

1. Kustvormen.

De volgende kustvormen kunnen worden onderscheiden.

1. Rotskust - moeilijk erodeerbaar, over het algemeen steil, soms met keien, grind- of zandstranden er voor.
Hieronder kunnen ook koraalrots kusten worden beschouwd, alhoewel dit materiaal veel zachter is.
2. Klifkusten van betrekkelijk makkelijk erodeerbaar materiaal, zoals leem, kleileem of harde klei.
3. Zandige kusten, meestal met duinen er achter.
4. Modderkusten.

ad 1. Deze kusten vinden we langs grote delen van de Franse westkust, de Engelse Oostkust van Dover tot Ramsgate, de Noorse kust, om slechts enkele voorbeelden te noemen.

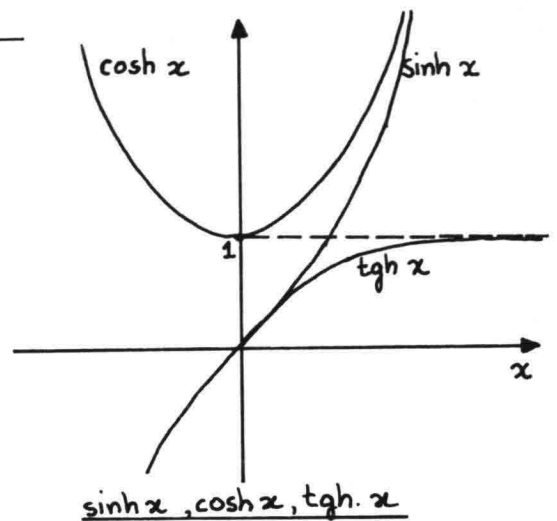
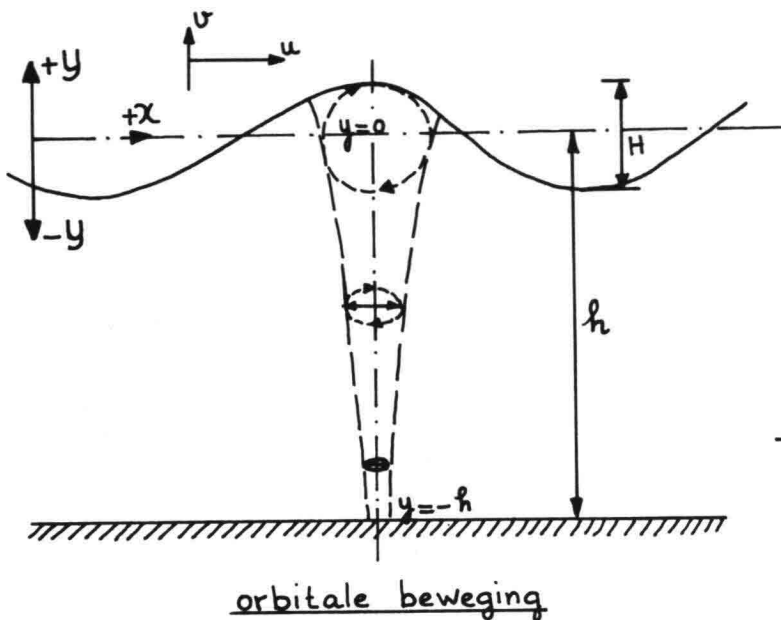
ad 2. Klifkusten vinden we op enkele plaatsen langs het IJsselmeer (Wirduimmerklif, de Voorst bij Vollenhoven) en verder bijv. de Noordkust van de Golf van Venezuela, delen van de kust van Ghana. Het probleem van deze kusten is dat ze over het algemeen achteruitgaan omdat eenmaal afgeslagen materiaal niet meer kan worden gebruikt voor de aangroei van de kust. Het oorspronkelijke vrij vaste klifmateriaal is dan namelijk gedesintegreerd in fijn slib en zand van verschillende gradatie, met eventueel wat grind of keien.

ad 3. Volledige zandige kusten kunnen zowel aangroeiend, afnemend als stabiel zijn. Tijdens zware stormen en ongunstige weersomstandigheden afgeslagen zand kan weer worden afgezet en worden gebruikt (door windtransport) voor de opbouw van beschadigde duinen.

ad 4. Bij modderkusten treden zeer flauwe hellingen op en geen of praktisch geen duinvorming door afwezigheid van zand. Typische voorbeelden zijn de kusten van Frans, Nederlands en Brits Guyana, en ook de kust bij de mond van de Chayo-Praya, in Thailand.

Bovenstaande indeling is arbitrair en slechts bedoeld als eerste gedachte bepaling. Voor een juist inzicht in wat er langs een kust gebeurt is kennis van de fysische verschijnselen die er optreden essentieel.

Een der belangrijkste factoren die bij de vorming van kusten een rol speelt is de golfbeweging.



In een golfbeweging bewegen de waterdeeltjes in vrijwel gesloten banen. In diep water, dat wil zeggen water met een diepte in de orde van grootte van de golflengte L of meer zijn deze banen cirkels, waarvan de diameter naar beneden toe volgens een exponentiële functie afneemt.

In ondiep water, dat wil zeggen water met een diepte kleiner dan de halve golflengte, zijn het ellipsen, die aan het oppervlak nog vrijwel cirkels zijn, maar naar beneden toe platter worden tot zij aan de bodem in een lijn ontaarden.

De snelheden, die het gevolg van deze zogenaamde orbitale beweging zijn, worden de orbitale snelheden genoemd, en worden over het algemeen in de beide componenten (horizontaal en verticaal) gegeven.

De formules hiervoor zijn:

horizontaal:

$$u = \frac{\omega H}{2} \cdot \frac{\cosh. k(y+h)}{\sinh. k \cdot h} \cdot \sin (kx - \omega t)$$

$$v = \frac{\omega H}{2} \cdot \frac{\sinh k(y+h)}{\sinh k \cdot h} \cdot \cos (kx - \omega t)$$

waarin $k = 2\pi/L =$ golfgetal

$\omega = 2\pi/T =$ hoeksnelheid

$T =$ golfperiode

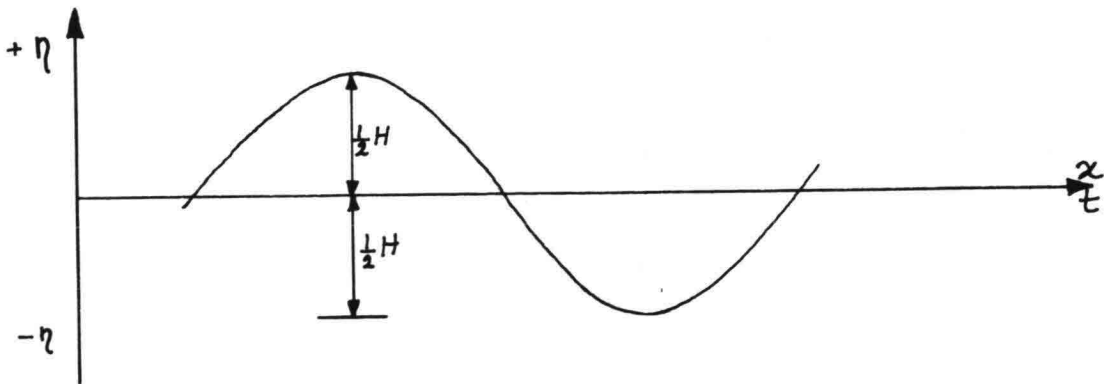
$L =$ golflengte.

Uit deze formules kan worden afgeleid wanneer en waar de horizontale snelheden maximaal, minimaal en nul zijn, en hoe bijvoorbeeld de amplitude van de verticale snelheden naar de bodem toe afneemt tot nul.

Uit deze vergelijkingen blijkt ook dat de beweging een periodieke beweging is, en wel in dit geval een sinusvormige.

Het wateroppervlak kan ten gevolge van de golfbeweging dan ook worden weergegeven met de formule:

$\eta = \frac{1}{2} H \sin (kx - \omega t)$, waarbij η de verticale afwijking uit de middenstand is.



Uitgaande van dit gegeven kunnen enkele karakteristieke eigenschappen en grootheden voor golven worden afgeleid.

Een golf is dus een periodiek verschijnsel dat zich langs het wateroppervlak - en uiteraard ook in het medium - voortplant. De waarde van η blijft gelijk als $(kx - \omega t)$ een zelfde waarde houdt. We volgen nu een punt van de golf, b.v. de top. De plaats van de top t.o.v. het uitgangspunt, x , en de tijd verstreken na het begin van onze waarneming, t , moeten dan voldoen aan de vergelijking $kx - \omega t = A$, of ook:

$$kx = \omega t + A, \text{ waarin } A \text{ een constante is.}$$

Door differentiëren naar t krijgen we de afgeleide van x naar t , hetgeen de voortplantingssnelheid is.

$$k \cdot dx/dt = \omega$$

Dus $dx/dt = c = \omega/k = L/T$, hetgeen te verwachten was.

Met behulp van een benadering, waarbij de golfbeweging als een potentiaalbeweging wordt aangenomen, kan voor de voortplantingssnelheid ook worden afgeleid:

$$c = \sqrt{\frac{g}{k} \cdot \text{tgh } k \cdot h.}$$

Een potentiaalbeweging is een beweging waarbij geen wrijvingskrachten optreden en waarbij dus geen bewegingsenergie of potentiële energie overgaat in andere vormen van energie (warmte, geluid etc.). In gevallen waarbij deze overgang van bewegingsenergie of potentiële energie naar andere vormen van energie gering is kan de beweging door een potentiaalbeweging benaderd worden.

Voor betrekkelijk diep water (h groot, dan $\text{tgh } k \cdot h = 1$) wordt dit:

$$c = \sqrt{g/k} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$$

Hieruit kunnen de volgende verbanden worden afgeleid.

$$c = L/T = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}.$$

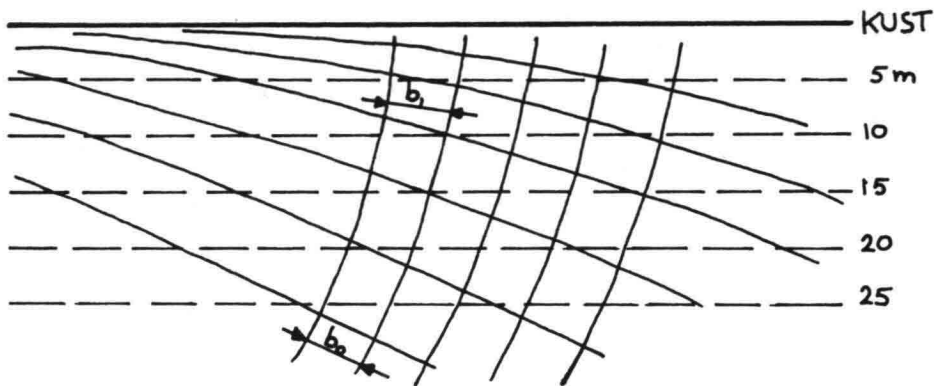
$$\text{Dus } L = \frac{g}{2\pi} \cdot T^2 = 1,56 T^2$$

$$c = L/T = 1,56 T.$$

Vb. $T = 8$ sec.	$L = 100$ m.	$c = 12,5$ m/s
$T = 4$ sec.	$L = 25$ m.	$c = 6,25$ m/s
$T = 16$ sec.	$L = 200$ m.	$c = 25$ m/s

Uit de volledige formule voor de voortplantingssnelheid, volgt dat een golf in ondiep water langzamer loopt dan in diep water (h kleiner, dan tgh k.h. ook kleiner (zie grafiek tgh)).

Indien een golf scheef op de kust aankomt zal hij daarom bijdraaien.

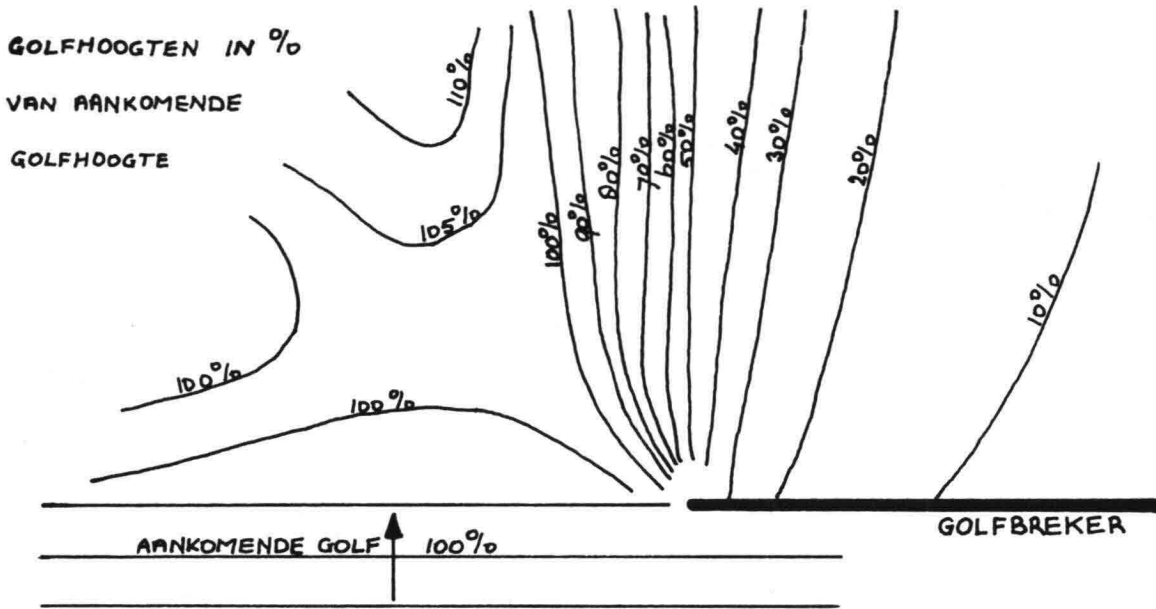


Dit verschijnsel wordt refractie genoemd.

Doordat bij refractie de energie van de golven uitsluitend in de richting van de golfvoortplanting wordt vervoerd en niet langs de golfkammen, blijft de hoeveelheid energie tussen twee golfstralen gelijk. Omdat in het geschetste voorbeeld de afstand van de golfstralen vlak bij de kust groter is dan in diep water zal de energie per oppervlakte-eenheid - daardoor - bij de kust lager zijn. Omdat de totale energie van de golven per oppervlakte-eenheid gelijk is aan $\frac{1}{8} \rho g H^2$, neemt dus ook de golfhoogte hierdoor af. Door het ondieper worden van het water kan de golf ook tijdelijk hoger worden. Hier zal bij de opbouw van het kustprofiel op worden ingegaan.

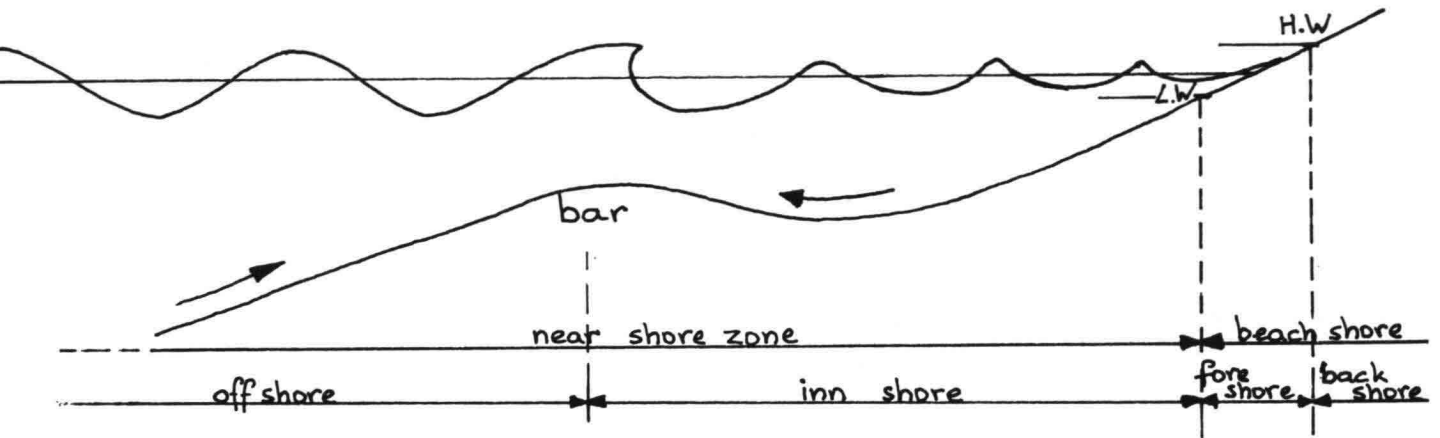
Refractie kan ook ontstaan doordat de golven in stromend water lopen. Dit verschijnsel wordt stroomrefractie genoemd, en is in principe hetzelfde. Dat deel van de golf, langs de golfkam gezien, dat in water met bijvoorbeeld een geringere snelheid komt, wordt afgeremd, waardoor de golf eveneens bijdraait.

Wanneer golven een havenkom binnen lopen zal een groot deel van de golfenergie door de havendammen worden buitengesloten. Het bijdraaien van de golven achter de havendammen, en de vermindering van de hoogte, wordt diffractie genoemd. Het principe van diffractie is dat juist wel energie langs de golfkammen wordt verplaatst.



Ook diffractie leent zich voor berekening, maar in wat complexe situaties is althans op de orthodoxe manier de nauwkeurigheid beperkt. Momenteel zijn reeds enkele programma's voor rekenruigen voorradig waarbij niet al te ingewikkelde havens goed kunnen worden doorgerekend.

Golfbeweging voor een kust met als gevolg daarvan strand vorming.

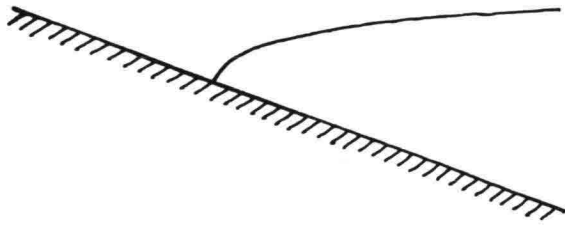


De hier getekende hellingen zijn sterk overdreven. Normale hellingen van de vooroever zijn 1 : 50 tot 1 : 20. Het bovenste deel van het strand (boven L.W.) kan 1 : 20 worden.

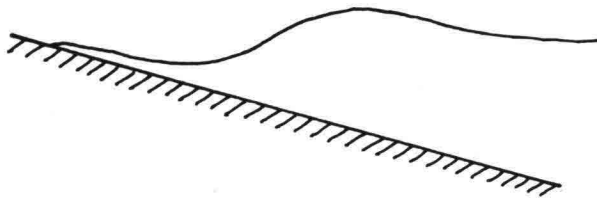
Bij een golf die de kust nadert, treden twee verschijnselen op.

1. Doordat de golf in ondiep water komt wordt de golflengte korter. Aangezien de hoogte niet zo sterk verandert, wordt de golf steiler, tot op een gegeven ogenblik een kritieke waarde van H/L wordt bereikt en de golf breekt.

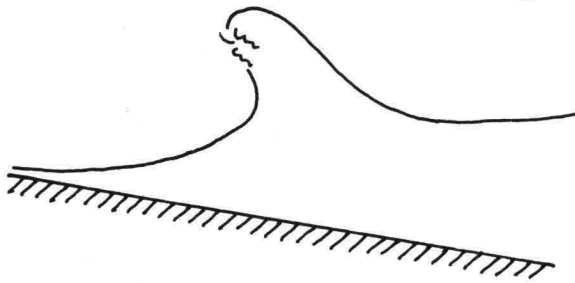
Dit kan op 4 manieren.



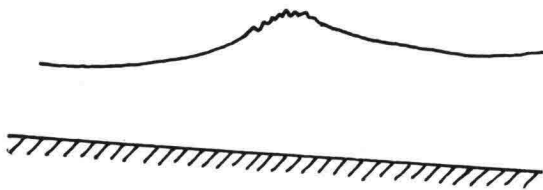
surging breaker



collapsing breaker

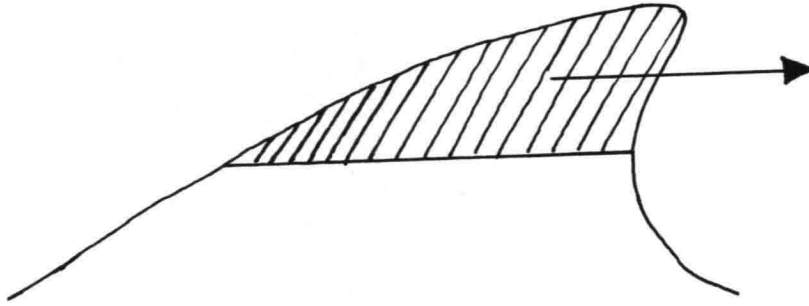


plunging breaker



spilling breaker

2. Een verfijndere bestudering van de golfbeweging geeft een resulterend watertransport over de bodem in de richting van de golf voortplanting te zien. (naar de kust toe dus).

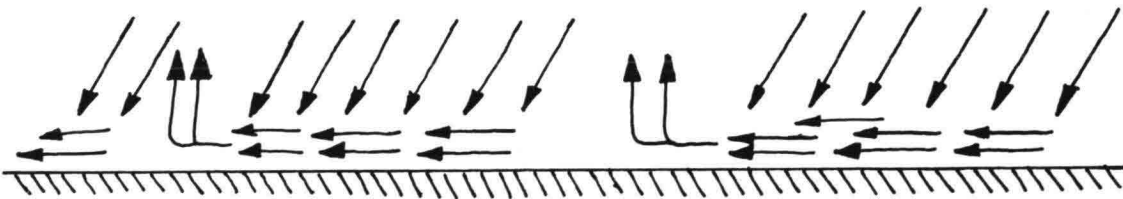


Vlak bij de kust, en vooral na de brekerzone is er een veel groter transport van water naar de kust, dat over de bodem weer moet worden afgevoerd. Deze beide stromen zijn verantwoordelijk voor de vorming van een "longshore bar", welke op zichzelf weer het breken markeert.

Indien nu de golven scheef op de kust aankomen treedt een ander verschijnsel op, namelijk dat van de langsstroom (longshore current) en de kustdrift, (littoral drift).

Door het eerdere genoemde watertransport naar de kust toe (masstransport), dat nu de kust onder een hoek nadert, ontstaat een langsstroom langs de kust. Er wordt steeds water naar de kust gevoerd, dus de langsstroom zou steeds sterker moeten worden, hetgeen niet mogelijk is. Er moet daarom water naar zee terug worden afgevoerd.

Dit kan geconcentreerd gebeuren in de vorm van muistromen of ripcurrents, of continu in de vorm van een onderstroom of undertow.



Dergelijke ripcurrents kunnen ook ontstaan als de golven loodrecht op de kust aankomen en eigenlijk een regelmatige onderstroom zou worden verwacht.

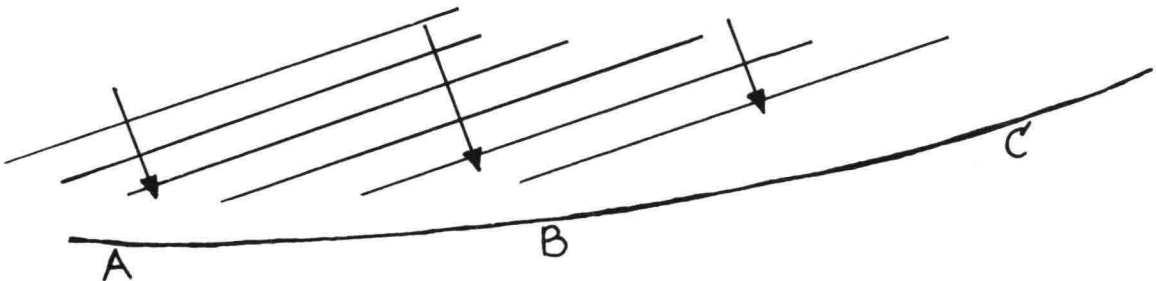
Secundaire brekerruggen landwaarts van de eerste brekerrug kunnen de ontwikkeling van deze stroom echter verhinderen waardoor toch weer een langsstroom over enige afstand en geconcentreerde mui-stromen ontstaan.

De op deze wijze gevormde langsstroom is instaat bodemmateriaal dat door de golven is opgewoeld te verplaatsen. Dit zandtransport langs de kust wordt littoral drift genoemd.

Indien langs de kust getijstromen optreden zullen deze ook materiaal verplaatsen terwijl hierbij eveneens het opwoelen van het bodemmateriaal door de golven een belangrijke rol speelt. In het algemeen kan men zeggen dat de golven opwoelen en de stroom transporteert.

Berekeningen stellen ons in staat de capaciteit van dit kusttransport te berekenen. Wat er nu uiteindelijk gebeurt hangt af van het beschikbare materiaal.

Laten we een kustvak ABC beschouwen.



De golven bij A maken een grotere hoek met de kust dan bij B, en deze hoek is weer groter dan die waaronder de golven de kust bij C naderen. Dat wil dus zeggen dat, aangezien de langsstroom ongeveer evenredig is met de hoek van inval (gedefinieerd als de hoek tussen de golfstralen en de normaal op de kust), de transportcapaciteit van A naar C afneemt. Als bij A voldoende zand aanwezig is, zal dit zand dus bij B en meer nog bij C achter blijven. Dergelijke holle kusten, alleen onder invloed van golven staand, groeien daarom in de regel aan.

Een overeenkomstige redenering leert ons dat een holle kust onder overeenkomstige omstandigheden zal afnemen.

Indien een kust afneemt dan wil dat dus zeggen dat de transport capaciteit groter is dan de hoeveelheid zand die beschikbaar is om getransporteerd te worden. Een voor de hand liggende remedie is in dit geval, óf het bijvoeden van zand (hoeveelheid beschikbaar materiaal vergroten), óf de bouw van strandhoofden (transportcapaciteit verkleinen).

Havendammen die ver in zee uitsteken onderscheppen het kusttransport vaak volledig met als gevolg strandaangroei aan de ene zijde en strandafslag aan de andere zijde. Ook hier dus weer twee oplossingen. Ten eerste, voeden van het achteruitgaande strand, dan wel het liefst met materiaal van het aangroeiende strand (daarmee is meteen eventuele aanzanding van de haven geweerd), of ten tweede de bouw van strandhoofden op het achteruitgaande strand, waarmee we dan overigens wel door moeten gaan tot een plaats waar de achteruitgang geaccepteerd kan worden.

In het algemeen kan worden gesteld dat, voor werken ter verbetering van een kust evenwicht geldt.

"Doe niet vandaag, wat U uit kunt stellen tot morgen".

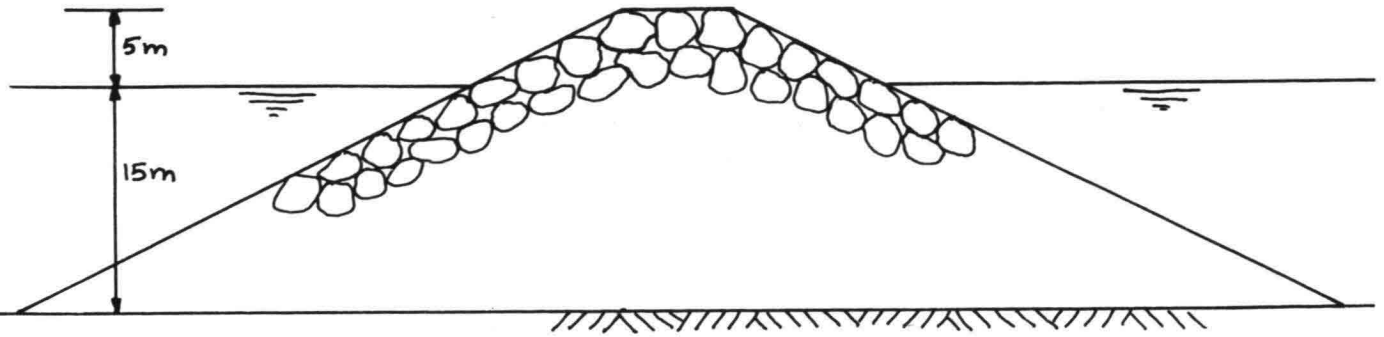
Havens zijn - zeer algemeen gesteld - plaatsen waar schepen, zo veel mogelijk ongehinderd door storende invloeden van de zee, kunnen laden en lossen.

Om de storende invloeden van de zee, zoals golven, stromingen, zand en slibbewegingen buiten te sluiten, zijn vaak havendammen (breakwaters, moles) nodig. Bij flauw hellende (in het algemeen zandige) kusten worden de havendammen uitgebouwd tot die dieptelijn, waar voldoende diepte voor de schepen aanwezig is. De moderne ontwikkelingen in de sleepzuigers heeft er overigens toe geleid dat momenteel vaak ook buiten het gebied van de havendammen nog geulen worden gebaggerd en onderhouden. De lengte van de havendammen wordt dan bepaald door nautische eisen. De grote schepen moeten namelijk in de mond nog een voldoende snelheid hebben om bestuurbaar te zijn - ongeveer 10 knoop - en dan binnen de mond een voldoende uitlooplengte hebben; voor de zeer grote tankers van 100.000 tot 200.000 ton ongeveer 6 tot 8 km. Voorbeelden van buiten de havendammen gebaggerde geulen zijn in ons land: IJmuiden en Rotterdam - oliegeul - en in het buitenland de geul naar Bonny River (Port Harcourt) en de Chayo Praha (Bangkok), waar in het geheel geen dammen zijn uitgebouwd. Om de aanzandingen van dergelijke geulen te voorspellen - hetgeen weer nodig is om een verantwoorde beslissing omtrent baggeren of uitbouw van dammen te kunnen nemen - is een grondige kennis van de processen, die zich langs de kust voordoen, noodzakelijk.

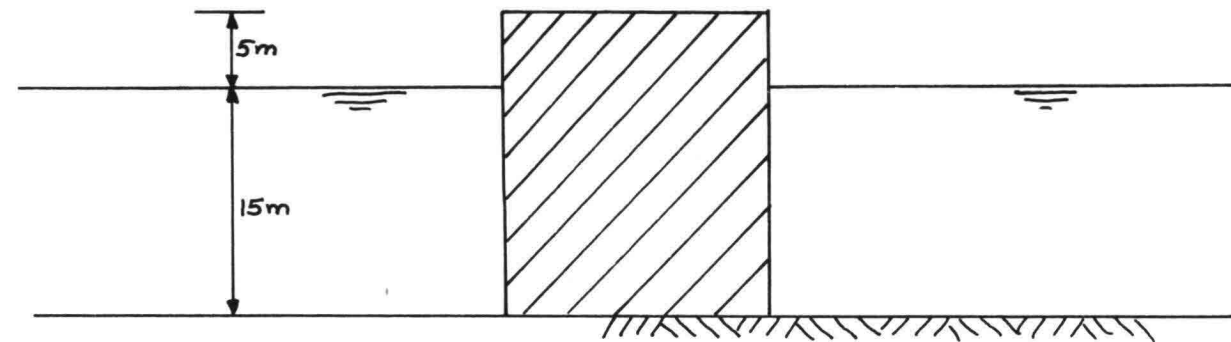
De dammen of golfbrekers kunnen in principe in drie hoofdgroepen worden verdeeld:

a) Golfbrekers met talud (mound breakwaters).

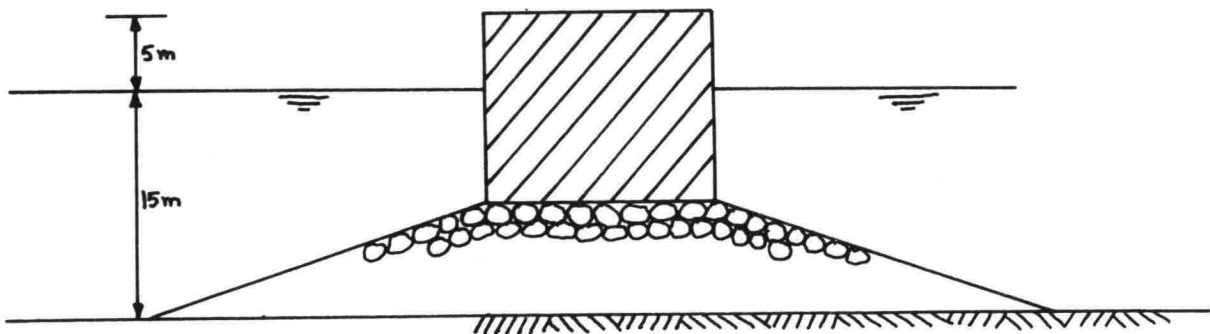
Deze worden veelal van rotsblokken opgestort en heten dan ook algemeen rubble-mound breakwaters.



b) Golfbrekers met verticale wanden.



c) Samengestelde golfbrekers (composite breakwater).



Voordat wat nader op de constructie van de golfbrekers wordt ingegaan, zullen eerst enkele voor- en nadelen worden genoemd.

De "verticale" golfbreker heeft t.o.v. de "rubble mound" golfbreker het voordeel dat het materiaalverbruik bij toenemende diepte niet zo excessief toeneemt. Het bezwaar

van de "verticale" golfbreker is, dat er tegenaan brekende golven zeer hoge, zij het dan kort durende, klappen (wave impacts) kunnen veroorzaken. Dit is zeer sterk het geval bij de samengestelde golfbreker, waarbij de golven op het talud onder water tot breken kunnen worden gebracht.

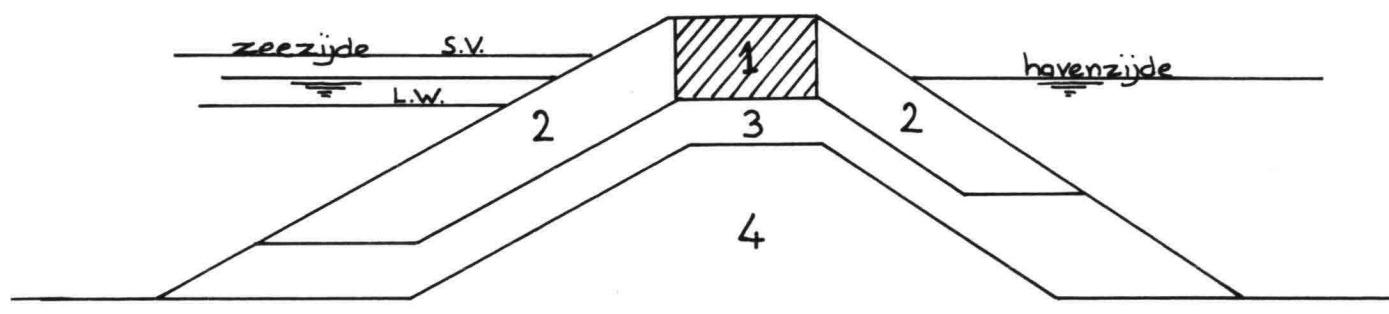
De verticale golfbreker is gevoeliger voor zettingen in de ondergrond, en beschadigingen aan een verticale golfbreker zijn over het algemeen desastreuzer en moeilijker te herstellen dan bij een golfbreker met taluds.

In bepaalde omstandigheden kunnen aan de havenzijde van verticale golfbrekers schepen worden afgemeerd.

Deze opsomming van voordelen en nadelen is niet volledig en bepaald ook niet als zodanig bedoeld. Voor ieder geval op zich zullen alle factoren tegen elkaar moeten worden afgewogen.

Hierna zullen enkele opmerkingen over de constructie van golfbrekers worden gemaakt.

a) Golfbrekers met taluds



- 1) Kapconstructie, meestal van stampbeton. Deze geeft de mogelijkheid om over de dam te rijden maar kan ook worden weggelaten, zodat 2) dan wordt doorgezet.
- 2) Zware bekledingssteen (armour stones of armour units). Dit zijn zware rotsblokken (tientallen tonnen per stuk) of, als deze er niet zijn, zware betonblokken. Dit zijn

vaak kubussen, maar soms ook blokken van speciale vorm, zoals tetrapoden of akmons. De clou van dergelijke speciale blokken is dat de onderlinge haakweerstand wordt vergroot, waardoor de blokken lichter kunnen zijn en de poreusiteit wordt vergroot. Golfoploop en terugkaatsing (beide nare zaken) worden verminderd.

- 3) Hieronder ligt een laag zware stortsteen of kleinere betonkubussen.
- 4) Hieronder een laag lichtere steen, die via een filterlaag of een zinkstuk op de bodem aansluit. Deze filterlaag of dit zinkstuk (een laag rijshout al dan niet met een nylon doekje) zijn nodig om te verhinderen dat zand door de golfbeweging onder de stenen uit wordt gezogen en de golfbreker in de bodem zakt.

De lichte steen of het zinkstuk moeten bijna altijd buiten de dam uitsteken om uitschuring aan de teen te vermijden.

In gevallen waarbij de dam een langs de kust trekkende zanddrift moet stoppen, moet de steensoort (4) zanddicht zijn en voldoende hoog worden opgetrokken.

De zware bekledingssteen moet ook aan de binnenzijde worden aangebracht om aantasting door overslaande golven te voorkomen.

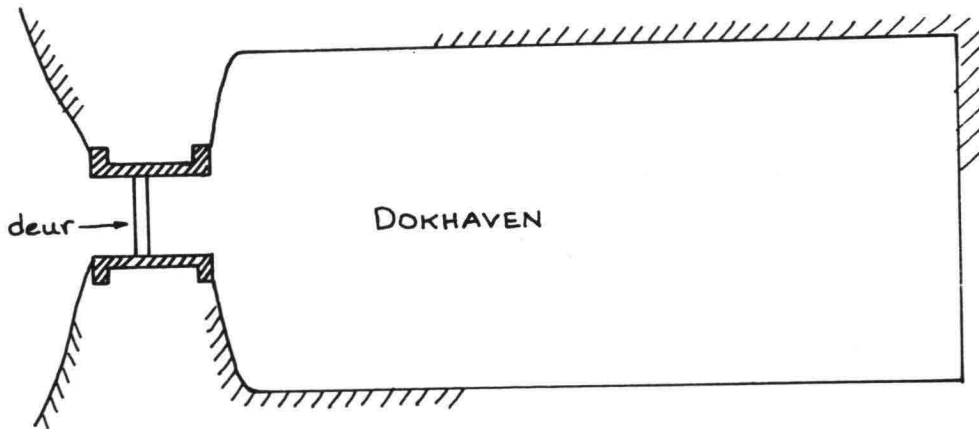
Voor een eerste berekening van dergelijke golfbrekers zijn formules voorhanden. Voor een definitief ontwerp is onderzoek in een windgolfgoet noodzakelijk. (Uiteraard is deze opzet zeer schematisch en worden voor grote golfbrekers vaak veel meer verschillende lagen aangebracht. Ook worden nog vaak andere materialen gebruikt, zoals bijvoorbeeld in IJmuiden een mengsel van lichte stortsteen met asfalt).

- b) Golfbrekers met verticale wanden werden oorspronkelijk gebouwd van betonblokken (IJmuiden, Scheveningen). Soms ook wel van houten vakwerken met kleinere blokken opgevuld.

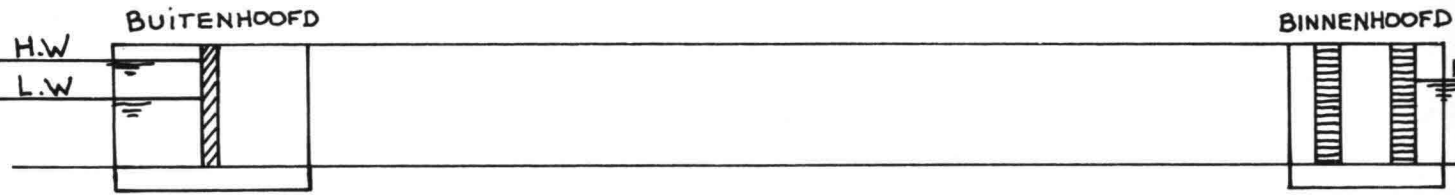
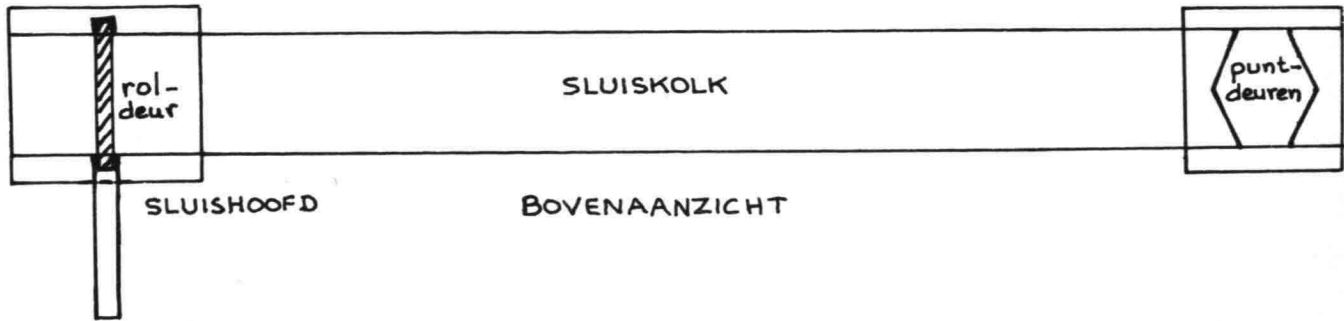
Tegenwoordig worden meestal caissons gebruikt, die drijvende worden aangevoerd, ter plaatse worden gezonken, met zand of rots worden geballast en met een laag beton worden afgedekt.

Voor speciale gevallen kunnen ook drijvende golfbrekers in de vorm van verticaal in het water staande schermen of op het oppervlak drijvende slabben (kunstvezel doek of zinkstukken) worden toegepast. In sommige gevallen wordt vanuit een op de bodem liggende pijp een luchtbellen gordijn gevormd, dat de golven tot breken brengt en daardoor energie vernietigend optreedt.

Tot nu toe is niet gesproken over wat er met de schepen zal gebeuren als ze binnen de omarming van de havendammen zijn gekomen. In sommige gevallen zullen de schepen zondermeer in havenbekkens kunnen worden afgemeerd. Indien zeer grote getijverschillen optreden geeft dit complicaties, onder andere door de vereiste grote hoogte van de kaden, omdat de schepen bij laag water nog moeten drijven. In dat geval worden wel zogenaamde dokhavens toegepast. Dit zijn havens die met deuren van het getijwater zijn afgesloten. Deze deuren worden slechts bij één waterstand - meestal H.W. - geopend. Slechts op dit ogenblik kunnen de schepen dan naar binnen varen, of naar buiten.



In andere gevallen ligt de eigenlijke haven veel verder landinwaarts en is met de voorhaven verbonden door een zeevaartkanaal (IJmuiden - Amsterdam, Schelde - Antwerpen). In dit geval is er een schutsluis tussen de voorhaven en het kanaal nodig.



H.W. = hoog water

L.W. = laag water

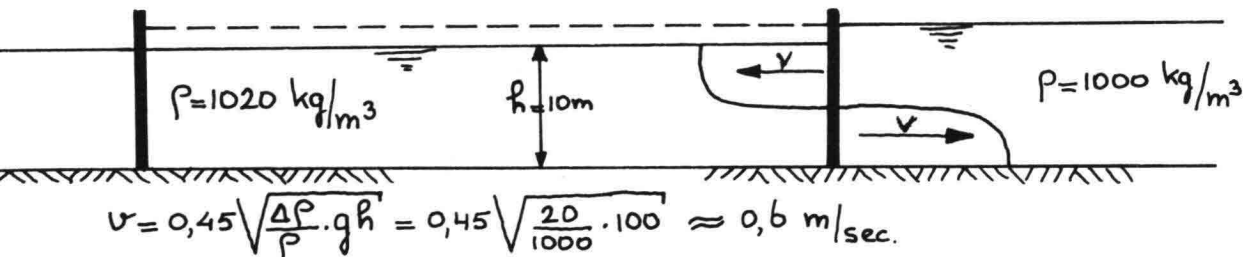
K.P. = konaalpeil.

Door riolen in de sluishoofden of door openingen (rinketten) in de deuren wordt het peil van de sluiskolk op het peil gebracht van waaruit het schip komt (de deur of deuren aan de andere kant moeten dan gesloten zijn). Vervolgens wordt door riolen in het andere hoofd de sluiskolk op het peil van de zijde waarheen het schip wil varen gebracht, nadat uiteraard de deuren achter het binnenvarende schip zijn gesloten. Is de kolk op het gewenste peil gebracht, dan worden de deuren voor het schip geopend en kan dit de sluis weer verlaten. In de schets zijn twee deurtypen getekend, namelijk de schuif- of rol-deuren en punt-deuren. Meestal staan (en zeker vroeger stonden) deze deuren met de punt naar de hoge zijde van het water gekeerd. De deuren worden dan dus door het water dicht gedrukt. Bij een getijsluis zijn en waren daarom twee stel deuren nodig.

Met de moderne mogelijkheden van de techniek zijn ook vergrendelingen mogelijk, zodat eventueel slechts één stel deuren per sluishoofd nodig is.

Met behulp van dergelijke zeesluizen is het mogelijk een verbinding voor de schepen tussen het constante peil van de havenbekkens en het net voor de binnenscheepvaart enerzijds en de veranderende en vaak hogere zee-stand anderzijds, te scheppen. Het is echter niet mogelijk om hiermee volledig het binnendringen van het zoute zeewater te verhinderen.

Wat gebeurt er namelijk als een schip door bijvoorbeeld de grote Noordersluis van IJmuiden geschut wordt, zelfs bij hogere binnenwaterstand dan buitenwaterstand? Stel, dat de buitendeuren geopend zijn geweest en de kolk dus is gevuld met zout water. Als daarna de kolk in verbinding moet worden gebracht met het binnenpand, omdat bijvoorbeeld een schip naar zee moet, gebeurt het volgende:



- waarin ρ = dichtheid zout water,
- $\Delta \rho$ = verschil in dichtheid tussen zout en zoet water,
- g = versnelling van de zwaartekracht,
- h = diepte.

Doordat het zoute water zwaarder is dan het zoete water vloeit dit onder het zoete water uit en dringt zo het kanaal in. De snelheid waarmee de zouttong het kanaal binnendringt en de snelheid waarmee het zoete water de kolk binnendringt, is ongeveer 0,6 m/s. Bij een 400 m lange kolk is deze in ruim 10 minuten voor de helft en in ongeveer

een half uur tot drie kwartier (omdat de snelheid afneemt)
geheel omgezet. Dan is een hoeveelheid zout van $400 \times 50 \times 0,020 =$
4000 ton (!) binnengekomen.

400 = lengte (m)

50 = breedte (m)

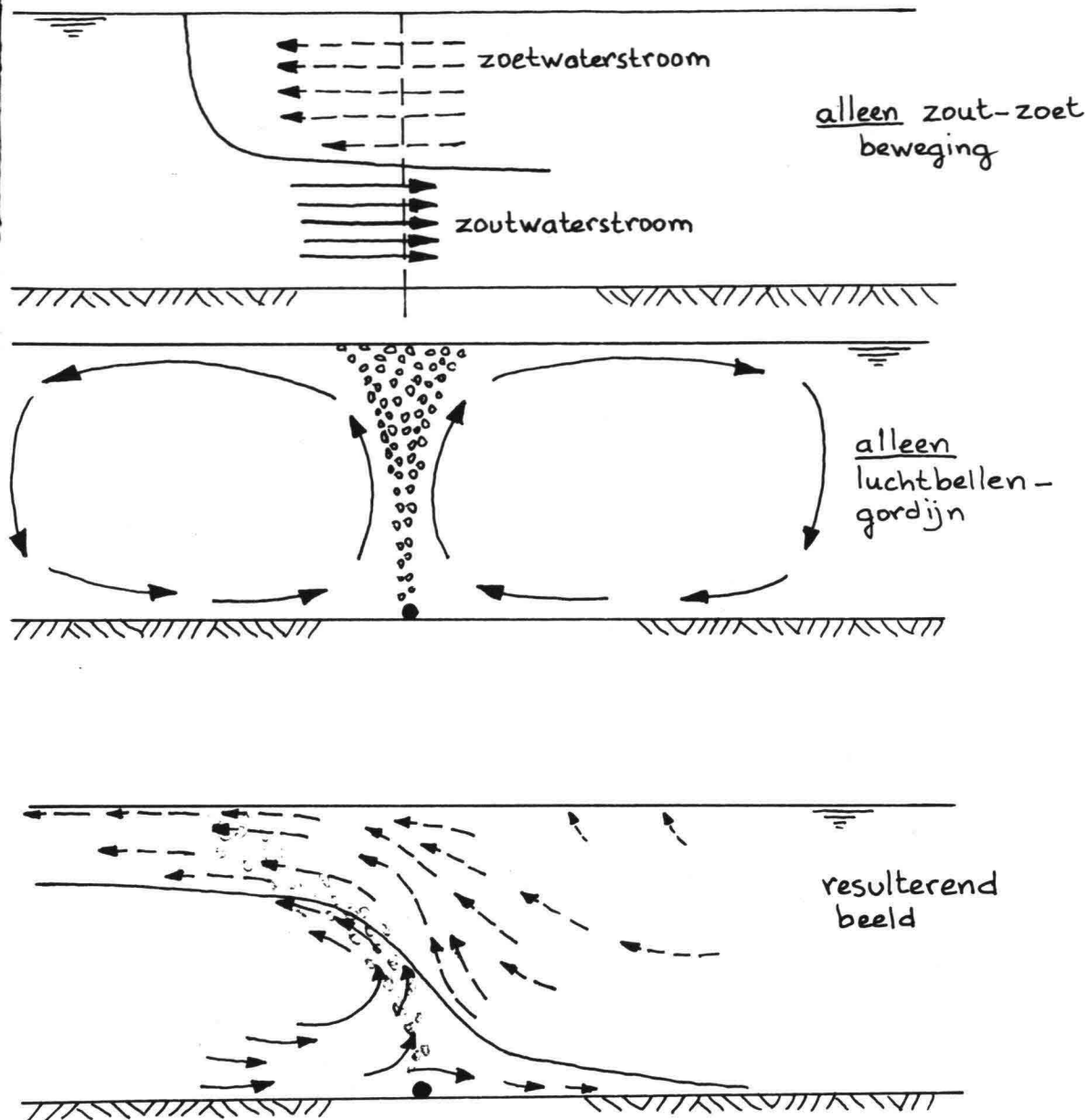
10 = diepte (m)

$0,020 \text{ t/m}^3 = (1,020 - 1,000) \text{ t/m}^3$.

Overeenkomstig verschijnselen treden op als de met zoet
water gevulde kolk in verbinding wordt gebracht met het
zeewater. Op deze wijze wordt dan in overeenkomstige tijden
de kolk met zeewater gevuld.

Wat te doen:

- a) Deuren zo kort mogelijk open laten en zoveel mogelijk
met kleine sluis schutten.
- b) Zorgen dat het zoute water langzamer de kolk binnen
stroomt door het buitenhoofd, of langzamer de kolk
uit via het binnenhoofd. Dit kan gebeuren door een
luchtbellengordijn, waardoor een waterstroom naar boven
wordt opgewekt, die op de aangegeven wijze het beeld
verstoort.



Een dergelijk luchtbellenscherm is bij de grote sluis in IJmuiden aangebracht.

- c) Het zoute water, dat toch naar binnen komt, opvangen in een verdiept gedeelte van het kanaal en dat op de een of andere manier weer naar buiten werken. Dit kan dan gebeuren door:

- 1) Meenemen met een spuistroom door een ernaast gelegen spuisluis of gemaal. Eventueel kan voor deze spuisluis nog een duikschot worden aangebracht, zodat alleen zout bodemwater wordt meegenomen.
 - 2) Gewoon wegpompen van het zoute water, dat in de put ligt.
- d) Op de één of andere wijze zorgen dat bij iedere kolkomzetting het zoute water weer volledig naar zee wordt gepompt en wordt vervangen door zoet water. Dit gebeurt bij de sluizen in Duinkerken en Terneuzen volgens twee in principe gelijke systemen.

De goederen die over zee worden aangevoerd kunnen globaal in twee groepen worden verdeeld:

- a) Stukgoed
- b) Bulkgoed

Stukgoederen worden door vrachtschepen vervoerd - (general cargo ships, general merchandise ships, freighters), bulkgoederen (graan, erts, olie) worden door carriers vervoerd. De grote ontwikkeling heeft de laatste jaren in de eerste plaats in de carriers plaatsgevonden en dan wel het sterkst in de olieschepen.

(Tot 300.000 ton in de vaart en binnen afzienbare tijd 500.000 tonners).

De ontwikkeling van graan en erts carriers blijft hier wat bij achter in verband met problemen van de havens waar het spul aan boord komt.

De vaart met deze zeer grote schepen stelt speciale eisen aan de wijdte van havenmonden en de wijdte en het tracée van toegangseulen in verband met de moeilijke manoeuvreerbaarheid van deze schepen. Dit wil zeggen: de schepen sturen best, maar ze reageren door hun grote massa uiteraard langzaam.

Een recente ontwikkeling in het transport van stukgoederen is het containervervoer. Hierbij worden de goederen gesorteerd naar plaats van aflevering ver landinwaarts en in containers verpakt, die dan als eenheid per rail of weg naar en van het schip worden vervoerd. Soms worden ook de complete trailers op het schip gereden. Dit dan speciaal bij veel vervoer van één leveringscentrum naar de streek waar de goederen worden gebruikt. Dit zogenaamde roll on roll off transport vindt bijvoorbeeld plaats met bacon vanuit Esbjerg in Denemarken naar Engeland.

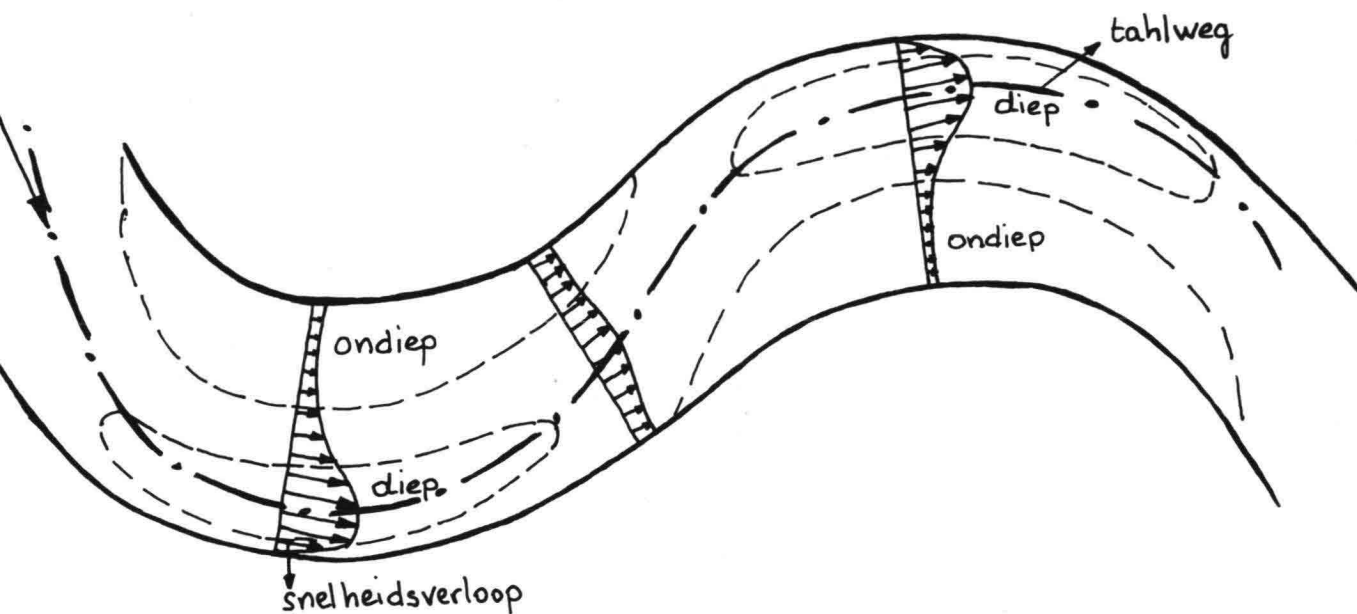
Voor goedkopere goederen, veelal juist bulk transport, is een nieuwe ontwikkeling het LASH (Lighter Aboard Ship) transport. Hierin worden in daarvoor speciaal ingerichte schepen

bakken vervoerd, die òf het schip uitvaren, òf er met een kraan worden uitgetild en zij worden dan verder door sleepboten òf gekoppeld tot duw-eenheden landinwaarts vervoerd.

Een nog niet tot ontwikkeling gekomen maar wel overwogen mogelijkheid van ertstransport is het vervoeren van verder volledig zeeschepen van 20.000 tot 30.000 ton in grote eenheden van 300.000 ton van vindplaats van het erts naar de verbruiksplaats.

Tot nu toe is als verbinding van zee naar land behalve het wegtransport alleen transport via de haven over kanalen ter sprake gekomen. De van nature oudste vorm is echter die via de rivieren. Om hier iets over te kunnen zeggen is het eerst nodig na te gaan hoe een rivier zich in het algemeen gedraagt en wat er gebeurt als een rivier in zee uitmondt.

Een rivier is een levend geheel, waarbij de bodem zich continu aanpast aan de afvoer van het water.



Door het ingewikkelde patroon van een spiraalstroom wordt de stroom op den duur in de buitenbocht geconcentreerd. In de tijd gezien is het zo, dat door de bocht een spiraalstroom ontstaat, die over de bodem naar de binnenbocht stroomt. Deze stroom brengt materiaal (en wel in eerste instantie de fijnste fractie) naar de binnenbocht. Deze wordt daardoor ondieper en de buitenbocht wordt dieper. Hierdoor neemt de stroom in de binnenbocht af en in de buitenbocht toe, waardoor het effect nog wordt versterkt.

Uit de aangegeven schets blijkt dat ook tussen de beide diepe geulen van de bochten een ondieper deel voorkomt (de "crossing"). Dit is een logisch gevolg van het feit dat de stroom hier vrijwel regelmatig is verdeeld en daardoor geen concentratie geeft te zien met overeenkomstige verdieping.

Voor het bevaarbaar maken van de rivieren moeten deze "crossings" worden getemd, hetgeen voor grote rivieren veelal het beste met

jaarlijks terugkerend baggerwerk kan gebeuren. Alleen voor zeer druk bevaren gebieden in dicht-bevolkte streken (dure oevergrond) is normalisatie lonend.

Onder normalisatie wordt verstaan dat de oevers worden vastgelegd - met kribben of strekdammen - zodat een constante of vrijwel constante breedte ontstaat, die zodanig smal is, dat voldoende uitschurend vermogen optreedt. Aan de andere kant moeten deze kribben weer zo laag zijn, dat de hoogwaterafvoer niet wordt belemmerd. Voor de Mekong bovenstrooms van Phnom Penh is dit nagegaan en daar bleek verdediging van de oevers - behalve bij dorpen en bruggen - niet lonend te zijn.

Indien een dergelijke rivier in een zee uitmondt, waar een getijbeweging heerst en zout water aanwezig is, treedt een zeer gecompliceerd beeld op. Door de getijbeweging treedt vaak een omkeer in de stroomrichting op (eb en vloed) en wordt een veel ingewikkelder geulenstelsel gevormd, namelijk een stelsel van eb- en vloedgeulen, waarin dan voornamelijk de eb, respectievelijk de vloed, is geconcentreerd.

Door het zoute water treedt bovendien een sterke afname van de bodemstroom op en soms zelfs een naar binnen gerichte zoute bodemstroom, waarbij het water aan het oppervlak naar buiten stroomt. Dit alles leidt ertoe, dat dergelijke mondingsgebieden (estuaria) vaak een veel grotere breedte hebben.

Bij grote rivieren die van niet voldoende vast gelegde - dus door regen geërodeerd wordende - gebieden komen, is veelal ook het slibtransport zeer aanzienlijk.

Door verandering van de ionisatietoestand van de kleideeltjes, als deze in zout water komen, gaan zij samenklonteren - uitvlokken, flocculeren - waardoor een verhoogde afzetting ontstaat. Hierdoor kunnen in de mondingsgebieden en ook buiten de eigenlijke mondingen ver in zee, uitgebreid slibbanken voorkomen, bestaand uit zeer fijn, zeer zacht slib (Chao Praha, rivieren in Frans, Hollands en Brits Guyana). Dit slib wordt "sling mud" of "soft mud" genoemd en heeft een dichtheid van 1200 - 1400 kg/m³. De dichtheid is zo gering, dat de schepen er met hun kiel door kunnen varen.

Dergelijke slibafzettingen, maar nu voornamelijk door slib dat vanuit zee komt (zij het dan dat het daar eerst wel door rivieren gebracht zal zijn) treden ook op in de havens van Rotterdam. Hierbij is weer de invloed van de zoute onderstroom als het getij keert en het zoetwater ⁱⁿ de rivier voor de havens door zout water wordt verdrongen, van grote invloed. Deze kwaal kan eigenlijk alleen door baggeren op grote schaal worden verholpen.

In principe kan het baggeren op de volgende manieren gebeuren:

- a) Emmerbaggermolen
- b) Bodemzuiger
- c) Snijkopzuiger of cutter zuiger
- d) Sleepzuiger.

Voor het baggeren in druk bevaren havenmonden en op zee is eigenlijk alleen de sleepzuiger bruikbaar, omdat deze ten eerste niet behoeft te worden afgemeerd, maar vrij varend baggert en bovendien geen hinder heeft van golfbeweging doordat de zuigbuizen met een constante druk op de grond worden gehouden. Dit gebeurt door middel van zogenaamde deiningscompensatoren, een patent van de I.H.C. Hierdoor kunnen deze sleepzuigers werken in zeegang van enkele meters hoogte.

