

12319

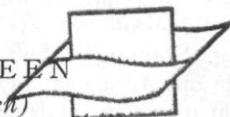
VLIZ (vzw)

VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE

Oostende - Belgium

EENIGE OPMERKINGEN OVER HET ZAND-
TRANSPORT VAN STROOMEN

DOOR

Ir. JOH. VAN VEEN
(met 7 tekstfiguren)Vlaams Instituut voor de Zee
Flanders Marine Institute

Aan de oppervlakte eener rivier merkt men niet, welke processen zich in de diepte afspelen. Het verborgen zijn van den bodem is oorzaak, dat men lang in het duister is gebleven omtrent de fundamentele kwesties van het zandtransport. Slechts ± 100 jaren geleden schreef men nog bij de discussie over de vorming eener nieuwe Merwede: „Ieder kundige weet, dat het water bij den bodem twintig malen radder stroomt dan aan de oppervlakte” en de bekende generaal Krayenhoff, een onzer voornaamste waterbouwkundigen, meende, dat het opperwater der rivieren hoofdzakelijk nabij den bodem in zee stroomde. De werkelijkheid is natuurlijk juist andersom: in normale rivieren is de snelheid bij den bodem veel geringer dan aan de oppervlakte en het rivierwater vloeit voornamelijk door de bovenste lagen in zee, omdat het zware, zoute zeewater een uitstroming door de onderste lagen belet.

Een haast nog grootere onkunde heerschte ten aanzien van de zeestroomen. De invloeden, die daaraan werden toegeschreven, waren aanvankelijk zelfs zoo overdreven, dat Humboldt (1852) de West Indische eilanden door den Antillenstroom van het vasteland van Amerika losgeslagen, en Agassiz het schiereiland Florida gedeeltelijk door neerslag van zeestroomsedimenten ontstaan dacht.

Een leerzaam voorbeeld van wat stroomen wel of niet kunnen verrichten, deed zich bij de vorming van de Nieuwe Merwede omstreeks 1860 voor. Men hoopte hier op medewerking van den stroom, nadat door verwijdering van eenige harde kleibanken de baan vrij gemaakt scheen te zijn. Evenwel bleef die verwachte uitschuring vrijwel geheel achterwege. Het was daarom gelukkig, dat de eerste stoombaggermolens juist toen tewerk konden worden gesteld. Oude baggeraannemers weten echter nog te verhalen, hoe de eerste bestekken niet voorzagen in het opvangen en wegvoeren der opgebaggerde specie. De molen had niet anders te doen dan malen, want niettegenstaande zulke slechte ervaringen waren verkregen betreffende het uitschurende vermogen der rivier, rekende men er toch op, dat de stroom wel voor het vervoer van losgewoeld materiaal zou zorgen. Ook dit was een misrekening.

Onze worsteling tegen het rivierzand in de eerste helft der 19e eeuw gaf nog meer leerzame voorbeelden. Zooals bekend, scheen het wel en wee van het centrale deel van ons land af te hangen van de

vraag of het mogelijk zou zijn dit rivierzand tot in zee te doen transporteerden. Immers het zand, dat uit Duitschland en België met de stroomen kwam afzakken, verhoogde onze rivierbodems steeds meer, de waterstanden werden diensgevolge steeds hooger en hoe men de dijken ook versterkte, de doorbraken waren aan de orde van den dag. Sommigen kwamen toen tot de van moedeloosheid getuigende opvatting, dat het beter was de dijken maar af te schaffen. Hoe kon men aan dit traag, doch voortdurend werkzaam natuurverschijnsel van een zich verhoogenden bodem het hoofd bieden?

Onbedijkte rivieren verleggen zich, indien hun beddingen te hoog worden. Deze verlegging trachtte men door de dijkages te keeren en het was te voorzien, dat de natuur vroeg of laat haar rechten zou hernemen. Vier honderd jaren geleden had de Waal een nieuw depôt voor haar zand gevonden in de, in 1421 gevormde binnensee tusschen Alblasserwaard en Brabant, doch deze was omstreeks 1800 weer opgevuld. Er was wederom een nieuw depôt noodig. Moest men nu de Alblasserwaard opofferen? Krayenhoff wilde door het afdammen van alle nevenspranken (de Killen van den Biesbosch, de Dordtsche Kil, de Noord, het Spui, de Nederrijn-Lek en de IJssel) aan den Rijn één enkelen mond verschaffen en op deze wijze het transporteerend vermogen dezer rivier zoodanig doen toenemen, dat het zand tot in zee vervoerd zou worden. Het is goed, dat dit plan niet is uitgevoerd. Ons uitstekend bevaarbaar benedenrivierengebied zou daardoor voor de scheepvaart zijn bedorven, terwijl het beoogde doel volgens den tegenwoordigen stand onzer kennis niet bereikt had kunnen worden. Het plan van Jan Blanken om het Hollandsch Diep als depôt te bestemmen was eenvoudiger dan dat van Krayenhoff en werd dan ook uitgevoerd.

Zooals uit het bovenstaande dus duidelijk volgt bezitten onze rivieren nabij de bovengrens van den vloed slechts weinig transporteerend vermogen meer en het schijnt niet mogelijk dit in belangrijke mate te beïnvloeden. Dat wij tegenwoordig nagenoeg geen last meer van het rivierzand hebben is te danken aan de uitvinding der stoom-baggermolens, die het millioen m³ zand, dat jaarlijks ongeveer van „boven” komt, gemakkelijk de baas kunnen. Van veel belang is ook, dat het schoone, tamelijk grove zand zoo gewild is in de beton-industrie, zoodat de rollen thans zijn omgekeerd. Men wenschte er meer van te hebben.

De oplossing van het eens zoo moeilijke probleem werd dus niet gebracht door de vordering der waterloopkundige wetenschap. Men kan zelfs verder gaan en de waarschijnlijkheid groot achten, dat de baggermolen de oorzaak is geweest, dat men op het gebied van het onderzoek naar het transport van stroomen sindsdien betrekkelijk weinig is gevorderd. Ook in het buitenland werd er nà 1870 weinig aandacht meer aan besteed.

Met het bovenstaande is niet gezegd willen worden, dat het zand-

transporteerend vermogen van stroomen in het algemeen niet groot is, noch dat een rivier veel transporteerend vermogen moet bezitten om de onderhoudskosten ervan zoo weinig mogelijk te doen zijn. Eerder is het tegendeel het geval.

In den Rotterdamschen Waterweg wordt bv., in tegenstelling met een rivier als de Nieuwe Merwede, veel zand getransporteerd. Het fijne zand, waaruit de bodem van den Waterweg bestaat, wordt gemakkelijk uitgeschuurd en stelt men de vraag of dit een voordeel is, zoo moet het antwoord ontkennend luiden. Groote zandbewegingen dragen altijd de mogelijkheid in zich van groote zandneerzettingen, terwijl uitschuringen slechts in bepaalde gevallen eenig voordeel opleveren. Meestal schuren slechts de diepe kuilen uit, terwijl het daardoor vrijkomende zand de drempels verhoogt. Onze beste rivieren zijn dan ook die, waar het zandtransport zoo gering mogelijk is.

Tijdens het maken van den mond bij Hoek van Holland werd veel zand door de stroomen verplaatst, doch het grootste deel daarvan bezonk juist voor den mond, zoodat het toch nog kunstmatig moest worden verwijderd. Het uitschurend vermogen van een rivier is in het algemeen dus een eigenschap, die met achterdocht moet worden bekeken.

Het is daarom verklaarbaar, dat sommige practici onder het motto „nature is always against you” hun vertrouwen in de medewerking van de natuur verliezen en in baggeren en dergelijke werkzaamheden hun toevlucht zoeken. Toch is dit standpunt onbevredigend. Al bereikt men door forceering veel, men moet niet vragen of de werkwijze goedkoop en beter had gekund. Zonder twijfel worden door gebrek aan inzicht in de natuurlijke omstandigheden fouten gemaakt, fouten die soms tot in lengte van dagen voelbaar blijven in den vorm van zwaar periodiek baggerwerk. Teleurstellingen bleven dan ook in de practijk niet uit.

De voorzitter der Belgische Ingenieursvereniging beweerde in 1927 zelfs, dat „behalve in enkele zeer grove trekken nog vrijwel niets van het mechanisme van stroomen bekend is”. Hij ging zelfs verder door te beweren, dat de tijd nog niet rijp zou zijn voor een onderzoek naar „le mécanisme des alluvions”. Ook hiermede kan niet worden ingestemd. Al spelen de zandtransportvraagstukken zich nabij den bodem, dus buiten het direct bereik van het oog af en al kan niet worden ontkend, dat de water- en zandbeweging buitengewoon ingewikkeld kan zijn, dit houdt niet in, dat men niet met een onderzoek zou kunnen beginnen.

Sinds 1930 worden door den Rijkswaterstaat regelmatige metingen verricht, ten einde onze kennis van hetgeen nabij den bodem onzer wateren plaats vindt, uit te breiden. Aanvankelijk moesten daarvoor eenige instrumenten worden uitgevonden en werd hoofdzakelijk in de benedenrivieren gemeten en geëxperimenteerd. Naderhand werden ook de Waddenzee en de noordelijke en zuidelijke zeegaten onder-

handen genomen, terwijl tenslotte eveneens in de Noordzee, in het gebied der Vlaamsche banken en in de zeeëngte der *Hoofden* werd gemeten. Dit laatste gebied is voor ons belangrijk, daar het als de wortel van een groot gedeelte onzer kusten en van de ten onzent heerschende getijbeweging is te beschouwen.

De vraagstukken, die het eerst aan een onderzoek werden onderworpen, hadden betrekking op de veronderstelde *zandstroomen*. Een dezer komt, gelijk wij zagen, uit het binnenland en werd verondersteld gedeeltelijk bij te dragen tot de instandhouding onzer kust; een andere werd gedacht uit het Kanaal te komen, vervolgens langs de Vlaamsch-Hollandsch-Friesche kusten te trekken en te eindigen in de buurt van den Elbemonnd. Deze laatste zou in de Hoofden een vermogen hebben van 10 à 12 miljoen m³ per jaar. Men grondde dit cijfer op veronderstelde gegevens voor den afslag der Kanaalkusten. De groote aanslibbingen in Zeeland en in het Zuidhollandsche eilandengebied in historische tijden zou gedeeltelijk aan dezen zeezandstroom te wijten zijn. Een Fransche onderzoeker der vorige eeuw berekende zelfs een verhouding van het aandeel van dezen zeezandstroom in de vorming onzer nieuwe aanwassen op niet minder dan 98%. Ook de duinen zouden hun ontstaan hoofdzakelijk danken aan dezen veronderstelden zeezandstroom uit de Hoofden.

Deze theorieën bleken slechts gedeeltelijk waar te zijn. In de benedenrivieren is een zandarme zone van ongeveer 10 km breedte aanwezig, loopende op ± 20 à 30 km afstand uit de kust (zie fig. 1). Zij wordt aan de westzijde begrensd door het zoogenaamde „zeezandgebied”, aan de oostzijde door het „rivierzandgebied”. In het zandarme gebied is, zooals de naam aangeeft, slechts weinig zand in beweging, zoodat deze streek zich bijzonder goed voor den aanleg van havens en andere werken leent. Rotterdam ligt, wat dit betreft, gunstig, doch zou nog beter een tiental kilometers verder van de zee verwijderd hebben kunnen liggen, daar de zeezandgrens de neiging bezit zich, onder invloed der verbeteringswerken en aanleg der havens, verder landwaarts uit te breiden. Het slibbezwaar is natuurlijk ook in de zandarme zone aanwezig.

Het eigenlijke rivierzand komt niet veel verder dan Krimpen aan de Lek, Puttershoek, Willemsdorp. Ook dit rivierzandgebied is goed geschikt voor bijzondere werken.

Het slechtst is het zeezandgebied. Hier zijn de zandverplaatsingen steeds groot en de in deze streek aangelegde havens hebben dan ook voortdurend te kampen met aanslibbingen en aanzandingen. Het zeezand komt practisch gesproken overal voor waar brak water aanwezig is. Men moet dus aannemen, dat waar een druppel zout water kan komen — en nabij den bodem is dat betrekkelijk ver landwaarts, zelfs te Rotterdam is wel eens zout te bespeuren op den bodem — ook een korrel zeezand en zeker zeelib kan worden gebracht.

Ter onderscheiding van het zee- en rivierzand gebruikt de bevolking wel de termen zoet- en zout-zand. Het eerste is geelbruin en

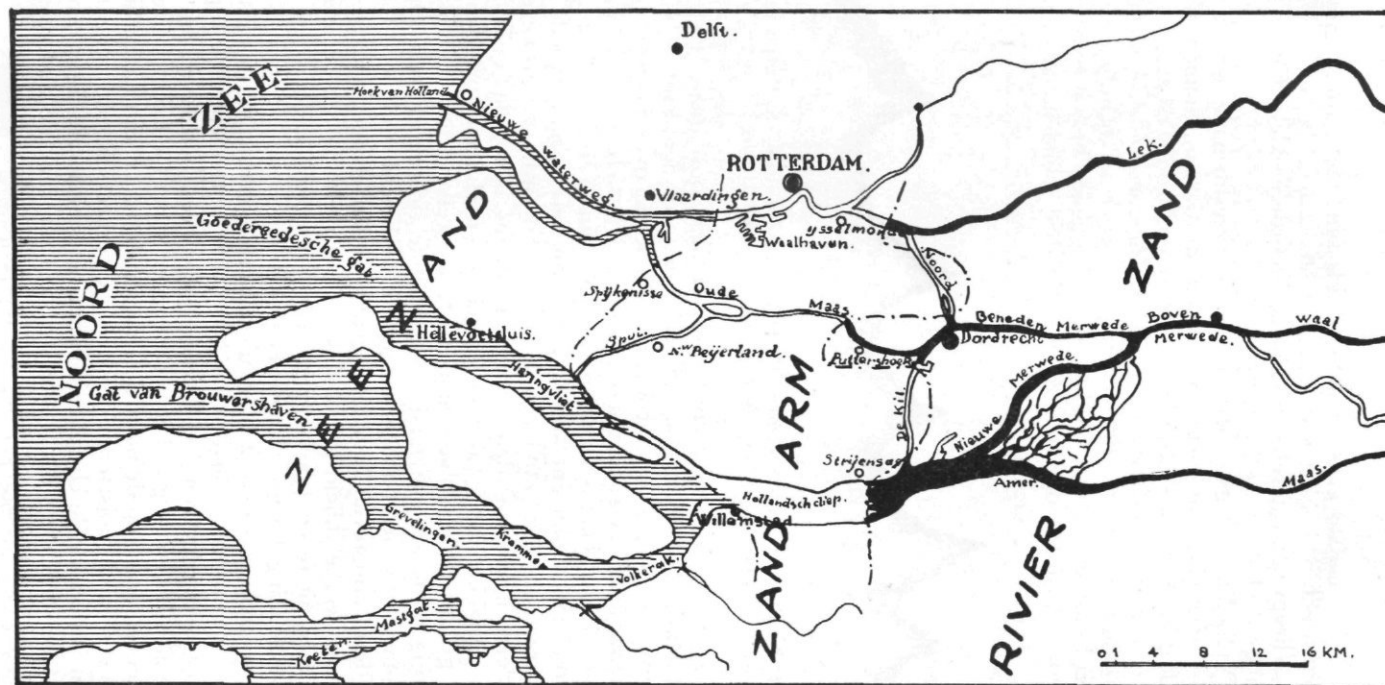


Fig. 1. Verschillende zandgebieden in onze benedenrivieren.

vrij grof; het laatste grijs en betrekkelijk fijn. Het „zout” zand en het „zoute” slib is dus het materiaal, dat ons zooveel last veroorzaakt (in de scheepvaartwateren) en zooveel voordeel elders (in de polders, langs de kusten).

Het Volkerak-Hellegat voert zeezand en zeeslib naar het Haringvliet. In afwijking van hetgeen meestal wordt aangenomen, vloeit namelijk geen zoet water voorbij Bruinisse en Brouwershaven in zee, doch wel zout water uit zee naar het Haringvliet. De drie Hellegatgeulen, waarvan de oostelijke onlangs (1931) met behulp van een dam werd vastgelegd, moeten dan ook als liggende in een soort delta van zeezand worden opgevat. Zij zijn de drie monden van een tij-

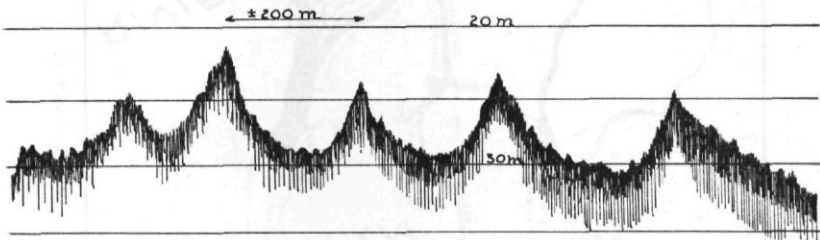


Fig. 2. Voorbeelden van zandgolven in de Vlakke Zee (nabij de Fairy bank, ongeveer 20 km ZW t. Z van de Noord Hinder).

rivier, waarvan de reststroom van west naar oost gaat. Het feit, dat het Haringvliet de meest zuidelijke tak van den Rijn is, is van belang met het oog op het conflict met België over hetgeen onder „tusschenwateren” verstaan moet worden. Het Hellegat, Volkerak, Zijpe, en al wat daar ten zuiden van ligt, zijn *geen* Rijntakken.

Het onderzoek omtrent de herkomst van het *zeezand* toonde aan, dat er practisch *geen* zand via de Hoofden wordt getransporteerd. Het onderzoek waar het dan wel vandaan komt, is nog niet geëindigd.

In de „Vlakke Zee” (tusschen Engeland en Holland) werden bijzonder groote bodemgolven aangetroffen, welke waarschijnlijk op een gering transport van zand in noordelijke richting duiden. Op de diagrammen van het onlangs belangrijk verbeterde echolood-toestel komen deze zandgolven voor als regelmatige kartels met scherpe toppen, die in werkelijkheid gewoonlijk 5 à 10 meter boven de meestal ronde dalen uitsteken (zie bv. fig. 2).

De verhouding hoogte : lengte bedraagt ongeveer 1 : 15 à 1 : 20, zoodat de toppen 100 à 300 m uit elkaar liggen. Dikwijls is de hoogte der zandgolven ongeveer $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{4}$ der waterdiepte. De toppen der grootste zandgolven (of duinen) gaven een hoogteverschil van 20 m te zien boven de golfdalen. De ruggen staan loodrecht, of onder een scheeven hoek, op de normale stroomrichting en zijn natuurlijk te beschouwen als getijstroomformaties. Overheerscht de vloedrichting dan is de naar de eb gekeerde kant het steilste (zie fig. 3), overheerscht de ebrichting dan is de steilste kant naar de andere zijde gekeerd, en zijn beide richtingen in evenwicht, zoo ontstaan de bij-

zonder regelmatige symmetrische of trochoïdale golven. Zelfs de mate van overheersching van de eene richting boven de andere komt in den vorm der golven tot uitdrukking. De zg. kattenrugvorm staat op het punt te „breken”. Onder kattenrug wordt hier verstaan eene opwelling van de flauwe helling, zooals de meest rechtsche golf van fig. 3 eenigszins vertoont. Dat de topafstanden der golven van fig. 3 ongeveer 500 m van elkaar liggen, vindt zijn reden in een scheeve vaarrichting ten opzichte van de bodemgolven.

Dergelijke reusachtige ribbels waren hier te voren nog niet bekend. Wel hadden eenige jaren geleden onderzoekers als de onvermoeide Vaughan Cornish op de Goodwinsands ribbels beschreven van

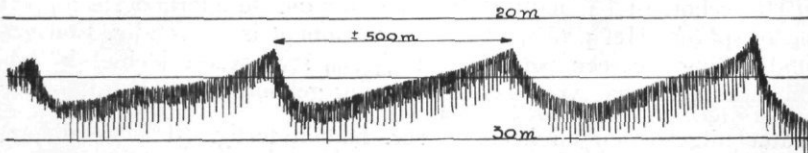


Fig. 3. Voorbeelden van zandgolven in de Vlakke Zee (bij IJmuiden).

ongeveer 1 m hoogte en deze werden reeds door anderen als „mammoetribbels” betiteld, doch de enorm groote onderzeesche zandgolven, welke zich in het zuidelijk gebied der Noordzee bevinden, bleven voor het modern echo-instrument over om te ontdekken. Toch waren deze zandruggen, zij het niet in hun juisten vorm, wel bij de visschers bekend. Men noemde hen „hompels”, „ongelijkens”, „ribben”, „bulten”, (Eng.: „Ridges”, Fr.: „ridens”).

Tijdens windstil weer kan men de door deze zandgolven veroorzaakte stroomrafelingen goed onderscheiden. Men ziet dan aan de lengte en plaats der rafelingen de grootte en de onderlinge afstanden der ruggen. Meestal zijn zij niet bijzonder lang. Aan de sterkte der rafeling kan men de hoogte van den top eenigszins nagaan. Aanvankelijk geschiedde het passeeren van deze schrikjagende rafelingen niet zonder angst, omdat men niet wist of de volgende top nog hooger zou worden dan de juist gepasseerde. Allengs bleek echter, dat de toppen niet gemakkelijk boven een bepaalde maat uitkomen. Met andere woorden, er is meestal door deze toppen een eenvoudig gevormd vlak te trekken. Het behoeft geen betoog, dat het echotoestel bij dergelijke verkenningstochten over en door de banken onmisbaar is.

Zoekt men de oorzaak voor het ontstaan dezer golven, dan stuit men spoedig op moeilijkheden. Het is een soort resonantieverschijnsel, waarvoor bepaalde zandsoorten en bepaalde stroomsterkten vereischten schijnen te zijn. Een eenigszins analoog geval vindt men bij de asfalt- of grindwegen, die onder invloed van het verkeer een golvend wegdek aannemen. Het wiel valt van een top in een dal en verhoogt daardoor den volgende top. De weerstand, die een dergelijk wegdek aan het verkeer oplevert, is bijzonder groot en op

dezelfde wijze moet de weerstand, die het water van een golvenden bodem ondervindt ook abnormaal groot zijn.

Niet alleen in zee komen groote zandgolven voor, ook in onze benedenrivieren. In de Lek nabij Krimpen worden bv. regelmatige zandgolven gevonden van ongeveer 1 meter hoogte bij ± 20 m lengte. Voorts in de Boven Merwede van gelijksoortige afmetingen en in het Volkerak ter hoogte van eenige meters.

Het spreekt vanzelf, dat deze golftoppen vrij bezwaarlijk voor de scheepvaart kunnen zijn. Zij kunnen betrekkelijk gemakkelijk vervormd worden, zoodat men hen niet wel met tonnen kan aanduiden. Gelukkig liggen de meeste echter in tamelijk diep water.

Het echotoestel is natuurlijk onmisbaar om de allerhoogste toppen op te sporen. Het principe van dit instrument is eenvoudig. Een geluidstrilling met een periode van $\frac{1}{16000}$ sec., welke kleiner is dan die, waarneembaar voor het menschelijk gehoororgaan, wordt onder water uitgezonden en keert $\frac{2d}{v}$ sec. nadien terug. (d is de diepte, v de voortplantingssnelheid in water; dit laatste cijfer wisselt met de temperatuur en het zoutgehalte, doch is in onze wateren ongeveer 1500 m/sec). Elke meter diepte wordt dus gemeten als $\pm \frac{1}{750}$ sec. Deze zeer korte tijdsverschillen worden met behulp van een pen, die met constante snelheid over papier wordt voortbewogen, geregistreerd. De pensnelheid werd in 1934 zoodanig opgevoerd, dat een diepteschaal van 1 cm = 4 m bereikt werd, terwijl onlangs door den Rijkswaterstaat een toestel ontworpen werd, waarbij 1 cm slechts 1 meter voorstelt. Hiermede kunnen bijzonder geringe diepten van bv. 1 m en meer nauwkeurig worden gepeild. Men blijft wat de nauwkeurigheid betreft binnen de grens van 1 dm, zelfs voor groote diepten, hetgeen wil zeggen, dat een tijdsdeeltje van $\frac{1}{750}$ sec. nog goed kan worden onderscheiden. De peilingen geschieden ruim zes malen per seconde. Men kan dit toestel dus „het oog op den bodem” noemen, dat de vroegere waterbouwkundigen zoozeer verlangd hebben te bezitten.

In de Vlakke Zee zijn de groote bodemgolven meer regel dan uitzondering. Vooral de ruggen van de banken zijn ermede bezet. Verder naar het noorden is de zeebodem vlakker. Waarschijnlijk zullen ook op andere plaatsen nog veel zandgolven voorkomen. Naar ik van den fabrikant der echotoestellen vernam, waren zij ook reeds te Durban (Natal) geconstateerd en blijkens een juist ontvangen mededeeling uit Bordeaux, werden zij eveneens in de Gironde waargenomen.

Critische snelheden. Hieronder worden verstaan de snelheden, waarbij het bodemmateriaal begint te bewegen. In een tij gebied vindt men intermitterende zandverplaatsingen. Fig. 4 geeft hiervan een schema, waarbij a de critische snelheid voorstelt.

In de handboeken worden velerlei critische snelheden voor verschillende korrelgrootten opgegeven. Deze zijn echter niet betrouwbaar. Zij berusten veelal slechts op laboratoriumonderzoek of op een

bestudeering van materiaalverplaatsing in ondiepe beekjes en hebben, voor zoover bekend, *alle* het nadeel, dat *de hoogte van de genoemde snelheden boven den bodem niet is vastgelegd*. Het spreekt vanzelf, dat oppervlakte-snelheden of gemiddelde snelheden niets zeggen, ten aanzien van hetgeen bij den bodem plaats vindt. Zanden van gelijke korrelgrootte behoeven voorts nog niet steeds dezelfde kritische snelheden noodig te hebben; de golving van den bodem, het meer of mindere slibgehalte van het bodemmateriaal en voorts ook de turbulentie, veroorzaakt door golfslagwerking — dit alles is van invloed, zoodat generaliseeren ontoelaatbaar is.

Een zeer ruwe benadering, die als gemiddelde der door ons ge-

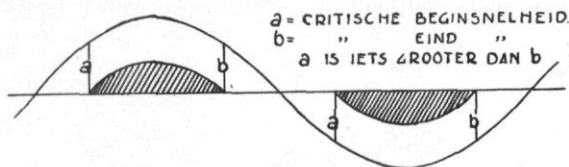


Fig. 4. Schema van zandtransport in het tijgebied.

vonden kritische snelheden voor los, slibvrij zand van onderstaande korrelgrootte werd gevonden, is de volgende:

± 200 micron:	40	cm/sec.	op	15	cm	boven	den	bodem
± 250 "	50	"	"	15	"	"	"	"
± 300 "	60	"	"	15	"	"	"	"
± 350 "	70	"	"	15	"	"	"	"
± 500 "	100	"	"	15	"	"	"	"

De hier gegeven snelheden zijn gemiddelden, waarbij het geringe bedrag van 2 cm³ zand per 10 liter water (0.02%) op 10 cm hoogte boven den bodem aanwezig is.

Anders gezegd: er is dus een stroom van ongeveer 1 m/sec. noodig om zand van gemiddeld 1/2 mm grootte eenigszins te doen opwerpen en een stroom van ongeveer 1/2 m/sec. om zand van 1/4 mm grootte eenigszins te doen bewegen, enz. Deze stroomsnelheden zijn daarbij ondersteld op 0.15 m boven den bodem.

Fig. 5 geeft aan, dat de kritische snelheden zelfs voor eenzelfde zeegat nog aanmerkelijk kunnen uiteenlopen. De figuur geeft het verband aan tusschen de gemiddelde korrelgrootte van het bodemzand en het zandgehalte op 10 cm boven den bodem bij een snelheid van 1/2 m/sec. op 0.15 m boven den bodem. Het zand in het Stortemelk (gelegen in het westelijk deel van het zeegat van het Vlie) is dus bewegelijker dan in de rest van het zeegat, niettegenstaande de korrelgrootten weinig uiteenlopen. Dit ligt niet aan de diepte, doch aan den golvenden bodem in het Stortemelk.

Men mag feitelijk geen conclusies trekken voor gebieden, waar nog niet gemeten is, omdat de kritische snelheden voor bepaalde zandsoorten van meer factoren afhangen dan men oppervlakkig zou meenen.

Een indruk omtrent de afname van het zandgehalte in de hogere waterlagen, vindt men in de volgende cijfers. Het zijn gemiddelden van een aantal metingen in het Vlie, waarbij telkens gelijktijdig op 10, 30, 50 en 70 cm boven den bodem monsters van 10 liter werden genomen. De verhouding der zandgehalten was gemiddeld op deze hoogten: 100 : 54 : 35 : 28.

Ook de korrelgrootte van het zwevend zand neemt vrij sterk af met den afstand boven den bodem; op 10 cm boven den bodem zweeft gewoonlijk reeds zand, dat iets fijner van korrel is dan het zand van den bodem waarboven men meet. Daar een zandkorrel slechts door de verticale componenten van de wervelstroomen zwevend kan worden gehouden, heeft men aan de korrelgrootte van het zwevend zand

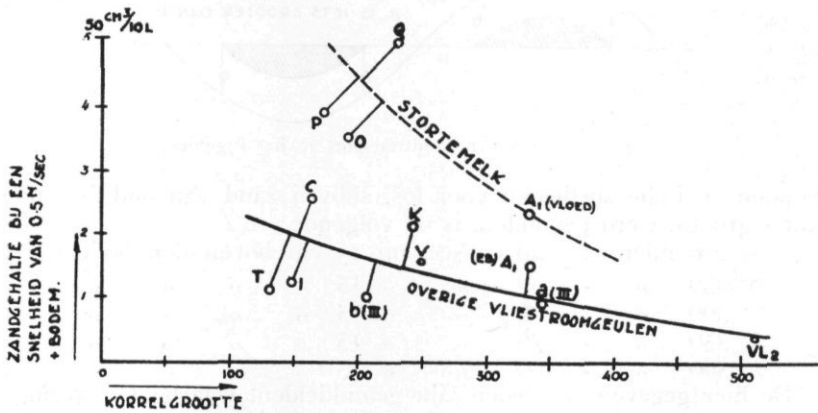


Fig. 5. Zandgehalten bij verschillende zandsoorten en gelijke snelheden.

dus een maat voor de grootte der plaatselijke turbulentie. Deze turbulentie is ook de oorzaak, dat de stroomen onrustig zijn. Veelal meet men schommelingen in den stroom van een periode van ongeveer 1 à 2 minuten en met uitwijkingen van $\pm 10\%$ buiten het gemiddelde. De schommelingen geschieden overigens zeer willekeurig en onregelmatig.

In het algemeen neemt het zandgehalte op 10 cm boven den bodem toe met de 3^e à 5^e macht van de snelheid (op 15 cm boven den bodem). Bij krachtige stroomen is er dus veel meer zand in beweging dan bij zwakke. Ook de opwerveling boven den bodem is bij groote snelheden aanzienlijker dan bij kleine.

Uitschuring en aanzanding. Groote bodemstroomen zijn overigens niet steeds een teeken van uitschuring. Immers voor een riviervak beteekent uitschuring uitsluitend, dat de zandstroom er toeneemt; gelijk aanzanding een aanduiding is, dat de zandstroom er zand verliest. Omdat zandstroomen sterk afhankelijk zijn van de bodemstroomen, hangt uitschuring en aanzanding dus af van de snelheids-

veranderingen in horizontalen zin en niet zoozeer van het al of niet bereiken der critische snelheden.

Veelal wenscht men noch uitschuring, noch aanzanding, met andere woorden, men wenscht een constanten zandstroom over de geheele lengte der rivier. Hiervoor moeten de bodemstroomen regelmatig zijn. Oppervlakkig beschouwd wil de natuur daartoe wel meewerken. Gesteld bv. dat op een bepaalde plaats bijzonder sterke bodemstroomen voorkomen, dan wordt deze plaats uitgeschuurd, totdat een voldoende profiel bereikt is en de bodemstroomen afnemen tot het bedrag, benoodigd voor het onderhouden van den constanten zandstroom. Omgekeerd zou de bodem eener kuil ophoogen, indien aldaar bij een zandafvoerende rivier plaatselijk abnormaal geringe bodem-

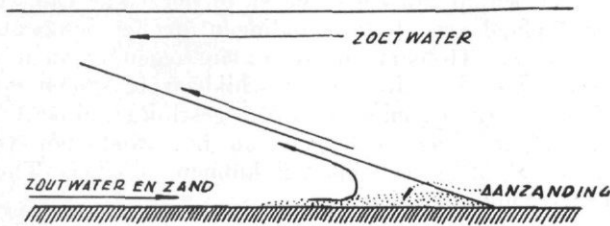


Fig. 6. Schematische voorstelling van het ontstaan der verticale neer in den „zoutwaterwig”.

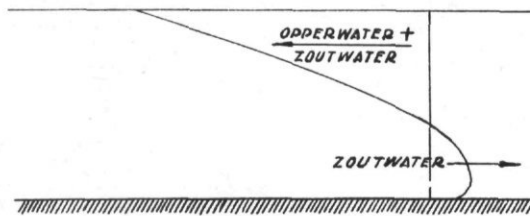


Fig. 7. Reststroomen in een verticaal van een riviermond.

snelheden voorkwamen. Evenwel wordt deze *zelfreguleerende* neiging tegengewerkt door een andere neiging, die soms min of meer rhythmisch van natuur is. Het vormen van bodemgolven en het slingeren van rivieren, met als gevolg daarvan afwisselende kolk- en drempelvorming, valt daaronder. Deze fenomenen zijn nog vrijwel niet onderzocht. Bij de eerstgenoemde neiging heerscht een *zelfdempend* principe, bij de laatste een *zelfversterkend*. Het ingrijpen van den mensch schijnt zich ten doel te moeten stellen de zelfreguleerende eigenschappen der stroomen te steunen en het „uit den band willen springen” tegen te gaan. („normaliseeren”).

In het tijgebied zijn de zandstroomen te vergelijken met de voortbeweging van materiaal op een schudzeef. In het nabij de zee gelegen gedeelte van het tijgebied, dat bekend staat als het brakwatergebied, bestaan eb- en vloedstroomen, waarbij nabij den bodem de vloedstroomen overheerschen.

De verschillen in soortelijk gewicht van zout- en zoetwater veroorzaken in dit brakwatergebied namelijk den bekenden onder-vloed, welke laatste op zijn beurt weer als de oorzaak van den zand-stroom uit zee naar binnen kan worden beschouwd. Men stelle zich daarbij een wigvormige zoutwatermassa voor, waarbij in het grens-vlak tusschen zout- en zoetwater een menging plaats vindt en dus zout water in de bovenste waterlagen naar zee wordt vervoerd (fig. 6). Een aanvullende zoutwaterstroom langs den bodem, welke ongelukkigerwijs veel zand en slib bevat, zorgt er voor, dat de „wig” aanwezig blijft (fig. 7). De eb- en vloedbeweging verandert weinig aan dit beginsel, daar zij bij de reststroomen gesuperponeerd mag worden gedacht. Er is hier dus een *verticale neer*, die men naar het schijnt niet met behulp van kunstwerken of dergelijke kan weren. De eenige mogelijkheid om de aanzandingen in het brakwatergebied tusschen Hoek van Holland en Rotterdam tegen te gaan zou zijn *zandvrij* zout water in den mond beschikbaar te stellen voor deze neer. Het is de vraag of men dit door een geschikten uitbouw van den mond in zee of door het vastleggen van het zanddepôt voor den mond ooit geheel of gedeeltelijk zal kunnen bereiken. Theoretisch bestaat die mogelijkheid zeker.