

10:215449

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren
nr. C - 2134

bibliotheek

712



BESCHOUWINGEN
OVER DE
GRONDSLAGEN
VAN
KUSTVERDEDIGING

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek C-2134

712

BESCHOUWINGEN OVER DE
GRONDSLAGEN
VAN
K U S T V E R D E D I G I N G

door ir. L. van Bendegom
Hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat
+

Hoorn, December 1949.

+

I N H O U D

+

I. Overzicht	blz. 1
II. Stroming en zandbeweging	blz. 6
a. Algemene beginselen	
b. Geulvorming	
c. Geulverplaatsing	
III. Golfslag en zandbeweging	blz. 22
a. Kustvorming door golfslag	
b. Kustvorming door scheve golfaanloop	
IV. Zandtransport door gecombineerde waterbeweging..	blz. 32
a. Golfslag met stroming	
b. Stroming met golfslag	
V. De verdediging van inscharende oevers van stroom- geulen.....	blz. 42
a. Algemeen principe	
b. Doorgaande verdediging	
c. Verdediging op punten	
VI. De verdediging van afnemende brandingskusten....	blz. 63
VII. De verdediging van kusten, welke door gecom- bineerde golfslag en stroming afnemen	blz. 69
a. Golfslag met stroming	
b. Stroming met golfslag	

+

LIJST VAN FIGUREN

- Figuur 1. Verdeling van water- en zandafvoer in een geul.
- " 2. Verband tussen bodemdwarshelling en zandtransportgradiënt.
- " 3. Vorming evenwichtsgeul bij gegeven water- en zandtransport.
- " 4. Verband tussen breedte en diepte van een aantal wadgeulen.
- " 5. Geulverplaatsing en -vervorming door spiraalstroming.
- " 6. Luchtfoto van het zeegat van Eyerland met bijbehorend stroomgebied.
- " 7. Verplaatsing van de Vliesloot tussen 1939 en 1949.
- " 8. Verdraaiing van de mond van de Vliestroom tussen 1830 en 1943.
- " 9. Evenwichtshelling van de bodem bij verschillende golfslag.
- " 10. Lichte branding op de kust.
- " 11. Bodemprofielen langs de Nederlandse kust.
- " 12. Vorming buitenbanken bij zware branding.
- " 13. Luchtfoto van de kust van Ameland bij ruw weer.
- " 14. Bodemligging van de onderzeese oever en van het natte en droge strand op Vlieland.
- " 15. Zware branding bij storm.
- " 16. Schematisch beeld van brandingsdriftstroom.
- " 17. Verloop van de 7 en 10 m dieptelijn uit de kust.
- " 18. Afname Noordzeestrand Vlieland.
- " 19. Afname Noordpunt Texel door stroming en golfslag.
- " 20. Wijziging richting zandtransport na vastlegging geul.
- " 21. Geulvervorming bij aanbrengen van een doorgaande oeververdediging.
- " 22. Schema vaste-punten-verdediging.
- " 23. Schematisch verloop stroombanen bij een vaste bodem en bij verwaarlozing wandinvloed.
- " 24. Schematisch verloop stroombanen bij inachtnaamewandwrijving.
- " 25. Schematische bodemligging bij vast punt.
- " 26. Voormalige betondam van het vaste punt "de Stuifdijk" op Texel.
- " 27. Bodemligging voor "de Stuifdijk" (1940).
- " 28. Opgetreden oevervallen nabij "de Stuifdijk".

Figuur 29. Schema van een scherp hoofd met "oren".

- " 30. Schema van een afgerond bolwerk.
- " 31. Bodemligging van het westelijk uiteinde van "het Horntje" op Texel.
- " 32. Uitvoering van het bolwerk Eyerland aan de noord-oostkust van Texel.
- " 33. Principe van verdediging bij kustafname door scheve golfaanloop.
- " 34. Kustverdediging bij afname door scheve golfaanloop zonder zandaanvoer.
- " 35. Verdediging bij scheve golfaanloop, indien wel enige zandaanvoer plaats vindt.
- " 36. Zandbeweging en bodemligging bij hoofden van beperkte lengte.
- " 37. Principe van kustverdediging bij golfslag met stroming.
- " 38. Hondsbossche zeekering; strandhoofdenverdediging met kunstmatige vooruitgeschoven waterkering.
- " 39. Strandhoofdenkust ten zuiden van Scheveningen.
- " 40. Schetsen van 3 typen strandhoofden.
- " 41. Strandhoofd in Zeeland, het paalhoofdtype nabijkomend.
- " 42. Strandhoofd.
- " 43. Verlaging van strandhoofden op Vlieland.
- " 44. Hoge strandhoofden ten zuiden van den Helder.
- " 45. Lage hoofden op Vlieland.
- " 46. Strandhoofden nabij Westkapelle in Zeeland.
- " 47. Hoogteverschil aan weerszijden van het meest zuidelijke hoofd op Vlieland.

+

I. OVERZICHT.

De zee, die in het grijs verleden een zo grote rol moet hebben gespeeld bij de opbouw van aanzienlijke en zeer vruchtbare gedeelten van ons land, is -waarschijnlijk door klimaatverandering en bijbehorende zeespiegelrijzing- tegen de Middeleeuwen geleidelijk van karakter veranderd en tracht sindsdien in steeds toenemende mate af te breken wat eens gevormd werd.

Dit heeft ertoe geleid, dat de mens is gaan ingrijpen in de natuurlijke vorming en vervorming van onze kust, eendeels door kunstmatige stimulering van de aflatende opbouwfactoren; anderzijds door te trachten om de directe gevolgen van de afbraak te beperken (aanleg van waterkeringen) of zelfs om de afbraak zelve te remmen of geheel tot staan te brengen (aanleg van kustverdedigingswerken).

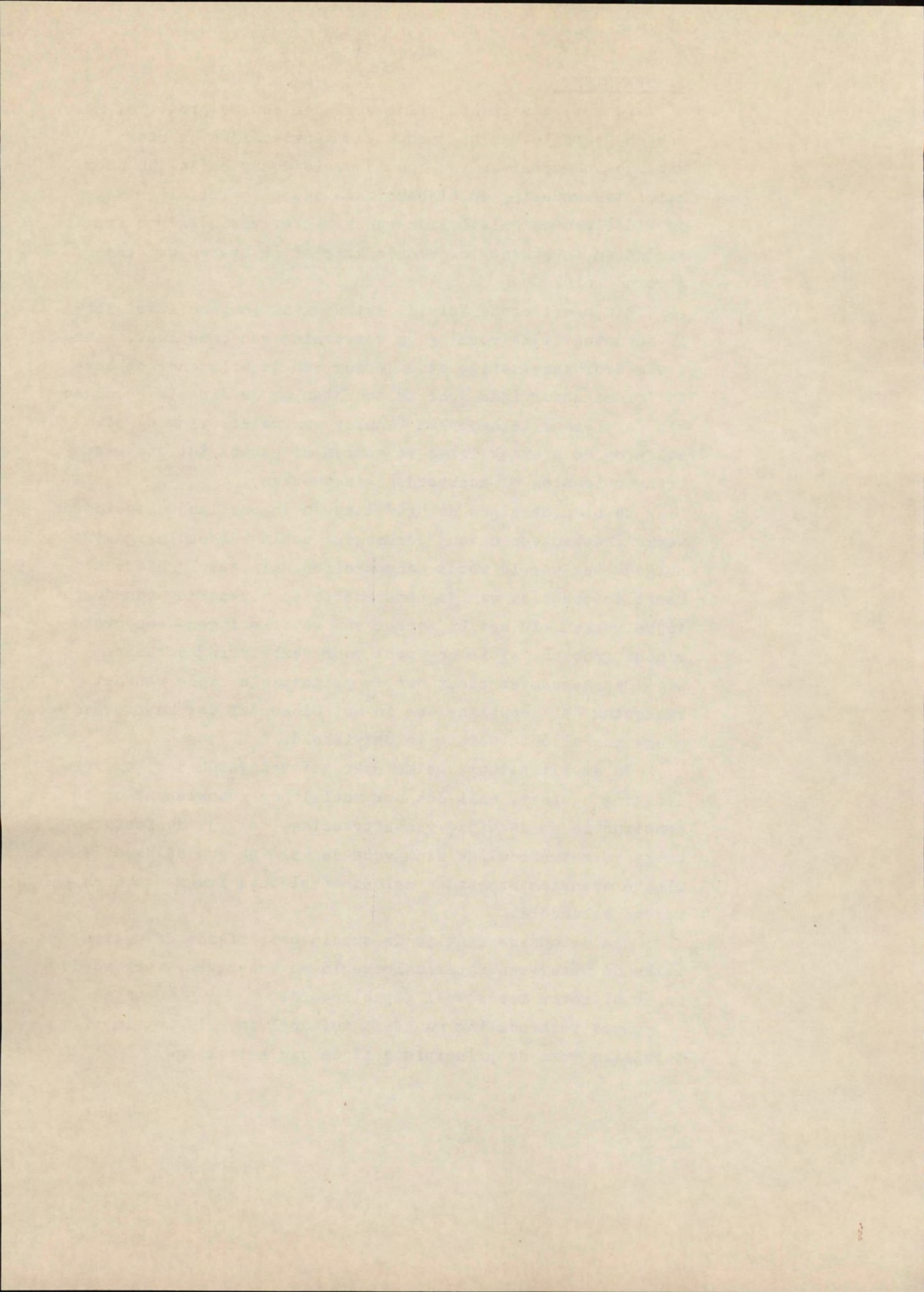
De hiertoe sinds de Middeleeuwen in ons land uitgevoerde werken hebben een omvang verkregen, zoals verhoudingsgewijs nergens ter wereld wordt aangetroffen. Als gevolg hiervan heeft de techniek van de constructie en uitvoering van dergelijke werken -in het bijzonder van waterkeringen- een grote vlucht genomen, al is nog veel voor verbetering vatbaar.

Daartegenover staat dat de principiële zijde van het vraagstuk der zeewering -en in het bijzonder der kustverdediging- nog slechts weinig is ontwikkeld.

In de literatuur, welke over het vraagstuk der kustverdediging bestaat, valt dan ook veelal het zwaartepunt op de constructie en de wijze van uitvoering, terwijl de factoren welke verantwoordelijk zijn voor de vorming van de beoogde nieuwe evenwichtstoestand zelden of slechts fragmentarisch worden behandeld.

Aan de andere kant is de studie betreffende de wetten, welke de water- en materiaalbewegingen beheersen, vergevorderd en is hierover reeds veel gepubliceerd.

Deze verhandeling nu heeft tot doel om, zij het in populaire vorm de principiële zijde van het vraag-



stuk der kustverdediging samen te vatten en na te gaan in welke onderdelen onze kennis nog onvoldoende is. Hierbij zullen verschillende suggesties worden gedaan welke een nader onderzoek behoeven, waarbij ongetwijfeld zal blijken dat een gedeelte ervan niet helemaal of zelfs helemaal niet juist kan zijn. Gemeend wordt evenwel dat het verantwoord is om deze suggesties te doen ter stimulering van het onderzoek.

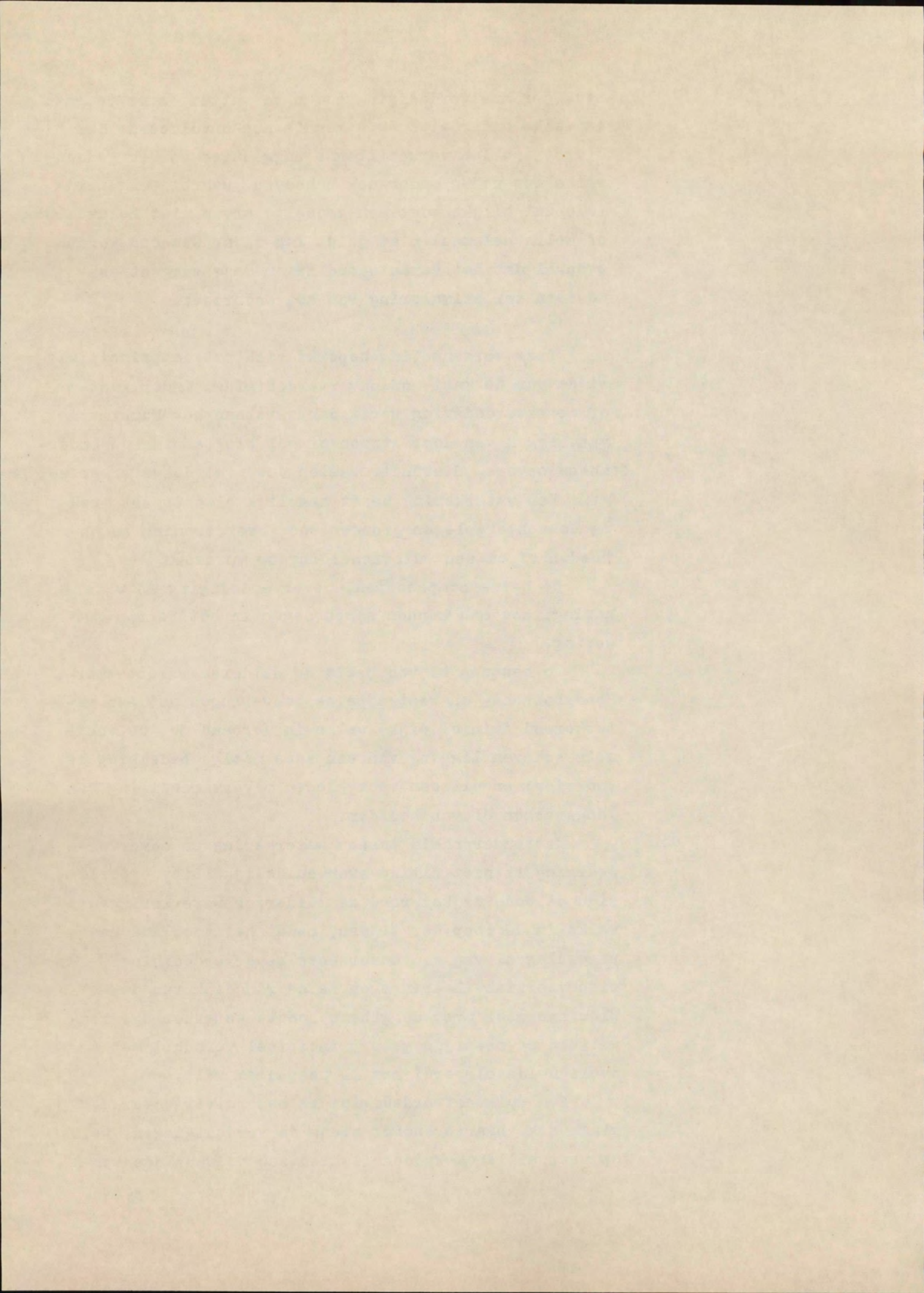
Deze verhandeling beperkt zich tot de principiele zijde van de kust- of oeververdediging. Onder kust- of oeververdediging wordt dan verstaan het kunstmatig vastleggen van door stroom of golfslag afnemende onderzeese oevers. Hieronder vallen dus niet de waterkeringen. Een waterkering heeft namelijk slechts tot taak om de achtergelegen gronden voor overstroming te behoeden of om een waterscheiding te vormen.

De beide componenten, oeververdediging en waterkering, zou men kunnen samenvoegen in het begrip zee-wering.

Zo bestaan bijvoorbeeld de Helderse-, Pettermer-, Hondsbossche- en Westkappellese zeeeringen uit een waterkerend duin of dijk, welke in verband met de vooruitgeschoven ligging van een kunstmatige bedekking is voorzien; en uit een voorgelegen oeververdediging van langswerken of van hoofden.

Het onderscheid tussen waterkering en oeververdediging is niet altijd even duidelijk. Bijvoorbeeld zijn de oude dijken rond de Zuiderzee waterkeringen welke in de loop der tijden, nadat het voorland was weggeslagen, van een onderzeese oeververdediging zijn voorzien. Daarentegen is de ringdijk van de Wieringermeer over de gehele hoogte waterkering, hoewel aan de zeezijde geen principieel verschil met de overige IJsselmeerdijken te bespeuren valt.

Een duinvoetverdediging is een zuiver waterkeringswerk. Daartegenover staan de verdedigingen, welke op verschillende Waddeneilanden aan de wadzijde van



het duin zijn aangebracht en welke voor honderd procent oeververdedigingen tegen het opdringende wad zijn.

Ter voorkoming van verrassingen is het wel zeer gewenst dat men zich bij elk geprojecteerd werk bewust is van het verschil. Dat van de beide componenten de oeververdediging primair is behoeft wel geen betoog.

Dat onze voorouders zich over het algemeen zo weinig gelegen hebben laten liggen aan oeververdediging -met alle rampzalige gevolgen van dien- mag slechts voor een deel geweten worden aan gebrek aan begrip. De hoofdoorzaak, dat zo vaak waterkeringen door oeveraantasting verloren gingen, zal wel te wijten zijn aan de geringe grondwaarde ten opzichte van de kosten van verdediging, hetgeen ook de techniek der oeververdediging remde.

Immers, een grondig begrip over de principes van oeveraantasting en oeververdediging bestaat ook thans nog niet, hetgeen echter niet verhindert, dat thans op grote schaal oeververdedigingswerken worden uitgevoerd, waarbij de constructie- en uitvoeringstechniek in belangrijke mate is verbeterd.

Hoewel in de laatste decennia de begrippen betreffende het mechanisme der oeveraantastingen nader tot hun oplossing zijn gebracht, spelen ervaring en gevoel nog een zeer grote rol bij het ontwerpen van verdedigingssystemen. Het toepassen van de ervaring, verkregen bij andere werken, is in dit geval echter zeer gevaarlijk, omdat vaak niet duidelijk is of vergelijking wel toegestaan is. Het is in vele gevallen dan ook nog niet mogelijk -integenstelling tot andere waterstaatswerken- om bij het projecteren van oeververdedigingswerken de uiteindelijke toestand te voorspellen of om een raming van de kosten te maken.

Uit het feit dat dit laatste bij waterkeringswerken wel mogelijk is, blijkt reeds dat dit onderdeel der zeekeringen verder is ontwikkeld. Hierbij zijn echter de principiële vragen minder ingewikkeld, al zijn ook de problemen van stabiliteit, kwel, golfop-
-loop-

loop en verdediging nog niet geheel opgelost.

Bevredigend zal voor de theorie der oeververdediging de toestand pas worden, als de natuurwetten, welke bepalend zijn voor de bewegingen der oeverlijn, niet alleen kwalitatief doch ook kwantitatief bekend zijn, hoewel ook dan -in verband met de vaak gecompliceerde toestand- niet steeds nauwkeurig te voorspellen zal zijn, welke de gevolgen zullen zijn van het ingrijpen door de mens.

Gezien de toenemende waarde van de bodem en de eveneens toenemende oeveraanval, is het wel zeer gewenst dat de begrippen der oeveraantasting en oeververdediging in een helderder licht komen. In het volgende is getracht om hieraan bij te dragen.

Zeer in het algemeen kan worden gezegd dat de vorm en ligging van een bepaald kustvak of de verandering welke hierin optreedt, wordt bepaald door het bestaan -of het ontbreken- van een bepaalde evenwichtstoestand tussen de optredende waterbeweging en de daardoor beheerste beweging van vaste stoffen.

Het doel van kustverdediging is nu het kunstmatig ingrijpen in de ongewenste toestand van evenwicht of de beweging naar een dergelijke toestand; en wel zodanig, dat een nieuwe toestand van evenwicht wordt verkregen welke meer bevredigend is.

Hoewel ook in bepaalde gevallen het direct door de wind voortbewogen droge zand op het strand invloed kan hebben op het evenwicht van de oever, is deze invloed over het algemeen gering. Van de vaste stoffen zal alleen het zand worden gezien aangezien bij onze oevers grind en slib over het algemeen niet maatgevend zijn. Ook met de aanwezigheid van begroeiingen en van veen- of kleibanken is geen rekening gehouden.

Zoals gezegd wordt de toestand van de kust bepaald door de zandbeweging; deze op haar beurt wordt beheerst door de waterbeweging.

In deze waterbeweging zijn nu twee groepen te

-onderscheiden-

onderscheiden, nl. stroming en golfslag. Tot de eerste groep behoren de stationnaire en de nietstationnair langzaam veranderlijke verhang-, getij-, drift-, Coriolis-, spiraal-, enz. stromingen; onder de tweede groep ressorteren de nietstationnair snel veranderlijke waterbewegingen, zoals deining, windgolwing en branding.

In de praktijk treden de beide groepen vaak tezamen op; meestal valt dan echter wel de nadruk op één der beide bewegingen.

In hoofdstuk II wordt de stroming en de daardoor bepaalde zandbeweging besproken, waarbij nader ingegaan wordt op de belangrijkste twee verschijnselen, nl. geulvorming en geulverplaatsing.

In hoofdstuk III wordt de golfslag en de daardoor bepaalde zandbeweging behandeld, waarbij de nadruk valt op de water- en zandbeweging tegen hellende onderzeese stranden en de beweging bij scheve golfaanloop.

Vervolgens wordt in hoofdstuk IV de gecombineerde waterbeweging met de daarbij behorende zandbeweging behandeld.

In de hoofdstukken V, VI en VII zijn beschouwingen opgenomen over de wijze waarop oevers, welke in de bovengenoemde 3 gevallen afnemen, verdedigd zouden kunnen worden.

II. STROMING EN ZANDBEWEGING

a. Algemene beginselen.

Het ligt niet in de bedoeling om in deze verhandeling van meet af aan de beginselen der stromingsleer en van het materiaaltransport op te halen. Hiervoor moge worden verwezen naar de vele handboeken en artikelen, die hierover het licht hebben gezien. Ter inleiding van het volgende moge echter het volgende in de herinnering worden gebracht.

Bij de stromingsleer wordt aangenomen, dat de waterdeeltjes zich voortbewogen in denkbeeldige evenwijdige stroombuizen, welke verticaal samengevoegd worden tot stroombanen. De waterdeeltjes in deze buizen worden, onder omzetting van potentiële energie in kinetische energie, in beweging gebracht en gehouden en oefenen hierdoor wrijvingskrachten uit op de naastgelegen sneller of minder snel bewegende deeltjes. Door deze wrijving wordt de beschikbare energie ten slotte omgezet in de laagste vorm ervan, warmte.

Met behulp van aannamen omtrent energieoverdracht en wrijving kunnen formules worden afgeleid betreffende de watersnelheid en de verdeling hiervan in de verschillende stroombanen.

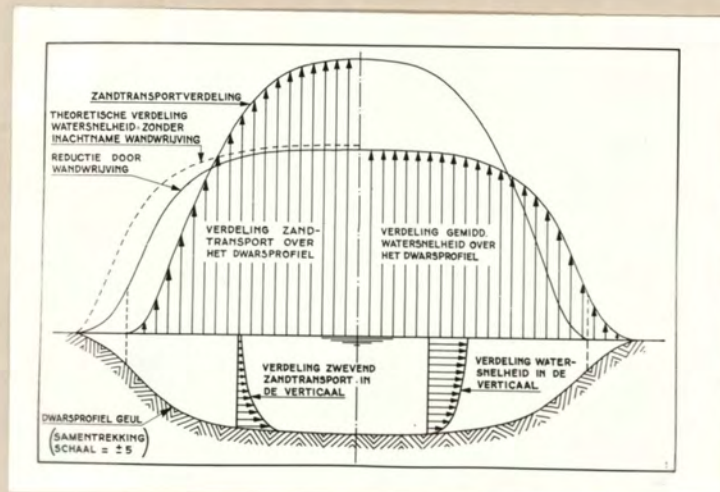
Bij brede waterlopen met in dwarsprofiel horizontale of zeer flauw hellende bodem, waarbij aangenomen mag worden, dat naast elkaar gelegen stroombanen eenzelfde snelheid hebben en dus geen of zeer geringe wrijving op elkaar uitoefenen, is het probleem van snelheid en snelheidsverdeling als twee-dimensionaal op te vatten en vrij nauwkeurig te berekenen.

In werkelijkheid zijn waterlopen begrensd en vertonen in dwarsprofielen sterke wisselingen in waterdiepte. Hierdoor oefenen ook de naast elkaar gelegen stroombanen invloed op elkaar uit, aangezien de snelheden hierin een functie zijn van de waterdiepte

en de hierdoor in horizontale zin veroorzaakte sterke veranderingen in snelheid niet verwaarloosbaar zijn. Het hierdoor ontstane driedimensionale probleem is nog niet exact opgelost, zodat met benaderingen moet worden volstaan.

In verband met berekeningen betreffende de geulvormen, is het wel gewenst, dat op dit punt meer klaarheid komt.

In figuur 1 is schetsmatig aangegeven hoe in een dergelijk geval de verdeling der snelheid in horizontale en verticale zin zal zijn.



+
figuur 1. Verdeling van water- en zandafvoer in een geul.
+

De waterdeeltjes oefenen niet slechts wrijving en daardoor sleep- of remkracht uit op de omringende deeltjes; ook op de bodem wordt deze wrijving uitgeoefend door de onderste stroombuizen. Een deel van de bewegingsenergie van het water wordt hierdoor aan de bodem afgegeven. Hierdoor ontstaat een sleepkracht over de bodem, welke bij voldoende sterkte in staat is om het bodemmateriaal in beweging te brengen.

Ook over het verband tussen deze sleepkracht en de hoeveelheid getransporteerd zand is reeds veel geschreven, zonder dat nog een geheel bevredigende formule hiervoor werd gevonden.

Door de sleepkracht van het water wordt het zand rollend over de bodem voortbewogen, waarbij ribbelforming optreedt. Bij toename van de sleepkracht beginnen zandkorrels zich sprongsgewijs te verplaatsen en treedt

-zwevend-

zwevend zandtransport op. Dit is mogelijk doordat in feite de waterdeeltjes zich bij turbulente stroming niet meer volgens stroombuizen bewegen, maar hiervan door impulswerkingen afwijken (turbulente menging). Door deze impulsen wordt zand meegevoerd naar boven; door de zwaartekracht komt het weer tot bezinking.

Hieruit zijn weer wetten op te stellen voor het zwevend transport en voor de verdeling van dat transport in de verticaal boven elkaar gelegen stroombuizen. Ook dit probleem is nog niet ten volle tot oplossing gebracht.

Zo wordt door elke waterloop niet alleen water, maar ook zand afgevoerd. Bij rivieren met grover materiaal vindt dit in hoofdzaak over de bodem plaats, bij zeearmen neemt daarentegen verhoudingsgewijs het zwevend transport de overhand.

Dit transport is niet alleen afhankelijk van factoren als bodemsleepkracht en korrelgrootte van het materiaal, maar ook van de snelheid van verandering der sleepkracht, hetgeen vooral bij niet stationnaire waterlopen voorkomt.

Immers, bij toename van de watersnelheid- en dus van de bodemsleepkracht- zullen de bij deze toegenomen snelheid passende zandribbels zich geleidelijk vormen. Verder zal het tijd kosten voordat het nieuwe evenwicht ten aanzien van de verdeling in de verticaal van het zwevend transport zich zal hebben ingesteld. In het algemeen kan dus worden gezegd, dat het zandtransport zal najlen bij het watertransport.

Nog vaak wordt de mening verkondigd, dat grote watersnelheden op verdiepingen wijzen, kleine snelheden daarentegen op aanzandingen. Dit is echter niet juist; grote snelheden wijzen alleen op een groter zandtransport, al zal dit onder bepaalde omstandigheden wel kunnen corresponderen met een grotere diepte ten opzichte van punten in dezelfde stroombaan, alwaar de snelheid kleiner is.

Of verdieping of aanzanding zal optreden hangt

-alleen-

alleen af van de vraag of in een bepaald stroombaanvak de zandtransportcapaciteit in dat vak in evenwicht is met de hoeveelheid aangevoerd zand van buiten. Is de transportcapaciteit kleiner dan zal zand neerslaan en dus aanzanding optreden; is deze capaciteit groter dan zal de stroom zich met zand verzadigen door opname van zand uit de bodem, zodat verdieping optreedt.

Hoewel aanzanding en verdieping -en dus verruiming- van waterlopen veelvuldig voorkomen in de natuur, zijn deze toch niet de meest kenmerkende en voor oeververdediging de meest gevaarlijkste verschijnselen.

In de meeste gevallen dat oevers afnemen, kan als oorzaak worden aangegeven het zijwaarts verplaatsen van geulen, zonder dat de capaciteit hiervan toeneemt. Hierover zal verder nog worden gesproken.

Alvorens dit te behandelen zal eerst een beschouwing worden gegeven omtrent geulvorming.

b. Geulvorming.

Geulvorming is een verschijnsel dat overal waargenomen kan worden waar water afstroomt over een beweeglijke zandige bodem. Beken, rivieren, wadprijelen en zeearmen concentreren zich in geulen, welke begrensd worden door oevers, die slechts periodiek onderlopen en waarvan de water- en zandafvoer meestal te verwaarlozen is ten opzichte van de geulafvoer.

Tezamen vormen dergelijke geulen vertakkingssystemen, welke het water- en zandregime van een bepaald stroomgebied beheersen.

De verschijningsvorm is zo algemeen en vanzelfsprekend, dat mogelijk hierin de reden is gelegen, dat geulvorming zonder nadere verklaring wordt aanvaard. In werkelijkheid is deze geulvorming echter in 't geheel niet zo vanzelfsprekend.

Immers, zand dat door de sleepkracht van het water over een hellende bodem wordt voortbewogen zal zijn bewegingsrichting niet alleen bepaald zien door

de richting van de sleepkracht, maar tevens door de richting van zwaartekrachtsontbondene langs de hellende bodem. Hierdoor zal het zandtransport gericht worden naar de plaatsen met grotere diepte, waardoor tenslotte een horizontale bodem zou worden gevormd.

Aangezien het voor oeververdediging juist van zo groot belang is dat zich geulen vormen, welke oevers aantasten, zonder dat hierbij echter sprake is van geulverbreding en -verondieping, zal in het volgende worden getracht om, zonder gebruikmaking van formules, een verklaring te geven van het verschijnsel der geulvorming.

Zoals reeds eerder werd vermeld mag, bij een gedetailleerde beschouwing van de waterbeweging, niet worden vastgehouden aan het principe van de stroombuis theorie. In werkelijkheid treden impulswerkingen op, waardoor uitwisseling van water tussen de stroombuizen wordt veroorzaakt en waardoor de bewegingsrichting der waterdeeltjes slingert om de gemiddelde stroombaanrichting.

Zoals wij zagen wordt door de impulswerkingen in verticale richting zand in zwevend transport gebracht.

Door de impulsen in horizontale richting vindt niet alleen uitwisseling van water tussen naast elkaar gelegen stroombuizen plaats, maar ook uitwisseling van zand, zowel van zwevend als van over de bodem getransporteerd zand.

Indien we ons nu een denkbeeldig verticaal scheidingsvlak denken tussen twee stroombuizen, dan zal door dit vlak water en zand getransporteerd worden in de ene, zowel als in de andere richting. De grootte van dit transport in dwarsrichting is evenredig te stellen onder andere aan het transport in langsrichting.

Hebben de beide stroombuizen eenzelfde watersnelheid en eenzelfde zandtransport, dan zal de uitwisseling in beide richtingen gelijk zijn en zal in feite niets aan de toestand in de beide buizen worden gewijzigd.

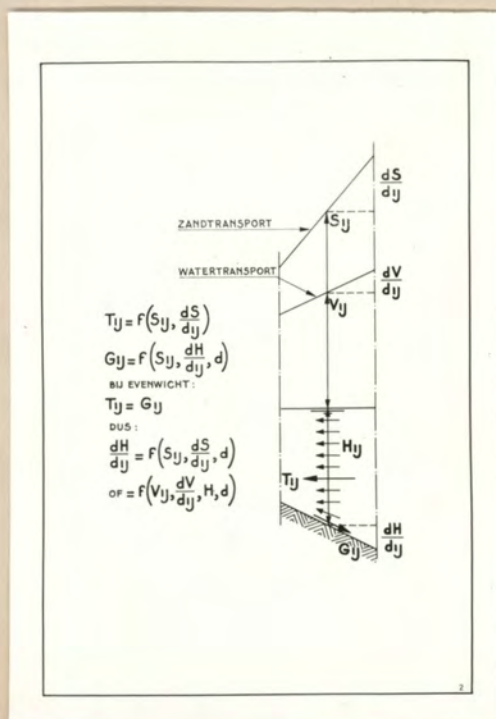
Zijn de water- en zandafvoeren echter ongelijk dan zal wel wijziging optreden. In dat geval zou een resultante aan water- en zandtransport moeten optreden van de stroombaan met groter transport naar de stroombaan met kleiner transport.

In verband met de continuïteitsvergelijking is dit voor de waterbeweging niet mogelijk en zal naar mijn mening een compenserend dwarsverhang met daaraan verbonden spiraalstroming optreden. Dit kan hier echter buiten beschouwing blijven.

Door de resulterende zandbeweging loodrecht op de stroombaan zal echter de stroombaan met kleiner transport oververzadigd raken, waardoor zandneerslag en dus aanzanding zal optreden. In de andere stroombaan zal onderverzadiging en dus zandopname en verdieping optreden. Er ontstaat een dwarsverhang van de bodem.

Door dit dwarsverhang van de bodem zal de richting van het bodemtransport worden gewijzigd en gericht worden naar de stroombaan met groter transport.

Tenslotte ontstaat bij een bepaalde dwarshelling van de bodem een evenwicht, waarbij de hoeveelheden zandtransport, door de turbulente menging naar de ene richting, gelijk worden aan de hoeveelheid bodemtransport welke tengevolge van de dwarshelling van de bodem in de andere richting wordt getransporteerd (figuur 2).



+
figuur 2. Verband tussen bodemdwarshelling en zandtransportgradiënt.

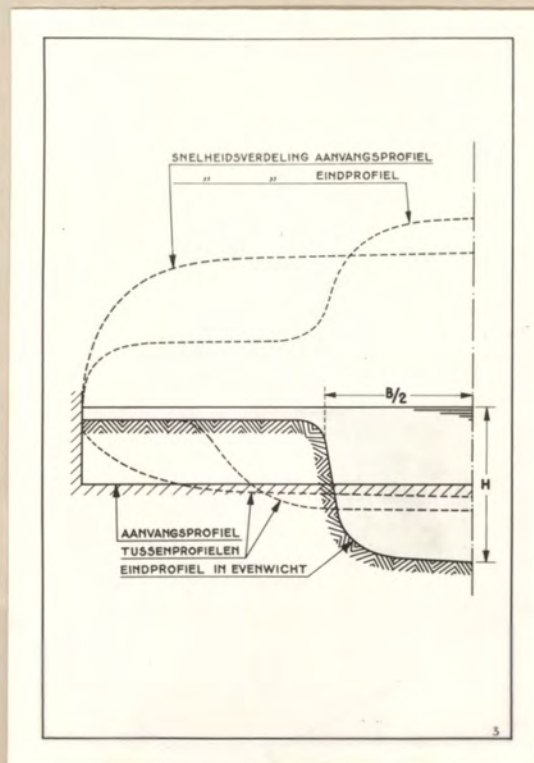
De grootte van deze helling is niet exact te berekenen in verband met onzekerheden in de aannamen betreffende de wrijving. De helling zal een functie zijn van de grootte van het materiaaltransport, van de gradiënt in dit transport (gezien in het dwarsprofiel), van de waterdiepte en van de korrelgrootte van het zand; en wel in die zin, dat bij toenemend transport en toenemende gradiënt de helling eveneens toeneemt, doch dat bij toenemende korreldiameter en soortelijk gewicht van het materiaal de helling afneemt.

In geulen zijn over het algemeen twee grootheden gegeven, namelijk waterafvoer en zandafvoer.

Voor rivieren zal dit vermoedelijk direct aanvaard worden, aangezien stroomgebied en klimaat gegeven zijn, en dus afvoer; verder bodemgesteldheid en erosie, en dus materiaalafvoer (hier wordt alleen beschouwd een toestand van evenwicht). Ditzelfde geldt echter eveneens voor een wadgeul bij constante zeespiegelrijzing en wadverhoging.

Indien van een geul gegeven zijn water- en materiaalafvoer, dan is het aantal geulen dat hierbij mogelijk is, beperkt. Neemt men bijvoorbeeld een geulbreedte aan, dan zijn diepte en verhang bepaald.

Nu blijkt echter, indien men van een dergelijke



+
figuur 3. Vorming evenwichts-
geul bij gegeven water- en
zandtransport.

+
-geul-

geul uitgaat, dat aanzanding en uitschuring optreden ten gevolge van de eerder behandelde impulstransporten Tenslotte wordt een evenwichtstoestand bereikt, waarbij de geul beantwoordt aan de eisen van water- en zandtransport en tevens aan die van de impulsbeweging.

We kunnen dus zeggen dat bij gegeven water- en zandafvoer slechts één geul mogelijk is waarbij evenwicht optreedt.

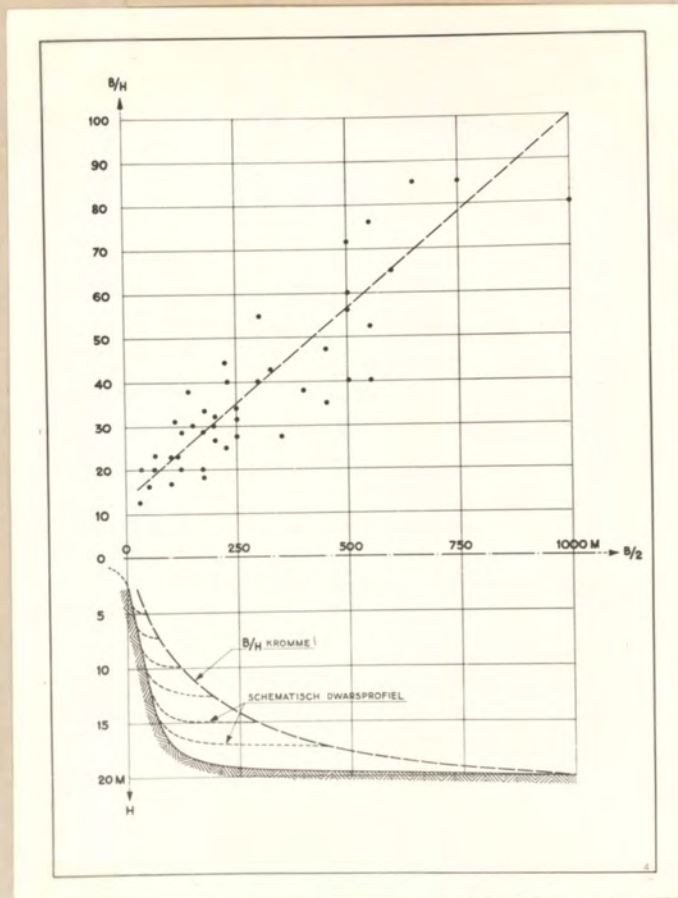
Van de vijf onbekenden: breedte, diepte, verhang, waterafvoer en zandafvoer behoeven er dus slechts twee gegeven te worden ter vastlegging van de overige drie.

Indien we bijvoorbeeld, bij gegeven water- en zandafvoer uitgaan van een willekeurig dwarsprofiel, dan zal dit profiel zich zolang vervormen tot de bijbehorende geul is ontstaan. In figuur 3 is dit aangegeven.

Zouden we als gegeven aanhouden de geulbreedte, dan zouden hierbij nog verschillende diepten mogelijk zijn. Nemen we bovendien nog aan dat de verhouding waterafvoer tot zandafvoer constant is -hetgeen voor een gebied als de Waddenzee niet geheel juist, maar toch niet ver bezijden de waarheid zal zijn- dan is dus bij elke breedte slechts één diepte mogelijk.

In figuur 4 is voor een aantal in de Waddenzee voorkomende geulen de verhouding breedte : diepte bepaald, waarbij echter zeer onregelmatige vakken, zoals bij splitsingen en vaste punten buiten beschouwing zijn gebleven. Hieruit blijkt dat inderdaad een zeker verband bestaat tussen breedte en diepte van een geul.

Naar mijn mening is volgens bovenstaande redenering een verklaring te vinden voor het zich concentreren van geulen. Het overblijvende gebied zandt aan tot de diepte zo klein is geworden, dat geen bodemtransport meer optreden kan. Dan vindt in steeds langzamer tempo aanzanding plaats door neerslag van zwevend zand uit de geulen. In geval van een stijgende zeespiegel zal op deze wijze een wad ontstaan dat aanzandt, doch naijlt bij de stijgende zeespiegel.



+
figuur 4. Verband
tussen breedte
en diepte van
een aantal wad-
geulen.
+

Een wad kan dus worden gedefinieerd als een zandafzettingsgebied van zwevend zand transporterende stromen in tijden van zeespiegelrijzing.

Dat in werkelijkheid zulke grote afwijkingen van het theoretische geulprofiel kunnen optreden, is voor een klein deel het gevolg van het feit, dat de verhouding van waterafvoer tot zandafvoer niet voor alle geulen dezelfde is. Voor een ander deel kan dit een gevolg zijn van de aanwezigheid van kleibanken, welke uitschuring verhinderen. Voor het grootste deel zijn deze afwijkingen een gevolg van krommingen der stroomdraden, zoals in bochten, bij splitsingen, in de nabijheid van oeververdedigingen, en verder door de door aswenteling van de aarde veroorzaakte spiraalstroming.

In het volgende zullen de gevolgen van dergelijke stroomdraadkrommingen worden gezien, en zal aan de hand hiervan getracht worden een verklaring te geven voor de veelvuldig voorkomende verplaatsing van geulen.

c. Geulverplaatsing.

In het voorgaande is steeds aangenomen, dat de waterdeeltjes zich volgens rechte, aan elkaar evenwijdige buizen bewegen, waarbij de richting van het zandtransport dezelfde is als die van het water.

Weliswaar is langs onderzeese hellende oevers het bodemtransport niet evenwijdig aan de waterbeweging, maar naar de diepte gericht, doch hiertegenover staat, dat door de impulswerking een even grote hoeveelheid zwevend zand in tegenovergestelde richting wordt getransporteerd. De zandbeweging voor de totale verticaal is hier dus eveneens evenwijdig aan de stroombaan.

In de natuur treden zelden rechte stroombanen op, terwijl het in het geheel niet voorkomt dat de stroombuizen, gelegen in één verticaal aan elkaar evenwijdig liggen. Als gevolg hiervan zal de richting van het zandtransport zelden geheel overeenstemmen met de richting van de stroombaan.

Op de wiskundige berekening van de water- en zandbeweging in dergelijke gevallen zal hier niet verder worden ingegaan. Voor hen, die hierover meer wensen te weten, moge worden verwezen naar een artikel van mij in "de Ingenieur" van 1947 no. 4. Volstaan moge hier worden met een korte populaire uitlegging.

Een waterdeeltje, dat gedwongen wordt om zijn rechte baan te verlaten en een gebogen baan te beschrijven, moet dus een middelpuntzoekende versnelling ontvangen. De hiervoor benodigde kracht, welke dus gelijk, doch tegengesteld gericht is aan de zogenaamde middelpuntvliedende kracht, wordt geleverd doordat zich loodrecht op de bewegingsrichting een dwarsverhang van de waterspiegel instelt. Dit is dus te vergelijken met een wielersbaan of een weg, waarbij in de bochten eveneens een dwarshelling is aangebracht om te verhinderen, dat de wielrenners uit de bocht zouden vliegen. De sterkte van de helling wordt bepaald voor de gemiddelde snelheid. Zij, die met een veel grotere snelheid door de bocht gaan, zullen er toch uitvliegen, terwijl zij,

die met veel geringere snelheid de bocht passeren, naar binnen zullen afglijden.

Met de waterdeeltjes is het evenzo. Het dwarsverhang van de waterspiegel boven een waterkolom stelt zich ongeveer in naar de middelbare snelheid in de verticaal. Aan de oppervlakte, waar de watersnelheid groter is, zullen de waterdeeltjes zich dus naar de buitenoever begeven, aan de bodem zullen de waterdeeltjes zich daarentegen naar de binnenoever (bolle oever) verplaatsen.

Aangezien het totale zandtransport in hoofdzaak afhangt van de bodemstroom, zal dus de richting van dit zandtransport zich naar deze laatste instellen, althans wanneer de bodem horizontaal is en dus de zwaartekracht geen component langs de bodem heeft. In dat geval is de tangens van de hoek, gevormd door de richtingen van gemiddelde stroombaan en zandbaan, tienmaal het quotient van waterdiepte en kromtestraal van de baan.

Door dit afwijken van oppervlakte en bodemstroom van de gemiddelde stroombaan ontstaat dus in bochten een schroefvormige beweging van het water, de spiraalstroming.

Deze spiraalstroming ontstaat echter ook reeds in rechte geulen door de aswenteling van de aarde. Door deze aswenteling ontvangen namelijk alle bewegende lichamen op aarde een kracht, welke op het noordelijk halfrond naar rechts is gericht (gezien in de stroomrichting). Ter compensatie stelt zich hiertegen een dwarsverhang van de waterspiegel in, waarbij de waterspiegel aan de rechter oever hoger komt dan aan de linker oever. Aangezien dit verhang weer geldt voor de middelbare snelheid in een verticaal, ontstaat weer spiraalstroming waarbij de bodemstroom steeds naar de linker oever is gericht.

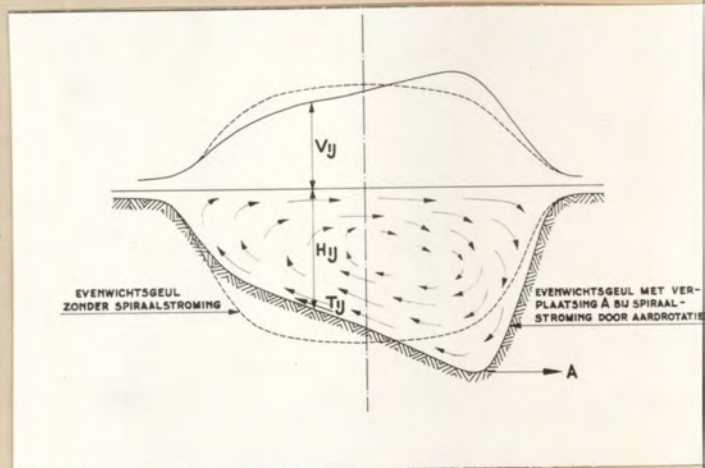
Spiraalstroming ontstaat verder indien de overheersende windrichting een hoek maakt met de stroomrichting, waardoor het oppervlakte water wordt mee-

-gevoerd-

gevoerd en zich een compenserende bodemstroom instelt.

Het zal duidelijk zijn, dat door deze afwijkingen het evenwicht van de geul wordt verbroken. Zo zal bij een rechte geul de spiraalstroming het zand van de rechter oever naar de linker voeren. Er ontstaat dus een algehele verplaatsing van de geul naar rechts. Bij deze verplaatsing zal de geulvorm echter niet dezelfde kunnen blijven. Immers, wil een geul zich conform verplaatsen, dan moet het dwarstransport in alle verticaal gelijk zijn aan de geulverplaatsing vermenigvuldigd met de diepte in de betreffende verticaal. Dit is alleen mogelijk bij een vervorming van het dwarsprofiel in de geest van figuur 5. Exacte berekening van dit dwarsprofiel is nog niet mogelijk, in verband met de onzekerheid in de aanname der wijziging en van het zandtransport.

+
figuur 5. Geulver-
plaatsing en -ver-
vorming door spi-
raalstroming.



+
Totnogtoe is weinig aandacht geschonken aan het feit, dat de meeste geulen zowel eb- als vloedstroom verwerken. Voor het geval deze beide stromen even sterk zijn, zal bij een rechte geul de aardrotatie van weinig invloed zijn, omdat de hierdoor opgewekte krachten elkaar periodiek afwisselen en opheffen. In de praktijk

-komt-

komt het echter weinig voor, dat eb- en vloedstroom gelijk zijn, of dat de stroomverdeling in het dwarsprofiel gelijk is. Enige vormverandering en geulverplaatsing zal dus wel steeds overblijven.

Rechte geulen komen in de praktijk zelden voor, zodat in de meeste gevallen de invloed van gebogen stroomdraden op de zandbeweging een rol speelt. Aangezien de invloed van de aardrotatie in grootte ongeveer gelijk te stellen is aan de invloed van een gebogen stroomdraad met kromtestraal van 10 à 15 km (bij maatgevende stroomsnelheden van $2/3$ à 1 m/sec) zal het duidelijk zijn, dat de bochtwerkingen meestal sterk overheersen.

Aangezien elke toevallige afwijking van de rechte geul een kromming van stroomdraden veroorzaakt en de hierdoor veroorzaakte zandbeweging de afwijking doet toenemen, zal geen enkele vrije geul stabiel van ligging kunnen zijn. Door de afwijkingen ontstaan uitbochtungen, welke aan weerszijden weer tegenbochten zullen vormen, enz. Hieruit ontstaat het bekende verschijnsel van het meanderen van stroomgeulen, waarbij de uitbochtungen steeds groter worden, totdat tenslotte de wegverlenging en dus de weerstand zo is toegenomen, dat kortsluiting kan optreden en het proces opnieuw een aanvang neemt. Het typische van deze uitbochtungen is, dat de minimum kromtestraal hierbij ongeveer evenredig



figuur 6. Luchtfoto van het zeegat van Eyerland met bijbehorend stroomgebied.

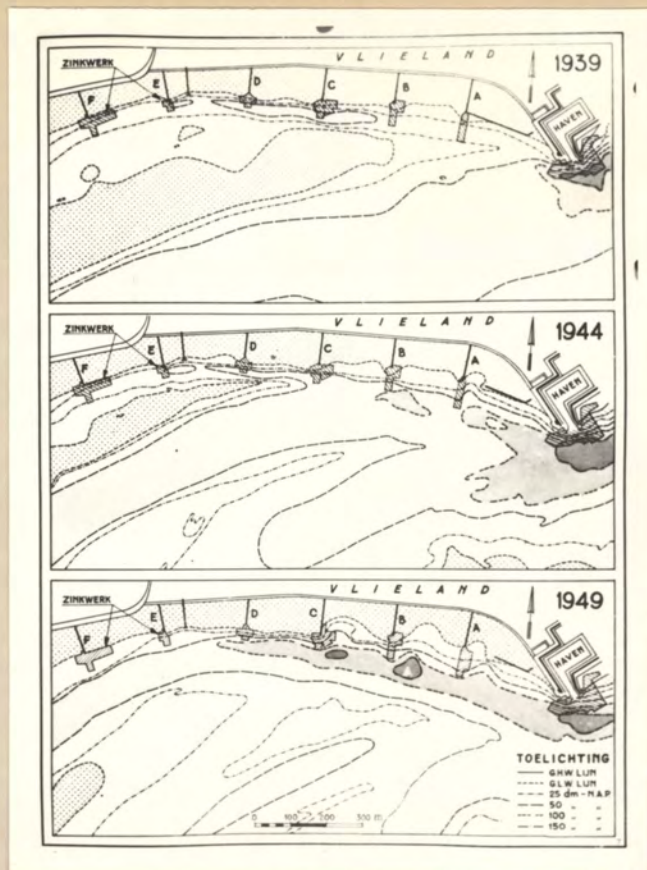
is aan de capaciteit van de geul. Deze "vrije" kromtestraal is zelden kleiner dan viermaal à vijfmaal de geulbreedte.

Hoewel dit uitbochten wel voor berekening vatbaar is, is het hieraan verbonden rekenwerk zeer tijdrovend, terwijl de nauwkeurigheid in verband met onzekere aannamen nog niet groot kan zijn.

Vaak is de toestand bovendien gecompliceerd, doordat zowel vloed- als ebstroom hun werking doen gevoelen. Aangezien de stroombanen van beide niet samenvallen (in verband met het feit, dat bij vertraging van stroom wel energieverlies optreedt, doch bij versnelling niet) is ook de zandbeweging niet gelijk. Als gevolg hiervan treden bijvoorbeeld de bekende eb- en vloodscharen op in de overgangen tussen twee bochten. Verder treden complicaties op ter plaatse van splitsingen van geulen en door de aanwezigheid van gedeeltelijk verzande oude geulen. In figuur 6 is een luchtfoto opgenomen van de zuidelijke geul in het zeegat tussen Texel en Vlieland, waaruit de samengesteldheid van dergelijke geulen naar voren komt.

Voorlopig zal bij dergelijke toestanden noodgedwongen genoeg moeten worden genomen met kwalitatief inzicht gesteund door waarnemingen en zal de kwantitatieve berekening achterwege moeten blijven in verband met de hiervoor benodigde tijd en de geringe nauwkeurigheid.

Een voorbeeld van geulverplaatsing is weergegeven in figuur 7. Het betreft de Vliesloot, een wadgeul, welke de afvoer vormt van een deel van het achter Vlieland gelegen wad. Deze geul, welke aan het benedeneinde wordt vastgehouden door de bestortingen van de havendammen van Vlieland, heeft, vermoedelijk door de benedenwaarts gelegen tegenbocht, de neiging volgens de wijzers van het uurwerk te draaien. Deze draaiing gaat plaatselijk met een snelheid van meer dan 40 m per jaar. Intussen vormen zich weer nieuwe geulen, welke geleidelijk de capaciteit van de eerste



figuur 7. Verplaatsing van de Vliesloot tussen 1939 en 1949.

+

geul doen verminderen, waardoor deze tenslotte geheel verzandt. Op de situatie van 1939 is de oude geul nog zichtbaar; de nieuwe geul dringt op en deze heeft in 1949 de oude geul verzwoegen. Onderwijl hebben zich weer nieuwe kortsluitingen gevormd.

Dergelijke geulverdraaiingen treden ook op in de zeegaten, waarbij de vertakkingsgeulen in de buitengronden en in positieve zin draaien en verzanden.

Een voorbeeld van een geulverplaatsing van grote afmetingen is nog gegeven in figuur 8, waarop is aangegeven de beweging, welke een van onze grootste zeearmen, nl. het Vlie, de laatste eeuwen heeft ondergaan. Hierbij kan worden opgemerkt, dat deze beweging in het draaipunt waarschijnlijk wordt geremd door de aanwezigheid van zware keileembanken, welke zich op diepten van 15 - 20 m bevinden.

Het zeer gecompliceerde vraagstuk van geulen en

-stroomgebieden-



+
figuur 8. Verdraaiing van
de mond van de Vliestroom
tussen 1830 en 1943.

+
stroomgebieden en hun wisselwerking zal hier verder on-
besproken moeten blijven. Omtrent het overgangsgebied
van geulen en zeestromen (de z.g. buitengronden) zal
in hoofdstuk IV nog het een en ander worden opgemerkt.

+

III. GOLFSLAG EN ZANDBEWEGING.

a. Kustvorming door golfslag.

In het voorgaande werd een overzicht gegeven van het zandtransport bij niet of zeer langzaam veranderlijke waterbeweging. We kunnen in dat geval zandtransportberekeningen opzetten onder aannahme van een onveranderlijke waterbeweging, waarbij door superpositie van de zandbeweging bij enkele gedurende het getij voorkomende waterbewegingen de uiteindelijke situatie van de bodem kan worden bepaald. Hierbij behoeft slechts geringe aandacht te worden besteed aan het feit, dat de zandbeweging enigszins najlt bij de waterbeweging.

In het geval van snel veranderlijke waterbeweging, zoals bij golfslag, mag dit zeker niet meer. Hierbij treden naar mijn mening reeds grote verschillen op, naar gelang men te doen heeft met de snelle veranderingen van een windgolf, of met de minder snelle verandering bij een deininggolf.

Over de interne waterbeweging bij golfslag is reeds zeer veel geschreven, zonder dat het vraagstuk geheel is opgelost. Voor deze beschouwing is het voldoende om aan te nemen, dat de waterdeeltjes bij golfslag gesloten elliptische banen beschrijven, waarvan de verticale as naar de diepte toe sneller afneemt dan de horizontale as, zodat aan de bodem een heen en weer gaande beweging van de waterdeeltjes overblijft. Deze heen en weer gaande beweging neemt toe bij kleinere waterdiepte en bij grotere golflengte.

Indien deze waterbeweging langs de bodem een bepaalde grenswaarde overschrijdt, zal het zand in beweging komen. Hierbij worden wel bodemribbels gevormd, doch vindt geen resulterend transport plaats, aangezien de waterbeweging in beide richtingen gelijkvormig is. In werkelijkheid zal dit wel niet helemaal juist zijn, aangezien de waterbeweging vermoedelijk niet volkomen

-gelijkvormig-

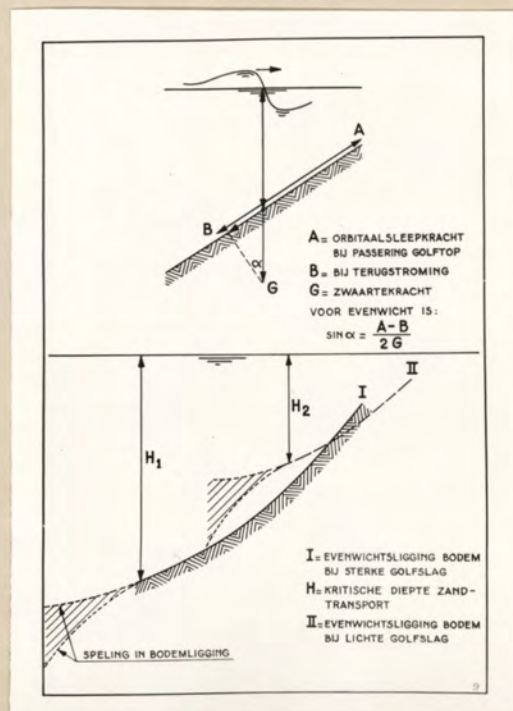
gelijkvormig is. De invloed hiervan zal echter niet groot zijn en wordt hier verwaarloosd ter vereenvoudiging van het probleem.

Bij de in de Noordzee voorkomende golflengten en hoogten zal vermoedelijk meestentijds geen of slechts zeer geringe zandbeweging optreden. Nabij de kusten wordt dit echter anders.

Een golf, welke in ondiep (in vergelijking met de golflengte) water komt, zal een kleinere voortplantingssnelheid verkrijgen. De golflengte wordt dus kleiner. Bij gelijkblijvende energie moet de hoogte dus groter worden. Dit zal echter mede afhangen van het energieverlies. In elk geval wordt de golf steiler (de verhouding breedte : hoogte wordt kleiner).

In verband met de wijziging zal de golf echter tevens vervormen. De voorzijde van de aankomende golf zal steiler worden dan de achterzijde. Ook de inwendige waterbeweging zal veranderen en niet meer symmetrisch zijn naar beide richtingen. Hoe deze echter in een dergelijk geval is, kan nog niet precies worden gezegd. In elk geval zal de snijverandering van de waterdeeltjes tijdens het passeren van het voorfront veel sterker zijn dan bij het passeren van de achterzijde.

Nemen we nu een zekere naijling aan voor het



figuur 9. Evenwichtshelling van de bodem bij verschillende golflag.

-zandtransport-

zandtransport, dan blijkt direct, dat in dit geval wel een resulterend zandtransport ontstaat, en wel in de richting van de golfvoortplanting.

Wil er een evenwichtstoestand ontstaan, dan zal er dus een tegengestelde kracht moeten werken, welke dit transport teniet doet. Deze kracht wordt gevonden, doordat de bodem zich onder een bepaalde helling instelt, waarbij de ontbondene van de zwaartekracht langs de helling een tegenkracht geeft.

Aangezien bij het verder doorlopen van de golf de diepte dus kleiner en de golf dus steiler wordt, en bovendien meer invloed op de bodem gaat uitoefenen, zal ook de "sleepkracht" steeds sterker worden. Voor het verkrijgen van een evenwicht zal dus ook de helling sterker moeten worden.

Het zal duidelijk zijn, dat bij elk golftype dus een bijbehorende evenwichtsvorm van de bodem zal bestaan en dat bij veranderde golfslag een nieuw evenwicht zich zal gaan instellen. In figuur 9 is dit schematisch aangeduid.

In het algemeen is dus bij evenwicht het verschil in sleepkracht der heen en weer gaande beweging gelijk aan de zwaartekrachtsonbondene langs de helling. Dit geldt echter alleen indien de volgens de golfbeweging



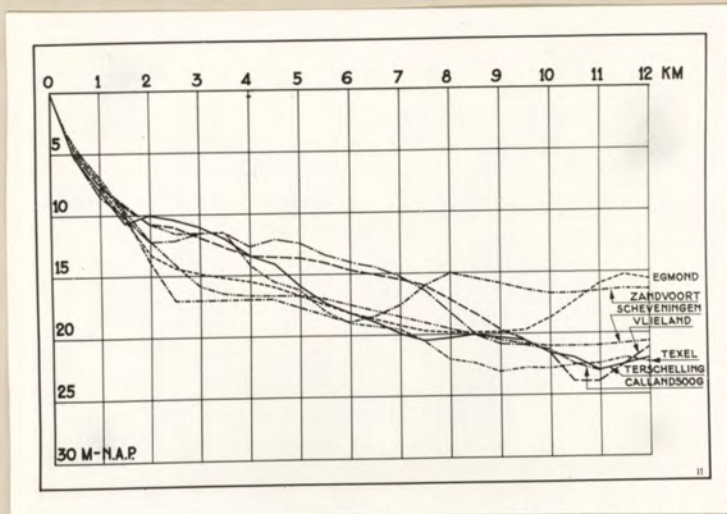
figuur 10. Lichte branding op de kust.

gerichte sleepkracht groter^{is} dan de grenssleepkracht



waarbij beweging begint. Daarbeneden bestaat een zekere speling in de ligging van de bodem. Zo zal bij een lichte branding (figuur 10) alleen de bodem nabij de waterlijn in beweging komen en zullen de diepere gedeelten niet van profiel veranderen.

In figuur 11 zijn een aantal bodemprofielen voor de Nederlandse kust getekend. Hieruit blijkt, dat de bedoelde grenssleepkracht ligt bij een diepte van omstreeks 10 m. Daarboven is het bodemprofiel ongeveer constant in verband met het geringe verschil in maatgevende golf langs onze kust. De kleine verschillen, welke aanwezig zijn, zullen later ter sprake komen.



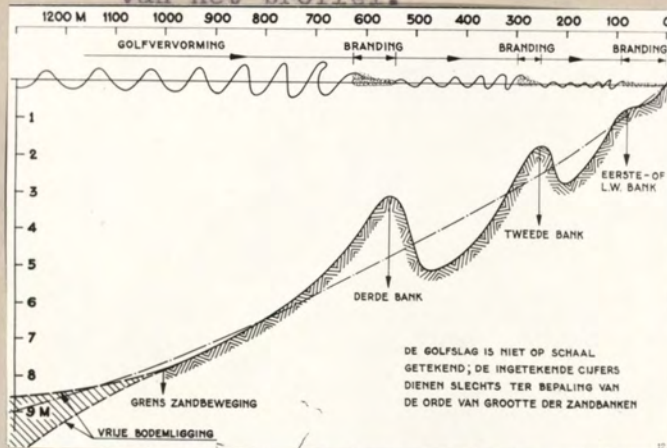
+
figuur 11. Bodemprofielen: langs de Nederlandse-kust.
+

Bij het hierboven besproken bodemprofiel zal een aankomende golf steeds steiler worden, vooral aan het voorfront. Tenslotte wordt de golfvorm instabiel en stort over. Door deze branding wordt de roterende beweging der waterdeeltjes verstoord; het water stroomt met de golf mede, althans aan de oppervlakte en stroomt daarna weer terug. Hierdoor wordt niet alleen de sleepkracht verbroken, maar in dit gebied zal tevens een sterke zandbeweging optreden ten gevolge van de turbulentie. Of dit zand een resulterende beweging zal krijgen met de golfbeweging mee of daartegenin, hangt onder andere af van de golfperiode. Bij een lange periode zal het zand reeds gedeeltelijk tot bezinking zijn gekomen als de waterbeweging omkeert. Bij een korte peri-

ode zal dit niet het geval zijn.

Overigens is dit proces van water- en zandbeweging in de branding nog niet goed bekend.

Het zal echter duidelijk zijn, dat de continuïteit van het bodemprofiel hier verbroken wordt. Er ontstaat een plaatselijke verhoging gevolgd door een verdieping van het profiel.



figuur 12. Vorming buitenbanken bij zware branding.

Door de branding verliest de golf niet alle energie. Is deze energie ten opzichte van de waterdiepte niet te groot, dan ontstaan uit de overstortende golf enkele kleinere golven. Hiermede herhaalt het proces zich. Op deze wijze kunnen dus een reeks van banken en geulen ontstaan, welke naar de kust steeds kleiner van afmetingen worden.

In figuur 12 is dit in principe weergegeven, terwijl in figuur 13 een luchtfoto is opgenomen van de kust van Ameland bij ruw weer. De plaats van de buitenbanken is goede bepalen aan de hand van de verschillende brandingszônes.

Is de waterdiepte na branding echter zeer gering dan kunnen geen nieuwe golven ontstaan, doch loopt de brandende golf door tot de energie verbruikt is.

De plaats van de buitenbank wordt dus in eerste instantie bepaald door de maatgevende golf. Bij een grotere golf zal reeds op groter diepte branding optreden; de bank beweegt zich dan zeewaarts. Voor onze



+
figuur 13. Lucht-
foto van de kust
van Ameland bij
ruw weer.

+

Nederlandse kust ligt de top van deze "storm" bank op een diepte van 3 à 4 m onder N.A.P. Bij beter weer zal deze bank landwaarts bewegen, mits de golfslag niet zo klein wordt, dat in dit gebied het zandtransport tot stilstand komt.

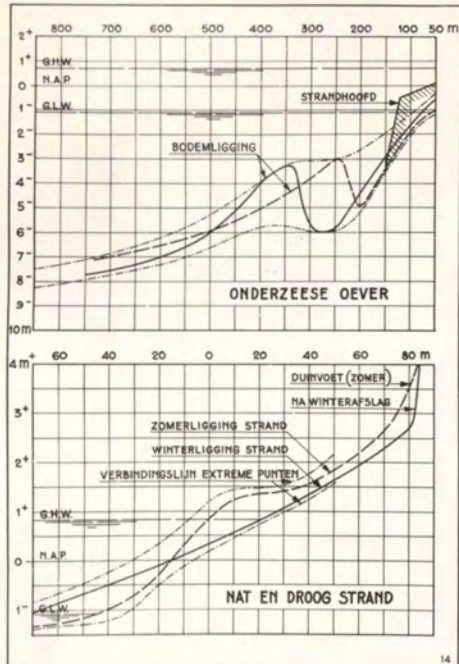
In figuur 14 is voor enige weerstoestanden de ligging van de buitenbank langs de Noordzeekust van Vlieland aangegeven.

Zoals uit de figuur blijkt komt op Vlieland, buiten de laagwaterbank, meestal slechts één bank voor. Naar mijn mening is de oorzaak hierin gelegen, dat de helling van de zeebodem -om later te noemen redenen- langs de kust van Vlieland vrij steil is.

In gebieden, waar deze helling kleiner is -dus bijvoorbeeld in het middengedeelte van de kust van het vasteland van Noord- en Zuidholland- komen daarentegen vaak verschillende banken voor. Hier neemt de diepte namelijk zo langzaam af, dat een nieuwe golf zich enige malen kan vormen uit de opeenvolgende brandingen.

Uit het vorenstaande blijkt dus, dat door de branding zandbanken worden gevormd en niet andersom. Hoe deze vorming echter in details plaats vindt, is nog niet bekend, mede doordat complicaties optreden door oude zandbanken, golfvariaties, tijverschil, en de later te bespreken tij- en driftstroming.

Zoals we zagen zal een brandende golf doorlopen als de diepte te klein wordt. Door deze sterk turbu-



+
figuur 14. Bodemligging
 van de onderzeese oever
 en van het natte en droge
 strand op Vlieland.

+

lente waterverplaatsing zal zand worden meegevoerd. Is de golf lang -zoals in de zomer vaak voorkomt- dan zal het zand meegevoerd worden en bezinken voordat het water terug stroomt. Dit terugstromende water vloeit bovendien op het strand gedeeltelijk onder-
 weer
 gronds/terug. Nabij de waterlijn is dus de landwaartse "sleepkracht" zeer groot, zodat hier vaak een zeer sterke helling van het strand voorkomt. Op figuur 14 is deze "zomerhelling" aangeduid.

Bij ruw weer zijn de golven daarentegen kort, waardoor de evenwichtshelling van het strand flauw wordt (winterhelling).

De wisselingen in strandhoogte zijn daarom vooral nabij de hoogwater- en bij de laagwaterlijn het sterkste.

Bij elke weersgesteldheid bestaat dus een evenwichtsligging van strand en onderzeese oever. In verband met de bij ons sterk wisselende weersgesteldheid kan een evenwichtstoestand zich zelden ten volle instellen. Bij ruw weer, waarbij grote zandtransporten optreden, gaat dit uiteraard sneller dan bij mooi weer.



+
figuur 15. Zware
branding bij storm.

+

Uit het bovenstaande kunnen we besluiten, dat loodrecht op de kust lopende golven wel in hoofdzaak de vorm van de oever bepalen, doch dat hierdoor geen materiaal wordt afgevoerd. Kustafname en aanwas kunnen hierdoor dus nooit worden veroorzaakt.

Dit is wel het geval, indien de golven niet loodrecht op de kust voortbewegen.

^{ver}
b. Kustvorming door scheve golfaanloop.

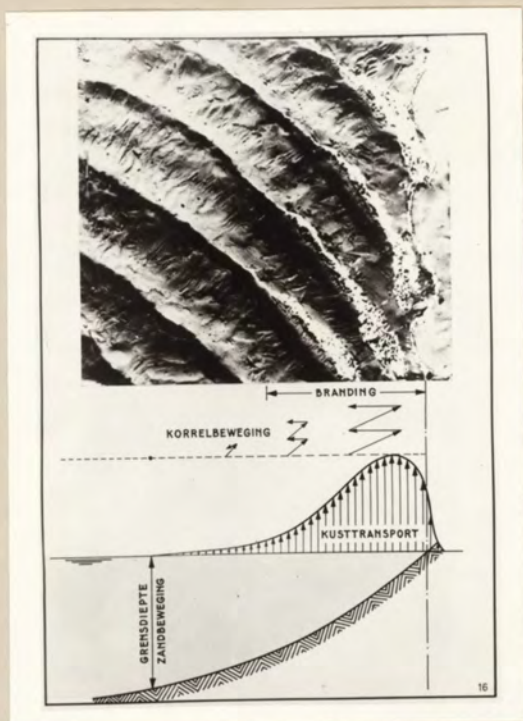
Het zal slechts zelden voorkomen, dat optredende golven loodrecht op de kust invallen. Meestal zal dit onder een zekere invalshoek geschieden.

Wel zal deze invalshoek naarmate de golven de kust naderen, kleiner worden in verband met de afnemende voortplantingssnelheid. Voor lange golven (lang ten opzichte van de waterdiepte) kan globaal worden gezegd, dat de invalshoek tijdens het naderen van de kust zodanig verandert, dat de sinus van de invalshoek evenredig blijft aan de wortel uit de diepte.

Zolang geen branding optreedt zal door een dergelijke scheve golfaanloop geen resulterend zandtransport evenwijdig aan de kust optreden. Hierbij wordt dan afgezien van de omstandigheid, dat de richting van de ontbondene van de zwaartekracht niet precies strookt met de richting der sleepkrachten. Enig - naar de kust toenemend - transport is er dus wel.

-Transport-

Transport van belang treedt pas op in de brandingszônes. De roterende waterbeweging gaat hier namelijk over in een stroming en terugstroming, waarbij geen gesloten baan meer wordt doorlopen, doch een zaagvormige. Hier ontstaat dus een brandingsdrift evenwijdig aan de kust, welke eveneens een resulterende zandbeweging veroorzaakt. Deze zandbeweging is dus in hoofdzaak geconcentreerd in de branding direct langs het strand en verder in de eventuele branding op buitenbanken (zie figuur 16). In de figuur zijn eenvoudigheidshalve de eventuele transportzônes op de buitenbanken weggelaten.



+
figuur 16. Schematisch
beeld van brandingsdrift-
stroom.

Bij een rechte kust met evenwijdige golfslag van gelijke sterkte zal een dergelijke zandbeweging geen voor of achteruitgang van de kustlijn veroorzaken, aangezien het uit een bepaald vak weggevoerde zand aangevuld wordt door het voorgaande werk.

Anders wordt het als er een discontinuïteit bestaat in het transport. Dan treedt kustafname of -aanwas op, totdat een nieuw evenwicht is bereikt. Bij afname zal het door de brandingszône afgevoerde zand aangevuld worden van de bodem daarboven en daarbeneden.



Dit betekent, dat het strand boven de brandingszône steiler dan normaal, daarbeneden echter flauwer dan normaal zal staan.

Bij aanwas is het omgekeerde het geval.

+

IV. ZANDTRANSPORT DOOR GEcombineERDE WATERBEWEGING.

a. Golfslag met stroming.

Stroming en golfslag treden zelden afzonderlijk op. In elke stroomgeul komt hij tijdens golfslag voor. Deze golfslag, welke in de geul zelf ontstaat, heeft echter een te kleine strijklengte om zodanige afmetingen te verkrijgen, dat de invloed tot in de diepere waterlagen doordringt. Slechts nabij de waterlijn oefent deze golfslag enige invloed uit op de geulwand, welke hierdoor wordt afgevlakt. Golfslag van belang treedt pas op nabij de zeegaten, waar de deining van buiten kan indringen. Dit overgangsgebied is echter slechts klein en eindigt reeds binnen de grens van de buitengronden van het zeegat, waar de stroom snel afneemt en de golfslag de overhand krijgt.

Dit laatste gebied is veel groter van afmetingen, aangezien het ook slechts zelden voorkomt, dat enkel golfslag zonder stroming optreedt. In dit geval is echter reeds een kleine stroomsterkte van invloed, daar deze de beweging van het door golfslag opgewoelde zand altijd zal beïnvloeden en daardoor bepalend zal zijn voor de beweging van de kustlijn.

In het voorgaande hoofdstuk werd uiteengezet, dat een golfslag, welke loodrecht op de kust staat, geen wijzigingen in de algemene vorm van de kust kan veroorzaken, doch wel verantwoordelijk is voor de helling van de onderzeese oever en van het natte strand. Bij elk type golfslag behoort een bepaalde evenwichtsligging van de bodem, waarbij de door de golfslag opgewekte "sleepkrachten" in harmonie zijn met de zwaartekrachtsontbondene. Hierdoor vindt wel zandbeweging plaats, doch treedt geen resulterend transport op na instelling van de evenwichtstoestand.

Bij een dergelijke evenwichtstoestand vindt geen zandbeweging evenwijdig aan de kust plaats, tenzij de

-golfslag-

golfslag niet loodrecht op de kust is gericht. In dat geval treedt brandingsdrift op met resulterend zandtransport in de brandingszône.

Resulterend zandtransport langs de kust treedt ook op, indien tegelijk met de golfslag een stroming langs de kust voorkomt, bijvoorbeeld een drift- of een getijstroming. Getijstroming vindt bijvoorbeeld plaats langs onze kust; hierbij is de vloedstroom (noordgaandtij) sterker dan de ebstroom (zuidgaandtij). Er treedt daarom zandtransport op in beide richtingen, waarbij echter in noordelijke richting meer wordt getransporteerd dan in zuidelijke richting.

De verdeling van het zandtransport in een raai loodrecht op de kust is niet volkomen dezelfde als bij een brandingsdrift. Immers bij brandingsdrift vindt het transport in hoofdzaak plaats in de brandingszône; bij getijstroming treedt bovendien transport op daarbuiten. Het zwaartepunt van het transport zal in dit geval dus meer zeewaarts zijn gelegen.

Voor dit laatste geval is de stroomsterkte globaal evenredig te stellen aan de wortel uit de waterdiepte. Verder uit de kust neemt de snelheid dus toe. De sleepkracht door de golfbeweging neemt daarentegen zeewaarts af. Door samenstelling van de beide krachten is de verdeling van het transport te bepalen, welke dus in grote trekken overeenkomt met de in figuur 16 geschetste, doch waarbij het transport buiten de brandingszône groter zal zijn.

Bij toename van de stroomsterkte en ook van de golfafmetingen zal de transportzône breder worden en het zandtransport sterker. Bij afname zal deze zône echter zo klein kunnen worden, dat op de buitenbanken in het geheel geen transport meer optreedt.

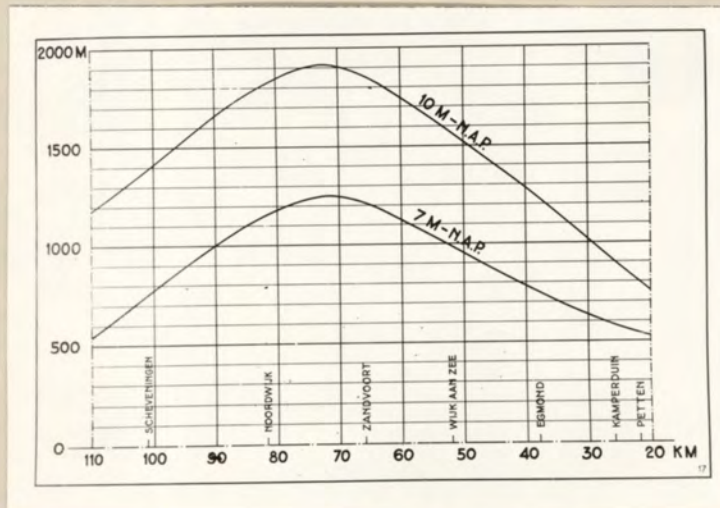
Bij de bespreking van stroomgeulen werd opgemerkt, dat door de impulswerkingen een dwarsverhang van de bodem optreedt. Indien dus stroming langs een brandingskust optreedt zal de evenwichtshelling van deze kust niet alleen worden bepaald door de maatgevende golf;

deze helling zal sterker worden naarmate de stroming ten opzichte van de golfslag groter invloed krijgt.

Bij een waterbeweging, welke uit golfslag en stroming is samengesteld zal dus een oeverhelling optreden, welke steiler zal zijn dan die van een brandingskust, doch flauwer dan van een stroomgeul, althans over die gedeelten van de onderzeese oever waar het zand in beweging komt.

Hieruit zou naar mijn mening een verklaring kunnen worden gevonden voor het feit, dat langs het kustvak Hoek van Holland - den Helder de bodemhelling niet constant is, doch noordwaarts gaande eerst flauwer en daarna weer steiler wordt.

In figuur 17 is het verloop van de 7 en de 10 m dieptelijn aangegeven; de gegevens hiervoor werden ontleend uit Dr. Ir. L. R. Wentholt - Stranden en Strandverdediging. Dit zou dus veroorzaakt kunnen worden doordat de stroomsterkte in het midden van genoemd kustvak het kleinste is en naar weerszijden toeneemt. Dat de afstand der dieptelijnen uit de kust op zichzelf reeds een maat zou zijn voor kustafname en-aanwas, zoals wel betoogd wordt, is naar mijn mening niet juist.



+
figuur 17. Verloop van de 7 en 10 m dieptelijn uit de kust.

Zoals we zagen kunnen bij een flauwer helling van de bodem meer buitenbanken optreden dan bij een steilere helling. Zo komen in het midden van genoemd vak vaak 3 banken op, terwijl nabij de uiteinden en in

andere vakken met sterkere stroming, zoals op Vlieland, meestal slechts één bank voorkomt.

Wordt dus de evenwichtsligging van de bodemhelling in eerste instantie bepaald door het maatgevende type golfslag, toch oefent de stroomsterkte hierop wel enige invloed uit.

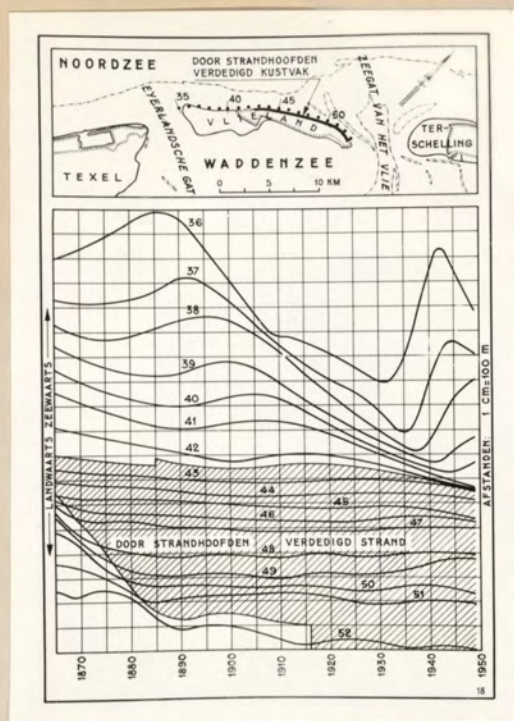
Daarentegen wordt de evenwichtsligging van de oeverlijn in hoofdzaak bepaald door de stroming, waarbij echter de optredende kleine verschillen in maatgevende golfslag voor de opeenvolgende kustvakken wel enige invloed kunnen uitoefenen.

Evenals bij de brandingsdrift zal een kustvak in evenwicht verkeren als de transportcapaciteit in dat vak gelijk is aan dat in naburige vakken. Zo dit niet het geval is dan zal de kust afnemen of aangroeien totdat de stroom voor dat vak zodanig is afgenomen, resp. toegenomen dat het transport gelijk is geworden.

Zo is bijvoorbeeld het kustvak Scheveningen - Bergen thans vrijwel in evenwicht; deze kustboog is ten opzichte van de vastgelegde vakken nabij Hoek van Holland en den Helder zover teruggeweken, dat de optredende stromen voldoende zijn verzwakt om met het afnemende zandtransport vanuit het zuiden te kunnen volstaan. Daartegenover zijn bijvoorbeeld vele kustvakken van Waddeneilanden nog niet in evenwicht. De zandbehoefte van de Waddenzee verbruikt namelijk een groot deel van het aangevoerde zand (of meer dan dat), zodat deze kustvakken gedwongen zijn zand op te nemen uit de vooroever.

In figuur 18 is bijvoorbeeld de afname gegeven van het Noordzeestrand van Vlieland, waarvan het westelijk gedeelte nog niet verdedigd is. Verdere afname is hier te verwachten totdat dit kustvak zover is teruggetrokken, dat het in de luwte van het verdedigde kustvak is gekomen en de stroomsnelheden voldoende zijn afgenomen.

Uit de figuur blijkt tevens dat de afname niet regelmatig is. De oorzaak hiervan is gelegen in de



+
figuur 18. Afname Noord-
zeestrand Vlieland.

nabije ligging van het zeegat, waardoor de zandaanvoer schoksgewijze gaat. De voortplanting en demping van deze discontinuïteiten in de aanvoer langs het strand is onmiskenbaar.

b. Stroming en golfslag.

Zoals gezegd is de golfslag bij een stromingsgeul pas van belang, als van buiten zeedeining kan binnentreden, welke haar invloed tot op grotere diepte kan doen gevoelen.

In het overgangsgebied van stroming en golfslag overweegt in sommige tijden de ene factor, in andere tijden de tweede factor.

In figuur 19 is bijvoorbeeld een foto gegeven van de door stroming sterk afnemende noordpunt van Texel. Door deze stroming neemt des zomers de onderzeese oever sterk af, het duin ligt in het najaar dicht bij de waterlijn, waarbij vaak een droog strand geheel ontbreekt. Des winters is bij stormvloed de golfslag overheersend; hierbij slaan de duinen sterk af en vormt zich van het afgeslagen materiaal een breder

-strand-



+
figuur 19. Afname
noordpunt Texel
door stroming en
golfslag.
+

strand. Op de foto is duidelijk het restant van dit strand te zien met daarvoor (bij laagwater) de uitschuring door de stroom.

In het volgende wordt echter onder stroming met golfslag het gebied verstaan, waar beide invloeden tegelijk voorkomen.

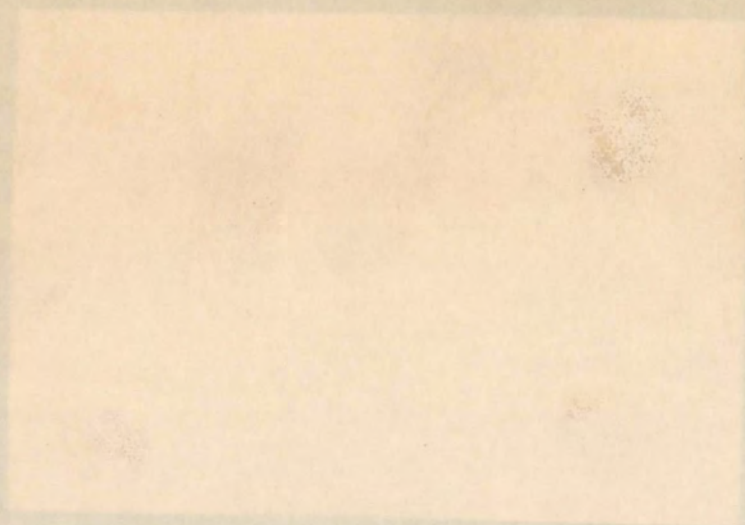
Bij het optreden van golfslag tegen de oever van een stroomgeul zal het zandtransport langs de oever toenemen, aangezien het punt, waar de grenssleepkracht wordt bereikt, verschoven wordt. Echter zal hierdoor de transportgradient in het dwarsprofiel afnemen, zodat het door de impulswerking veroorzaakte dwarstransport eveneens zal afnemen.

Ter bereiking van een evenwicht van de oever zal dus de helling hiervan moeten afnemen, hetgeen ook te verwachten was.

Zolang de golfslag ten opzichte van de waterdiepte van de geul gering is, en zolang de onderzeese helling van de oever steil is, zullen zich geen banken kunnen vormen. Dit kan pas geschieden als de helling zo flauw is, dat de gebroken golf opnieuw een of meer golven kan vormen.

In geulen, waarbij branding tegen een oever staat, zijn dus twee transportzônes aanwezig. In de eerste plaats is er het eigenlijke geultransport, dat in hoofdzaak in de diepe gedeelten van de geul plaats vindt.

-Daarnaast-



11
12
13

Daarnaast bestaat er nabij de waterlijn een tweede transportzône, waarbij de branding een belangrijke rol speelt. Tussen deze beide zônes in kan het transport geringer zijn.

In het bovengenoemde geval van stroming met golfslag zal de onderzeese oever in evenwicht verkeren indien voor de beide zônes de aangevoerde hoeveelheid zand naar een bepaald vak gelijk is aan de transportcapaciteit van dat vak.

Wordt in de transportzône van de golfslag te weinig zand aangevoerd, dan zal dit deel van de onderzeese oever afnemen, waardoor het talud flauwer zal worden en zand zal worden toegevoerd uit de transportzône van de diepe geul. Hierdoor zal dus de gehele onderzeese oever afnemen, zij het in langzamer tempo, waarbij de onderzeese helling flauwer zal zijn dan normaal.

In het omgekeerde geval zal aangroeiing van de kust plaats vinden onder steilere helling.

Neemt daarentegen het diepere deel van de geul af, bijvoorbeeld door spiraalstroming, dan zal dus het talud steiler worden, waardoor het zand van de bovenzône zal afglijden naar de diepere lagen.

Tenslotte is ook mogelijk dat de oever in evenwicht verkeert, hoewel de ene zône te weinig zand ontvangt, mits daartegenover ~~staat~~ dat de andere zône te veel ontvangt. In dat geval treedt dus uitwisseling van transport op.

Een dergelijk geval kan zich voordoen in het mondingsgebied van een zeegat. Aangezien het juist in vele gevallen deze mondingsgebieden van zeegaten zijn, waar kustverdedigingswerken noodzakelijk zijn, dienen de processen welke zich hier afspelen, nader te worden besproken. Deze processen zijn echter gedeeltelijk nog onbekend, zodat zij in deze verhandeling slechts oppervlakkig behandeld kunnen worden, waarbij de volgende suggesties met veel voorbehoud gegeven worden.

De bij eb uit een zeegat trekkende stroming zal,

in verband met de bij snelheidsvertraging optredende neervorming, niet direct waaiervormig kunnen uitvloeien in zee, doch zal slechts langzaam kunnen vertragen (exacter gezegd: de beschikbare energie van beweging kan bij vertraging slechts ten dele worden omgezet in potentiële energie).

De uitmondende geul zal daarom nog een ééndweegs in zee het karakter van geul bewaren, alvorens het water in vele vertakkingen voldoende vertraagd is.

De grootte van dit deltavormige geulensysteem -met de tussen deze geulen gelegen oevers, buitengronden genaamd- is dus in eerste instantie afhankelijk van de capaciteit van het zeegat. Bij een in zee uitmondende rivier, waarbij zand zeewaarts wordt gevoerd, zou deze delta zich steeds verder uitbreiden. Betreft het de uitmonding van een wad, dan zou het wad steeds meer verdiepen, doordat het bijeb uit het zeegat weggevoerde zand slechts ten dele bij vloed zou worden teruggevoerd. Een evenwicht zou dan pas optreden nadat de zandbeweging in het gehele gebied van wad, zeegat en buitengronden ten gevolge van verdieping en stroomvertraging tot stilstand/^{zou}zijn gekomen.

Dat dit in Nederland, ondanks de stijgende waterspiegel nog niet het geval is, is naar mijn mening te danken aan de door golfslag en stroming langs onze kust aangevoerde hoeveelheden zand. Waar de zandtoevoer afneemt en door vastlegging van de kust verzadiging van deze zandstroom niet meer mogelijk is, zal mijns inziens verdieping van zeegaten en geulen, en verlaging van de buitengronden en wadden moeten optreden.

Aangezien het zandtransport langs de kust de zeegaten moet passeren, zal dus in deze zeegaten ook zandtransport moeten plaats vinden. Uit een nadere beschouwing volgt echter dat dan ook in de wadgeulen transport moet optreden en dat ook de wadden zand ontvangen. Men kan in dit geval spreken van een "zandverhang" van het zeegat naar binnen, waardoor de wadden worden opgebouwd. In het geval van een rijzende zeespiegel zal dit dus

tot gevolg hebben dat ook de hoogte van het wad omhoog gaat, bij het met een zekere naijling.

Is het "zandverhang" echter omgekeerd gericht, hetgeen het geval is bij een te klein zandtransport langs de kust -en dus door het zeegat- dan zal dus wadverarming optreden.

Het zand dat langs de kust wordt aangevoerd, dient dus in tijden van waterspiegelrijzing ten dele voor ophoging van de dan aanwezige wadden (bij dalende zeespiegel zijn deze wadden spoedig geheel verland). Het zand passeert op deze weg de zônes brandingkust eventueel met stroming, stroming met golfslag (binnen de buitengronden) en zakt dan af naar de diepere lagen van de stroomgeul voor het zeegat.

Een deel van dit zand wordt weer door de stroomgeul tot buiten de gronden gebracht en langs de rand door golfslag en stroming verder gevoerd naar de andere zijde van het zeegat.

Complicaties treden hierbij veelvuldig op, doordat ook de geulen in de buitengronden zeer beweeglijk zijn en door de zandaanvoer langs de kust een overmatig zandtransport aan de ene zijde te verwerken krijgen, waardoor zij kunnen worden weggedrukt. In dat geval spreken we van het loslaten, oversteken en verhelen van banken, die schijnbaar in hun geheel het zeegat oversteken.

Uit het bovenstaande kan worden besloten dat kustafname in of nabij een zeegat verschillende oorzaken kan hebben. Deze afname kan zowel veroorzaakt worden door geulverleggingen en -insnoeringen, door capaciteitsvergroting ten gevolge van vermindering der zandaanvoer, of door groter zandbehoefte van het wad, bijvoorbeeld bij zeespiegelrijzing.

In vele gevallen zal het nog niet mogelijk zijn om de oorzaken van kustafname nauwkeurig aan te wijzen. Verder onderzoek is daarom, ook met het oog op de waarschijnlijk steeds ongunstiger wordende toestand, wel zeer noodzakelijk.

Hoewel dus in verschillende gevallen de principiele

zijde der vraagstukken nog niet ten volle is opgelost en dus van kwantitatieve berekeningen vaak nog geen sprake kan zijn, behoeft dit geen beletsel te zijn om de principes van verdediging van afnemende kustvakken nader te bezien.

+

V. DE VERDEDIGING VAN INSCHARENDE OEVERS VAN STROOM-
GEULEN.

a. Algemeen principe.

In hoofdstuk II werden als de twee mogelijke oorzaken van het afnemen van oevers van stroomgeulen aangegeven.

1e. het ontbreken van evenwicht tussen de aangevoerde hoeveelheden zand naar een bepaald vak en de transportcapaciteit van dat vak;

2e. het ontbreken van evenwicht in de richting en plaats van het water- en zandtransport.

Beide evenwichtsverstoringen komen veelvuldig voor, waarbij de tweede echter veelal maatgevend is.

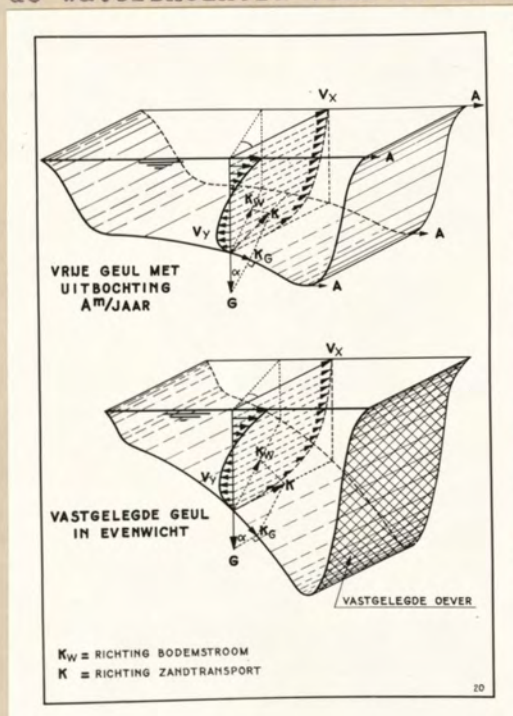
In het eerste geval zal profielverruiming en dus oeverafname optreden indien de aangevoerde hoeveelheid zand te klein of -wat hetzelfde is- de aangevoerde hoeveelheid water te groot wordt. Verruiming zal dan optreden totdat de transportcapaciteit zodanig is afgenomen dat een ^{nieuw} evenwicht kan optreden.

Deze verruiming zal dus aan beide oevers optreden. Wil men echter een der oevers vasthouden, dan dient men het zand hiervan vast te leggen zodat de gehele verruiming aan de ^{andere} oever plaats vindt. Wil men echter beide oevers vasthouden dan kan zich geen natuurlijk dwarsprofiel meer vormen aangezien de hele verruiming dan in de diepte gezocht moet worden, waardoor het verband breedte : diepte wordt verbroken. De geul zal steeds trachten dit evenwicht te herstellen, hetgeen alleen te verhinderen is door beide oevers permanent te beschermen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij geulen welke genormaliseerd zijn. Dit is dus geen geval van natuurlijke verruiming van het profiel, doch van kunstmatige verkleining der breedte, hetgeen echte op hetzelfde neerkomt als een aan beide zijden vastgelegde geul welke zich wil verruimen.

In dit geval is vrij nauwkeurig te bepalen hoeveel de verdieping zal bedragen en dus tot welke diepte de verdediging zal moeten reiken. Over het algemeen zijn de door deze werken veroorzaakte verdiepingen echter niet groot en blijft de geulbodem horizontaal.

Anders wordt het in het geval van een geul, waarvan de richting en plaats der transporten niet in evenwicht is en waarbij dus een geulomlegging optreedt zonder capaciteitswijziging.

Als voorbeeld is in figuur 20 (bovengedeelte) een geulmoot geschetst, welke niet in evenwicht verkeert, doch tengevolge van spiraalstroming met een snelheid van A meter per jaar naar rechts verplaatst. Ingetekend zijn de ontbondenen van de watersnelheid volgens de geulas (V_x) en volgens het dwarsprofiel (V_y). Deze laatste geeft dus de spiraalstroming. De richting van de watersnelheid vlak boven de bodem is volgens de



figuur. 20. Wijziging richting zandtransport na vastlegging geul.

kracht K_w , waarmede de sleepkracht van het water wordt aangeduid. Deze kracht K_w , tezamen met de ontbondene van de zwaartekracht langs de bodem K_g , bepaalt de grootte en richting van de op een zandkorrel werkende kracht K.

-Aangezien-

Aangezien K in richting niet samenvalt met de geulas zal het profiel niet in evenwicht zijn.

Leggen we nu de rechter oever vast, dan zal dus geen zand meer worden toegevoerd naar de bodem. Deze zal rechts verdiepen en links aanzanden totdat de ontbondene van de zwaartekracht zodanig is toegenomen, dat K evenwijdig aan de geulas is gericht. Nu is het dwarsprofiel dus in evenwicht gekomen en beweegt het zand zich evenwijdig aan de geulas (onderhelft figuur 20).

De sterkte van de evenwichtshelling is te berekenen. In het geval van een spiraalstroming door bochtwerking is de sinus van deze helling evenredig aan het kwadraat van de snelheid en aan de waterdiepte en omgekeerd evenredig aan de kromtestraal en aan de korreldiameter van het zand. Betreft het de aardrotatie dan is deze sinus evenredig aan de watersnelheid en de diepte en omgekeerd evenredig aan de korreldiameter.

Zo is bijvoorbeeld bij een watersnelheid van 1 m/sec, een diepte van 10 m en een korreldiameter van 0.3 mm, de sinus van de dwarshelling; bij een bocht met 2000 m straal $-1/20$; bij een rechte geul door de aardrotatie $-1/150$.

Bij een 300 m brede geul welke zich vrij kan verplaatsen zou dus, indien de oever plotseling werd vastgelegd een verdieping optreden, welke in de bovenstaande gevallen (bocht van 2000 m of aardrotatie alleen) respectievelijk $1/20 \times 150 \text{ m} = 7.5 \text{ m}$ $1/150 \times 150 \text{ m} = 1 \text{ m}$ zou bedragen. Hierbij is dan van de veronderstelling uitgegaan, dat de bodem bij vrije verplaatsing horizontaal zou blijven, hetgeen niet juist is, en verder dat de stroomsnelheidsverdeling in het dwarsprofiel door de verdiepingen en verondiepingen niet zou veranderen, hetgeen ook niet juist is. Een meer nauwkeurige berekening zou ons echter te ver van het onderwerp afvoeren.

We kunnen echter resumerend wel zeggen dat het vastleggen van een zich verplaatsende geul tot gevolg

zal hebben dat de bodem een dwarshelling zal gaan aannemen, waarbij dus verdieping ontstaat aan de vastgelegde opdringende zijde van de geul.

De grootte van de bij vastlegging optredende verdieping is nog niet exact te berekenen in verband met onnauwkeurigheden in de berekening en in verband met de meestal gecompliceerde toestand.

Behalve door exacte berekening kunnen we de verdieping echter ook op een andere wijze bepalen. Weten we namelijk de afname per jaar van het betreffende kustvak (A m/jaar), dan is dus bij een diepte H van de bodem het dwarstransport $A.H.$ m³/jaar. Weten we verder het zandtransport langs de as van de geul -door meting of uit een zandtransportformule-, dan is dus bekend de hoek tussen het zandtransport en de stroombaan. Om het dwarsprofiel in evenwicht te krijgen moet de dwarshelling van de bodem zodanig toenemen, dat deze hoek gelijk nul wordt. Dat wil zeggen dat het quotient van de toename der zwaartekrachtbondene en van de sleepkracht langs de as van de stroombaan gelijk wordt aan de tangens van bovengenoemde hoek. Op deze zeer grove wijze is een indruk te verkrijgen omtrent de verdieping. Deze blijkt dan globaal evenredig te zijn aan de kustafname, de geulbreedte, de gemiddelde geuldiepte en omgekeerd evenredig aan het kwadraat van de bodemsnelheid en aan de korreldiameter.

Onder verdediging van de onderzeese oever wordt dus in het bovenstaande verstaan het aanbrengen van zodanige voorzieningen, dat verhinderd wordt dat het zand van de oever, voorzover deze niet van nature in evenwicht is, wordt weggevoerd.

Dit kan op twee wijzen geschieden, nl.:

- 1e. door bedekking van het zand met een beschermende laag; of
- 2e. door verlamming van de over het zand trekkende stroom.

Bij de eerste werkwijze ontstaat de zogenaamde

doorgaande oeververdediging; de tweede oplossing wordt verkregen door plaatselijke uitbouw van stroomafleidende werken.

b. Doorgaande verdediging.

Bij de doorgaande verdediging wordt dus dat gedeelte van de oever, waar de zandaanvoer kleiner zou zijn dan de afvoer, vastgelegd door het aanbrengen van een beschermende laag.

Deze beschermende laag bestond vroeger uit stortsteen, welke zwaar genoeg moest zijn om aan de stroom weerstand te bieden en waarvan de afmetingen zodanig gemengd moesten zijn dat een minimum aan poriënvolume verkregen werd. Deze laag moest verder zo dik zijn, dat de waterbeweging in de poriën aan de onderzijde van de laag zodanig was afgenomen dat geen zand meer kon worden afgevoerd.

Aangezien bij sterke waterstroming zelfs bij een dikke stortsteenlaag nooit geheel te bereiken is, werd later als dichtingslaag rijshout toegepast in de vorm van zinkstukken, welke ter ballasting, verdere afdichting en bescherming tegen paalworm werden bestort met stortsteen.

Ook dit is nog niet altijd voldoende. In dat geval is toepassing van een tussenlaag van riet in het zinkstuk, welk riet bovendien paalwormbestendig is, afdoende.

Ook een opvulling van de stortsteen met fijne stortsteen of gruis van hoger soortelijk gewicht geeft verbetering.

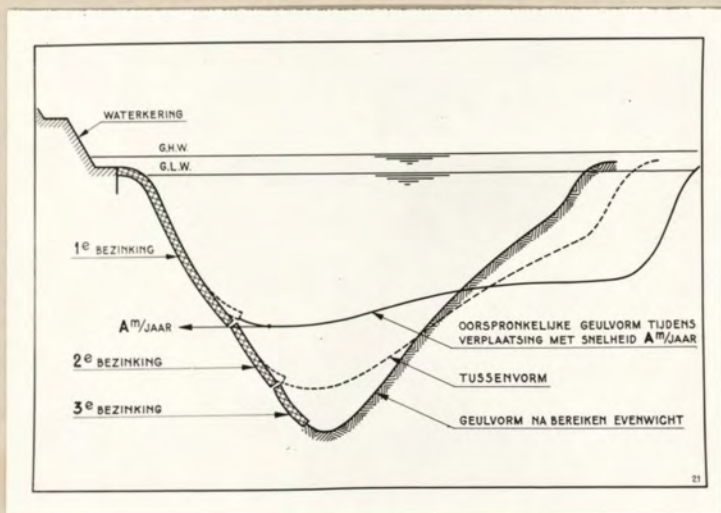
Al met al zijn dergelijke constructies nog vrij primitief, zodat gezocht wordt naar verbeteringen. Dit is echter een constructieprobleem, hetwelk in deze verhandeling niet zal worden behandeld.

Bij doorlopende oeververdediging dient de onderzeese oever bijna over de volle hoogte te worden vastgelegd. Aangezien, door de eerder genoemde verdieping

na vastlegging, deze volle hoogte niet direct aanwezig is, zal deze vastlegging nooit ineens kunnen worden aangebracht (althans niet met de huidige constructies).

De moeilijkheid bij dit soort constructies is de bepaling van het tijdstip van bezinking. Doet men dit te vroeg -dus bij een nog flauwe helling van het talud- dan wordt de constructie onnodig kostbaar. Doet men het te laat dan kan een afschuiving zijn opgetreden, waarvan het herstel nog kostbaarder kan zijn.

Wil men echter zoveel mogelijk bezuinigen op de kosten, dan zal men enig risico moeten aanvaarden. Aangezien bij de aanleg van een zeewering de kosten van de onderzeese verdediging vaak 3 op 4 maal zo hoog zijn als die van de waterkering, maakt het op de totale kosten direct een groot verschil of men reeds bezinkt bij een helling van 1 op 6 of dat men wacht tot deze helling 1 op 4 is geworden. De ervaring is wel dat men, zolang nog geen grote diepten voor de waterkering aanwezig zijn, het talud vrij steil kan laten worden, doch dat men niet te lang moet wachten met de vastlegging van de dieptelijn van 12 m en dieper.



+
figuur 21. Geulver-
vorming bij aanbren-
gen van een door-
gaande oeververde-
diging.

In figuur 21 is een voorbeeld gegeven van de vast-
legging en de daardoor veroorzaakte verdieping van een
opdringende geul. Hieruit moge blijken, dat het niet
goed mogelijk is om een glad beloop te verkrijgen. Hoe-
wel dit door bijstorting wel te verbeteren is, heeft
dit weinig zin, omdat de waterbeweging van dergelijke

-onregelmatig-

onregelmatigheden geen grote storing ondervindt.

Storing treedt wel op indien in het lengteprofiel discontinuïteiten voorkomen. Deze zullen vaak niet te vermijden zijn, indien het niet mogelijk is om in één seizoen de volle lengte van de oeververdediging te bezinken. Ook indien dit wel mogelijk is zullen dergelijke verdedigingen toch steeds aan de uiteinden onregelmatigheden geven waarvan de ongunstige invloed op de bodemligging alleen te verminderen is door zeer geleidelijke afbuigingen aan die uiteinden.

In ons land komen doorlopende verdedigingen (behalve langs onze rivieren) slechts sporadisch voor. Wat hiervoor doorgaat is meestal slechts een verdediging, welke gesloten is, doch daarbij zoveel onregelmatigheden in lengteprofiel vertoont, dat de waterbeweging sterk gestoord wordt, waardoor de voordelen van deze verdedigingswijze ten dele verloren gaan. Verder komen wel doorlopende verdedigingen voor, welke zo kort zijn in vergelijking met de breedte van de vast te leggen geul, dat zij als afgeronde vaste punten moeten worden gekwalificeerd.

Dat een doorlopende oeververdediging zo zelden voorkomt, is niet alleen te wijten aan de situatie welke zich hiervoor zelden leent. Als een tweede oorzaak moet naar mijn mening aangeduid worden de hoge kosten van aanleg en onderhoud, waardoor deze overigens zo logische en veilige oplossing zo weinig toepassing vond.

Daarom wordt vaak de voorkeur gegeven aan de tweede oplossing, welke eveneens uit de ervaring is gegroeid, namelijk de vastlegging van geulen met vaste punten.

c. Verdediging op punten.

Uit het voorgaande bleek, dat door de vastlegging van een bewegende geul vormveranderingen van het dwarsprofiel optreden, waarbij de geul aan de opgelegde

zijde verdiept en aan de andere zijde verondiept.

Zeer populair zou men een dergelijk geul kunnen vergelijken met een rubberband, welke over de gehele lengte gelijkmatig drukt op een oplegging en daarbij eveneens vervormt. De verplaatsingssnelheid van de geul voor de vastlegging is hierbij te beschouwen als een functie van de "kracht" waarmee de geul op de oplegging zal drukken. Wordt de bovengenoemde luchtband niet gelijkmatig opgelegd doch slechts op bepaalde punten, dan zullen de vervormingen ter plaatse van deze opleggingen groter zijn dan bij gelijkmatige oplegging. Evenzo is het, indien een geul wordt opgelegd op vaste punten.

Naast deze verdieping is een ander kenmerk van vastgelegde geulen, dat zij zelden verzanden, zoals dat met vrij bewegende geulen vrijwel steeds na kortere of langere tijd geschiedt. De vastgelegde geulen blijven "kleven" luidt de spreekwijze. De oorzaak hiervan is nu wel duidelijk. Deze geulen kunnen namelijk niet "rijp" meer worden voor kortsluiting, aangezien geen verdere uitbochtiging meer optreedt.

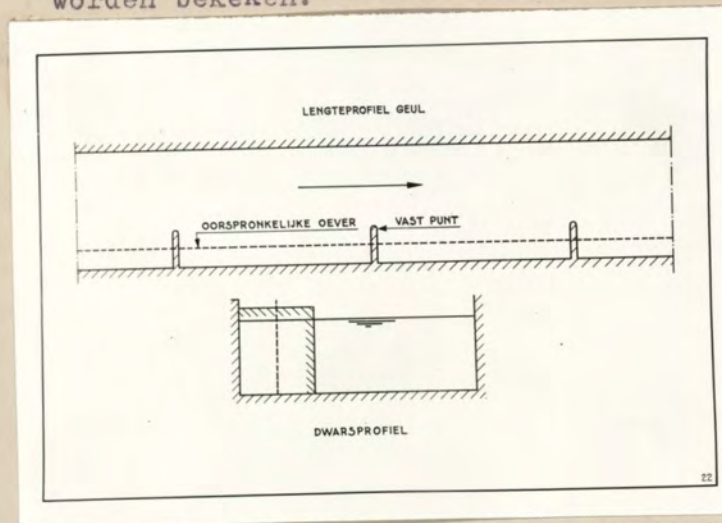
Dat men vroeger dan ook in ernst heeft kunnen voorstellen om uitbochtende geulen vast te leggen door de uitbouw van werken aan de aanwinnende zijde, daarbij wijzend op de verschijnselen van verdieping en "kleven", is dan ook wel een typisch voorbeeld van gebrek aan begrip van het verschijnsel der geulverplaatsing.

Daartegenover staat dat de vaak verguisde zuinigheid van onze voorouders ten aanzien van het bijtijds aanleggen van oeververdedigingswerken, toch dit voordeel heeft gehad dat vele geulen, waarvan vastlegging voorgesteld, doch niet uitgevoerd is, zich later konden insnoeren, hetgeen bij vastlegging niet mogelijk zou zijn geweest, waardoor het onderhouden van dergelijke werken ons thans wordt bespaard.

In verband hiermede moet naar mijn mening van elk voorgenomen project ook wel terdege overwogen worden

of door vastlegging kansen op spoedig kortsluiting van de betreffende geul worden ontnomen.

De keuze betreffende de methode van vastleggen van geulen -in hoofdzaak beperkt tot doorlopende oeververdediging of vaste punten- is nog steeds onderwerp van discussie. Alvorens hierin nader te treden, dient het mechanisme der vaste-punten-verdediging nader te worden bekeken.

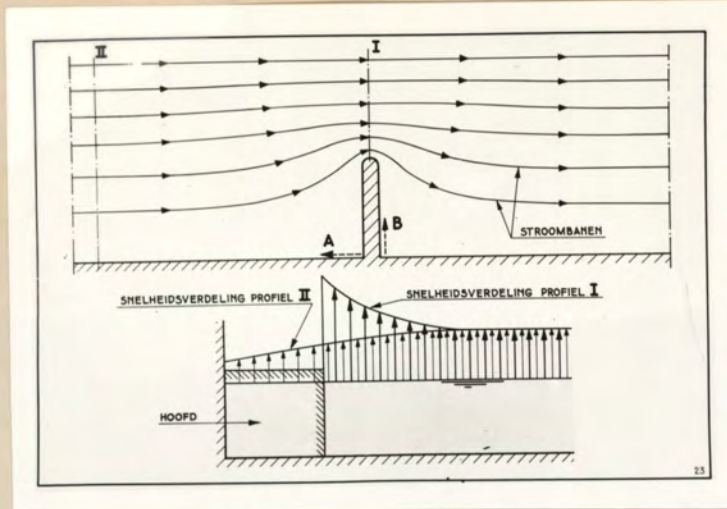


+
figuur 22. Schema
vaste-punten-ver-
dediging.
+

Een volledige berekening van de hierbij optredende water- en zandbeweging zal in deze verhandeling echter achterwege moeten blijven aangezien hierbij ^{het} gebruik van formules noodzakelijk zou zijn. Verwezen moge hiertoe worden naar de berekeningswijze, gevolgd in het eerdergenoemde artikel in "de Ingenieur" no. 4 van 1947.

In populaire vorm komt het principe op het volgende neer.

Denken wij ons als eerste stap een geul met bakvormig profiel en vervangen wij de ene zijwand op de wijze als weergegeven in figuur 22, dan zullen de stroombanen ter plaatse van de hoofden worden samengeknepen. De snelheid neemt hier dus toe. Tussen de hoofden wordt het water echter vertraagd. Het stroombeeld van een vak is weergegeven in figuur 23. In dit stroombeeld is alleen rekening gehouden met de bodemwrijving, niet met de wandwrijving. Brangen we deze wel in rekening dan ontstaat een complicatie, doordat in stroombaanvakken langs de oever een zodanige vertraging der



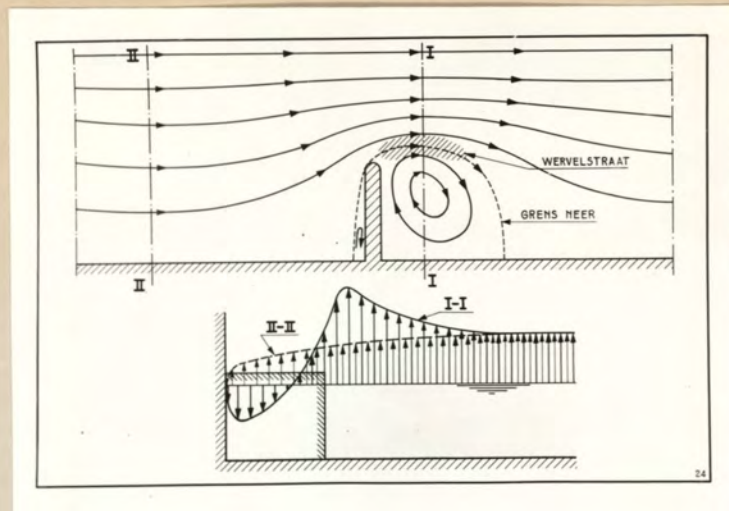
+
figuur 23. Schematisch verloop stroombanen bij een vaste bodem en bij verwaarlozing wandinvloed.
+

snelheid zou ontstaan, dat de waterspiegel stroomafwaarts op zou lopen, hetgeen terugstroming direct langs de oever ten gevolge heeft. Deze terugstroming is oorzaak van de zogenaamde neervorming. In het algemeen treedt deze neervorming op in die stroombaanvakken langs de oever, waar stroomvertragingen van een zodanige sterkte voorkomen, dat de omzetting van snelheid in potentiële energie groter is dan het verlies aan wrijvingsenergie. Dit is dan ook de oorzaak dat stroombanen bij vertraging der snelheid, zo spoedig van de wanden loslaten.

Berekening van de grootte der optredende neren is zeer gewenst, doch ^{nog} niet exact mogelijk.

Bij de in figuur 23 optredende snelheidsverdeling treedt bijvoorbeeld vertraging op in de gebieden A en B. De neren welke hieruit ontstaan hebben globaal de in figuur 24 geschetste vorm. Hierbij behoort een stroombeeld zoals in ^{de} figuur is geschetst. De grootste stroomsnelheden treden dus niet op direct voor de kop van het hoofd, doch even benedenwaarts daarvan. Ook de sterkste snelheidsgradiënten (loodrecht op de stroombanen) treden eveneens in dit gebied op. Deze gradiënten zijn vaak zo sterk, dat de naast elkaar gelegen stroombuizen niet meer normaal over elkaar wrijven, doch onder sterke wervelvorming (kogellagers) langs elkaar schuiven. Een dergelijke wervelgebied noemt men een wervelstraat. De zandtransportcapaciteit van een

-dergelijke-



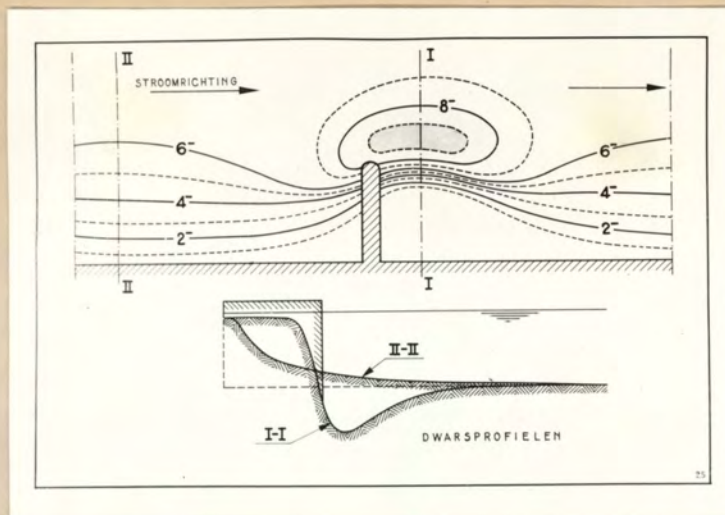
+
figuur 24. Schematisch verloop stroombanen bij inachtnaeme wandwrijving.
+

dergelijke stroming is waarschijnlijk abnormaal sterk, evenals het impulstransport van zand in dwarsrichting.

Nemen we nu een volgende stap en vervangen we de vaste bodem door een beweeglijke zandbodem. Berekenen we nu de bodemligging bij een dergelijke stroming onder inachtnaeme van de formules voor het zandtransport in langs- en dwarsrichting, dan vinden we een evenwichtbodemligging volgens figuur 25. Bij deze evenwichtstoestand liggen de banen van zand- en van watertransport niet evenwijdig.

Uit de bodemligging blijkt dat de grootste diepte optreedt benedenstrooms van het hoofd, alwaar ook de sterkste bodemhellingen voorkomen.

Op deze wijze kan de inscharing van de oever tussen de hoofden worden berekend. In verband met de onnauwkeurigheid der formules heeft dit echter thans nog weinig zin. Deze inscharing is in eerste instantie afhankelijk van de gemiddelde waterdiepte en snelheid en van de onderlinge afstand der hoofden. Het verband is echter nog niet in een formule uit te drukken. Indien slechts een van de factoren zich wijzigt zal de inscharing zich niet in dezelfde sterkte wijzigen. Zo zal bij verdubbeling van de afstand der hoofden de inscharing niet het dubbele worden doch slechts een fractie hiervan. Het zal duidelijk zijn dat bij vergroting van de afstand der hoofden de verdieping voor de hoofden zal toenemen, aangezien de contractie der



+
figuur 25. Schematische bodemligging bij vast punt
+

stroombanen voor het hoofd zal toenemen. Ook deze verdieping zal echter niet evenredig zijn aan de afstand der hoofden, doch een minder sterke toename vertonen.

Over de meest gewenste afstand der hoofden is reeds veel gediscussieerd, zonder dat hieromtrent resultaat werd bereikt. Hieraan moge het volgende worden toegevoegd.

Als minimum afstand kan worden aangenomen die afstand, waarbij de bezinkingen der hoofden elkaar raken. Zoals we later zullen zien is de lengte van de bezinking voor de kop van een hoofd afhankelijk van de sterkte der wervelstraten en dus van de mate van insnoering. Naar gelang deze insnoering sterker is en men mindere of meerdere veiligheid eist voor de instandhouding van het hoofd, zal de lengte van deze bezinking aan elk der zijden van het hoofd variëren van 5 à 10 maal de te verwachten waterdiepte voor het hoofd. Bij een hoofd, dat zowel door eb- als vloedstroom sterk wordt aangestroomd, zal de totale lengte der bezinking dus omstreeks 20 maal de te verwachten diepte voor het hoofd dienen te bedragen. Dit is dus de minimum afstand der hoofden, waarbij opgemerkt moet worden dat men in dat geval beter en goedkoper een rechte doorlopende oeververdediging kan aanbrengen.

De maximum afstand der hoofden wordt bepaald door de eis dat een geul niet in staat mag zijn om zich in te buigen tussen twee hoofden. Aangezien, zoals we

eerder zagen de minimum kromtestraal -bij vrije vorming- van een geul omstreeks 4 à 5 maal de geulbreedte bedraagt en dit bij gedwongen aanleuning tegen hoofden nog iets kleiner kan zijn, zou bij een afstand der hoofden van 6 à 8 x de geulbreedte de geul mogelijk nog wel in staat zijn om in te bochten tussen twee hoofden. Nemen we hiertussen nog een tussensteunpunt, dan ligt de geul geheel vast. Hierbij bedraagt dus de afstand der hoofden 3 à 4 maal de geulbreedte. Wil men nog grotere veiligheid dan ware deze afstand wellicht op 2 à 3 maal de geulbreedte te stellen.

Meestal wordt deze afstand verder bepaald door de situatie, terwijl verder als eis gesteld kan worden dat de inscharing, in verband met aanwezige waterkeringen, een bepaalde maat niet te boven mag gaan.

Is dit laatste niet het geval, dan is uit een kostenvergelijking op te maken, dat de voordeligste oplossing wordt verkregen door de afstand der hoofden zo groot mogelijk te maken.

Zo geeft verdubbeling van de afstand der hoofden zeker geen verdubbeling van het zinkwerk, terwijl aan bovenwaterwerk 50% wordt bespaard.

Dat men het hoofden op grotere afstand wel eens ongunstige ervaringen heeft opgedaan, ongunstiger althans dan met hoofden op kortere afstand of met doorlopende verdedigingen, is te wijten aan het feit, dat men hierop nog meer heeft willen bezuinigen dan mogelijk was. Dit laatste zal men bij langsverdedigingen of bij hoofden op korte afstand niet licht doen, omdat bij deze werken meestal duidelijk is tot hoever de bezinking moet reiken, hetgeen bij hoofden op grote afstand niet zo duidelijk is.

Totnogtoe is steeds een stationnaire stroming in één richting gezien. Hebben we te doen met een getijstroming in beide richtingen dan zal het beeld der dieptelijnen enigszins worden gewijzigd. Bij een dergelijke toestand is de bodemligging niet in evenwicht met elk der beide stromingen, doch wel met de combinatie.

Het gevolg hiervan kan zijn dat, vooral bij extreme toestanden, de veranderingen in bodemligging welke door elk getij worden veroorzaakt, vrij groot kunnen zijn, zonder dat de toestand na langere tijd ingrijpend gewijzigd wordt.

Uit het bovenstaande blijkt dat bij een verdediging volgens vaste punten, vergeleken met de doorlopende oeververdediging, nabij de hoofden stroomconcentraties, wervelstraten en verdiepingen optreden, terwijl tussen de vaste punten stroomvertragingen, verondiepingen en gebogen natuurlijke oeverlijnen voorkomen.

Bij het vastleggen van een zich bewegende geul moet dus vóór de hoofden niet alleen gerekend worden op de verdieping tengevolge van het onder een helling gaan staan van de bodem, doch bovendien op de plaatselijke verdieping door stroomconcentratie.

Bij de toepassing van vaste punten als oeververdediging wordt nog vaak de vraag gesteld of een dergelijk punt scherp moet zijn, of dat een afronding aan de kop moet worden aangebracht. Volkomen scherpe punten bestaan echter niet, aangezien bij de



+
figuur 26. Voormalige betondam van het vaste punt "de Stuifdijk" op Texel.
+

gebruikelijke toepassing van bezinking de kop altijd afgerond zal zijn op die diepten, welke voor de vastlegging bepalend zijn.

Zo geeft bijvoorbeeld het vaste punt "de Stuifdijk" op Texel aan de oppervlakte de indruk/een scherp van

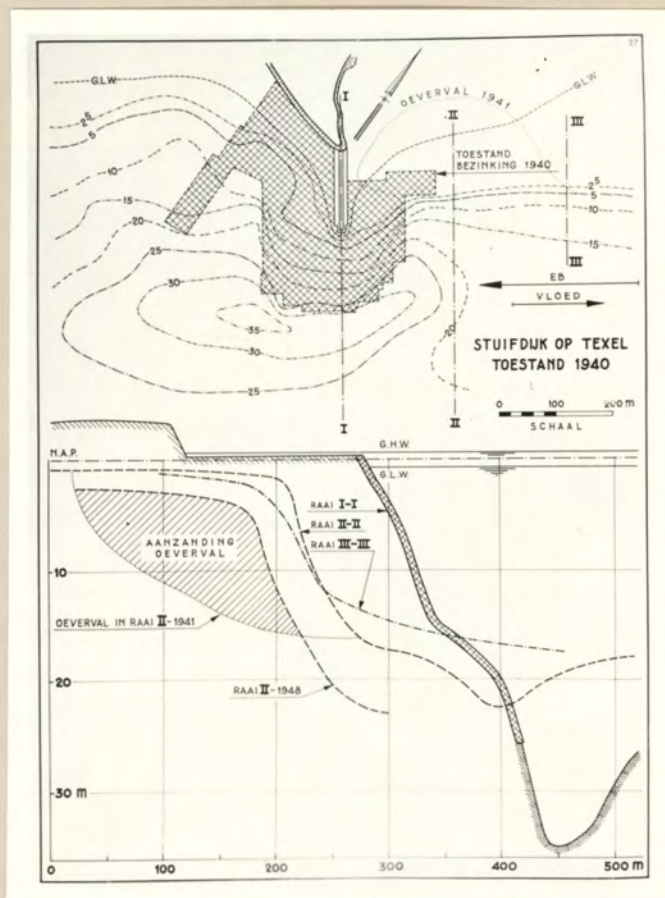
vast punt (figuur 26)

Beziet men echter de ligging der dieptelijnen (figuur 27) dan blijkt het punt op grotere diepte vrij sterk afgerond te zijn.

Als scherp vast punt, kunnen we daarom beter aanmerken een hoofd, hetwelk boven water scherp van vorm is, en waarvan de kop kegelvormig is opgebouwd.

Aan een dergelijke constructie zijn enkele grote bezwaren verbonden.

De diepten zijn voor een dergelijk hoofd groter dan bij een afgerond hoofd in verband met de grotere samensnoering der stroombanen. Direct benedenstrooms van het hoofd laten de stroomdraden van het hoofd los, de snelheidsgradient is hier dus zeer sterk, de wervelstraat is sterk ontwikkeld en het evenwichtstalud is



+
figuur 27. Bodemligging voor "de Stuifdijk" (1940).
+

hier dus zeer sterk. Het is mogelijk, dat dit zelfs sterker is dan de hoek van natuurlijk talud van het betreffende zand. In dit geval treedt dus een inwendige

-evenwichtsverstoring-

evenwichtsverstoring op, welke afschuiving van grond kan veroorzaken. Dergelijke afschuivingen kunnen zich periodiek herhalen, aangezien de oever steeds weer wil aangroeien tot de uitwendige evenwichtstoestand.

Ook kunnen afschuivingen in dit benedenstroomse talud ontstaan door verdiepingen, welke als gevolg van bijzondere omstandigheden optreden. Zo kunnen bijvoorbeeld kleine wijzigingen in de richting der stroombanen door wijzigingen in de geulvorm of tijdelijke stroomsnelheidsvergrotingen bij stormvloed verandering brengen in de ligging of sterkte der wervelstraten, waardoor direct invloed wordt uitgeoefend op de bodem, en het evenwicht van het reeds steile onverdedigde talud benedenstrooms van het hoofd wordt verbroken.

Op zichzelf behoeven dergelijke afschuivingen nog geen grote schade te berokkenen aan het hoofd. Ernstiger wordt het indien deze afschuivingen de inleiding vormen naar oevervallen.

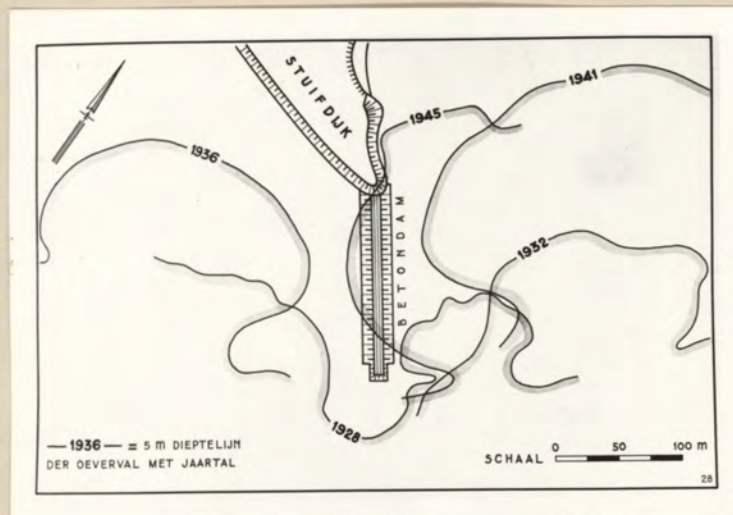
Het voorkomen van oevervallen is niet beperkt tot de provincie Zeeland, zoals velen nog ten onrechte denken. Zij komen overal voor waar oeverafschuivingen op grotere diepte (groter dan omstreeks 12 m) optreden en de bodem ervoor geschikt is. Dit laatste is vermoedelijk voor alle gronden, welke uit fijn wadzand zijn gevormd en waarvan de korrelstapeling een groot porievolume geeft. Dit is dus bij wadzand, dat opgebouwd is uit korrels zwevend zand, hetwelk rustig is kunnen bezinken. Dergelijke grond wordt nog dagelijks gevormd, bijvoorbeeld bij dichtstuiven met droog zand van geulen, welke bij stormvloed op de strand worden gevormd (drijfzand). Het is zelfs denkbaar dat dergelijke grond zich vormt in de luwte van vaste punten, indien de aangroei geschiedt met zwevend transport en dit rustig tot bezinking kan komen.

Langs onze Waddeneilanden zijn talloze oevervallen geregistreerd, vooral in de nabijheid van vaste punten, waar het evenwichtstalud steil is en de kans op af-

afschuiving dus groot.

In verband met deze oevervallen zijn oeverafschuivingen naast vaste punten ontoelaatbaar, vooral als de diepte groter is dan 10 à 15 meter.

In figuur 28 is bijvoorbeeld een overzicht gegeven van de oevervallen, welke door vloed- en ebstroom in de loop der jaren aan weerszijden van de Stuifdijk op Texel zijn opgetreden en welke tenslotte geleid hebben tot de gedeeltelijke vernietiging van dit vaste punt.



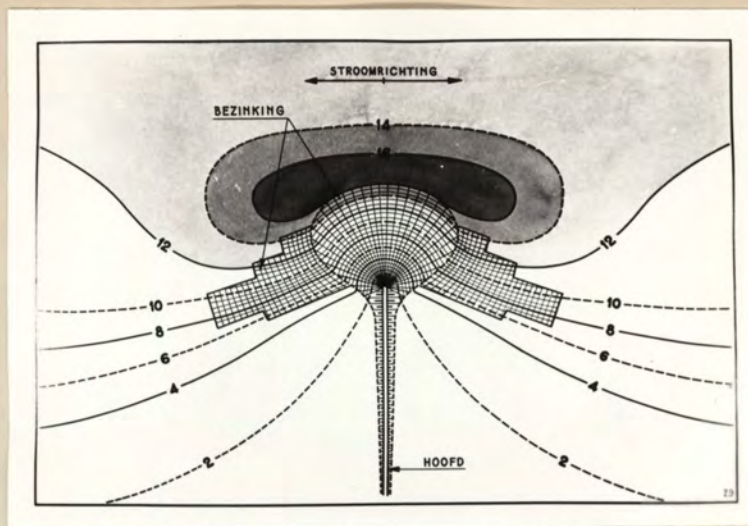
+
figuur 28. Opgetreden oevervallen nabij "de Stuifdijk".
+

In hoofdstuk II c werd als voorbeeld van geulverplaatsing genoemd het omzwaaien van de Vliesloot, een ebgeul langs de kust van Vlieland. Deze draaiing is zover gevorderd, dat de geul weer begint te drukken tegen vroeger hier aangelegde vaste punten. Deze druk is thans echter zo hevig, dat successievelijk de hoofden A, B en C (resp. in de jaren 1944, 1948 en 1949) aan de zijde van de ebwervelstraat een oeverval hebben moeten doorstaan. Mogelijk is binnenkort hoofd D aan de beurt. In figuur 7 werd reeds een schets gegeven van de situatie voor en na de oevervallen.

Het is dus uiterst gewenst om te voorkomen dat oeverafschuivingen optreden naast hoofden. Dit is bij dergelijke scherpe hoofden slechts te bereiken door te verhinderen, dat grote verdiepingen en steile taluds optreden in en voor de wervelstraten. Tijdige bezinking van een deel van dit gebied is dus noodzakelijk.

-Hieruit-

Hieruit ontstaan de zogenaamde hoofden met oren.
In figuur 29 is hiervan een schematisch voorbeeld gegeven.



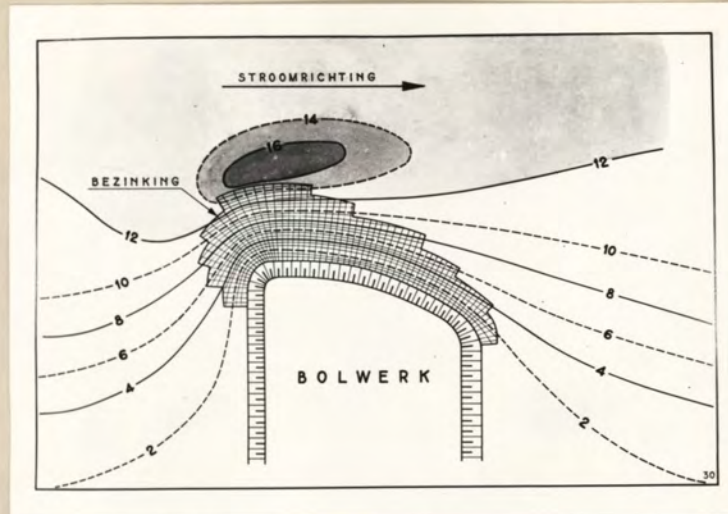
+
figuur 29. Schema
van een scherp
hoofd met "oren".

+
In de praktijk is het zeer moeilijk om het juiste oogenblik van aanbrengen van deze oren te bepalen, zodat het aanbeveling verdient om bij de aanleg van een nieuw hoofd niet de natuur het werk van uitschuring te laten doen doch -evenals dit met andere waterbouwkundige werken het geval is- de constructie en het oogenblik van aanbrengen in eigen hand te houden, hetgeen in dit geval te bereiken is door het verdedigingspunt ineens in te baggeren en te bezinken. Naar mijn mening zou op deze wijze in vele gevallen op de uiteindelijke kosten bespaard worden, zelfs indien het renteverlies van het ineens uitgegeven kapitaal voor bezinking in aanmerking wordt genomen. Een bezwaar hiertegen is echter, dat wij met de huidige kennis omtrent oeververdediging vaak nog niet kunnen zeggen tot hoever de verdieping zich zal voortzetten.

Een ander middel tot verbetering is om de vaste punten niet scherp van vorm te maken, doch deze aan de kop een afgeronde vorm te geven. Hierbij dient de afronding zodanig te zijn, dat slechts geleidelijke vertraging optreedt en de stroomdraden dus niet loslaten van de oever. In een dergelijk geval spreekt men van een bolwerk. Bij een dergelijk bolwerk zijn de verdie-

-pingen-

pingen dus minder groot dan bij een scherp vast punt. Eis is dan echter dat de afbuiging van het bolwerk aan de benedenstroomse zijde zo flauw is dat geen loslaten van de stroomdraad optreedt voordat de snelheid zover is afgenomen, dat de verdieping gering is. We krijgen dan een vorm zoals in figuur 30 is aangegeven.



+
figuur 30. Schema
van een afgerond
bolwerk.
+

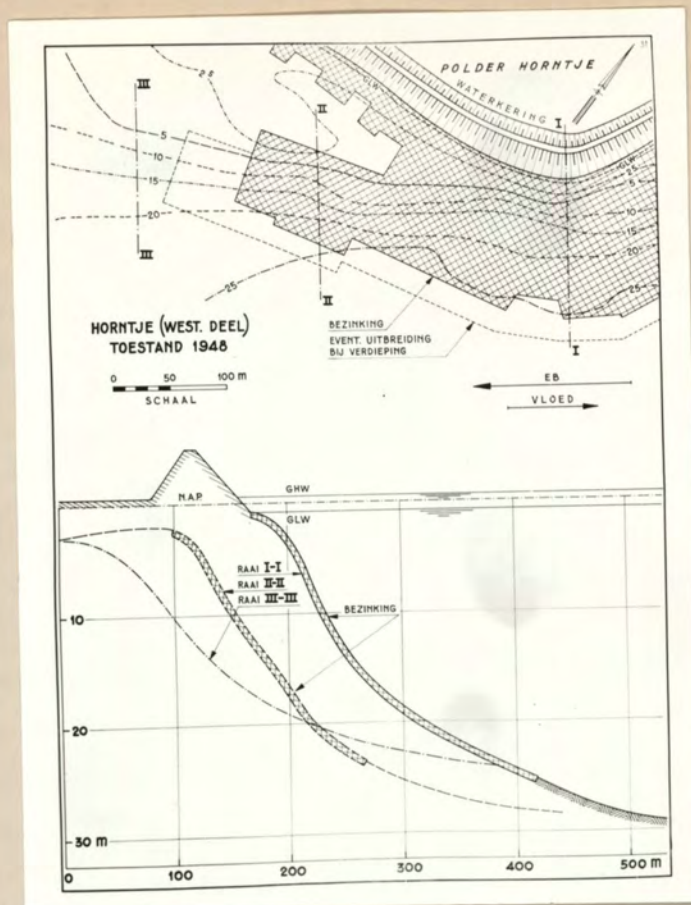
In geval van vloed- en ebstroom zal aan beide zijden afronding moeten plaatsvinden, welke echter niet aan beide zijden gelijk behoeft te zijn, indien de invloed van vloed- en ebstroom ongelijk is.

In figuur 30 is een waterkering langs de oeververdediging geprojecteerd. Aangezien de bovenste waterschijf van weinig invloed is op de verdieping, is het zeer goed mogelijk om de afronding te beperken tot de bezinking van het beneden deel van de oever. Daarboven kan dan eventueel een strekdam worden gelegd. We krijgen dan een vorm, welke gaat gelijken op een hoofd met oren. Hiertussen zijn dan ook verschillende overgangsvormen mogelijk.

In figuur 31 is bijvoorbeeld afgebeeld de situatie van het vaste punt "het Horntje" aan de zuidoostkust van Texel. Dit is een afgerond bolwerk -zij het in een onzuivere vorm- waarbij aan de ebzijde, welke aan dit punt overheerst, een oor is aangebracht.

Tenslotte is in figuur 32 een foto gegeven van de uitvoering van het bolwerk Eyerland aan de noordoost-

-kust-



+
figuur 31. Bodem-
ligging van het
westelijk uiteinde
van "het Horntje"
op Texel.
+

kust van Texel. Hierbij is de waterkering op het bolwerk gelegd. Aangezien, in verband met plaatselijke omstandigheden de kromming vrij sterk moest zijn, is de mogelijkheid niet uitgesloten, dat na opdringen van de geul één of twee oren zullen moeten worden aangebracht.

Behalve tussen scherpe hoofden en afgeronde bolwerken, bestaan er ook overgangsvormen tussen vaste punten en doorgaande oeververdedigingen. Zo bestaat bijvoorbeeld de doorgaande oeververdediging met verandering, waarbij het onderste deel der bezinking plaatselijk onderbroken wordt ter bezuiniging op zinkwerk. Het zal na het voorgaande duidelijk zijn, dat





+
figuur 32. Uit-
voering van het
bolwerk Eyerland
aan de noordoost-
kust van Texel.

+

een dergelijke constructie in principe onjuist moet
zijn. Op deze en andere tussenvormen zal hier echter
niet worden ingegaan.



VI. DE VERDEDIGING VAN AFNEMENDE BRANDINGSKUSTEN.

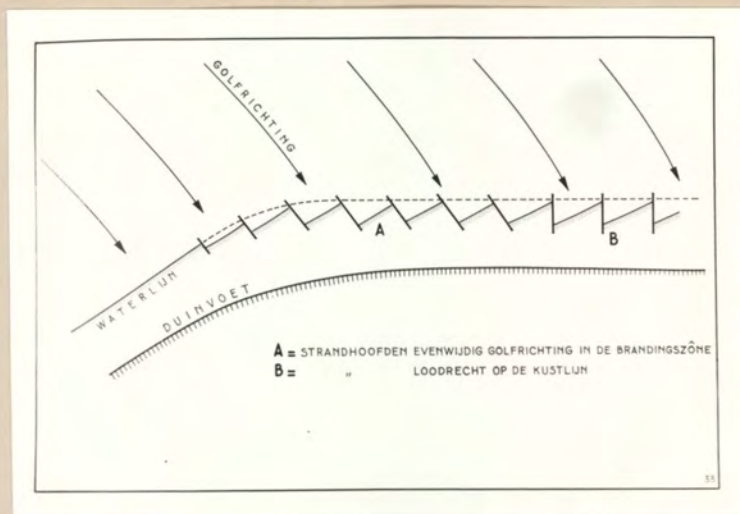
Zoals we in hoofdstuk III zagen wordt door golfslag het zand van de onderzeese oever in beweging gebracht, waarbij zich op de duur een evenwicht van de bodem instelt. Dit evenwicht in bodemhelling en ligging van buitenbanken is een functie van het type golfslag en van de korrelgrootte van het zand.

Voor het geval de golven loodrecht op de kust lopen vindt hierbij geen zandtransport langs de kust plaats, zodat kustafname hierdoor niet kan optreden. Zandtransport langs de kust treedt wel op indien de beweging der golven niet loodrecht op de kust is gericht. Door deze scheve aanloop ontstaat een brandingsdriftstroom. In deze zône vindt in hoofdzaak het transport van zand langs de kust plaats, terwijl in het gebied buiten deze brandingszône vrijwel geen langstransport zal optreden.

Het grote verschil met stroomgeulen is dus, dat in deze laatste het zandtransport voornamelijk in de diepe gedeelten van de geul plaats vindt, terwijl bij een brandingskust het langstransport - bij scheve golfaanloop - voornamelijk dicht langs de oeverlijn geschiedt.

Het principe der verdediging van afnemende brandingskusten zal dus geheel anders moeten zijn dan dat van verdediging van inscharende oevers. Bij dit laatste betreft het meestal een zich omleggende geul, waarbij de verdediging hierin bestaat, dat het zand van de oever wordt vastgelegd zonder dat het transport van de geul wordt verminderd. Slechts de richting van dit transport wordt gewijzigd. Bij een brandingskust daarentegen is de afname een gevolg van een tegeringe zandaanvoer ten opzichte van de transportcapaciteit van de brandingszône. Een dergelijke afname zou gestuit kunnen worden door kunstmatige aanvoer van zand, hetgeen echter bij ons niet gebruikelijk is. De meest gebruikte methode

is om de transportcapaciteit van de brandingszône te verminderen door de kustlijn kunstmatig loodrecht op de golfrichting te brengen. (Over de derde methode, omde betreffende dieptelijnen, waar transport optreedt, te elimineren, zal in het volgende hoofdstuk nog worden gesproken).



+
figuur 33. Principe van verdediging bij kustafname door scheve golfaanloop.
+

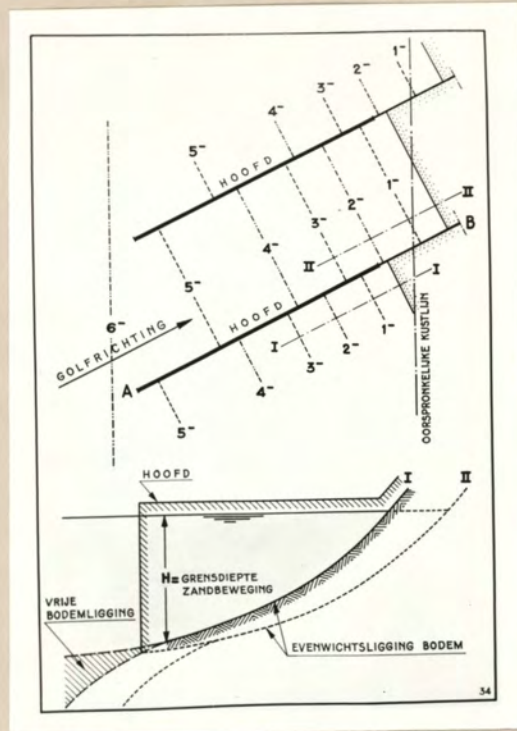
In figuur 33 is dit principe weergegeven. Hierbij is een gebogen kustvak gedacht, waarbij de kustlijn op de linkerzijde van de figuur ongeveer loodrecht op de constant van richting en grootte gedachte golfbeweging is gelegen. Het zandtransport naar rechts zal dus zeer gering zijn, in elk geval geringer dan het transport langs de onverdedigde kust aan de rechterzijde van de figuur. In dit deel zal dus zand worden opgenomen, waardoor de kust -beginnende bij de knik- zal gaan afnemen. Is dit laatste om de een of andere reden niet gewenst, dan zal in dit gebied de transportcapaciteit dus kunstmatig verminderd moeten worden tot het peil van de zandaanvoer van links.

Dit kan worden bereikt door het aanbrengen van schotten (strandhoofden), welke het mogelijk maken de kust zich vaksgewijs loodrecht op de golfrichting kan instellen. Op de figuur is dit nader aangegeven. Men kan deze strandhoofden aanleggen hetzij evenwijdig aan de golfrichting in de brandingszône (A), hetzij loodrecht op de algemene kustrichting (B), hetzij in een

-tussengelegen-

tussengelegen richting.

De oplossing A ligt hierbij voor de hand, omdat hierbij de hoofden niet langer behoeven te zijn dan bij B, doch minder kwetsbaar liggen tegen de golfaanval. Bovendien kan hierbij het benodigde zand voor voeding van de achtergelegen waterkerende duinen beter worden aangevoerd, terwijl geen onregelmatige waterbeweging (en daardoor extra ontgronding) behoeft op te treden in tegenstelling met oplossing B.



+
figuur 34. Kustverdediging bij afname door scheve golfaanloop zonder zand-aanvoer.
+

In figuur 34 is de bodemligging in een dergelijk vak tussen twee strandhoofden nader aangegeven. In deze en de volgende figuren is eenvoudigheidshalve de ligging van eventuele buitenbanken genegeerd.

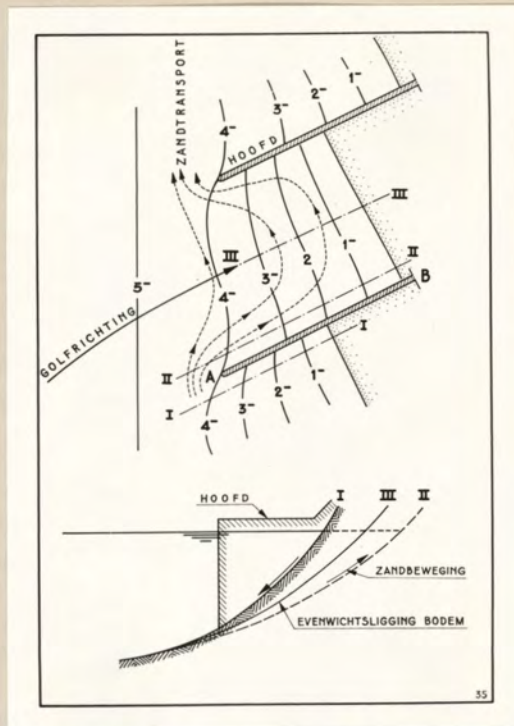
Tussen de hoofden stelt zich dus een evenwichtshelling van de bodem in, waarbij de dieptelijnen loodrecht op de golfrichting komen te liggen.

Voor de kop van het strandhoofd zal een discontinuïteit in de diepte links en rechts van de kop aanwezig zijn. Zou deze kop nog in de zône liggen waar het zand in beweging komt, dan zou door deze discontinuïteit zandbeweging voor de kop langs plaats vinden van de hogere bodemligging links van de kop naar de

-diepere-

diepere bodemligging rechts van de kop. Vindt echter in het geheel geen doorgaand zandtransport plaats, dan zal deze kop dus buiten de grens van het zandtransport moeten liggen. Met andere woorden, de kustafname zal doorgaan tot de hoofden zover in zee liggen, dat geen transport meer voor de hoofden langs kan plaats vinden.

In de meeste gevallen zal wel enige zandaanvoer langs de kust beschikbaar zijn. In dit geval zullen de hoofden zover in zee komen te liggen dat het zandtransport voor de kop langs gelijk is aan de beschikbare zandaanvoer. (Hierbij is de zandaanvoer ter voeding van het wegstuivende droge strand verwaarloosd).



+
figuur 35. Verdediging bij scheve golfaanloop, indien wel enige zandaanvoer plaats vindt.

+
De dieptelijnen tussen de hoofden zullen nu een ligging aannemen zoals in figuur 35 is geschetst. Hierbij zal dus de bodemhelling rechts van het hoofd (II) kleiner zijn dan de evenwichtshelling, links van het hoofd (I) daarentegen groter dan de evenwichtshelling. Er zal dus in deze gebieden zandbeweging optreden zoals in de figuur is aangegeven. In het midden tussen de hoofden (III) zal wel de evenwichtshelling aanwezig zijn, doch zullen de dieptelijnen in de brandingszône niet precies loodrecht op de golfbewegingsrichting

-staan-

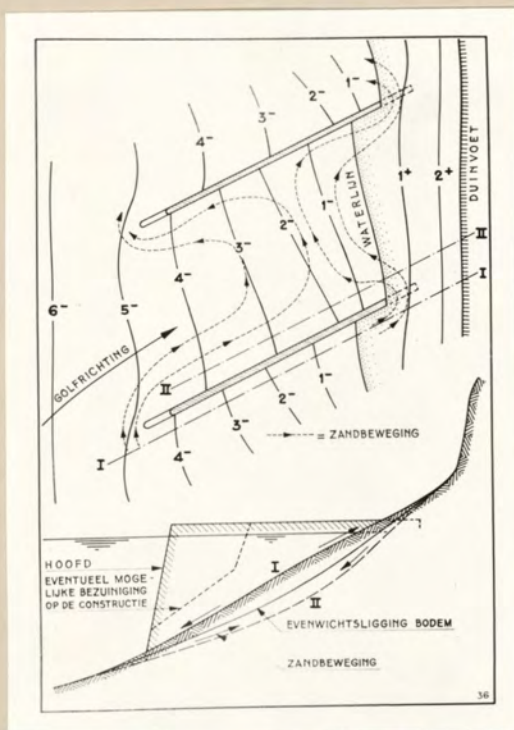
staan, aangezien enig transport optreedt.

Totnogtoe is aangenomen dat het worteleinde der hoofden doorloopt tot op het duin, zodat geen transport achter het hoofd langs (door golfslag of door windstui-ven) kan plaats hebben.

In werkelijkheid zal dit worteleinde niet zover doorlopen en zal echter het hoofd het hoogteverschil in strand tussen de raaien I en II geegaliseerd worden. In figuur 36 is dit nader aangegeven.

Door deze inkorting zal dus ook enig zandtransport optreden achter het hoofd langs.

De hoogteligging der hoofden wordt bepaalde door de eis dat ter plaatse van de sterke zandbeweging -dus in de brandingszône- geen driftstroom en daardoor zandstroom, over de hoofden kan trekken. Hier moet het hoofd dus tot boven de waterspiegel reiken. Vóór deze zône kan het hoofd lager reiken en wel des te lager naarmate de zandbeweging door de golfslag geringer is. Op de figuur is dit gestippeld aangegeven.



+
figuur 36. Zandbeweging en bodemligging bij hoofden van beperkte lengte.
+

In de praktijk is de waterspiegel meestal niet constant van hoogte in verband met tijverschillen en opwaaiing.

Het is in dat geval zeker niet nodig om de hoofden te doen reiken tot boven de hoogste waterstand. Voldoende is indien deze hoogte gelegen boven het peil waarbeneden jaarlijks het overgrote deel van het zand wordt afgevoerd. In het volgende hoofdstuk wordt hierop nog teruggekomen.

Ten slotte de onderlinge afstand der hoofden. Theoretisch zal de lengte der hoofden gelijk zijn aan de afstand van de waterlijn tot aan de dieptelijn, waar het zandtransport in voldoende mate is afgenomen (A), vermeerderd met het product van de halve afstand der hoofden $\frac{(B)}{2}$ en de sinus van de invalshoek der golven met de doorgaande kustlijn (dus $A + \frac{B}{2} \sin(\alpha)$).

Bij verdubbeling van de afstand wordt de lengte dus niet tweemaal zo groot, aangezien A slechts weinig toeneemt, tengevolge van de iets grotere diepte voor de kop.

Het heeft dus voordeel om de afstand der hoofden zo groot mogelijk te maken als met de ligging van de achtergelegen waterkering toelaatbaar is.

Tenslotte dient nog te worden opgemerkt, dat in werkelijkheid de richting der golfslag niet constant zal zijn, al zal wel een dominerende richting kunnen worden aangenomen voor de bepaling van de richting der hoofden.

Tengevolge van deze wisseling in richting zullen de dieptelijnen tussen ^{de} hoofden een gebogen vorm aannemen, welke nog versterkt wordt doordat de golven tussen de hoofden zullen draaien naar de flanken der hoofden, indien deze een talud bezitten.

VII. DE VERDEDIGING VAN KUSTEN, WELKE DOOR GECOMBINEERDE GOLFSLAG EN STROMING AFNEMEN.

a. Golfslag met stroming.

Zoals in hoofdstuk IV a werd vermeld, wordt onder golfslag met stroming een waterbeweging verstaan waarbij de stroming alleen niet of nauwelijks in staat is om het bodemmateriaal in beweging te brengen. Dit laatste geschiedt door de golfslag, waarbij de stroming een versterkende invloed uitoefent, doch waarbij deze laatste vooral verantwoordelijk is voor de verplaatsing van het materiaal langs de kust. Hierbij treedt een dwarsprofiel van de bodem op, dat slechts weinig afwijkt van dat van een brandingspunt en waarbij geulvorming ontbreekt. zal

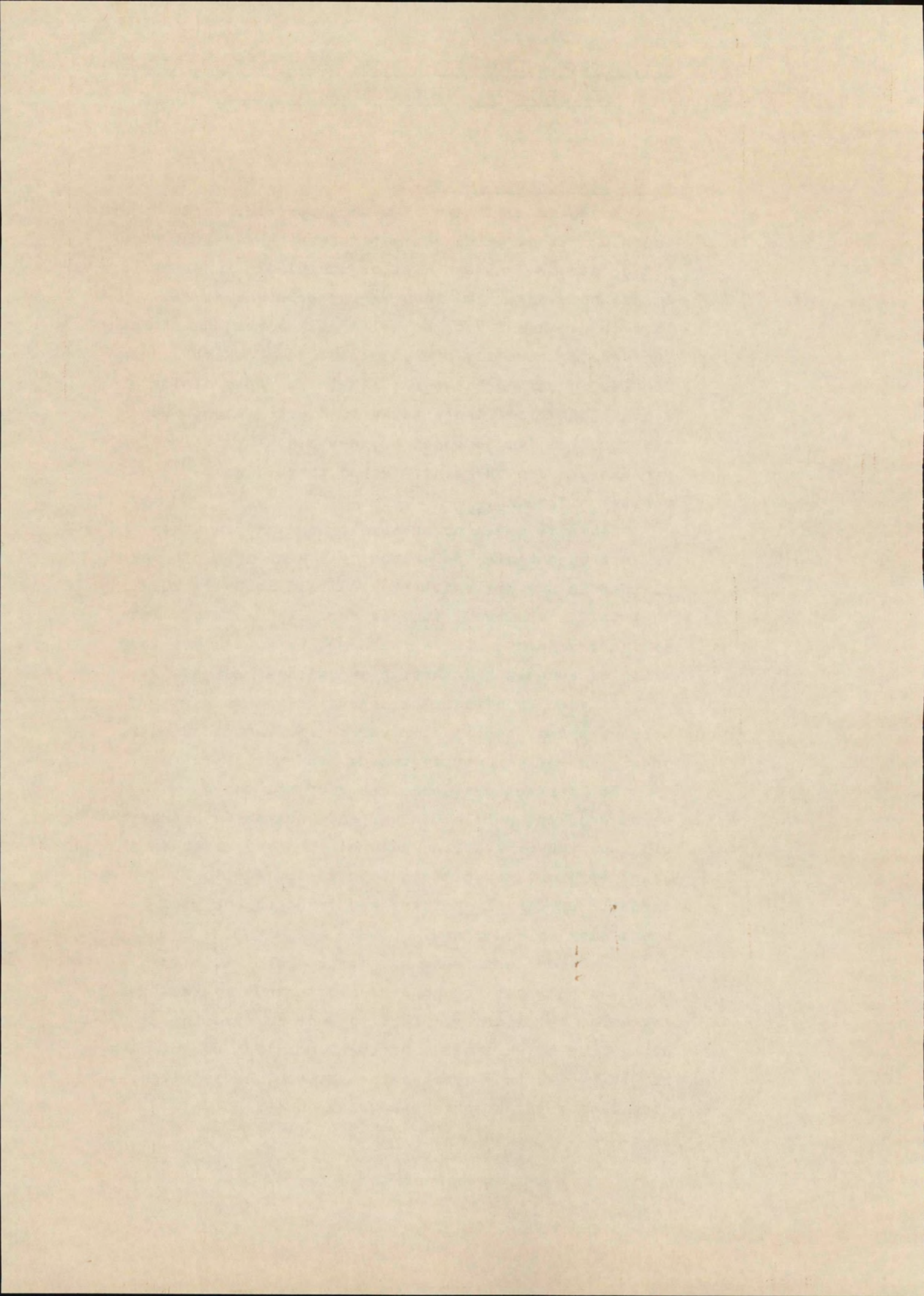
Zoals we zagen/nu achteruitgang van een kustvak optreden indien de aanvoer van zand naar dat vak kleiner is dan de transportcapaciteit in dat vak.

Is achteruitgang van een dergelijk kustvak niet toelaatbaar dan zal ingegrepen moeten worden ter verkrijging van een kunstmatige evenwichtstoestand.

Aanvoer en afvoer zullen dus gelijk gemaakt moeten worden, hetzij door vergroting van de aanvoer, hetzij door vermindering van de transportcapaciteit.

Het eerste is te bereiken door het toevoeren van extra zand met persleidingen, enz. Aangezien het hierbij kan gaan om tekorten van vele honderdduizenden m³ zand per jaar, zou dit een zeer kostbare oplossing kunnen worden. Een dergelijk ingrijpen vond dan ook geen toepassing in Nederland.

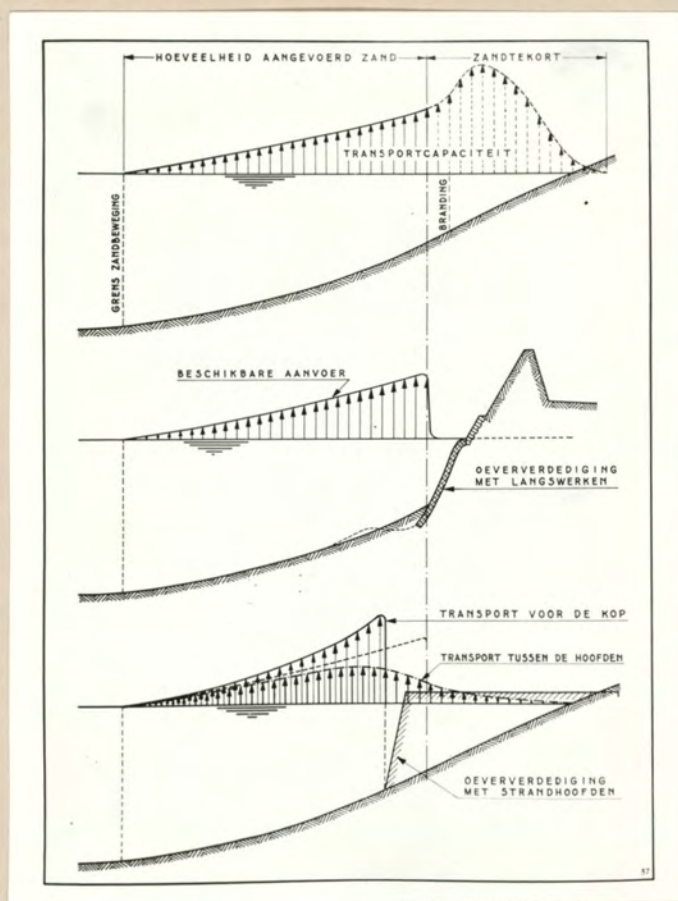
De tweede oplossing kan worden bereikt, hetzij door een deel van het zandtransporterende gebied vast te leggen of te elimineren, hetzij door de stroming in dit gebied te verlammen. Het verlammen van de golfslag in dit gebied is misschien theoretisch ook mogelijk, doch levert praktisch grote bezwaren op.



Vastlegging of eliminatie van dieptelijnen geschiedt door het aanbrengen van een doorgaande verdediging met zinkwerk onder meer of minder steil talud, of door een muur van nog steiler helling. In figuur 37 is het principe nader aangegeven.

De verdediging wordt hierbij dus zover naar buiten gebracht, dat de totale transportcapaciteit van het daarbuiten gelegen gebied gelijk is aan de zandaanvoer.

In de praktijk komt het hierop neer dat na aanleg van het verdedigingswerk de dieptelijnen zover opdringen tot het evenwicht is bereikt.



+
figuur 37. Principe van kustverdediging bij golfslag met stroming.
+

In Nederland heeft deze verdedigingsmethode langs de Noordzee geen toepassing gevonden. Wat wel eens als zodanig wordt betiteld, nl. de Hondsbossche- en Pette-merzeewering (figuur 38), is een kustverdediging volgens ^{de} later te bespreken methode van stroomverlamming, waarbij de doorgaande bekleding van de waterkering niet

als kustverdedigingswerk mag worden beschouwd, al zal hierdoor bij hoogwater een kleine beperking in het zandtransport worden veroorzaakt.

Tegen de bovengenoemde doorgaande verdediging bestaan grote bezwaren. Niet alleen is hiertegen langs onze kust een zeer zware golfaanval te verwachten, maar bovendien wordt hierdoor de natuurlijke vorming van een strand en een waterkering verhinderd. De toevoer van zand door de golfslag wordt namelijk door het steile talud van de verdediging onmogelijk, en daardoor ook de vereiste voeding met zand van een natuurlijk duin. Dat het kostenverschil in aanleg en onderhoud van een kunstmatige waterkering en van een duin zeer groot is, zal wel niet nader behoeven te worden toegelicht.

In Nederland, evenals in andere landen, vindt daarom in hoofdzaak de methode van stroomverlamming teepassing bij de verdediging van afnemende kusten.



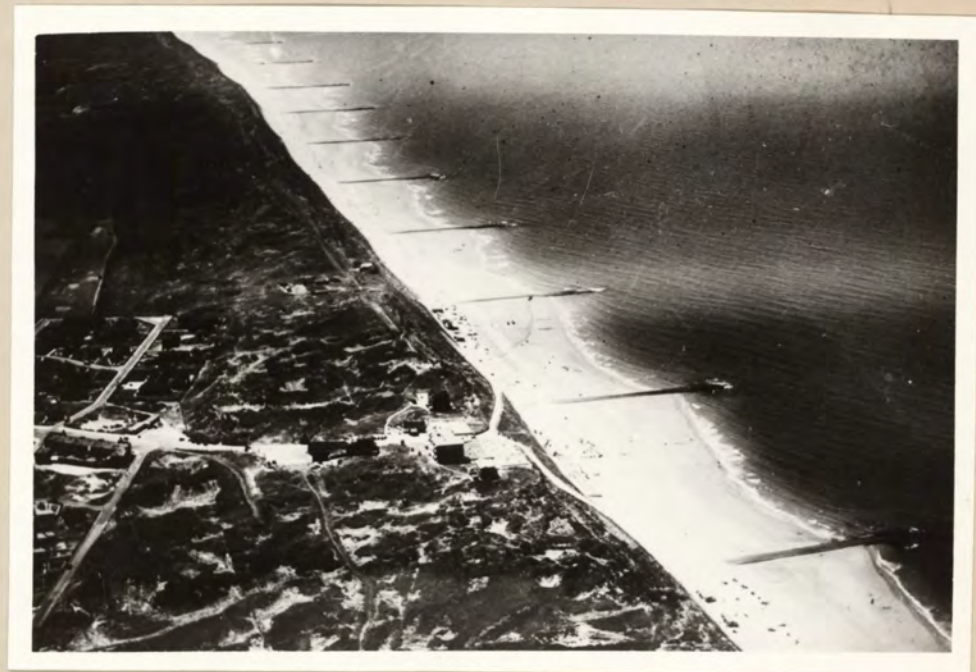
+
figuur 38. Hondsbossche zeekering; strandhoofdenverdediging met kunstmatige vooruitgeschoven waterkering.
+

Het principe hiervan is geschetst onderaan figuur 37. Door het uitbrengen van de dwarswerken (strandhoofden) wordt de stroom over een bepaalde zandtransporterende breedte voor de kust verlamd, zodat in dit gebied wel golfslag optreedt, en de onderzeese oever hierdoor wel onder de corresponderende evenwichtshelling komt te liggen, maar transport langs de kust vindt hier niet plaats.

Na het bovenstaande zal het duidelijk zijn, dat de naam golfbrekers, welke vroeger veelvuldig werd, en

thans nog een enkele maal wordt gebezigd, een volkomen onjuiste en misleidende benaming is. Het breken van golven dient juist zomin mogelijk te geschieden door strandhoofden, dit ter wille van het vermijden van beschadigingen aan de hoofden en terwille van een voldoende voeding met zand van het droge strand en de waterkering. Strandhoofden dienen daarom zo mogelijk gelegd te worden evenwijdig aan de voortbewegingsrichting van de overheersende stormgolven, terwijl de koppen zo scherp mogelijk moeten zijn.

Ten aanzien van de lengte der hoofden kan in de eerste plaats worden gezegd, dat de koppen zover in zee zullen komen dat de totale transportcapaciteit van de voorliggende ondezeese oever gelijk is aan de zandaanvoer. De lengte der hoofden is dus in eerste instantie afhankelijk van golfslag, stroming en zandaanvoer en dus voor elk kustvak ongelijk.



figuur 39. Strandhoofdenkust ten zuiden van Scheveningen.

+

Hierbij nemen we echter aan dat de hoofden zo dicht opeen liggen, dat tussen de hoofden geen stroombaanuitbuiging en voor de hoofden geen stroomcon-

-tratie-



tratie kan optreden en verder dat de hoofden over de gehele hoogte, dus tot de hoogste waterstand, stroomkerend zijn.

Aan de eerste voorwaarde zal nooit voldaan kunnen worden, omdat dan een zeer ~~o~~neconomische oplossing verkregen zou worden.

Hoe verder de hoofden uiteen liggen, hoe sterker de afbuiging van de stroombanen tussen de hoofden zal zijn en hoe sterker stroomconcentratie voor de koppen der hoofden zal optreden.

Als gevolg hiervan zal tussen de hoofden bij toenemende afstand der hoofden een groter zandtransport optreden, en zal voor de koppen een toenemende transportcapaciteit voorkomen. (zie figuur 37). Teneinde een evenwicht te bereiken met de zandaanvoer zullen de koppen bij groter onderlinge afstand dus verder in zee moeten steken.

Een nauwkeurige berekening van deze afstand is, evenals bij de bepaling van de inscharing tussen vaste punten, nog niet mogelijk. Wel kan gezegd worden dat een verdubbeling van de afstand der hoofden lang geen verdubbeling van de lengte zal geven, en dat de kosten van verdediging van een kustvak het geringst zullen zijn bij de grootste afstand, mits natuurlijk de te verwachten achteruitgang van de waterkerende duinen toelaatbaar is.

Hierbij wordt dus geacht aan een uitvoeringswijze waarbij de kop van de strandhoofden nabij de laagwaterlijn wordt geconstrueerd en vervolgens, tijdens de verdere achteruitgang van de kust, deze kop steeds dieper wordt bezonken en van een worteleinde wordt voorzien tot het evenwicht is bereikt.

De andere methode, nl. die van de directe uitbouw van een hoofd in zee, werd wegens de hoge kosten zelden toegepast, tenzij dit ter afronding nodig was.

Zeer grote afstanden der hoofden kunnen het bezwaar geven, dat zij zover in zee komen dat de golfaanval zeer hevig wordt, indien zij bijvoorbeeld buiten het

bankengebied zouden komen te liggen. Verder zou mogelijk een bezwaar kunnen zijn dat de ligging van de waterlijn tussen de hoofden minder stabiel van ligging zou zijn, hetgeen bezwaren zou kunnen opleveren voor het onderhoud van het achtergelegen waterkerende duin.

In ons land bedraagt de afstand der hoofden over het algemeen enige honderden meters.

Op Vlieland is de normale afstand bijvoorbeeld 180 m, waarbij de zeeindes van het zetwerk der koppen omstreeks 70 m buiten de laagwaterlijn (dit is \pm 110 m buiten de waterlijn bij de middenstand) komen te liggen, ⁹⁸die gedeelten van het strand waar de stroming het sterkste is. Op andere gedeelten is deze afstand daarentegen slechts 30 à 50m, een lengte welke eveneens voorkomt bij de hoofden langs het vasteland van Holland.

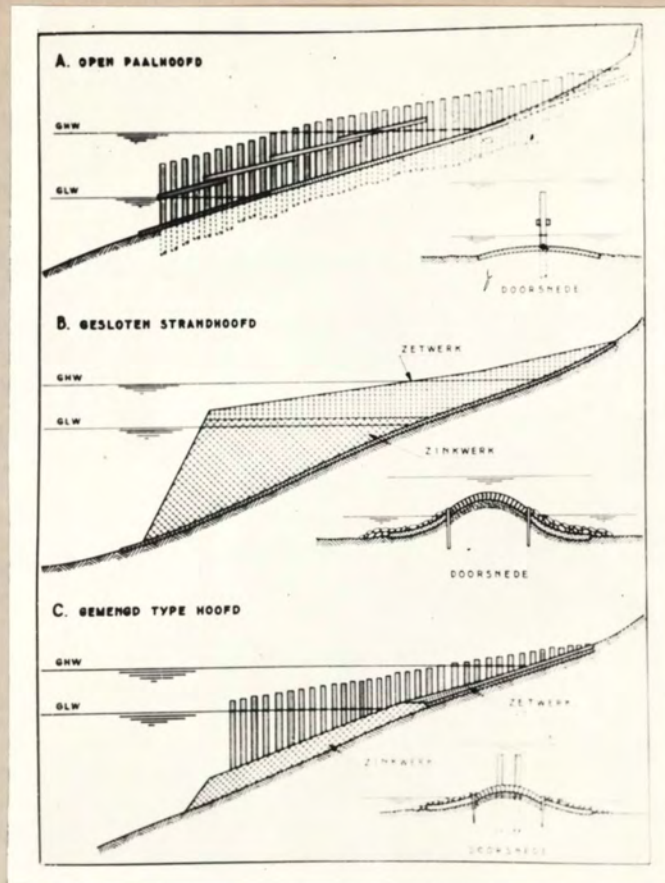
Op Vlieland komen ook hoofden voor welke op dubbele afstand liggen, dus op 360 m. De inscharing bedraagt hier slechts weinig meer dan bij de hoofden op afstand van 180 m. De toestanden zijn echter onderling slecht vergelijkbaar, zodat een conclusie ^{niet} mogelijk is.

Bij dergelijk afstanden treden nog geen duidelijke verdiepingen voor de koppen op. Vergroting van de afstand der hoofden is dan ook economisch zeker verantwoord. Het zou echter onjuist zijn om bij een bestaande reeks strandhoofden aan te sturen op verdubbeling der afstanden (bijv. door opzettelijke verwaarlozing van een deel der hoofden), omdat men dan de overige hoofden tot groter diepte zou moeten bezinken.

Ook de voorwaarde, dat de hoofden over de gehele hoogte stroomkerend zijn, zal nooit ten volle vervuld kunnen worden.

Zo kunnen we onderscheid maken tussen hoofden, welke bij alle waterstanden de stroming slechts vertragen (paalhoofden, zoals we die in het buitenland wel vinden) en hoofden, welke beneden een bepaalde waterstand de stroom geheel keren, doch daarboven

water overlaten (hoofden van beperkte hoogte, zoals die benoorden Hoek van Holland worden toegepast). Tenslotte bestaan er gemengde typen, zoals die in Zeeland toepassing vinden.



+
figuur 40. Schetsen
van 3 typen strand-
hoofden.

Al deze constructies, welke dus niet ten volle stroomkerend zijn, hebben tot gevolg dat in mindere of meerdere mate, hetzij steeds, hetzij gedurende een bepaald deel van het tij, water en dus ook zand door of over de hoofden passeert en sterker watertransport en dus zandtransport tussen de hoofden plaats vindt. Bij een bepaalde hoeveelheid zandtransport langs de kust zal dus de hoeveelheid zand welke beschikbaar is voor het gebied vóór de hoofden hierdoor kleiner worden.

Met andere woorden, hoe meer doorlatend de hoofden zijn, hoe verder zij in zee zullen moeten uitsteken.

In figuur 40 zijn de drie typer ~~X~~ strandhoofden (open paalhoofd, gesloten laag hoofd en gemengd type)

schematisch aangeduid. Het spreekt vanzelf, dat hier-tussen een oneindig aantal variaties mogelijk is, afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en de opvattingen van de ontwerper.



+
figuur 41. Strand-
hoofd in Zeeland,
het paalhoofdtype
nabijkomend.

+

Eenvoudige paalhoofden vinden bij ons geen toe-passing. Zij zijn niet geschikt voor uitbouw ver in zee en zijn zeer kwetsbaar voor golfslag, paalworm (bij uitvoering in hout), ijsgang, enz. Waar het tekort aan zandaanvoer niet groot is, of waar het betreft afname door scheve branding, toestanden dus waarbij de lengte buiten de laagwaterlijn kort kan zijn, kunnen met dergelijke hoofden resultaten worden bereikt. Het zal dan echter meestal wel gewenst zijn om, ter voorkoming van ontgrondingen, de bodem aan weerskanten van de paalrij vast te leggen met zinkwerk (figuur 41).

Soms worden dergelijke hoofden aan de onderzijde afgesloten met ~~de~~ beplanking. De golfaanval bij scheve golfinloop wordt dan echter direct veel heftiger. In dat geval kan beter worden overgegaan tot het massieve gesloten type, zoals dat schematisch is weergegeven in het midden van figuur 40.

Dit type strandhoofd, dat vrijwel overal in Nederland toepassing vindt, is in de tweede helft van de vorige eeuw geleidelijk gegroeid uit de lichte met steen verzwaarde rijshoutconstructies, die op verschillende strandgedeelten werden aangebracht ter vastleg-

-ging-

ging van het strand. Aangezien men vroeger van mening was dat afname van het strand een proces was dat plaats greep landwaarts van de laagwaterlijn, werden deze constructies niet verder zeewaarts doorgetrokken. Toen de kustafname desondanks voortschreed, dienden deze constructies verder bezonken en bestort te worden. Gleidelijk kwamen de koppen verder in zee te steken totdat het evenwicht was bereikt.



+
figuur 42. Strand-
hoofd.

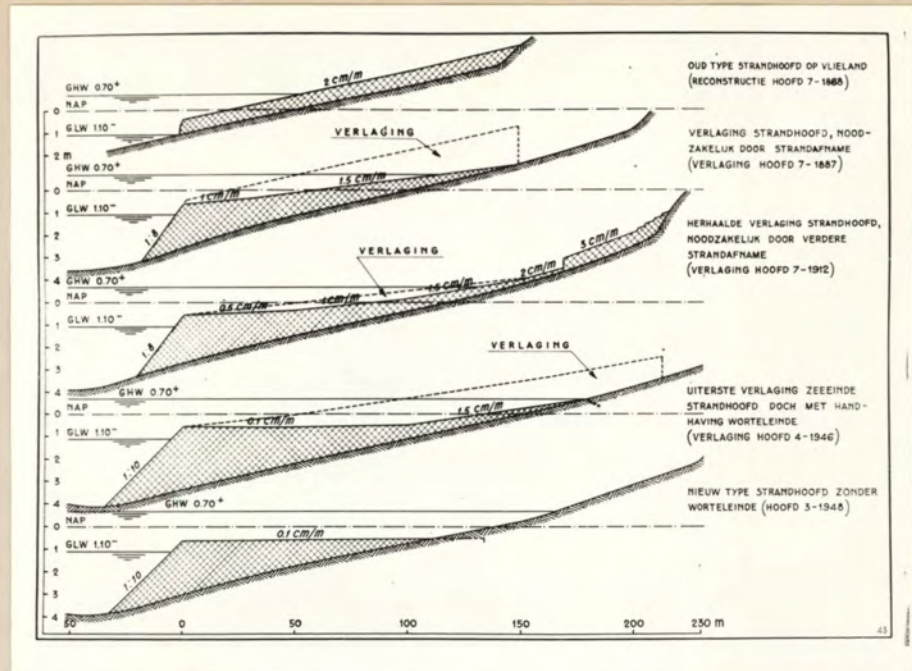
Deze moderne hoofden bestaan uit een zware kop, door een lichter worteleinde verbonden met het strand (figuur 42).

Aangezien deze hoofden oorspronkelijk op het strand gelegen hebben, bezaten zij na bereiken van de evenwichtsligging een lengte profiel dat ver boven het oorspronkelijke strand uitkwam. Dergelijk hoge hoofden hadden echter geen enkel doel, waren kostbaar in onderhoud en lelijk. Gedurende het proces der kustafname dienden dan ook herhaaldelijk dergelijke hoofden te worden verlaagd. In figuur 43 is een voor^{beeld} gegeven van een herhaaldelijke verlaging.

De vraag wordt dikwijls gesteld tot hoever een dergelijk verlaging kan plaats vinden. In het voorgaande is naar mijn mening hierop reeds een antwoord gegeven; men kan een hoofd zeer sterk verlagen, maar moet er dan rekening mee houden dat de ver^{ste}ste lengte van het hoofd daardoor langer wordt. Naar mijn mening



kan men echter met deze verlagings vrij ver gaan, zonder dat dit met noemenswaardige verlenging gepaard gaat.



figuur 43. Verlagings van strandhoofden op Vlieland.

De mening wordt nog wel gehuldigd, dat het worteleinde van strandhoofden ten minste moet doorlopen tot voorbij de hoogwaterlijn, of zelfs tot aan de duinvoet en dat de hoogte boven het natte en droge strand omstreeks $\frac{1}{2}$ à 1m moet bedragen.

Hoewel het inderdaad van belang is om in de zomermaanden droog stuivend zand te verzamelen op het droge strand en tegen de duinvoet en lage strandhoofden hier toe mogelijk wel meewerken, is dit laatste veel eenvoudiger te bereiken door rietschermen, enz. langs de duinvoet.

Dat bij stormvloed, als het gehele strand onder water staat, zandtransport over het hoger gelegen strand plaats vind is ongetwijfeld waar. De grootte van dit transport ten opzichte van het totale jaarlijkse transport zal echter zo gering zijn, dat het weglaten van het worteleinde over het gedeelte landwaarts van de hoogwaterlijn, het hoofd zeewaarts slechts

enkele decimeters langer zal doen worden.

De gewenste hoogte van het hoofd is verder afhankelijk van de onderlinge verschuiving van het verticale en horizontale getij. Zo zal het, indien de maximale stroomsterkten juist optreden bij laag en hoog water, groot verschil uitmaken of het resulterende zandtransport langs de kust bij hoogwater optreedt, of bij laagwater. In het eerste geval zal men het hoofd hoog moeten maken, omdat anders het resulterend zandtransport nog groter zou kunnen worden. In het laatste geval zal men het hoofd zo laag mogelijk maken.



+
figuur 44. Hoge strandhoofden ten zuiden van den Helder.
+

Over het algemeen zal de kruin van het hoofd dus aanzienlijk beneden de hoogwaterlijn kunnen blijven, zonder dat de zeewaartse verlenging van belang zal worden.

Wil men een bepaalde vertraging van het water verkrijgen dan zal de waterdiepte op het hoofd slechts een klein deel mogen bedragen van de diepte aan weerszijden. Dit betekent dus dat de kruinlijn landwaarts op moet lopen en nabij de hoogwaterlijn in het zand kan uitlopen (en hierin nog een aantal meters dient door te lopen ter vermindering van achterloopsheid bij eventuele strandverlagingen).

Als praktische eis kan men bovendien stellen dat de kruin hetzij op enige hoogte boven de laagwaterstand (in verband met de uitvoerbaarheid van zetwerk),

hetzij-

hetzij lager dan 1 à 2 m benden laagwater (in verband met de anders in beweging komen van stortsteen bij golfslag) dient te liggen. Deze eis geldt dus alleen bij de gebruikelijke uitvoering, waarbij de kruin hetzij als zetwerk, hetzij als zinkwerk wordt uitgevoerd.

Onderaan figuur 43 is de meest radicale verlaging aangegeven, welke op Vlieland is uitgevoerd bij enige hoofden. Hierbij wordt dus de kruinlijn horizontaal of vrijwel horizontaal doorgetrokken tot in het strand. Van een belangrijke achteruitgang van de laagwater-, hoogwater- of duinvoetlijn ter plaatse is nog niets gebleken. Deze constructie is goedkoop en heeft het grote voordeel, dat eventueel later nodige verlengingen kunnen worden uitgevoerd zonder dat het hoofd opnieuw behoeft te worden verlaagd. Dat een dergelijke oplossing ook aestetisch fraaier is moge blijken uit het verschil op de foto's in de figuren 44 en 45.



+
figuur 45. Lage
hoofden op Vlie-
land.

+
Verdere verlaging van strandhoofden is mogelijk door bijvoorbeeld de kop enige meters lager te maken, waarbij we dus een bezonken kop verkrijgen. Vermoedelijk zal in dat geval echter wel aanzienlijk zandtransport over het hoofd optreden, waardoor dergelijke hoofden dus langer zullen worden. Dit is weer tegen te gaan door een oplossing volgens het gemengde type, waarbij op deze bezinking paalrijen worden toegepast.

In deze vorm vindt dit gemengde type nog geen

toepassing in Nederland. Wel wordt in Zeeland een type aangetroffen, waarbij het worteleinde geheel of ten dele met palen is bezet, doch de kop niet (figuur 46). Dat hier palen zijn toegepast kan worden verklaard uit het grote tijverschil; zou men het worteleind gesloten en voldoende hoog willen houden, dan zou de constructie zeer zwaar en kostbaar worden.



figuur 46. Strandhoofden nabij Westkapelle in Zeeland.

+

Indien overgegaan wordt tot het verdedigen van een afnemend kustvak, zal men er rekening mee moeten houden, dat de uiteindelijk te verdedigen kustlengte groter zal zijn dan de lengte van het afnemende vak. Immers, het vrijkomende zand uit het afnemende vak vult het tekort aan zandtransport aan. Houdt deze voeding door vastlegging op dan zal dus de aanvoer van zand naar het naastgelegen vak verminderen en zal hier enige afname te verwachten zijn, welke zal doorgaan totdat het verdedigde vak voldoende stroomverlammend werkt op het naastgelegen vak. Dit is dan ook de reden dat langs onze kust, waar de resulterende zandstroom

over het algemeen noordwaarts is gericht, steeds inschering optrad aan de Noordzijde van een pas verdedigd vak. Afronding van een dergelijk uiteinde met geleidelijk inkortende hoofden kan in een dergelijk geval gewenst zijn om geen te grote hoogteverschillen te krijgen aan weerszijden van het laagste hoofd. In figuur



+
figuur 47. Hoogteverschil aan weerszijden van het meest zuidelijke hoofd op Vlieland.

+

47 is een foto gegeven van een dergelijk hoogteverschil bij een laatste hoofd. Dit betreft het meest zuidelijk hoofd op Vlieland. De achteruitgang van het strand ten zuiden hiervan wordt in dit geval echter deels veroorzaakt door slingeringen in de ligging van het strand door de invloed van het zeegat van Eijerland. Dat hier echter op de duur uitbreiding aan de reeks hoofden gegeven zal moeten worden is te leren uit de grafiek van figuur 18, waaruit blijkt dat een verdere achteruitgang in de toekomst wel waarschijnlijk is.

b. Stroming met golfslag.

Kustvakken, welke gekenmerkt worden door het begrip "stroming met golfslag" worden in het algemeen nabij de zeegaten aangetroffen in het meestal korte overgangsvak tussen de hoofdgeul van het zeegat en de brandingskust (eventueel met stroming) aan de grens van de buitengronden. Tussen deze grens en het zeegat is echter meestal nog een kustvak aanwezig, waar de

-stroming-

stroming slechts geringe invloed uitoefent.

Voor dergelijke kustvakken is dus een stroomgeul aanwezig, terwijl de buitenbanken, al naar gelang de stroming ten opzichte van de branding meer of minder sterk is, geheel of ten dele ontbreken.

Zoals in hoofdstuk IV b werd besproken is het zandtransport in twee zônes te verdelen, waartussen over het algemeen geen overgang zal zijn te bespeuren.

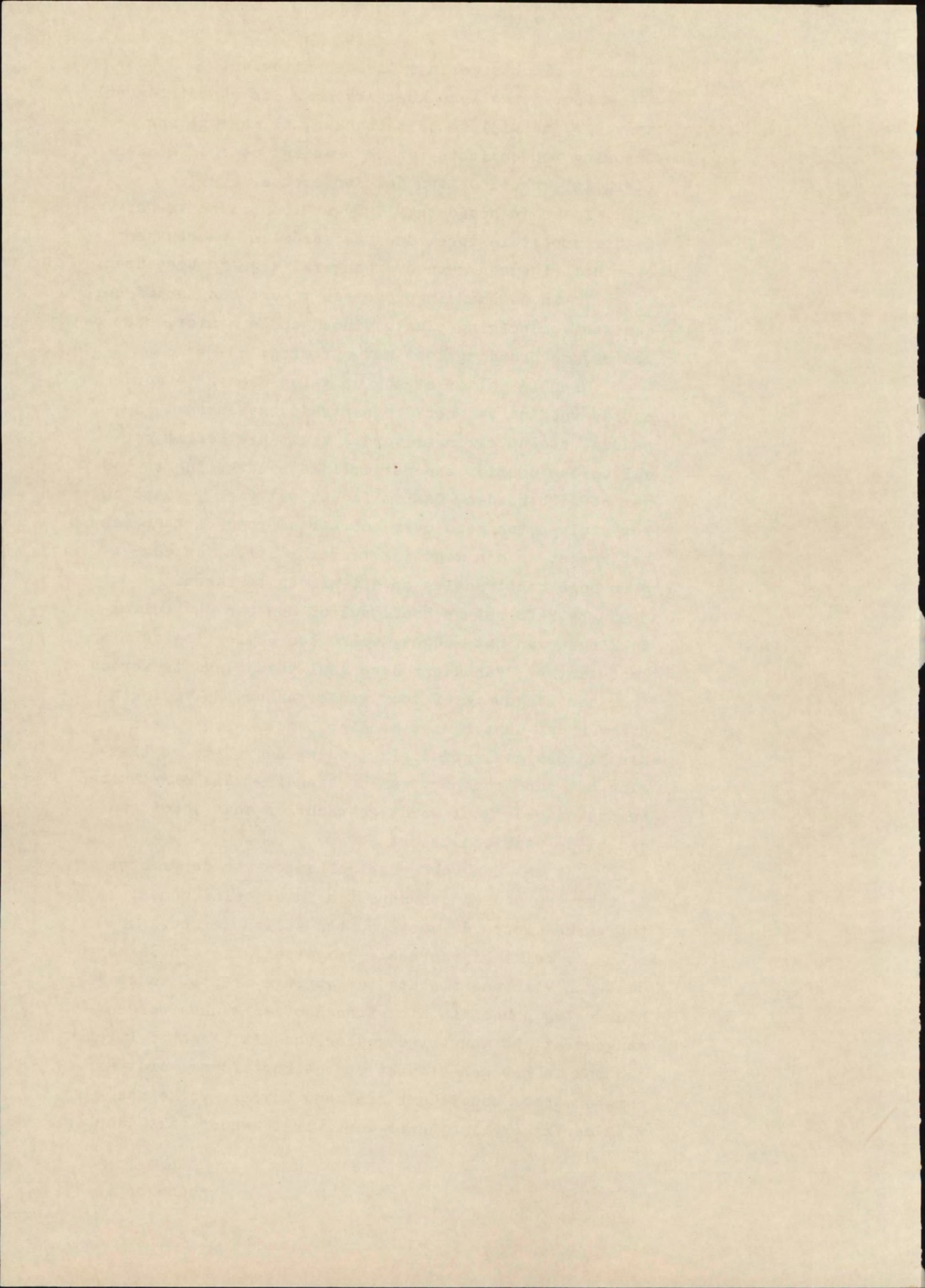
Is in de brandingszône een tekort aan zandafvoer, dan kan verdediging plaats vinden op de manier, besproken bij de brandingskust met stroming.

Hierbij zal er steeds op gelet dienen te worden, dat de voeding van het droge strand, het zeegat ingaande, steeds geringer wordt, zodat het moeilijker zal worden om hier een natuurlijke waterkering te vormen of te behouden. Daarom is het wel zeer gewenst om het stuiven van zand over het strand rond de kaap van het zeegat zo min mogelijk te verhinderen, en dus geen hoge constructies op dit strand te maken.

Betreft het de hoofdgeul of een van de geulvertakkingen van het zeegat, welke door omlegging de kust aantast, dan dient deze geul vastgelegd te worden door een langswerk of door vaste punten. De bezinking hiervan zal echter niet zo diep behoeven te reiken als bij een geulverdediging, omdat door deze vastlegging het zandtransport van de brandingszône naar buiten en dus naar de geul wordt gebracht en deze voedt aan die zijde waar een tekort is.

Het zal dan ook geheel afhangen van de grootte van de tekorten van zandtransporten in de beide zônes, tot welke diepte de vaste punten zullen reiken.

Zo reikt bijvoorbeeld de verdediging aan de noordpunt van Vlieland slechts tot geringe diepte, zodat de hier gelegen hoofden als strandhoofden kunnen worden aangemerkt. De aanwezige geulen van dit zeegat dringen dan ook in het geheel niet op; de kustafname wordt veroorzaakt door een tekort aan zandaanvoer, welke naar mijn mening op zijn beurt weer wordt veroorzaakt door de



zandbehoefte van de Waddenzee.

De afname van de Noordpunt van Texel daarentegen wordt in de eerste instatie veroorzaakt door geulomlegging; de zandbehoefte van het kleine achtergelegen stroomgebied is ook niet groot.

In het zeegat van Texel treedt een gecombineerde werking op; hierbij domineert echter de opdringende geul, welke zijn oorzaak vindt in een ~~graving~~ -in negatieve zin- van het Marsdiep ten gevolge van capaciteitsveranderingen van Texelstroom en Malzwin.

Voor de verdediging van aangevallen oevers van zeegaten is dan ook niet zonder meer een verbeteringsplan te geven; eerst dient voor elk geval nader te worden onderzocht welke de oorzaken van de achteruitgang zijn.

