

Aan : Projektgroep WOV
Van : Ing.D.C.v.Maldegem
Datum: 8 oktober 1991

Onderwerp: Eerste schatting sedimentatie
in bouwdok en werkhaven W.O.V.

(tracé westelijk van Terneuzen)

Samenvatting:

De sedimentatie in het bouwdok en de werkhaven is zowel vanuit het sedimentatieproces als vanuit de baggergegevens van de Westerscheldehavens beschouwd. De sedimentatie in de havens blijkt grotendeels afhankelijk te zijn van de grootte en vorm van de havenmond.

De volgende schatting is gedaan voor de sedimentatie:

- bouwdokken 0.4 m/jr. ($\sigma=0.2$) of $90 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jr.}$ ($\sigma=40 \cdot 10^3$)
- werkhaven 1.0 m/jr. ($\sigma=0.6$) of $90 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jr.}$ ($\sigma=50 \cdot 10^3$)
- toegangseul orde 3.0 m/jr. of $150 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jr.}$
 werkhaven
 (dit betreft een zeer ongunstige situatie van een gebaggerde toegangseul
 zonder obstakels zoals havendammen en de damaanzet)

In het stormseizoen moet rekening worden gehouden met een snellere verzanding van de toegangseul tot de werkhaven onder invloed van golfwerking.

Beperking van de sedimentatie is mogelijk door een zo klein mogelijke haveningang en een vorm van de ingang zodanig te kiezen dat neervorming weinig kans heeft om te ontstaan.

Indien in het bouwdok veel overdiepte wordt aangebracht i.v.m. de verwachte sedimentatie moet rekening worden gehouden met mogelijk enkele dm's extra sedimentatie. Het aanbrengen van overdiepte is daarom niet zonder consequentie.

De toegangseul van de werkhaven zal zonder obstakels, die het zandtransport over deze geul beperken, naar verwachting snel verzanden. Door de uitbouw van de damaanzet en de aan te leggen havendammen zal naar verwachting de sedimentatie worden beperkt. Om de gevolgen van de havendammen en de uitgebouwde damaanzet op het zandtransport over de toegangseul en de hieruit af te leiden sedimentatie goed te kunnen bepalen is echter verder uitgebreid onderzoek nodig.

Gezien het voorgaande wordt uit het oogpunt van aanzanding aanbevolen om de ingang van de werkhaven zo dicht mogelijk te laten aansluiten aan het diepere gedeelte van de geul.

1. Inleiding

Ten behoeve van de bouw van de Westerschelde Oever Verbinding (tracé westelijk van Terneuzen) wordt een werkhaven aangelegd op de Middelplaat en wordt een gedeelte van de Sloehaven bestemd als bouwdok voor (A) de tunnelementen en (B) de brugpijlers (Bijlage 1).

In de werkhaven, de toegangseul naar de werkhaven en het open bouwdok zal sedimentatie plaatsvinden, die mogelijk hinderlijk is voor de uitvoering van de werken. De schatting van de sedimentatie wordt in deze notitie besproken.

2. Probleemstelling

Werkhaven

Gedurende de aanleg van de WOV moet in de werkhaven een gegarandeerde streefdiepte van NAP -7.50 m. in stand worden gehouden. Dit kan worden uitgevoerd door het aanbrengen van overdiepte of door onderhoudsbaggerwerk. De haven wordt aangelegd op een diepte van NAP -8.50 m. In de praktijk zal de gemiddelde diepte ca. NAP -8.00 m. bedragen.

Voor het afschatten van de te verwachten baggerhoeveelheden of de aan te brengen overdiepte moet de aanzanding / aanslibbing van de werkhaven worden berekend.

De haven zal gedurende het hele werk continue in gebruik zijn.

Bouwdok

Gedurende de openstelling van het bouwdok moet de hoeveelheid sedimentatie voldoende beperkt zijn om het uitvaren van de brug- en tunnelementen niet te verhinderen.

De hoeveelheid sedimentatie varieert daarbij voor bouwdok A en B omdat deze in verschillende perioden in open verbinding staan met de Sloehaven. De bouwdokken hebben een aanlegdiepte van NAP-11.5m.

Gedeelte A van de tunnelementen zal naar verwachting vanaf het voorjaar gedurende bijna één jaar in open verbinding staan met de Sloehaven om de verwachte 12 tunnelementen (1*) te kunnen uitdrijven.

Gedeelte B van de brugelementen zal naar verwachting gedurende een kortere periode (enkele maanden) in open verbinding staan met de Sloehaven. Omdat vooralsnog onduidelijk is of deze periode in de zomer valt, is veiligheidshalve met jaargemiddelde omstandigheden gerekend. Ook deze (2 of 6) elementen worden drijvend uitgevaren.

1* afmeting tunnelementen: 150m. lang; 22.5m. breed; 8.5m. hoog

3. Situering werkhaven en bouwdok

De situering van de werkhaven en de bouwdokken heeft invloed op de sedimentatie:

Situering werkhaven

De werkhaven ligt relatief ongunstig aan de noordelijke rand van de Middelplaat (bijlage 1). In het huidige ontwerp ligt de monding van de werkhaven door de in de geul uitgebouwde brugaanzet enigszins beschut voor de vloedstroom. Deze situatie is van toepassing nadat de brugaanzet is uitgebouwd en de zuidelijke brugpijler is geplaatst. De zuidelijke brugpijler veroorzaakt nog meer weerstand, zodat tijdens de vloedfase neren voor de ingang van de werkhaven te verwachten zijn. De snelheden in de neren zullen relatief hoog zijn, omdat in de toekomstige situatie langs de "harde" wanden van het enigszins vernauwde profiel eerder hogere dan lagere snelheden te verwachten zijn. De neerwerking veroorzaakt extra sedimentatie.

De WAQUA berekeningen voor de huidige situatie zonder werkhaven geven maximale stroomsnelheden van 1.25 m/s tijdens vloed en 0.60 m/s tijdens eb ter plaatse van de geplande ingang van de werkhaven.

De huidige WAQUA schematisatie is weliswaar enigszins grof (100 m. net) om de stroombeeld-veranderingen door de zuidelijke brugpijler en de damaanzet goed te kunnen simuleren (ter plaatse van de aan te leggen werkhaven). Toch is er wel globale informatie aan te ontleen:

- Het vloeddebiet in de Everingen zal waarschijnlijk door het vernauwde profiel in geringe mate afnemen doordat het debiet door de Pas van Terneuzen relatief wat sterker wordt. Door de vernauwing van de Everingen zal de gemiddelde vloedstroom in deze geul waarschijnlijk in eerste instantie enigszins toenemen. Indien de compensatie van het doorstroomoppervlak van de Everingen zal worden overgelaten aan de natuurlijke morfologische ontwikkelingen dan zal de stroomsnelheid aanvankelijk toenemen. Na verloop van tijd zal echter een nieuwe evenwichtssituatie ontstaan met stroomsnelheden, die vergelijkbaar zijn met de huidige situatie (maximum van ca. 1 m/s).
- De ebstroom neemt waarschijnlijk toe totdat de geulbodem een nieuw evenwicht heeft bereikt (maximum ca. 0.8 m/s). Deze stroom trekt door de Zuid Everingen langs de noordelijke rand van de Middelplaat. Door het toegenomen transporterend vermogen van het water in deze geul is de kans groot dat in de gecreerde luwtegebieden extra sediment wordt afgezet. In het gebied voor de ingang van de werkhaven is ook bij eb neervorming goed mogelijk.

Situering bouwdok A en B

De bouwdokken liggen relatief gunstig doordat de ingangen op enige afstand van de havenmond van de Sloehaven liggen.

De stroomsnelheden voor de mond van de Sloehaven bedragen max. 1 m/s bij de havendammen en max. 0.5 m/s voor het midden van de havenmond. De gemiddelde snelheden in de mond bedragen over het algemeen ≤ 0.2 m/s.

De stroomsnelheden achter de ingang zullen daarom hooguit 0.2 m/s bedragen. Bij deze snelheden is geen noemenswaardige neervorming te verwachten voor de ingangen van het bouwdok. Verder zal het sediment (zand) in tegenstelling tot het slib door de lage stroomsnelheden veelal de ingang van het bouwdok niet bereiken.

Konklusie

Uit de situering is af te leiden dat sedimentatie van de werkhaven meer aandacht behoeft dan de sedimentatie van de bouwdokken.

4. Sedimentatieproces in havens

4.1 Procesbeschrijving

Het stromende water transporteert gedurende de eb en vloed sediment (zand en slib) langs de havenmond. Een deel van dit sediment komt door uitwisselingsstroming tussen de geul en de haven in de haven terecht.

De uitwisseling van het water in de haven vindt plaats door drie processen [Literatuur 4]:

- a. komvulling en komlediging
- b. neervorming
- c. dichtheidsverschillen

De uitwisseling van sediment vindt plaats door de bovengenoemde uitwisselingsdebiëten en door concentratieverschillen tussen het water in de geul en de haven.

In de geul kan door turbulentie namelijk veel meer sediment in suspensie blijven dan in de haven. Tijdens de uitwisseling vindt dan ook resulterend sedimenttransport plaats de haven in. In de haven zijn de stroomsnelheden meestal zo gering dat uitzakking van het sediment (zand en slib) in de waterkolom gaat plaatsvinden. Niet al het sediment blijft in de haven achter. Verstoring van het sedimentatieproces in de haven ontstaat o.a. door:

- Resuspensie t.g.v. de (diepgaande) scheepvaart
- Resuspensie door hoge uitwisselingssnelheden bij het vullen en ledigen
- Resuspensie door hoge uitwisselingssnelheden in het gebied van de neer

Dit hele proces is moeilijk te kwantificeren waardoor naast de theoretische aanpak ook een empirische aanpak nodig is.

4.2 Belangrijke parameters

Het sedimentatieproces wordt in belangrijke mate beïnvloed door de volgende factoren:

- De situering van de haveningang t.a.v. de eb- en vloedstroom in verband met de neervorming en dichtheidsstromingen.
- Het seizoen of de periode, waarin er een open verbinding is met het estuarium i.v.m. de seizoensvariatie van de sedimentconcentratie.
- De concentraties en het aanbod van sediment in relatie tot de getijfase en de in- en uitstroming van de haven.
- De dimensies van de haven met het oog op de uitwisselingsprocessen en resuspensie, zoals komberging, oppervlakte- en diepte haveningang, en de aanwezige belemmeringen.
- De intensiteit van de in- en uitgaande scheepvaart en de diepgang van de deze scheepvaart.

5. Berekening van de sedimentatie in de havens

5.1 Theoretisch-fysische aanpak

Werkhaven (Bijlage 2 bevat de berekeningsresultaten)

De sedimentatie van de werkhaven is in drie stappen berekend.

Als eerste stap zijn de uitwisselingsdebieten bepaald tussen de Everingen en de werkhaven door neren, dichtheidstromen en komvulling. De afzonderlijke uitwisselingsdebieten zijn daarbij te berekenen met de volgende formules [Lit.4]:

$$\text{NEREN} \quad : \quad QN(t) = 0.25 \operatorname{tgh}(0.00085 * c) * v(t) * (a + Dh/Dt) * c$$

voor $\operatorname{tgh}(\dots)$ is ter vereenvoudiging e^{\dots} genomen

$$\text{DICHTHEIDSSTROMEN} \quad : \quad QD(t) = 0.548 * b * (a + Dh/Dt)^{1.5} * (Dd/Dt)^{0.5}$$

$$\text{KOMVULLING} \quad : \quad QK(t) = o * Dh/Dt$$

De gebruikte symbolen hebben de volgende betekenis:

QN = uitwisselingsdebiet door neren [m³/s]

QD = uitwisselingsdebieten door dichtheidsstroom [m³/s]

QK = uitwisselingsdebiet door komvulling [m³/s]

t = tijd

c = karakteristieke breedte haveningang [m]

v = langsstroomsnelheid [m/s]

a = diepte haveningang [m t.o.v. NAP]

h = waterstand [m t.o.v. NAP]

d = dichtheid van het water [kg/m³]

b = breedte haveningang [m]

o = oppervlakte haven [m²]

Uit de vergelijking van de afzonderlijke uitwisselingsdebieten (bijlage 3) volgt dat de NEREN, die door de vorm en grootte van de havenmond bepaald worden, het meeste netto transport veroorzaken.

Als tweede stap wordt de sedimentatie berekend, die theoretisch kan sedimenteren in de haven. Hiervoor is inzicht nodig in de uitzakking van het sediment (slib en zand).

Aanslibbing

Voor het slib wordt uitgegaan van een continue valsnelheid van 1 tot 2 mm/s [Literatuur 7] en een homogene verdeling over de diepte, waardoor na 1 uur het slib $\frac{1}{2}$ havendiepte valt (≈ 3.5 m.). Hieruit is afgeleid dat de slibconcentratie in de haven in eerste instantie ongeveer 50% is van de concentratie in de geul.

Sedimentatie van het aangevoerde materiaal kan echter pas plaatsvinden bij lage stroomsnelheden in de werkhaven zelf. Deze stroomsnelheid is berekend uit:

$$(QT(t) * l) / (d * o) , \quad \text{waarin } l = \text{havenlengte [m] en} \\ d = \text{havendiepte [m]}$$

Aanslibbing vindt daardoor plaats in de periode dat de gemiddelde stroomsnelheid in de haven kleiner is dan de kritische sedimentatiesnelheid (k). Uitgegaan is van een kritische k waarde van 0.2 m/s. [Literatuur 7]. Deze snelheid

wordt gedurende vrijwel het hele getij onderschreden in de haven. De aanslibbing is hiermee berekend op maximaal 0.4 m/jr.

Aanzanding

Aanzanding vindt plaats bij hogere kritische snelheden dan voor slib (orde 0.5 m/s). Sedimentatie zal in principe plaatsvinden van bijna alle aangevoerde zandkorrels, doordat de snelheden in de werkhaven kleiner zijn dan 0.5 m/s. De kans is echter groot dat het meeste zand voor het grootste deel tijdelijk sedimenteert vóór of in de haveningang, doordat de stroomsnelheden hier veelal al kleiner zijn dan 0.5 m/s.

Als derde stap wordt de uitwisseling van sediment berekend. Daarbij wordt het totale uitwisselingsdebiet van water $QT(t)$ gelijkgesteld aan $QN(t) + QD(t) + QK(t)$.

De netto uitwisselingstransporten van slib en zand worden vervolgens berekend uit het produkt van de totale uitwisseling van water en het concentratieverschil tussen de geul en de haven:

- voor slib is dit $QT(t) * Ds(t)$
- voor zand is dit $QT(t) * Dz(t)$, waarin:
 - $Ds(t)$ = verschil in slibconcentratie tussen geul en haven
 - $Dz(t)$ = verschil in zandconcentratie tussen geul en haven

Het concentratieverschil $Ds(t)$ en $Dz(t)$ tussen de geul en de haven wordt daarbij beïnvloed door de sedimentconcentratie in de haven en in de geul. Beiden veranderen continue. De sedimentconcentratie in de haven verandert continue door het aanbod van sediment uit de geul door uitwisseling in de havenmond en het uitzakken van het sediment in de haven. De haven werkt daarbij feitelijk als een sedimentvang. De concentratie in de geul is afhankelijk van de sterkte van de getijstroom en het seizoen.

Rekening houdend met het voorgaande is in bijlage 2 de sedimentatie berekend voor de werkhaven.

De totale sedimentatie (zand en slib) in de haven wordt geschat in de range tussen 1 tot 4 maal de aanslibbing \approx 0.4 tot 1.6 m/jr. (0.04 tot 0.14 mlj. m³ per jaar).

Gezien de situering van de haven moet rekening worden met aanzanding in de haveningang van dezelfde orde van grootte als in de haven zelf. Dit is gebaseerd op het feit dat een vergelijkbare situatie van toepassing is voor de veerhaven van Breskens.

Bouwdokken

Voor de bouwdokken is aangenomen dat alleen rekening hoeft te worden gehouden met de extra komvulling en niet met dichtheid en neren. Doordat de bouwdokken ondieper zijn dan de Sloehaven wordt gedurende de periode van een open verbinding met deze haven wat minder sedimentatie per m² havenoppervlakte verwacht dan in de Sloehaven. Aangenomen is dat de sedimentatie binnen de Sloehaven evenredig is met de waterdiepte (factor 1.35). De sedimentatie in de bouwdokken bedraagt volgens deze benadering 0.2 m/jr. ($\sigma=0.2$).

5.2 Praktijkbenadering op grond van baggergegevens

Bij deze benadering is uitgegaan van de sedimentatie, die optreedt in de bestaande havens van de Westerschelde.

Om een vergelijking te kunnen maken met de werkhaven en het bouwdok is in eerste instantie naar relaties gezocht tussen dimensieloze parameters, die de haven kenmerken en de aanslibbing en aanzanding mogelijk bepalen. De volgende dimensieloze parameters zijn daarvoor gedefinieerd:

- K1 (doorsnede-vergelijk) = havenoppervlakte / (havendiepte * havenlengte)
- K2 (toegankelijkheid) = oppervlakte haveningang / havenoppervlakte
- K3 (proces) = breedte haveningang / diepte haveningang

N.B. breedte is belangrijk voor komvulling en neren
diepte is belangrijk voor dichtheidsstroming
 oppervlakte haveningang is gesteld op breedte * diepte.

- K4 (Inhoudsafname) = hoeveelheid sedimentatie / (havenoppervlak * havendiepte)
- K5 (Uitwisseling) = hoeveelheid sedimentatie / (havenoppervlak *
 (oppervlak haveningang/havenlengte))

Er is vervolgens gekeken of er overeenkomsten bestaan tussen de havens onderling voor de verschillende dimensieloze parameters (K1 t/m K5).

Voor de hoeveelheids sedimentatie is uitgegaan van de gebaggerde hoeveelheden na 1970. De dieptegegevens van de havens zijn verkregen van de beheerders van de havens. De benodigde gegevens en berekeningsresultaten zijn vastgelegd in bijlage 4. Uit de berekende waarden voor de parameters (bijlage 5, 6) konden geen duidelijke verbanden worden vastgesteld.

Bij deze eerste indicatieve benadering is verder m.b.v. bijlage 5 en 6 globaal bepaald welke bestaande havens kwa dimensieloze parameters overeenkomen met de aan te leggen werkhaven en de bouwdokken. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de volgende tabel:

haven/dok	overeenkomst met:	sedimentatiesnelheid [m/jr]	slibperc. [%]
Bouwdok brug	oost. voorhaven Terneuzen	0.6 ($\sigma=0.2$)	
Bouwdok tunnel	oude veerhaven Terneuzen	0.6 ($\sigma=0.4$)	40 tot 60
Werkhaven	veer-/handelshaven Breskens	1.2 ($\sigma=0.8$)	

In tweede instantie is gezocht naar een goede correlatie tussen de baggerhoeveelheid en één praktische havenparameter. Bij deze analyse van de variabelen is vastgesteld dat het baggeren het beste correleert met de oppervlakte van de haveningang (correlatiecoëfficiënt = 0.82) (zie bijlage 7). Dit is niet zo verwonderlijk omdat in vrijwel alle havens de neren maatgevend zijn voor de sedimentatie en daarin is de grootte van de haveningang een passende parameter. Deze relatie geeft de volgende schatting voor de sedimentatie:

haven/dok	sedimentatie [m ³ /jr]	sedimentatie [m/jr]
Bouwdok brug	32000	0.35
Bouwdoktunnel	45000	0.32
Werkhaven	56000	0.70

Werkhaven

Gezien de ligging van de werkhaven moet ermee rekening worden gehouden dat de sedimentatiesnelheid maximaal van dezelfde orde kan zijn als de veerhaven bij Breskens 0.8 tot 2.0 m/jr. Tevens moet gezien de ligging van de ingang van de werkhaven t.o.v. de stroom daar rekening worden gehouden met sedimentatie vóór de haveningang. Hierdoor zal minder materiaal in de haven zelf bezinken. Dit betreft hoofdzakelijk de zandfractie.

Bouwdok

Voor de bouwdokken geldt de berekende sedimentatie feitelijk voor de situatie, indien de ingangen direct zouden zijn gelegen aan de Westerschelde. De ligging binnen de Sloehaven met een jaarlijkse sedimentatie van 0.3 m. ($\sigma=0.20$). is daarom een belangrijke randvoorwaarde bij de bepaling van de sedimentatiesnelheid voor de bouwdokken. Deze maat is feitelijk de ondergrens voor de sedimentatiesnelheid in de bouwdokken, als aangenomen wordt dat door de oppervlaktevergroting de sedimentatiehoeveelheden mogen worden geëxtrapoleerd.

5.3 Berekeningsresultaten

De resultaten van de sedimentatieberekeningen voor de havens (paragraaf 5.1 en 5.2) zijn samenvattend weergegeven in de volgende tabel.

Schatting van de sedimentatie [m/jr]

haven/dok	theorie	vergelijk met andere haven	correlatie met haven ingang	begrenzing	vuistregel gem. en afw.
Bouwdok brug	0.2	0.6	0.4	min 0.3	0.4 ($\sigma=0.2$)
Bouwdok tunnel	0.2	0.6	0.3	min 0.3	0.4 ($\sigma=0.2$)
Werkhaven	0.4 tot 1.6	1.2	0.7	max 1.2	1.0 ($\sigma=0.6$)

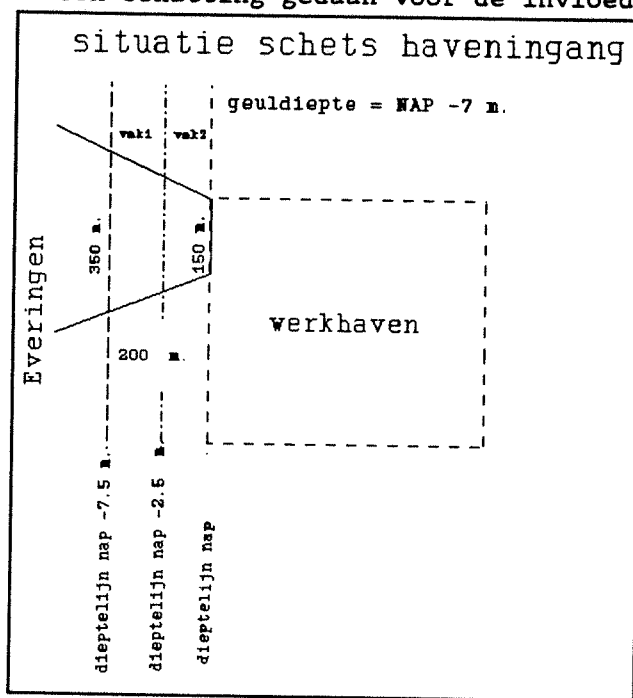
5.4 Aanbevelingen voor de vormgeving van de havenmond

Door een andere vormgeving van de ingangen van werkhaven kan de sedimentatie in deze havens mogelijk worden verminderd. Als hierdoor de sedimentatie met 20% wordt verminderd, kan dit een besparing aan baggerwerk van totaal ca. $40 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ geven.

Uit het theoretische model volgt dat een aanzienlijke reductie van de sedimentatie te verkrijgen is door de haveningang zodanig te kiezen dat minimale neervorming mogelijk is. Uit de correlatie tussen baggeren en het oppervlakte van de haveningang (bijlage 7) volgt dat een reductie haalbaar is door de oppervlakte van de ingang te verkleinen.

6. Berekening van de aanzanding van toegangsgeul tot de werkhaven

De toegangsgeul tot de werkhaven is in het ontwerpplan zodanig gesitueerd (zie figuur 1) dat er mogelijk een aanzienlijke aanzanding te verwachten is van het sediment dat door het getij wordt getransporteerd. Aangenomen wordt dat van het sediment nauwelijks slib zal bezinken in de toegangsgeul doordat de stroomsnelheden weinig beneden de kritische sedimentatiesnelheid voor slib (ca. 0.2 m/s) komen. Verder is een schatting gedaan voor de invloed van golven.



Figuur 1 Plan-situatie toegangsgeul

In bijlage 8 is de aanzanding van de toegangsgeul berekend [Lit.6]. Uit de berekening blijkt dat de efficiency van de geul bijna 100% is. Dat wil zeggen dat bijna al het materiaal wordt gevangen dat langs de plaatrand wordt getransporteerd.

Uit de resultaten van de zandtransportmeting met de AZTM op 6 maart 1991 blijkt dat op 10 m. diepte het gemiddelde zandtransport over het getij 0.3 kg/sm bedraagt. Met behulp van deze resultaten zijn de getijgeïnduceerde transporten op een andere diepte te bepalen.

Indien de Chezywaarde constant wordt verondersteld volgt uit de Engelund-Hansen zandtransportformule

$$St \propto V^5 \quad (1)$$

waarin St = het momentane transport [kg/ms]
 V = de stroomsnelheid [m/s]

Verder volgt uit $V = C \sqrt{hi}$ dat $V \propto h^{0.5}$ (2)

hierin is C = Chezy constante $m^{0.5}/s$
 h = waterdiepte [m]
 i = waterspiegelverhang [m]

Verondersteld is een stationaire situatie, waardoor constant waterstandsverhang (i) over de breedte van het estuarium aanwezig is.

Uit de samenvoeging van (1) en (2) volgt $St \propto h^{2.5}$ (3)

Vergelijking (3) is afgerond tot $St = h^3$ voor de bepaling van de transporten op een andere diepte (bijlage 10).

De transporten in vak 1 en 2 van figuur 1 met gemiddelde diepten van 5 en 1.25 m. zijn zodoende geschat op 0.1 en 0.004 kg/ms. Dit betekent een gemiddelde aanzanding van 3 m/jaar.

Opgemerkt wordt dat bij de bepaling van het sedimenttransport langs de plaatrand veel aannamen zijn gedaan. Aanbevolen wordt om ter controle van de berekening nadere metingen te verrichten.

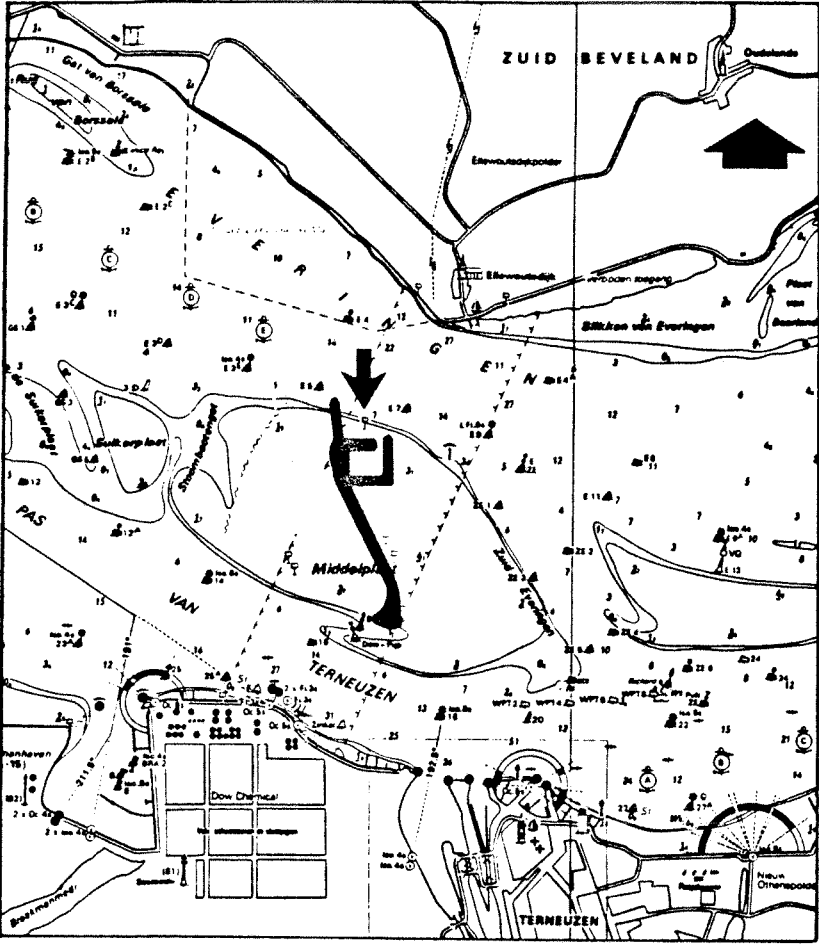
Met behulp van de sedimenttransportformules van Engelund-Hansen (aangepaste versie) en Bijker is afgeschat wat het effect van golven is op het sedimenttransport.

Deze transportformules zijn redelijk in staat om het gemeten zandtransport in de geul te simuleren (bijlage 11). Dit betekent dat het berekende effect van de golven op het sedimenttransport een redelijke indicatie is. Het effect van de golven $H_s=1$ m. langs de plaatrand bedraagt een factor 2 tot 3 (bijlage 12). De overschrijdingsfrequentie van deze golven bedraagt echter minder dan 1% van de tijd. Dit betekent dat na een periode van stormen rekening moet worden gehouden met extra aanzanding van de toegangsgeul.

Gezien de gecompliceerdheid van de situatie wordt aanbevolen zo mogelijk een proefsleuf te graven ter plaatse van de toegangsgeul om de veronderstelde aanzanding nauwkeuriger te kunnen afschatten.

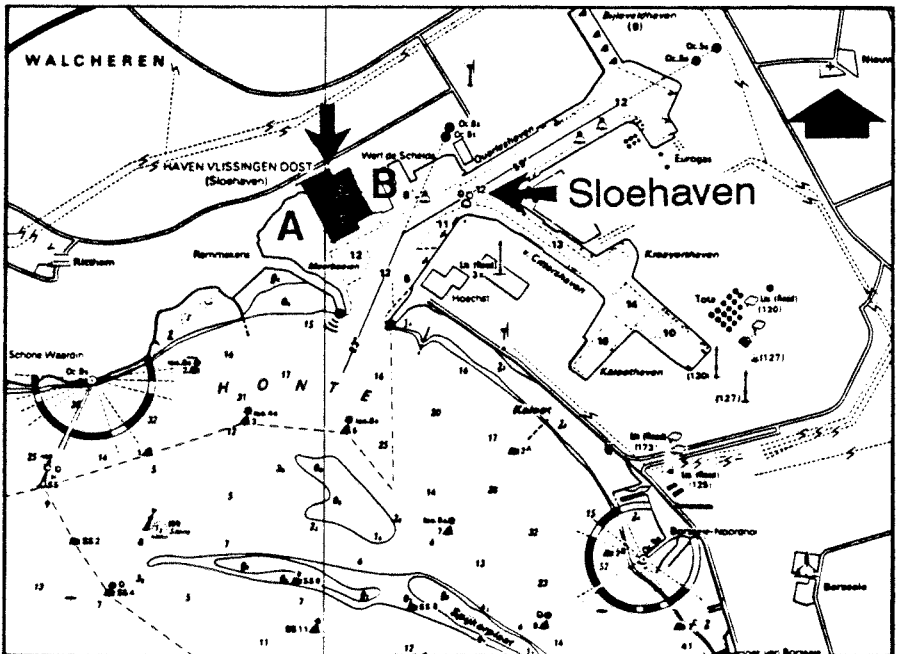
Literatuur

1. L.Dekker
WAQUA runs tracé 3BT met schuine dam
Notitie AXI 91.06 januari 1991
2. D.C.v.Maldegem
Aanslibbing bouwdok WOV (tracé Kruiningen - Perkpolder)
Nota WWKZ 82.V004
3. C.v.d.Male
Afregeeling WAQUA model DETWES m.b.v. debietmetingen in de meetraaien 2 en 7
Notitie GWWS-90.13113 augustus 1990
4. MKO (1980)
wateruitwisseling ten gevolge van langstromend water
5. J.W.Theune
Onderzoek naar de uitwisselingsstroming in de mond van de haven Vlissingen Oost.
Nota WWKZ 82.V002
6. J.J.v.d.Berg
Reductie suspensief zandrtransport door ontgrondingskuilen
Notitie NWL 91-42
7. C.Kuijper, J.M.Cornelisse, J.C.Winterterp
Uit de serie rapportages over: "Cohesive Sediments" nr. 29:
Erosion and deposition characteristics of natural muds sediments
from the Westerschelde (Breskens)
Rijkswaterstaat en Delft Hydraulics, november 1990

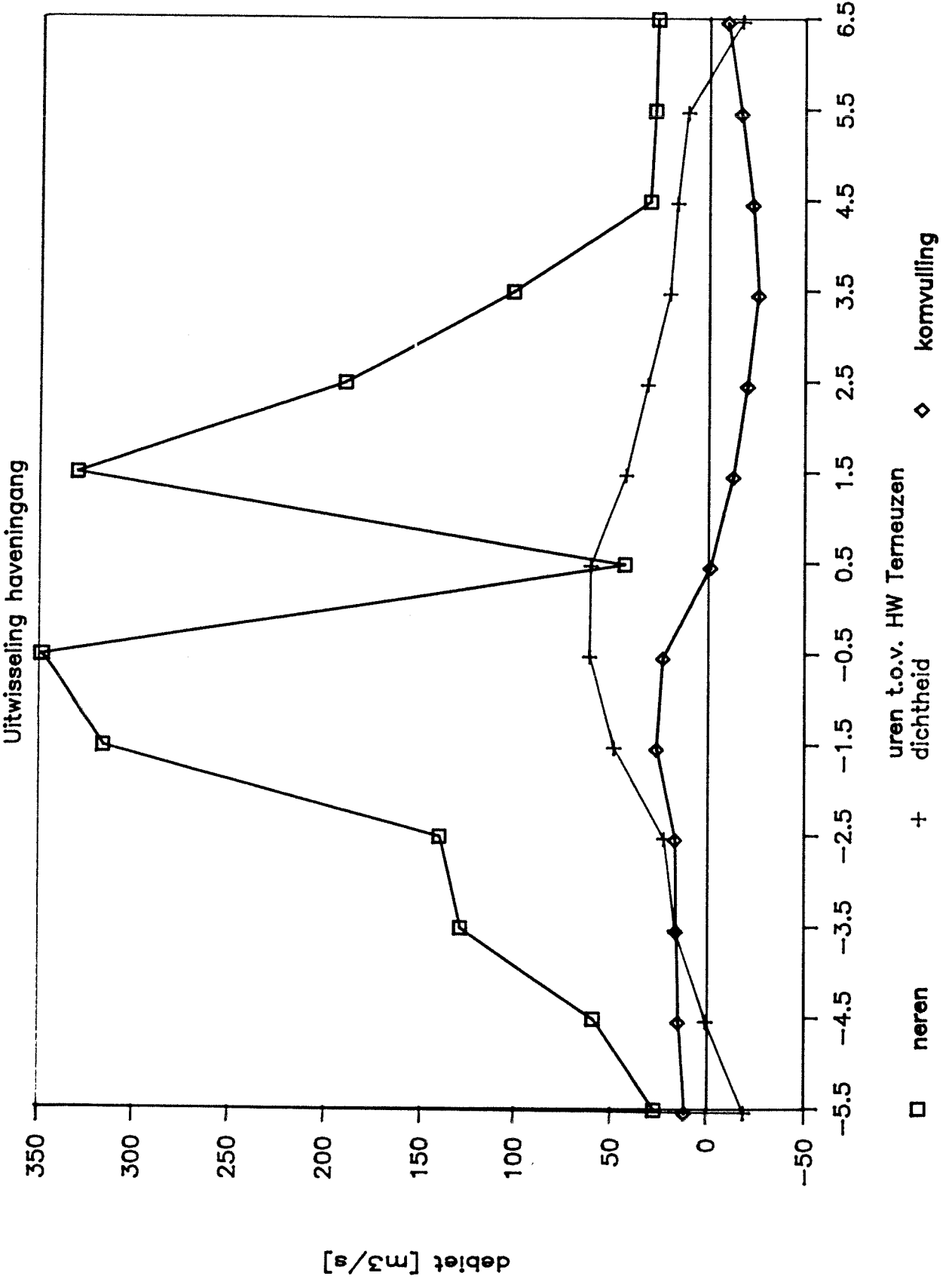


Situatie Werkhaven

Stuatie Bouwdok



Werkhaven WOV westelijk Terneuzen



Haven	Beheer	kode haven
Veerhaven Breskens	t01150-13551	VBR
Handelshaven Breskens	t01150-13551	HBR
Buitenhaven Vlissingen		BVL
Sloehaven		SLO
Bouwdok tunnel		BDT
Bouwdok brug		BDB
Werkhaven		WHV
Braakmanhaven	t01150-17904 (1*)	BRA
westbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	WTN
oostbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	OTN
veerhaven Terneuzen	t01150-13551	VTN
voorhaven Hansweert	oude situatie	HAN
veerhaven Kruiningen		VKR
Veerhaven Perkpolder	t01150-13551	VPE
haven van Walsdoorden	t01148-1235	WAL

Algemene gegevens van Westerscheldehavens tbv sedimentatie-onderzoek
 beheerder dienstkring Westerschelde 01184-27000 (v.d.Veide)

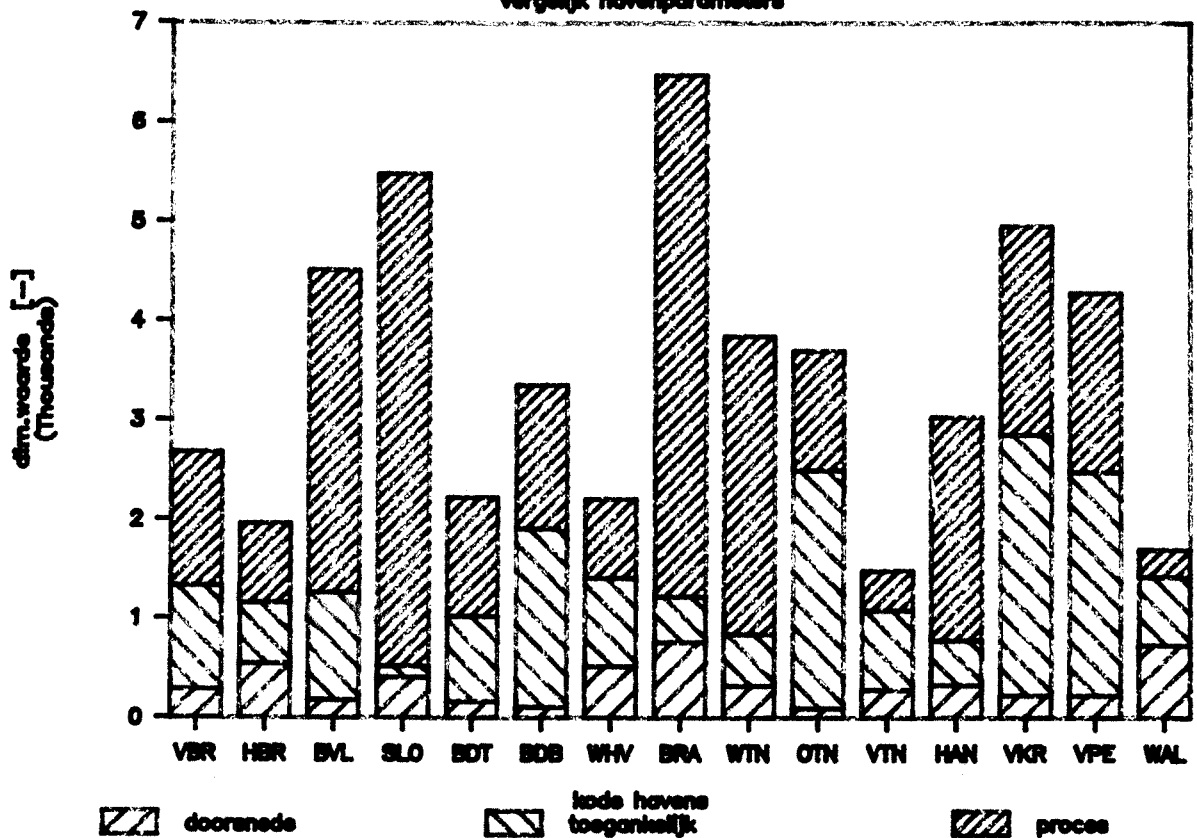
Haven	Beheer	Oppervl. Haven ohAP [km2]	Depth [m.NAP]	Lengte Haven [m]	Haveningang Breed [m]	Opvl [m2] berek.	Baggeren gem/jaar [ml.j.m3]	Baggeren spreidingper [ml.j.m3]	Baggeren per m2 [m]	Baggeren slibperc <16mu [%]	slibperc <63mu [%]
Veerhaven Breskens	t01150-13551	0.13	9	500	9	1350	0.19	0.08	1.46	0.62	30
Handelshaven Breskens	t01150-13551	0.13	6	400	8	800	0.1	0.05	0.77	0.38	38
Buitenhaven Vlissingen		0.3	13	1300	13	250	0.24	0.24	0.80	0.35	35
Sloehaven		4.38	15.5	7000	16.5	300	1.12	0.87	0.20	0.60	72
Bouwdok tunnel		0.14	11.5	750	12	100			0.00	0.00	0
Bouwdok brug		0.08	11.5	650	12	120			0.00	0.00	0
Werkhaven		0.09	8	250	8	100			0.00	0.00	0
Braakmanhaven	t01150-17904 (1*)	1.13	15	1000	15	350	1.1	0.55	0.97	0.49	45
westbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	0.58	14	1300	15	200	0.33	0.15	0.57	0.26	50
oostbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	0.05	7.5	700	8	150	0.05	0.04	1.00	0.80	40
veerhaven Terneuzen	t01150-13551	0.05	6	300	8	50	0.03	0.02	0.60	0.40	35
voorhaven Hansweert	oude situatie	0.5	9	1700	9	250	0.08	0.08	0.16	0.16	30
veerhaven Kruiningen		0.08	9	400	14	150	0.1	0.07	1.25	0.88	45
Veerhaven Perkpolder	t01150-13551	0.08	9	400	12	1800	0.05	0.02	0.625	0.25	30
haven van Walsdoorden	t01148-1235	0.04	5.5	100	5.5	275	0.01	0.01	0.25	0.25	0

1* dhr. Meygaard

Haven	Beheer	Doorsn verg[-]	Toegang [-]	Proces [-]	Afname Volum[%]	Berekeningen tav sedimentat Weging Uitwis[-]
Veerhaven Breskens	t01150-13551	289	1038	17	0.16	0.54
Handelshaven Breskens	t01150-13551	542	615	13	0.13	0.38
Buitenhaven Vlissingen		178	1083	19	0.06	0.32
Sloehaven		404	113	18	0.02	0.36
Bouwdok tunnel		162	857	8	0.00	0.00
Bouwdok brug		107	1800	10	0.00	0.00
Werkhaven		514	889	13	0.00	0.00
Braakmanhaven	t01150-17904 (1*)	753	465	23	0.06	0.19
westbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	319	517	13	0.04	0.25
oostbuitenhaven Terneuzen	t01150-13551	95	2400	19	0.13	0.58
veerhaven Terneuzen	t01150-13551	278	800	6	0.10	0.45
voorhaven Hansweert	oude situatie	327	450	28	0.02	0.12
veerhaven Kruiningen		222	2625	11	0.14	0.24
Veerhaven Perkpolder	t01150-13551	222	2250	13	0.07	0.14
haven van Walsdoorden	t01148-1235	727	688	9	0.05	0.09

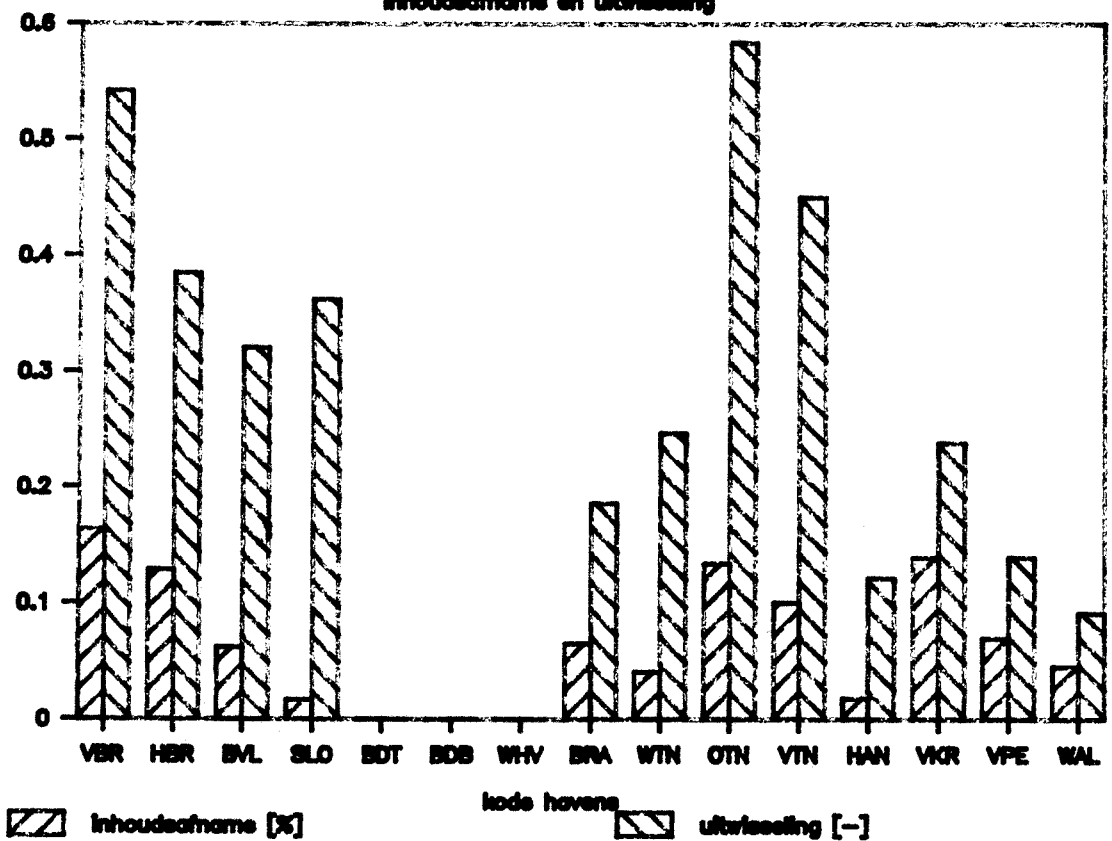
Sedimentatie Westerscheldehavens

vergelijk havenparameters

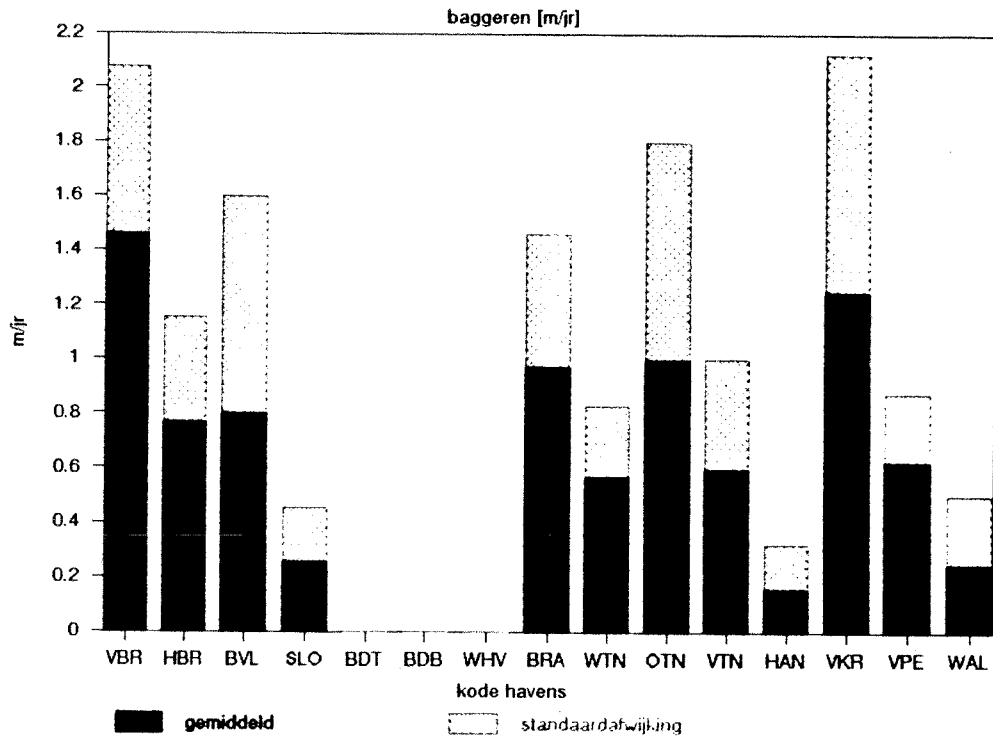


Sedimentatie Westerscheldehavens

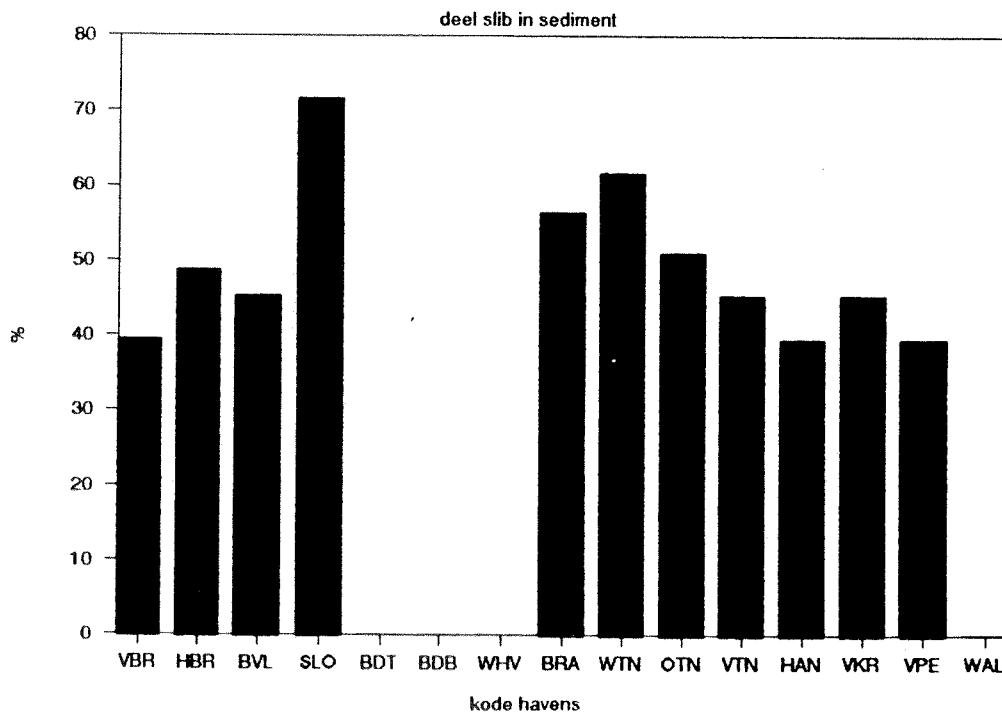
Inhoudsafname en uitwisseling



Sedimentatie Westerscheldehavens

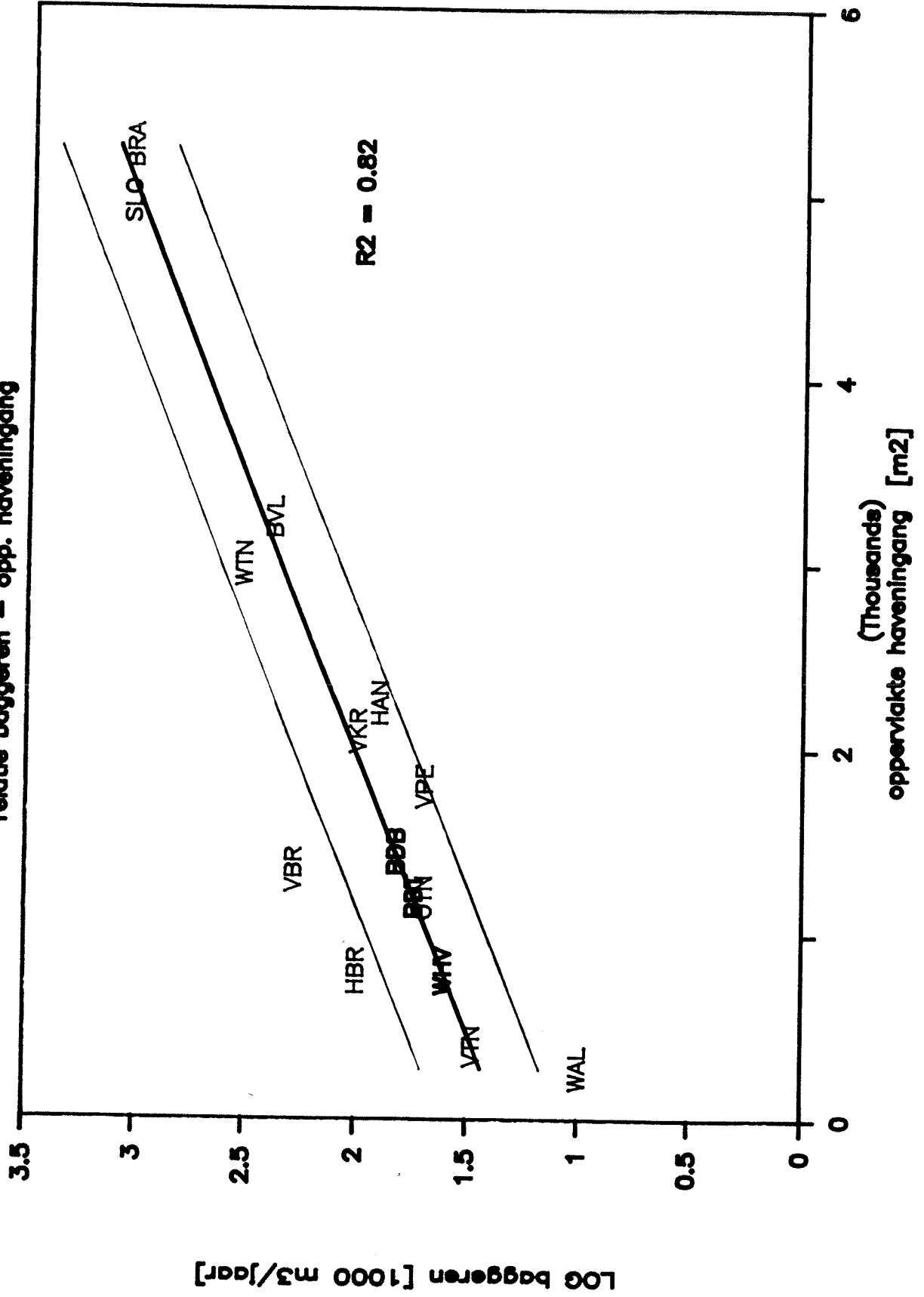


Sedimentatie Westerscheldehavens



SEDIMENTATIE WESTERSCHELDEHAVENS

relatie baggeren - opp. haveningang



Bijlage 8 Berekening aanzanding in toegangsgeul tot werkhaven

Voor de te verwachten aanzanding is eerste afschatting gemaakt met behulp met een simpele benadering [bijlage 9]. Gebruikmakend van deze benadering en onderliggende literatuur wordt de aanzandingsberekening zonder nadere uitleg uitgevoerd.

De aanzandingsberekening is gesplitst in 6 stappen:

1. Berekening van variabelen voor de transportberekening
2. Berekening van het evenwichtstransport volgens Engelund Hansen (E-H) langs de plaatrand
3. Berekening van het nieuwe evenwichtstransport in de toegangsgeul volgens E-H
4. Berekening van de potentiële aanzanding van de toegangsgeul uit stap 2 en 3
5. Berekening van de aanpassingslengte van de stroom en het sedimenttransport

Stap1 Berekening van variabelen voor de transportberekening

a. De Chezyruwheidsfactor

De Chezyruwheidsfactor (C) wordt berekend uit $1/C^2 = 1/C'^2 + 1/C''^2$, met C' als de ruwheidsfactor voor de korrels en C'' voor de beddingvorm. De ruwheidsfactor voor de korrels volgt uit: $C' = 18 \log (12R_b / 3D_{90})$, waarin:

C' is Chezyruwheidsfactor m.b.t. korrels

R_b is hydraulische straal ≈ 1 tot 8 m.

D₉₀ is korreldiameter waarbinnen 90% van het sediment valt; deze wordt geschat op 300 μ

Hieruit volgt $C' = 82 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$ ($\sigma = 9$)

De ruwheidsfactor voor de beddingvorm mag niet worden verwaarloosd, omdat in de voorliggende geul zandribbels van 0.5 tot 1.5 m. hoogte zijn gemeten. Door deze ribbels is de bodem ruwer dan alleen uit de korreldiameter is berekend. Voor zandige estuaria als de Westerschelde wordt bij de afregeling van waterbewegingsmodellen een Manning waarde van ca. 0.03 gevonden. Voor een waterdiepte van ca. 10 m. volgt hieruit een C waarde van ca. $50 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$. Dit betekent dat de zandribbels ongeveer evenveel ruwheid veroorzaken als de zandkorrels. Bij de berekeningen wordt verder uitgegaan van deze Chezywaarde.

b. De schuifspanningssnelheid voor de zandkorrels bij een stroomsnelheid (V) van 1 m/s.

De schuifspanningssnelheid u^* wordt berekend uit $(\sqrt{g} / C') * V$, waaruit volgt dat $u^* = 0.038 \text{ m/s}$ bij $C' = 82 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$.

c. De kritische schuifspanningssnelheid voor zandtransport

De kritische schuifspanningssnelheid u_c bedraagt voor sediment met een D₅₀ waarde van 200 tot 250 μ orde $\sqrt{(0.04 * s * g * D_{50})}$, waarin $s =$ specifieke density ≈ 1.65

Hieruit volgt $u_c \approx 0.01 \text{ m/s}$

d. De transportparameter

De transportparameter (T) wordt berekend uit $(u^{*2} - u_c^2) / u_c^2$.

Hieruit volgt $T = 13.4$

e. De representatieve korreldiameter

De representatieve korreldiameter (D_s) wordt berekend uit:

$$D_s = D_{50} \{1 + 0.011(p-1)(T-25)\}, \text{ waarin } p \approx 1.5 \text{ tot } 2.5$$

Hieruit volgt $D_s = 197 \mu$. ($\sigma = 30$)

f. De valsnelheid van de zandkorrels

De valsnelheid van de zandkorrels w_s is berekend met de formule van ZANKE:

$$w_s = 10 v/D_s \{ \sqrt{(1 + 0.01(s-1)g.D_s^3/v^2)} - 1 \}, \text{ waarin}$$
$$v = \text{kinematische viscositeit} = 1 \text{ tot } 2.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Hieruit volgt $w_s \approx 0.01 \text{ m/s}$.

Stap2 Berekening van het evenwichtstransport volgens E-H langs de plaatrand

De berekening van het evenwichtstransport is uitgevoerd met behulp van de formule van E-H voor het totale transport van bodemmateriaal:

$$St = (0.05 * r * V^5) / (s^2 * \sqrt{g} * D_{50} * C^3), \text{ waarin}$$

St = zandtransport [kg/sm]

r = dichtheid van het sediment = 2650 kg/m³

V = stroomsnelheid [m/s]

Na invulling van de onder stap 1 berekende variabelen in de formule van E-H wordt het evenwichtstransport $St = 0.57 * V^5$

In de volgende tabel is de op 6 maart 1991 gemeten verticaal gemiddelde stroomsnelheid t.p.v. de aan te leggen toegangseul gegeven als het percentage van voorkomen tijdens de gemeten getijperiode. Verder zijn de berekende zandtransporten bij de stroomsnelheden in deze nog ongestoorde situatie vermeld.

tijd [%]	vert. gem. stroomsnelheid [m/s]	zandtransport [kg/sm]
25	0.2	0.002
30	0.5	0.018
10	0.6	0.044
10	0.8	0.187
10	0.9	0.337
5	1.0	0.570
5	1.1	0.918
5	1.2	1.418

Uit deze berekeningen volgt dat het zandtransport in belangrijke mate wordt bepaald door de periode met maximale stroomsnelheden. Het gemiddelde zandtransport over de getijperiode bedraagt ca. 0.2 kg/sm.

Uit de resultaten van de zandtransportmeting met een AZTM op 6 maart 1991 ter plaatse van de aan te leggen toegangseul naar de werkhaven werd een gemiddeld zandtransport over de getijperiode berekend van 0.3 kg/sm. De waterdiepte op die lokatie bedroeg ongeveer 10 m. beneden N.A.P.

Uit de vergelijking van de berekening met E-H en de resultaten van de zandtransportmeting wordt geconcludeerd dat het getijgemiddeld evenwichtstransport naar verwachting ongeveer 0.25 kg/sm zal bedragen.

Het evenwichtstransport moet nu nog worden gecorrigeerd voor de werkelijke waterdiepte in het profiel van de toegangseul. Aangenomen dat $St \sim h^3$, waarin h de gemiddelde waterdiepte is. Hieruit zijn getijgemiddelde evenwichtstransporten afgeleid in vak 1 van 0.106 kg/sm en in vak 2 van 0.004 kg/sm.

Stap 3 Berekening van het nieuwe evenwichtstransport in de toegangsgedul volgens E-H

Ter plaatse van de toegangsgedul ondervindt het getijtransport (q) een plotse-ling vergroting van de waterdiepte, waardoor de stroomsnelheid vermindert. Aangenomen wordt dat deze aanpassing omgekeerd evenredig is met de verhouding tussen de waterdiepten. In de volgende tabel zijn de berekende stroomsnelheden en evenwichtstransporten volgens E-H in het midden van de toegangsgedul voor vak 1 en vak 2 gegeven, nog uitgaande van de zandtransporten bij een waterdiepte van 10 m.

tijd [%]	stroomsnelheid [m/s] in toegangsgedul		zandtransport [kg/sm] in toegangsgedul	
	vak1	vak2	vak1	vak2
25	0.1	<0.1	<0.001	<0.001
30	0.3	0.1	0.001	0.001
10	0.4	0.1	0.006	0.001
10	0.5	0.1	0.018	0.001
15	0.6	0.1	0.044	0.001
5	0.7	0.1	0.096	0.001
5	0.8	0.1	0.187	0.001

De tijgemiddelde evenwichtszandtransporten bedragen voor vak 1 ca. 0.02 kg/sm. en voor vak 2 ca. 0.001 kg/sm. Na correctie voor de werkelijke waterdiepte analoog aan stap 3 worden de evenwichtstransporten in gulvak 1 0.008 kg/sm en in gulvak 2 «0.001 kg/sm.

Uit de vergelijking van deze zandtransporten met de onder stap 2 berekende evenwichtszandtransporten in de ongestoorde situatie volgt dat bijna al het over de toegangsgedul getransporteerde zand hierdoor wordt gevangen.

Stap 4 Berekening van de potentiële aanzanding van de toegangsgedul uit stap 2 en 3

De hoeveelheid zand, die achterblijft in de toegangsgedul is berekend uit $(St - S_g) \cdot b$, waarin b = de breedte van het vak. Uit de vergelijking van de resultaten van stap 3 en stap 4 volgt dat $S_g \ll St$, zodat de aanzanding gelijk wordt gesteld aan $St \cdot b$.

Verder is aangenomen dat de wateroppervlakten van vak 1: 30000 m² en van vak 2: 20000 m² bedragen. De inhoud van de totale toegangsgedul beneden de plaat rand bedraagt voor deze vakken 150000 en 140000 m³. In totaal dus bijna 300.000 m³.

De sedimentatie in de 200 m. lange toegangsgedul bedraagt ca. 10 kg/s; d.w.z. een sedimentatie van orde 150000 m³. of een aanzanding van orde 3 m. per jaar. Deze sedimentatie geldt alleen in de situatie dat de stroom ongelimiteerd zand over de toegangsgedul kan transporteren. Hieruit kan worden gekonkludeerd dat een onbeschermde gebaggerde toegangsgedul zonder verdere voorzieningen naar verwachting binnen ca. 2 jaar verzand.

Uitgebouwde havendammen en de uitgebouwde dam aanzet zijn obstakels, die het sedimenttransport over de toegangsgedul aanzienlijk kunnen beperken. Om de gevolgen van deze obstakels voor het sedimenttransport en de aanzanding te kunnen bepalen is uitgebreid onderzoek nodig.

Verder is het mogelijk dat door de afwatering van de Middelpaat de toegangsgeul vanuit een andere richting wordt gevuld met water, waardoor minder snel verzanding optreedt dan uit de berekening volgt.

De intensiteit van het baggerwerk in de toegangsgeul is verder nog afhankelijk van de bouwfase van de WOV. Hierbij wordt gedacht aan de afzonderlijke effecten van het vastleggen van de Middelpaat, de uitbouw van de brug aanzet, de bouw van brugpijlers enz.

Stap 5 Berekening van de aanpassingslengte van de stroom en de aanpassing van het zandtransport

De aanpassingslengte van de stroom, waarbij een met zand over- of onderverzandinge stroming zich aanpast tot minder dan 5% van de evenwichtswaarde zijn afgeleid uit de verhouding tussen $w_s/u^*=0.26$ en $S_g/St=0.01$ tot 0.10 . De aanpassingslengten bedragen 600 m. voor vak 1 en 100 m. voor vak 2, waaruit kan worden afgeleid dat voor vak 2 een reductie van de aanzanding wellicht nodig is.

Om deze reductie te kunnen berekenen moet eerst worden bepaald wat de aanpassing van het evenwichtstransport (Z_y) is door de aanleg van de toegangsgeul. Dit aanpassingspercentage verloopt volgens een negatieve e macht als functie van de afgelegde weg vanaf het begin van de toegangsgeul.

Voor vak1 is dit: $Z_y = 100 (1 - e^{-0.0002y})$

Voor vak2 is dit: $Z_y = 100 (1 - e^{-0.0010y})$

Hieruit volgt dat de aanpassing van het zandtransport voorbij de geul voor vak 1 gemiddeld 5% en voor vak 2 gemiddeld 18 % bedraagt.

De reductie van de aanzanding van vak 2 bedraagt dus hooguit 20% van het zandtransport of gemiddeld 6000 m³/jaar. Deze hoeveelheid is van ondergeschikt belang gezien de spreiding in berekende verwachtingswaarde voor de aanzanding.

Bijlage 9

notitie NWL 91-42

23 mei 1991

van: J.H. van den Berg

aan: M. Meulblok, C.Storm.

onderwerp: reductie suspensief zandtransport door ontgrondingskuilen.

inleiding

Ter weerszijden van drempelconstructies en andere kunstwerken die dwars op getijdegeulen zijn aangelegd kunnen door verandering van het stroombeeld en een toename van de turbulentie ontgrondingskuilen ontstaan. Extreme voorbeelden hiervan vormen de ontgrondingskuilen ter weerszijden van de stormvloedkering in de Oosterschelde. Bovenstrooms van een dergelijke constructie vormt de daar aanwezige ontgrondingskuil een vertraginggebied waar een deel van de transportlast van de getijstroom (tijdelijk) tot afzetting komt. De aanwezigheid van ontgrondingskuilen ter weerszijden van een kunstmatige drempel of andere verstoring in de getijstroom leidt dus ter plaatse van de constructie tot een afname van het zandtransport.

In deze notitie wordt een berekeningsmethode gegeven waarmee de reductie van het suspensief zandtransport kan worden afgeschat. Vervolgens zal de methode worden gedemonstreerd aan de hand van denkbeeldige ontgrondingskuilen die ter weerszijden van een aan te leggen drempel ten behoeve van de WOV in het zuidelijk deel van de Pas van Terneuzen zijn geprojecteerd.

De toepassing van de methode beperkt zich tot omstandigheden van een fijnzandige bodem en tot het zwevend transport van zand. Wat betreft het bodemtransport, door rollen of salteren van korrels over de bodem, kan worden opgemerkt dat dit voor genoemde omstandigheden in de orde van grootte van 5-10 % van het totaal zandtransport uitmaakt en dus van weinig betekenis is. Bovendien geldt dat het bodemtransport door de zeer geringe dikte van de bodemtransportlaag zich in een vertragende of versnellende stroom onmiddellijk aanpast aan de veranderde omstandigheden. Voor de in Fig. 1 geschetste situatie betekent dit dat het bodemtransport ter plaatse van A in principe gelijk is aan het bodemtransport in punt C.

De methode kan in principe ook worden toegepast om de orde van grootte van initiële gemiddelde aanzandingssnelheden in gebaggerde cunetten af te schatten. Met nadruk zij erop gewezen dat de berekeningsmethode een verregaande vereenvoudiging van de werkelijkheid weergeeft en dat daarom de resultaten ervan uitsluitend als indicatief kunnen worden beschouwd.

berekeningsprocedure

Figuur 1 toont een doorsnede van een ontgrondingskuil. Karakteristieke hellingen in een dergelijke kuil zijn een aanzethelling van 1 : 5 en een uitloophelling van 1 : 40. De getijstroom die in het plaatje van links naar rechts loopt vertraagt over het traject A'B' en versnelt vervolgens weer over het traject B'C'. In dit versnellingsgebied kan enige erosie optreden. Deze zal echter relatief klein zijn t.o.v. de sedimentatie in het traject A'B', omdat door naijling van het aanpassingsproces van het zandtransport op de vertraging van de stroom in traject A'B' de stroom over een deel van het traject B'C' nog oververzadigd zal zijn. De aanpassing van het zandtransport over de aanzethelling van de kuil is dus van ondergeschikte betekenis en wordt daarom verder buiten beschouwing gelaten. Door Van Rijn (1) is een serie SUTRENCH berekeningen uitgevoerd over de aanpassingslengte van de stroom waarbij een met zand over- of onderverzadigde stroming zich aanpast

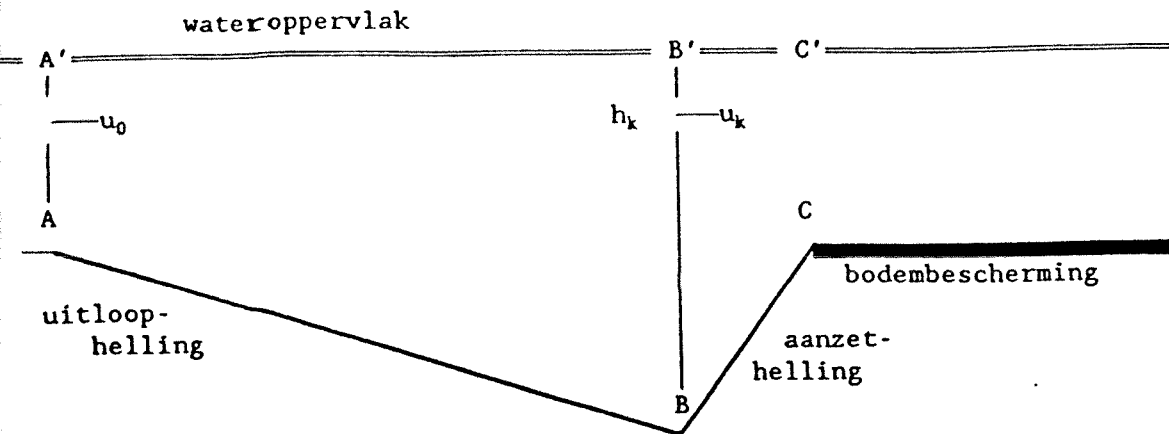
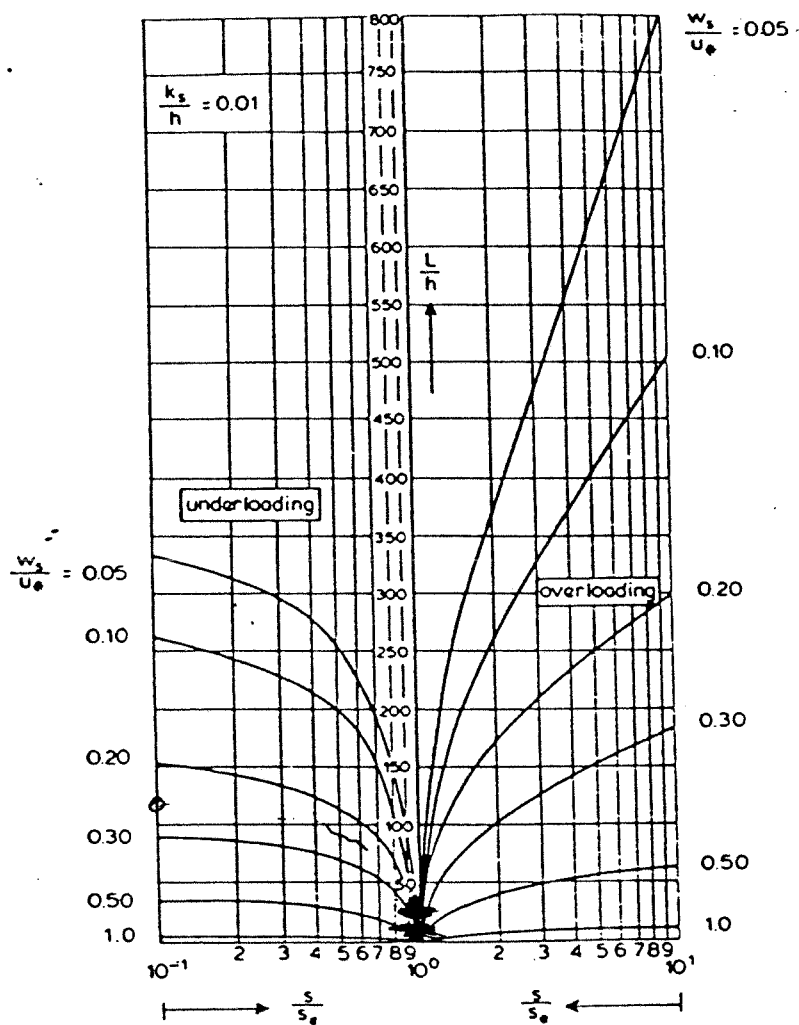


Fig. 1 . Schets ontgrondingskuil.



- $u_* = \frac{g^{0.5}}{C} \bar{u}$ = current-related bed-shear velocity (m/s)
- $C = 18 \log \frac{12h}{k_s}$ = current-related Chézy-coefficient ($m^{0.5}/s$)
- \bar{u} = depth-averaged current velocity (m/s)
- w_s = particle fall velocity (m/s)
- k_s = current-related bed-roughness height (m)
- h = water depth (m)
- s_e = equilibrium sediment transport (kg/sm)
- L = adjustment length from $\frac{s}{s_e} = \dots$ to $\frac{s}{s_e} \neq 0.95$ of 1.05

Fig. 2 . Aanpassinglengte van gesuspendeerd zandtransport.

t minder dan 5 % van de evenwichtswaarde. Uitgegaan werd van een vaste waarde van de hydraulische ruwheid ($k_s = 0.01h$, ofwel een Chézy coëfficiënt $C = 55.42$). Berekeningsresultaten zijn weergegeven in Fig. 2.

natuurlijke aanpassingsprocessen verlopen meestal via een negatieve e-macht en laten zich dan als volgt beschrijven:

$$(1 - e^{-\frac{E_0 y}{Z_0}}) - Z_y = 0 \quad (1)$$

- arin : Z_0 - evenwichtsaanpassing (= 100 %)
 Z_y - aanpassing op afstand y vanaf punt A'
 E_0 - beginwaarde aanpassingssnelheid per meter afgelegde weg
 y - afgelegde weg vanaf punt A'

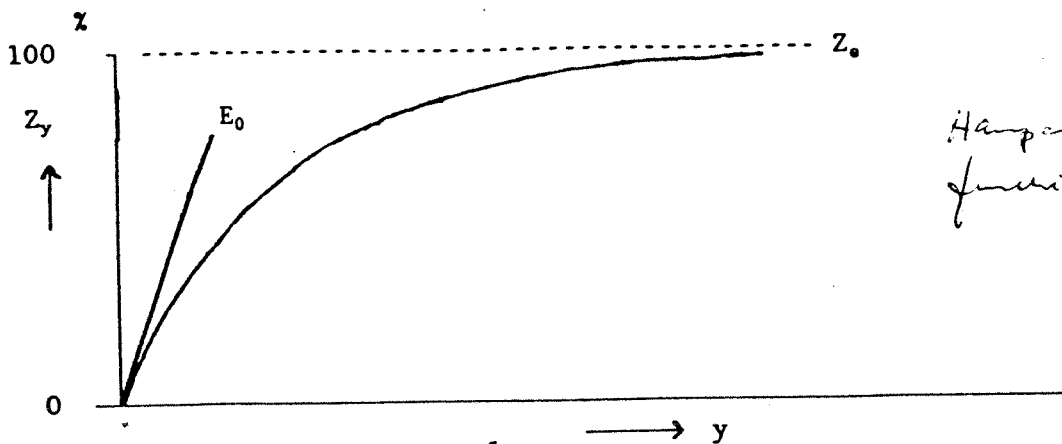
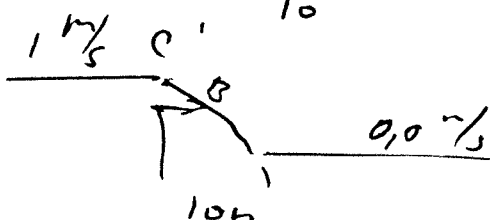


Fig. 3 definitieschets aanpassingsproces

Formule 1 geldt voor een situatie van een aanpassing aan een plotselinge wijziging in de randvoorwaarden. Bij een ontgrondingskuil wordt daaraan in eerste instantie niet voldaan. De verandering van de rand van de kuil naar het diepste punt verloopt immers geleidelijk. In de eenvoudige benadering die hier wordt gevolgd, wordt echter toch uitgegaan van een plotselinge verandering, dus, in Fig. 1, een sprongwijze overgang van de waterdiepte h_0 naar h_k . Deze aanname leidt tot een "optimistische" schatting van de effectiviteit van de ontgrondingskuil als zandvang. Dat betekent dat de met deze methode berekende transportreductie op de drempel als een schatting van het maximaal te verwachten effect kan worden beschouwd. Vanuit gegeven waarden van de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid en de korrelgrootte van het bodemmateriaal aan het begin van de kuil worden de waarden van de parameters w_s en u_* bepaald en nadat de evenwichtstransporten met een sedimenttransport formule ter plaatse van punt A (S_0) en punt B (S_k) zijn bepaald, kan de aanpassingslengte voor 95 % aanpassing worden afgelezen in Fig. 2. Nu kan voor $y = A'B'$ het percentage aanpassing van het zandtransport in de kuil (Z_k) worden berekend, waarna het percentage reductie van het transport in punt C ten opzichte van punt A (S_r) worden berekend volgens:

$$S_r = \frac{(S_0 - S_k) Z_k}{S_0} \quad E_0 \frac{0.5}{10} \quad (2)$$



voorbeeld: kuilen ter weerszijden overkapping tunnel WOV, Pas van Terneuzen

andvoorwaarden:

mediane korrelgrootte, $D_{50} = 210 \mu\text{m}$
 waterdiepte t.p.v. punt A, $h_0 = 32 \text{ m}$

kuildiepte: 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 m
 "maatgevende" stroomsnelheid: 1.0; 1.3 m/s
 hydraulische ruwheid: $k_s = 0.01h$

Met de maatgevende stroomsnelheid wordt hier de stroomsnelheid bedoeld die over een volledige eb- of vloedfase tot een zandtransport zou leiden van dezelfde grootte als door de getijstroom wordt aangevoerd. De gegeven getallen betreffen een schatting van de maximale en minimale waarde van deze parameter.

De evenwichtstransporten ter plaatse van punt A (S_0) en punt B (S_k) in Fig. 1 zijn berekend met de formule van Engelund & Hansen. De representatieve korrelgrootte van het zand in suspensie is berekend volgens een methode van Van Rijn (1, vergelijking 39). De valsnelheid (w_s) daarvan is vervolgens berekend met een formule van Zanke (zie Van Rijn (2), vergelijking 12).

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste berekeningsresultaten bijeengevoegd:

kuildiepte (m)	maatgevende stroomsnelheid (ms^{-1})	S_0/S_k	w_s (ms^{-1})	E_0 (%)	Z_k (%)	S_r (%)
1	1.0	1.17	0.025	0.364	99.2	15.2
2		1.36		0.220	95.0	26.6
3		1.57		0.190	93.0	35.9
4		1.80		0.166	90.8	42.7
6		2.36		0.121	84.1	51.0
8		3.08		0.107	82.0	57.5
10		3.89		0.0976	80.6	62.1
15		6.83		0.0816	78.5	68.7
1	1.3	1.17	0.028	0.303	98.2	14.9
2		1.36		0.195	93.0	26.2
3		1.57		0.156	88.7	34.3
4		1.80		0.128	84.2	39.6
6		2.36		0.0985	77.6	47.0
8		3.08		0.0881	75.6	53.0
10		3.89		0.0751	71.7	55.2
15		6.83		0.0607	68.1	59.6

Hierbij moet worden aangetekend dat aan de uitkomsten van S_r bij kuildiepten kleiner dan 3 m weinig waarde moet worden gehecht, omdat de afwijking van de waarde van het evenwichtstransport ter plaatse van punt B ten opzichte van het transport in punt A (S_0/S_k) dan te klein is om een nauwkeurige aflezing in Fig. 2 van de aanpassingslengte mogelijk te maken.

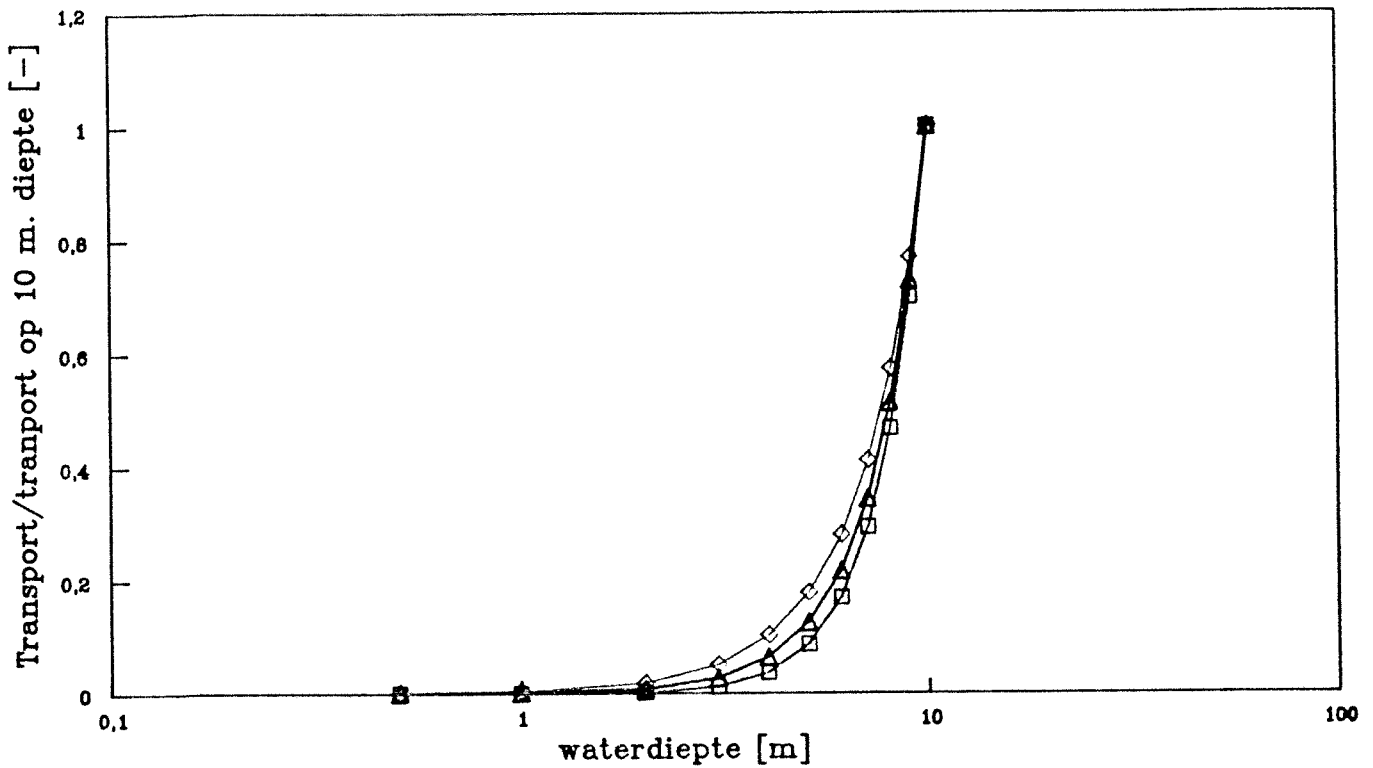
Uit de berekeningsresultaten blijkt dat het percentage reductie van het zandtransport (S_r) niet erg gevoelig is voor de keuze van de maatgevende stroomsnelheid. Van veel grotere betekenis is de aanname van de valsnelheid. In deze beschouwing is uitgegaan van een uit de korrelverdeling van het bodemmateriaal en de effectieve bodemschuifspanning betrokken op de korrel-

...heid berekende waarde. Deze methode levert een maximaal te verwachten representatieve valsnelheid op, hetgeen bijdraagt aan een hoge schatting van S_r .

Literatuur

1. Van Rijn, L.C., 1987. Mathematical modelling of morphological processes in the case of suspended sediment transport. Proefschrift, Delft.
2. Van Rijn, L.C., 1984. Sediment transport, part II: suspended load transport. Journal of hydraulic engineering, vol. 110, No.11: 1613-1641.

Onderzoek naar de correctie van het sedimenttransport volgens de E-H formule voor de waterdiepte relatie tussen waterdiepte en sedimenttransport

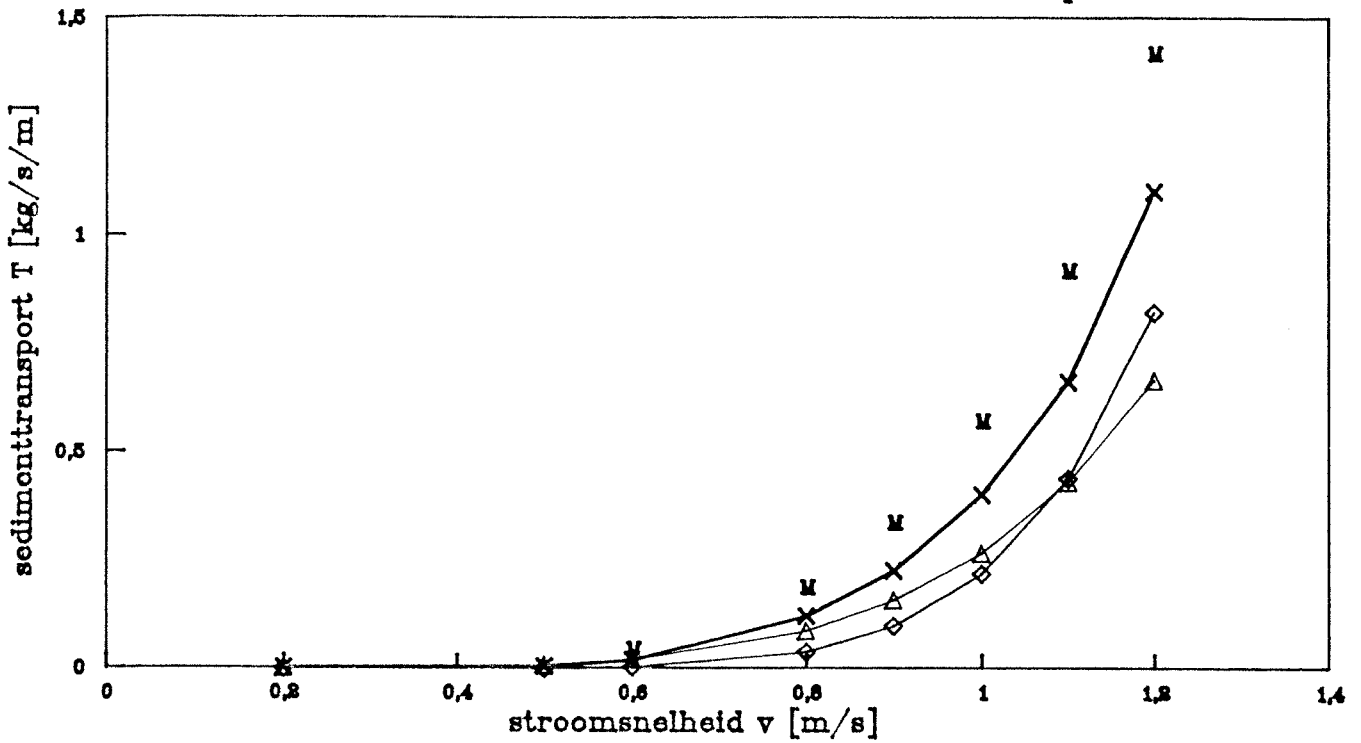


—□— Cbodem is konstant d.w.z. $St \cdot h^{-2.5} (\log h)^{-2}$ —◇— Ctotaal is konstant d.w.z. $St \cdot h^{-2.5}$

—△— Ctotaal is konstant; afronding $St \cdot h^{-3}$

RWS DGW Middelburg afdeling AOPD
 Projekt WOV hydraulica

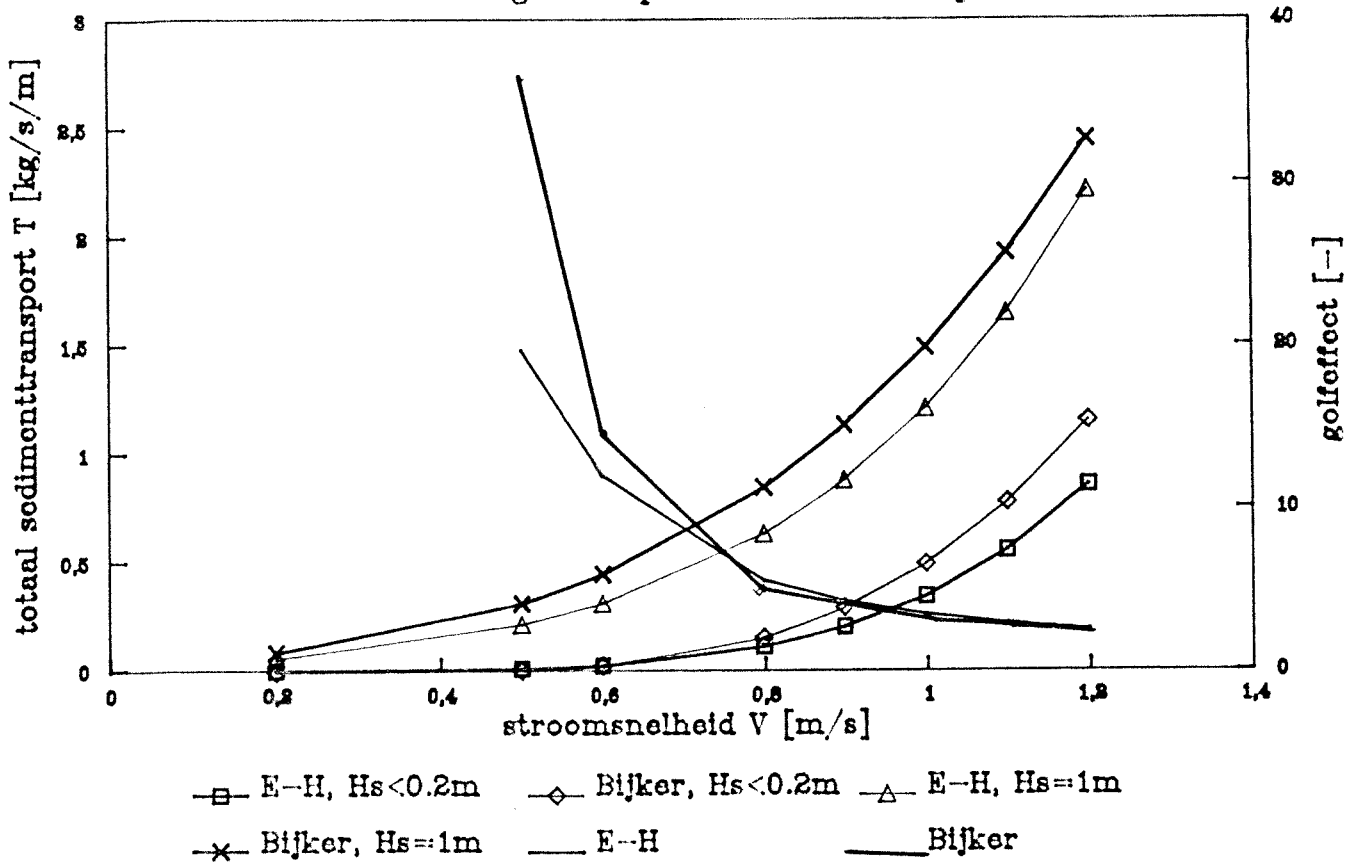
Sedimentatieberekening toegangsheul werkhaven WOV
 relatie tussen stroomsnelheid en sedimenttransport



△ meting 6-3-1991 mpt12 ◇ formule v.Rijn
 ◻ formule Engelund Hansen × formule Bijker

RWS DGF Middelburg afdeling AOFD
 project hydraulische omstandigheden WOV

Sedimentatieberekening toegangsheu werkhaven WOV
 effect van golven op het sedimenttransport



RIVM Delft Middelburg afdeling AOV
 Project hydraulische omstandigheden WOV

