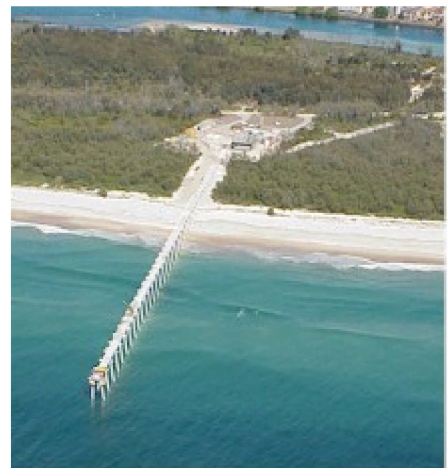
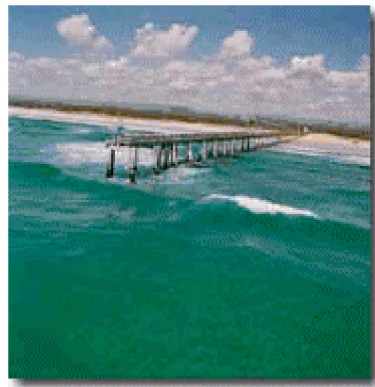
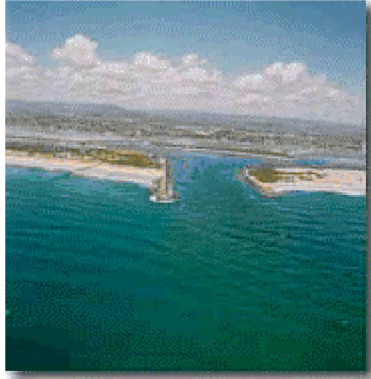


Titelpagina

Afstudeerscriptie voor de studie Civiele Techniek aan de Technische
Universiteit te Delft, sectie Waterbouwkunde en Offshore



Titel: Sand bypass systemen
Datum: juni 2002
Auteur: ing. J. Scholten
Afstudeercommissie: prof. dr. ir. M.J.F. Stive [voorzitter]
dr. ir. J. van de Graaff
ir. G.L.M. van der Schrieck
ir. C. van Rhee

u'
D'
Oud Afrikaans gezegde

Voorwoord

Amices,

Deze scriptie is de tastbare uitkomst van mijn afstudeerproject en vormt tevens de afsluiting van mijn studie in Delft. Wat in een dergelijk document niet tot uiting komt zijn de talloze doorhalingen, nieuwe pogingen tot herformulering en herstructurering en de tussentijdse inhoudelijke aanpassingen. En dat is een goed ding. Dergelijke ervaringen zijn voor mij namelijk onontbeerlijke leermomenten geweest die kenmerkend en, naar mijn bescheiden mening, ook onmisbaar zijn in het verloop van een afstudeeropdracht. Voor de lezer vormen ze echter onnodige ballast. Ik hoop en verwacht dan ook dat de geïnteresseerde lezer gedurende het tot zich nemen van het geschrevene een geïnteresseerde lezer blijft.

Een woord van dank voor de begeleiding tijdens de voornoemde leermomenten is hier dan ook op zijn plaats. Dat gaat vooral uit naar de leden van mijn afstudeercommissie, te weten professor Stive, de heer van de Graaff, de heer van der Schrieck en de heer van Rhee. Allen hebben zij bijgedragen aan een verantwoordelijke en zo volledig mogelijke inhoud die op een logische wijze wordt gepresenteerd.

Verder wil ik mijn vriendin Sofia en mijn ouders bedanken alsmede vele studiegenoten die ik tijdens mijn studie in Delft vrienden mocht gaan noemen. Hun belangrijkste aandeel tijdens dit afstudeerproject [dat hen wellicht volledig ontgaan is] was dat ze mij deden beseffen dat er naast de studie ook nog andere zaken in het leven van belang zijn. Een ieder die een dergelijk afstudeerproject heeft afgerond zal, volgens mij, onderweg momenten hebben gekend van lichte wanhoop. In mijn geval was dat niet anders. Het is dan goed om mensen om je heen te hebben die je in staat stellen om je aandacht te verleggen. Nadien terugkeren naar het afstudeerproject met een frisse blik heeft meerdere malen voor nieuwe impulsen gezorgd.

Tot slot nog een laatste opmerking na een periode van circa acht jaar studeren: het is mooi geweest en het is mooi dat het geweest is.

Jeroen Scholten
Delft, donderdag 6 juni 2002

Samenvatting

Wanneer aan een zandige kust, waar sprake is van langtransport, een haven wordt aangelegd is het gevolg dat aan de bovenstroomse zijde van de ingang een aanzandingsgebied ontstaat en dat aan de benedenstroomse zijde erosie optreedt. Uiteindelijk groeit het aanzandingsgebied aan de bovenstroomse zijde uit tot het einde van de golfbreker en neemt de benedenstroomse erosie steeds meer land weg. Wanneer niet wordt ingegrepen buigt het langtransport om de golfbreker heen en bereikt de vaargeul, die hierdoor steeds ondieper wordt. Dit kan voorkomen worden met een sand bypass systeem.

Een sand bypass systeem vangt het langtransport op of wint het zand op een plek waar het bezinkt. Vervolgens wordt dat zand naar een locatie gebracht waar het gewenst is. Het zand wordt eigenlijk altijd op die plek gestort waar erosie plaatsvindt. Zo wordt met aangezand materiaal erosie gecompenseerd en wordt sedimentatie van de vaargeul voorkomen.

De studie richt zich op de vraag *hoe* een sand bypass systeem dient te worden ontworpen. Daartoe worden eerst enkele hoofdzaken uit de theorie omtrent kustmorfologie behandeld en wordt de huidige stand van de techniek van sand bypass systemen geïnventariseerd.

Uit die inventarisatie worden zeven aansprekende systemen nader geanalyseerd. Daarbij worden de aanleiding voor het toepassen van het sand bypass systeem, de karakteristieke onderdelen, de werkwijze, de effectiviteit en de optredende problemen besproken. Tenslotte worden producties en kosten zo goed mogelijk in kaart gebracht. Op basis van deze praktijkervaringen worden een aantal conclusies getrokken.

Vervolgens wordt een kwalitatieve ontwerprichtlijn gegeven voor het ontwerpen van een sand bypass systeem. Dit wordt gedaan aan de hand van twee fictieve situaties waardoor zoveel mogelijk aspecten ter sprake komen die zich in een praktijksituatie zouden kunnen voordoen. Eén situatie beschrijft de implementatie van een systeem waarbij nog geen buffer van zand aan de bovenstroomse zijde van een haveningang is opgebouwd. De andere situatie gaat juist van een opgebouwde buffer uit. In die eerste situatie wordt aandacht besteed aan de omvang en route van het langtransport, de locatie van de zandvang en de capaciteit daarvan, het vulproces en het winproces in de zandvang en de locatie van het stort. In het tweede geval wordt voornamelijk besproken hoe vanuit de opgebouwde buffer zand kan worden onttrokken.

Ten slotte wordt een rekenkundig model gepresenteerd dat het vulproces van een zandvang modelleert. Daarmee wordt het invangpercentage bepaald van een geulvormige zandvang; dat is hoeveel procent van een aankomende sedimentstroom zal bezinken in de zandvang. De belangrijkste grondslag is dat de dissipatie van turbulente energie, die vrijkomt door het breken van golven, de bepalende factor is voor dat invangpercentage. Dit komt in het model tot uiting als de invloed op het in suspensie komen van sediment.

Uit de praktijkvoorbeelden van sand bypass systemen kwam met name naar voren dat het kennen van de grootte en de route van het langtransport het succes van een systeem vergroot. Daarnaast bleken flexibiliteit en reikwijdte van toegepast materieel vaak onvoldoende.

Van de modellering van het vulproces van een zandvang is met behulp van proces- en ontwerpparameters aangetoond dat het de fysische principes goed weergeeft.

Een aanbeveling is dat een heldere probleemdefinitie, gecombineerd met een goede [model]studie naar de grootte en de route van het langtransport, leiden tot goede alternatieven. Van de modellering dient de invloed te worden nagegaan van de afwijkende dwarsdoorsnede van een zandvang in de praktijk en die van de gebruikte definitie-schets. Een zandvang in de praktijk dient met een bepaalde overcapaciteit te worden gedimensioneerd om voldoende productie te kunnen combineren met een invangpercentage van 100 %.

Summary

The construction of a harbour, accompanied by jetties that protect the entrance channel, forms an obstruction for the longshore transport. The result will be accretion of sand on the updrift side and erosion of land on the downdrift side. Ultimately, the accretion will reach the end of the jetty and the longshore transport will be able to reach the entrance channel that starts shoaling. A possible countermeasure lies in the application of a sand bypass system.

A sand bypass system traps the longshore transport or gathers it otherwise at a certain spot. From there the sand is picked up and [usually] delivered to the spot where erosion takes place. In this way, sand from the accretion is used to fight erosion and shoaling of the entrance channel.

This thesis concerns the deliberations made to answer the question *how* to design a sand bypass system. After highlighting some of the theoretical aspects of coastal morphology an inventarisation is given on the nowadays standard of technique of sand bypass systems.

Seven of the inventarised systems are analysed more thoroughly. This means that the reason to apply a sand bypass system, the characteristic elements, how it works, effectiveness and occurring problems are being discussed. After that the productions and costs are presented, as far as possible with the available information. At the end some general conclusions are given based on these experiences.

After that a guidance is given concerning the design of sand bypass systems. This is done with the help of two artificial situations. In the first setting no sand has accreted. In the other situation, on the contrary, a vast area of sand has accreted and a lot of erosion took place. By discussing these two circumstances [and how to apply a sand bypass system in such a situation] most of the possible occurring problems during the designing of a sand bypass system are deliberated. In the first setting attention is paid to size and route of the longshore transport, location of the sand trap and its capacity, the infilling process and the dredging process of a sand trap and the location of the dumping site. The second situation mainly deals with the approach of the accreted sand.

In the end a mathematical model is given that calculates the infilling process of a sand trap that has the form of a channel. For this kind of sand trap a so called 'trapping ratio' is determined. That means how many percent of the incoming longshore transport is caught by the sand trap. In this model the main idea is that the turbulent energy, produced by the breaking of waves, represents how much sand will be trapped. The influence of this turbulent energy is expressed in how much sand comes into suspension.

From the sand bypass systems in practice it became clear that being able to predict the size and routing of the longshore transport increases the succes of a system. Besides that, also the flexibility and the reach of some of the systems proved to be too small.

The mathematical model is analysed by process and design parameters and proved to give physically logical results.

It's recommended to define the problem, for which the sand bypass system has to form a solution, very well. This, in combination with a good prediction of the size and route of the longshore transport, is the starting point for a well designed system.

Before the described model can be used, it is necessary to find out what the exact influence is of the profile of a sandtrap, compared to the profile used in the model. In general, a sandtrap should be over sized to combine an acceptable production level with a trapping ratio of 100 %.

Inhoudsopgave

Titelpagina	i
Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
Summary	iv
Inhoudsopgave	v
1 Inleiding	1
1.1 Algemene beschrijving	1
1.2 Opdrachtoomschrijving	2
1.3 Leeswijzer	3
2 Theorie	4
2.1 Golven	4
2.1.1 Shoaling, bodemwrijving en breken	4
2.1.2 Refractie	5
2.1.3 Diffractie	6
2.1.4 Golfspanning	6
2.1.5 Golf set-down	7
2.1.6 Golf set-up	7
2.1.7 Retourstroom en muistroom	7
2.1.8 Langsstroming	8
2.2 Sedimenttransport	8
2.2.1 Dwarstransport	9
2.2.2 Afsluiting	9
3 Inventarisatie sand bypass systemen	10
3.1 Vaste systemen	12
3.1.1 Vast systeem met iet-pompen	12
3.1.2 Vast systeem met ietpompen en fluidizer	13
3.1.3 Vast systeem met pomphuis en zuigbuis	14
3.1.4 Vast systeem met een draaglijn	15
3.2 Mobiele systemen	15
3.2.1 Systemen met een mobiele landinstallatie	15
3.2.2 Systemen met drijvende installaties	16
3.3 Overige systemen	19
3.3.1 Weir systems	19
3.3.2 Losse golfbreker	20
3.4 Theoretisch alternatief	21
3.5 Samenvatting	21
4 Nadere analyse selectie sand bypass systemen	23
4.1 Nerang River	23
4.1.1 Langstransport	26
4.1.2 Zandvang	26
4.1.3 Producties	26
4.1.4 Kosten	27
4.2 Ocean Side Harbour	28
4.2.1 Langstransport	30
4.2.2 Zandvang	30
4.2.3 Producties	30
4.2.4 Kosten	31
4.3 South Lake Worth Inlet	31
4.4 Indian River Inlet	33
4.4.1 Langstransport	35
4.4.2 Zandvang	35
4.4.3 Producties	35
4.4.4 Kosten	36
4.5 Rudee Inlet	36
4.5.1 Langstransport	37
4.5.2 Producties en kosten	37

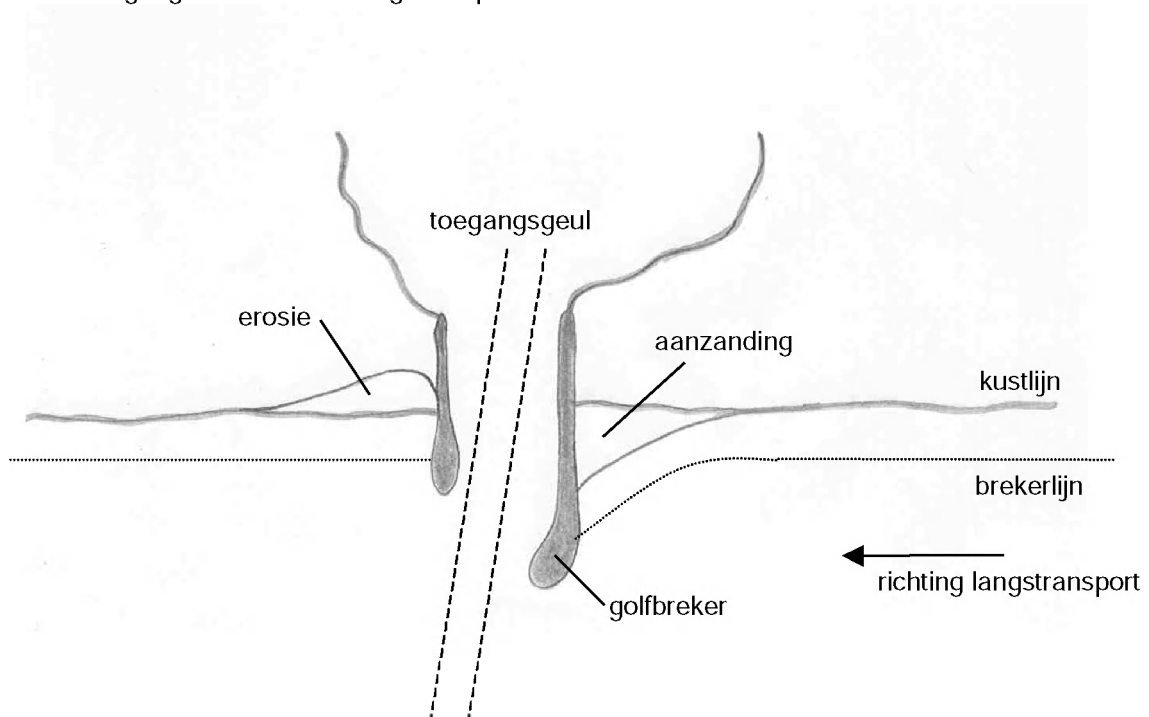
4.6	Port Sanilac	38
4.7	Shinnecock Inlet	39
4.8	Geleerde lessen uit de praktijk	40
5	Ontwerprichtlijn sand bypass systemen	41
5.1	Implementatie sand bypass systeem zonder opbouw buffer	41
5.2	Implementatie sand bypass systeem na opbouw van een buffer	43
5.3	Kwantificering situatie zonder buffer	43
5.3.1	Definities	44
5.3.2	Sedimenttransport	44
5.3.3	Locatie zandvang	44
5.3.4	Grootte zandvang	45
5.3.5	Vulproces van een zandvang	46
5.3.6	Winproces in een zandvang [van der Schrieck, 2001]	46
5.3.7	Locatie stort	50
5.4	Kwantificering situatie met buffer	51
5.4.1	Vanuit zee de aanzanding afgraven	54
5.4.2	Werken in de aanzanding	54
5.4.3	Werken vanaf de kop van de golfbreker	55
5.4.4	Een gat voor de kust graven	55
5.4.5	Onderhoudsbaggerwerk in de vaargeul	55
5.4.6	Met drijvende pomp voor de aanzanding	55
6	Modellering sedimentatie zandvang	56
6.1	Het Kraus & Larson model [12]	57
6.1.1	Turbulente diffusie	60
6.1.2	Dilemma rondom k_d	62
6.1.3	Procesparameters en ontwerpparameter	63
6.1.4	Nadere beschouwing procesparameters en ontwerpparameter	65
6.1.5	Afsluiting	67
7	Conclusies en aanbevelingen	69
7.1	Conclusies	69
7.1.1	Conclusies uit de praktijk	69
7.1.2	Conclusies uit de theoretische beschouwingen	69
7.1.3	Conclusies uit analyse van de modellering van het vulproces	70
7.2	Aanbevelingen	70
8	Literatuuropgave	71
8.1	Referenties	72
8.2	Internet	75

1 Inleiding

Als eerste zullen de grondslagen van een sand bypass systeem worden toegelicht. Daarna wordt de doelstelling van het afstudeerwerk beschreven. Met de behandeling van de opbouw van het gehele afstudeerverslag wordt deze inleiding afgesloten.

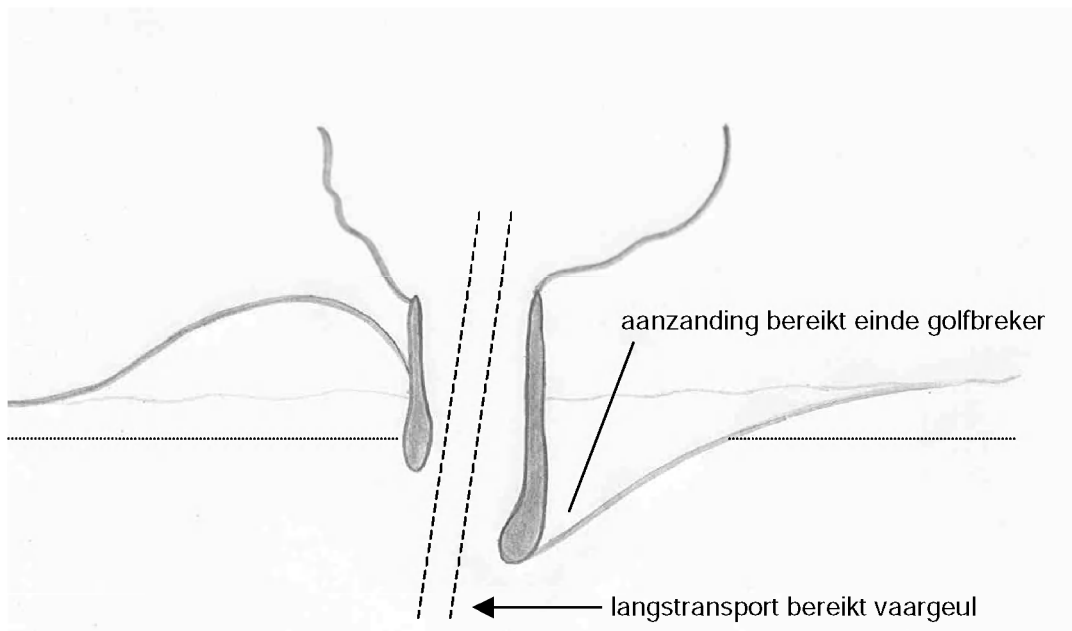
1.1 Algemene beschrijving

Langs zandige kusten vindt onder invloed van scheef invallende golven sedimenttransport langs de kust plaats. Menselijke invloeden op een kust kunnen de oorzaak zijn van de verstoring van dit langtransport. Een sprekend voorbeeld hiervan is de aanleg van een haven. In het algemeen zal de ingang van een haven gevormd worden door een toegangsheul die op haar beurt wordt beschermd door twee golfbrekers. De golfbrekers verstoren het langtransport. Gevolg is dat de bovenstroomse golfbreker het langtransport tegenhoudt en zo een aanzanding veroorzaakt. Benedenstrooms van de golfbrekers wordt het natuurlijke langtransport hervat, maar nu zonder aanvoer van sediment uit een bovenstrooms transport. In plaats van deze aanvoer wordt nu zand onttrokken aan het strand. Erosie is het gevolg. Figuur 1.1 geeft een typisch beeld dat zich ontwikkelt na de aanleg van een haveningang waardoor het langtransport wordt onderbroken.



Figuur 1.1 Typisch beeld na aanleg haveningang

Wanneer niet wordt ingegrepen in de geschetste situatie in figuur 1.1 kan na verloop van tijd de sedimentatie tegen de bovenstroomse golfbreker het einde daarvan bereiken. Tegelijkertijd zal aan de benedenstroomse zijde het erosiegebied steeds groter worden. De sedimentstroom van het langtransport kan dan, om de kop van de golfbreker, de vaargeul bereiken. Hierdoor vindt nu ook sedimentatie van materiaal uit het langtransport plaats in de vaargeul. Deze situatie is in figuur 1.2 weergegeven.



Figuur 1.2 Langtransport veroorzaakt aanzanding toegangseul

Afhankelijk van de lokale situatie zal één van de optredende verschijnselen [de bovenstroomse aanzanding, de benedenstroomse erosie of het aanzanden van de vaargeul] ingrijpen noodzakelijk maken.

Een sand bypass systeem is een oplossing voor deze problematiek. Dit systeem vangt het zand langtransport op of wint het zand op een plek waar het sedimenteert. Vervolgens wordt het zand naar een locatie gebracht waar het gewenst is. Dit gebeurt meestal met pompinstallaties, maar ook andere oplossingen [mechanisch, vervoeren over water] zijn denkbaar. Het zand wordt eigenlijk altijd op die plek gestort waar erosie plaatsvindt. Er worden op deze manier twee vliegen in één klap geslagen. Aangezand materiaal wordt gebruikt om erosie elders te compenseren en sedimentatie van de vaargeul, vanuit het langtransport, wordt voorkomen.

Het omleiden van zand door een sand bypass systeem kan in principe ook worden verzorgd door conventioneel baggerwerk. Er wordt dan periodiek gebaggerd in het aanzandingsgebied. Een groot voordeel hierbij is dat de vaarwegbeheerder geen investeringskosten en onderhoudskosten voor een bypass systeem hoeft op te brengen. Nadelen van deze aanpak kunnen zijn dat de scheepvaart hinder ondervindt van de baggerwerkzaamheden en dat de aanzandingen dicht aan de kust moeilijk of niet weg te halen zijn. Deze laatste twee nadelen worden opgeheven door een sand bypass systeem.

Hiermee is het dilemma omtrent deze systemen in de praktijk geschetst. In essentie is de vraag altijd of het de [financiële] moeite loont om een systeem aan te leggen, als tegenhanger van periodiek baggerwerk.

Geheel los hiervan staat de vraag *hoe* een goed werkend sand bypass systeem ontworpen dient te worden. Het afstudeerwerk zal zich met name bezighouden met de beantwoording van deze laatste vraag, niet met de vraag of er een sand bypass systeem dient te worden toegepast in een gegeven situatie.

1.2 Opdrachtschrijving

Na een beschrijving van de bepalende morfologische processen en algemene beschouwing over sand bypass systemen wordt de huidige stand van de techniek geïnventariseerd. Van een selectie van de geïnventariseerde systemen worden vervolgens de werkwijze en de effectiviteit nader geanalyseerd.

Aansluitend wordt een ontwerprichtlijn voor de aanleg van een sand bypass systeem opgesteld aan de hand van twee specifieke situaties. Tenslotte wordt de fysica van een geulvormige zandvang in de branding gemodelleerd.

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding worden, in vogelvlucht, enkele theorieën over en begrippen uit de bepalende morfologische processen behandeld. In het daarop volgende hoofdstuk 3 wordt, na een korte inleiding over verschillende typen en concepten, een inventarisatie gegeven van bestaande sand bypass systemen. Een selectie van die geïnventariseerde systemen wordt in hoofdstuk 4 nader geanalyseerd. Als afsluiting van hoofdstuk 4 worden de 'geleerde lessen uit de praktijk' opgesomd.

In hoofdstuk 5 worden de kritieke keuzes toegelicht die gemaakt dienen te worden bij het implementeren van een sand bypass systeem. Dit gebeurt aan de hand van twee specifieke situaties waarmee getracht is om zoveel mogelijk aspecten, die zich in een praktijksituatie zouden kunnen voordoen, toe te lichten. Hoofdstuk 6 behandelt de modellering van een zandvang in de branding in de vorm van een geul haaks op de kust, die loodrecht wordt genaderd door het langstransport. In hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen genoemd. De referenties worden in hoofdstuk 8 weergegeven. Daarin is onderscheid gemaakt tussen literatuurbronnen en internetbronnen. De laatste worden in de tekst vermeld met de letter I gevolgd door een cijfer. Andere referenties worden met een naam en een jaartal aangegeven.

2 Theorie

In dit hoofdstuk worden in vogelvlucht enkele achtergronden behandeld van de kustmorfologie. Het onderwerp van deze studie speelt zich vrijwel volledig af in de brandingzone. Daar geldt voor het sedimenttransport dat de invloed van brekende golven op het langtransport domineert. In dieper water, veel verder uit de kust, wordt het sedimenttransport vooral door getijstromingen beïnvloed. De hoeveelheid zand die door het getij en de wind wordt verplaatst is soms klein vergeleken met het langtransport dat door de scheef invallende, brekende golven wordt veroorzaakt. In dit hoofdstuk wordt de invloed van het getij op het sedimenttransport buiten beschouwing gelaten.

2.1 Golven

De invloed van golven op het dynamische gedrag van een kust is van wezenlijk belang. In de directe omgeving van die kust wordt een groot deel van de golfenergie gedissipeerd. Golven in de kustzone zijn onderhevig aan shoaling, bodemwrijving, breking, refractie en diffractie.

2.1.1 Shoaling, bodemwrijving en breken

Een golf die zich voortbeweegt in water dat geleidelijk ondieper wordt, ondervindt invloed van de bodem[wrijving] vanaf het moment dat de waterdiepte minder is dan de halve golflengte. Naarmate het water ondieper wordt, neemt de amplitude van de golf eerst af en vervolgens toe. De golf wordt zogezegd steiler. Dit proces houdt aan totdat de golf te hoog wordt en breekt. De lijn langs de kust, waarop de golven beginnen te breken wordt de brekerlijn genoemd. De shoalingfactor is gedefinieerd als de verhouding tussen de golfgroepsnelheden op diep water [aangegeven met index 0] en ondieper water [index 1].

$$K_s = \sqrt{\frac{c_{g,0}}{c_{g,1}}} \quad (2.1)$$

waarin:

- K_s = shoalingfactor [-]
- $c_{g,0}$ = golfgroepsnelheid op diep water [m/s]
- $c_{g,1}$ = golfgroepsnelheid in ondieper water [m/s]

Door de golven sinusvormig voor te stellen kunnen de volgende uitdrukkingen worden afgeleid voor de golfenergie (2.2) en het golfvermogen (2.3). Het golfvermogen is een uitdrukking voor de mate waarin golfenergie wordt doorgegeven in de richting van de golfvoortplanting, door een vertikaal vlak van bodem tot waterspiegel, loodrecht op de golfvoortplantingsrichting. Voor de golfenergie geldt dan:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2.2)$$

waarin:

- E = golfenergie [J/m²]
- ρ = massadichtheid van water [kg/m³]
- g = zwaartekrachtversnelling [m/s²]
- H = golfhoogte [m]

Voor het golfvermogen kan dan worden afgeleid:

$$U = Ec_g \quad (2.3)$$

waarin :

U = golfvermogen per eenheid van golfkambreedte [J/ms]

E = golfenergie [J/m^2]

c_g = groepsnelheid van de golven [m/s]

De verhouding tussen de golfhoogte van de brekende golf en de diepte van het water waarin de golf breekt is de brekerindex. De als index gebruikte b geeft aan dat het om verschijnselen rondom de rand van de brekerzone gaat. De brekerzone is gedefinieerd als het gebied tussen de brekerlijn en de waterlijn.

$$\gamma = \frac{H_b}{h_b} \quad (2.4)$$

waarin :

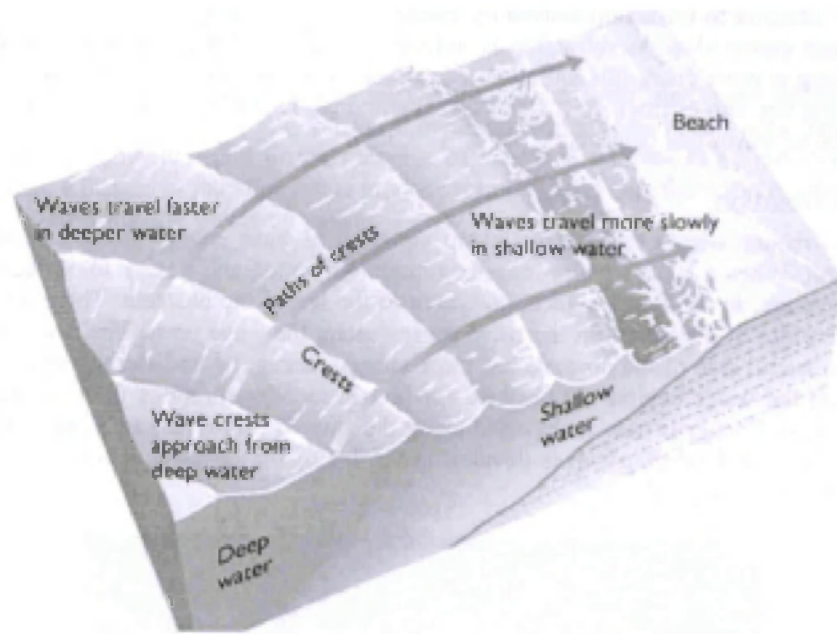
γ = brekerindex [-]

H_b = golfhoogte t.p.v. de brekerlijn [m]

h_b = diepte t.p.v. de brekerlijn [m]

2.1.2 Refractie

Ten opzichte van de kustlijn schuin invallende golfkammen buigen naar de kustlijn toe wanneer ze door ondieper water bewegen, dit wordt refractie genoemd. Hierdoor zijn de golfkammen ter hoogte van de waterlijn nagenoeg parallel aan de kustlijn. Door de schuine inval komt een deel van de golfkam eerder in ondieper water aan waardoor de lokale golfsnelheid afneemt. De rest van de golfkam beweegt nog door dieper water met een grotere snelheid. Hierdoor draait de golfkam als het ware om het punt van laagste snelheid en buigt naar de kust toe, zie figuur 2.1.



Figuur 2.1 Refractie van inkomende golven [Davis, 1997]

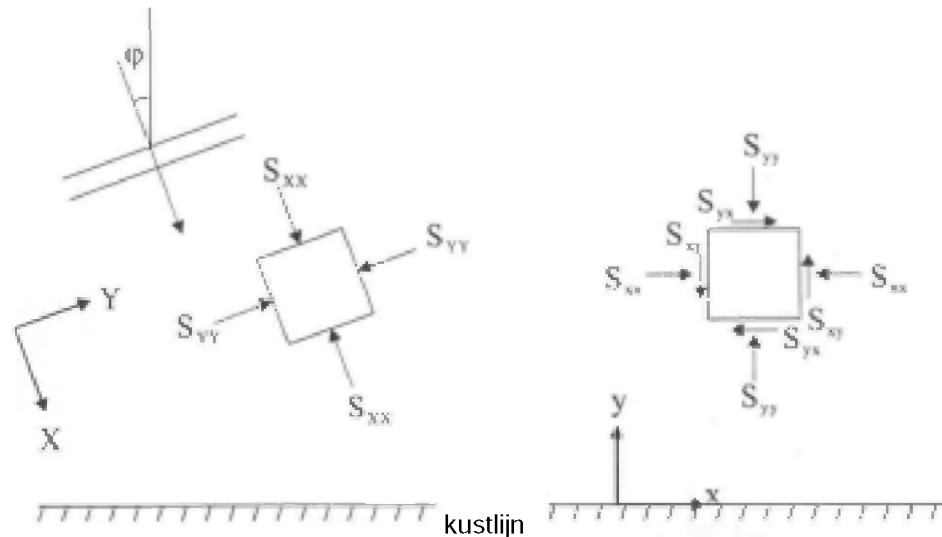
2.1.3 Diffractie

Wanneer een golfkam een obstakel in het water nadert buigt deze om de randen van het obstakel heen. Dit verschijnsel wordt diffractie genoemd. Dit speelt o.m. een belangrijke rol in de luwte van een haveningang waar een sand bypass systeem werkzaam is.

2.1.4 Golfspanning

Wanneer golven de brekerzone naderen zorgen ze niet alleen voor een transport van energie. Daarnaast brengen ze ook horizontale impuls mee. Deze bijdrage van horizontale impuls wordt golfspanning genoemd. Variaties in golfspanning dragen zorg voor het ontstaan van verhangen in de waterspiegel en een stroming langs de kust.

Figuur 2.2 laat twee bovenaanzichten zien van de brekerzone met schuin invallende golven. In de linker afbeelding zijn de golfspanningen in de golfvoortplantingsrichting getekend op een waterkolom met een oriëntatie die is ingericht naar de golfbeweging. Hierin is de golfvoortplantingsrichting, de x-as, aangegeven met een hoofdletter X. De normaal op die richting is de y-as, aangegeven met een hoofdletter Y. In de rechter afbeelding staan de krachten zoals ze werken op een waterkolom met een oriëntatie die overeenkomt met de kustlijn. Het assenstelsel is daarbij met kleine letters x en y aangeduid om onderscheid te maken met de oriëntatie van de linkerfiguur.



Figuur 2.2 Tekenafspraken golfspanning

De volgende vergelijkingen zijn van toepassing:

$$S_{XX} = (2n - \frac{1}{2})E \quad (2.5)$$

$$S_{YY} = (n - \frac{1}{2})E \quad (2.6)$$

waarin :

S_{XX} = golfspanningscomponent in de richting van de golfvoortplanting [N/m]

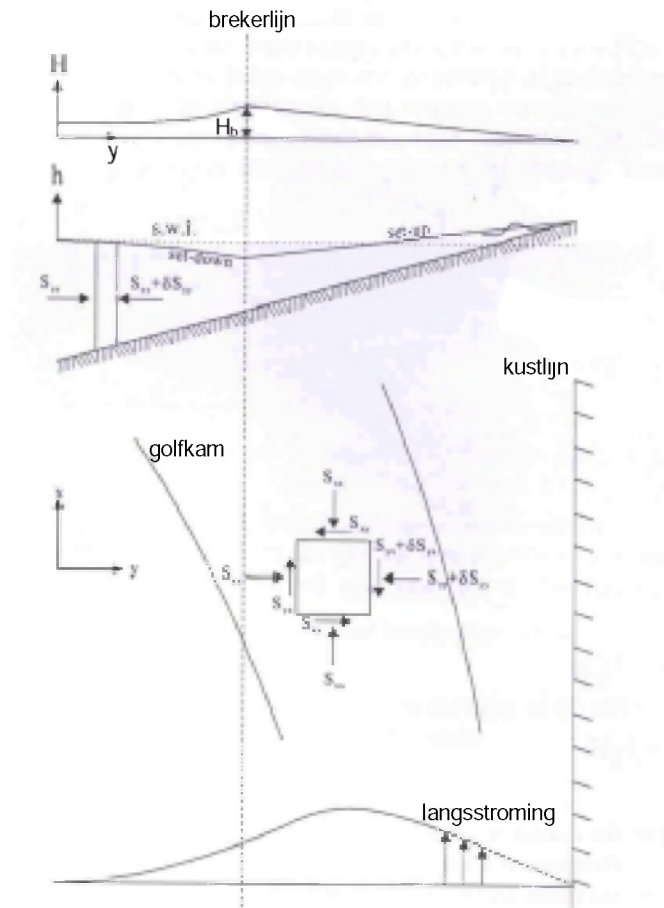
S_{YY} = golfspanningscomponent parallel aan de golfkammen [N/m]

n = verhouding golfgroepsnelheid/golfsnelheid [-]

E = golfenergie [J/m^2]

2.1.5 Golf set-down

Shoaling heeft een verandering van de golfspanningscomponent S_{yy} [zie figuur 2.2 en 2.3] tot gevolg. Deze ontstane gradiënt is net buiten de brekerzone positief. Door deze positieve gradiënt ontstaat een netto kracht op een waterkolom. Deze wordt gecompenseerd door een negatieve drukgradiënt; een negatief verhang in de waterspiegel. Het negatieve verhang wordt aangeduid met de term golf set-down. Dit verhang manifesteert zich van een afstand buiten de brekerzone waar shoaling begint, tot de brekerlijn.



Figuur 2.3 Golf set-up, golf set-down en langsstroming

2.1.6 Golf set-up

Ter hoogte van de brekerlijn tot de waterlijn breken de golven, neemt de golfhoogte af en ontstaat een negatieve gradiënt van S_{yy} in de y -richting. Deze wordt gecompenseerd door een positieve drukgradiënt, een positief verhang in de waterspiegel. Deze waterstandverhoging manifesteert zich vanaf de brekerlijn tot de waterlijn. Dit wordt golf set-up genoemd. Deze waterstandverhoging staat geheel los van het opstuwen van water door wind. Figuur 2.3 geeft schetsmatig de golf set-down en de golf set-up in een dwarsprofiel aan.

2.1.7 Retourstroom en muistroom

De golven veroorzaken een massatransport van water in de richting van de kust. Als gevolg hiervan vindt onderin de waterkolom een retourstroom plaats van water in de richting van de zee. Dit treedt langs de gehele kust op.

Muistromen zijn op min of meer regelmatige afstanden geconcentreerde retourstromen en daarmee een meer plaatsvast verschijnsel.

2.1.8 Langsstroming

Naast de golfspanningscomponent S_{yy} die voor variaties in de waterspiegel zorgt in een richting haaks op de kust, is er nog een belangrijke component; die in de parallelle richting van de kust. Wanneer in een bovenaanzicht van de brekerzone een kolom water wordt beschouwd dan is er sprake van een gradiënt van de S_{yx} component in een richting haaks op de kust. Dit wordt veroorzaakt door een afname van de golfhoogte. Waar de gradiënt in S_{yy} werd gecompenseerd door verhangen in de waterspiegel, zorgt de S_{yx} gradiënt voor de aandrijvende kracht van een stroming langs de kust. Voor die S_{yx} component geldt:

$$S_{yx} = En \sin(\varphi) \cos(\varphi) \quad (2.7)$$

waarin :

S_{yx} = golfspanningscomponent [N/m]

E = golfenergie [J/m^2]

n = verhouding golfgroepsnelheid/golfsnelheid [-]

φ = hoek waaronder de golven op de kust invallen [$^\circ$]

Door de verandering van deze golfspanningscomponent langs de y-as [zie figuur 2.2], dat wil zeggen de gradiënt $\frac{dS_{yx}}{dy}$, gelijk te stellen aan de opgewekte bodemschuifspanning kan de

snelheid van de langsstroming worden berekend. Hier zal daar niet verder op worden ingegaan. Vermeld wordt nog dat een loodrechte inval van golven op een kust geen langsstroming tot gevolg heeft, zoals ook blijkt uit de aanwezigheid van de hoek van inval φ in de formule.

2.2 Sedimenttransport

Golven zorgen, naast de besproken langsstroming, ook voor opwoeling van sediment als gevolg van de orbitaalbeweging. Er is sprake van een concentratie doordat de golven materiaal in suspensie brengen en er is sprake van een stroming die zorg kan dragen voor het transport van dat materiaal. Door de combinatie van concentratie en stroming wordt sedimenttransport mogelijk. Er zijn verschillende theorieën beschikbaar als het gaat om het berekenen van dit transport. Met name numerieke modellen werken met uitgebreide formules. Voor een eerste indicatie kan echter gebruik worden gemaakt van de zogeheten CERC-formule. Deze formule is ontwikkeld door de Coastal Engineering Research Center. De formule is gebaseerd op het concept dat de aanwezige golfenergie zorg draagt voor het sedimenttransport in de brekerzone. Als uitkomst geeft de formule het *totale* sedimenttransport. Er is dus geen specificatie mogelijk in de vorm van een concentratieprofiel bijvoorbeeld. Binnen dit concept zijn allerlei varianten denkbaar door verschillende karakteristieke golfhoogten te gebruiken. Hier zal verder niet op worden ingegaan. Een gangbare vorm van de formule luidt:

$$S_x = 0,020 \cdot (H_0)^2 \cdot c_b \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \sin(\varphi_0) \quad (2.8)$$

waarin :

S_x = het totale sedimenttransport in langsrichting van de kust [m^3/s]

H_0 = de golfhoogte in diep water [m]

c_b = de golfsnelheid t.p.v. de brekerlijn [m/s]

φ_0 = de hoek van inval van de golven in diep water [$^\circ$]

2.2.1 Dwarstransport

Er zijn diverse formules ontwikkeld die een benadering geven van het dwarstransport van sediment. Dit transport wordt onder meer door de volgende verschijnselen veroorzaakt:

- het niet symmetrisch zijn van golven
- een stroming dwars op de kust [getij of muistroom]
- helling van de bodem

Een veelal geaccepteerd uitgangspunt in modellen die dwarstransport beschrijven is dat er een evenwichtsprofiel wordt nagestreefd door het kuststelsel. De mate waarin het huidige profiel afwijkt van het evenwichtsprofiel is een indicatie voor de grootte van het dwarstransport. Bekende analytische modelleringen van het dwarstransport zijn die van Bakker en Swart. Dwarstransport kan tevens gesimuleerd worden met numerieke modellen zoals UNIBEST en DELFT2D-MOR.

2.2.2 Afsluiting

De hier besproken theorie dient voornamelijk als eventuele opfrisser voor de lezer. Tevens zal later nog op enkele aspecten worden teruggekomen.

3 Inventarisatie sand bypass systemen

Een sand bypass systeem kan een oplossing zijn voor de problemen die ontstaan wanneer het langstransport wordt verstoord. Aanleiding voor het implementeren van een sand bypass systeem is altijd tenminste één en vaak een combinatie van de drie onderstaande mogelijkheden:

- de erosie aan de benedenstroomse zijde van de verstoring
- het aanzanden van de bovenstroomse zijde van de verstoring [kust groeit te ver richting zee en hindert b.v. recreatieve sector of een onderwater afvoerpijp wordt begraven]
- sedimenttransport bereikt uiteindelijk de vaargeul en bedreigt de bevaarbaarheid

Alle sand bypass systemen kennen drie dezelfde elementen. Ten eerste dient sediment [uit het langstransport] te worden opgevangen. Daarna wordt het opgezogen of opgegraven waarna het materiaal wordt omgeleid. Aan het einde van de omleiding tenslotte, moet het zand worden gestort. De drie elementen die in alle systemen worden teruggevonden zijn: opvangen van het sediment, oppakken & transporteren en deponeren.

Er zijn twee concepten waarbinnen de bovenstaande drie onderdelen kunnen worden vormgegeven, een onderscheppend of een verzamelend concept. Een onderscheppend systeem vangt het zand op vanuit het langstromende sedimenttransport en stuurt het direct door naar de benedenstroomse zijde van de obstructie. Een verzamelend systeem legt een voorraad aan die vervolgens wordt omgeleid. Belangrijkste verschil is dat bij het eerste concept het zand naar het systeem komt en in het tweede geval het systeem meestal naar het zand komt.

Daarnaast is er voor elk concept nog de keuze voor de werkmethode. Ook daarin bestaan een tweetal opties, continu of periodiek. Hier wordt voor de duidelijkheid opgemerkt dat een continu systeem niet 24 uur per dag werkt. Sterker nog, ook in geval van een continu systeem zal er sprake zijn van tussenpozen waarin het langstransport de mogelijkheid krijgt om naar het systeem te komen. Het zou zelfs inefficiënt zijn om voortdurend sediment te verplaatsen, ongeacht het aanbod. Over het algemeen werken onderscheppende systemen continu en zijn verzamelende systemen van periodieke aard.

De onderscheppende systemen zullen over het algemeen gekenmerkt worden door een continu bedrijf en weinig opslagcapaciteit. Dit heeft consequenties wanneer er sterke periodieke invloeden aanwezig zijn zoals stormen die zorgen voor een piekbelasting in de aanvoer van sediment. Onderscheppende systemen zullen dan eerder niet meer in staat zijn om al het langstromende sediment te vangen. Tevens dient voor onderscheppende systemen de sedimentstroom redelijk nauwkeurig bepaald te zijn. Dit omdat een onderscheppend systeem altijd vast is en van de sedimentstroom verwacht wordt dat die naar de installatie beweegt.

Bij verzamelende systemen is van één of meerdere locaties bekend dat het sediment daar bezinkt, bijvoorbeeld voor de bovenstroomse golfbreker. Dergelijke systemen hebben als voordeel dat de opslagcapaciteit ten aanzien van het langstransport groot is, zodat een tijdelijke verhoogde aanvoer van sediment gemakkelijk kan worden opgevangen. Een nadeel is dat een dergelijk systeem een grote actieradius vereist als het gaat om het ledigen van de zandvang. Dit leidt tot mobiele installaties en die zijn gevoelig voor brekende golven, stromingen en deining zoals die in de brandingzone voorkomen.

Het oppakken & transporteren van het sediment is tweeledig. Het opzuigen of opgraven van het zand op zich is een zeer wezenlijk en belangrijk deelproces binnen de werking van elk systeem. Het oppakken van het materiaal kan hydraulisch of mechanisch gebeuren. De wijze waarop het transport plaatsvindt hangt direct samen met de manier waarop het zand wordt opgepakt. Hydraulisch ontgraven met een zuigmond die eventueel voorzien is van jets en/of een cutter, heeft praktisch altijd leidingtransport als vervolg. Onderscheiden worden dan nog de systemen die via een verzamelbassin en systemen die rechtstreeks het zand naar het stort persen. Het voordeel van een systeem dat het opgezogen mengsel eerst in een

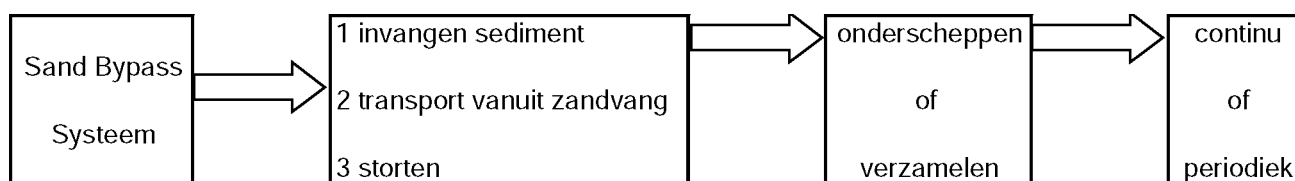
verzamelbassin [slurry-pit] stort, is dat het zand daarna met een nagenoeg constante en zo groot mogelijke dichtheid naar het stort kan worden gepompt. Hydraulisch transport met mobiel materieel houdt vaak in dat er conventionele zuigers [hoppers en cutters] worden ingezet.

Een mechanische ontgraving heeft meestal een vervolg in de vorm van dumpers die het zand wegrijden, of bakken waarin het materiaal drijvend verder wordt vervoerd.

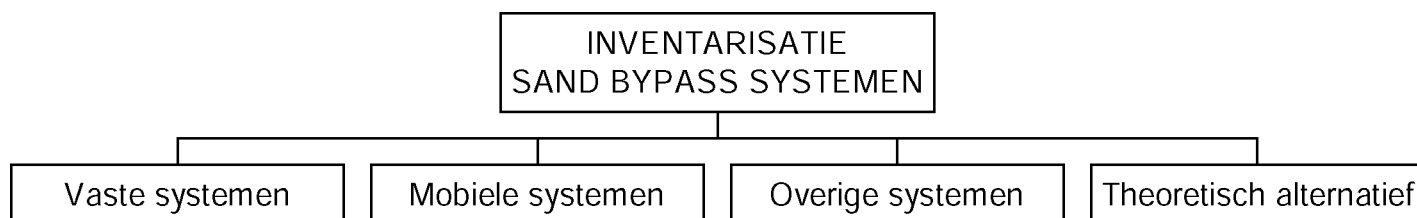
Derde element is het uiteindelijke deponeren van het zand. Het proces van deponeren op zich maakt geen grote verschillen tussen de diverse systemen. Wat van veel groter belang is, is *waar* het zand wordt gedumpt. Dit heeft vooral zijn weerslag op het morfologische proces in de directe omgeving. Door vanuit de aanzanding de erosie te bestrijden middels het kunstmatig omleiden van zand, wordt het oude evenwicht enigszins hersteld. Gebeurt het aanbrengen van zand op de verkeerde locatie dan is verdere erosie, ondanks alle getrooste moeite, niet ondenkbaar.

Van de benoemde drie hoofdonderdelen van alle sand bypass systemen is het op- of invangen van het sediment de meest essentiële. Alleen wanneer dit onderdeel goed werkt, kan het gehele systeem goed werken. Hiermee wordt de zandvang de crux van elk sand bypass systeem.

Bovenstaande beschouwing aangaande sand bypass systemen in het algemeen komt bijeen in het onderstaande stroomschema. Van links naar rechts: de drie altijd terugkerende elementen van een sand bypass systeem, het eerste onderscheid op basis van concept en als laatste de te kiezen werkmethode.



Voor de inventarisatie van systemen uit de praktijk is voor een iets andere indeling gekozen. Daarbij is de indeling meer tot stand gekomen vanuit de typering van de installatie. Zo wordt bijvoorbeeld onderscheid gemaakt tussen vaste en mobiele systemen. Beide kunnen in principe onderscheppend en continu werken. Toch is er een duidelijk verschil tussen een mobiel en een vast systeem. Door beide systemen onder te brengen bij de onderscheppende, continue systemen zou dat onderscheid vervagen. De systemen uit de praktijk zullen in de komende inventarisatie aan de hand van de volgende types worden ingedeeld:



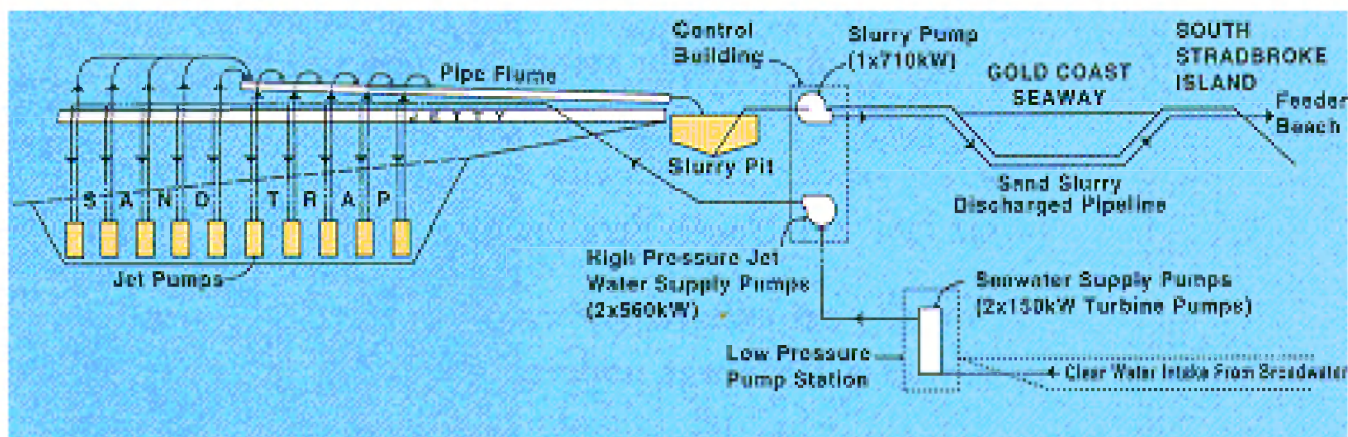
Aan het einde van de inventarisatie zal ditzelfde schema nog eens, uitgebreid met de besproken systemen, worden weergegeven.

3.1 Vaste systemen

3.1.1 Vast systeem met jet-pompen

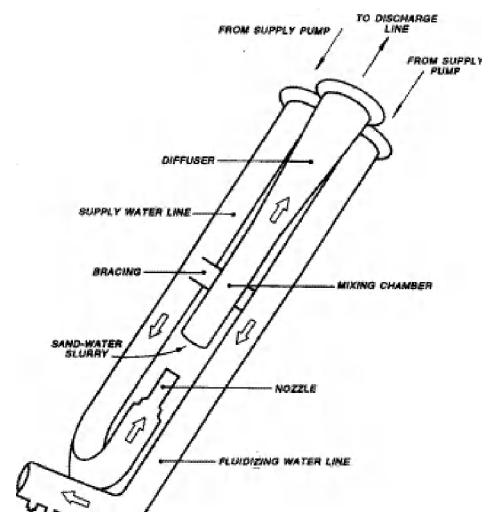
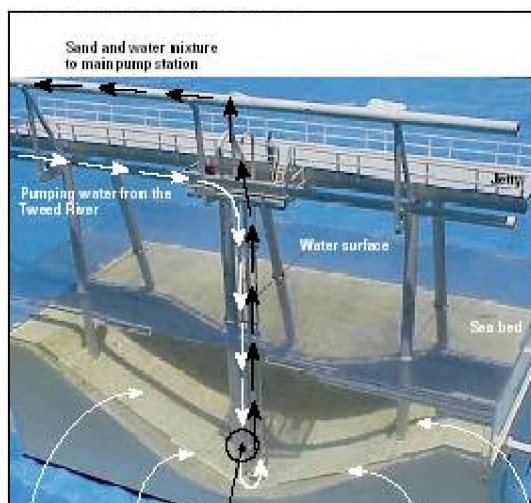
In Queensland, Australië worden, langs de oostelijke Gold Coast twee van deze systemen gevonden, aan de monding van de Nerang River en de Tweed River [Boswood and Murray, 2001 en US-ACE, 1991 en I3]. Het systeem van de Tweed River is een kopie van dat van de Nerang River. Aan een steigerwerk, haaks op de kust, zijn jetpompen op gelijke afstand van elkaar gehangen. Dat steigerwerk dient tevens als ondersteuning van de leidingen. De jetpompen hangen op een vaste hoogte, onder het niveau van de omringende bodem. De pompen vormen onafhankelijke kraters waarin het langstransport wordt opgevangen.

Er wordt zout, maar zandvrij water aangezogen en naar de jetpompen geleid. De jetpompen zorgen dat een water-zand-mengsel naar een zogenaamde slurry-pit wordt gepompt. Dit gebeurt via een schuin opgestelde persleiding [dalend in de richting van het transport]. Van daaruit wordt het zand met een zo groot mogelijke dichtheid naar het stort gepompt. Figuur 3.1 geeft een schematische weergave van het systeem.

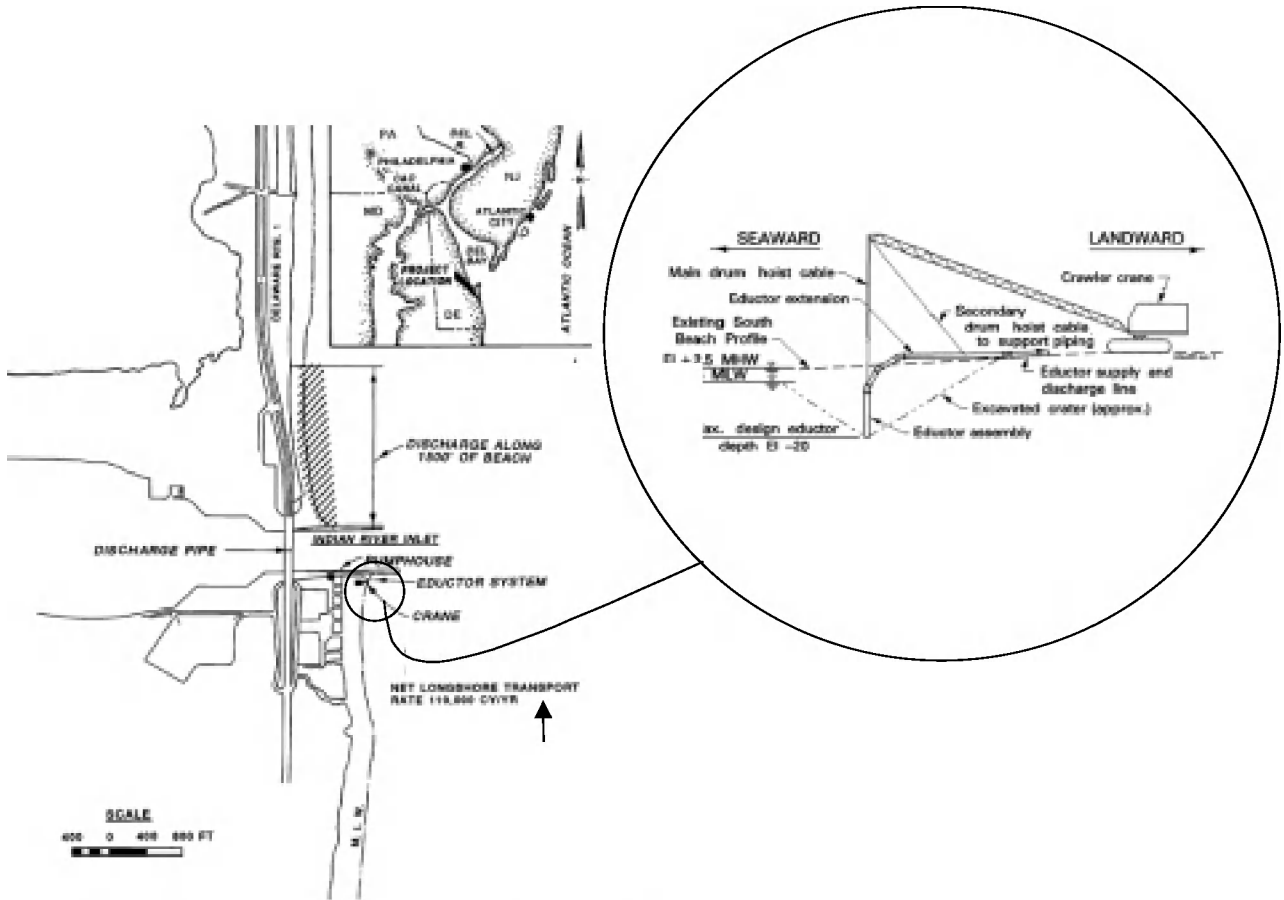


Figuur 3.1 Schematische voorstelling sand bypass systeem, Nerang en Tweed River, Queensland, Australië [14]

In de figuur 3.2 wordt zichtbaar hoe de jetpompen binnen dit systeem werken. De linker afbeelding laat zien hoe de jetpompen in het Tweed River systeem zijn gemonteerd. De witte pijlen geven de aanvoer van schoon water aan waarmee de jetpompen worden aangedreven. De zwarte pijlen geven de richting van de slurrystroom aan, naar de hellend opgestelde retourleiding. Via deze leiding komt het mengsel in de slurry-pit terecht. De rechterkant van de figuur laat het principe van een jetpomp zien. Een waterstraal met hoge snelheid 'trekt omgevingswater mee' doordat de druk in de snelle straal aanzienlijk lager is. Door het meegetrokken water wordt het zand getransporteerd.



Figuur 3.2 Werking jetpompen [14 en US-ACE, 1991]

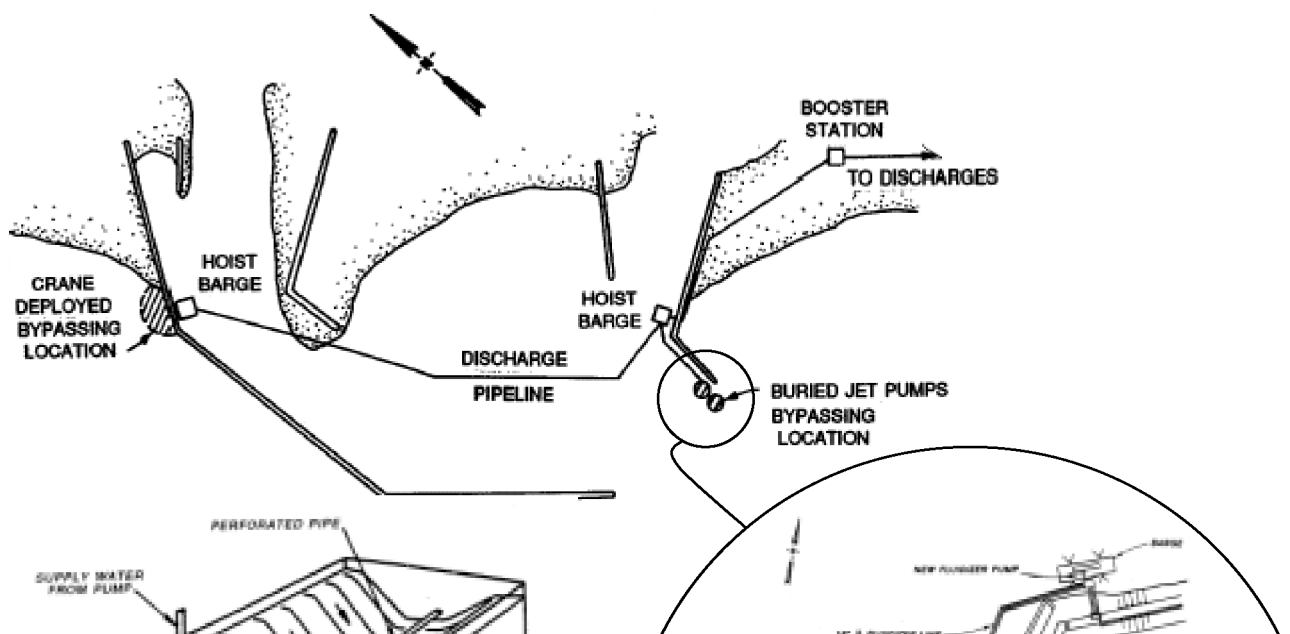


Figuur 3.3 Indian River Inlet, Delaware, Amerika [US-ACE, 1991]

Een andere toegepaste werkwijze waarbij een jetpomp wordt gebruikt is het systeem van de Indian River Inlet, Delaware, Amerika [US-ACE, 1991]. Hier wordt de jetpomp met behulp van een kraan [reikwijdte ca. 30 meter] op de plek gehouden waar het zand dient te worden verwijderd, zie figuur 3.3. Weliswaar is de kraan mobiel maar de hoofdpompinstallatie is vast zodat dit als een vast systeem wordt gezien.

3.1.2 Vast systeem met jetpompen en fluidizer

Een ander voorbeeld van een systeem met jetpompen is dat van de Ocean Side Harbour in California, Amerika [Boswood and Murray, 2001 en US-ACE, 1991]. Zie figuur 3.4



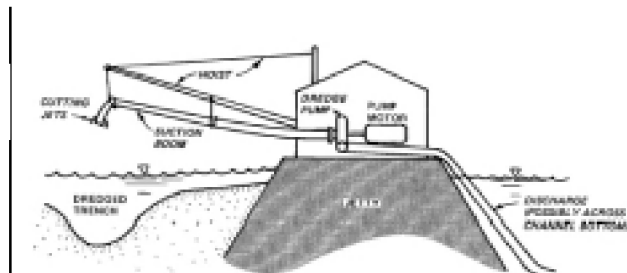
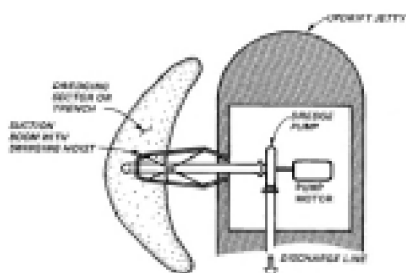
Figuur 3.4 Schets sand bypass systeem Ocean Side Harbour, Californië, Amerika [US-ACE, 1991]. Boven situatie haveningang; rechtsonder detail van de fluidiseerleidingen in de nabijheid van de jetpompen aan de zuidelijke jetty; links een prinscheschets van een fluidiseerleiding

Het ontwerp is in grote lijnen hetzelfde als dat van de Nerang en de Tweed River. Alleen zijn hier slechts twee jetpompen gebruikt, aan het einde van de zuidelijke golfbreker. De pompen zijn zo opgesteld dat met name de sedimentstroom zelf voor de toevoer van zand zorgt. Daarnaast zorgen zogenaamde fluidizers voor extra toevoer van zand. Dit zijn fluidiseerbuizen die in de bodem liggen en het zand in suspensie brengen, zodat een dichtheidsstroom ontstaat richting de kraters waarin de jetpompen zijn geplaatst. Het systeem van Oceanside Harbour maakt gebruik van een [hoofd]pompinstallatie die op een drijvende bak is gemonteerd. Er zijn twee locaties van waaruit zand wordt getransporteerd. Op de ene locatie is dat met de vaste jetpompen en fluidizers, op de andere met een aan een kraan gehangen jetpomp. Dit komt vanwege de verschillende richtingen van het langtransport. In de herfst en winter is de meest voorkomende windrichting tegengesteld aan die in de lente en zomer.

Het ontwerp is nooit volledig uitgevoerd. Na afronding van twee [van drie geplande] fases is het systeem ontmanteld en wordt met conventionele zuigers het onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd [Boswood and Murray, 2001].

3.1.3 Vast systeem met pomphuis en zuigbuis

Dit zijn systemen met een vast pomphuis op [het einde van] een golfbreker of steiger. De zuigbuis met zuigmond is doorgaans beweegbaar in het horizontale en verticale vlak. Eventueel kan de zuigmond worden voorzien van jets en/of cutters. Het principe is dat de zuigarm een bepaald gebied schoonzuigt dat dienst doet als zandvang. Via de zuigarm wordt het materiaal opgezogen en via een persleiding [over de steiger c.q. golfbreker of afgezonken] naar de plaats van bestemming gebracht.

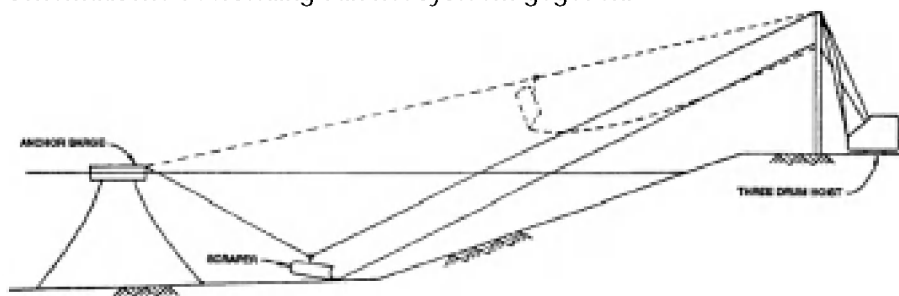


Figuur 3.5 Bovenaanzicht en zijaanzicht van een vast systeem met een pomphuis en een zuigarm [US-ACE, 1991]

Vooraf wanneer de aanzanding van een golfbreker zo ver gevorderd is dat de vaargeul dreigt aan te zanden, kan dit systeem uitkomst bieden. Het schoonhouden van de omgeving van het einde van de golfbreker is dan voldoende om de vaargeul vrij te houden van sedimentatie vanuit het langtransport. Dit geldt voor die situaties waarbij de erosie aan de benedenstroomse zijde geen probleem is. In figuur 3.5 wordt een boven- en zijaanzicht van een dergelijk systeem geschetst. Voorbeelden zijn Marina di Carara in Italië en South Lake Worth Inlet in Amerika [Boswood and Murray, 2001; US-ACE, 1991 en SPM, 1984].

3.1.4 Vast systeem met een dragline

In dit ontwerp wordt met een dragline het aangezande materiaal weggegraven. Het materiaal kan dan direct gestort worden, of met dumpers worden weggereden. In plaats van een dragline kan een hydraulische kraan worden gebruikt maar over het algemeen zal de reikwijdte van dergelijk materieel niet voldoen. Vanuit de literatuur is maar één toepassing van dit concept bekend. In 1963 is het toegepast nabij Jupiter Island, Florida. In figuur 3.6 wordt een schematische voorstelling van het systeem gegeven.

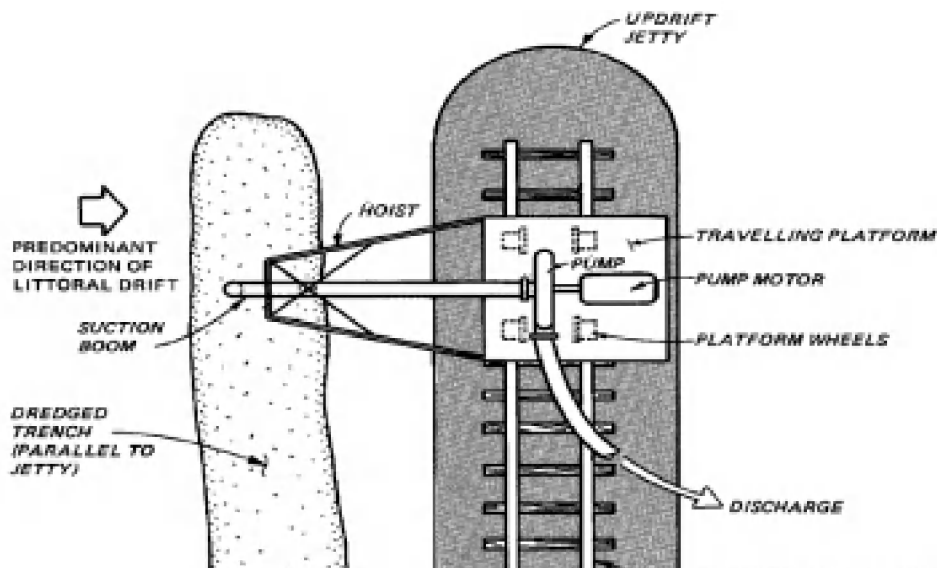


Figuur 3.6 Principe dragline-installatie [US-ACE, 1991 en Dalrymple, 1970]

3.2 Mobiele systemen

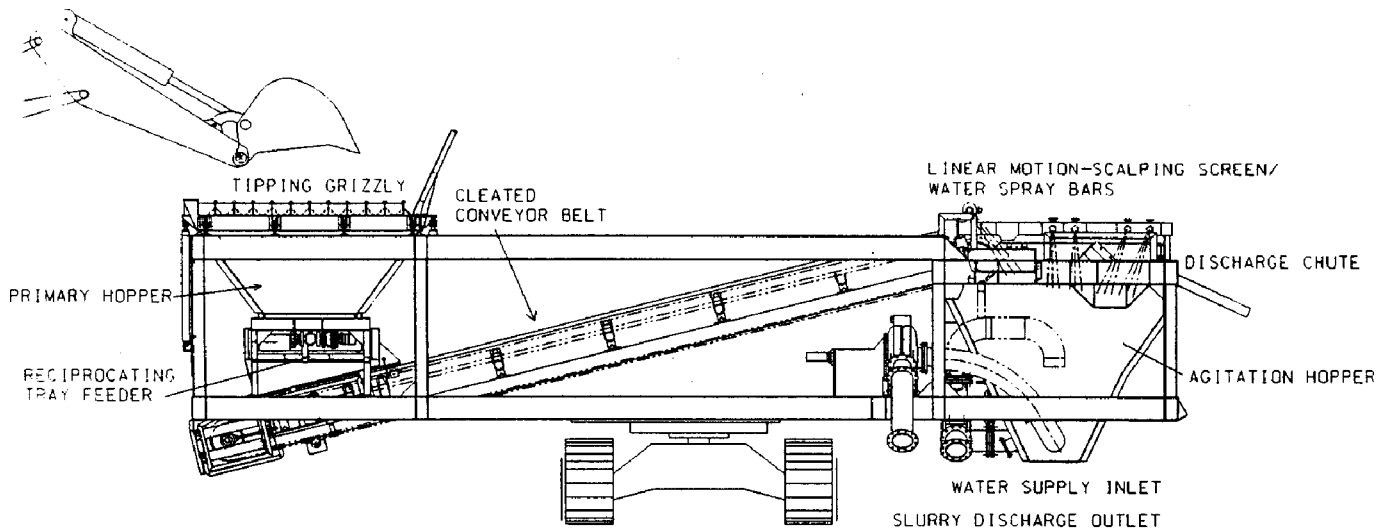
Er worden twee type mobiele systemen onderscheiden. Systemen die werken met een landinstallatie die bewegingsvrijheid kent en systemen die gebruik maken van onderdelen die bewegingsvrijheid op het water hebben.

3.2.1 Systemen met een mobiele landinstallatie



Figuur 3.7 Principeschets mobiel systeem, werkend vanaf golfbreker [US-ACE, 1991]

In figuur 3.7 wordt een bovenaanzicht gegeven van een systeem dat over een pompinstallatie beschikt die op rails voortbeweegt. Middels een flexibele persleiding is het systeem in staat om parallel aan de golfbreker vrij te bewegen. In plaats van een golfbreker kan de ondersteunende constructie anders zijn, bijvoorbeeld een speciaal daarvoor aangelegde steiger. Een voorbeeld uit de praktijk van een dergelijke systeem is Rudee Inlet, Virginia, Amerika [Boswood and Murray, 2001; US-ACE, 1991 en SPM, 1984]. Vanzelfsprekend zijn er meer methodes om vanaf een golfbreker of steiger mobiel te kunnen werken. In principe is het verschil met het hiervoor beschreven systeem alleen het onderstel. Een voorbeeld is het systeem aan de Mandurah Inlet, West-Australië [Boswood and Murray, 2001], zie figuur 3.8.



Figuur 3.8 Systeem Mandurah Inlet, West-Australië

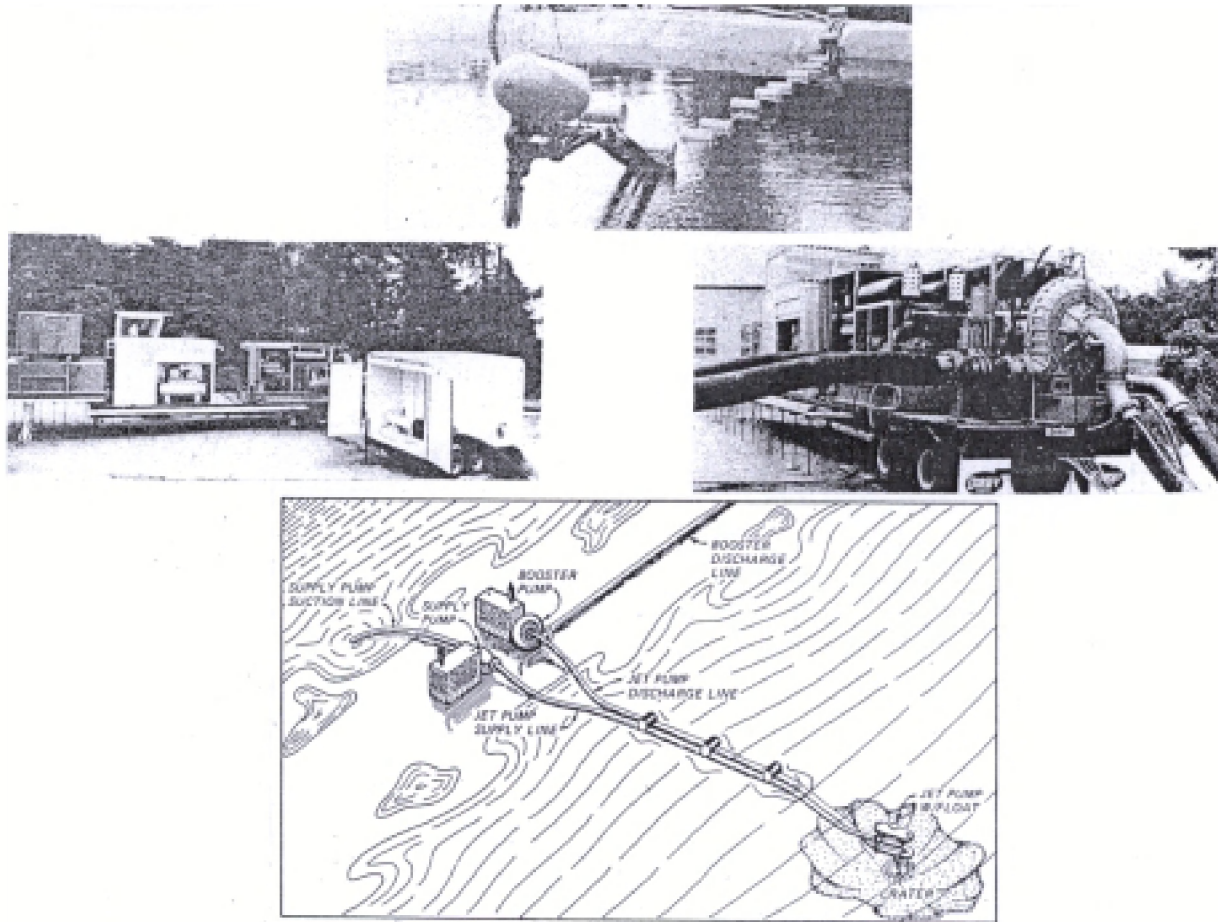
Hierbij wordt een schuin opgestelde transportband verreden op rupsbanden. Aan de laagste kant van de transportband wordt zand door een hydraulische graafmachine in een verzameltrechter gedeponereerd. De transportband, die start onder deze trechter, verplaatst het zand vandaar naar de bovenkant van een tweede trechter van waaruit het zand wordt weggepompt. Zo wordt parallel aan en vanaf een golfbreker gewerkt.

Een ander voorbeeld is het systeem dat wordt gebruikt voor Port Sanilac, Michigan, Amerika [Richardson, 1980]. Dit systeem wordt echter als drijvend systeem besproken. Het systeem maakt naast een truck op de wal, die de pomp- en meetinstallatie vervoert, namelijk ook nog gebruik van een drijvende jetpomp-installatie.

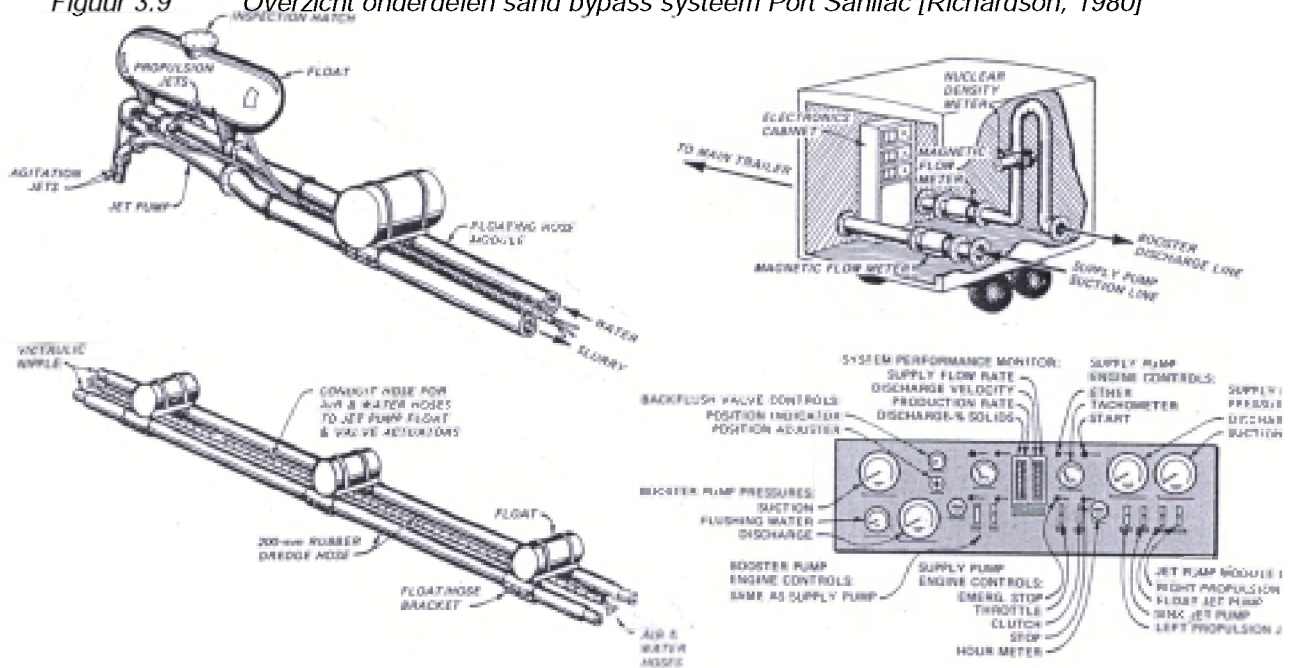
3.2.2 Systemen met drijvende installaties

Systemen met drijvende installaties zijn variaties op ontwerpen waarbij de pompinstallatie op een drijvende bak is gemonteerd. Zodoende kan een groot gebied, zo niet het hele gebied, van een haveningang worden bestreken. Meestal wordt gebruik gemaakt van jetpompen. Een ontwerp dat als voorbeeld kan dienen van een drijvend systeem is het al eerder genoemde systeem van Port Sanilac, zie figuur 3.9. Dit systeem is specifiek ontworpen voor de situatie van Port Sanilac maar wordt gebruikt voor meerdere kleinere haveningenangen rond de 'Great Lakes'. Het systeem wordt gevormd door boeien waaraan jetpompen zijn gemonteerd. Via een flexibele leiding staan ze in verbinding met een verrijdbare pomp- en meetinstallatie op

de wal. Alle onderdelen kunnen los van elkaar verplaatst worden wanneer elders in het gebied van de Great Lakes gewerkt moet worden.

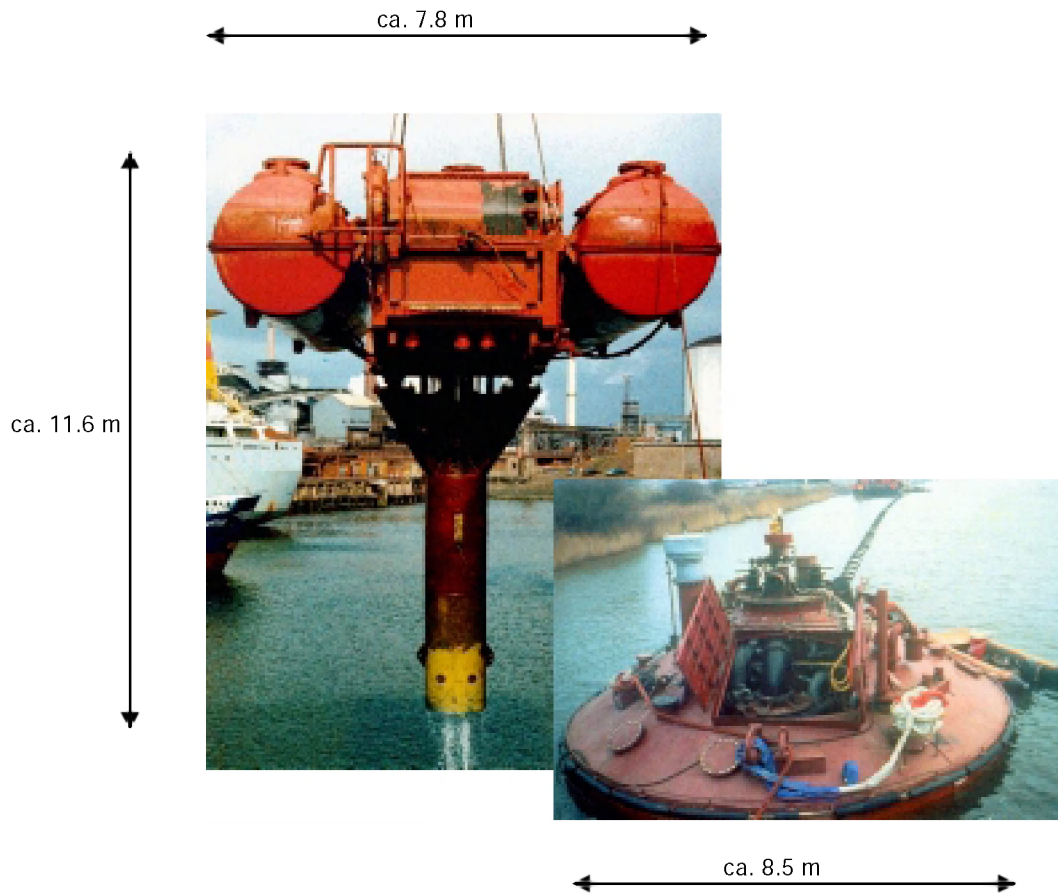


Figuur 3.9 Overzicht onderdelen sand bypass systeem Port Sanilac [Richardson, 1980]



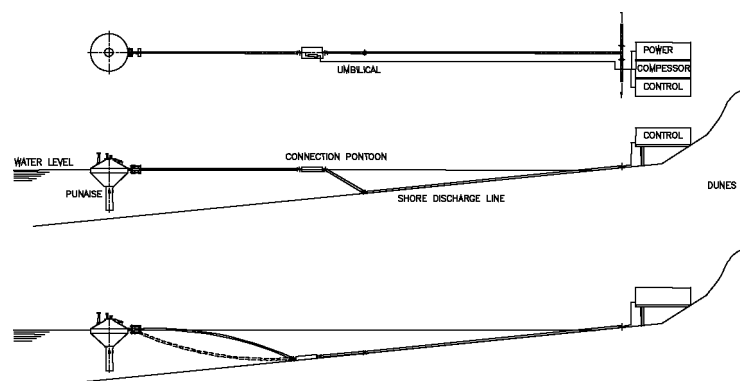
Figuur 3.9 Vervolg

Een ander voorbeeld van een drijvend systeem is het besproken systeem van Oceanside Harbour [blz. 14 en 15]. Hier staat de pompinstallatie op een drijvende bak en wordt tussen twee locaties afwisselend gebruikt. Een derde alternatief voor een drijvende installatie is de punaise. Dit is eigenlijk een drijvende pomp die tot zeer dicht bij het op te zuigen materiaal kan worden afgezonken [Williams, Morang and Lillycrop, 1998]. Zie figuur 3.10.



Figuur 3.10 De punaise, links type PN250 en rechts type PN400 [11]

Het is een Nederlandse vinding [eigenaar: J.G. Nelis b.v.] en is in Nederland met name gebruikt voor suppleties, o.a. bij Zandvoort, Bloemendaal en Heemskerk [Williams and Visser, 1997]. Het drijvende deel van een punaise bevat een baggerpomp, een elektrische motor, instrumentatie, ballasttanks, een zuigmond en een verticale verlenging onder de zuigmond. Wanneer gebaggerd wordt met de punaise wordt de drijvende eenheid op de juiste locatie gebracht met een sleepboot en door ballastwater in te nemen afgezonken tot de verticale verlenging onder de zuigmond de bodem raakt. Vervolgens wordt met behulp van jets het zand onder de punaise gefluïdiseerd en zakt het verticale gedeelte in de bodem onder het gewicht van de punaise. Wanneer de punaise zich eenmaal in de grond heeft gedrukt kan het eigenlijke baggerproces beginnen. Tijdens het zuigen zakt de punaise steeds dieper in de punt van de krater die ontstaat. De onderstaande figuur geeft weer hoe het baggerproces verloopt bij het gebruik van de punaise.



Figuur 3.11 Schematische weergave baggerproces punaise
[Williams, Morang and Lillycrop, 1998]

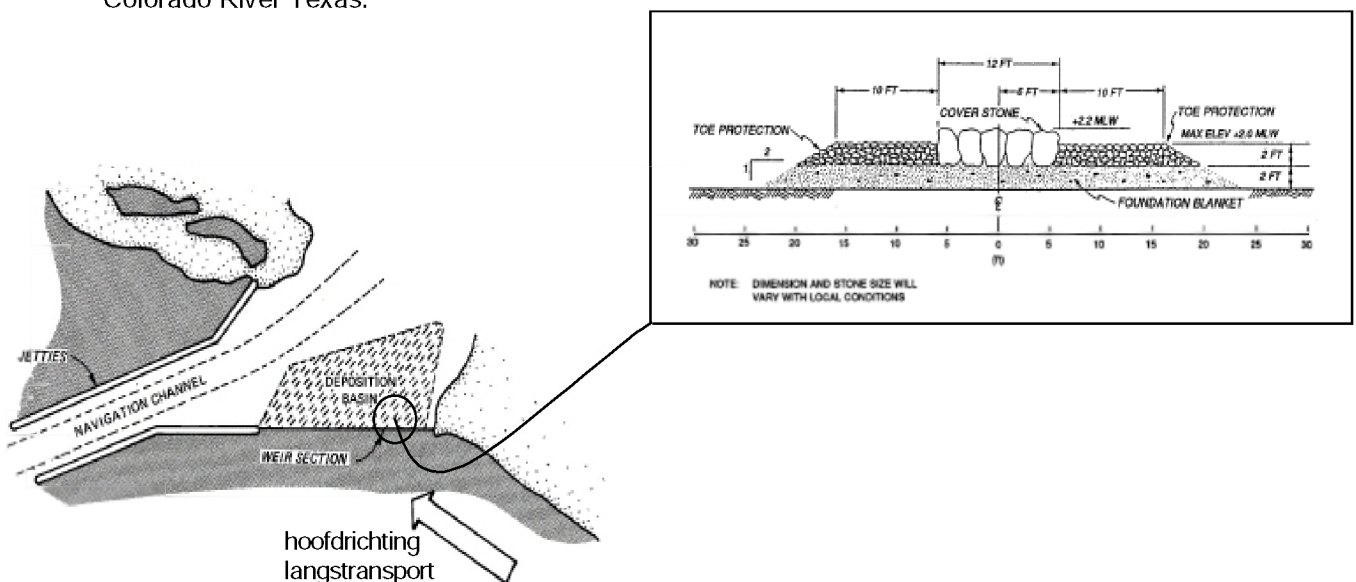
3.3 Overige systemen

De hier te behandelen systemen hadden wellicht bij de eerder genoemde systemen ondergebracht kunnen worden. Toch is dat niet gedaan. De systemen zijn namelijk van een concept dat een aparte vermelding rechtvaardigt. De nadruk bij de bespreking van deze systemen ligt niet zo zeer op de manier van omleiden van het zand maar op de keuze van de locatie waar het zand wordt verzameld.

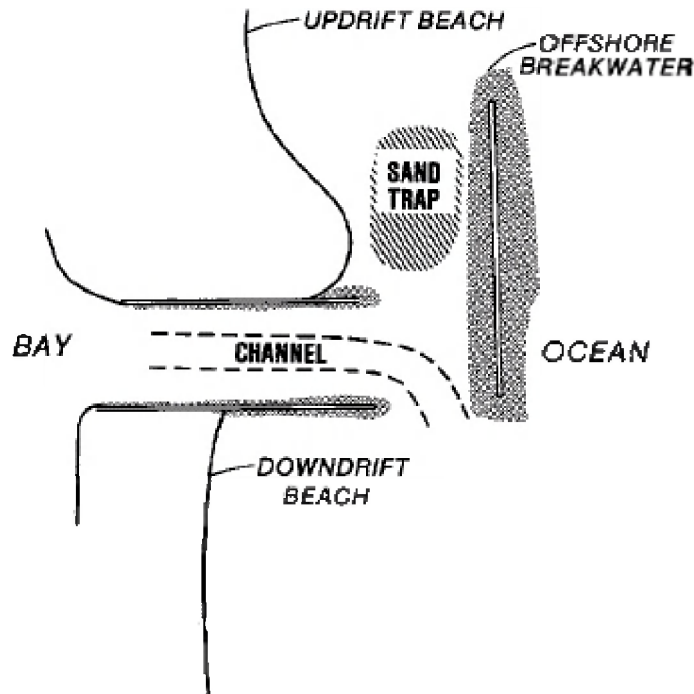
3.3.1 Weir systems

Deze Engelse term voor overlaat is een aanduiding voor een bypass systeem waarbij de [ten opzichte van de sedimentstroom] bovenstroomse golfbreker als overlaat werkt. Dit kan de gehele golfbreker of een gedeelte zijn. Wanneer de langsstroom de overlaat is gepasseerd slaat het sediment daarachter neer [Boswood and Murray, 2001; US-ACE, 1991; SPM, 1984 en Weggel, 1981]. Dit idee is min of meer bij toeval ontdekt bij de Hillsboro Inlet, Florida, Amerika. Daar zorgde een natuurlijk rif voor een overlaatwerking. Dit van de natuur afgekeken idee wordt als sand bypass systeem toegepast. In figuur 3.12 staat een schets van een typisch 'weir system'. Tevens geeft deze figuur een voorbeeld van de opbouw van het overlaatgedeelte.

Voorbeelden van deze weir-system ontwerpen in Amerika worden onder meer gevonden in de Perdido Pass, Alabama, de Masonboro Inlet, Noord-Carolina en de monding van de Colorado River Texas.



Figuur 3.12 Schets 'weir system' en typische doorsnede overlaatgedeelte [US-ACE, 1991]



Figuur 3.13 Schets systeem met losse golfbreker; sedimenttransport van boven naar beneden [US-ACE, 1991]

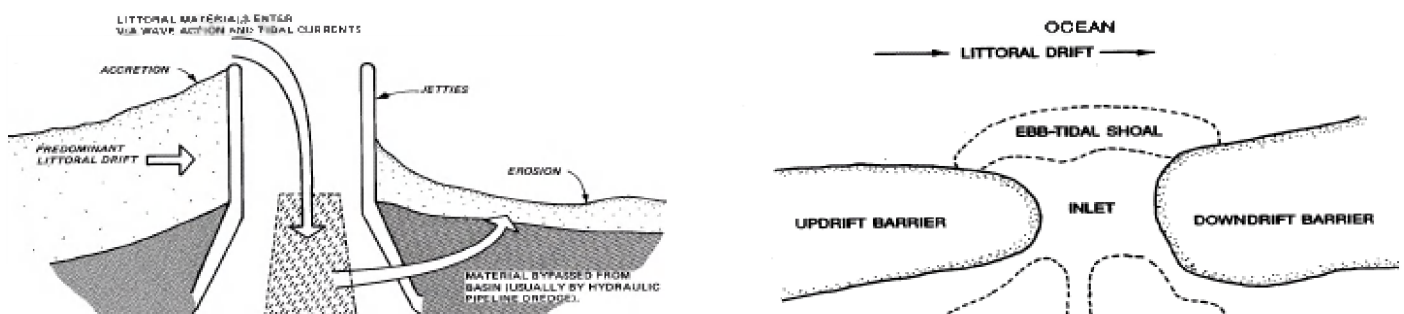
3.3.2 Losse golfbreker

Een ander concept dat zorgt voor een gecontroleerde locatie waar het sediment neer kan slaan is het ontwerp dat gebruik maakt van een golfbreker die los voor de haveningang is gesitueerd [Boswood and Murray, 2001; US-ACE, 1991 en SPM, 1984]. Figuur 3.13 geeft een voorbeeld van zo'n 'detached breakwater' ontwerp. De sand trap geeft aan waar het sediment bezinkt. Achter deze golfbreker wordt de energie van de inkomende golfvelden zodanig verminderd dat het sediment bezinkt. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is het ontwerp van Channel Islands, Californië, Amerika.

Naast deze twee ontwerpen waarbij het zand op een vaste locatie bezinkt, zijn er nog andere plaatsen die kunnen worden aangewezen als zandput. Deze sterk situatie afhankelijke plaatsen worden voor de volledigheid in figuur 3.14 samengevat.

De linkerhelft laat een ietwat onverwachte plek zien. Namelijk in het toegangskanaal zelf. Hierbij is de keuze gemaakt om de aanzanding van de golfbreker niet te verstoren maar het sediment om de golfbreker heen in het toegangskanaal te doen belanden. Van hieruit wordt middels onderhoudsbaggerwerk het zand naar de eroderende benedenstroomse kust gebracht.

De rechterhelft laat zien hoe onder invloed van eb en vloed er locaties kunnen ontstaan waar op ondieptes het sediment bezinkt.



Figuur 3.14 Twee voorbeelden van locaties voor bezinken van sediment [US-ACE, 1991]

3.4 Theoretisch alternatief

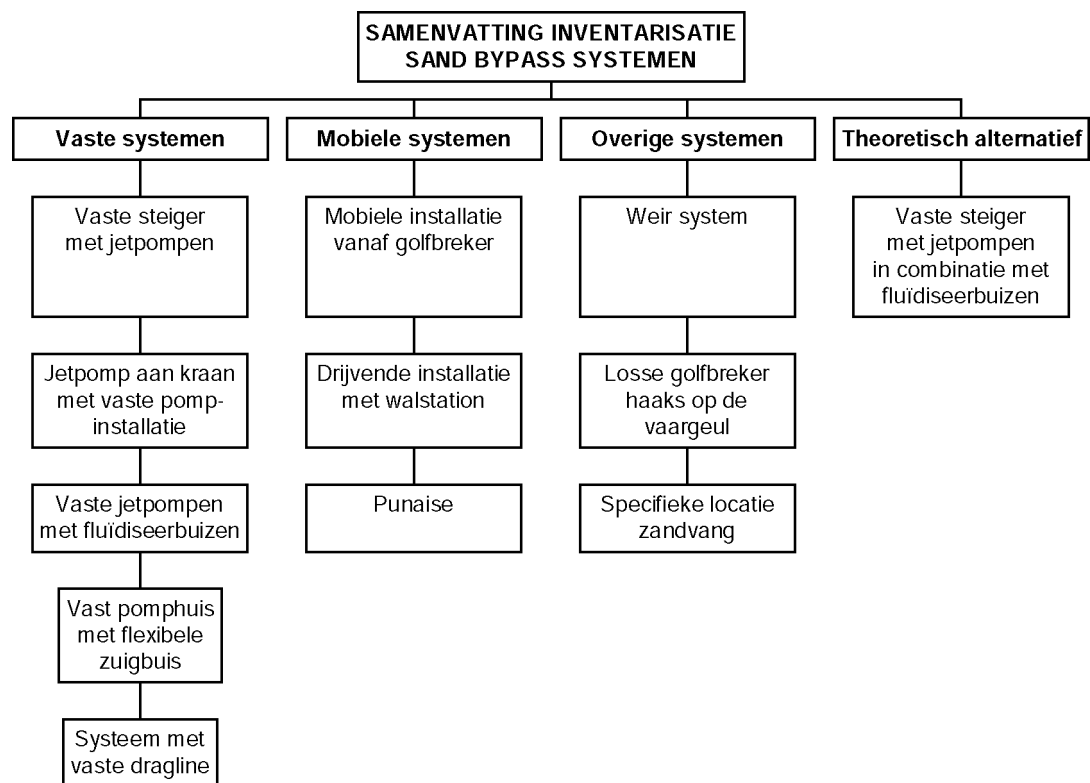
Met een theoretisch alternatief wordt hier bedoeld dat het systeem niet in de praktijk wordt gevonden maar dat het door de schrijver is bedacht.

Vanuit de baggerindustrie is het algemeen bekend dat het jetten van zand een zeer gunstig effect heeft op de productie tijdens het baggeren. Dit komt nog het beste tot uitdrukking wanneer een geladen sleephopperzuiger vanuit het beun het zand aan de wal moet persen. Alleen door jets te gebruiken is het mogelijk om een zodanig mengsel te creëren dat het zand weer uit het beun gepompt kan worden.

Verder is het principe van water injectie baggeren uitgegroeid tot een volwaardige baggermethode. Hierbij wordt met een jetbalk, die achter een schip aan vlak boven de bodem kan worden afgehangen, water in de bodem gespoten. Er ontstaat dan een laag materiaal die in suspensie op de rest van de bodem ligt. Deze laag gedraagt zich als een dichtheidsstroom en verplaatst zichzelf naar een lager gedeelte van de bodem, wanneer er sprake is van een helling. Op deze manier worden havens uitgebaggerd. De dichtheidsstroom beweegt zich dan over de bodem de haven uit, richting diepe zee. Deze twee gegevens gecombineerd met het systeem van de Nerang River en dat van de Ocean Side Harbour, leverde het model op voor dit alternatief. Bij het ontwerp van de Nerang en de Tweed River wordt gebruik gemaakt van jetpompen. Onderaan de jetpomp zit een aantal jets die zorgen voor de fluïdisatie van het zand in de omgeving van de inlaat van de jetpomp [zie figuur 3.2]. Dit stelt de pomp in staat om een trechter van gefluïdiseerd zand weg te zuigen. Eenmaal leeggezogen doet de trechter dienst als vangput voor de sedimentstroom, als die vol is fluïdiseren de jets het zand weer, etc. Zo wordt er in dit ontwerp voor gezorgd dat met vijf van de 10 pompen continu kan worden gewerkt. Duidelijk te herkennen zijn de basiselementen jetten, fluïdiseren en sedimentstroom naar een lager gedeelte. In het systeem van Ocean Side Harbour zijn zogenaamde fluïdizers toegepast, in de bodem aangelegde geperforeerde buizen [zie detail linksonder in figuur 3.4]. Deze zorgen voor een trogvormig gefluïdiseerd zandpakket. Door deze te laten aansluiten aan de trechters rond de jetpompen, wordt het mogelijk om de invloedssfeer van de jetpompen aanzienlijk te vergroten. Wat opvalt aan het ontwerp van de Nerang en de Tweed River is dat daar niet van dergelijke fluïdiseerbuisen gebruik wordt gemaakt. Toch zou een combinatie van jetpompen en fluïdizers veel voordelen kunnen bieden. In ieder geval zijn een kortere steiger en minder pompen als voordelen te noemen. Eerste grove benadering zou kunnen zijn dat het systeem met vijf van de tien pompen zou kunnen volstaan. De pompen zouden dan worden gevoed door de combinatie van de sedimentstroom die zelf in de trechters bezinkt en de toevoer door toedoen van de fluïdiseerbuisen.

3.5 Samenvatting

Als afsluiting van de inventarisatie wordt hieronder in een schema een samenvatting gegeven van de gevonden ontwerpen.



Figuur 3.15 Schematische samenvatting inventarisatie

4 Nadere analyse selectie sand bypass systemen

In het vorige hoofdstuk zijn de verschillende typen systemen toegelicht aan de hand van voorbeelden. Nu zal op een aantal van die voorbeelden worden ingegaan om, op basis van praktijkervaringen, inzicht te krijgen in de cruciale aspecten van een sand bypass systeem. De te behandelen systemen en de karakteristieke kenmerken zijn in tabel 4.1 samengevat.

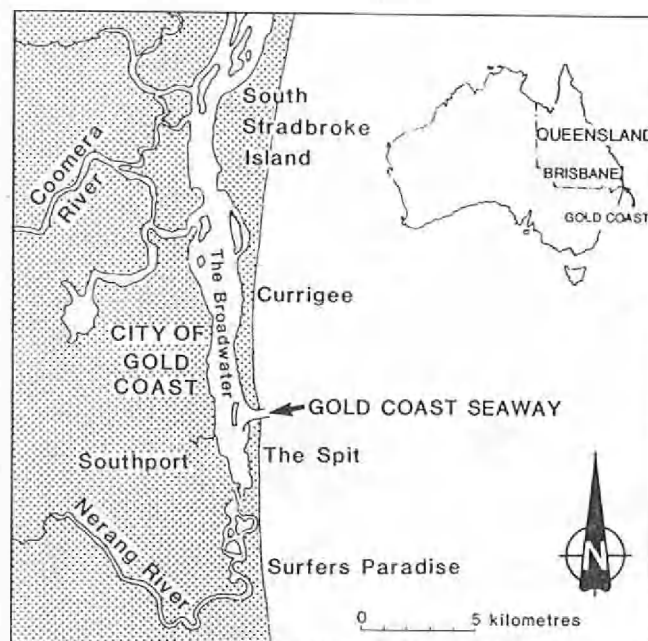
Naam	Kenmerken
Nerang River Entrance Sand Bypass System	Vast steigerwerk met jet pompen
Ocean Side Harbour	Vaste jet pompen en fluidiseerleidingen
South Lake Worth Inlet	Roterende zuigarm vanaf de golfbreker
Indian River Inlet	Vast pomphuis, pomp verplaatsbaar met kraan
Rudee Inlet	Vast pomphuis, drijvende jet pompen met actieradius
Port Sanilac	Mobiel en demontabel, jet pomp met drijvers
Shinnecock Inlet	Experimenteel project m.b.v. de punaise

Tabel 4.1 Selectie sand bypass systemen

Per systeem wordt eerst een kwalitatieve beschrijving gegeven. Daarin wordt toegelicht waarom besloten is om in een gegeven situatie een sand bypass systeem te implementeren, wat de karakteristieke elementen zijn en wat de werkwijze is. Vervolgens wordt een indruk gegeven van de effectiviteit en worden de belangrijkste problemen genoemd. Tenslotte wordt van elk systeem een zo compleet mogelijk overzicht gegeven van de producties en de kosten.

4.1 Nerang River

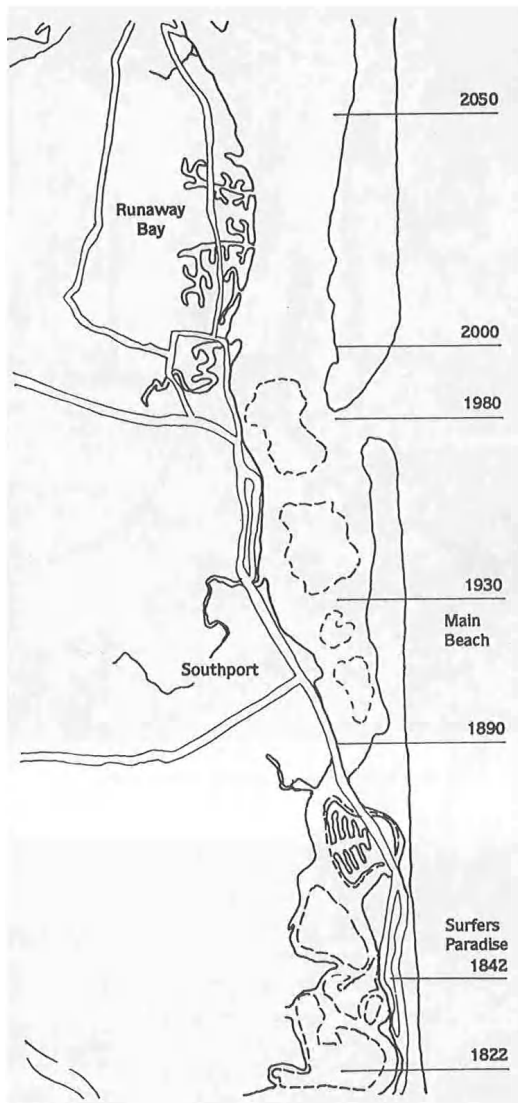
De Nerang River is gesitueerd aan de oostkust van Australië. De rivier stroomt via een estuarium, genaamd The Broadwater, in de Stille Oceaan. De ingang van dit estuarium, en indirect van de Nerang River, wordt sinds het in werking treden van het sand bypass systeem officieel de Gold Coast Seaway genoemd. Zie figuur 4.1 voor een locatie overzicht.



Figuur 4.1 Locatie Nerang River, Australië

Langs deze Gold Coast komt een netto langstransport van ongeveer 500.000 m^3 per jaar in noordelijke richting voor. Hierdoor verplaatste de ingang van The Broadwater zich 20 tot 40 meter per jaar in noordelijke richting. Figuur 4.2 laat zien hoe de ingang van The Broadwater

migreerde in de tijd. Daarin is tevens aangegeven wat de locatie er van zou zijn in 2050, wanneer niet wordt ingegrepen. Verder werd de bevaarbaarheid van het estuarium zeer



Figuur 4.2 Migratie ingang Broadwater

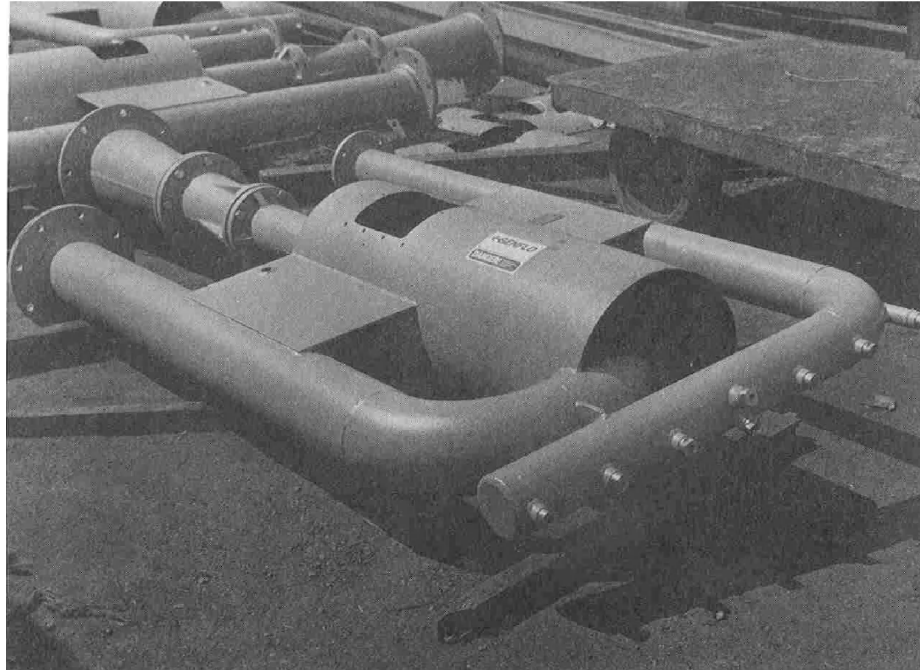
aangedreven en kan tijdens daluren gebruik maken van goedkope stroom. Voordat het daadwerkelijke leegzuigen begint worden eerst alle leidingen gespoeld. Wanneer tijdens het leegzuigen de druk te hoog wordt of de snelheid te laag, dan wordt automatisch op spoelen van de leidingen overgegaan. Het systeem is uitgerust met een nucleaire dichtheidsmeter en een elektronische snelheidsmeter. Het zand water mengsel komt via de jetpompen in een schuin opgestelde retourleiding die het mengsel naar een verzamel bassin voert. Vanuit dit verzamelbassin pompt een centrifugaalpomp, met een zo hoog mogelijke dichtheid, het zand onder de toegangsgeul door naar het stort. Het stort is het zuidelijke oceastrand van South Stradbroke Island.

De effectiviteit van dit systeem is zeer goed. Vanaf het moment dat het systeem in werking is gesteld [mei 1986] voldoet de installatie goed waar het gaat om het omleiden van de benodigde hoeveelheid zand. Er wordt slechts van twee, goed te ondervangen problemen melding gemaakt. Het eerste probleem betreft het verstopt raken van de zuigmonden van de jetpompen. In figuur 4.3 staat een afbeelding van de gebruikte jetpompen. Vooral tijdens stormen komt er veel vuil [o.a. hout en graspollen] terecht in de kraters. Vervuilde jetpompen

nadelig beïnvloed door wandelende zandbanken en aanvaarroutes die zowel in diepte als locatie varieerden. Dit als gevolg van een combinatie van afzettingen vanuit het langtransport en sedimenttoevoer vanaf de rivieren. Deze situatie heeft de overheid [Gold Coast Waterways Authority] tot ingrijpen aangezet. Onder meer op basis van een advies van WL|Delft [rapport M1259 uit 1976] is besloten om de ingang van de Broadway te fixeren en golfdoordringing tegen te gaan middels een kunstmatig eiland achter de ingang. Deze ingreep vormt echter ook een obstructie van het langtransport. De noodzaak voor een sand bypass systeem was het gevolg. Met name de erosie die zou ontstaan aan South Stradbroke Island, ten noorden van de ingang, maakt dat het langtransport dient te worden omgeleid.

Karakteristiek voor het systeem is het steigerwerk waaraan, met een tussenruimte van steeds 30 meter, tien jet pompen op een vaste plek zijn bevestigd. Dit steigerwerk strekt zich boven het water uit met een lengte van ongeveer 360 meter. De jetpompen bevinden zich op ongeveer 11 meter onder het gemiddelde waterniveau. Ze worden gevoed door één centrale waterleiding en kunnen afzonderlijk van elkaar werken, tot een maximum van zeven. De jetpompen zuigen kratervormige putten die dienst doen als de zandvang van het systeem. Overdag worden de kraters gepeild en onderhoudswerkzaamheden verricht. 's Avonds en 's nachts worden volle kraters volledig geautomatiseerd leeggezogen, tijdens normale omstandigheden vijf keer per week. De installatie is elektrisch

werden ontmanteld en in een werkplaats schoongemaakt. Dit kostte veel tijd en daarom is één grote 'schoonmaak'-jetpomp gebouwd met een veel grotere doorlaat; 25 cm. in plaats van 9 cm. Hiermee kan vuil dat de andere jetpompen belemmert in hun functioneren worden verwijderd. Deze grotere jetpomp heeft overigens de totale wateraanvoer nodig zodat het systeem zelf tijdens een schoonmaakbeurt stil ligt. Toch voldoet deze werkwijze goed. Nog grotere stukken afval, die tijdens zware regenval in de omgeving door zuidelijk gelegen rivieren worden meegegeven aan het langstransport en in de kraters terechtkomen, worden door duikers weggehaald. Figuur 4.4 laat de berg vuil zien die uit één krater is verwijderd na zware regenval in 1989.



Figuur 4.3 De jetpompen van het systeem van de Nerang River [Wakefield, 1986]

Een ander probleem betreft de grote slijtage van de nozzles in de nozzle-balk onderaan de jetpomp. Dit kwam omdat niet de door de ontwerpers voorgeschreven roestvrij stalen nozzles werden gebruikt. Nadat deze zijn gemonteerd is de levensduur van de nozzles op een acceptabel niveau van 6 tot 9 maanden [700 tot 800 werkuren] uitgekomen. Corrosie bleek de duurzaamheid van de nozzles nog meer aan te tasten dan abrasieve slijtage [Clausner, 1989].



Figuur 4.4 Vuil door duikers uit één krater verwijderd [US-ACE, 1991]

Een meer structureel probleem is het volgende. De eerste vier à vijf jetpompen, vanaf het strand gezien, krijgen zoveel zand aangeboden dat er soms andere jetpompen worden bijgezet om het mengsel te verdunnen en zo verstoppingen in de retourleiding te voorkomen. Deze jetpompen werken dan ook het dubbele aantal uren in vergelijking met de overige pompen [Clausner, 1990].

4.1.1 Langtransport

Het langtransport bedraagt circa 580.000 m³ per jaar in noordelijke richting en 80.000 m³ per jaar in zuidelijke richting. Het netto langtransport bedraagt dan ongeveer 500.000 m³ per jaar in noordelijke richting.

4.1.2 Zandvang

In het ontwerp werd uitgegaan van een zandvang die de vorm had van een doorgaande geul met een lengte van 270 meter met een maximale capaciteit van 40.000 m³. Dat betekent een gemiddeld dwarsprofiel van 148 m². In de praktijk ontstaan echter tien individuele kraters die net zo goed voldoen als de geulvormige zandvang waar in het oorspronkelijke ontwerp van werd uitgegaan. Alle bronnen maken melding van de kraters. Alleen spreken ze elkaar tegen waar het de inhoud van de kraters betreft. Van Rijn (1998) stelt dat de kraters een diameter hebben van 20 meter en dat ze 5 meter diep zijn. Dat wil zeggen kraters waarvan de wanden onder een hoek van 27° staan. In Boswood and Murray (2001) wordt melding gemaakt van kraters met een steil talud van 1:1 tot 1:1,5. Dit zijn kraters met taludhoeken van 45 tot 34°. Gegeven de gangbare waarden voor een natuurlijk talud in zand lijkt de eerste bron het meest waarschijnlijk. In Wakefield (1986) wordt echter gesproken over jetpompen die tot een niveau van 11 meter onder het zand zijn afgezonken. De jetpompen waren daarvoor eerst op een niveau van zes meter onder het zand afgehangen. Daaruit bleek dat de golfbreker niet werd ondermijnd. Vervolgens zijn ze uiteindelijk op 11 meter onder het omringende bodemniveau afgehangen. Een dwarsdoorsnede van een geul in de vorm van een driehoek, staand op een punt, met een hoogtelijn van 11 meter en een taludhoek van 45°, levert een oppervlak voor de dwarsdoorsnede van ca. 121 m². Dit gecombineerd met de verwachte ontwerp geullengte van 270 meter geeft een zandvang van ca. 33.000 m³. Dat komt dicht bij de inhoud van de ontwerp-zandvang [40.000 m³], zeker wanneer langs de strakke randen van de voorgestelde geulvorm nog rekening wordt gehouden met bres- en erosie effecten. In diverse andere bronnen [brochure Gold Coast Seaway, 2001 en US-ACE 1991] wordt gesproken over jetpompen die 11 meter onder het gemiddeld waterniveau. Aangenomen mag worden dat Wakefield het waterniveau en het bodemniveau heeft verwisseld.

Aanleiding voor deze beschouwing is de sterke afwijking qua inhoud van de ontstane zandvang in vergelijking met de ontworpen zandvang. Wanneer van Rijn (1998) de juiste informatie geeft dan zou de inhoud van één krater rond de 520 m³ uitkomen en die van de totale zandvang op ongeveer 5200 m³. Dat is grofweg 15% van de capaciteit van de ontwerp-zandvang en daarmee opvallend klein. Met jetpompen 11 meter onder het zand en een taludhoek van de kraters van 1:1 komt de inhoud van één krater uit op ongeveer 1400 m³ en van de hele zandvang op 14.000 m³. Door deze capaciteit van de zandvang te combineren met extra pompcapaciteit is het voor te stellen dat toch nog de beoogde hoeveelheden zand kunnen worden afgevoerd.

4.1.3 Producties

In het ontwerp van de installatie werd uitgegaan van de volgende producties:

Gemiddeld	500.000 m ³ per jaar
Piek	750.000 m ³ per jaar
Maximum	100.000 m ³ in 5 dagen
Maandelijks maximum	200.000 m ³ per maand
Max. capaciteit zandvang	40.000 m ³
Percentage langtransport dat wordt omgeleid	100 %

Gecombineerde informatie uit Clausner (1990) en Boswood and Murray (2001) levert:

Jaar	Productie [m ³]
1986 [jun t/m dec]	436.000
1987	490.000
1988	450.000
1989	336.000
1990	380.000
1991	440.000
1992	376.000
1993	287.000
1994	570.000
1995	570.000
1996	408.000
1997	564.000
1998	590.000

Tabel 4.2 Jaarproductie in omgeleide m³ zand

De lagere productie van 1989 wordt verklaard door losgeraakt duingras als het gevolg van golfaanval. Dit verstopte de kraters en had lagere producties tot gevolg [Clausner, 1990]. Voor de dip van 1993 wordt geen verklaring gegeven. Sinds september 1998 wordt een productie gehaald van ca. 420 m³/uur [Boswood and Murray, 2001].

4.1.4 Kosten

De kosten van het ontwerpen en bouwen van dit systeem bedroegen \$ 5.300.000,= [in Australische Dollars]. Voor de bedrijfsvoering geldt het volgende overzicht, exclusief afschrijving. De Australische Dollar had op 8 mei 2002 een tegenwaarde van 60 Eurocent.

	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Elektriciteit	198.603	161.092	82.782	183.400	152.100	167.700
Personeel	53.031	57.492	76.856	90.700	93.400	95.000
O&R	37.632	88.267	103.485	111.900	100.100	184.000
Totaal	289.266	306.851	363.133	386.000	345.600	446.600

	1993	1994	1995	1996	1997
Elektriciteit	140.200	241.000	221.847	154.421	163.920
Personeel	102.800	95.700	104.054	119.573	112.204
O&R	318.000	266.200	360.544	397.438	459.165
Totaal	516.800	602.900	686.445	671.432	735.289

Tabel 4.3 Kostenoverzicht in Australische Dollars; O&R = onderhoud en reparatie

Per kubieke meter geldt de volgende jaaropgave in Australische Dollars per m³.

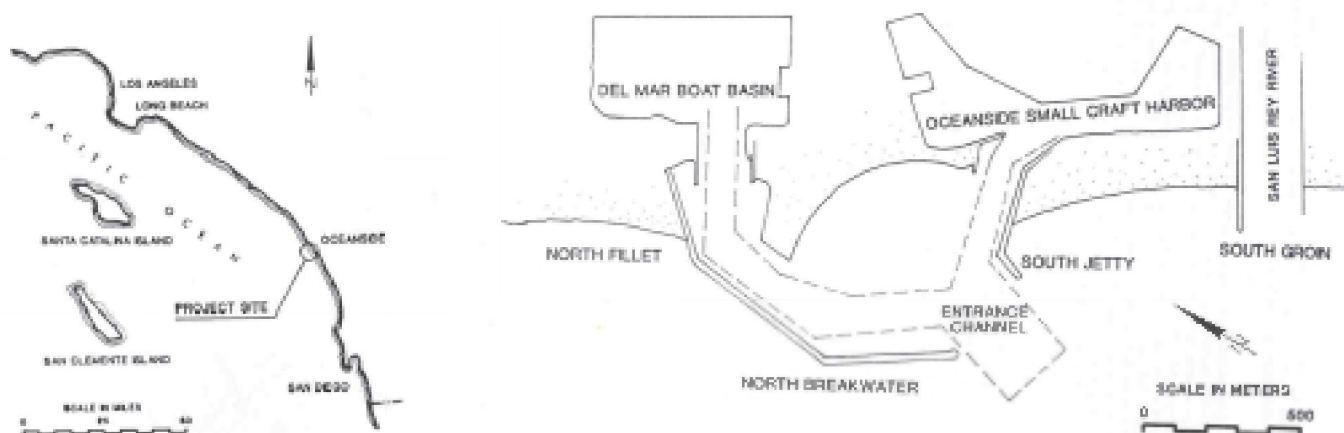
Jaar	A\$/m ³
1987	0,59
1988	0,68
1989	1,08
1990	1,02
1991	0,78
1992	1,18
1993	1,95
1994	1,06
1995	1,20
1996	1,64
1997	1,30

Tabel 4.4 Kosten per m³ uitgedrukt in Australische Dollars

Het systeem is gefinancierd door de overheid en wordt ook door de overheid beheerd. Er zijn drie mensen in dienst, te weten een operator, een assistent-operator en een onderhoudsman. Alledrie draaien dagdiensten.

4.2 Ocean Side Harbour

De Ocean Side Harbour is een haveningang aan de zuidkust van Californië in Amerika, ongeveer 55 kilometer ten Noorden van San Diego. In 1942 is de Del Mar Boat Basin aangelegd, begeleid met de aanleg van enkele strekdammen om de ingang te fixeren en aanzanden van de toegangseulen te voorkomen. Het langstransport ter plaatse wordt geschat op totaal 900.000 m^3 per jaar met een netto transport van 150.000 m^3 per jaar in zuidelijke richting [Boswood and Murray, 2001]. Ondanks alle maatregelen wist het sedimenttransport toch de ingang te bereiken en al gauw was onderhoudsbaggerwerk nodig om de haven bereikbaar te houden. Sediment uit het langstransport werd door de noordelijke strekdam tegengehouden in de North Fillet en de zuidelijke stranden, benedenstrooms van de haveningang, begonnen te eroderen. Zie figuur 4.5.



Figuur 4.5 Locatie & lay-out Ocean Side Harbour [Patterson, Bisher and Brodeen, 1991]

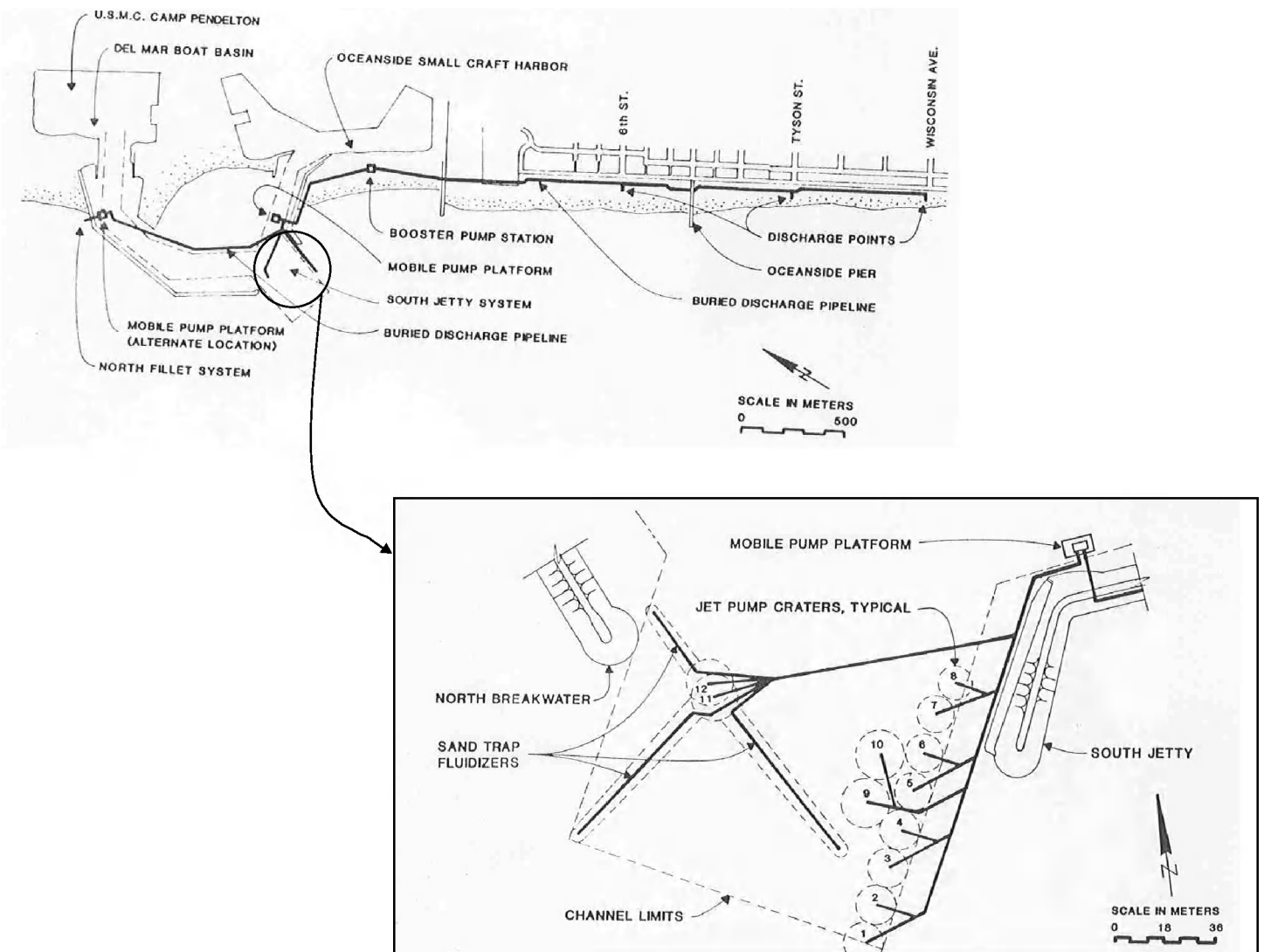
De strekdammen werden steeds verlengd om de sedimentstroom maar te weren en de haven open te houden. Tegelijk met de aanleg van Ocean Side Harbour in 1963 werden de strekdammen nog een keer aanzienlijk verlengd. Sinds 1963 wordt materiaal vanuit de haven, in totaal meer dan $6.900.000 \text{ m}^3$ zand, op de zuidelijke stranden gebracht. Toch blijven deze stranden eroderen. Vanwege alle voornoemde problemen is in 1982 besloten om een experimenteel sand bypass systeem aan te leggen. Het bouwen van het systeem is in drie fasen opgedeeld om gaandeweg aanpassingen te kunnen doen naar aanleiding van testresultaten en ervaringen.

Het ontwerp spitst zich toe op twee locaties binnen de haveningang. Aan de zuidelijke kant wordt het langstransport opvangen en aan de noordelijke kant wordt vanuit de bestaande aanzanding [de zogenaamde North Fillet] zand gewonnen. Een drijvend pompstation wordt voor beide locaties afwisselend gebruikt. Vanwege verschillende golfrichtingen wordt tijdens de zomermaanden [april - september] aan de zuidelijke golfbreker zand gewonnen en tijdens de wintermaanden [oktober - maart] uit de North Fillet. Via zinkerleidingen wordt het zand naar een booster station op het vaste land gepompt. Het zand wordt gestort op de stranden ten zuiden van de haven, tot maximaal 10 km van de zuidelijke golfbreker. In figuur 4.6 wordt een schema van het systeem gegeven.

Nu zal in vogelvlucht worden besproken wat de ontwerpers tijdens elke fase wilden bouwen. Alleen fase 1 en 2 zijn gerealiseerd en fase 3 is vanwege geldgebrek afgeblazen. Allerlei complicaties hebben er voor gezorgd dat het systeem vroegtijdig ter ziele is gegaan. De grootste problemen die het systeem uiteindelijk de das hebben omgedaan waren het verstopping van fluidiseerleidingen en het overwoekerd raken van de kraters rond de jetpompen met zeewier. En het sedimenttransport dat zowel uit noordelijke als uit zuidelijke

richting kwam maakte dat er vanuit een relatief groot gebied zand gewonnen diende te worden, hetgeen niet voldoende lukte. Uiteindelijk is het systeem afgebroken na de voltooiing van fase II.

Tijdens de eerste fase werden een kraan en een jetpomp aan de North Fillet geïnstalleerd, de plaatsvaste jetpompen 5 en 6 [figuur 4.6] geplaatst, de drijvende pompeenheid en het booster station op de wal gebouwd. Verder werden de zinkers aangelegd voor de afvoer van zand naar het walstation en werd de persleiding naar de stortlocatie gelegd. In de tweede fase zijn de eerste fluïdiseerleidingen aangelegd in de nabijheid van de vaste jetpompen. Dit betrof een tweetal leidingen van respectievelijk 45 en 60 meter lengte, parallel aan de zuidelijke golfbreker. Tijdens de uitvoering van het systeem konden fluïdiseerleidingen en jetpompen niet tegelijk werken vanwege een gebrek aan pompcapaciteit. Tijdens de derde en laatste fase waren de plannen om het netwerk van fluïdiseerleidingen en jetpompen in de omgeving van de zuidelijke golfbreker uit te breiden zoals in het detail van figuur 4.6 wordt aangegeven.



Figuur 4.6 Schets systeem met detail van configuratie nabij zuidelijke golfbreker

Het sand bypass systeem aan de Ocean Side Harbour was opgezet als een experiment. Door gaandeweg ervaringen op te doen en gefaseerd uitbreidingen aan te brengen hoopte men uiteindelijk een goed werkend, vast systeem op te bouwen. Naast de reeds aangegeven redenen waren er nog enkele andere problemen die het slagen van dit systeem in de weg stonden:

- vervuilde jetpompen aan de zuidelijke golfbreker kon alleen door duikers worden bereikt voor schoonmaakwerkzaamheden
- onwerkbaar situatie in de haveningang voor de duikers t.g.v. het golfklimaat
- het zuidelijke deel van het systeem vormde een obstakel voor de scheepvaart
- er was geen financiering beschikbaar voor een exploitatie van meerdere jaren
- de drijvende pompeenheid diende voor beider locaties geschikt te zijn [compromissen]
- het walstation was erg duur

Uit de resultaten van dit experiment zijn een aantal algemeen geldende conclusies te trekken. De grootste fout is geweest dat van één systeem de oplossing werd verwacht voor drie problemen [aanzanding in North Fillet, ondieper worden vaargeul en benedenstroomse erosie] waarbij de aanpak zich verdeelde over twee locaties. Beter is het om deelproblemen met deelsystemen aan te pakken. Daarnaast bestond er geen representatief beeld over de exacte omvang en route van het sedimenttransport. Dit is juist de kern van het probleem én van de oplossing. Hierdoor werd in dit geval de reikwijdte van het probleem onderschat. Een meer flexibele oplossing was beter geweest.

Maar er is nog een laatste belangrijke conclusie, namelijk dat het werken met fluïdiseerleidingen in principe werkt [zie producties] maar dat het verstopt raken van deze leidingen het gehele systeem lamlegt. Tevens dienen er aparte pompen te zijn voor het pompen van zand en het fluïdiseren. Zo kan zand worden gewonnen terwijl het volop gefluïdiseerd is. In de gebruikte configuratie werd eerst gefluïdiseerd en vervolgens werd pas het leegzuigproces opgestart. Het gefluïdiseerde zand komt weer tot rust gedurende het leegzuigproces, al zal er nog wel sprake zijn van een lossere pakking. Beter is het om fluïdisatie en leegzuigen te combineren. Dit werkt productieverhogend en biedt mogelijkheden om het bresproces middels ingebracht water vanuit de fluïdiseerleidingen te stimuleren. Stroomt normaliter alleen water toe van buiten het talud, nu wordt ook van binnenuit water ingebracht. In de literatuur worden ook nog andere voorbeelden gevonden van toepassingen van fluïdiseerleidingen [Weisman e.a., 1982 en 1987].

4.2.1 Langtransport

Voor deze locatie is het sedimenttransport niet eenduidig vast te leggen. Als representatief gemiddelde komt uit diverse studies het volgende voort [Boswood and Murray, 2001]. In noordelijke richting bedraagt het transport 415.000 m³/jaar, in zuidelijke richting 565.000 m³/jaar en het netto transport komt dan uit op 150.000 m³/jaar in zuidelijke richting.

4.2.2 Zandvang

In dit ontwerp is niets bekend over de van te voren bedachte afmeting van de zandvang. Het idee was om met behulp van fluïdiseerleidingen de actieradius van de jetpompen aan de zuidelijke golfbreker dusdanig uit te breiden dat voldoende zand kon worden omgeleid om de problemen te bestrijden.

4.2.3 Producties

Vanwege het experimentele karakter van deze onderneming zijn van tevoren geen producties vastgesteld. Uitgangspunt was om tijdens de zomermaanden zand uit het langtransport te onderscheppen ter plaatse van de haveningang en tijdens de wintermaanden vanuit de noordelijke aanzanding zand te winnen. In beide gevallen wordt gewonnen zand op de eroderende benedenstroomse stranden aangebracht. Het bevaarbaar houden van de waterweg en de bestrijding van de erosie werd hierbij als maatstaf gehanteerd, meer dan het halen van bepaalde producties.

Tijdens de eerste fase kwam het productie overzicht tot stand van tabel 4.5. Er is voorzichtig begonnen met als belangrijkste reden de angst voor het verzanden van de zinkerleidingen tijdens het ontgravingsproces. Verder was er de algemene werkwijze van trial-and-error waarbij op basis van opgedane ervaring naar een steeds betere bedrijfsvoering werd gestreefd. En tenslotte wordt nog gewezen op de periodieke onderbrekingen die werden

gemaakt voor inspectie, onderhoud en eventuele aanpassingen tijdens deze opstartfase. In de periode januari tot en met april 1990 is het systeem helemaal stilgelegd. Uiteindelijk is een bepaalde routine met het systeem opgebouwd die veelbelovend leek voor de toekomst en waarbij de producties zowel in bedrijfsuren als in verpompte m^3 zand gestaag toenamen. In totaal werd in deze periode ongeveer $14.000 m^3$ zand verpompt met een algeheel gemiddelde van ongeveer $48 m^3/uur$.

Maand (jaar)	Aantal pompuren [uren]	Gemiddelde productie [m^3/uur]
Juni (1990)	2	16
Juli	12	11
Augustus	4	12
September	18	10
Oktober	25	43
November	32	37
December	21	50
Januari (1991)	Systeem stilgelegd i.v.m. onderhoud, reparatie en aanpassingen	
Februari		
Maart		
April		
Mei	51	55
Juni	55	57
Juli	44	41
Augustus	41	63

Tabel 4.5 Producties tijdens fase I

Voor de tweede fase ontbreekt de informatie voor een uitsplitsing per maand wat betreft de producties. Tijdens deze periode [december 1991 t/m december 1992] werden de fluïdiseerleidingen geïntroduceerd en dit had een bijzonder positief effect op de producties. Er werd in deze 13 maanden ongeveer $81.000 m^3$ zand omgeleid met een gemiddelde productie van $73 m^3/uur$. De productie per uur nam hiermee met ongeveer 50 % toe ten opzichte van fase I. De genoemde problemen maakten echter dat het systeem toch niet in staat is geweest om dit niveau te handhaven.

4.2.4 Kosten

Er is weinig informatie beschikbaar over de kosten van dit project. In Boswood and Murray (2001) wordt vermeld dat voor de aanleg van de eerste fase de schatting voor de kosten ongeveer \$ 5.000.000,- was. De uiteindelijk gemaakte kosten worden op \$ 15.000.000,- geschat. Het geld was afkomstig van de federale Amerikaanse overheid.

4.3 South Lake Worth Inlet

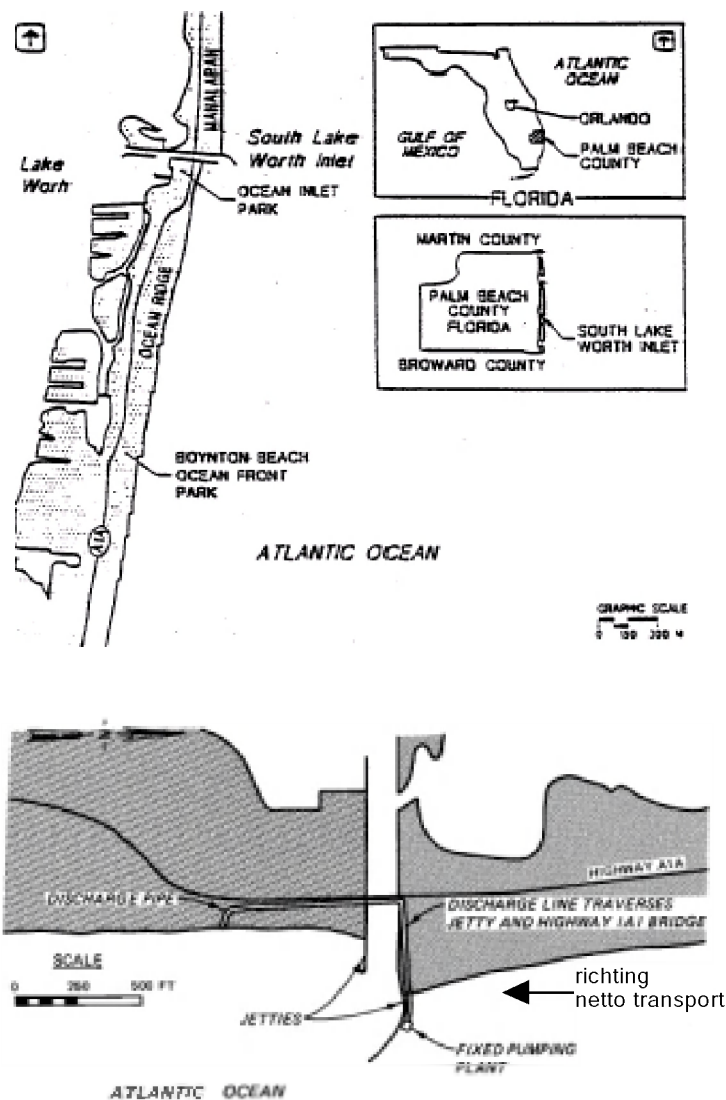
Ongeveer 65 km ten noorden van Miami bevindt zich South Lake Worth Inlet, een kunstmatig aangelegde doorbraak van Lake Worth naar de Atlantische Oceaan [zie figuur 4.7]. Dit is gedaan om het getij door te laten dringen in het meer in de hoop de waterkwaliteit van het meer te verbeteren.

De inlaat is ongeveer 40 meter breed en 180 meter lang en wordt gekruist door een snelweg. De inlaat is in 1927 aangelegd en vanaf de aanleg wordt door de inlaat het langstransport tegengehouden met erosie van de zuidelijke stranden tot gevolg. Na de aanleg van een strandmuur en een serie strandhoofden bleken de problemen nog steeds niet verholpen. Daarom werd in 1937 een vast sand bypass systeem aangelegd. Op de noordelijke golfbreker werd een roterende zuigbuis geplaatst die tevens op en neer kan worden bewogen. Het systeem is nogal kleinschalig van aard. In 1937 is begonnen met een zuigleiding van 20 cm doorsnee en een persleiding van 15 cm doorsnede en 365 meter lang. Er wordt gestort op het zuidelijk gelegen strand. De persleiding is aan de brug van de snelweg bevestigd. In 1948 is het systeem vernieuwd en uitgerust met een zuigleiding van 25 cm doorsnede en een persleiding van 20 cm doorsnede. In 1967 is de installatie voor het laatst vernieuwd.

In de periode 1937 – 1941 werd gemiddeld $42 \text{ m}^3/\text{uur}$ en 37.000 m^3 per jaar omgeleid. De erosie aan de zuidelijke stranden leek een halt te zijn toegeroepen. Gedurende de tweede wereldoorlog was er geen brandstof voor het systeem en de situatie verslechterde. Daarna, van '45 tot '48 werd de zaak weer opgestart en de situatie weer enigszins hersteld. Na de vernieuwingen van 1948 werd een gedeelte van het langtransport kunstmatig omgeleid [ongeveer 35 %] en passeert een groot gedeelte [ongeveer 45 %] de inlaat op natuurlijke wijze. De rest komt in eb geulen en in de inlaat zelf terecht. In 1967 wordt de laatste vernieuwing uitgevoerd en in de periode '68-'76 wordt gemiddeld 53.800 m^3 per jaar omgeleid. Vanaf 1960 tot 1976 haalt een zuiger ongeveer 20.000 m^3 per jaar weg.

De algehele indruk is dat met name de flexibiliteit van dit systeem danig tekort schiet. In de literatuur [Boswood and Murray, 2001] wordt ook vermeld dat de originele plannen uitgingen van een systeem dat op rails verplaatst kon worden over de golfbreker. Waarom dit niet gebeurd is wordt niet vermeld; wellicht waren er minder fondsen beschikbaar toen het systeem werd aangelegd [de crisisjaren].

De zandvang die het systeem in de huidige configuratie maakt is ongeveer 800 m^3 . Tijdens kalm weer kan de zandvang met twee à drie uur pompen goed in stand worden gehouden. Tijdens zwaarder weer is 18 uur per dag niet genoeg om de sedimentstroom bij te houden. Dus ook de pompcapaciteit voldoet niet; tenzij door meer actieradius te creëren er meer buffercapaciteit wordt geïntroduceerd.



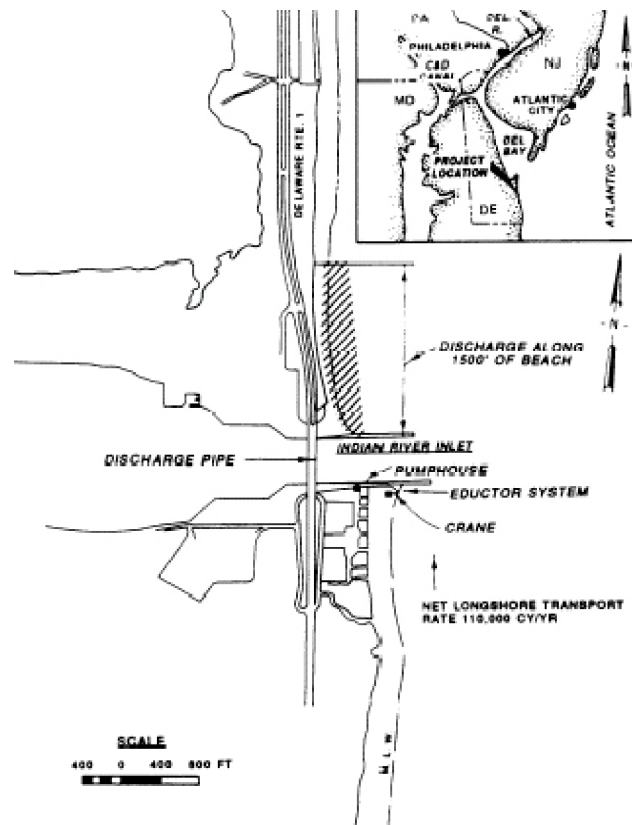
Figuur 4.7 Locatie en detail van sand bypass systeem South Lake Worth Inlet

Over de kosten van aanleg en onderhoud is niet veel bekend. De eerste aanleg in 1937 kostte destijds \$ 15.000,- en de kosten van de uitbreiding van 1948 bedroegen \$ 20.000,-. Wel wordt in Boswood and Murray (2001) melding gemaakt van een prijs per kubieke meter. Die is maar liefst \$ 8 tot \$ 9 per m^3 [vergelijk dit b.v. met Nerang; max. US \$ 1,- per m^3].

Al met al is dit systeem bepaald geen succes. Het enige positieve is dat met behulp van een sand bypass systeem wel gedeeltelijk lukt wat met andere maatregelen [harde strandmuur en strandhoofden] helemaal niet lukte. Het idee mislukt eigenlijk in de uitvoering. Met name de beperkte reikwijdte van de zuigbuis en de daardoor te kleine zandvang doen het systeem de das om.

4.4 Indian River Inlet

Deze haveningang bevindt zich ongeveer 250 km onder New York, aan de Atlantische kust van de staat Delaware. Het is een 150 m brede ingang die wordt gefixeerd door twee parallelle golfbrekers. Sinds de aanleg van deze ingang in 1940 is er sprake van de typische problemen met aanzanding aan de bovenstroomse en erosie aan de benedenstroomse zijde. Sinds 1954 is de grootte van de aanzanding stabiel en vanaf 1957 worden er suppleties uitgevoerd op de stranden ten noorden van de haveningang [zie figuur 4.8] ter grootte van ca. 75.000 m^3 /jaar.

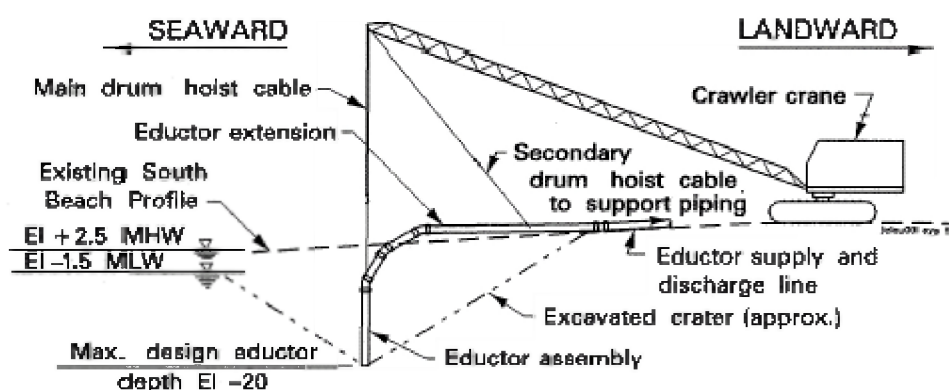


Figuur 4.8 Locatie Indian River Inlet, Delaware, Amerika

Het netto langstransport wordt geschat op ca. 83.000 m^3 /jaar in noordelijke richting. Het grootste probleem is dat de erosie van het noordelijke strand een snelweg bedreigt die daar parallel aan het strand gesitueerd is. Daarnaast komt, na het stabiliseren van de aanzanding, bijna alle langstransport in de ingang terecht en vormen daar ondieptes. De gedachte was dat het omleiden van het sedimenttransport vanaf een locatie dichtbij de zuidelijke golfbreker beide problemen zou oplossen.

Het systeem is uitgerust met een vast pomphuis op de wal en een jetcamp die met behulp van een rupskraan wordt afgehangen in de zuidelijke aanzanding. Door de retourleiding van de jetcamp wordt het gewonnen zand naar een booster geperst die zich in het pomphuis

bevindt. Deze booster perst het mengsel naar de noordelijke stranden met een maximale persafstand van 450 meter ten noorden van de haveningang. De haveningang wordt overbrugd door de snelweg en aan deze brug is de persleiding bevestigd. Het is de bedoeling om op deze manier een hoeveelheid zand te verplaatsen die gelijk is aan het natuurlijke langtransport van ca. 83.000 m³/jaar. Sinds januari 1990 is dit systeem in werking gesteld en wordt de ontwerpproductie van 160 m³/uur gehaald. Figuur 4.9 laat schematisch de kraan zien die wordt gebruikt om de jetpomp af te hangen in het zand. Voor het winnen van zand worden steeds kraters in het zand gezogen door de jetpomp. Wanneer met een nieuwe krater wordt begonnen wordt de jetpomp eerst op geringe diepte vastgehouden om zo een ondiepe krater te zuigen. Pas wanneer deze zich voldoende heeft uitgebreid mag de jetpomp naar verdere dieptes worden afgehangen. Zo ontstaat bovenin de uiteindelijke krater een brede trechter met water. In geval van nood kan de jetpomp naar boven worden getrokken en vanuit die trechter water aanzuigen om de leiding te spoelen.



Figuur 4.9 Schets kraan + jetpomp zoals toegepast voor Indian River Inlet [US-ACE, 1991]

Uiteindelijke kraters zijn ongeveer 5,5 meter diep en hebben een doorsnede aan de oppervlakte van ca. 16 meter. De taluds zijn in de orde van 1:1,5. De inhoud van dergelijke kraters bedraagt iets meer dan 300 m³. Tijdens rustige weersomstandigheden wordt de jetpomp elke 15 tot 30 minuten verplaatst. Het verplaatsen houdt in dat de jetpomp 3 meter omhoog en 3 meter opzij wordt bewogen alvorens een nieuwe krater wordt 'aangeboord'. Bij ruigere weersomstandigheden hoeft de pomp maar één of twee keer per dag te worden verplaatst; de golven brengen dan zand naar de krater toe. Er wordt vijf dagen per week [37,5 uur] gewerkt door drie mensen gedurende negen maanden per jaar. Van Memorial Day tot Labor Day wordt bijna niet gewerkt omdat dan de stranden druk bezocht worden. Een tweede restrictie voor het sand bypass systeem wordt gevormd door een bedreigde vogelsoort die soms nestelt op het stort. Hierdoor moet soms tijdens de periode maart tot augustus worden gestopt met omleiden van zand. Gelukkig valt deze periode grotendeels samen met de periode waarin ten behoeve van badgasten al minder werd gewerkt.

Er zijn twee aanwijsbare redenen die het succes van dit systeem verklaren. Ten eerste is dat de flexibiliteit die wordt geïntroduceerd door het werken met een jetpomp die door een kraan op diverse locaties kan worden ingezet. Hierdoor kan tijdens kalm weer het zand worden opgezocht terwijl tijdens ruiger weer de golven voor toevoer van zand zorgen. Verder bleek het systeem hogere uurproducties te behalen dan verwacht. Hierdoor werd het mogelijk om ook bij een kleiner aantal werkuren de vereiste hoeveelheid zand op jaarbasis om te leiden. De beste aanwijzing dat het systeem is geslaagd in haar opzet is dat het noordelijke strand na implementatie een erosie/aanzanding patroon laat zien met een duidelijk behoud van een minimale breedte.

4.4.1 Langtransport

Het netto langtransport bedraagt 83.000 m³/jaar in noordelijke richting [Boswood and Murray, 2001].

4.4.2 Zandvang

In dit systeem is de zandvang een stabiele aanzanding aan de bovenstroomse zijde van de haveningang. Door hier een hoeveelheid zand af te graven die gelijk is aan het jaarlijkse langtransport wordt het volledige sedimenttransport gebruikt om de ontstane leemte aan te vullen. Gevolg is dat de vaarroute niet meer aanzandt en dat de benedenstroomse stranden worden gestabiliseerd.

4.4.3 Producties

In het ontwerp werd een systeem beoogd dat 150 m³/uur kon verplaatsen. Dit zou in combinatie met de voorgestelde werktijden en de daaruit voortvloeiende werkbare uren een jaarproductie opleveren ter grootte van het jaarlijkse sedimenttransport van 83.000 m³/jaar. Zo wordt 100 % van het langtransport omgeleid. In de eerste 10 maanden, van februari tot en met december 1990, werden de volgende maandproducties gehaald.

Periode	Productie in [m ³]
februari	18.000
maart	4.000
april	11.000
mei	6.000
juni	5.000
juli	5.000
augustus	5.000
september	10.000
oktober	15.000
november	3.000
december	4.000
gemiddeld	86.000 m ³ /11 maand

Tabel 4.6 Maandproducties Indian River Inlet

Hieruit blijkt dat het systeem in elf maanden al meer dan de beoogde jaarproductie heeft omgeleid. De topproductie tijdens de maand februari laat zich verklaren door de grote hoeveelheid zand die aanwezig was. In maart zijn er diverse reparaties uitgevoerd aan de jetpomp en in de periode van mei tot en met augustus is vanwege strandbezoekers veel minder gewerkt. Wat er met name voor heeft gezorgd dat ondanks dit het totaal op 86.000 m³ uitkomt is de hoge uurproductie. In het ontwerp is uitgegaan van 150 m³/uur maar al in de aanloop bleek een productie van 175 m³/uur goed haalbaar. Nadat nog meer ervaring was opgedaan in het ontgravingsproces bleek zelfs 215 m³/uur haalbaar. Onderstaand overzicht maakt duidelijk dat steeds beter de beoogde jaarproducties gehaald worden.

jaar	jaarproductie in [m ³]
1990	86.000
1991	63.000
1992	52.000
1993	52.000
1994	65.000
1995	53.000
1996	73.000
1997	88.000
1998	93.000
jaargemiddelde:	74.000

Tabel 4.7 Jaarproducties Indian River Inlet

4.4.4 Kosten

In 1990 heeft de aanleg van het totale systeem \$ 1.600.000 gekost. Omgezet naar 1999 levert dat een bedrag op van ca \$ 2.000.000,- Hiervan werd 78 % uit de federale kas betaald en de overige 22 % uit de staatskas van Delaware. Voor het in bedrijf houden van het systeem draagt de federale overheid 41 % van de kosten en de staat Delaware 59 %. Voor de kosten, uitgedrukt in de 1999 US \$, ontstaat het volgende overzicht.

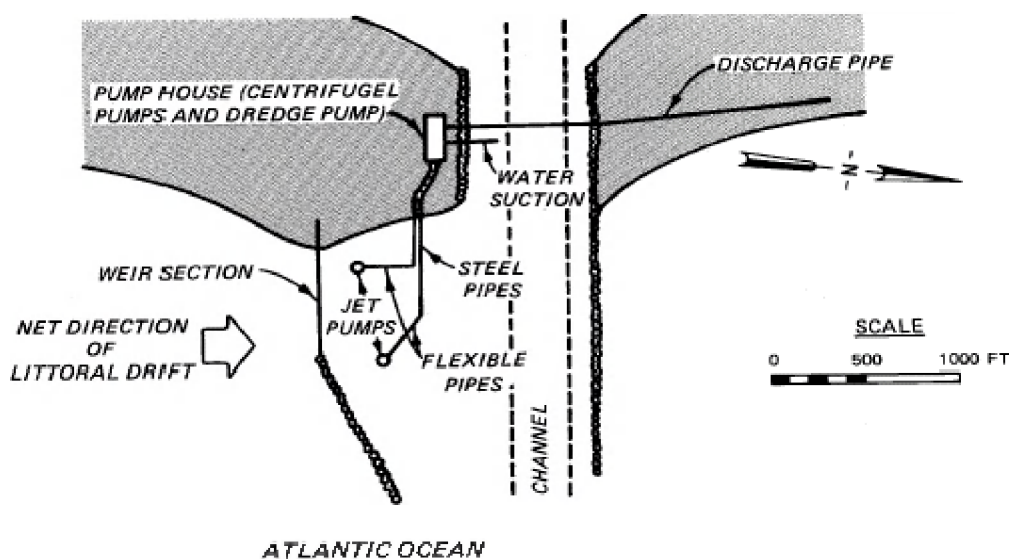
jaar	verpompte m ³	totale kosten	kosten in [\$/m ³]
1990	86.000	139.184	1,23
1991	63.000	170.263	2,07
1992	52.000	150.994	2,23
1993	52.000	195.579	2,88
1994	65.000	157.449	1,86
1995	53.000	172.318	2,51
1996	73.000	217.580	2,27
1997	88.000	196.970	1,71
gemiddeld	67.000	175.042	2,61

Tabel 4.8 Kostenoverzicht Indian River Inlet

4.5 Rudee Inlet

Dit is een haveningang gelegen aan de Atlantische Oceaan in de staat Virginia in Amerika. De ingang ligt ongeveer 500 km ten zuiden van New York. Aan de hand van een korte beschrijving van de geschiedenis wordt duidelijk wat de omstandigheden zijn geweest die er toe geleid hebben dat een sand bypass systeem werd toegepast.

Tot 1927 was Rudee Inlet een natuurlijke ingang, in dat jaar werd het toegangskanaal gefixeerd met betonnen wanden. Dit hield stand tot 1952 toen er, in het verlengde van die wanden, jetties werden aangelegd met daartussen een toegangsecul. Tegelijk met deze constructie werd ongeveer 1.000.000 m³ zand weggehaald, zowel voor de aanleg van de vaargeul als uit ontstane ondieptes in het gebied tussen de jetties. Het gevolg van deze aanleg, in combinatie met de grootscheepse baggeractiviteiten, was dat de vaargeul aanzandde en dat benedenstrooms erosie optrad. Daarom werd in 1955 een vast sand bypass systeem geïntroduceerd dat ongeveer 38 m³/uur verpompte. Dit had eigenlijk geen invloed op de problematiek. De lokale overheid [de staat Virginia] heeft toen een kleine zuiger aangeschaft, maar zelfs de combinatie van sand bypass systeem en conventionele zuiger gaf niet het gewenste resultaat.



Figuur 4.10 Schets sand bypass systeem Rudee Inlet [US-ACE, 1991]

De zuiger had veel last van de golfinvloeden in de toegang. In 1962 werd het sand bypass systeem vernield door een cycloon en in 1963 was de ingang dichtgeslibt en kon het langtransport de ingang weer op natuurlijke wijze passeren. Uiteindelijk is in 1968 het toegangskanaal weer hersteld en zijn de jetties verlengd. Hierbij is in de bovenstroomse jetty een weir aangelegd om daarachter een zandvang uit te baggeren. Zie figuur 4.10.

Door golfinvloeden is die aanleg nooit volledig gelukt en werd alleen aanzanding van de vaargeul voorkomen terwijl de benedenstroomse erosie bleef bestaan. Daarom werd in 1972 met behulp van een gecontracteerde zuiger 75.000 m³ uit het bassin achter de weir en 150.000 m³ uit de vaargeul en omliggende ondiepten gebaggerd. In 1975 werden de werkzaamheden met de eigen, kleinere zuiger hervat. Tevens is toen door het Waterways Experiment Station [WES] een experimenteel bypass systeem aangelegd. Het bestond uit een vast pomphuis op de wal, van waaruit een vaste stalen leiding, ondersteund, zich uitstrekte tot boven het bassin achter de weir. Aan deze vaste leiding zaten middels een bolscharnier twee flexibele leidingen bevestigd met aan elk van die leidingdelen een jetpomp. De jetpompen bestreken zo de volledige zandvang en konden redelijk onafhankelijk van weersinvloeden werken. Vanaf de wal konden de jetpompen met kabels worden gepositioneerd. Gedurende zes maanden is in 1975 met dit systeem proef gedraaid en toen werd ongeveer 60.000 m³ zand omgeleid. Na die veelbelovende proefperiode is het systeem aan de lokale overheid verkocht. Er werd vanuit gegaan dat dit systeem in staat zou zijn om het jaarlijkse netto transport om te leiden. Van 1975 tot 1985 heeft dit systeem gewerkt en van 1985 tot 1987 met slechts één van de twee jetpompen omdat er één kapot was gegaan. Vanaf 1987 werkt de eigen zuiger met tussenpozen aan dit project, met name gehinderd door golfinvloeden. Zo wordt ongeveer 150.000 m³ per jaar omgeleid. Dit bleek voldoende om de benedenstroomse erosie in de directe nabijheid te bestrijden maar niet voldoende om ook de toegangsecul op diepte te houden. Daarvoor is in 1982 nog een keer een grotere zuiger ingehuurd. Tot op het tijdstip waar de informatie over dit project stopt bleek met alleen het inzetten van de eigen zuiger, het contracteren van een grote zuiger eens in de tien jaar nodig. De informatie houdt op bij de mededeling dat er plannen zijn een grotere eigen zuiger aan te schaffen die wel in staat is om zowel erosie als onderhoudsbaggerwerk te voorkomen.

4.5.1 Langtransport

De geraadpleegde bronnen verschillen van mening over het netto langtransport. In US-ACE (1991) wordt over ongeveer 150.000 tot 190.000 m³ per jaar gesproken terwijl Richardson (1977) uitgaat van een jaarlijks transport van 55.000 tot 90.000 m³. In dat laatste geval zou de gehaalde productie tijdens de proeven van WES in 1975 [d.w.z. ongeveer 120.000 m³ op jaarbasis] ruim voldoende zijn om alle problemen de baas te kunnen. Gezien de ervaringen lijkt de schatting van een netto langtransport van 150.000 tot 190.000 m³ per jaar nog het beste.

4.5.2 Producties en kosten

Cijfers over producties van het echte sand bypass systeem ontbreken. Wel zijn er gegevens van de jaren 1991 tot en met 1996 van de producties en de kosten van de eigen zuiger van de staat Virginia. Die zijn in onderstaande tabel samengevat.

jaar	productie [m ³]	kosten [gemiddeld in \$/jaar]	kosten [\$ / m ³]
1991	30.125	1.400.000	46,47
1992	50.081	1.400.000	27,95
1993	84.106	1.400.000	16,65
1994	45.876	1.400.000	30,52
1995	42.762	1.400.000	32,74
1996	87.164	1.400.000	16,06
gemiddeld:	56.686	1.400.000	28,40

Tabel 4.9 Producties en kosten per jaar van eigen zuiger Rudee Inlet

Geconcludeerd mag worden dat er drie grote punten van kritiek kunnen worden opgesteld aangaande de aanpak die is gevolgd voor Rudee Inlet. In de eerste plaats bleek de capaciteit van het sand bypass systeem eenvoudigweg te klein. Of anders gesteld: de inschatting van het jaarlijkse netto langtransport is onjuist geweest. Daarnaast bleek de zandvang achter de weir niet goed of niet voldoende goed te werken. Er kwam voortdurend sediment in de vaargeul terecht. Tenslotte kunnen de kosten per m^3 omgeleid zand zoals ze door de eigen zuiger worden gemaakt exorbitant hoog worden genoemd. Kortom een te kleine capaciteit van het systeem, een slecht werkende zandvang en veel te hoge kosten per m^3 .

4.6 Port Sanilac

Aan één van de "Great Lakes" in Amerika, te weten Lake Michigan, ligt de haveningang voor kleine boten, genaamd Port Sanilac. De ingang bevindt zich ongeveer 140 km ten noorden van de stad Detroit, zie ook figuur 4.11.

De toegangsgeul wordt afgebakend door twee met zand en stenen gevulde damwandrijen die niet zijn verbonden met het vaste land [Richardson, 1980]. Het jaarlijkse langtransport bedraagt slechts $17.500 m^3$. Toch kon onder invloed van de damwandrijen een onbedoelde tombolo ontstaan en was tevens benedenstroomse erosie het gevolg. Omdat meerdere haveningangen problemen ondervonden die met een sand bypass systeem te bestrijden zijn is besloten om een mobiel systeem te ontwerpen. Dit ontwerp werd opgezet aan de hand van de situatie van Port Sanilac, maar diende ook elders te kunnen worden ingezet. Zodoende werd uitgegaan van een te behalen jaarproductie van ca. $57.500 m^3$, verspreid over twee à drie locaties.

Het hele systeem is op twee trailers te vervoeren. Op één trailer staat de pompeenheid met bedieningsruimte, dieselmotoren, generator en brandstoftank. Op de andere staat de apparatuur waarmee de dichtheid en de snelheid kunnen worden gemeten. Het eigenlijke baggeren gebeurt met jetpompen die aan een drijver zijn bevestigd. De drijvers kunnen water innemen en zo de pomp dicht bij de bodem brengen. De drijvers kunnen worden verplaatst met behulp van de geïntegreerde schroeven. De verbinding tussen de jetpompen aan de drijvers en de pompinstallatie op de trailer wordt tot stand gebracht met flexibele leidingdelen.



Figuur 4.11 Locatie Port Sanilac [Richardson, 1980]

Het hele systeem kan door één persoon worden bediend. Alleen tijdens mobilisatie en demobilisatie zijn vier à vijf personen nodig. In figuur 3.9, hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van de diverse onderdelen.

Behalve de producties die gemiddeld ongeveer 65 tot $90 m^3$ per uur bedragen met uitschieters naar $120 m^3$ per uur, is niet veel informatie voorhanden. Het systeem is al voor diverse situaties toegepast gebleken. Het heeft, naast het werk voor Port Sanilac, dienst gedaan in een klapput van een sleephopperzuiger en klein onderhoudswerk verricht in een toegangskanaal. Meestal werd het verwerkte materiaal gebruikt voor strandsuppleties.

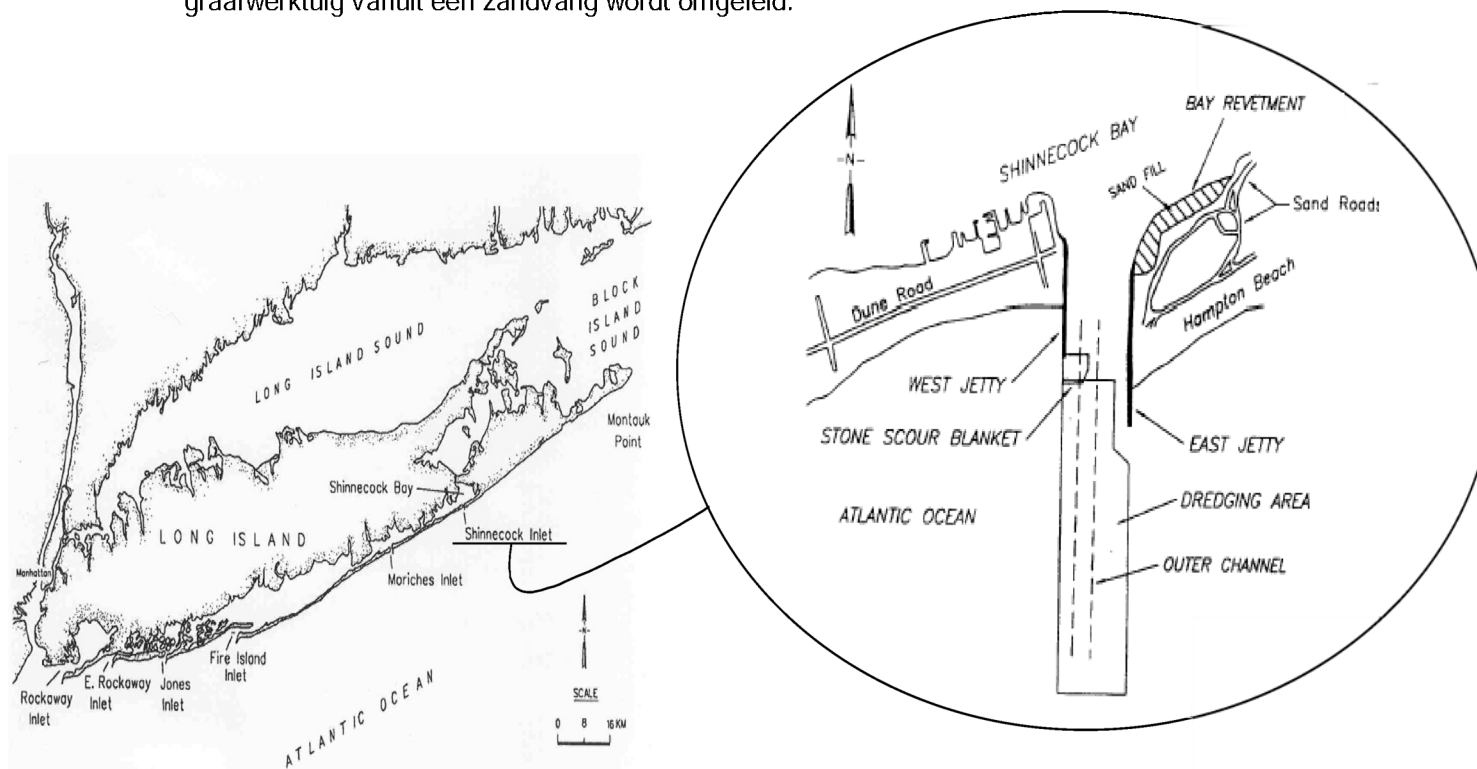
Voornaamste reden om dit systeem hier nog eens voor het voetlicht te halen is de nadruk die wordt gelegd op mobiliteit. De mobiliteit wordt mogelijk gemaakt doordat het systeem uit kleinschalige componenten is opgebouwd. Dit kon omdat de capaciteit waarop ontworpen werd ook klein was. Voor grootschaliger projecten is een oplossing als deze wellicht niet praktisch meer. Dit systeem laat echter zien dat een mobiel systeem in principe een volwaardig alternatief is voor een sand bypass systeem. Enige kanttekening is wellicht dat de situatie hier, namelijk een haveningang aan een meer, anders is dan een situatie aan zee.

4.7 Shinnecock Inlet

Deze ingang, die de Shinnecock Bay verbindt met de Atlantische Oceaan, is gesitueerd aan de oceaanzijde van Long Island, New York. De ingang wordt gestabiliseerd door stortstenen jetties waarbinnen een federale toegangsgeul wordt onderhouden. Zie figuur 4.12 voor locatie van de ingang.

De voornaamste reden voor de aanleg van een sand bypass systeem is de optredende erosie die een weg bedreigt en doorgaande achteruitgang van het strand in de omgeving tot gevolg heeft. Met name in het gebied direct ten westen van de westelijke jetty en de 2.000 meter strand daar benedenstreams van. Het probleem wordt veroorzaakt door een opkomende ondiepte, veroorzaakt door de invloed van het getij, die aansluiting met het vaste land lijkt te gaan maken. Hierdoor wordt het langtransport tegengehouden met erosie direct achter de westelijke jetty en van het benedenstroomse strand als gevolg. Dit probleem dient te worden aangepakt en de oplossing is, volgens de vaarwegbeheerder, een sand bypass systeem.

Er zijn een aantal alternatieven onderzocht om vast te stellen welk type sand bypass systeem hier het meest geschikt is. Dit betrof vijf alternatieven, te weten: een conventionele sleephopperzuiger, een halfvaste oplossing zoals bij de Indian River is toegepast, een toepassing van de Crawlcat van IHC [dat is een ponton op vier pilaren met onder elke pilaar een rupsaandrijving zodat de hele installatie over de bodem beweegt; vanaf het ponton kan een cutter aan een cutterladder over de bodem bewegen tot ongeveer 10 meter diepte], een toepassing met de punaise en een laatste alternatief waarbij met een mechanisch graafwerktuig vanuit een zandvang wordt omgeleid.



Figuur 4.12 Locatie en detail van Shinnecock Inlet

Van deze alternatieven zijn diverse aspecten bekeken als kosten, flexibiliteit, ervaring, producties, etc. [Williams, Morang and Lillycrop, 1998]. Op dit punt wordt aandacht besteed aan het alternatief met de punaise.

Dit alternatief bleek weliswaar het op één na duurste maar kende toch een ander groot voordeel dat er voor zorgde dat dit alternatief serieus is overwogen. Dat was de grote flexibiliteit van dit systeem. Doordat de punaise zeer goed te verplaatsen is kan zij een groot gebied beslaan in de directe omgeving van Shinnecock Inlet en ook voor andere projecten worden ingezet. Hierbij geldt dat de relatief hoge kosten dan door meerdere partijen kunnen worden opgebracht.

De punaise werkt vooral goed in gebieden waar zich voornamelijk zand bevindt. Tijdens proeven in Shinnecock werd de punaise gestopt door een kleilaag in de bodem. Verder is er nog een juridisch probleem wat betreft het werken met de punaise in Amerika. Het werktuig wordt als vaartuig aangemerkt en wordt gebouwd in Nederland. Door de zogenaamde Jones-act, een wet die o.m. bepaalt dat baggervaartuigen alleen in Amerika mogen werken als ze daar gebouwd zijn, wordt de punaise behoorlijk gedwarsboomd. Dit doet natuurlijk niets af aan de werking van de punaise op zich en haar eventuele toepasbaarheid in een sand bypass systeem.

4.8 Geleerde lessen uit de praktijk

In het voorgaande gedeelte zijn een aantal sprekende voorbeelden uit de praktijk besproken. Uit die voorbeelden zijn de volgende conclusies te trekken. Enerzijds kan van die conclusies worden gezegd dat ze algemeen en kwalitatief zijn en derhalve als open deuren kunnen worden gekwalificeerd. Anderzijds blijkt uit de praktijk dat in dit rijtje van conclusies missers voorkomen die toch gemaakt worden. Al met al voldoende aanleiding om ze hier samen te vatten. Achter elk aandachtspunt staat vermeld waar de ervaringen zijn opgedaan.

- Een sand bypass systeem wordt bij voorkeur toegepast om één probleem op te lossen. Verder wordt de kans op succes aanzienlijk vergroot wanneer het sedimenttransport hoofdzakelijk in één richting beweegt [Ocean Side Harbour]
- De actieradius en de flexibiliteit van een systeem blijken nogal eens te klein. Zeker wanneer de ontwikkeling van de zandvang onzekerheden kent dient hier veel aandacht aan te worden besteed [Ocean Side Harbour, South Lake Worth Inlet]
- De afstemming tussen de grootte van het langtransport en de capaciteit van het sand bypass systeem bepaalt het succes. Een te kleine zandvang c.q. een onderschat langtransport heeft mislukking tot gevolg [Rudee Inlet]
- Problemen waarvoor een sand bypass systeem wordt aangelegd spelen in de brandingzone, dit blijkt vaak een beperkende factor voor het toe te passen c.q. toegepaste materieel [o.a. Ocean Side Harbour]
- Voor toepassing op kleinere schaal [enkele tienduizenden m³ per jaar] is een drijvend systeem een goed alternatief. Door de kleine capaciteit die nodig is, kent het systeem kleine, goed hanteerbare onderdelen die de flexibiliteit en de actieradius sterk vergroten [Port Sanilac].
- Het principe van fluidiseerleidingen die de toevoer van zand verzorgen in een zandvang werkt duidelijk productieverhogend en daarmee vergroot het de actieradius van een systeem. Het is daarbij aanbevelenswaardig om gescheiden systemen te gebruiken voor de watertoevoer voor fluïdisatie en voor de jetpompen [Ocean Side Harbour]. Verder is algemeen bekend uit de baggerindustrie dat het leegzuigen van een hopper pas kan worden ingezet na fluïdisatie. Ook volgt uit literatuur [Weisman e.a., 1982 en 1987] dat het principe werkt. Het algemeen heersende probleem blijft het openhouden van de jets c.q. nozzles die de fluïdisatie verzorgen.
- Een systeem dat gebruik maakt van de punaise combineert de voordelen van een drijvend zandwinningscomponent met grotere producties [Shinnecock Inlet].

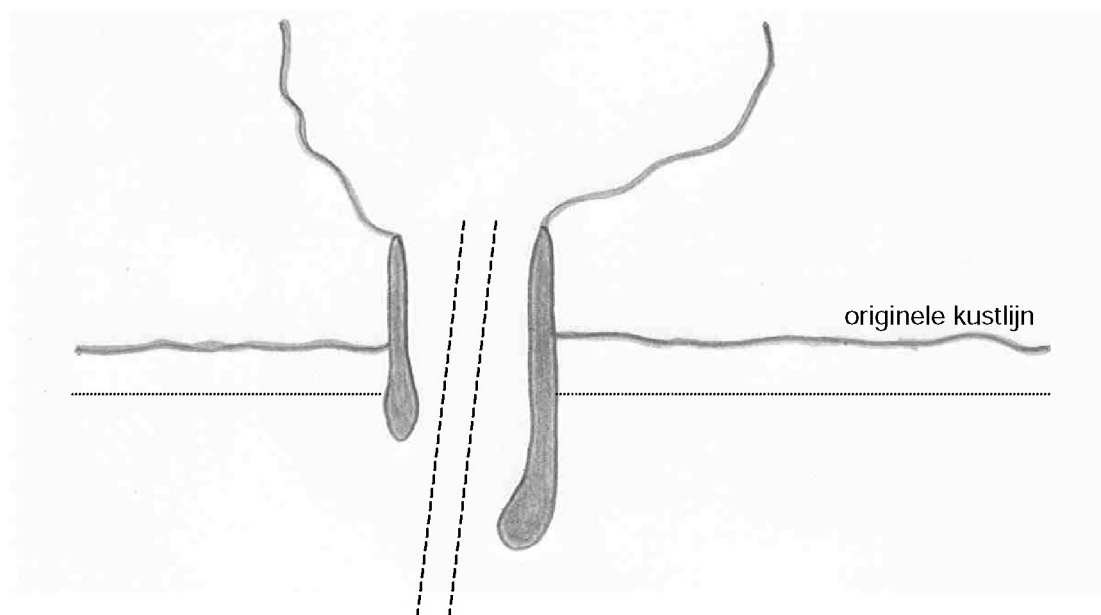
5 Ontwerprichtlijn sand bypass systemen

Tot op dit punt zijn de volgende zaken behandeld. Na een inleiding over het basisidee achter sand bypass systemen in hoofdstuk 1 zijn in het tweede hoofdstuk een aantal hoofdpunten uit de theorie besproken. Vervolgens is een inventarisatie gemaakt van typen systemen uit de praktijk. Een aantal van die systemen is in hoofdstuk 4 nader geanalyseerd. Vanuit al deze informatie zijn reeds enige conclusies getrokken aangaande het ontwerpen en functioneren van sand bypass systemen. In dit hoofdstuk zullen nog een aantal aspecten aangaande het ontwerpen van een dergelijk systeem voor het voetlicht worden gebracht. Dit wordt gedaan aan de hand van twee fictieve situaties. De reden hiervoor is dat het vrijwel onmogelijk is om een algemeen geldende ontwerprichtlijn op te stellen die zonder meer toepasbaar is op iedere omstandigheid.

In de rest van dit hoofdstuk zullen twee denkbeeldige situaties worden behandeld. Deze verschillen van elkaar door het *moment* vanaf wanneer een sand bypass systeem wordt ingesteld. In het eerste geval zal dat moment samenvallen met het begin van de verstoring van het langstransport. In het tweede geval wordt pas begonnen met het omleiden van zand wanneer de gevolgen van het verstoren van het langstransport al duidelijk merkbaar zijn. Beide gevallen worden in paragrafen 5.1 en 5.2 geïntroduceerd en in 5.3 en 5.4 worden de verschillende keuzes, die gemaakt dienen te worden in die situaties, nader besproken.

5.1 Implementatie sand bypass systeem zonder opbouw buffer

Hier is het uitgangspunt een rechte, ongestoorde zandkust. Op deze kust komt een constant golfpatroon binnen onder een hoek met de kust. Als gevolg daarvan ontstaat in de brekerzone een langstransport van sediment. Voor het beschouwde kustgedeelte betekent dit een constant sedimenttransport in langsrichting van de kust. Op een gegeven moment wordt binnen dit kustvak een haven aangelegd, met aan weerszijden van de toegangseul een met het vaste land verbonden golfbreker tot ver buiten de brekerzone. In dit geval wordt er van uitgegaan dat na oplevering van het gehele havencomplex, dus bekken, geul en golfbrekers, de invloeden pas merkbaar worden voor het langstransport. De aanleg van de haven wordt verondersteld instantaan te zijn.



Figuur 5.1 Situatie zonder buffer

Het langtransport wordt in deze benadering van het ene op het andere moment verstoord door de aanleg van de haven; een niet te passeren barrière. De beheerder van de haven wil van meet af aan beginnen met het omleiden van zand met behulp van een sand bypass systeem. Dit is de gegeven situatie dat als startpunt geldt voor de ontwikkeling van een goed werkend systeem. In figuur 5.1 is deze situatie aangegeven.

De keuze die in dit geval een belangrijke rol speelt, is de keuze om direct na aanleg van de haven te beginnen met het omleiden van zand. In de praktijk zal een dergelijke keuze met name gemaakt worden wanneer er benedenstrooms van de haven geen of bijna geen erosie van de kustlijn wordt geaccepteerd. Om erosie te voorkomen aan de benedenstroomse zijde dient er een hoeveelheid sediment te worden aangevoerd ter grootte van het natuurlijke langtransport voor dit kustvak. Er zal geen grote zandvang worden aangelegd maar er zal een systeem ontstaan dat voortdurend kleine hoeveelheden zand omleidt. Hierin zijn de termen 'groot' en 'klein' gekoppeld aan het netto jaarlijkse langtransport. Er dient dus een onderscheppend, continu werkend systeem te worden ontworpen waarbij er van wordt uitgegaan dat het langtransport zorg draagt voor de toevoer van sediment naar de zandvang.

Vervolgens dient de locatie van de zandopvang te worden bepaald. Het volledige sedimenttransport dient te worden opgevangen en omgeleid. Een opvang te ver van de haveningang af betekent dat tussen zandvang en golfbreker een stukje langtransport wordt 'gemist' zodat toch materiaal aanzandt. Verder wordt er onnodig veel transportafstand geïntroduceerd. Te dichtbij betekent dat, door de stuwing die de langsstroom van de golfbrekers ondervindt, er al zand bezinkt voordat het in het systeem kan komen. Dit houdt in dat bekend moet zijn waar het langtransport zich manifesteert. Ook dient de vraag te worden beantwoord of het mogelijk is om het volledige zandtransport om te leiden of dat er altijd een bepaalde mate van aanzanding [en dus benedenstroomse erosie] geaccepteerd moet worden. Verder dient te worden nagegaan wat de invloed is op het stromingsbeeld langs het kustgedeelte waar de haven is aangelegd, veroorzaakt door diezelfde haven. Het is goed voor te stellen dat het water, dat door de langsstroming wordt verplaatst, een stuwing ondervindt van de golfbrekers en bovenstrooms daarvan gaat uitbreken.

Nadat de locatie van de zandvang bekend is dient de grootte ervan te worden bepaald. Onderscheppende, continue systemen dienen voldoende capaciteit hebben om pieken in het zandtransport, veroorzaakt door stormen bijvoorbeeld, te kunnen opvangen. Tenzij de frequenties waarmee dergelijke pieken voorkomen zo laag zijn dat het efficiënter is om op die momenten te accepteren dat niet alle sedimenttransport kan worden ingevangen. Er dient een duidelijk beeld te worden geschetst van het langtransport wanneer het gaat om de hoeveelheden zand. Zowel onder- en bovengrens als gemiddelde en piekbelastingen. Liefst als functie van de afstand uit de kust.

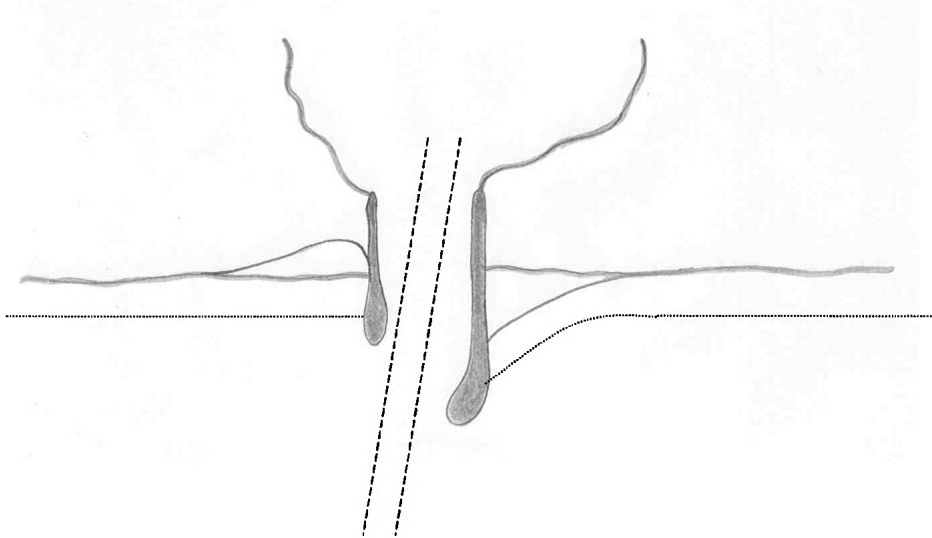
Het tweede onderdeel van een sand bypass systeem [hoofdstuk 3] is het oppakken & transporteren van het sediment. Wat betreft de weerslag op het morfologische proces rondom haven en omleidingsysteem is eigenlijk alleen het oppakken van het sediment belangrijk. Het verdere transport heeft geen directe invloed op het sedimenttransport. Dat wordt aan het einde van de lijn merkbaar wanneer het gewonnen sediment gestort wordt aan de benedenstroomse zijde van de golfbrekers.

Het is echter wel belangrijk om te weten wat de invloed is van het weghalen van opgevangen materiaal op het bezinken van nieuw materiaal in de zandvang. Er moet duidelijk in kaart worden gebracht wat de relatie is tussen geometrie van de zandvang, bezinkgedrag en winproces.

Laatste voetangel voor dit sand bypass systeem is het bepalen van de stortlocatie voor het omgeleide materiaal. De stortlocatie dient dusdanig te worden gekozen dat gevolgen van benedenstroomse erosie zo goed mogelijk worden gecompenseerd.

5.2 Implementatie sand bypass systeem na opbouw van een buffer

Startpunt is in principe hetzelfde als in de vorige situatie. Alleen wordt de haven na aanleg nog een bepaalde tijd ongemoeid gelaten. Op het moment dat voor deze situatie een ontwerp voor een sand bypass systeem wordt gemaakt is er al sprake van aanzanding aan de bovenstroomse zijde en erosie aan de benedenstroomse zijde van de haven. Figuur 5.2 laat zien vanaf welk moment wordt besloten om een sand bypass systeem toe te passen.



Figuur 5.2 Situatie met buffer

In dit geval ligt de essentiële eerste keuze compleet anders dan in de eerste situatie. Werd daar besloten om direct te beginnen met omleiden, hier wordt er voor gekozen om eerst een bepaalde mate van erosie en aanzanding te accepteren. Voor het vervolg van de bespreking van deze situatie wordt er van uitgegaan de situatie zonder buffer uit 5.1 en de situatie met buffer die hier wordt beschreven, respectievelijk de onder- en bovengrens vormen van een voor de beheerder acceptabel kustalignement. Er wordt hier niet expliciet gekozen voor een continue oplossing zodat er twee opties zijn voor het concept van het systeem: continu of periodiek. Voor veel aspecten gelden in principe dezelfde overwegingen als in de situatie zonder buffer. Er zijn echter een aantal verschillen.

Het grootste verschil zit in de acceptatie van een bepaalde mate van aanzanding en erosie door de kustbeheerder. Groot voordeel ten opzichte van het vorige geval is dat de mogelijkheid wordt gecreëerd om in de periode tussen aanleg en het tot stand komen van deze situatie metingen te verrichten en informatie te verzamelen. Hierdoor kan het sedimenttransport beter worden ingeschat. Zoals uit de praktijkvoorbeelden bleek is dat waardevolle informatie wanneer het gaat om het ontwerpen van een juist bemeten sand bypass systeem.

Ander belangrijk verschil is dat er al sprake is van een aanzanding. Een dergelijke aanzanding is met conventioneel baggermateriaal lastig weg te halen. De geringe diepte en het onstuimige karakter van de branding maken het werken met zuigers vrijwel onmogelijk. In paragraaf 5.4 zullen een aantal methodes worden besproken om het aanzandingsgebied af te graven.

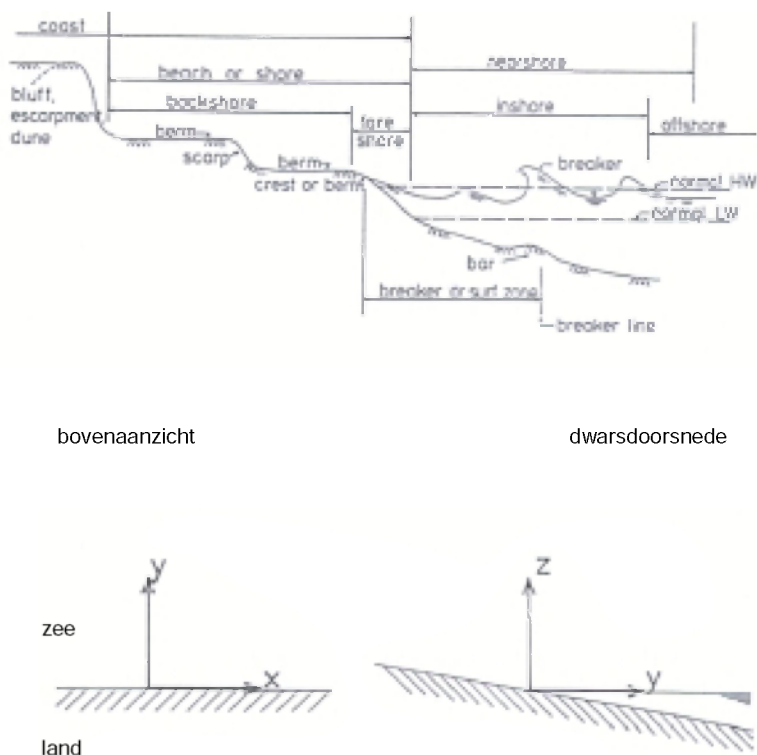
5.3 Kwantificering situatie zonder buffer

In deze paragraaf worden de vastgestelde voetangels bij het ontwerp van een sand bypass systeem, voor een situatie waarin geen buffer wordt opgebouwd, van meer achtergrond voorzien. Dit is de configuratie waarbij in een voorheen ongestoorde kustlijn een haven wordt

aangelegd en waarbij per direct een continu sand bypass systeem in werking dient te worden gesteld.

5.3.1 Definities

Voor de verdere bespreking van de beide situaties worden de onderstaande afspraken over termen en assenstelsels aangehouden. In figuur 5.4 staat een dwarsdoorsnede van de kustzone waarin de diverse onderdelen staan aangegeven en de gebruikte assenstelsels.



Figuur 5.4 Definitieschets

5.3.2 Sedimenttransport

Met behulp van de CERC-formule kan de grootte worden bepaald van het zandtransport. De uitkomst van de CERC-formule geeft alleen het totale langstransport dat optreedt. Er wordt geen specificatie gegeven in de vorm van een snelheidsprofiel of een concentratieprofiel. Met behulp van een numeriek rekenprogramma als bijvoorbeeld UNIBEST kan dit laatste wel worden gerealiseerd. Daarmee kan voor een gegeven situatie [dus o.a. een bekend golfklimaat en bekende bathymetrie] ook het langstransport worden uitgerekend. Met dit verschil dat UNIBEST de gebruiker in staat stelt via meerdere rekenmodules het langstransport te berekenen. De uitkomsten van die berekeningen worden gepresenteerd als een functie van de afstand uit de kust. Zo kunnen snelheid en concentratie als functie van de afstand uit de kust worden bepaald.

Doordat het golfklimaat kan worden gevarieerd kan tevens een duidelijk beeld worden gevormd van de optredende pieken in het langstransport en over de ligging van de brekerlijn. Of beter gezegd: over de zone waarin de brekerlijn zich kan bevinden.

5.3.3 Locatie zandvang

Met de locatie van de zandvang wordt hier bedoeld hoever de zandvang zich voor de bovenstroomse golfbreker bevindt [bovenstrooms ten opzichte van de sedimentstroom].

Wordt de zandvang te ver van de golfbreker aangelegd, dan zal er achter de zandvang nog sprake zijn van sedimenttransport. Er zal dan een gedeelte van het langtransport tegen de golfbreker aanzanden. Dat sedimenttransport komt dus niet in het systeem terecht. Wanneer de zandvang te dicht bij de golfbreker wordt aangelegd verliest de sedimentstroom zo veel snelheid voordat de zandvang wordt bereikt, dat er sediment bezinkt. De optimale positie van de zandvang is die locatie die deze twee nadelen zo veel mogelijk beperkt.

Met behulp van een modellering kan worden achterhaald hoe het sedimenttransport zich in de omgeving van de golfbreker gedraagt. Zo kan de locatie worden gevonden waar de ongestoorde sedimentstroom de golfbreker het dichtst nadert. Dat wil zeggen dat de stroming daar nog niet afbuigt en nog geen snelheid verliest. Tevens is daar nog geen sprake van het uitbreken van water door de opstuwung die de langstroom ondervindt van de golfbrekers. Met dit uitbrekende water wordt zand in zeewaartse richting aan het bypass systeem onttrokken.

Een dergelijke morfologische simulatie kan goed worden uitgevoerd met behulp van het computerprogramma DELFT2D-MOR, ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. Franssen (2000) geeft in zijn afstudeerverslag de uitkomsten weer van de modellering van de aanzanding en erosie rondom een golfbreker aan de Indiase kust. De uitkomst van dit onderzoek was dat met een aanpassing van de randvoorwaarden t.p.v. de golfbreker de aanzanding goed gemodelleerd kan worden. Tevens kan het stromingsbeeld goed in kaart worden gebracht. De erosie bleek minder goed te worden weergegeven. In het afstudeerverslag werd echter melding gedaan van ontwikkelingen die het mogelijk moeten maken in de toekomst ook de erosie op juiste wijze te modelleren. Met dit hulpmiddel kan dus een goed onderbouwde keuze worden gemaakt voor de locatie van de zandvang. Eventueel kan dit programma worden uitgebreid met applicaties die dwarstransport en variatie van o.m. golfklimaat kunnen modelleren.

Een laatste opmerking aangaande het kiezen van de locatie van de zandvang wordt gemaakt op basis van ingewonnen informatie uit de praktijk [Pound, 2002]. De ontwerpers [en bouwers] van het sand bypass systeem van de Nerang River in Australië maken melding van het feit dat sediment, uit het gebied tussen de zandvang en de golfbreker, nadat het is neergeslagen toch nog de zandvang bereikt. Omdat de zandvang daar de kust lokaal beïnvloedt wordt de hoek van inval van de golven zodanig dat er [heel lokaal] zandtransport ontstaat vanaf de golfbreker naar de zandvang toe. Hierdoor komt nagenoeg al het sediment dat wordt aangevoerd uiteindelijk toch in de zandvang terecht; zelfs dat deel dat in eerste instantie de zandvang passeerde. Ook daar was de locatie van de zandvang gebaseerd op de uitkomst van een aparte [modell]studie. De zandvang van het systeem van de Nerang River bevindt zich ongeveer 250 meter bovenstreams van de golfbreker.

5.3.4 Grootte zandvang

De geometrie van een zandvang wordt bepaald door het karakter van het sand bypass systeem waarbinnen de zandvang wordt toegepast. Het karakter kan onderscheppend of verzamelend zijn. De verzamelende systemen maken gebruik van een locatie waar sediment bezinkt. Dit kan een natuurlijk gegeven zijn of een speciaal aangelegde locatie. Van daaruit wordt dan met conventionele zuigers het zand omgeleid. Een dergelijk systeem wordt gekenmerkt door een grote zandvang waarvan de grenzen niet heel nauwkeurig vastliggen. De zandvang wordt dan het liefst zo groot mogelijk gemaakt, opdat de frequentie waarmee ze wordt geledigd laag wordt gehouden. Zo worden mobilisatiekosten van de zuiger uitgespaard. Bij onderscheppende systemen is de locatie plaatsvaster en de capaciteit kleiner dan bij de verzamelende systemen. In dit voorbeeld gaat het om een zandvang voor een onderscheppend systeem.

Uit het onderscheppende karakter van het sand bypass systeem dat hier ontworpen dient te worden volgen voor de geometrie van de zandvang de volgende functionele eisen:

- de sedimentstroom mag de zandvang [in principe] niet passeren; alle sediment dient erin te bezinken

- de zandvang wordt gekenmerkt door een relatief kleine opslagcapaciteit [het sediment heeft een korte verblijftijd in het systeem]

Wanneer bekend is waar de zandvang komt dient de capaciteit ervan te worden bepaald.

Voor een eerste indicatie kan de capaciteit van de zandvang worden afgestemd op het verwachte aanbod van sediment vanuit het langstransport. In dit geval, waarbij een continu systeem ontworpen dient te worden, ligt het in de bedoeling kleine hoeveelheden in te vangen en die, na een korte verblijftijd in de zandvang, weg te halen. Ordegrootte van de capaciteit van de zandvang is dan 5 à 10 % van het totale langstransport. Het systeem van de Nerang River bijvoorbeeld leidt op jaarbasis ongeveer 500.000 m³ zand om. Dit is nagenoeg gelijk aan het netto jaarlijkse langstransport. De ontwerpcapaciteit van de zandvang bedroeg 40.000 m³. Dat is 8% van het jaarlijkse langstransport. Zodoende is 10 % van het jaarlijkse langstransport een goede eerste indicatie voor de capaciteit van een zandvang.

Piekbelastingen [verhoogde sedimentaanvoer als gevolg van stormen] maken dat in zeer korte tijd een veel grotere hoeveelheid sediment wordt aangeboden dan de zojuist ingeschatte 5 à 10 % van het totale sedimenttransport. Gevolg is dat de zandvang niet alle materiaal kan invangen. Om dit te voorkomen dienen twee zaken helder benoemd te worden. Ten eerste welke mate van 'mors' wordt geaccepteerd. Ten tweede in hoeverre er rekening kan worden gehouden met terugkeer van materiaal in de zandvang als gevolg van circulatiestromen tussen de zandvang en de golfbreker. Dit verschijnsel werd geconstateerd bij het systeem van de Nerang River. Door die circulatiestromingen wordt [een gedeelte van het] zand dat in eerste instantie de zandvang passeerde toch nog ingevangen. Op basis van deze twee gegevens kan dan bepaald worden hoe groot de zandvang dient te zijn opdat de netto hoeveelheid sediment die niet wordt ingevangen [d.w.z. mors minus sediment vanuit recirculatie] acceptabel is voor de kustbeheerder.

Naast de grootte van het totale transport en de piekbelastingen is er nog iets dat de capaciteit van de zandvang bepaalt. Dit hangt nauw samen met de frequentie waarmee de zandvang geleegd zal gaan worden. In feite zijn de grootte van de zandvang en de frequentie waarmee deze geleegd zal gaan worden, de uitkomst van een iteratief proces. Bij een gegeven langstransport levert een gekozen grootte van de zandvang de bijbehorende frequentie op waarmee deze geleegd dient te worden. Wanneer bij datzelfde langstransport de frequentie wordt verhoogd, levert dat een kleinere zandvang op, etc.

Er is dus geen rechtlijnige stelregel waarmee de capaciteit van een zandvang zonder meer bepaald kan worden. In hoofdstuk 6 wordt het vulproces van een zandvang gemodelleerd. Dit model kan worden gebruikt om te bepalen hoeveel procent van het langstransport in de zandvang bezinkt. Het langstransport dient dan wel als functie van de afstand uit de kust bekend te zijn.

5.3.5 Vulproces van een zandvang

Zoals al uit hoofdstuk 3 en 4 bleek is de zandvang het cruciale onderdeel van elk sand bypass systeem. Naast het inschatten van de locatie en de grootte, onder meer aan de hand van de uitkomsten van numerieke modellen, is het vulproces van wezenlijk belang bij het ontwerp. Het vulproces kennen stelt de ontwerper in staat om in de eerste plaats een goede zandvang te ontwerpen en in de tweede plaats om een adequaat werkschema op te zetten. Met dit laatste wordt een efficiënte cyclus bedoeld waarin het vullen en legen van de zandvang op elkaar zijn afgestemd.

Vanuit die visie is besloten om het vulproces van de zandvang, in deze studie, meer aandacht te geven. In het volgende hoofdstuk zal dan ook een model worden gepresenteerd waarmee het vulproces beschreven kan worden.

5.3.6 Winproces in een zandvang [van der Schrieck, 2001]

De zandvang kan de vorm van een geul aannemen of opgebouwd zijn uit onafhankelijke kraters. Het leegzuigproces van de zandvang kent in beide gevallen één belangrijke

overeenkomst. In beide gevallen zal bressen van zand optreden, ongeacht de vorm van de zandvang. Om meer inzicht te krijgen in het proces van het leegzuigen van een zandvang wordt hier de theorie behandeld van het zand winnen uit zandwinputten door winzuigers.

Kwalitatief

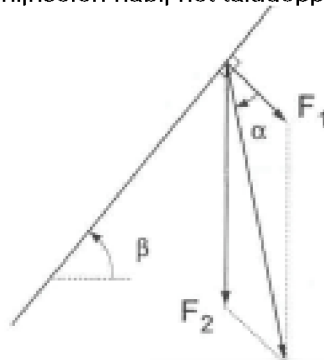
Wanneer zand wordt gewonnen uit een zandwinput met behulp van een winzuiger, stroomt het zand toe langs de hellingen van de winput. In het begin ontstaat direct in de nabijheid van de zuigmond een gat met steile wanden. Deze wand blijkt zich, wanneer de zuigmond op een bepaalde diepte wordt gefixeerd, langzaam radiaal van de pomp af te verplaatsen. Hierbij verplaatst de onderkant van die wand zich over een lijn onder een hoek die ongeveer gelijk is aan het natuurlijk talud. De wand verplaatst zich dus radiaal en schuin omhoog. Dit proces van zandtoevoer, veroorzaakt door instortende [te steile] taluds, wordt bressen genoemd. De radiaal verplaatsende wand wordt een *walletje* genoemd en de horizontale snelheid waarmee de wal zich verplaatst heet de *walsnelheid*.

In de wal vormt het losgekomen [afgeschoven] zand met het omgevingswater een dichtheidsstroom die langs het talud naar de zuigmond stroomt. Tijdens het afschuiven treedt echter dilatantie op, het toenemen van het poriënvolume door het toestromen van water. Dit toestromen van water zorgt uiteindelijk voor het afnemen van de effectieve korrelspanningen waardoor het mogelijk wordt voor het talud om af te schuiven. Het toestromen van het water heeft echter tijd nodig. Gedurende die tijd is er sprake van een onderdruk in het zandpakket aan de rand van het talud waardoor de steile wand zich tijdelijk kan handhaven. Voorwaarde is wel dat er sprake is van zand met een voldoende vaste pakking en een lage doorlatendheid. Is dit niet het geval dan zal de wand eerder bezwijken en onderuit zakken, verweken of uitvloeien.

Naast afschuiving spelen ook erosie en sedimentatie langs het talud een belangrijke rol. Door de eroderende werking van de langsstromende dichtheidsstroom die ontstaat tijdens het bressen wordt extra materiaal losgemaakt uit het talud. Dit is terug te zien in de vorm van winputten. Bovenin het talud is met name de bresproductie van belang en is het talud steil. Bovenin het talud zorgt met name het bressen en onderin het talud zorgt een combinatie van erosie door de optredende mengselstroming en bressen voor de benodigde erosiesnelheid. Het kan voorkomen dat door de eroderende dichtheidsstroom er zand blijft toestromen van grote afstand en onder een flauwe helling, zelfs wanneer het zand zuigen gestopt wordt.

Kwantitatief model bresproces

Uit de bovenstaande kwalitatieve beschouwing bleek al dat dilatantie, pakking en doorlatendheid een belangrijke rol spelen. In de vereenvoudigde weergave waarmee een model van het bresproces zal worden afgeleid komen deze factoren terug. De beschouwing concentreert zich op de verschijnselen nabij het taludoppervlak.



Figuur 5.5 Krachtenspel gronddeeltje aan taludoppervlak [van der Schrieck, 2001]
 Beschouwd wordt het evenwicht van een gronddeeltje aan het oppervlak van een oneindig talud dat een hoek β maakt met de horizontaal. Er zijn twee krachten werkzaam, te weten de stromingskracht F_1 [veroorzaakt door het aangezogen omgevingswater, als gevolg van de dilatantie] en de gewichtskracht F_2 :

$$F_1 = \frac{v}{k} \rho_w g \quad (5.1)$$

$$F_2 = (\rho_m - \rho_w) g \quad (5.2)$$

waarin:

$$v = k \cdot i$$

met v = filtersnelheid [m/s]

k = doorlatendheid [m/s]

i = verhang [-]

$$\rho_w = \text{soortelijke massa van het water [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_m = \text{soortelijke massa van de grond; zand + poriewater [kg/m}^3\text{]}$$

$$g = \text{zwaartekrachtsversnelling [m/s}^2\text{]}$$

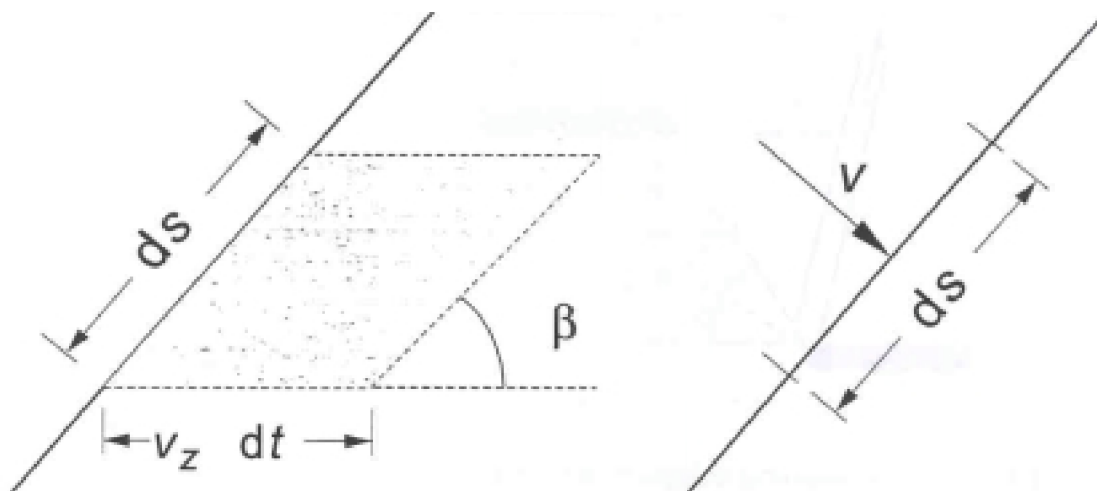
Het gronddeeltje is in evenwicht wanneer de resultante van F_1 en F_2 een hoek $\alpha \leq \varphi$ maakt met de normaal op het taludoppervlak. Na ontbinding evenwijdig en loodrecht op het taludoppervlak volgt voor dit evenwicht met wrijvingsfactor $\tan \varphi$:

$$\tan \varphi = \frac{F_2 \sin \beta}{F_1 + F_2 \cos \beta}$$

ofwel:

$$\frac{v}{k} = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} (\sin \beta \cot \varphi - \cos \beta) \quad (5.3)$$

Doordat het talud wil afschuiven ontstaat onderdruk en dilatantie. Pas wanneer deze zijn opgeheven kan de bres afschuiven. Gevolg is dat de aanvankelijke pakking verlaagd dient te worden. Dit gebeurt door de instroming van omgevingswater. Stel dat het talud zich horizontaal verplaatst met een snelheid v_z . Dan geldt het beeld van figuur 5.6 voor een eenheidsoppervlak met lengte ds langs het talud en horizontale lengte $v_z \cdot dt$.



Figuur 5.6 Definitie schets eenheidsoppervlak [van der Schrieck, 2001]

De volgende continuïteitsvergelijking is hierbij van toepassing:

Instroming = toename van het poriënvolume ter grootte van Δn

Wiskundig laat die vergelijking zich noteren als:

$$v \cdot ds \cdot dt = v_z \cdot dt \cdot ds \cdot \sin \beta \cdot \Delta n$$

ofwel :

$$v = v_z \cdot \sin \beta \cdot \Delta n \quad (5.4)$$

$$\text{met } \Delta n = \frac{n_{\text{losse pakking}} - n_{\text{initiele pakking}}}{1 - n_{\text{initiele pakking}}}$$

Substitutie hiervan in vergelijking (5.3) levert de volgende uitdrukking op voor v_z :

$$v_z = \frac{k}{\Delta n} (\cot \varphi - \cot \beta) \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} \quad (5.5)$$

Wanneer de taludrand verticaal is, $\beta = 90^\circ$, wordt de bijbehorende snelheid de walsnelheid genoemd:

$$v_{\text{wal}} = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} \cdot \frac{k}{\Delta n} \cot \varphi \quad (5.6)$$

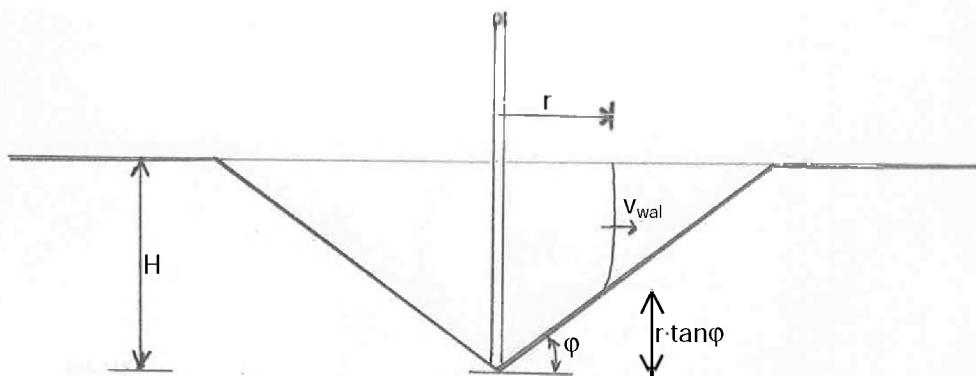
Uit laboratoriumproeven is gebleken dat de walsnelheid zich goed laat benaderen door:

$$v_{\text{wal}} = 20 \text{ à } 40 k_0 \quad (5.7)$$

met :

$$k_0 = \text{doorlatendheid ongeroerde grond [m/s]}$$

Met de walsnelheid kan een berekening worden opgezet waarmee de zogenaamde putproductie kan worden bepaald. Dit wordt gedaan voor winputten die als doel hebben in een zo kort mogelijke tijd zoveel mogelijk zand te winnen. In die berekeningen is er sprake van een bewegende zuigbuis [verticaal, horizontaal of schuin]. In het geval van een sand bypass systeem als dat van Nerang River, met pompen die de op een vaste hoogte zijn afgehangen, kan geen gebruik worden gemaakt van deze rekenmethodiek die uitgaat van een zuigbuis die verticaal of horizontaal wordt bewogen. In dat geval kan de volgende benadering gebruikt worden om een indruk van de grootte van de [momentane] zuigproductie te krijgen.



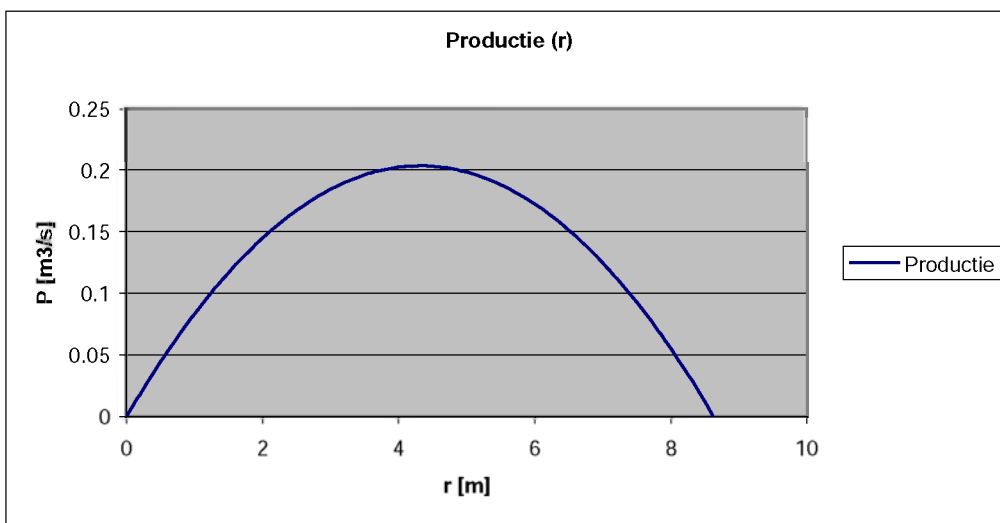
Figuur 5.7 Schets doorsnede krater met zuigbuis

In figuur 5.7 is een schets opgenomen van een doorsnede van een kratervormige zandvang. De diepte van de krater wordt met H aangeduid, de momentane hoogte van het walletje met h en de afstand van het walletje tot de zuigbuis wordt r genoemd. Hier wordt er van uitgegaan dat het walletje zich langs een lijn verplaatst ongeveer gelijk aan de hoek van het natuurlijk

talud, hier met φ aangegeven. Kwalitatief is het verloop van het productieproces als volgt. Direct in het begin vormt zich om de zuigbuis een hoge cilinder met een kleine straal r . Gaandeweg neemt r toe en daarmee de productie. In laatste deel van het leegzuigproces echter wordt de hoogte van het walletje zo klein dat ondanks de grote r de productie laag is. Omdat de productie in principe gelijk is aan het zandleverende oppervlak vermenigvuldigd met de walsnelheid laat de productie P zich hier uitdrukken als:

$$P = v_{wal} \cdot 2\pi \cdot r(H - r \cdot \tan \varphi) \quad (5.8)$$

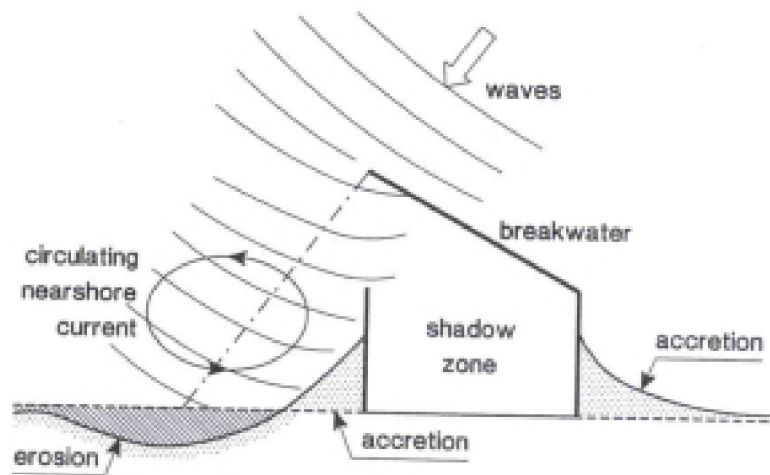
Wanneer met deze formule een krater met een diepte van $H = 5$ m, natuurlijk talud $\varphi = 30^\circ$ en een walsnelheid van 3 mm/s wordt doorgerekend ontstaat het beeld zoals in grafiek 5.8. Duidelijk zichtbaar is de aard van het proces waarin de productie eerst toeneemt en daarna uitdooft tot nul. In de praktijk zal de neergaande kromming, na het bereiken van de maximale productie, wat flauwer afnemen omdat dan ook de erosieprocessen een bijdrage gaan leveren.



Figuur 5.8 Productie in een krater als functie van r

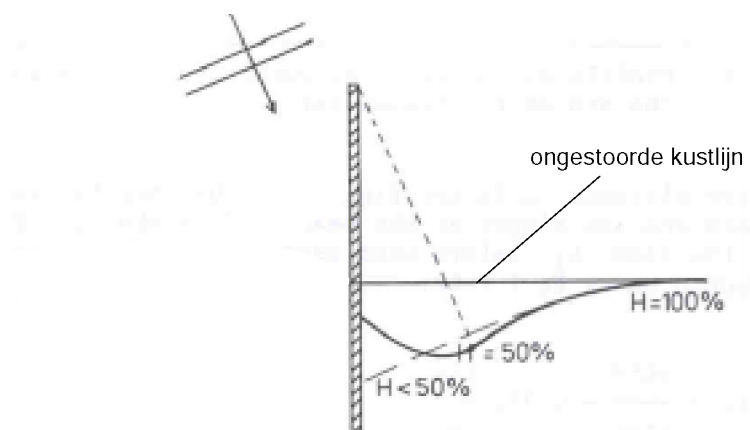
5.3.7 Locatie stort

Wanneer de zandvang in combinatie met de pompcapaciteit volledig is bepaald, is er nog de vraag waar het omgeleide zand naartoe dient te worden gebracht. Die plek wordt bepaald door de doelstelling van het sand bypass systeem. Die doelstelling is om op kunstmatige wijze de verstoring van het langstransport op te heffen. Het omgeleide zand dient derhalve weer te worden meegegeven aan het sedimenttransport benedenstrooms van de haveningang. Hierbij zijn twee effecten van wezenlijk belang. Het eerste is diffractie van de inkomende golven aan de lijszijde van een haveningang. Dientengevolge ontstaat een circulerende stroming in de luwte van de haveningang. Figuur 5.9 laat dit zien.



Figuur 5.9 DiffRACTIE en stromingseffecten rond haveningang [van Rijn, 1998]

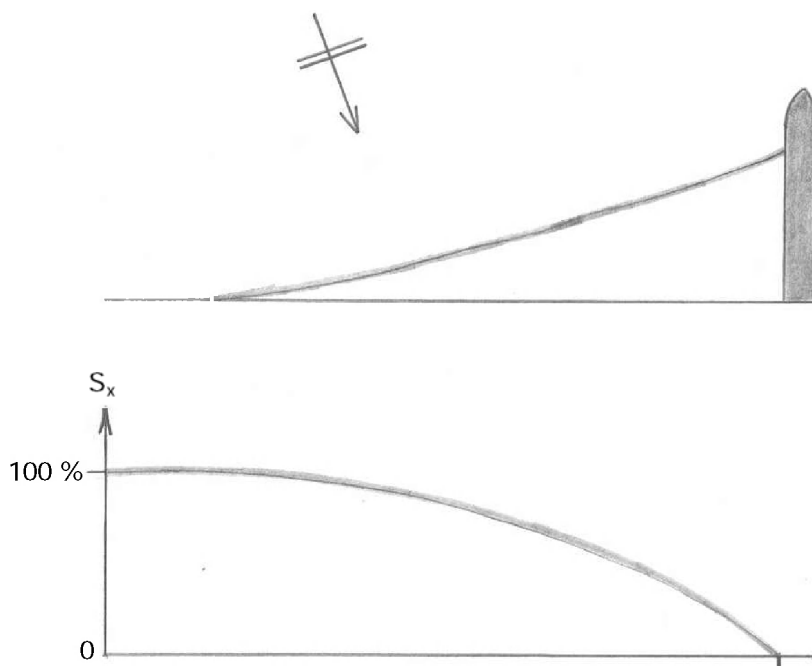
Daarnaast zorgt de golfbreker aan de zijzijde van de haveningang voor verschillende golfhoogtes die de kustlijn bereiken [zie figuur 5.10]. Dit veroorzaakt direct achter de golfbreker een verschil in golf set-up waardoor een verhang in de waterspiegel ontstaat. Het laagste peil bevindt zich direct achter de golfbreker. Daarachter loopt de waterspiegel op. Door dit verhang wordt een stroming veroorzaakt die tegengesteld is aan de langsstroming veroorzaakt door scheef invallende golven. Het storten van het omgeleide zand dient benedenstrooms van het punt te gebeuren waar de stroming definitief de richting aanneemt van de langsstroming.



Figuur 5.10 Golfdoordringing aan zijzijde golfbreker

5.4 Kwantificering situatie met buffer

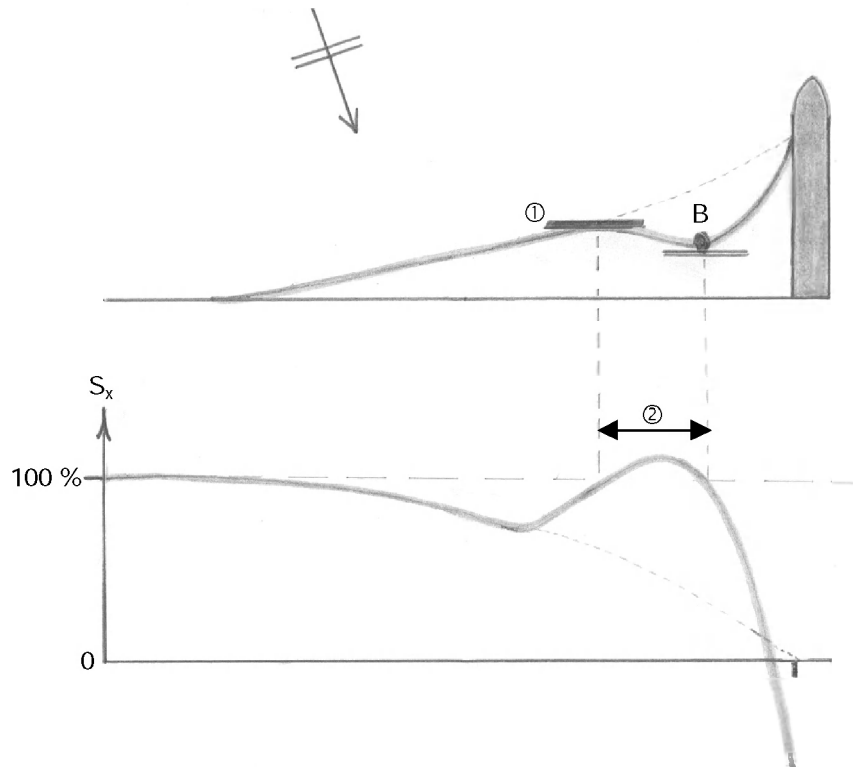
Scheef invallende golven veroorzaken langstransport langs een zandige kust. Wanneer dat langstransport wordt tegengehouden door bijvoorbeeld een golfbreker dan wordt bovenstrooms zand afgezet en treedt benedenstrooms erosie op. Hier gaat het met name om de aanzanding die zich heeft afgezet. Bovenin figuur 5.11 is een dergelijke aanzanding tegen een golfbreker weergegeven met daaronder de S_x -kromme. Die kromme geeft aan wat de grootte van het langstransport is als functie van de afstand langs de kust.



Figuur 5.11 Opbouw aanzanding tegen golfbreker en bijbehorende S_x -kromme

De opbouw van de aanzanding is zodanig dat het kustalignement een ligging nastreeft waardoor de hoek van inval van de golven ongeveer loodrecht wordt. In de ongestoorde situatie was sprake van een bepaalde hoek van inval waardoor het langstransport ontstond [zie ook formule 2.8 waar die hoek van inval ϕ duidelijk tot uiting komt]. Dit is nog steeds zo voor plaatsen langs de kust ver voor de golfbreker. Het langstransport is daar dan ook nog steeds 100 %. Dichter naar de golfbreker toe wordt de hoek van inval steeds kleiner en daarmee het langstransport. Ter hoogte van de golfbreker is het langstransport ten slotte nul. De S_x -kromme in figuur 5.11 geeft dit duidelijk weer. Belangrijkste constatering hier is dat het langstransport tegen de golfbreker nagenoeg nul is. Dit houdt in dat daar van nature bijna geen zand meer wordt afgezet. Wanneer een sand bypass systeem wordt ingesteld terwijl er al sprake is van een aanzanding is het belangrijk om niet te dicht bij de golfbreker het punt van zandwinning te kiezen. Er wordt dan door het heersende langstransport bijna geen zand meer toegevoerd terwijl bovenstrooms het afzetten van zand, langs het ontstane aanzandingsgebied, doorgaat. Het wordt dan erg moeilijk voor het sand bypass systeem om een hoeveelheid zand in te vangen die gelijk is aan het jaarlijkse langstransport. Deze hoeveelheid is echter wel nodig om de erosie aan de andere kant te compenseren.

In figuur 5.12 is schetsmatig aangegeven hoe in deze situatie het punt van zand winnen dient te worden gekozen. Het baggeren van zand wordt daar op een punt B ingezet. Links van punt B wordt het kustalignement dusdanig beïnvloed dat het lokaal weer een beetje parallel wordt getrokken aan de originele kustlijn [zie ① in figuur 5.12]. Op dit gedeelte is de hoek van inval daardoor weer nagenoeg gelijk aan de hoek van inval op de ongestoorde kust. Het langstransport neemt hierdoor lokaal weer toe. Tussen deze lokale afvlakking [parallel aan de originele kustlijn] en punt B wordt de hoek van inval zelfs groter dan de hoek van inval op de ongestoorde kust. Daardoor wordt het langstransport daar zelfs groter dan 100 % [zie ② in figuur 5.12]. Dit komt duidelijk tot uiting in de S_x -kromme die bij deze situatie hoort. Daarin neemt het langstransport niet langs één doorgaande curve af van 100 % naar nul, maar herstelt het zich lokaal en stijgt het zelfs even boven de 100 % uit. Dit herstel zorgt er voor dat het langstransport voldoende materiaal toevoert naar de nieuwe zandvang. Rechts van punt B is de hoek van inval zelfs zodanig dat het langstransport plaatselijk een tegengestelde richting aanneemt. Zo kan materiaal dat zich al voor de komst van de zandvang heeft afgezet, toch nog worden ingevangen. Dit in combinatie met de bres- en erosieprocessen die in paragraaf 5.3.6 werden besproken.



Figuur 5.12 Invloed zandwinning op langstransport

Op deze wijze wordt voldoende zand ingevangen om de erosie aan de andere zijde te kunnen compenseren. Op de keuze van de vorm van de installatie die vanuit punt B het zand gaat winnen, wordt hier niet ingegaan. In principe zijn de opties daarvoor behandeld in de hoofdstukken 3 en 4.

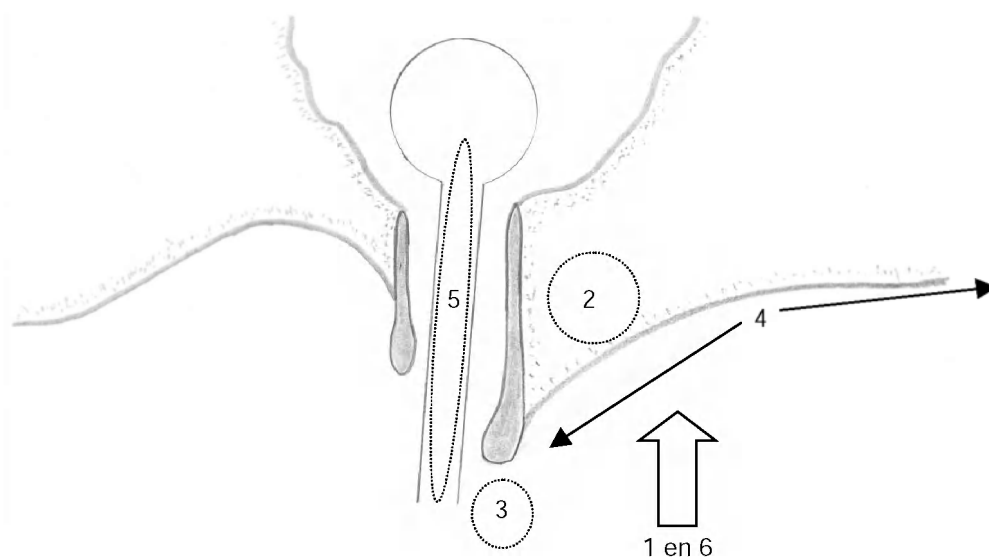
De hierboven besproken achtergrond bij de keuze van een locatie van een zandvang in een bestaande buffer, speelt een rol wanneer er voor wordt gekozen om een sand bypass systeem te installeren. Een andere optie is om op periodieke basis de ontstane aanzanding te verwijderen en dat materiaal te gebruiken om de benedenstroomse erosie te bestrijden. Op die optie zal nu verder worden ingegaan. De vraag die dan een rol speelt is hoe de ontstane aanzanding kan worden weggehaald. De aanzanding kan in principe vanuit drie richtingen worden benaderd. Vanuit zee, vanaf het strand of vanaf de golfbreker waaraan de aanzanding grenst.

Werken vanaf de golfbreker houdt in dat de actieradius van het ontgravend materieel hooguit enkele tientallen meters vanaf de golfbreker bedraagt. Met name in het geval van mechanisch ontgraven is dat een beperking omdat in deze situatie wordt uitgegaan van een aanzanding die zich qua omvang laat uitdrukken in honderden meters. Wordt vanaf de golfbreker hydraulisch materieel afgehangen dan kan, gebruikmakend van bres- en erosieprocessen, de actieradius aanzienlijk vergroot worden. Het gevaar is dan echter te groot dat met het wegzuigen van zand ook het fundament van de golfbreker wordt ondermijnd. In de inventarisatie in hoofdstuk 3 werden systemen besproken die vanaf de golfbreker werken. Dergelijke configuraties beginnen echter al in een vroeg stadium met zand omleiden en houden op deze manier een zandvang in stand parallel aan en relatief dicht bij de golfbreker. Voor een dergelijke toepassing is het aanzandingsgebied hier te groot geworden.

Het tweede alternatief is een benadering vanaf het strand. Ook hier speelt de kleine actieradius van het materieel parten. Het systeem dat bijvoorbeeld wordt toegepast voor de Indian River Inlet [zie hoofdstuk 3 en 4] werkt vanaf het strand. Maar daar is het aanzandingsgebied nog klein en goed bereikbaar voor de kraan die de jetc pomp afhangt.

Het laatste alternatief is een benadering vanuit zee. Dit kan op verschillende manieren:

- 1 vanuit zee de aanzanding afgraven
- 2 in het aanzandingsgebied één of meerdere winputten starten
- 3 voor de kop van de bovenstroomse golfbreker een zandvang aanleggen
- 4 voor het aanzandingsgebied een gat graven
- 5 in de vaargeul onderhoudsbaggerwerk verrichten
- 6 met een drijvende pomp de aanzanding vanuit zee benaderen



Figuur 5.13 Alternatieven voor benaderen van de aanzanding

Van deze methodes zijn nummers 3 en 5 in principe geen oplossingen waarbij de aanzanding volledig wordt weggehaald. Toch worden ze hier volledigheidshalve behandeld gezien de duidelijke raakvlakken met het omleiden van zand. Figuur 5.13 geeft schetsmatig aan waar de verschillende methodes in de omgeving van een haveningang tot stand komen.

5.4.1 Vanuit zee de aanzanding afgraven

De werkwijze die gepaard gaat met deze aanpak is vrij eenvoudig voor te stellen. Vanuit zee wordt het talud van de aanzanding aangesneden door een zuiger en vervolgens wordt de aanzanding weggebaggerd. Het grootste struikelblok is echter de werkbaarheid van de zuiger in deze omstandigheden. Door de geringe diepte en de typische omstandigheden voor een branding [o.a. brekende golven, deining en stroming] komt de werkbaarheid van de zuiger in gevaar. Het probleem van de geringe diepte kan eventueel worden opgelost door de zuiger eerst een bassin met voldoende diepgang te laten baggeren van waaruit de aanzanding bereikt kan worden. De problemen die ontstaan door golven, deining en stroming blijven echter bestaan. Wellicht bestaan er situaties waarbij de omstandigheden zodanig zijn dat er voldoende werkbare dagen beschikbaar zijn om op deze manier de aanzanding te kunnen verwijderen. Dat zou echter betekenen dat er sprake is van weinig golven en stroming. Dit lijkt niet erg reëel, daar zulke omstandigheden in schril contrast staan met omstandigheden die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van een aanzanding zoals hier wordt bedoeld.

5.4.2 Werken in de aanzanding

Teneinde de werkbaarheid van de zuiger te vergroten kan ook worden gedacht aan een configuratie waarbij de zuiger volledig beschermt in een winput ligt die wordt gevoed vanuit de omringende aanzanding. Er is één groot morfologisch verschil met een zuiger die de aanzanding vanuit open zee benadert. Daar wordt het sediment dat vanuit het langstransport wordt afgezet tegen de aanzanding daadwerkelijk weggehaald. Met een zuiger in een winput

midden in de aanzanding gaat het afzetten van sediment aan de zeezijde van de aanzanding door. Dit kan een probleem worden wanneer de aanzanding het einde van de golfbreker bereikt en sediment in de vaargeul terecht komt. Om dit te voorkomen kan de zuiger in plaats van een winput de aanzanding zoveel mogelijk afgraven en eindigen door [tijdens rustig weer] 'het laatste randje' weg te baggeren. Die overgebleven rand zal dan niet veel meer zijn dan een hoge zandbank. Toch kan deze 'onder water golfbreker' voldoende beschutting bieden voor de zuiger. Zeker wanneer in het baggerplan rekening wordt gehouden met de weersomstandigheden.

5.4.3 *Werken vanaf de kop van de golfbreker*

In een situatie waarbij de erosie en de aanzanding op zich geen grote problemen veroorzaken is dit een optie. Er is dan sprake van een dusdanige aanzanding tegen de bovenstroomse golfbreker dat die de kop van de golfbreker heeft bereikt. Een gedeelte van het langstransport wordt dan, langs de aanzanding, om de golfbreker heen geleid en bereikt zo de vaargeul. Dat gedeelte van het langstransport kan dan vanaf de kop van de golfbreker goed worden onderschept. Aanzanding van de vaargeul, alsmede verdere erosie, worden dan voorkomen. Zoals al in het begin van paragraaf 5.4 werd uitgelegd zal op deze manier het afzetten van zand tegen de bestaande aanzanding door blijven gaan.

5.4.4 *Een gat voor de kust graven*

Dit komt neer op 'samenwerken met de natuur'. Het dwarsprofiel van een kustvak kent een zogenaamd dynamisch evenwicht. Er wordt voortdurend een evenwichtsprofiel nagestreefd, dat nooit bereikt wordt. Door nu in dat dwarsprofiel een gat te graven wordt het [dynamische] evenwicht verstoord. De reactie van het kuststelsel zal zijn dat het gegraven gat opgevuld gaat worden met materiaal uit de aanzanding. Op deze wijze wordt, met behulp van de natuur, de ontstane aanzanding weggehaald. Enige beperking is dat er op deze manier geen directe sprake is van omleiden van zand. Wel kan het materiaal uit het gegraven gat op de plaats van de erosie worden gestort.

5.4.5 *Onderhoudsbaggerwerk in de vaargeul*

Ook bij deze optie is er sprake van een situatie waarin het enige echte probleem het aanzanden van de vaargeul is, ten gevolge van langstransport dat om de golfbreker heen buigt. Door in de vaargeul met een sleehopperzuiger onderhoudswerk te verrichten, worden de gevolgen van het aanzanden bestreden. Het daarbij gewonnen materiaal kan worden gebruikt om de erosie aan de benedenstroomse zijde te stoppen. Belangrijk is dat op deze manier niet het volledige langstransport wordt omgeleid. Zoals in het begin van deze paragraaf is uitgelegd wordt het grootste gedeelte van het langstransport langs de bestaande aanzanding afgezet en bereikt slechts een gedeelte de toegangseul. De gebaggerde hoeveelheden vanuit de geul zijn dan niet voldoende om de benedenstroomse erosie volledig te compenseren.

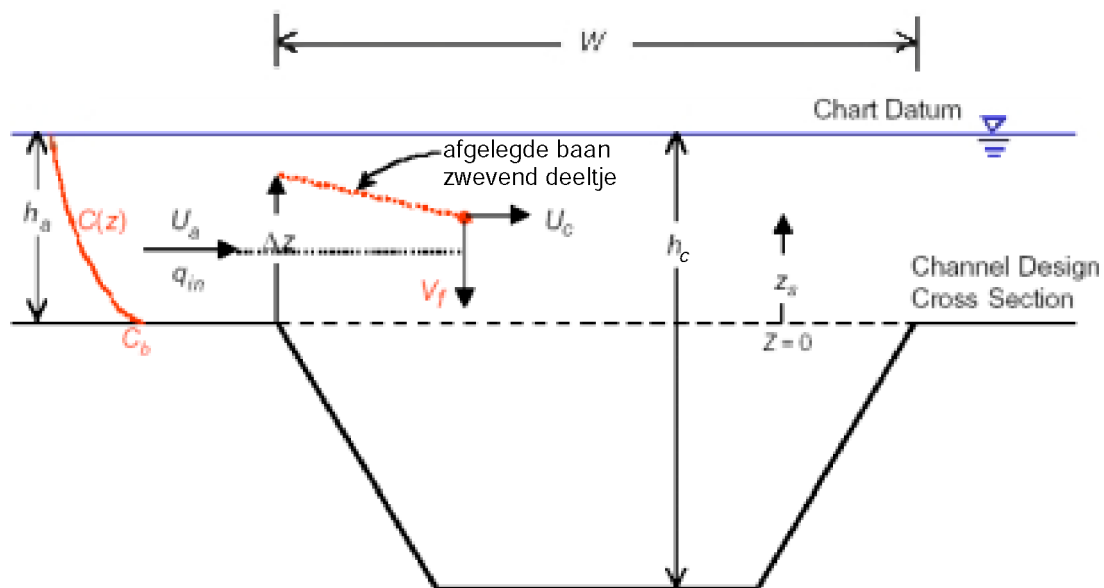
5.4.6 *Met drijvende pomp voor de aanzanding*

Dit alternatief is geïnspireerd op het baggerwerktuig 'de punaise'. Tijdens de inventarisatie in hoofdstuk 3 werd deze al beschreven. Uit literatuur [Williams and Visser, 1997] blijkt dat de punaise goed in de brandingszone kan werken, zelfs tijdens stormen. Derhalve zou een toepassing met een punaise een goede principe-oplossing zijn wanneer het gaat om het weghalen van de aanzanding. De werkwijze van een punaise is qua proces te vergelijken met het eerder besproken winproces van een zandvang, zie paragraaf 5.3.6.

6 Modelling sedimentatie zandvang

Voor elk sand bypass systeem is de zandvang een cruciaal onderdeel. Wanneer de zandvang niet goed functioneert, wordt een goede werking van het systeem onmogelijk. Daarom zal in de ontwerpfase van een sand bypass systeem behoefte zijn aan een kwantitatief model waarmee de grootte van de zandvang kan worden bepaald. Hier wordt een model opgezet voor de zandvang van een onderscheppend systeem. Daarbij wordt alleen gekeken naar het gedrag van één dwarsdoorsnede in de branding. In de praktijk zou de zandvang in de omgeving van de waterlijn [die varieert met getij en stormen] landinwaarts kunnen worden uitgebreid. Voor dat specifieke gedeelte van de zandvang, in de omgeving van de waterlijn, zou een apart model moeten worden opgezet. Dat wordt hier niet gedaan. Kwalitatief kan echter het volgende nog wel worden gezegd. Het einde van de zandvang aan de landzijde zal niet precies samenvallen met de gemiddelde waterlijn. Doordat in de geul bij herhaling zand wordt gewonnen zullen aan de rand van de zandvang bres- en erosieprocessen optreden zoals beschreven in paragraaf 5.3.6. Hierdoor breidt de zandvang zich in landwaartse richting uit. Deze inham zal zich niet beperken tot de breedte van de zandvang maar door uitschuring breder worden. De modellering die hier wordt besproken houdt geen rekening met een dergelijke buffer maar beperkt zich tot de waterlijn. Het model geeft dus een pessimistische inschatting.

Hier wordt uitgegaan van een geulvormige zandvang die haaks op de kustlijn is georiënteerd. Het model wordt 2-dimensionaal opgezet, dat wil zeggen dat over één dwarsdoorsnede [raai] van de zandvang het horizontaal en verticaal transport wordt gemodelleerd. Verder wordt aangenomen dat dwarstransport buiten beschouwing wordt gelaten en dat het langstransport de geul loodrecht nadert.



h_a	diepte in de omgeving van de geul
h_c	diepte in de geul
q_{in}	sedimentstroom die de geul kruist
u_a	snelheid van de sedimentstroom voor de geul
u_c	snelheid van de sedimentstroom ter hoogte van de geul
$c(z)$	concentratieverdeling over de waterkolom
c_b	referentiewaarde van de concentratie ter hoogte van de bodem [voor de geul]
V_f	valsnelheid van een sedimentkorrel
W	breedte van de geul

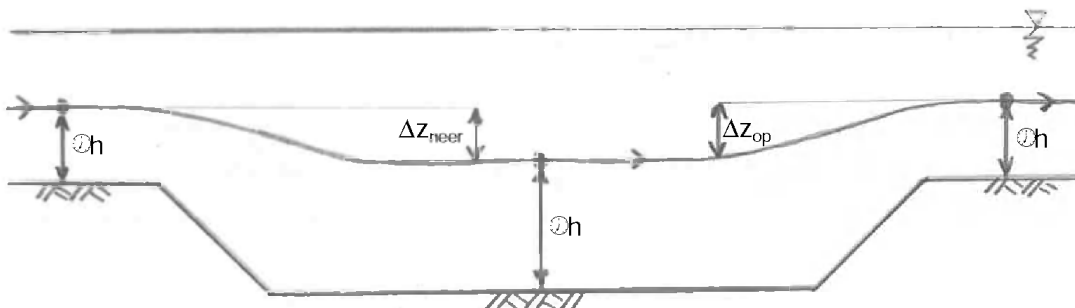
Figuur 6.1 Definitieschets raai

6.1 Het Kraus & Larson model [12]

In de Coastal Engineering Technical Note CETN-IV-34 [12] wordt door Kraus en Larson een model gepresenteerd dat de sedimentatie van een geul in de brandingzone beschrijft. In essentie komt het er op neer dat het uitzakken van het concentratieprofiel, doordat de stroom de geul passeert, bepaalt hoeveel sediment wordt ingevangen. Hierbij wordt in eerste instantie alleen rekening gehouden met het verticale transport ten gevolge van de valsnelheid. Later wordt voor het beschrijven van het concentratieprofiel van het sediment in de verticaal afhankelijkheid verondersteld van turbulente diffusie en dissipatie van golfenergie. Er wordt gebruikt gemaakt van definitieschets in figuur 6.1. Hierin is de stroming van links naar rechts. Zoals in elke modellering is ook hier sprake van een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. In dit model zijn de volgende vereenvoudigingen gemaakt.

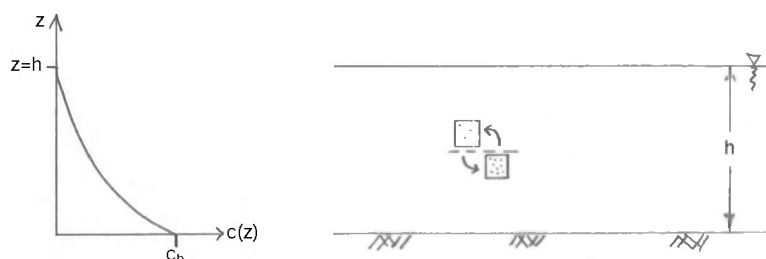
In de eerste plaats wordt vastgesteld dat het langtransport zich met name manifesteert in de brekerzone. Wat dan overblijft is het probleem van het vaststellen van de brekerzone. In de praktijk is het begin c.q. einde van de brekerzone geen discrete grens. Door verschillende inkomende golfhoogtes die allemaal op andere plaatsen [beginnen te] breken kan die grens alleen met een bepaalde bandbreedte worden weergegeven. Daarom wordt op dit punt vastgesteld dat deze grens wordt bepaald door de lijn parallel aan de kust waarachter, tijdens de meest intensieve golfcondities die gedurende één jaar voorkomen, 90 % van het langtransport plaatsvindt.

Daarnaast wordt het bezinken van sediment alleen afhankelijk verondersteld van de zwaartekracht, dus de valsnelheid van de deeltjes. Hierdoor worden twee verschijnselen bewust genegeerd. Als eerste is dat het aanpassen van de stroming aan de profielvariatie in de verticaal. Een waterdeeltje dat zich bovenstrooms van de geul op een hoogte gelijk aan de halve diepte bevindt, zal zich midden in de geul ook weer op halve diepte bevinden. Dit volgt uit de beschouwing van de stroomlijn op halve diepte die zich aan het profiel aanpast. Een deeltje in die stroombaan maakt dus een daling doordat de stroomlijn waarin het zich bevindt een daling maakt. Een deeltje dat echter vanuit het midden van de geul, op halve diepte, verder stroomt en de geul passeert ondergaat in diezelfde stroomlijn een stijging, zie figuur 6.2. Hier wordt aangenomen dat de netto verticale verplaatsing verwaarloosbaar is.



Figuur 6.2 Verticale verplaatsing sedimentdeeltje t.g.v. aanpassende stroomlijn

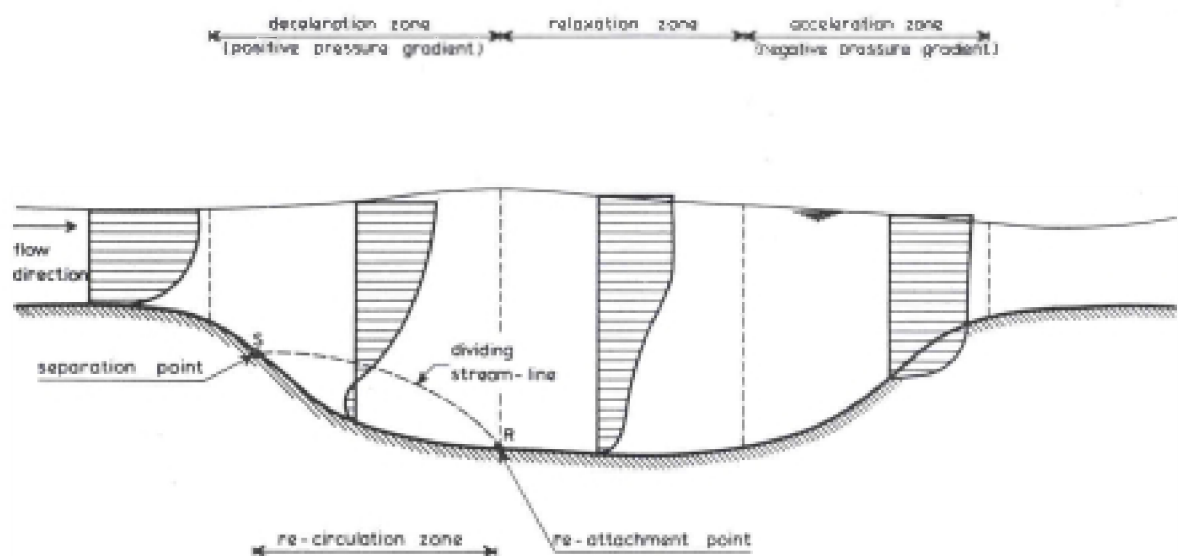
Ook wordt turbulente diffusie buiten beschouwing gelaten. Met turbulente diffusie wordt de herverdeling van sediment bedoeld als het gevolg van turbulente waterbewegingen. Door die bewegingen wordt transport van water mogelijk van beneden naar boven. Onderin de verticaal bevindt zich een relatief hoge concentratie sediment.



Figuur 6.3 Schematische weergave invloed turbulentie op concentratieprofiel

Bij transport van water door turbulentie wordt gemiddeld veel sediment naar boven en weinig sediment naar beneden verplaatst. Figuur 6.3 geeft dit schematisch weer. In het hier gepresenteerde model wordt het mechanisme van turbulente diffusie op zichzelf niet expliciet gemodelleerd. Dit is impliciet gedaan door het concentratieprofiel afhankelijk te maken van de mate van turbulente diffusie. Later wordt namelijk het concentratieprofiel in de verticaal beschreven aan de hand van onder meer de sediment menging coëfficiënt ϵ_s . Deze coëfficiënt is een maat voor de invloed van de turbulente stroming op de verdeling van het sediment in de verticaal. Bij de beschrijving van het concentratieprofiel zal hier nader worden op ingegaan.

De derde aanname die wordt gedaan is dat de stroming continu mag worden verondersteld over de geul. Figuur 6.4 geeft een schematische weergave van de ontwikkeling van het snelheidsprofiel wanneer een stroming een geul haaks passeert [van Rijn, 1991]. Hier wordt het effect van een circulerende stroming benedenstrooms van het loslatingspunt tot het aansluitingspunt verwaarloosd. Dit kan gedaan worden voor taluds die niet steiler zijn dan 1:7, de stroming wordt dan in staat geacht het profiel te kunnen volgen [v.d. Velden, 2000].



Figuur 6.4 Ontwikkeling snelheidsprofiel tijdens passage geul [van Rijn, 1991]

De vierde en laatste aanname is dat de snelheid van de stroming uniform verdeeld is over de waterkolom. Dat wil zeggen dat de snelheid een constante waarde heeft, ongeacht de hoogte in de waterkolom.

Voor het sedimenttransport dat de geul loodrecht nadert kan nu worden geschreven:

$$q_{in} = \int_0^{h_a} U_a \cdot c(z) dz \quad (6.1)$$

waarin :

- q_{in} sedimenttransport dat de geul nadert [m^3/s per m^1]
- U_a snelheid van het sedimenttransport in de omgeving van de geul [m/s]
- $c(z)$ concentratieverdeling als functie van de diepte; c is een volumeconcentratie in [m^3/m^3]
- z verticale coördinaat [m]
- h_a diepte van het water in de omgeving van de geul [m]

Door de uniform veronderstelde snelheid geldt:

$$q_{in} = U_a \cdot \int_0^{h_a} c(z) dz \quad (6.2)$$

Een algemeen geaccepteerde voorstelling van het concentratieprofiel in de verticaal is die van een afnemende e-curve, waarbij de grootste concentratie zich direct bij de bodem bevindt en de laagste in de waterspiegel. In Kraus and Dean (1987) wordt aan de hand van 75 gemeten concentratieprofielen dit beeld bevestigd en wordt als algemeen geldende beschrijving gevonden:

$$c(z) = c_b e^{(-\lambda \frac{z}{h_a})} \quad (6.3)$$

waarin :

c_b referentieconcentratie gedefinieerd nabij de bodem

λ 'uitdovingscoëfficiënt' die de kromming van de e - curve in het concentratieprofiel bepaalt

Voor het sedimenttransport van bodem, $z = 0$, tot een bepaalde hoogte $z = z_s$ geldt dan:

$$q_{in}(z_s) = U_a \int_0^{z_s} c_b e^{(-\lambda \frac{z}{h_a})} dz = \frac{u_a c_b h_a}{\lambda} \left[1 - e^{(-\lambda \frac{z_s}{h_a})} \right] \quad (6.4)$$

Wanneer in plaats van een willekeurige hoogte z_s de totale hoogte van de waterkolom direct voor de geul, h_a , wordt ingevuld [dus $z_s = h_a$] dan kan de oplossing van de integraal van (6.4) worden vereenvoudigd tot:

$$q_{in}(h_a) = \frac{u_a c_b h_a}{\lambda} [1 - e^{-\lambda}] \quad (6.5)$$

In de aannames werd uitgegaan van continuïteit van de stroming voor, over en achter de geul. Met het subscript c voor de waterdiepte en stroomsnelheid ter plaatse van de geul geldt dan dat $u_c \cdot h_c = u_a \cdot h_a$. Hierdoor kan de snelheid over de geul u_c worden uitgedrukt als:

$$u_c = \frac{h_a}{h_c} u_a \quad (6.6)$$

Deze snelheid u_c bepaalt hoeveel tijd een deeltje nodig heeft om de geul over te steken, afhankelijk van de geulbreedte. Door aan te nemen dat alleen door de valsnelheid een deeltje naar beneden wordt verplaatst kan die verticale verplaatsing Δz als volgt worden uitgedrukt [geulbreedte W en advectieve snelheid u_c bepalen de verblijftijd van het deeltje boven de geul en via de valsnelheid V_f is dan de verticale verplaatsing Δz gedurende die verblijftijd te bepalen]:

$$\Delta z = \frac{W}{u_c} V_f = \frac{h_c}{h_a} \frac{V_f}{u_a} \quad (6.7)$$

Een deeltje dat zich in de waterkolom tussen de bodem en hoogte Δz bevindt zal niet in staat zijn de geul te passeren en daardoor bezinken. Door in (6.4) niet een willekeurige hoogte z_s in te vullen maar juist de in (6.7) afgeleide Δz kan het gedeelte van het sedimenttransport dat in de geul zal bezinken worden bepaald. Het sedimenttransport dat zal bezinken gedeeld door het volledige sedimenttransport dat de geul nadert levert het zogenaamde invangpercentage p [eng: trapping ratio]:

$$p = \frac{q_{in}(\Delta z)}{q_{in}(h_a)} = \frac{\frac{u_a c_b h_a}{\lambda} \left[1 - e^{-\lambda \frac{\Delta z}{h_a}} \right]}{\frac{u_a c_b h_a}{\lambda} [1 - e^{-\lambda}]} = \frac{1 - e^{-\lambda \frac{\Delta z}{h_a}}}{1 - e^{-\lambda}} = \frac{1 - e^{-\lambda \frac{h_c W V_f}{h_a^2 u_a}}}{1 - e^{-\lambda}} \quad (6.8)$$

Hiermee is een uitdrukking gevonden waarmee kan worden bepaald hoeveel procent van het aankomend sedimenttransport zal worden ingevangen door de geul. De waterdieptes, de stroomsnelheden, de geulbreedte en de valsnelheid zijn allemaal redelijk eenduidig te

bepalen. Dit geldt niet voor de uitdovingscoëfficiënt λ . Alvorens meer in te gaan op de manier waarop λ kan worden bepaald zal eerst een nadere beschouwing worden gegeven over turbulente diffusie, waarna een verband zal worden gelegd tussen λ , valsnelheid en dissipatie van golfenergie.

6.1.1 Turbulente diffusie

Door turbulente diffusie wordt verticaal transport van sediment mogelijk, tegen de bewegingsrichting van de zwaartekracht in. Zie ook figuur 6.3. De veronderstelling dat deze twee mechanismen met elkaar in evenwicht zijn komt tot uiting in de volgende behoudsvergelijking:

$$V_f \cdot c(z) + \epsilon_s \frac{dc(z)}{dz} = 0 \quad (6.9)$$

Hiermee wordt ook beschreven dat het turbulente transport van sediment proportioneel is met de variatie van de concentratie van het sediment over de verticaal [tweede term in het linkerlid]. De oplossing van deze behoudsvergelijking [met een over de diepte constant veronderstelde ϵ_s] is:

$$c(z) = c_0 \cdot e^{\left[-\frac{V_f}{\epsilon_s} z\right]} \quad (6.10)$$

Dit komt duidelijk overeen met de vorm van (6.3). Enige verschil is de quotiënt die voor de waterdiepte z staat in de e -macht. In de noemer daarvan staat de sediment diffusiecoëfficiënt ϵ_s . Deze coëfficiënt geeft aan in welke mate het sediment in staat is om middels verticaal transport [door turbulentie] invloed uit te oefenen op het concentratieprofiel in de verticaal. Een grote sediment diffusiecoëfficiënt houdt in dat het concentratieprofiel steil verloopt en een kleine sediment diffusiecoëfficiënt betekent een sterk gekromd profiel waarbij de concentratie boven de bodem snel afneemt.

Analoog aan Battjes (1975) kan deze sediment diffusiecoëfficiënt worden gekoppeld aan de dissipatie van golfenergie door breking. In Battjes (1975) wordt het snelheidsprofiel van de langsstroming besproken. Op basis van het veronderstellen van een evenwicht tussen louter de aandrijvende golfspanning component en de optredende bodemwrijving, ontstaat een theoretisch snelheidsprofiel van de langsstroming. Het beschrijft een lineaire afname van die snelheid; maximaal t.p.v. de [discrete] brekerlijn en nul op de waterlijn. In werkelijkheid is dit profiel veel vloeiender en is ook buiten de brekerzone sprake van langsstroming. Beschrijvingen eerder gepubliceerd dan Battjes gaan er van uit dat er een verband is tussen een term met Reynoldse schuifspanningen [waarvan de aandrijvende golfspanning component afhankelijk is] en de steilheid in het snelheidsprofiel. Reynoldse schuifspanningen zijn afhankelijk van $u \cdot v$; in Battjes (1975) wordt hiervoor $u \cdot v$ gebruikt. Het veronderstelde verband dat de relatie beschrijft tussen de schuifspanning en de steilheid van het

snelheidsprofiel wordt dan: $u \cdot v + A \cdot \frac{dV(x)}{dx} = 0$. Hierin zijn u en v horizontale orbitaal-

snelheidscomponenten, is V de langsstroming en A een evenredigheidsfactor. Publicaties die eerder verschenen dan Battjes beschrijven A op basis van karakteristieke lengtematen en snelheidsgroottes aan de hand van golfparameters. Battjes stelt dat turbulentie het afronden van het zuiver theoretische profiel veroorzaakt en dat breking van golven de voornaamste bron is van turbulente energie in de brandingzone. De dissipatie D is een maat voor de omzetting van golfenergie naar turbulente energie. Battjes vindt voor het bepalen van A

uiteindelijk: $A = M \cdot \left(\frac{D}{\rho}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot h$. Waarbij M een dimensieloze constante is, ρ de dichtheid van

het water en h de hoogte van de waterkolom waarover de turbulentie optreedt. Hier wordt verondersteld dat h gelijk is aan de volledige waterkolom. Wanneer in de relatie

$u \cdot v + A \cdot \frac{dV(x)}{dx} = 0$ voor v en V de concentratie c [afhankelijk van z] wordt ingevuld, voor u de valsnelheid V_f wordt ingevuld en de relatie wordt vergeleken met de behoudsvergelijking (6.9) kan de beschrijving van A gebruikt worden om ε_s te berekenen. Hier wordt M vervangen door een factor k_d en wordt voor h de omgevingsdiepte h_a ingevuld. Zo ontstaat:

$$\varepsilon_s = k_d \left[\frac{D}{\rho} \right]^{1/3} \cdot h_a \quad (6.11)$$

waarin :

k_d empirische coëfficiënt die onafhankelijk van de korreldiameter is

D dissipatie van golfenergie a.g.v. brekende golven

ρ dichtheid van het water

De dissipatie D is gelijk aan de verandering van golfvermogen [golfenergie maal golfsnelheid] in de richting naar de kust toe, geïntegreerd over de diepte. Met een y -as haaks op de kustlijn gedefinieerd geldt dan:

$$D = \frac{d}{dy} (E \cdot c) \quad (6.12)$$

waarin:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (6.12a)$$

met ρ dichtheid van het water

g zwaartekrachtsversnelling

H golfhoogte

$$c \approx \sqrt{gh} \quad (6.12b)$$

met h waterdiepte

Door invoering van de brekerindex γ [voor de gehele brekerzone wordt een constante relatie $H = \gamma h$ aangenomen] en door dh/dy te vervangen door de helling van de bodem van de branding, s , ontstaat voor de dissipatie D de volgende uitdrukking:

$$D = \frac{1}{8} \rho g^{3/2} h^{3/2} \gamma^2 s \quad (6.13)$$

De schrijfwijze voor ε_s uit (6.11) ingevuld in (6.10) waarbij voor de referentieconcentratie c_0 nu c_b wordt geschreven levert:

$$c(z) = c_b \exp \left[- \frac{V_f}{k_d \left(\frac{D}{\rho} \right)^{1/3} h_a} z \right] \quad (6.14)$$

Hieruit volgt, na vergelijking met (6.3), een beschrijving van de uitdovingscoëfficiënt λ :

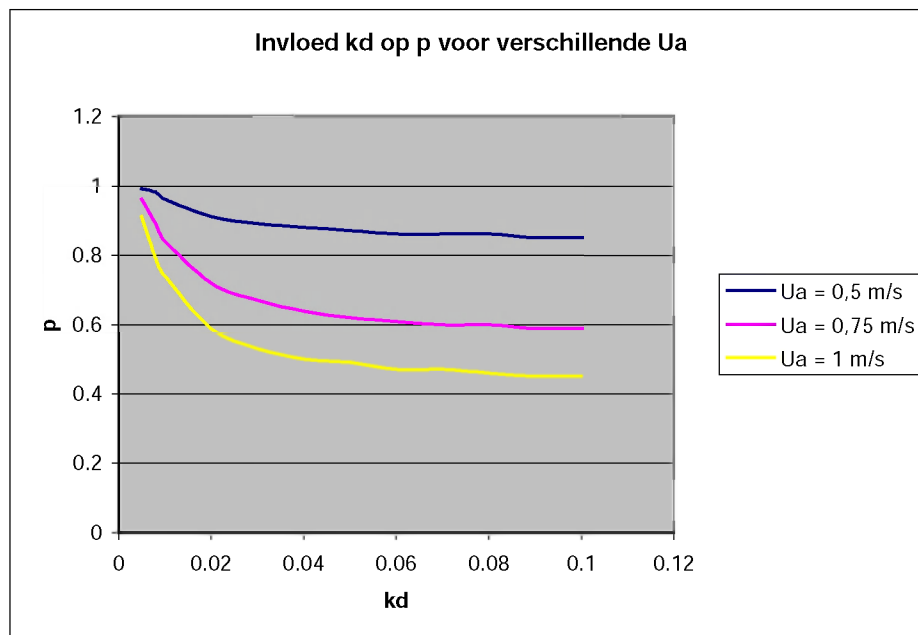
$$\lambda = \frac{V_f}{k_d \left(\frac{D}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (6.15)$$

Op deze manier is, ondanks dat in eerste instantie turbulente diffusie verwaarloosd is, de beschrijving van de concentratie in de verticaal afhankelijk gemaakt van valsnelheid en dissipatie van golfenergie. Uiteindelijk wordt in dit model, via (6.8), de invloed van dissipatie, valsnelheid, breedte van de geul, hoogte in en voor de geul en de snelheid van het langstransport meegenomen.

6.1.2 Dilemma rondom k_d

Voor vergelijking (6.8) zijn alle gevraagde parameters eenduidig te bepalen op de empirische factor k_d na. In CETN-IV-34 [12] wordt uitgelegd dat k_d onafhankelijk is van omgevingsfactoren en dat via de formule voor λ de waarde er van bepaald dient te worden. Dus via een gemeten concentratieprofiel λ bepalen en via λ uiteindelijk k_d bepalen. Bij bekende λ is het echter niet meer nodig is om k_d te kennen, zie vergelijking (6.8). De factor k_d is een maat voor de hoeveelheid turbulente energie die netto ten goede komt aan het daadwerkelijk in suspensie brengen van materiaal.

Voor zand met een d_{50} van ca. 200 μm wordt, op basis van de 75 proeven uit Kraus and Dean (1987), een waarde gegeven voor k_d , namelijk $k_d \approx 0,03$. Een eerste optie is om, op basis van het gegeven dat de ordegrrootte van k_d in de honderdsten ligt, de aanname dat $k_{d,\text{gemiddeld}} \approx 0,02$ een goede schatting is. Figuur 6.5, waarin het invangpercentage p afhankelijk is van een variërende k_d , geeft aan wat de invloed van k_d is voor diverse stroomsnelheden. Dat is gedaan voor $h_c = 8$ m, $h_a = 5$ m, $W = 52$ m, $V_f = 0,025$ m/s, $\gamma = 0,8$ en een helling van de bodem $s = 0,025$. Hieruit blijkt dat die invloed het grootste is voor een k_d met een waarde van enkele procenten. Verder wordt ook zichtbaar dat de invloed van k_d nagenoeg wegvalt wanneer k_d een waarde aanneemt groter dan ongeveer 5%. Wanneer de waarde van k_d groter dan 5% wordt, dan is het concentratieprofiel dat bovenstrooms aan de zandvang over de waterdiepte h_a wordt aangeboden vrijwel uniform geworden. In vergelijking (6.7) wordt de hoogte Δz berekend waarover het concentratieprofiel tijdens het verblijf boven de zandvang uitzakt. Bij een uniforme concentratieverdeling geldt voor het percentage bezonken zand: $p = q_{\text{in}} \cdot (\Delta z / h_c) = q_{\text{in}} \cdot [(V_f \cdot W) / (h_a \cdot U_a)]$. Hieruit blijkt dat p omgekeerd evenredig is met U_a en dat is ook te zien in figuur 6.5.



Figuur 6.5 Relatie tussen k_d en p

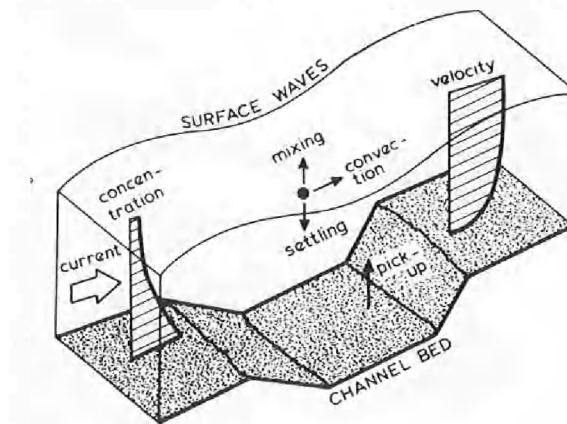
Een andere optie is om de factor k_d volledig te omzeilen en via een andere weg de sediment diffusie coëfficiënt ϵ_s te bepalen. Van Rijn (1991) geeft een methode om ϵ_s te bepalen als het product van een golfaandeel en een stromingsaandeel. Van Rijns bepaling van ϵ_s kent echter geen invloed van dissipatie. En de reden om het hierboven gepresenteerde model te gebruiken was juist die invloed van de dissipatie van de golfenergie op het sedimentatieproces. Daarnaast zijn er nog allerlei andere auteurs die allen een eigen beschrijving geven van ϵ_s . Bij voorbeeld Cole, Rouse en Einstein [v.d. Velden, 2000]. In geen van deze modellen wordt in de berekening van ϵ_s de dissipatie van golfenergie direct betrokken.

In het vervolg zal, op basis van het bovenstaande, worden gerekend met een waarde van $k_d = 0,02$. Dit om de invloed van de dissipatie van golfenergie te behouden. Een invloed die m.i. belangrijk is omdat het de bron van turbulentie is, die op haar beurt weer verantwoordelijk is voor het in suspensie brengen van sediment.

6.1.3 Procesparameters en ontwerpparameter

In deze paragraaf zal het gedrag van het gepresenteerde model worden beschouwd met behulp van een spreadsheet programma. Aan de hand van nog te definiëren procesparameters en een ontwerpparameter zal worden nagegaan of het model de hoofdlijnen van de fysica goed weergeeft.

In onderstaande schets staat aangegeven wat de belangrijkste processen zijn die een rol spelen tijdens het bezinken van sediment wanneer het langtransport een geul kruist.



Figuur 6.6 Processen tijdens oversteken geul door langtransport [Van Rijn, 1991]

De belangrijkste mechanismen in dit verband zijn die van uitzakking van het concentratieprofiel en turbulente diffusie. De invloed van deze mechanismen op het ingevangen percentage p van het sedimenttransport verschaft inzicht op het totale proces. Beide mechanismen worden hieronder besproken.

Uitzakking

Een deeltje dat zich in de sedimentstroom bevindt is [voor beschouwingen in dit verband] onderhevig aan de snelheid waarmee het wordt meegevoerd, de valsnelheid, de verticale afstand tot de bodem en de breedte van de geul. Zie ook figuur 6.1 waarin een detail is opgenomen; 'afgelegde baan zwevend deeltje'. Samengevat zijn de bepalende procesparameters:

Valsnelheid	V_f
Geulbreedte	W
Advectieve snelheid [boven de geul]	U_c
Hoogte van de waterkolom [in de geul]	h_c

Deze vier procesparameters komen samen in de hier gedefinieerde bezinkfactor α :

$$\alpha = \frac{h_c}{\left(\frac{W}{u_c} V_f\right)} \quad (6.16)$$

Wordt deze factor kleiner dan 1, dan houdt dat in dat de verticale verplaatsing door uitzakking ten opzichte van de hoogte van de waterkolom in de geul groot is. Oftewel dat een deeltje meer verticaal wil verplaatsen, als gevolg van uitzakking, dan de diepte in de geul. Een kleine α betekent dus veel bezinking en is derhalve gunstig voor een zandvang.

Turbulente diffusie

Zoals uit de algemene oplossing van de klassieke behoudsvergelijking (6.10) bleek wordt het concentratieprofiel beschreven met een afnemende e-curve. De helling in die e-curve wordt bepaald door het quotiënt V_f/ε_s . Uit vergelijking (6.11) volgt dat ε_s afhankelijk is van $(D/\rho)^{1/3}$. Deze laatste term heeft dezelfde eenheid als de valsnelheid V_f . Daarnaast geeft de term met dissipatie D aan hoe goed het sediment in suspensie wordt gebracht door de turbulentie en daardoor in welke mate het sediment tegen de valsnelheid in kan bewegen. Daarom wordt hier als procesparameter voor de turbulente diffusie de suspensiefactor σ geïntroduceerd:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{D}{\rho}\right)^{1/3}}{V_f} \quad (6.17)$$

Een grote waarde van de dissipatie D betekent een grote waarde van σ en een grote waarde van ε_s . Dit laatste betekent dat de concentratiecurve steil wordt; d.w.z. dat ook boven in de waterkolom sprake is van hoge sedimentconcentraties. Een grote waarde van de term $(D/\rho)^{1/3}$ staat voor veel turbulentie en dus voor veel sediment in suspensie. De aanwezigheid van veel turbulentie houdt in dat het sediment relatief slecht bezinkt. Dit is het geval wanneer σ een lage waarde aanneemt.

Ontwerpparameter

Vooralsnog wordt uitgegaan van een lengte van de zandvang gelijk aan die van de brandingzone, zoals gedefinieerd in de eerste aanname van het Kraus & Larson model. Daarnaast lijkt het meest logisch een ontwerpparameter voor een zandgeul te definiëren die een verband beschrijft tussen de inhoud en het invangpercentage. Dit kan een leidraad zijn om de optimale afmetingen van de zandvang te bepalen. De inhoud van de zandvang wordt bepaald door de diepte, het talud, de lengte van de geul en de breedte van de bodem van de geul. De lengte is bekend en gelijk aan de breedte van de brandingzone. Voor het talud kan hier in eerste instantie 1:7 worden aangehouden; een steilheid waarbij de stroming in staat wordt geacht de profielvariatie te kunnen volgen. Blijven als variabelen de diepte en de breedte van de bodem van de geul over. De diepte d van de geul [nodig om de inhoud te bepalen van de geul; dus niet gelijk aan de hoogte van de totale waterkolom in de geul!] kan worden gevonden uit het verschil van de reeds benoemde h_a en h_c : diepte = $h_c - h_a$. Wanneer de breedte van de bodem van de geul b wordt genoemd is de formule voor de inhoud I :

$$I = L_{geul}(7d^2 + bd) \quad (6.18)$$

Hieruit volgt dat de diepte een grote invloed heeft op de inhoud van de geul. Door nu de diepte van de geul te bekijken ten opzichte van de omgevingsdiepte wordt een verband gevonden tussen de inhoud en het invangpercentage p . Daarom wordt nu de ontwerpparameter Ω gedefinieerd:

$$\Omega = \frac{(h_c - h_a)}{h_c} \quad (6.19)$$

Een grote diepte zorgt voor een grote inhoud. Daarnaast volgt uit vergelijking (6.8) dat een grote diepte ook voor een hoog invangpercentage zorgt. Zo kan uit het verband tussen Ω en p een optimum worden bepaald.

6.1.4 Nadere beschouwing procesparameters en ontwerpparameter

In deze paragraaf wordt het gedrag van de procesparameters en de ontwerpparameter gevalideerd.

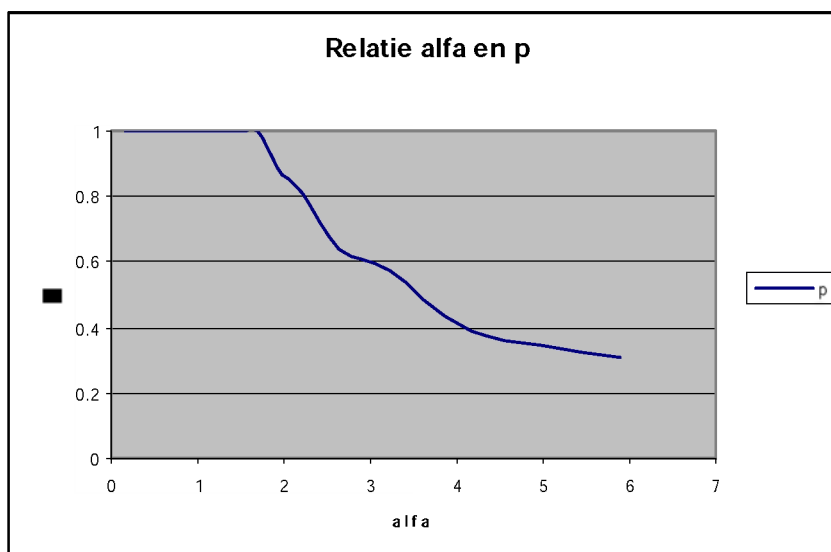
Bezinkfactor α

Deze is opgesteld om de invloed van de uitzakking van het concentratieprofiel op het invangpercentage inzichtelijk te maken. Uit de opzet van deze parameter volgt dat een kleine α betekent dat er veel materiaal bezinkt en omgekeerd dat een grote α een laag invangpercentage p tot gevolg heeft. Om dit te illustreren is de volgende situatie bekeken:

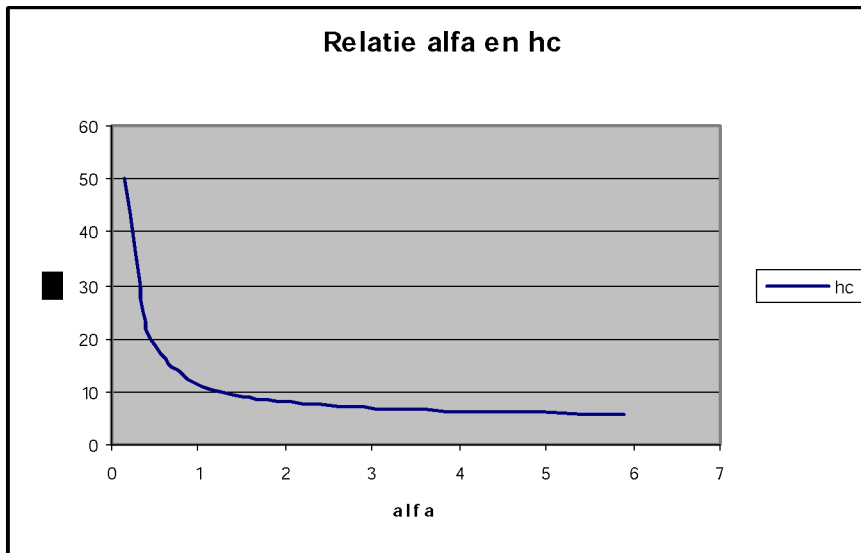
Omschrijving	Symbol	Waarde
Valsnelheid	V_f	0.025 m/s
Dichtheid water	ρ_w	1025 kg/m ³
Emperische factor	k_d	0.02
Brekerindex	γ	0.8
Helling bodem branding	s	0.025
Zwaartekrachtversnelling	g	9.81 m/s ²
Hoogte waterkolom IN de geul	h_c	varieert [m]
Breedte van de geul	W	= 10 + 2.7($h_c - h_a$) [m]
Snelheid aankomend langtransport	U_a	0.5 m/s
Hoogte waterkolom VOOR de geul	h_a	5 m

Tabel 6.1 Invoergegevens t.b.v. analyse gedrag α

Zoals is te zien wordt de hoogte in de waterkolom gevarieerd, terwijl de breedte van de geul steeds wordt uitgerekend aan de hand van een aangenomen bodem van 10 meter breed en een talud van 1:7. Door met deze gegevens p en α te bepalen ontstond grafiek 6.7a. Hieruit wordt duidelijk zichtbaar dat een kleine α inderdaad een groot invangpercentage p tot gevolg heeft. Figuur 6.7b geeft aan hoe α met h_c varieert.



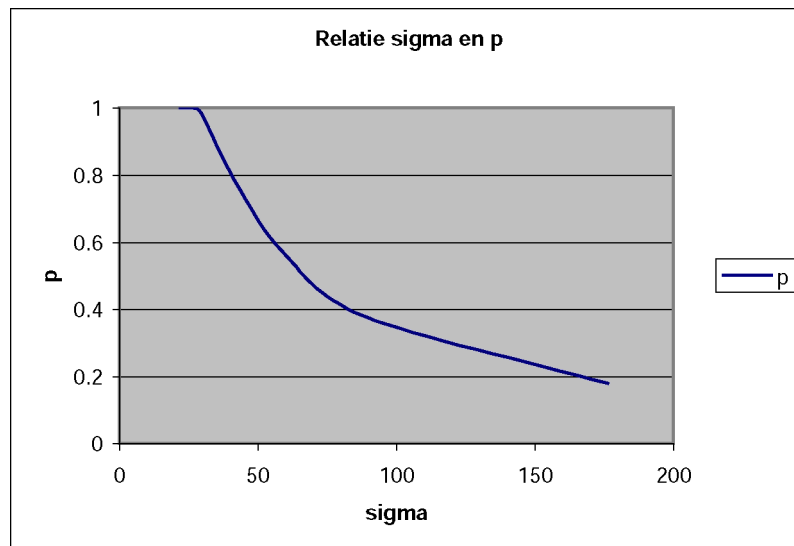
Figuur 6.7a Verband α en p



Figuur 6.7b Verband α en h_c

Suspensiefactor σ

Deze is in vergelijking (6.17) gedefinieerd en geeft de verhouding tussen de aanwezige turbulente energie en de valsnelheid van de korrels. Om het gedrag van σ te analyseren zijn de gegevens uit tabel 6.1 gebruikt. Met dit verschil dat de hoogte in de geul h_c vastgezet is op 8 meter en dat de breedte van de geul daarmee ook constant werd, $W = 52$ m. Verder is het gedrag bepaald aan de hand van een constante dissipatie van golfenergie D en is alleen de valsnelheid van de korrels gevarieerd. Zo ontstaat een beeld van de invloed van de korreldiameter op het invangpercentage p , bij constante omgevingsfactoren. Dit wordt geïllustreerd door de onderstaande grafiek. Duidelijk is te zien dat, zoals verwacht, bij toenemende σ het invangpercentage afneemt.

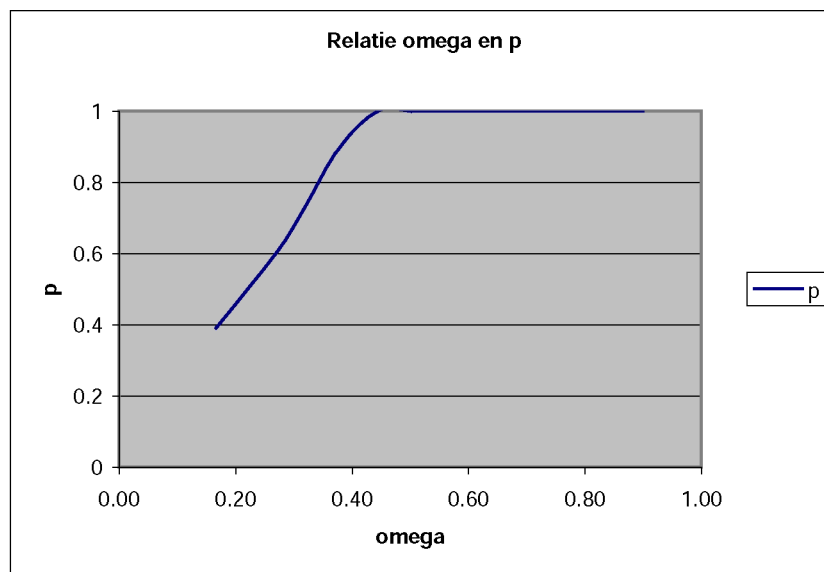


Figuur 6.8 Invloed suspensiefactor σ op invangpercentage p

Ontwerpparameter Ω

Met de ontwerpparameter kan worden ingeschat wat het effect is van een vergroting van de zandvang op de verhoging van het invangpercentage. Zo kan op zeker moment worden

geconstateerd dat een vergroting van de zandvang geen toename betekent van het invangpercentage, zie figuur 6.9.



Figuur 6.9 Invloed ontwerpparameter Ω op invangpercentage p

Toch dient een zandvang in de praktijk overgedimensioneerd te worden. En wel zodanig dat een volle zandvang betekent dat er een acceptabele productie kan worden gemaakt wanneer die geleegd wordt en dat dat het invangpercentage toch nog 100 % bedraagt.

6.1.5 Afsluiting

Over het algemeen kan worden gesteld dat uit de analyse van de proces- en ontwerpparameters blijkt dat het Kraus & Larson model de principes van de fysica die een rol spelen goed weergeeft. Uit de bezinkfactor α blijkt dat de invloed van zwaarder sediment inderdaad tot een groter invangpercentage leidt. Verder volgt uit de beschouwing van de suspensiefactor σ dat een grotere beschikbare hoeveelheid turbulente energie zorgt voor een lager invangpercentage. Ten slotte kan de ontwerpparameter Ω gebruikt worden om de benodigde inhoud van de zandvang te bepalen.

Toch zijn er nog een aantal zaken die, in relatie tot sand bypass systemen, nog genoemd dienen te worden.

Het grootste verschil tussen het hier beschouwde model en de werkelijkheid van een sand bypass systeem is de vorm van de dwarsdoorsnede van de zandvang. In dit model werd uitgegaan van een vorm die meer van toepassing is op vaargeulen. Een zandvang van een sand bypass systeem heeft meestal geen of bijna geen vlakke bodem. De bodem van de zandvang is eerder een spoor op een bepaalde diepte van waaruit de wanden schuin oplopen. Toch is de directe invloed van die vorm op dit model niet zo groot, er wordt namelijk gerekend met de afstand tussen de beide ongestoorde bodemliggingen aan weerszijden van de geul [afstand W in figuur 6.1]. In de analyse van de procesparameters is weliswaar met een horizontale bodem rekening gehouden maar die kwam eigenlijk alleen tot uitdrukking in die totale breedte W . Daarnaast wordt er in de formulering van p uitgegaan van continuïteit van de stroming over de zandvang. Vanwege de flauwe taluds die kenmerkend zijn voor [onbeschermde] geulen in de branding wordt er hier vanuit gegaan dat die continuïteit ook mag worden verondersteld in geval van een zandvang.

Verder bleek dat het invangpercentage p een waarde kleiner dan 100 % kan aannemen. Dit betekent dat er zand vanuit het langtransport de geul passeert. Via de ontwerpparameter Ω worden bepaald wat de benodigde diepte is om een percentage van 100 % te halen. Van die diepte kan de afstand W worden afgeleid. Deze twee gegevens kunnen worden gebruikt om

de dwarsdoorsnede van de zandvang te bepalen. Dit dient dan zo te gebeuren dat een 'volle' zandvang nog wel steeds 100 % sedimenttransport invangt.

Ten slotte dient er nog iets te worden gezegd over de omgevingsdiepte. Die is tijdens de gedane beschouwingen op 5 meter gezet. Dat is voor een brandingzone een behoorlijke diepte. Voor de brandingzone is een diepte van 1 à 2 meter een meer reële waarde. Enerzijds kan dan worden verondersteld dat de stroming minder goed aan blijft liggen, zeker wanneer voor de diepte in de zandvang 3 meter wordt aangehouden [zoals tot nu toe steeds werd gedaan]. Daarnaast is de invloed van de trechtervormige dwarsdoorsnede van een zandvang in dit verband wellicht ook nog groter. Deze zaken veroorzaken een toename van de turbulentie wanneer het langtransport de zandvang passeert. Dat heeft een negatieve invloed op het invangpercentage p . Anderzijds kan worden gesteld dat de omvang van het langtransport afneemt naarmate de afstand uit de kust kleiner wordt. De in te vangen hoeveelheden sediment zijn bij een lagere omgevingsdiepte dus toch al kleiner. Het is op dit punt dan ook nog niet duidelijk of het model bij kleinere omgevingsdieptes kan worden toegepast.

7 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie worden achtergronden gegeven voor het ontwerpen van een sand bypass systeem. Dit is gedaan door praktijkervaringen te combineren met theoretische beschouwingen. In aansluiting op die conclusies worden ten slotte een aantal aanbevelingen gedaan.

7.1 Conclusies

De conclusies van dit onderzoek worden in de eerste plaats gevonden in de praktijk. Daarop aansluitend komen een aantal uitkomsten uit de beschouwing van twee fictieve situaties naar voren. De laatste conclusies hebben betrekking op het in hoofdstuk 6 gepresenteerde theoretische model van het vulproces van een zandvang.

7.1.1 Conclusies uit de praktijk

Vanuit de praktijk kunnen de volgende ervaringen als richtlijn worden aangehouden voor een geslaagd ontwerp van een sand bypass systeem:

- de kans op succes van een systeem wordt groter naarmate het langtransport meer één richting kent
- de route en de grootte van het langtransport dienen nauwkeurig bekend te zijn
- actieradius en flexibiliteit worden belangrijker naarmate de onzekerheden over het langtransport en de ontwikkeling van de zandvang groter worden
- de processen in de brandingzone verkleinen de werkbaarheid van veel werktuigen
- voor toepassingen op kleinere schaal [enkele tienduizenden m³ per jaar] zijn drijvende systemen een zeer goed alternatief. Door de kleine schaal kent het systeem goed hanteerbare elementen die de flexibiliteit en actieradius ten goede komen

7.1.2 Conclusies uit de theoretische beschouwingen

Vanuit de theoretische beschouwingen van een tweetal situaties [één met buffer en één zonder buffer] kunnen de volgende conclusies worden getrokken. Ten eerste de conclusies voor een situatie waarin nog geen sprake is van een aanzandingsgebied en waarbij vanaf het begin van de verstoring van het langtransport een sand bypass systeem wordt toegepast:

- de grootte en de route van het langtransport kunnen het beste met een numeriek simuleringmodel worden bepaald. Daarmee kan dan tevens de locatie van de zandvang worden bepaald
- de capaciteit van de zandvang kan worden bepaald met behulp van het in hoofdstuk 6 gepresenteerde rekenmodel. Dit model zal hierna apart worden besproken
- voor het winproces vanuit de zandvang kan gebruikt worden gemaakt van de theorie van het zand winnen uit zandwinputten door winzuigers
- de locatie van het stort, benedenstrooms van de haveningang, wordt bepaald door diffractie en circulatiestromen

Voor een situatie met buffer is het grootste probleem het bepalen van de locatie van waaruit het zand winnen dient te worden gestart. Te dicht bij de aangezande golfbreker zand winnen betekent dat het langtransport langs het bestaande aanzandingsgebied sediment zal blijven afzetten. Zo wordt de nieuwe zandvang niet bereikt door het volledige langtransport. Vanuit het gebied tussen de zandvang en de aangezande golfbreker dient door bres- en erosieprocessen zand te worden toegevoerd. Aan de andere zijde van de zandvang dient het kustalignement zodanig te worden hersteld dat het langtransport in volledige omvang de zandvang bereikt.

7.1.3 Conclusies uit analyse van de modellering van het vulproces

Uit het gepresenteerde rekenmodel voor het vulproces van een geulvormige zandvang [hoofdstuk 6] kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- over het algemeen kan worden gesteld dat uit de analyse van de proces- en ontwerpparameters blijkt dat het Kraus & Larson model de principes van de fysica die een rol spelen goed weergeeft
- het invangpercentage p kan hoogst waarschijnlijk met dit model [waarin van een vaargeul met vlakke bodem wordt uitgegaan] ook voor een trechtersvormige zandvang worden berekend

7.2 Aanbevelingen

Vanuit het gehele onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan als het gaat om het ontwerpen van een sand bypass systeem

- zorg in de eerste plaats voor een duidelijke definitie van het op te lossen probleem. Is het aanzanden, de erosie of het ondieper worden van de vaargeul het probleem. Aan de hand daarvan dient verder te worden bepaald waaraan het te ontwerpen sand bypass systeem dient te voldoen
- zorg dat de grootte en de route van het langtransport zo exact mogelijk bekend zijn. Daarbij kan een modellering m.b.v. programma's als DELFT2D-MOR een goed hulpmiddel zijn
- stel aan de hand van bovenstaande gegevens een aantal alternatieven op voor de uitvoering van het sand bypass systeem. Daarbij dient te worden bedacht dat onderscheppende systemen weinig flexibel zijn en alleen bij een voorspelbaar langtransport succesvol zullen zijn. Bij verzamelende systemen dient extra aandacht uit te gaan naar de reikwijdte en werkbaarheid van het materieel waarmee de zandvang zal worden geleegd
- voordat het Kraus & Larson model wordt toegepast om de zandvang van een sand bypass systeem te modelleren, dient eerst te worden nagegaan of van de continuïteit van de stroming over de zandvang mag worden uitgegaan. Zowel voor de trechtersvormige doorsnede van de zandvang als voor afnemende omgevingdieptes
- een zandvang dient in de praktijk te worden overgedimensioneerd opdat voldoende productie gemaakt kan worden terwijl er nog steeds een invangpercentage van 100 % wordt bereikt
- wanneer de aanzanding van de vaargeul het enige echte probleem is zal over het algemeen onderhoudsbaggerwerk het goedkoopste alternatief blijken [gebaseerd op de m^3 prijzen van systemen uit de praktijk en de gangbare prijzen voor onderhoudsbaggerwerk]

8 Literatuuropgave

- Referenties
- Internet

8.1 Referenties

- Battjes, J.A. (1975) Modeling of turbulence in the surfzone. Proceedings Symposium on Modeling Techniques, ASCE, Reston, VA. Pages 1,050 – 1,061
- Boswood, P.K. and Murray, R.J. (2001) World-wide Sand Bypassing Systems: Data Report. Coastal Services Technical Report (Draft), State of Queensland, Australia.
- Brochure Gold Coast Seaway (2001) Safer Access To The Ocean
- Clausner, J.E. (1990) Fixed sand bypassing plant – An update. Dredging Research Technical Note 3-03, September 1990. US Army Waterways Experiment Station
- Clausner, J.E. (1989) Jet-pump sand bypassing, case study I: Nerang River Entrance, Australia. Coastal Engineering Technical Note
- Dalrymple, R.A. (1970) An offshore beach nourishment scheme. Proceedings of the 12th International Coastal Engineering Conference 1970, volume II. Pages 955 – 966
- Davis, R.A. (1997) The evolving Coast. Scientific American Library, New York
- Franssen, D. (2000) Numerical modelling of coastal changes between Chennai and Ennore, India (accretion due to breakwaters). Afstudeerverslag TU Delft, Civiele Techniek, sectie Waterbouwkunde en Offshore.
- Kraus, N.C. and Dean, J.L. (1987) Longshore transport rate distributions measured by trap. Proceedings Coastal Sediments '87.
- Patterson, D.R., Bisher, D.R. and Brodeen, M.R. (1991) The Oceanside experimental sand bypass, the next step. Proceedings Coastal Sediments '91, Volume II. Pages 1,165 – 1,176.
- Pound, M. (2002) Beantwoording van vragen via e-mail. Zie eerste blad na de literatuurlijst
- Richardson, T.W. (1977) Systems for bypassing sand at coastal inlets. Proceedings Coastal Sediments '77. Pages 67 – 84
- Richardson, T.W. (1980) Portable Sand Bypassing Systems for Small Harbors. Proceedings Ninth World Dredging Conference, 1980. Pages 589 – 600.
- Rijn, van L.C. (1991) Chapter 9 'Sedimentation of dredged channels and trenches'. Uit: Herbich, J.B. (1991) Handbook of Coastal Engineering, volume II.
- Rijn, van L.C. (1998) Principles of Coastal Morphology, Chapter 4 'Sandy Coasts'. Aqua Publications, Amsterdam.
- Schriek, van der G.L.M. (2001) Baggertechniek, dictaat 401. Dictaat voor het vak CT5300 Baggertechniek, gedoceerd aan de faculteit Civiele Techniek van de TU te Delft.
- SPM (1984) Shore Protection Manual. US Army Coastal Engineering Center.
- US-Army Corps of Engineers (1991) Engineering and Design, Sand Bypass System Selection, Engineering Manual EM-1110-2-1616. US Army Corps of Engineers, Washington D.C.
(<http://usace.army.mil/inet.usace-docs/eng-manual/em1110-2-1616/toc.htm>)
- Velden, van der E.T.J.M. (2000) Coastal Engineering Volume II. Dictaat voor het vak CT5309 Kustmorfologie en kustverdediging, gedoceerd aan de faculteit Civiele Techniek van de TU te Delft.

- Wakefield, A.W. (1986) The handling of sand deposits and littoral drift by submerged jet pump, with reference to the Nerang River Project. Proceedings of the 10th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes.
- Weggel, J.R. (1981) Weir Sand-Bypassing Systems. Special Report no. 8, US-ACE, CERC
- Weisman, R.N., Collins, A.G., Parks, J.M. (1982) Maintaining tidal inlets by fluidization. Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE, Vol. 108, No. WW4. Pages 526 – 538.
- Weisman, R.N., Collins, A.G., Parks, J.M., Adams, J.W. (1987) AnnaMaria, Florida: Case study of sand fluidization for channel maintenance. Shore & Beach, Vol. 55, No. 2, April 1987. Pages 42 – 48.
- Williams, G.L. and Visser, K.G. (1997) The Punaise: A Remotely Operated Submerged Dredging System. Terra et Aqua, no. 69, December 1997. Pages 20-28
- Williams, G.L., Morang, A. and Lillycrop, L. (1998) Shinnecock Inlet, New York, Site Investigation. Report 2 Evaluation of Sand Bypass Options. US-ACE, WES.
- WL | Delft (1976) Rapport M1259 [Alleen ter inzage]

Ontvangen e-mail van Malcom Pound [werkzaam bij de bouwers annex ontwerpers van het sand bypass systeem van de Nerang River]:

Subject: Designing Sand Bypassing Systems

Date: Tue, 19 Feb 2002 17:13:46 +1000

From: Malcolm Pound <mpound@cardno.com.au>

To: J SCHOLTEN <J.Scholten@student.tudelft.nl>

Jeroen

Your two E-mails of 21 January and 7 February 2002 to Ray Matta have come to be to respond to in a roundabout way. I hope I can address your queries.

Cardno MBK did the overall design of the Nerang River sand bypassing system with assistance the Queensland Government Beach Protection Authority and with some involvement of the Delft Hydraulic Laboratory. The detail design of most of the system was provided by the construction contractor under our supervision.

We now have a well developed design manual for sand bypassing systems developed out of Nerang. This is not a public document.

The transverse sand trap concept came from Delft Hydraulic Laboratory. It is supposed to be a trench but generally takes the form of a series of cones as the decision was made to use fixed jet pumps to remove all moving plant from the jetty for durability and safety.

We can now model the behaviour of the sand trap and the trapping efficiency is relatively insensitive to a trench or a series of cones. The trapping efficiency is a function of the effective width of the sand trap perpendicular to the wave fronts and the effective length of the sand trap parallel to the wave fronts. These effective dimensions can be achieved by a series of cones quite well.

The location of the sand trap relative to the breakwater was selected to provide a storage volume. Studies have shown that we get recirculation of sand from this area back into the sand trap. 16% of the drift at Nerang leaks through the jetty into this area and is returned to the sand trap. I believe the location is nearly optimum at Nerang.

The generally accepted figure for nett longshore drift at Nerang is 500,000 cubic metres per year. This is a figure that has been used for many years for the adjacent Gold Coast beaches and is based on surveys and calculations using various approaches including the CERC formula.

A lot of work was done recently using numerical modelling over a 5 year period for which good wave data was available. This study suggested that the nett drift to the north was probably higher at about 550,000 cubic metres per year. You will appreciate that there is a lot of uncertainty in these figures and high variability from year to year.

Wave data from waverider buoys is available from the Queensland Environmental Protection Agency. Real time wave data is available on the Internet!

Regards
Malcolm Pound
Cardno MBK

8.2 Internet

I1

<http://bigfoot.wes.army.mil/c823.html>

Internetsite over de Punaise; een drijvend onbemand baggerwerktuig dat vanaf de wal is aan te sturen. Dit werktuig is als alternatief afgewogen om in Shinnecock Inlet, NY, Amerika toe te passen als onderdeel van het sand bypass systeem aldaar.

Deze site geeft specifieke technische details over het werktuig. Het is een paper van de Coastal Engineering Research Center en het WES [Waterways Experiment Station].

I2

<http://chl.wes.army.mil/library/publications/chetn/#part4>

Internetsite waar het US-ACE haar Technical Notes in pdf-formaat beschikbaar stelt. Van deze site is de Coastal Engineering Technical Note CETN-iv-34 gehaald. Daarin wordt het Kraus & Larson model gepresenteerd dat is gebruikt voor de modellering van het vulproces van een zandvang [hoofdstuk 6].

I3

<http://www.transport.qld.gov.au/qt/qtexport.nsf/index/sandbypass>

De internetsite over het sand bypass systeem aan de ingang van de Nerang River, Queensland, Australië.

I4

<http://www.env.qld.gov.au/environment/coast/management/trb.html>

De internetsite over het sand bypass systeem aan de ingang van de Tweed River, Queensland, Australië.