer heerschende deining.

Deiningsgolven geven dus zowel hier te lande als op de stranden in de baaien, gunstige voorwaarden voor de vorming van strandhorens.

Een tweede gevolg van het voorkomen van baaien en schiereilanden in het verloop van de kustlijn, eveneens bevorderlijk voor het ontstaan van strandhorens op de stranden in de baaien, is het feit, dat daar het kustprofiel in den regel een geringere helling bezit dan voor schiereilanden. De golven, die de baaien binnenlopen nemen dientengevolge bij de nadering van het strand geleidelijk sterk in hoogte toe en veroorzaken na de branding een goed ontwikkelde golfoploop en terugloop.

De strandhorens aan het strand waargenomen, waren in een enkel geval beter ontwikkeld daar, waar de laagwaterlijn flauwe inbochtigen vertoonde (zie de beschrijving van de eerste serie strandhorens onder ad 3). Iets dergelijks bleek uit de experimenten voor de vorming van micro-strandhorens, die in proef XIII het fraaist waren ontwikkeld, in de inbochtigen van de kamlijn van den strandwal. Dezelfde invloed van het verloop van de kustlijn op de vorming van strandhorens, schijnt in beide gevallen op veel kleinere schaal werkzaam te zijn geweest.

Omgekeerd kan uit het bovenstaande de gevolgtrekking worden gemaakt, dat lange rechte stranden, zooals het onze, open voor de werking van iedere verandering in een bestaand golfstelsel, niet gunstig kunnen zijn voor de vorming van strandhorens.

## VI. OVER RIBBELS.

### Nomenclatuur.

Nadat aanvankelijk ook hier verwarring heerschte door de, vooral in de Engelsche en Amerikaansche literatuur optredende, talrijke gebruikelijke namen, is later meer eenheid verkregen.

Algemeen gebruikelijk is nu in de Engelsche en Amerikaansche literatuur de term „ripple-mark”, terwijl de namen „current-mark”, „wave-mark”, „ripple-drift”, „Current-drift” en „friction-marks” op den achtergrond zijn geraakt. In Frankrijk zijn ze „rides” of „rides de fond” genaamd, in Duitschland „Wellenfurchen”, „Rippeln” en „Rippelmarken”.

Meer toepasselijk op de door den wind gevormde ribbelingen schijnen volgens de Nomenclator de namen „Sandwellen” of „Kräusungsmarken” (lit. 12), hoewel ook zij soms „Rippelmarken” worden genoemd.

Als Nederlandsche termen geeft de Nomenclator zandribbels, ribbelingen of rimpelingen, zoowel voor de door den wind als door het water gevormde ribbels. Een verdere indeeling wordt daarin niet gemaakt, hoewel tegenwoordig algemeen onderscheid wordt gemaakt tusschen:

1. Stroom-ribbels, current-ripples, Strömungsrippeln van RICHTER, asymmetrisch van vorm, met ongeveer evenwijdige rechte of zwak gebogen strekking, flauwe loefhellingen en steilere lijhellingen. Zij ontstaan door een continue stroom, of op het strand door translatie golven (lit. 6, blz. 255).

VON BUCHER verdeelt hen in „normal”, „rhomboid” en „linguoid current-ripples” (lit. 6).

2. Oscillatie ribbels of golf-ribbels oscillation-ripples, Seegangsrrippeln van RICHTER (lit. 33), regelmatige, evenwijdige ruggen, symmetrisch van vorm, met een scherpen kam, die ontstaan door de oscillerende stroomen aan den bodem tengevolge van de normale golfbeweging. Een van de eersten, die duidelijk het verschil tusschen deze beide ribbeltypen inzag en een deels experimenteel onderzoek naar de vorming van oscillatie ribbels instelde, was HUNT (lit. 18).

VON BUCHER (lit. 6) onderscheidt verder „Sand-waves” en wel:

- a. „progressive sand-waves”, onregelmatig van vorm met breede, flauw gewelfde kammen, dikwijls vrijwel symmetrisch, die zich stroomafwaarts verplaatsen;
- b. „regressive sand-waves”, regelmatig van vorm, met eveneens vlakke, flauw gewelfde kammen, symmetrisch, die zich echter stroomopwaarts verplaatsen.



Uit deze „sand-waves” ontstaan door een afnemende stroomsnelheid „meta-ripples”, de groote asymmetrische ribbels, die na hoog water worden aangetroffen langs rivieren en op wadden („tidal flats”), de z.g. Grosz-rippeln van RICHTER (lit. 33) en „para-ripples”, een fossiele vorm, ook „large current-ripples” genoemd, die in vele opzichten overeenstemt met de „meta-ripples”, maar daarvan essentieel verschilt door het dikwijls symmetrische of weinig asymmetrische profiel. Verschillende samengestelde systemen worden door hem genoemd, n.l. „oscillation cross-ripples”, oscillatie ribbels gesuperponeerd op reeds bestaande stroom-rippels. In het omgekeerde geval ontstaan „current cross-ripples”. Wanneer beide stelsels tegelijkertijd ontstaan, zijn „compound ripples” het resultaat.

Bij de beschrijving van ribbels en de golven die hun ontstaan veroorzaken, worden verschillende termen gebruikt. HUNT heeft getracht hierin meer eenheid te brengen. Bij de golven onderscheidt hij de „height” van golfberg tot golfdal, verder de „length” en „period”, terwijl voor de oscillerende stroomen aan den bodem „amplitude” en „frequency” worden gebruikt (lit. 19).

De namen „height” en „length” worden door hem ook voor de beschrijving van ribbels gebruikt, de termen periode, frequentie en amplitude niet.

FOREL gebruikt „hauteur” en „largeur”.

#### Het ontstaan.

Het lag niet in de bedoeling in de experimenten bijzondere aandacht te schenken aan het ontstaan van ribbels en te trachten gegevens daaromtrent te verzamelen. Ik zal dan ook hier niet uitvoerig ingaan op de verschillende theoriën, die over het ontstaan van ribbels naar voren zijn gebracht. Zeer veel is over dit onderwerp gepubliceerd en vastgesteld kan worden, dat het mechanisme van het ontstaan van normale oscillatie en stroom-rippels kwalitatief grootendeels als opgelost kan worden beschouwd. De kwantitatieve invloeden van de afzonderlijke factoren zooals grootte, vorm en dichtheid van de korrels en in het bijzonder voor oscillatie golven de invloed van de waterdiepte en afmetingen van de golven op de vormen en afmetingen van de ribbels, zijn eveneens reeds onderzocht, maar wachten toch nog op een werkelijk diepgaand onderzoek.

Door von BUCHER is een overzicht gegeven van wat omtrent het ontstaan van ribbels en verwante oppervlaktevormen bekend was, waarbij hij eigen opvattingen naar voren heeft gebracht (lit. 6). Hetgeen hiervan voor een goed begrip van de nog te vermelden waarnemingen noodzakelijk is, wordt hieronder in het kort weergegeven.

De onderzoekingen van GILBERT hebben aangetoond, dat een drietal kritische snelheden optreden bij het vervoer van materiaal door stroomend water (lit. 14).

a. De eerste kritische snelheid wordt bereikt wanneer de stroomsnelheid zoo toegenomen is, dat het transport van materiaal een aanvang neemt. Onmiddellijk ontstaan dan, doordat achter kleine bodemverhef-

fingen wervels met horizontale assen worden opgewekt, asymmetrische stroom-ribbels, die zich stroomafwaarts verplaatsen. De wervels smelten zijdelings samen en ontwikkelen zich verder, hetgeen tenslotte tot een evenwicht tussehen de stroomen met verschillende snelheid in en buiten de wervels leidt. Iedere andere vorm van aanrakingsvlak tussehen bodem en vloeistof dan stroom-ribbels is als vorm onbestendig. Tussehen den vasten bodem en de stroomende vloeistof bevindt zich dan een laag van wervels, die bij een minimale wrijving optimale condities voor de strooming geven. De distributie van de snelheden, noodig voor het evenwicht, bepaalt de grootte en afstand van de wervels en daarmee grootte en vorm van de stroom-ribbels.

b. De tweede kritische snelheid wordt bereikt, wanneer niet langer afzonderlijke korrels voortrollen, maar de bovenlaag van het materiaal in beweging geraakt.

De onbeweeglijkheid van den zandbodem, noodzakelijk voor de vorming van ribbels, is opgeheven, een laag zand en water, geleidelijk overgaande in den bewegingloozen ondergrond, is in beweging.

Boven deze laag, abrupt ervan gescheiden, vindt men water met weinig zand in suspensie. De ribbels worden weggevaagd, het oppervlak is naar verhouding effen.

c. Boven de derde kritische snelheid, wanneer de stroomsterkte zoozeer toegenomen is, dat het water volkomen troebel is, ontstaan de „anti-dunes” van GILBERT of „regressive sand-waves” en de „progressive sand-waves”, aan lij van welke vormen zich geen regelmatige wervels bevinden. De stroomopwaartsche beweging van de eerste is een gevolg van de geringe hoeveelheid water, nauwelijks voldoende om in stilstand de kammen te bedekken. De stroom moet tegen de loefhelling opklimmen en daalt de lijhelling af, wat sedimentatie op de eerste en erosie van de laatste tengevolge heeft. Dit proces is een functie van de diepte. In dieper water worden eveneens „sand-waves” gevormd, maar daar progressieve, immers hier neemt de stroomsnelheid van het dal tot den kam toe, door de verkleining van het doorstromingsprofiel en van den kam tot het volgende dal af en wordt materiaal, van de loefhelling geërodeerd, op de lijhelling afgezet.

Het schijnt zeer waarschijnlijk, dat de „progressive sand-waves” zich op deze wijze verplaatsen. Zij verschijnen en verdwijnen plotseling, een karakteristiek verschijnsel voor de interferentie van twee golf-systemen, zandgolven beneden en watergolven boven. Hun vorming is te verklaren als het ontstaan van een nieuw aanrakingsoppervlak met de minste wrijving en dus de gunstigste stroomingsvoorwaarden. Het sediment, met water verzadigd, waarboven zich water met sediment beladen bevindt, geraakt tot aanzienlijke diepte in zijn geheel in beweging, stroomt en gedraagt zich als een visceuse vloeistof, zoodat overeenkomstig de wetten van HELMHOLTZ wrijvingsgolven ontstaan. De „sand-waves” kunnen niet blijven bestaan bij snelheden, kleiner dan de vormende. Indien de snelheid vermindert met het dalen van de rivier of van het getij, bezinkt materiaal en vult de dalen, nieuwe zandgolven vormend, overeenkomend met de geringere diepte en stroomsnelheid.

Beneden de derde kritische snelheid worden de golven vast, vormt zich een wervel aan lij en neemt het rollend transport de overhand, een asymmetrisch profiel tengevolge hebbend. Zoo ontstaan de secundaire „meta-ripples”, die uit een symmetrische kern van grover materiaal bestaan, gedeeltelijk bedekt door een scheeve kap van fijner materiaal.

De afwijkende vorm van de fossiele „para-ripples” is waarschijnlijk het gevolg van het voortdurend onder water blijven van dezen ribbelvorm, in tegenstelling met de recente „meta-ripples” die steeds drooggevallen zijn waargenomen.

In zijn algemeene conclusies (lit. 6, blz. 200—201) stelt von BUCHER dan vast, dat de wervels niet essentieel zijn voor de vorming van stroomribbels. Het zijn slechts zuigingswervels, die achter iedere hindernis ontstaan en moeten worden beschouwd als deel van het sediment. Het evenwichtsoppervlak tusschen vrije vloeistof enerzijds en ribbels met wervels anderzijds, is dan een golvend oppervlak met de minste wrijving en dus evenals bij „sand-waves” ontstaan als gevolg van algemeen geldende wetten.

De oscillatie ribbels moeten worden beschouwd als een bijzonderen vorm van de stroom-ribbels en komen daarmee in eigenschappen dan ook sterk overeen. Gedurende iedere halve oscillatie is het verband tusschen sediment en stroom hetzelfde als in de stroom-ribbels.

Hij legt nadruk op het feit, dat voor de oscillatie ribbels nog geen gegevens bekend zijn betreffende het verband tusschen de amplitude van de golven en de lengte der oscillatie ribbels en voert aan, dat waar deze lengte met afnemende diepte toeneemt, bij een bepaalde golfhoogte, onmiddellijk voordat de golven breken, de ribbellenlengte het grootst is.

Oscillatie ribbels kunnen zoowel door kleine golven in ondiep water als door grootere golven in dieper water worden gevormd. (Gezien de in ieder waterbekken aan een maximum gebonden golfhoogte kunnen ribbels van een bepaalde afmeting dus binnen zekere dieptegrenzen ontstaan. Deze grenzen liggen voor kleine oscillatie ribbels ver uiteen en naderen elkaar naarmate de lengte der ribbels toeneemt. Het vaststellen van deze grenzen zou palaeo-geografische beteekenis hebben voor de bepaling van de diepte der bekkens en de waarde van fossiele oscillatie ribbels aanzienlijk doen stijgen.

Een moeilijkheid blijft het vaststellen van de maximale golfhoogte in de palaeogeografische bekkens, een vrij nauwkeurige schatting daarvan naar analogie met recente bekkens zal veelal wel mogelijk zijn.

Het zou daarom m.i. de moeite loonen in modelproeven voor een groot aantal golfhoogten de maximale lengte van de gevormde ribbels en de afname daarvan naar dieper water te bepalen.

Hieronder volgt hoofdzakelijk een opsomming van de in de proeven gevormde ribbels.

Een en ander hiervan is reeds onder IV vermeld.

#### **Ribbels in de proeven gevormd.**

Wij hebben in hoofdstuk IV gezien, dat bij rechten golfoploop in snel tempo symmetrische oscillatie of golf-ribbels werden gevormd met een algemeene strekking evenwijdig aan het strand.

Enkele profielen hierdoor op wat grootere schaal geven fig. 9 en 10.

De kleine centrale ribbels, die in het midden van de ribbeldalen door de samenwerking van de wervels, die van beide zijden boven den kam uitstijgen en naar het midden van het dal neerdalen worden gevormd, zijn op meerdere photo's te vinden (zie o.a. fig. 21 en 9).

Een bijzonderheid vormt in dit systeem de z.g. overgangszone (fig. 16), een smalle zone, waarin enkele ribbels met kleinere lengte tusschen ribbels met aanmerkelijk grootere lengte (fig. 16 en 17). Dit verschijnsel moet m.i. toegeschreven worden aan een interferentie van de oplopende golven en den onderstroom, als voortzetting van den terugloop. Hieruit blijkt, dat andere factoren dan de golfhoogte, diepte en korrelgrootte van het materiaal, invloed kunnen hebben op de lengte van de ribbels. De werkelijke symmetrische vorm van het groote ribbel-systeem is duidelijk zichtbaar in fig. 22, terwijl daaruit evenals uit fig. 21 het regelmatig kleiner worden van de lengte der ribbels bij toenemende diepte, onder overigens gelijke omstandigheden, blijkt.

De ribbels op het brandingsterras zijn, door hun ligging en ontstaan in het gebied van den sterk turbulente oploop, minder regelmatig van vorm en strekking. Een bijzondere plaats neemt het groote ribbeldal aan den voet van den strandwal in. Dit werd gevormd door de erodeerende werking van den terugloop. Een dergelijk verschijnsel komt in de natuur voor.

De ontstaanswijze is goed ingezien door HARTNACK. Wanneer bij een z.g. Aufschüttungsriff, de „Rüchstrom“ de steilere zeehelling afglijdt, „hohlt er am Fusse des Riffs eine kleine Hohlform aus, die in Form einer Mulde (oder lokal auch eines Loches) sich parallel dem Riffusz hinzieht.“ (Lit. 17, blz. 58).

Bij den scheeven golfoploop bleek, uit het ontstaan van de twee systemen oscillatie ribbels het voorste evenwijdig aan de golven en het achterste evenwijdig aan het strand, de groote richtende invloed van de strekking van het strand op die van de ribbels in ondiep water.

De ribbels op het brandingsterras zijn niet meer oscillatie ribbels, maar een overgangsvorm naar stroom-ribbels (zie fig. 60 en 61). Zij zijn een gevolg van de gecombineerde werking van de golven en de door den scheeven golfoploop veroorzaakten zijdelingsch gerichten onderstroom. Dit verklaart hun ligging t. o. v. de strekking van het strand (fig. 53).

Goed ontwikkelde stroom-ribbels werden in de proeven dikwijls gevormd. Zij ontstonden in de nog breede geulen door den uitgaanden stroom, zooals in fig. 7, 11 en 40 goed is te zien en lagen daar min of meer evenwijdig aan het strand. Dezelfde stroom, achter den strandwal nog evenwijdig aan het strand gericht, vormde daar stroom-ribbels dwars op de lengterichting van het strand (zie fig. 39, 40 en 41). Zij werden door den transgreederenden strandwal overdekt, zonder te worden verstoord.

De ontstaanswijze van de U-vormige ribbels met breede, vlakke kammen en smalle, U-vormige dalen (zie proef I) is niet duidelijk. Het zijn feitelijk smalle U-vormige ribbeldalen, gescheiden door bredere gedeelten van het oorspronkelijke oppervlak. Uit hun ligging in fig. 7

aan den rand der oplopende golven zou men kunnen opmaken, dat zij den initiaalvorm van stroom-ribbels zijn.

TSUTOMU heeft dezen ribbelvorm fossiel gevonden. De breede vlakke kam was 1.5 cm breed, de trog 0.7 cm met hellingen van  $32^\circ$  en  $35^\circ$  (lit. 36, blz. 64). Een verklaring voor den typischen afwijkenden vorm wordt echter door hem niet gegeven. Op het strand werden zij verschillende malen aangetroffen. Zij lagen op een weinig hellend strandgedeelte en gingen naar zee toe steeds over in stroom-ribbels. Voor verwarring met oscillatie ribbels, waarvan de kammen zijn afgeplat, moet worden gewaakt.

De verplaatsing van ribbels is reeds in voorafgaande bladzijden ter sprake gekomen. De oscillatie ribbels zijn volgens von BUCHER stationair. Zij kunnen zich niet verplaatsen tengevolge van het afwisselend optreden van de wervels aan beide zijden. Theoretisch is dit zonder twijfel juist. Uit de experimenten blijkt echter, dat deze ribbels zonder een merkbaren asymmetrischen vorm aan te nemen, worden verplaatst, wanneer de voorwaartsche componente van de golven de achterwaartsche overheerscht, m.a.w. de golven in geringe mate het karakter van translatie golven krijgen, of zij door uiterst zwakke stroomen worden geleid.

#### Enkele waarnemingen aan het strand.

Het bij eb veelal geheel of gedeeltelijk droogvallende zwin achter den aangroeiingswal is in den regel bezet met ribbels. We vinden hier dikwijls twee systemen, n.l. een min of meer regelmatig systeem oscillatie ribbels, evenwijdig aan het strand. Naar de zijden van de muien wordt hierop een systeem stroom-ribbels gesuperponeerd, welk systeem nog dichter naar de muien toe geheel de overhand krijgt. De kammen van de oscillatie ribbels zijn dikwijls afgerond.

HUNT heeft dit opgemerkt en toegeschreven aan het droogvallen van de ribbels bij het terugtrekkende tij of dalende water in een meer. Een bijkomstigheid hiervan is, dat de ribbels dienst doen als drainagegeulen waardoor, terwijl de kammen worden verbreed en verlaagd, de dalen worden uitgediept (lit. 18, pag. 17—18).

WEGNER nam eveneens waar, dat de steeds scherpe ribbelkammen van asymmetrische ribbels, in zeer ondiep water op het strand gevormd, bij eb door het laatste terugtrekkende water worden afgerond, waarbij het ribbelprofiel min of meer symmetrisch wordt (lit. 38). De vrij sterk asymmetrische ribbels door hem beschreven, zouden gevormd zijn door de gecombineerde werking van het ebbede water en de golven. Het profiel, met de loefhelling, hellend in de richting van het ebbede water is daarmede in strijd. Waarschijnlijker is, wanneer de waarnemingen juist zijn, dat deze asymmetrische stroom-ribbels zijn gevormd door translatiegolven.

Het bovenstaande geeft den algemeenen vorm van het ribbelpatroon onder normale weersomstandigheden aan.

Onder omstandigheden, waarbij door samenwerking van wind en getij een sterke stroom door het zwin trekt, worden daarin groote stroom-ribbels (fig. 102) gevormd. Dit zijn sterk asymmetrische ribbels

met sterk slingerende strekking, dwars op de lengterichting van het zwin, die dikwijls weer geheel of gedeeltelijk met kleinere stroom- en oscillatieribbels zijn bedekt. De lengte van de ribbels en de koorde van de kronkels bedroeg in een bepaald geval meer dan 2 m. Het opvallendste er van zijn de geprononceerde en in dit geval 15 tot 20 cm diepe ribbedalen.

Deze groote stroom-ribbels kunnen veel grootere afmetingen aannemen. Zoo beschrijft RICHTER ze van de Waddenzee met een maximale lengte van meer dan 8 m en hoogte van 1 m. Zij ontstaan dagelijks aan de randen en op de ondiepten in de tot kilometers breede geulen,



Fig. 102.

Groote stroomribbels met slingerende kammen in het zwin achter den aangroeiingsrug, die hier geen steile grenshelling bezit. Paal 67—68. De pijl geeft de stroomrichting in het zwin aan.

waarin het afstroomende water zich concentreert, maar ook op het open wad. De eerste worden door den ebstroom gevormd of oorspronkelijk door den vloedstroom en daarna door den ebstroom omgewerkt en zijn ongeveer evenwijdig aan de hoofdrichting van de kust. De laatste staan ongeveer loodrecht daarop, d.w.z. de getijdestroomen strijken langs de kust (lit. 33, blz. 172). Hetzelfde werd door CORNISH waargenomen<sup>1)</sup>.

Zij zijn altijd asymmetrisch van vorm en hebben dikwijls langge-

<sup>1)</sup> CORNISH, V., On Sand-waves in Tidal Currents. Geogr. Journ., Vol. 18, 1901, blz. 170—202.

strekte samenhangende, gelijkmatige ruggen of bestaan in plaats daarvan uit afzonderlijke, dikwijls sikkelvormige verheffingen. De neiging om in de lengte te breken in een aantal min of meer sikkelvormige deelen is ook door von BUCHER waargenomen.

Onder bepaalde omstandigheden blijft slechts een veld bezet met D-vormige polen, door CORNISH zoo genoemd, als laatste sporen over. Dit laatste stadium kwam evenals de sikkelvorm bij de waargenomen ribbels veelvuldiger voor dan de regelmatiger, beter ontwikkelde vorm.

Dat werkelijk deze groote stroom-ribbels „meta-ripples” van von BUCHER zijn ontstaan uit symmetrische „sand-waves”, acht RICHTER niet bewezen, evenmin als het tegendeel. Zij worden, in overeenstemming met onze waarnemingen, volgens hem gevormd door getijstroomen versterkt door winddriften, wat door de waarnemingen van HUNT (lit. 18) is aangetoond. Maximale afmetingen bezitten de „Groszrücken” in de vloed- en ebtrechters van de Auszenjade, die een lengte van 150 tot 250 m hebben, terwijl de kammen op 7 m diepte liggen en de dalen tot 16 m reiken, zoodat de hoogte ongeveer 9 m bedraagt (lit. 29). De eigenaardige inwendige bouw, de korrelgrootte van het zand neemt van beneden naar boven toe evenals het gehalte aan schelpen, zoodat de kam vrijwel geheel uit schelpen bestaat, wordt verklaard door de verschillende beweeglijkheid van het materiaal. Zij zijn ongeveer van dezelfde grootte als de grootste door HIDER<sup>1)</sup> in den Mississippi waargenomen „sand-waves”, die een lengte van 228 m hebben bij een hoogte van 5.6 m. Het is de vraag of ook zij als „sand-waves” moeten worden opgevat.

Nog een andere ribbelvorm met vrij groote lengte en geringe hoogte moet worden genoemd.

Na stormachtig weer en hooge vloed, waarbij aan den duinvoet een klif ontstaat en het geheele strand omgewerkt wordt tot een effen, flauw hellende vlakke, is dit strand dikwijls van hoog tot laag bezet met flauwe welvingen, soms nauwelijks als ribbels te herkennen.

Doordat het lichtgekleurde schelpgruis zich in de dalen heeft geconcentreerd, teekenen zij zich, een weinig slingerend, maar in groote trekken evenwijdig aan het strand, scherp af. De lengte bedraagt 40 tot 60 cm bij een hoogte van 1 tot 2 cm. Onder meer normale omstandigheden ontstaan zij dikwijls op de zeehelling van den aangroeiingsrug (zie fig. 103).

Hun ontstaan kan dikwijls worden waargenomen. De terugloop van iederen oplopenden golf neemt geleidelijk in snelheid toe en terwijl het afvloeien eerst volkomen gelijkmatig geschiedt, geraakt de geheele laag water bij een bepaalde snelheid in een stationaire golfbeweging, waarbij de ribbels worden gevormd (zie fig. 104). Iedere oploop vaagt ze weg, iedere terugloop vormt ze opnieuw. Bij vallend water kan op die wijze het strand over vrijwel zijn geheele breedte met deze ribbels worden bezet. Zij komen overeen met de „regressive sand-waves” (60 tot 90 cm

<sup>1)</sup> HIDER, A., Mississippi river Commission Report, blz. 83—88, 1882. (Chief Eng. U.S.A. Report 1883, blz. 2194—2199).

lang en 1 tot 2 cm hoog), die zich in GILBERT's experimenten vormden (lit. 14, blz. 32). De diepte, waarop zij daarin ontstonden, bedroeg 1—7 cm en nam toe met de korrelgrootte.

Naar mijn meening zijn de beschreven ribbels echte „sand-waves”. Eerst wanneer de snelheid van den terugloop boven het derde kritische punt stijgt, worden zij plotseling gevormd. De door den oploop toch reeds omgewoelde bodem gedraagt zich als een vloeistof en wrijvingsgolven ontstaan. Dat zij niet door een vermindering van de stroomsnelheid worden vervormd, is een gevolg van het onmiddellijk droogvallen, dat met een steeds stijgende stroomsnelheid gepaard gaat. Het tijdsverloop, waarin zij worden gevormd is te kort om eenige werkelijke

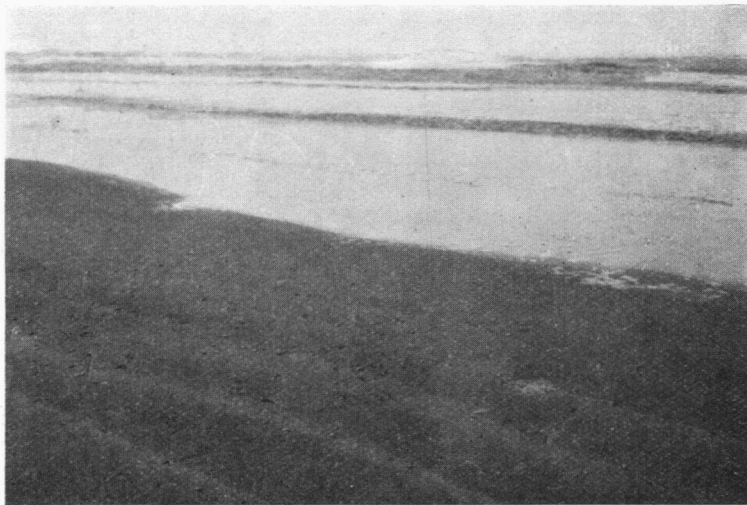


Fig. 103.

Enkele terugloop-zandgolven, tijdens vallend water ontstaan, kort na de vorming. Het lichtgekleurde schelpgruis accentueert de dalen.  
Lengte  $\pm$  40 cm., hoogte  $\pm$  1 cm.

verplaatsing stroomopwaarts te constateeren. Ik stel voor deze ribbels „terugloop zandgolven” te noemen, een naam die hen voldoende onderscheidt van het „backwash mark” van JOHNSON (lit. 25). Deze laatste vorm, door von BUCHER (lit. 6) „rhomboid ripples” genoemd, is een werkelijke ribbelvorm, die door den terugloop op weinig hellende strandgedeelten, waar de stroomsnelheid niet boven het eerste kritische punt stijgt, wordt gevormd. Zij worden door hem vergeleken met de schubben van een Ganoïd, door JOHNSON met de schubvormige bladeren van Cycadaceae-stammen. Evenals de terugloop zandgolven werden zij ook op de achterhelling van den aangroeiingswal aangetroffen en wel slechts daar, waar de helling zeer gering was (zie fig. 105). Zij worden daar gevormd door het afvloeien van een dunne laag water over den kam



van den aangroeiingswal geslagen en zijn geen eigenlijke „backwash marks”. Voorwaarde voor hun ontstaan is dus ondiep water met betrekkelijk geringe snelheid stroomend over een vlakke helling. Slechts zelden zijn zij fraai ontwikkeld, dikwijls vult het lichter gekleurde

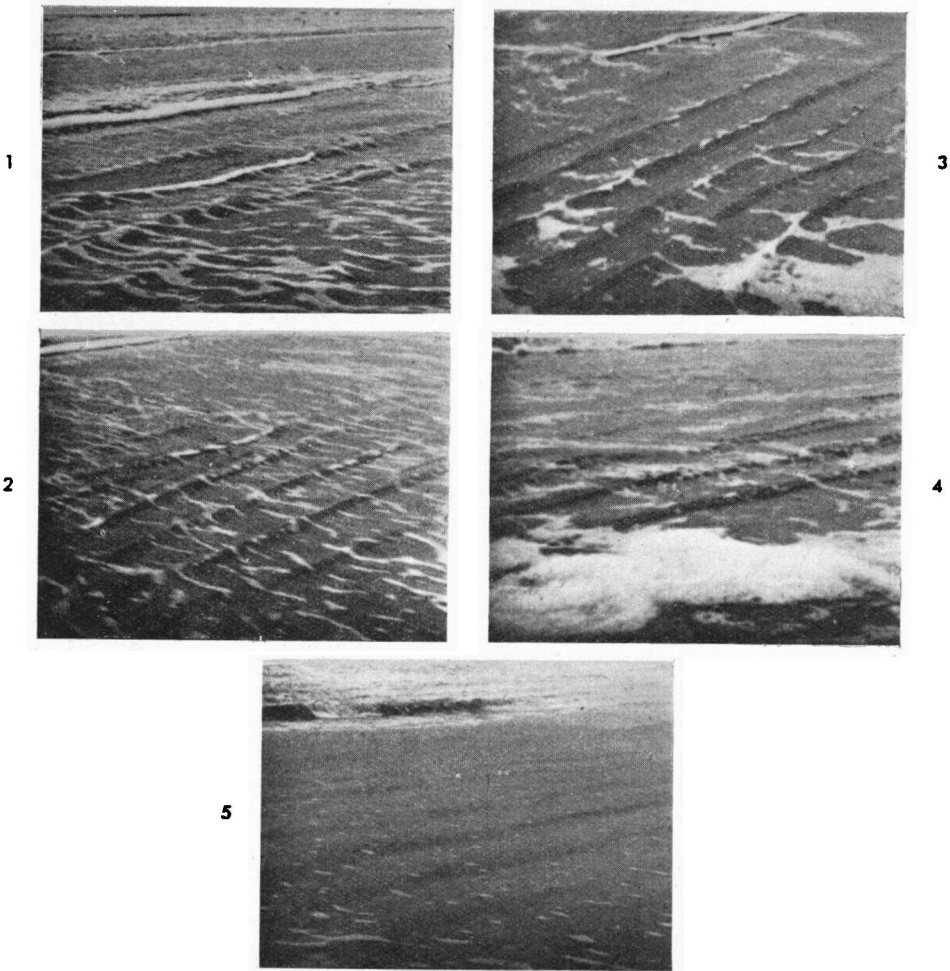


Fig. 104.

Eenige opeenvolgende stadia van de vorming van terugloop-zandgolven. In 1 het eerste optreden van de enkele cm. hooge golven in den terugloop. In 2 en 3 is de terugloop in vollen gang, steile golfjes zijn ontstaan die in 4 breken. 5 een laatste uiterst dunne laag water vloeit af, de zandgronden zijn gevormd. Op den achtergrond een nieuwe, oplopende golf.

schelpgruis de depressies, zoodat een diagonaalstructuur van afwisselend lichter en donkerder gekleurde gedeelten ontstaat.

In de proeven van ENGELS<sup>1)</sup> werden zij gevormd bij het begin van het transport door een uniformen stroom en gingen bij toenemende stroomsnelheid over in stroom-ribbels. Volgens VON BUCHER moeten zij evenals de „linguoid ripples”, tongvormige ribbels, voor het eerst door BLASIUS<sup>2)</sup> beschreven, worden beschouwd als overgangsvormen naar het andere uiterste, dat van longitudinale ruggen en geulen in de stroombedding (lit. 6, blz. 216).

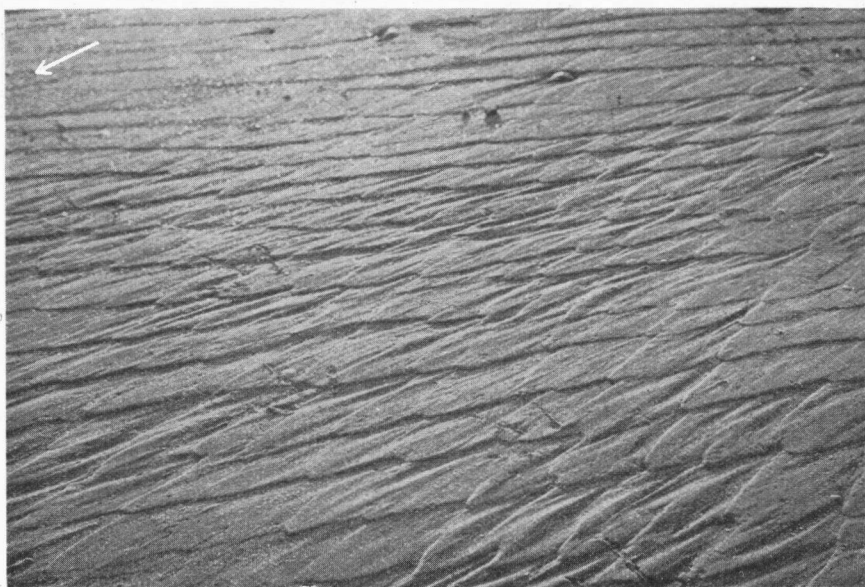


Fig. 105.

„Rhomboid ripples” van VON BUCHER, „backwash marks” van JOHNSON, op de achterhelling van een aangroeiingswal gevormd. Paal 67—68.  
De pijl geeft de stroomrichting aan. De sponen van een zilvermeeuw, van rechts onder naar links boven, geven ongeveer de afmetingen aan.

#### Fossilisatie en palaeogeografische beteekenis.

Naar JOHNSON meent, hebben de oscillatie en stroom-ribbels op het strand slechts een kleine kans bewaard te blijven. Het strand is immers een voortdurend omgewerkte afzetting, zoodat de tijdelijk bedekte ribbels vrijwel zeker later worden vernietigd. Een groote mogelijkheid tot fossilisatie hebben de ribbels op den zeebodem in de „offshore zone”, evenals die op wadden („tidal mud flats” en „sand flats”).

Verreweg de beste omstandigheden schijnen echter te heerschen op

<sup>1)</sup> ENGELS, H., Untersuchungen über die Bettausbildung gerader oder gekrümmter Flusz-strecken mit beweglicher Sohle. Zeitschrift für Bauwesen, Vol. 55, 1905.

<sup>2)</sup> BLASIUS, H., Ueber die Abhängigkeit der Formen der Riffeln und Geschiebe-bänke vom Gefälle. Zeitschrift Bauwesen, Vol. 60, 1910.

rivierdalvlakten en delta's. Hier worden in ondiepe plassen en meren en in stroomkanalen beide typen van ribbels gevormd en „later deposition from spreading flood waters may quietly bury them in places secure from disturbance” (lit. 25, blz. 510).

Deze meening is ook VON BUCHER toegedaan (lit. 6). De condities voor de fossilisatie zijn volgens hem voor oscillatie en stroom-ribbels gelijk. Zij moeten spoedig na hun vorming voldoende met sediment van boven bezinkend worden bedekt. Dit sediment wordt in zeeën en rivieren geleverd door een plaatselijke opwoeling van den bodem, door stormen en stroomen in suspensie gebracht en bezinkt dan, door bovenstroomen meegevoerd, in diepere rustige lagen. Voor te grof materiaal, dat slechts korten tijd in suspensie kan blijven, verliest dit proces zijn kracht. Door de winden en rivieren kan veel materiaal in zeeën en meren worden gebracht, terwijl plaatselijk ook vulkanische asch een rol kan spelen.

Selectief werkt van deze factoren alleen de eerste, wanneer de verhouding van diepte tot lengte in elke richting van het waterbekken („form ratio”) zoodanig is, dat alleen de grootste golven den bodem genoeg kunnen omwoelen om sediment voor de bedekking te leveren. Kleinere oscillatie ribbels zullen omgevormd worden tot grootere, die volgens de onderzoekingen van FOREL<sup>1)</sup> in sterke mate ongevoelig zijn voor de inwerking van minder hooge golven uit andere richtingen en dus bewaard zullen blijven. We hebben bij de proeven het transgredeeren van den strandwal over de achterliggende ribbels gezien, op welke wijze een snelle en toch rustige sedimentatie, waarbij de ribbels bewaard blijven, kan plaats vinden.

Zand wordt van de loefhelling over den kam op de lijhelling geworpen, rolt door aflopend water voortbewogen die helling af, en sedimenteert aan het eind daarvan in het rustige water aan lij. De maximaal steile grenshelling kan hooger of lager zijn of geheel ontbreken, maar dit doet weinig terzake. Op volkomen analoge wijze vindt op het strand het transgredeeren van dien aangroeiingsrug over het erachter gelegen, met ribbels bedekte zwin plaats. Overal, waar een geleidelijke verplaatsing van banken of in het algemeen zandaccumulaties een sedimentatie tot gevolg heeft, kunnen op deze wijze aan de lijzijde ribbels worden bedekt en bedekt blijven.

In wezen verloopt de sedimentatie op de met ribbels bezette oppervlakte gelijk aan die, welke voor delta's plaats kan vinden. Daar worden de onder water afgezette deltalagen rustig over het bodemsediment uitgebouwd.

JOHNSON beschouwt terecht de omstandigheden op het strand als in het algemeen voor het conserveeren van ribbels zeer ongunstig. In het oog moet worden gehouden dat, zooals BRAUN naar voren brengt, het strand geen „Grundform des Aufbaues”, maar een „Grundform des Transportes” is (lit. 2). Indien een strand sedimentatieterrrein wordt, zooals dat b.v. in het algemeen bij aangroeiende kusten en in het bij-

<sup>1)</sup> FOREL, F. A., *Les rides de fond, étudiés dans le lac Lemán.* Arch. Sci. Phys. Nat. Genève, Vol. 10, 1883.

zonder bij het ontstaan van een strandwalvlakte („ridged beach plain”) het geval is, zijn de omstandigheden voor fossilisatie zeker niet ongunstig. De strandwallen kunnen hierachter liggende ribbelvelden permanent bedekken.

Palaeogeografische gevolgtrekkingen uit het voorkomen en den vorm en grootte van ribbels moeten vooralsnog met groote voorzichtigheid worden gemaakt. JOHNSON betwijfelt de juistheid van de volgende conclusies door KINDLE getrokken (lit. 26):

1. aan de oevers van meren, waar ribbels uitsluitend door golven worden gevormd, is de strekking van deze ribbels steeds evenwijdig aan den oever;
2. ribbels aan de zeekust door getijstroomen, die in het algemeen de kust volgen, gevormd, zijn loodrecht op de kust gericht;
3. het optreden van talrijke oscillatie ribbels in een zandsteenformatie en de afwezigheid van stroom-ribbels wijzen op de lacustriene condities. Het overheerschen van asymmetrische ribbels daarentegen duidt op getijstroomen en mariene condities.

Deze conclusies zijn volgens hem door hun generaliseeren misleidend. Oscillatie ribbels zijn geenszins beperkt tot lacustriene afzettingen, maar worden ook in zee veel gevormd. Het onderscheiden van mariene, lacustriene en fluviatische afzettingen op grond van de erin voorkomende ribbels moet onder groot voorbehoud worden aanvaard. Fossiele mariene ribbels zouden geen bevredigende sleutel geven voor het verloop van een vroegere kust. Stroom-ribbels, dikwijls in depressies van het strand, liggen onder een wisselenden hoek met de kustlijn, oscillatie ribbels kunnen op het strand iedere positie innemen. In de „offshore zone” zijn beide typen onder groote hoeken met de kustlijn gelegen waargenomen.

In de proeven is gebleken, dat de strekking van de oscillatie ribbels wordt bepaald door de richting van de golven en het verloop van de helling. In zeer ondiep water zullen zij ook bij scheeven golfoploop in het algemeen evenwijdig aan de kust zijn. Uit eigen waarnemingen blijkt, dat zij reeds op een diepte van minder dan 1 m een aanzienlijken hoek met de kustlijn kunnen vormen en de zone met ribbels evenwijdig daaraan dus zeer smal is.

Ik stem daarom in met JOHNSON's bedenkingen tegen KINDLE's conclusies voor zoover zij betrekking hebben op normale oscillatie en stroom-ribbels. Een uitzondering moet m. i. worden gemaakt voor de z.g. terugloop zandgolven, die een bijzondere plaats innemen. Zij zijn steeds evenwijdig aan de kustlijn en kunnen alleen daar, waar aanmerkelijke schommelingen in den waterstand, veelal tengevolge van getijden, optreden, een eenigermate breed veld beslaan. Zij zullen fossiel in sedimenten met mariene facies bij een ontsluiting van enkele meters lengte een goeden indruk geven van de richting van de kustlijn en toonen over een wat grootere breedte aangetroffen, het bestaan van getijden aan. In sedimenten met brak of zoetwaterfacies daarentegen wijzen zij op schommelingen in den waterstand door windstuwing.

De groote stroom-ribbels geven, indien aangetoond kan worden, dat zij in mariene lagen voorkomen, ondubbelzinnig blijk van de aanwezigheid van sterke getijstroomen. In geulen gevormd kunnen zij zoowel evenwijdig aan als loodrecht op de kust gericht zijn, in open zee is steeds het laatste het geval. Conclusies omtrent het verloop van de kustlijn zijn dus geenszins onmogelijk. VON BUCHER voert aan dat, indien aangetoond kan worden dat zij in open zee zijn gevormd, de richting van de kustlijn te reconstrueeren is.

Met betrekking tot de diepte van het water meent JOHNSON alleen de volgende algemeen geldende regels te kunnen geven:

1. de groote stroom-ribbels kunnen niet in zeer ondiep water worden gevormd, afgezien hiervan kunnen groote en kleine stroom-ribbels in ondiep en diep water ontstaan;
2. groote oscillatie ribbels kunnen niet in ondiep water ontstaan, immers groote oscillatie golven zijn daar onmogelijk;
3. zoowel groote als kleine oscillatie ribbels kunnen in diep water optreden, de afmetingen zijn afhankelijk van een aantal factoren, waarvan de lengte en de hoogte van de golven en de diepte van het water de voornaamste zijn.

In verband met de laatste twee regels kan verwezen worden naar blz. 369, naar aanleiding van den eersten kan erop gewezen worden, dat groote stroom-ribbels volgens VON BUCHER waarschijnlijk beperkt zijn tot 25 m diepte en volgens eigen waarnemingen op het strand in ongeveer 1.5 m diepte kunnen ontstaan.

Tot welke belangrijke palaeogeografische en palaeoklimatologische gevolgtrekkingen een diepgaand onderzoek van de ribbelvormen tezamen met de formaties waarin zij voorkomen, kan leiden, werd door VON BUCHER in het bijzonder nagegaan voor de talrijke vondsten van oscillatie ribbels en „para-ripples” in het Onder Palaeozoïcum van de Westelijke Staten der V. S.

## SUMMARY.

In order to throw more light on the formation of submarine bars and offshore bars or barrier beaches and the minor shore forms beach cusps and ripple marks a series of experiments was made in the new laboratory for experimental geology of the Geological Institution of the University at Leiden. The experiments were carried out in a tank, measuring six by four meters and half a meter in depth in which waves could be produced artificially varying in height from two to about twelf centimeters. The effects of waves on sandy beaches running parallel to or approaching the beach at an angle of fifteen degrees were traced, the beach itself having a slope of two, four or six degrees.

Finally especially to detect possible rules for the formation of beach cusps in relation to the slope of the beach and the height and period of the waves some experiments were carried out with valves and valve-grit, for the principal part derived from *Macta subtruncata* Dac., and with fine pumice-stone-gravel the so-called „bims” Lapilli (original from the volcanic Laacher-See country in Germany) ranging in diameter from 0.2 to 2 centimeters in which the beach also had a varying slope. Neither of those last two series of experiments gave the results hoped for with regard to the problem mentioned.

Many of the results of the effect of waves during the experiments may be found in the numerous photographs and figures in chapter III.

The development and the pushing backwards of the offshore bar by the waves are clearly visible in the figures 39, 40, and 41.

In all cases the offshore bar was formed by a gradual lateral growing of a number of subaquatic accumulations of sand which were at the same time slowly pushed higher up the slope of the beach.

The subaquatic bar and the channel at the back of it, the latter formed by the excavation through the breaking waves, both had a practically stationary position.

An almost horizontal terrace was formed between the channel and the foot of the front slope of the offshore bar, the latter being then pushed backwards to its final position and this taking the slope of a beach ridge. When the waves were running parallel to the beach this terrace was covered with somewhat irregular symmetric oscillation-marks and in case of experiments with waves oblique to the beach with slightly asymmetric combined current- and oscillation-ripples.

A number of profiles through the beach were taken at the end of most experiments. A careful examination of these profiles gave the following results.

1°. The height of the submarine bar increases until the depth above it measured from the mean water-level is equal to half the height of the waves measured from trough to crest (diagram 1, fig. 85).

2°. Only in the experiments with the beach sloping four and six degrees the submarine bar grows beyond the original profile.

3°. The maximal depth of the channel at the back of the submarine bar is approximately equal to the height of the waves (diagram 3, fig. 87).

4°. The height of the offshore bar, driven back to its ultimate position, above the mean water-level is proportional to one third of the height of the waves (diagram 4, fig. 88).

5°. The actual height of the offshore bar, i.e. the height above the original slope of the beach, proved to be almost independent of the height of the waves (diagram 5, fig. 89).

It thus turned out that the offshore bar is pushed back more or less according to the height of the waves without any real increase in height and volume.

The number of profiles was not great enough to determine the influence of the slope of the beach though it may be established that indications tend to show a relatively small effect.

The transportation of sand from the offshore zone to the beach and in the reverse direction and the transport along the beach by oblique wave attack were discussed at much length.

In order to separate the zones in which the waves eroded the sea bottom from those in which sedimentation took place two neutral lines were introduced. The first, seaward one already introduced by CORNAGLIA where the land- and seaward components of the ground waves are supposed to be exactly balanced, inside of which the motion of debris is landward and out-side of which it is seaward.

The second, nearer to the beach, where the eroding force of the waves is changed into a constructive agency. The position of this last line giving at the same time the depth at which the waves will break. The diagram 7 in fig. 91 proves this depth below mean water-level to be equal to three quarters of the height of the waves.

The neutral line of CORNAGLIA was located at a maximal depth of two and a half times the height of the waves, a figure very well in accordance with those given by CORNAGLIA, HEISER and VON BOSCHITSCH for the Mediterranean, the Baltic and the Black Sea.

It is generally supposed that the material in the offshore zone, deposited on the abrasion platform, cannot be considered as definitely lost for the formation of shore forms though the transport of sand up the sea-bottom slope is still a quite uncontrollable factor in the development of shores. This supposition however is not directly based on the experimental research but for the greater part on a study of the literature and reports of facts, observed in nature.

It needs further experiments with coloured sand to prove the exactness of this opinion which are impossible to be carried out in nature on account of the big amounts of sand required.

As to the transportation of sand along the beach it was stated that while in nature the litoral drift is divided into beach drifting- and offshore drifting sand, the former due to the oblique advance of the waves, the latter due to wind-generated and tidal currents, in the experiments the beach drifting only is of prime importance. The principal part of the longshore transportation consequently took place in the zone landward from the surfline. The deflection of the outlets, intersecting the full, by the gradual growing of the windward ridge could be seen in the experiments (exp. XIV).

The experiments proved that all waves in the very first place tend to form a profile of equilibrium on the one hand by throwing much material on the beach and pushing this back on the other hand by pulling it down to greater depth.

Whilst this is happening the transversal transportation of sand predominates strongly the alongshore transportation, the latter getting more importance when the profile of equilibrium approaches its completion.

Much attention was paid to the formation of the low and ball of a sandy shore. The conditions during the experiments resemble closely those of a shore line of emergency along which the formation of submarine- and offshore bars is typical.

The coast, the sea-bottom offshore over a varying distance from the coastline and the neighbouring coasts must be considered the sources of the material required for their upbuilding.

The results of the experiments and a study of the facts brought forth by other investigators lead the author to the conclusion that the submarine bars, parallel to the shore, are formed by the loss of transporting power of the waves at the surfline. The undertow being only a factor in the regulation of the position of this line and not a determinative factor in the formation of the bars.

The so-called „Zuwachsriff“ of BRAUN (lit. 3), a transitional form between the submarine bars and the offshore bar, must be formed by the uprush of the waves after the final breaking. The channel at the back of the submarine bar is in the experiments merely due to the excavating action of the surf but in reality tidal- and wind-generated currents will also have some influence on its formation. The changes in form and position of the three or four, sometimes even more parallel bars are believed to be greatest in the zones nearest to and farthest from the beach. The latter, exposed to the effect of all changes in the height of waves, protects the inner zones to a large extent against a stronger attack by an increasing height of the waves.

The former being exposed to the relatively greatest changes in depth and receiving much material eroded from the higher beach and the coast.

Any submarine bar, build up to its maximum height by one series of waves will suffer erosion from a higher series and probably be driven landwards more or less.

The complex of bars in general is a stabile phenomenon with regard to the external form as to the material it is a dynamic and by no means a static equilibrium.



The submarine bars being considered fore runners of the offshore bars only a few remarks need be made about the formation of the latter.

I wholly accept DE BEAUMONT's theory according to which the long-shore transportation of debris is a factor completely superfluous for the formation of the offshore bars.

Even without the slightest littoral drift bars will be build up consisting of material eroded from sea-bottom farther offshore, the slope of the offshore itself and during periods of rough weather from the coast also. The formation of offshore bars as the „Flügelriffe" after VON CHOLNOKY's theory is strongly rejected.

„Flügelriffe" could be called „delta wing-bars", a name expressing the connection with delta's to which the bars are attached and of which they derive their material after the theory mentioned above.

The fifth chapter deals with the formation of beach cusps. Observations in the laboratory and along the Dutch shore show that conditions for their formation only are favourable when regular waves advance and retreat strikingly parallel to the beach.

It is thought that the backwash plays an important part in the formation of this minor shore form. Starting its course without any momentum it is more apt to be captured and divided into a number of small streams, running down the slope, by small irregularities and depressions in the surface of the beach. The uprush or swash, which swirls over the slope, will try to erase those irregularities as often could be observed in the experiments.

Beach cusps are only formed when the eroding power of the backwash slightly exceeds the constructive power of the uprush. In this case an equilibrium will be attained after a small partial erosion of the slope of the beach concentrated in the bays intervening the beach cusps. Whenever the difference between the two agencies becomes greater the whole slope will be eroded. Along the Dutch shore the beach cusps are build up out of sand, valves and valve grit of *Macra subtruncata* Dac. and the little tubes of *Pectinaria belgica* Pall. and *Terebella conchilega* Pall. Those consisting of sand are only found in connection with beach ridges, the seaward slope of which is a subject to erosion in the manner described above.

The formation of ripple marks during the experiments did not have the authors special interest. It may only be stated that oscillation-ripples as well as current-ripples were formed.

During the experiments with waves parallel to the beach, all oscillation-ripples formed were parallel to the beach. In the experiments with waves running oblique to the beach, the oscillation-ripples in the deeper zones trended parallel to the waves, in the higher zones parallel to the beach while on the terrace at the back of the channel combined current- and oscillation-ripples were formed at a considerable angle with the beach.

True current-ripples appeared in the outlets where they were parallel to the beach and with a general trend at right angles to the beach at the back of the offshore bar.

The latter are quietly buried by the transgression of the offshore

bar in a manner strictly comparable to the fossilization of ripple marks in delta deposits and by the wandering of banks.

The author hopes to have found a new ripple-mark, the „backwash sand-wave” which being always parallel to the beach in a fossil state will give fairly good evidence of the position of the ancient beach. And if these sand-waves are found over some distance in a direction at right angles to their trend they clearly show changes in the water-level, which may be due to the pushing of water against a coast, but in sediments with a marine facies is the result of the tides.

These ripples, formed by the back wash, show a slightly arched form measuring some forty to fifty centimeters in length and not more than one or two centimeters in height. They may cover the whole width of the beach after a period of stormy weather and high tide but under normal circumstances, they are formed on the seaward slope of the ridges lying at the front of the beach near to the low-tide line.

## LITERATUURLIJST.

1. BEAUMONT, E. DE. *Leçons de Géologie Pratique*. Paris, 1845.
2. BRAUN, G. Einige Ergebnisse Entwicklungsgeschichtlicher Studien an Europäischen Flachlandküsten und ihrer Dünen. *Zeitschr. der Gesellsch. f. Erdkunde Berlin*, S. 543—560, 1911.
3. BRAUN, G. Entwicklungsgeschichtliche Studien an Europäischen Flachlandküsten und ihren Dünen. *Veröff. Instit. für Meereskunde u.s.w.* XV, S. 1—74. Berlin, 1911.
4. BURGT, J. H. VAN DER. De kustverdediging langs het oostelijk deel van de Noordzee en in het bijzonder van Nederland. *De Ingenieur*, No. 50, Dec. 1933, blz. 275—291.
5. BUCHER, W. H. VON. Large Current Ripples as Indicators of Paleogeography. *Nat. Acad. Sci. Proc.* III, 285—291, 1917.
6. BUCHER, W. H. VON. Ripples and Related Sedimentary Surface Forms and their Paleographic Interpretation. *Am. Journ. of Sci.*, Vol. XLVII, 1919, Art. XII, 148—210; Art. 15, 241—270.
7. CHOLNOKY, E. VON. Umformungsvorgänge der Meeresküsten. *Peterm. Mitt.* 73, 193—197, 1927.
8. CORNISH, VAUGHLAN. On Sea-beaches and Sand-banks. *The Geogr. Journ. London*, XI, 528—543, 628—651, 1898.
9. DEECKE, W. Ein Versuch, die Bänke der Ostsee vor der pommerschen Küste geologisch zu erklären. *Neues Jahrb. f. Min. etc., Beil.Bd.* 20, S. 445—465, 1905.
10. ENGELS, HUBERT. Historical Development and Value of Experiment with Models. *Hydraulic Laboratory Practice 1926—1929*, 35—47.
11. ESCHER, B. G. *Algemeene Geologie*, 4e druk, 1934.
12. *Geologische Nomenclator v. h. Geolog. Mijnbouw. Genootschap voor Nederland en Koloniën*. Den Haag, 1929.
13. GILBERT, G. K. Lake Bonneville. *Monogr. of the U.S. Geol. Surv.*, Vol. I, 438 pp., 1890.
14. GILBERT, G. K. The Transportation of Débris by Running Water. *U.S. Geol. Surv. Professional paper* 86, pp. 1—263, 1914.
15. GULLIVER, F. P. Shoreline Topography. *Proc. Amer. Acad. Arts and Sciences*, XXXIV, 151—258, 1899.
16. HARTNACK, W. Die Küste Hinterpommerns, unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie. *Stolpmünde*, S. 1—324, 1926.
17. HARTNACK, W. Ueber Sandriffe-Untersuchungen an der pommerschen Küste. *Jahrb. der Geogr. Gesellsch. Greifswald*, 40—42, S. 48—68, 1922—1924.
18. HUNT, A. B. On the Formation of Ripple Mark. *Proc. Roy. Soc. London*, Vol. XXXIV, pp. 1—18, 1882.
19. HUNT, A. B. The Descriptive Nomenclature of Ripple Mark. *Geological Magazine, N.S.*, No. 8, 410—418, 1904. The New question of Ripple Mark, *idem* No. 12, 619—621, 1904.
20. Interim Report of the BEACH EROSION BOARD. Office of the Chief of Eng., U. S. Army, Apr. 1933, Washington. (niet gepubliceerd)

21. JAKUSCHOFF, P. Ueber die Sandwanderung an der russischen Küste des Schwarzen Meeres. Zeitschr. f. Schiffbau, Schifffahrt und Hafenbau, No. 13 en 14, 33, 1932.
22. JEFFERSON, M. S. W. Beach Cusps. Journ. of Geology, VII, 237—246, 1899.
23. JEFFERSON, M. S. W. Shore Phenomena on Lake Huron. Journ. of Geology, XI, 123—124, 1903.
24. JOHNSON, D. W. Beach cusps. Bull. Geol. Soc. Am., XXI, 599—624, 1910.
25. JOHNSON, D. W. Shore Processes and Shoreline Development. 584 pp., New York, 1919.
26. KINDLE, E. M. Recent and Fossil Ripple Mark. Can. Geol. Surv., Museum Bull. No. 25, 1—56, 1917.
27. KRESSNER, B. Modellversuche über die Wirkungen der Strömungen und Brandungswellen auf einen sandigen Meeresstrand. Die Bautechnik, Heft 25, S. 374—386, 1928.
28. LEHMANN, F. W. P. Das Küstengebiet Hinterpommerns. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, XIX, 332—404, 1884.
29. LÜDERS, K. Entstehung und Aufbau von Groszrücken mit Schillbedeckung in Flut- bzw. Ebбетrichter der Auszenjade. Senckenbergiana, Bd. 11, 123—142, 1929.
30. MARTONNE, E. DE. Traité de Géographie Physique, 4e éd., Paris, 1926. T. II. Le Relief du Sol.
31. OTTO, TH. Der Dars und Zingst. Jahresbericht der Geogr. Gesellsch. Greifswald, XIII, 235—485, 1911—12.
32. POPPEN, H. Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht der Nordsee. Ann. der Hydrographie, Berlin, 40, S. 273—302 und 354—362, 1912.
33. RICHTER, RUD. Die Groszrippeln unter Gezeitenströmungen im Wattenmeer und die Rippeln im Pinnaer Turon. Flachseebeobachtungen zur Pal. u. Geol. XV. Senckenbergiana, Bd. 8, 1926.
34. RUSSELL, I. C. Geological History of Lake Lahontan. Mon. U. S. Geol. Surv., XI, 288 pp., 1885.
35. TIEDEMANN, B. Ueber Wandern des Sandes im Küstensaum des Samlandes. Zeitschrift für Bauwesen, H. 5, 1930.
36. TSUTOMU OGURA. Ripple-Marks with Special Reference to those in Ryojun. Mem. of the Ryojun Coll. of Engineering, Vol. III, No. 2-A, 61—71, 1930.
37. WAGNER, G. Beobachtungen am Meeresstrand und ihre Bedeutung für die Geographie der Vorzeit. Aus der Heimat, Juni 1932, S. 161—173.
38. WEGNER, TH. Unter Gezeitenwirkung entstandene Wellenfurchen. Zentr. Bl. f. Min. etc., Abt. B, 31—34, 1932.
39. WEIGELT. Die Flachmeersäume und die Gesetzmäßigkeit ihres geologischen Baues. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., Bd. 72, S. 294—297, 1920.
40. WENTHOLT, L. R. Stranden en Strandverdediging. Delft, 1912, 234 blz.