

**VERWELKOMING EN INLEIDING
VOORSTELLING VAN DE SPREKERS EN INLEIDING TOT 'MOBAG
2000 - ECOLOGISCHE MONITORING VAN DE BAGGERWERKEN
IN DE VAARPASSEN VAN DE NOORDZEE EN DE VLAAMSE
KUSTHAVENS'**

Dumon G.

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

21708



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
 Departement Leefmilieu en Infrastructuur
 Administratie Waterwegen en Zeewezen
 Afdeling Waterwegen Kust



MOBAG 2000
Ecologische Impact van de baggerwerken

ir. Guido Dumon

MOBAG 2000 - Bijakte 14
 Ecologische impact van de baggerwerken in de vaarpassen in de Noordzee en de haven van Zeebrugge

MOBAG 2000 : Twee onderzoeksluiken

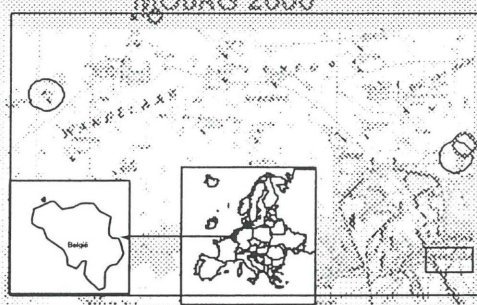
- BA 13 Ontwikkeling BaggerInformatieSysteem
- BA 14 Ecologische Impact

- * Systeemontwikkeling continue monitoring ecologische impact
- * Bestrijding ongunstige ecologische effecten
- * Hergebruik van baggerspecie

MOBAG 2000
 Ecologische impact van de baggerwerken in de vaarpassen in de Noordzee en de haven van Zeebrugge

- Drie projectjaren
- Start : herdefiniëring van inhoud opdracht drie onderzoeksluiken : Fysische, Chemische en Ecotoxicologische impact
- Fysische impact : turbiditeit
- Chemische impact : mobilisatie / remobilisatie van polluenten
- Ecotoxicologisch : bio-assays

MOBAG 2000



MOBAG 2000
 1^{ste} Projectjaar : verkennend onderzoek

- Fysische impact**
 - * Inventarisatie meettechnieken
 - * project 'Onderhoudsbaggerwerk Haven Nieuwpoort'
 - * Achtergrondmetingen turbiditeit Zeebrugge
- Chemische impact**
 - * invloed monsternametechniek
 - * karakterisatie sediment i.s., beun, overvloed,...
 - * mobiliteit polluenten baggeren snijkopzuiger

MOBAG 2000
 1^{de} Projectjaar : vervolg

- Chemische impact vervolg**
 - * Project Nieuwpoort : karakterisatie baggerspecie & mobiliteit polluenten
- Ecotoxicologie**
 - Project Nieuwpoort : bio-assays onderzoek naar acute en chronische effecten

MOBAG 2000 - Bijakte 14

2^{de} Projectjaar

Fysisch

- * Turbiditeit klassiek baggercyclus
- * Gebruik van Groene pijp
- * Gebruik Milieuklep
- * Achtergrond loswallen
- * Turbiditeit bij de losoperaties

Chemie

- * Mobiliteit polluenten vgl. klassieke cyclus, groene pijp, milieuklep
- * Compilatie sedimentanalyses diverse eetcampagnes
- * Vergelijkende studie analyse Organ. Materiaal
- * Snelle meetmethoden?



MOBAG 2000 - Bijakte 14

3^{de} Projectjaar

Fysische impact

- * Turbiditeit op de loswallen
 - stationaire en mobiele metingen
 - 2 loswallen: S1 & Zb Oost
 - Optical Backscatter & Acoustic Doppler
- * Sedimentflux I/O door de getijstroom in CDNB-ZBR
 - verticale doorsnede nabij haveningang
 - volledig getijcyclus (doodtij / springtij)
 - massaflux en stromingssnelheid
 - Acoustic Doppler & Optical Backscatter
- * Invloed Hydrometeo op sedimentatie



MOBAG 2000 - Bijakte 14

3^{de} Projectjaar

Chemie

- * Partiticoëfficiënt As en Zn ifv densiteit sediment in situ
- * Polluentdynamiek op de losplaats
 - achtergrond As en Zn i/h water
 - vrijstelling van As en Zn tijdens het lossen



MOBAG 2000 - Bijakte 14

3^{de} Projectjaar VERVOLG

Ecotoxicologisch luik

Relatie turbiditeit – ecotoxicologie “fysische effecten op organismen?”

- * Voorafgaande screening naar chemische effecten
- * Statische turbiditeitstesten op pelagische organismen



ECOTOXICOLOGISCHE EVALUATIE OP PELAGISCHE ORGANISMEN VAN DE TURBIDITEIT VEROOORZAAKT DOOR BAGGERACTIVITEITEN EN NATUURLIJKE VERSTORINGEN

Vangheluwe M.
P. Van Sprang
L. Speleers
G. Dumon
C. Janssen

21744



Ecotoxicologische evaluatie op Pelagische organismen van de turbiditeit veroorzaakt door baggeractiviteiten en natuurlijke verstoringen.

Vangheluwe M¹., P. Van Sprang¹, L. Speleers², G. Dumon³ and C. Janssen⁴.

1. EURAS, Wiedauwkaai 49, B-9000 Gent, marnix.vangheluwe@euras.be
2. ERC (Environmental Research Center), Hekkestraat 51, B-9308 Hofstade-Aalst
3. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en zeewezen, Afdeling Waterwegen kust, Vrijhavenstraat 3, 8400 Oostende
4. Universiteit Gent, Laboratorium voor Milieutoxicologie en Aquatische Ecologie, Jozef Plateaustraat 22, B-9000 Gent

Baggeractiviteiten kunnen een belangrijke invloed uitoefenen op het aquatische ecosysteem en dit zowel op de site waar gebaggerd wordt alsook op de loswal. Alhoewel baggeren noodzakelijk is voor het behoud van de vaarfuncties van rivieren, kanalen en havens moet er naar gestreefd worden de impact van deze activiteiten tot een minimum te beperken om aldus te komen tot een duurzaam baggerbeleid. De grootste bezorgdheid voor het milieu houdt verband met de aanwezigheid van contaminanten in de baggerspecie. Ten gevolge van veranderingen in de fysisch-chemische omstandigheden (vb. oxidatie) kunnen deze contaminanten opnieuw geremobiliseerd worden in de waterkolom. Maar zelfs in afwezigheid van contaminanten kunnen baggerwerken negatieve effecten uitlokken onder de vorm van een fysieke verstoring. Voorbeelden van deze fysische effecten zijn zuurstof depletie, overschrijding van de granulometrische randvoorwaarden (in het geval de korrelgrootte verschillend is van het sediment aanwezig op de loswal), verstikking van organismen die er niet inslagen terug naar de oppervlakte te migreren na depositie en verhoogde turbiditeit in de waterkolom. Verhoogde sedimentconcentraties in de waterkolom kan een negatief effect hebben op de fytoplankton populatie door beschaduwning of kan aanleiding geven tot beschadiging van de kieuwen van vissen door het schuren en/of adsorptie op het kieuwoppervlak.

Enkel een beperkt aantal studies hebben de effecten van verhoogde turbiditeitsniveaus op aquatische organismen onderzocht. Vislarven en juveniele vissen die werden blootgesteld aan gesuspendeerd neit gecontamineerd sediment vertoonden een verminderde groei, verstoorde voeding en een verhoogde mortaliteit (Auld & Schubel, 1978; Bruton, 1985; McLeay 1987; Newcomb & MacDonald, 1991). De huidige studie is vooral gericht op de evaluatie van de fysische effecten van gesuspendeerd sediment op pelagische organismen aan milieurelevante concentraties.

EXPERIMENTELE OPZET

Sedimentstalen afkomstig van het Centraal Deel Nieuwe Buitenhaven (haven van Zeebrugge) werden in april 2000 verzameld met behulp van een Van Veen grijper. Het sediment werd getransporteerd in 10 L. HDPE emmers en bewaard bij 4°C tot aanvang van de ecotoxiciteitstesten. De sedimenten werden vooraf gezeefd over 2 mm en 1 mm om grof materiaal te verwijderen. Voor de ecotoxicologische opvolging werd gebruik gemaakt van een testbatterij met testorganismen representatief voor verschillende trofische niveaus. Een overzicht van de testorganismen en testmethodes wordt gegeven in tabel 1.1. Sediment suspensie testen werden gelijktijdig uitgevoerd met de aasgarnaal *Americamysis bahia* (5 dagen oude juvenielen), de alg *Phaeodactylum tricornutum* en de zeebaars *Dicentrarchus labrax*. Elutriaatproeven werden eveneens uitgevoerd met de hierboven vermelde testorganismen. Bijkomstig werd op het elutriaat een test uitgevoerd met de mariene copepode *Tisbe battagliai*. Het elutriaat werd bereid

door ongeveer 1 L. gehomogeniseerd sediment te combineren met zeewater in een sediment/water ratio van 1:4. Na een 24h stabilisatie periode werd het supernatans gebruikt voor de testen. Elutriaatproeven werden algemeen uitgevoerd a.d.h.v. een ½ verdunningsreeks met het respectievelijk verdunningswater zoals gespecificeerd in de verschillende testprotocols. De 48h acute test met *T. battagliai* werd uitgevoerd volgens de ISO richtlijn 4669 (ISO, 1999). De 72h algen-groei inhibitie test met *P. tricornutum* werd uitgevoerd volgens de ISO richtlijn ISO/DIS 10253 (1991). De 96h vistest (met *D. labrax*) protocol is een aanpassing van de procedure zoals beschreven door Coutteau et al (1995). De 96h test met de aasgarnaal *A. bahia* werd uitgevoerd volgens het protocol beschreven door het "Environmental Protection Agency" (US EPA, 1985). Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte testmethodologieën kan teruggevonden worden in de respectievelijke referenties.

Sediment suspensie testen werden uitgevoerd met nominale sediment concentraties variërend van 0.1 tot 10 g/L. Sediment suspensies werden aangemaakt door de sedimenten te zeven tot op 150 µm en dan de benodigde hoeveelheid sediment over te brengen in de respectievelijke recipiënten.

Na een 24h stabilisatieperiode werden de testorganismen in het sediment-water systeem geïntroduceerd. In de 7 dagen turbiditeitsexperimenten met de aasgarnaal *A. bahia* werden 1 L. cylindro-conische testrecipiënten gebruikt als blootstellingskamers. In de 14d. turbiditeitsexperimenten met de zeebaars *D. Labrax* werden 7 L. containers gebruikt. De sedimenten werden voortdurend in suspensie gehouden door middel van een "airlift" systeem. Preliminare testen toonden aan dat het kleven van sedimentpartikels aan de wanden van de testrecipiënten resulteerde in een progressieve afname van de turbiditeit. Daarom werd geopteerd de testoplossingen dagelijks te vernieuwen. Vijf dagen oude juveniele aasgarnalen (*A. bahia*) waren afkomstig van eigen culturen. De juveniele zeebaarsen (40 dagen) werden aangekocht op een visfarm in Frankrijk. Alle experimenten bestonden uit 8 testconcentraties. Drie replica's per concentratie voor *A. bahia* en twee replica's voor de zeebaarsexperimenten. Elke replica werd op zijn beurt gevuld met respectievelijk 10 aasgarnalen of 5 vissen. Vernieuwing van het testmedium in de *A. bahia* testen bedroeg 0.5 volume beker⁻¹ .d⁻¹ end werd bekomen door het gebruik van een peristaltische pomp. De testoplossingen bij de zeebaars experimenten werd om de twee dagen manueel ververs. Alle testorganismen werden "ad libitum" gevoederd met aangerijkte artemia nauplii. Dagelijks werd het resterende voedsel, faecaliën en dode organismen verwijderd en de mortaliteit genoteerd. Op het einde van de blootstellingsperiode werd het aantal overlevende organismen, het drooggewicht en bij *A. bahia* eveneens de seksuele maturiteit bepaald. Tijdens het verloop van de experimenten werden eveneens waterstalen genomen en geanalyseerd voor metalen en nutriënten.

Tabel 1. Overzicht van de gebruikte ecotoxiciteitstesten in deze studie

Soort	Duur	Eindpunt
Elutriaat testen		
Test met algen: <i><u>Phaeodactylum tricornutum</u></i>	72h	Groei
Test met kreeftachtigen: <i><u>Americamysis bahia</u></i>	96h	Mortaliteit
<i><u>Tisbe battagliai</u></i>	48h	Mortaliteit
Test met vissen: <i><u>Dicentrarchus labrax</u></i>	96h	Mortaliteit
Turbiditeitsexperimenten		
Test met algen: <i><u>Phaeodactylum tricornutum</u></i>	7d	Groei
Test met kreeftachtigen: <i><u>Americamysis bahia</u></i>	7d	Mortaliteit/groei en seksuele maturiteit
Test met vissen: <i><u>Dicentrarchus labrax</u></i>	14d	Mortaliteit/groei

De turbiditeitsexperimenten met de alg *P. tricornutum* werden uitgevoerd volgens twee tesmethodes. In de eerste methode worden de algen rechteerks blootgesteld aan de sediment suspensie gedurende 7 dagen. De celdensiteit werd dagelijks gemeten met behulp van een Sedgewick Rafter telkamer. In een tweede experiment werden de algen indirect blootgesteld aan de sediment suspensie door het gebruik van een dubbelwandig recipiënt met een binnenkamer met 25 ml. algensuspensie en een buitenkamer gevuld met de sedimentsuspensie. De sedimenten werden continue in suspensie gehouden met behulp van een schudtoestel.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

Het elutriaat was niet toxisch voor alle geteste organismen. In de turbiditeitsexperimenten (blootstellingsconcentraties: 0.5-10 g/L.) met de zeebaars *D. Labrax* werd gedurende de volledige 14 d blootstellingsperiode geen significant verhoogde mortaliteit waargenomen. De overleving, groei en seksuele maturiteit werden als eindpunten genalyseerd in de 7 dagen sediment suspensie experimenten met de aasgarnaal *A. bahia*. De overleving in de verschillende blootstellingskamers waren niet statistisch ($p < 0,05$) verschillend van de controle. Er werd zelfs een positief effect waargenomen op de groei (gemeten als drooggewicht) en seksuele maturiteit bij de hogere sedimentbelastingen. Dit effect is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit dat de sedimentpartikels een bijkomende voedselbron vormt voor de aasgarnaal die eveneens een detritus-eter is.

De groei van de algen werd negatief beïnvloedt door de aanwezigheid van verhoogde sedimentconcentraties in het groeimedium. De groei-inhibitie trad op vanaf een concentratie van 0.3 g/L (27 % afname). Een duidelijke afname (69 %) in de populatiegroei van de alg *P. tricornutum* werd waargenomen vanaf 0.5 g/L.. Een volledige groei-inhibitie werd waargenomen bij concentraties hoger dan 1,5 g/L. Verschillende mechanismen kunnen aan de basis liggen van de waargenomen negatieve effecten zoals remobilisatie van contaminanten, schuurstress of beschaduwning. De chemische analyses toonden aan dat de concentraties aan metalen en nutriënten niet hoger lagen dan bij de controle. De indirecte invloed van beschaduwning werd onderzocht aan de hand van dubbelwandige recipiënten. Deze experimenten toonden aan dat de groei-inhibitie bij lagere sedimentconcentraties in de directe blootstellingsmethode voornamelijk te wijten is aan schuurstress en dat beschaduwning een belangrijke rol begint te spelen vanaf sedimentconcentraties boven 1g/L. (een lichtreductie van 50 % werd waargenomen bij een concentratie van 1g/L.).

CONCLUSIE

Een verhoogde turbiditeit is niet alleen het resultaat van baggeractiviteiten maar is ook het gevolg van stormen en natuurlijke getijwerking. Het is dan ook interessant de relatieve bijdrage van de baggeractiviteiten aan de natuurlijke achtergrondturbiditeit te kunnen kwantificeren om zo de surplus impact van baggeractiviteiten te kunnen inschatten. Op basis van de resultaten van deze studie kan besloten worden dat het onwaarschijnlijk is dat de verhoogde turbiditeit ten gevolge van baggeractiviteiten negatieve effecten zal veroorzaken op de overleving van juveniele vis en aasgarnalen. Immers deze activiteiten zijn intermitterend van karakter waarbij periodes van verhoogde turbiditeit worden waargenomen over korte tijdsintervallen terwijl in deze studie enkel een “worst-case” scenario (continue blootstelling) werd beschouwd.

Metingen van het verticaal turbiditeitsprofiel op loswallen en ter hoogte van baggeractiviteiten toonden aan dat in de bovenste waterlaag (0-2.5 m) de gesuspendeerde sedimentconcentraties in het algemeen beneden 0.5 g/L. zijn. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat de effecten op de algenpopulatie beperkt zullen blijven.

Referenties

Auld, A.H. and J.R. Schubel (1978). Effects of suspended sediment on fish eggs and larvae: a laboratory assessment. *Estuar. Coastal Mar. Sc.*, Vol. 6, pp. 153-164.

Bruton, M.N. (1985). The effect of suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, Vol. 125, pp. 221-241.

Coutteau P., G. Van Stappen and P. Sorgeloos (1995). A standard experimental diet for the study of fatty acid requirements of weaning and first on-growing stages of European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*): selection of the basal diet. *ICES mar. Sci. Symp.*, Vol. 201: 130-137.

McLeay, D.J., I.K. Birtwell, G.F. Hartman and G.L. Ennis (1987). Responses of Arctic grayling (*Thymallus arcticus*) to acute and prolonged exposure to Yukon placer mining sediment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol. 44, pp. 658-673.

Newcombe, C.P. and D.D. MacDonald (1991). Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North. Am. J. Fish. Manag.*, Vol. 11, pp. 72-82.

U.S. Environmental Protection Agency (1985). Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. EPA/600/4-85/013.

ONDERZOEK NAAR DE ECOLOGISCHE IMPACT VAN DE BAGGERWERKZAAMHEDEN AAN DE BELGISCHE KUST IN HET KADER VAN MOBAG 2000 : CHEMISCH-BIOLOGISCHE ASPECTEN

Pieters A.
Dumon G.
Speleers L

21709



**ONDERZOEK NAAR DE ECOLOGISCHE IMPACT VAN DE BAGGERWERK-
ZAAMHEDEN AAN DE BELGISCHE KUST IN HET KADER VAN MOBAG 2000 :
CHEMISCH –BIOLOGISCHE ASPECTEN.**

Pieters A.¹, Dumon G.², Speleers L.³

1. Ond. Jan De Nul. Hofstade-Aalst (B-0032/(0)53/73.15.11). E-mail : alain.pieters@jandenul.com
2. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, afdeling Waterwegen Kust. Oostende (B-0032/(0)59/55.42.48). E-mail : guido.dumon@lin.vlaanderen.be
3. ERC (Environmental Research Center). Hofstade -Aalst. (B-0032/(0)53/76.97.69). E-mail : lode.speleers@erc.be

1. INLEIDING

Zeebrugge is de belangrijkste haven aan de Belgische kust, waar jaarlijks meer dan 5,1 miljoen ton droog materiaal moet worden gebaggerd om de haven en de vaarpassen voor de scheepvaart op diepte te houden. Zoals vele kusthavens treedt er een aanzienlijke sedimentatie onder de vorm van vloeibaar slib dat bij elk hoog water langs de havenmond binnenstroomt. Alleen al in het Centraal deel van de Nieuwe Buitenhaven (CDNB) is er een dagelijkse sedimentatie gemeten van gemiddeld 12400 ton droge stof¹. De onderhoudsbaggerwerken in de haven van Zeebrugge worden nagenoeg uitsluitend uitgevoerd met sleephopperzuigers die hun lading lossen op de loswallen S2 en Zeebrugge oost respectievelijk op 8 en 4 km van de haven. Niet tegenstaande de drie belangrijkste groepen effecten op het milieu nl. fysische, chemische en biologische effecten zijn onderzocht onder bijakte 14 van MOBAG 2000, handelt dit hoofdstuk enkel over de chemische impact van de bagger- en losoperaties op het leefmilieu.

2. IN SITU SEDIMENTEN IN DE BUITENHAVEN VAN ZEEBRUGGE

De sedimenten van de buitenhaven van Zeebrugge zijn sterk gereduceerde fijne sedimenten met een densiteit tussen 1,02 tot 1,24 kg/liter. De zware metalen belasting is vrij laag en steeds beneden de Belgische grenswaarden voor het lossen op zee. De metaal concentraties in het poriewater van de sedimenten is variabel en het hoogst voor arseen en zink. De concentratie organische pollutanten is laag (1 – 1,5 mg/kg DS voor de som van 16 PAK's). De variabiliteit van de mobiliteit van arseen en zink in het in situ slib van het CDNB maakte het onderwerp uit van een studie in het derde projectjaar. Daarvoor werd een uitgebreide staalnamecampagne georganiseerd waarbij een nieuw staalnametoestel, in staat tot het bemonsteren van slib met lage densiteiten, succesvol werd uitgetest. In totaal werden 70 slibstalen genomen verdeeld over 10 lokaties in het CDNB. De mobiliteit van arseen en zink werd geëvalueerd door het analyseren van verschillende physico-chemische parameters, het beschouwen van de distributievoëfficiënt en het bepalen van de SEM/AVS verhouding die een indicatie geeft omtrent de toxiciteit van een sediment ten gevolge van zware metalen voor bentische organismen.

Locaties	type baggerwerktuig	ecologische impact			
baggerszone		fysische		chemische	biologische (ecotoxiciteit)
		mobiele	stationaire		
<u>Zeebrugge</u>					x
CDNB/Voorhaven	sleephopperzuiger met standaard				
CDNB	groene pijp	x		x	
CDNB	milieuklep	x		x	
Wielingendok	snijkopzuiger	x		x	
<u>Nieuwpoort</u>					x
	snijkopzuiger				
	normaal	x	x		
	veegkopzuiger	x	x		
losplaats		fysische		chemische	biologische (ecotoxiciteit)
		mobiele	stationaire		
<u>losplaats B&W Zb 1</u>	sleephopperzuiger	x	x	x	
<u>losplaats S1</u>	sleephopperzuiger	x	x		
<u>loswal Lombardsijde</u>	via persleiding	x		x	
<u>Zeebrugge (west van dammen)</u>	via persleiding	x		x	

Tabel 1 : overzicht bestudeerde effecten onder MOBAG 2000.

Op het bulk staal werd de zuurtegraad, de redoxpotentiaal, de densiteit, het droge stofgehalte, de korrelverdeling en de concentratie aan zink en arseen bepaald. Van het poriewater werd de pH, de redox, en het gehalte arseen en zink bepaald. Tijdens de analyse van As en Zn werd strikt een kwaliteitscontroleprogramma gevolgd bestaande uit duplometingen, matrix-spikes en analyses op CRM 320 referentie materiaal.



Foto 1 : luchtfoto van de haven van Zeebrugge.

Uit de analyses blijkt dat de meeste physico-chemische parameters weinig variëren in het losse slib van het CDNB, met uitzondering van het sediment in de toplaag van het slib. Dit houdt in dat de oxisch-anoxisch overgangslaag zeer gelimiteerd in dikte is.

De evaluatie van de distributiecoëfficiënten (K_d -waarden) toonde aan dat de hoogste mobiliteit van As en Zn wordt waargenomen aan het oppervlak van de sliblaag. Vervolgens neemt de mobiliteit van zink nagenoeg lineair af met de diepte. De mobiliteit van arseen is het laagst ($K_d = 0,8$ l/g) rond het dichtheidsniveau 1,15 g/ml. Bij hogere densiteiten neemt de mobiliteit opnieuw toe ($K_d = 0,3$ l/g).

De arseen concentratie in het poriewater kan hoog zijn, waarden hoger dan 200 $\mu\text{g/l}$ werden gemeten in het in situ slib. Gelukkig bestond het arseen nagenoeg uitsluitend uit de minst toxische vorm nl. As^{5+} dat gemiddeld meer dan 99,2 % van het arseen in het poriewater uitmaakte. De As^{3+} concentratie was uitzonderlijk hoger dan 1 $\mu\text{g/l}$ en dikwijls lager dan de detectielimiet ($= 0,1$ $\mu\text{g/l}$)⁶.

Uit berekening van de Pearson correlatiecoëfficiënten bleek de mobiliteit van arseen en zink significant gecorreleerd te zijn met de densiteit maar niet met de pH of de redoxpotentiaal van het slib of het poriewater. De correlatie tussen de arseenconcentratie in en de zuurtegraad van het poriewater is wel significant. In het algemeen is de mobiliteit van arseen veel groter in vergelijking met zink (gemiddelde K_d respectievelijk 0,6 en 18,2 l/g).

De SEM/AVS resultaten zijn zeer laag wat inhoudt dat in theorie het slib van het CDNB niet acuut toxisch is ten gevolge van zware metalen. Deze resultaten werden geconfirmeerd door ecotoxiciteitsproeven² die eind 2000 werden gefinaliseerd aan de universiteit van Gent in samenwerking met EURAS en ERC. Tijdens dit onderzoeksproject (EEPOTU¹) werden testen uitgevoerd met verschillende organismen, representatief voor de verschillende trophische niveaus, waarbij geen acute toxiciteit werd vastgesteld. De conclusies van het EEPOTU onderzoeksproject kunnen als volgt worden samengevat :

- ⇒ Onder worst case condities (continue blootstelling) werden geen negatieve effecten van de verhoogde turbiditeitsniveaus (tot 10 g/l) voor de aasgarnalen (*Americamysis Bahia*) en de vissen (*Dicentrarchus Labrax*, de zeebaars) waargenomen.
- ⇒ De populatiegroei van de algen (*Phaeodactylum Tricornutum*) werd negatief beïnvloed door de verhoogde turbiditeit. Het onderliggende mechanisme is echter schuurstress (eigen aan de proefopstelling) en in veel mindere mate beschaduwning. De concentratie aan sediment in de bovenste waterlaag zijn meestal lager dan 0,5 g/l, zodat eventuele effecten op de algenpopulatie minimaal zullen zijn.
- ⇒ Aangezien baggeractiviteiten intermitterend van karakter zijn wordt geen negatieve invloed verwacht van de veroorzaakte turbiditeit (beduidend lager dan 10 g/l) op de onderzochte pelagische organismen.

Het bepalen van de K_d waarden van micropolluenten en de kennis van de variatie in ruimte en tijd is belangrijk vermits deze waarden worden gebruikt voor het berekenen van sedimentkwaliteitscriteria ter bepaling van normering voor het lossen van baggerspecie. In tabellen 2 t.e.m. 4 wordt een overzicht gegeven van de K_d waarden van zware metalen die werden bepaald voor studies onder MOBAG 2000. Het betreft zowel K_d waarden van in situ stalen als stalen genomen in het beun van de baggerschepen. Ter vergelijking werden een aantal K_d waarden uit de literatuur opgenomen in de tabellen. Voor arseen viel het op dat zeer weinig data in de literatuur te vinden is.

¹ EEPOTU = Ecotoxicologische Evaluatie op Pelagische Organismen van de Turbiditeit veroorzaakt door baggeractiviteiten en natuurlijke verstoringen.

gemiddelde Kd waarden (l/g) in situ slib

	CDNB 25/04/00 n = 70	CDNB 20/11/97 n = 9	CDNB 11/07/96 n = 3	Wielingend. 27/01/97 n = 3	Voorhaven 30/05/96 n = 5
Cd	-	-	-	>4,5	-
Cr	-	145,0	-	>10,4	-
Cu	-	4,5	1,4	11,1	3,3
Ni	-	4,9	1,0	0,7	1,4
Pb	-	39,0	-	>4,6	-
Zn	18,2	3,6	1,2	1,5	-
Hg	-	-	-	>0,26	-
As	0,6	0,28	0,05	0,11	0,08

Tabel 2 : overzicht van de gemiddelde Kd waarden voor de zware metalen uit verschillende studies voor MOBAG 2000.

locatie staal	type staal	aantal stalen	densiteit kg/l	totaal zink mg/kg DS	Kd (liter/gram)		referentie
					gemid.	min-max	
in situ sediment							
Wielingendok Zeebrugge	in situ sediment	3	1,23	125	1,6	(1,2 - 1,8)	campagne 1997
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	3	1,23	117	1,3	(0,9 - 1,8)	campagne 1996
Voorhaven, Zeebrugge	in situ sediment	5	1,19	122	> 2,4	-	campagne 1996
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	9	1,22	144	3,6	(1,3 - 5,2)	campagne 1998
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	70	1,17	128	16,3	(2,7 - 40,7)	campagne maart 2000
losplaats BW Zb Oost	in situ sediment	5	1,58	29	> 0,3	-	campagne 1996
uitloogtesten							
Oostende/Zeebrugge		-	-	-	76,9	-	studie 1993
baggerspecie in beun							
afkomst : CDNB, Zeebrugge	recirculatie pijp	10	1,15	131	2,0	(0,8 - 3,6)	campagne 1998
afkomst : CDNB, Zeebrugge	klassieke cyclus	8	1,15	124	3,0	(1,3 - 6,0)	campagne 1998
afkomst : CDNB, Zeebrugge	baggerspecie in beun	7	1,16	122	33,0	(24,0 - 50,8)	campagne april 2000
zeewater							
Ten westen van Zeebrugge	zeewater	-	n.v.t.	124	1,9	-	campagne 1997
Kust nabij Zeebrugge (1995 - 1996)	zeewater (punten 700, 701 en 140; oppervl.)	5	n.v.t.	119	93,1	-	Baeyens et al., 1998 c ⁽³⁾
Kust nabij Zeebrugge (1981 - 1983)	zeewater (punt 14)	11	n.v.t.	99	29,8	-	Baeyens et al., 1998 c ⁽³⁾
-	zeewater	-	n.v.t.	-	4,2-12,3	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde	zoet-brak water	-	n.v.t.		57	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde (1978)	zeewater (opp., 30 ‰)	-	n.v.t.	350	53,8	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde (1981-1983)	zeewater (opp., 30 ‰)	-	n.v.t.	126	38,2	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde (1987)	zeewater (opp., 30 ‰)	-	n.v.t.	179	83,3	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde (1991-1994)	zeewater (opp., 30 ‰)	-	n.v.t.	182	22,1	-	naar Baeyens et al., 1998b ⁽³⁾
Schelde (1995)	zeewater (opp., 30 ‰)	-	n.v.t.	102	61,8	-	Baeyens et al., 1998 c ⁽³⁾

Tabel 3 : Overzichtstabel Kd waarden voor zink in zeewater en in sedimentstalen aan de hand van data uit de literatuur en studies voor MOBAG 2000.

locatie staal	type staal	aantal stalen	densiteit kg/l	totaal As mg/kg DS	Kd (liter/gram)		referentie
					gemid.	min-max	
in situ sediment							
Wielingendok Zeebrugge	in situ sediment	3	1,23	18,7	0,11	(0,11)	campagne 1997
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	3	1,23	16,3	0,05	(0,04 - 0,06)	campagne 1996
Voorhaven, Zeebrugge	in situ sediment	5	1,19	20,6	0,41	(0,21 - 0,58)	campagne 1996
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	9	1,22	20,4	0,28	(0,09 - 0,55)	campagne 1998
CDNB, Zeebrugge	in situ sediment	70	1,17	18,2	0,60	(0,14 - 1,29)	campagne 2000
Iosplaats BW Zb Oost	in situ sediment	5	1,58	5,9	0,08	(0,04 - 0,13)	campagne 1996
baggerspecie in beun							
afkomst : CDNB, Zeebrugge	recirculatie pijp	10	1,15	19,5	0,18	(0,13 - 0,23)	campagne 1998
afkomst : CDNB, Zeebrugge	klassieke cyclus	8	1,15	20,6	0,18	(0,10 - 0,23)	campagne 1998
afkomst : CDNB, Zeebrugge	baggerspecie in beun	7	1,16	16,6	0,35	(0,23 - 0,40)	campagne 2000
zeewater							
Ten westen van Zeebrugge	zeewater	-	n.v.t.	45,6	0,32	-	campagne 1997

Tabel 4 : Overzichtstabel Kd waarden voor arseen in zeewater en in sedimentstalen aan de hand van data uit de literatuur en studies voor MOBAG 2000.

De sequentiële extractie op de in-situ stalen toont aan dat de meeste metalen werden teruggevonden in de derde stap (gebonden aan organisch materiaal en sulfiden) en in de residuele fractie. Enkel Ni is enigszins mobiel en komt voor 10 % voor in de eerste stap en cadmium werd vnl. in de derde stap teruggevonden wat doet vermoeden dat cadmium vnl. als sulfide is geprecipiteerd. Kwik daarentegen komt uitsluitend voor in de residuele fractie (minst mobiele fractie). Mangaan komt voor 40 tot 45 % voor in de meest mobiele fractie.

De in situ sedimenten bevatten ongeveer 3 gram Kjeldahl stikstof/kg DS, 0,5 g NH₄-N/kg DS en 1 gram fosfor/kg DS. Uit analyses van het poriewater blijkt dat de Kjeldahl stikstof vnl. uit ammonium-N (70 tot 90 %) bestaat dit in tegenstelling tot het totaal slib (slechts 15 %). De hoogst gemeten concentratie in het poriewater bedroeg 48 mg/liter. Blijkbaar is ammonium mobieler en wordt dus gemakkelijker vrijgesteld aan het poriewater (Kd NH₄-N = 0,034 l/g; Kd organische N = 0,35 l/g).

Bij het vergelijken van verschillende studies met analyses van sedimenten aan de Belgische kust is verder gebleken dat een aantal physico-chemische parameters significant met elkaar gecorreleerd zijn³. Enerzijds blijken de densiteit, het droge stof gehalte, de fractie < 63 µm, de hoeveelheid O.C., het gehalte aan ijzer en in mindere mate het aluminiumgehalte onderling goed gecorreleerd zijn. Anderzijds vertonen verschillende (zware) metalen goede correlaties zoals Al, Fe en Ni maar ook Zn en Pb.

3. MOBILISATIE VAN MICROPOLLUENTEN TIJDENS HET BAGGERPROCES

In het Centraal deel van de Nieuwe Buitenhaven (CDNB) te Zeebrugge bestaat het te baggeren materiaal uit een tot 3 meter dikke sliblaag met een dichtheid tussen 1,02 en 1,30 kg/liter. In tegenstelling tot baggerzones met een vnl. zanderig substratum en zones binnen de haven waar geen losse sliblaag aanwezig is er nagenoeg geen bijmenging met water bij het baggeren in het CDNB.

Ten gevolge van het feit dat het in-situ slib in het CDNB en de voorhaven van Zeebrugge een kleine hoeveelheid zand bevat op de diepte waarop standaard wordt gebaggerd, treedt er in het beun van de sleepopperzuiger geen scheiding op van de verschillende granulometrische fracties. Het gemiddelde gehalte aan zand bedraagt slechts 6 %⁷ met als gevolg dat het materiaal dat overvloeit tijdens het baggeren nagenoeg dezelfde dichtheid heeft als het materiaal dat wordt opgebaggerd. De gemiddelde dichtheid van de overvloei was 1,16

kg/liter wat overeenkomt met een gehalte aan zwevende stoffen van 240 g/liter bij een droge stof gehalte gelijk aan 20,6%.

In de loop van de drie project jaren zijn verschillende studies uitgevoerd waarbij de evolutie van de physico-chemische parameters van de baggerspecie tijdens de verschillende fasen van het baggerproces werden gevolgd. In 1996 werden de verschillende fasen tijdens routine onderhoudsbaggerwerken met de 'Galilei' en de 'Cristoforo Colombo' gevolgd in het CDNB en de Voorhaven te Zeebrugge⁵. Tijdens baggerwerkzaamheden te Nieuwpoort⁴ werd de ecologische impact van de 'veegzuiger®' vergeleken met de traditionele cutterzuiger. In 1997 werden twee andere 'milieuvriendelijke' baggertechnieken geëvalueerd nl. baggeren met de 'milieuklep' en baggeren met de 'groene pijp'⁶.

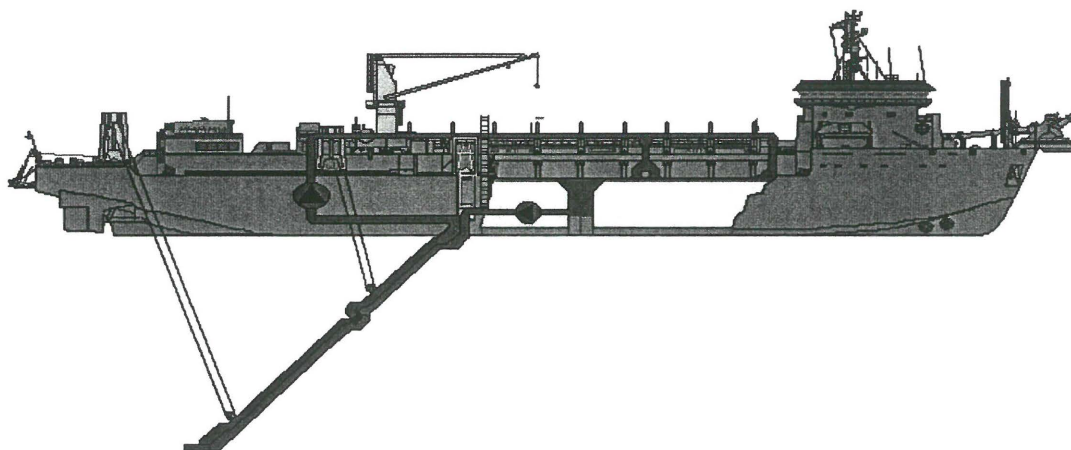
3.1 Studie met de groene pijp en de milieuklep

In deze studie werden de volgende baggertechnieken vergeleken :

1. De sleephopperzuiger uitgerust met standaard zuigbuizen en een **milieuklep** in het overvloeikanaal. Deze klep smoort de stroming van het overvloeiwat waardoor het niveau in de overvloei stijgt en de valhoogte van het overvloeiwat vermindert. De turbiditeit rond en naast het schip zal hierdoor dalen en de verspreiding van de eventueel met pollutanten beladen deeltjes wordt beperkt.
2. Baggeren met de '**groene**' (**recirculatie**) **pijp** : wanneer zand/slib mengsels worden gebaggerd dan stroomt de slibfractie met het overvloeiwat overboord. Aangezien de pollutanten zich voornamelijk concentreren in de fijne fractie zullen deze zich over een groot oppervlak verspreiden. Om dit te vermijden wordt het overvloeiwat volledig opgevangen en door middel van de stuurboord baggerpomp terug naar de sleepkop geperst en als proceswater herbruikt (figuur 1).

3.1.1. resultaten totaal analyses

Met uitzondering van de densiteit, de granulometrie, de redoxpotentiaal en de hoeveelheid carbonaten is er weinig variatie tussen de in-situ stalen en de stalen genomen tijdens de



Figuur 1 : werkingsprincipe 'groene' (recirculatiepijp) aan boord van de 'Cristoforo Colombo'

verschillende fasen van het baggeren. Dit is enigszins te verwachten daar het totaal analyses betreft en omdat er wordt verwacht dat de variaties zullen blijken uit verschuivingen tussen frakties bij de sequentiële extracties en in concentratieveranderingen in het poriewater.

De belangrijkste conclusies hier zijn :

- ⇒ Er is nagenoeg geen bijmenging met water bij het opbaggeren van het slib
- ⇒ geen zand slibscheiding in het beun, bij het baggeren in het CDNB is de term 'overvloeiwater' niet correct.
- ⇒ Er treedt geen meetbare oxidatie op ten gevolge van het gebruik van de 'groene pijp'.

3.1.2 inschatting van de mobiliteit van polluenten aan de hand van poriewater analyses

- Niet tegenstaande de redox van het sediment niet verandert tijdens het baggeren, is er wel een evolutie waargenomen van de redox van het poriewater. In tegenstelling tot het baggeren met de milieuklep, wordt de redox meer negatief tijdens het baggeren met de recirculatiepijp. De redoxpotentiaal aan het einde van de baggercyclus is het hoogst van al, hoewel die zeer negatief blijft (-150 mV).
- Ammonium-N daalt bij het baggeren in vergelijking met de in-situ sedimenten, met uitzondering van de stalen net voor het dumpen bij het baggeren met de recirculatiepijp. De zelfde evolutie werd geobserveerd voor Kjeldahl stikstof.
- Het totale fosfor gehalte is veel lager tijdens de cyclus met de milieuklep.
- As en Zn concentraties hebben een neiging te stijgen tijdens het baggeren met de recirculatiepijp (met gemiddeld 50 µg/l). Bij de milieuklep is de evolutie niet duidelijk.
- Ni, Cu, Cd en Hg vertonen geen significante variatie tijdens het baggeren behalve voor Ni waar een lichte stijging is waargenomen. De concentraties in het poriewater zijn overwegend laag (Ni, Cu) of zeer laag (Cd, Hg).
- Mn en Fe concentraties in het poriewater zijn zeer hoog (resp. 10 tot 35 en 10 tot 15 mg/l). Hoewel ijzer stijgt is er geen evolutie voor mangaan waargenomen. De aluminium concentratie is veel lager (max. 400 µg/l) en stijgt lichtjes bij de recirculatiepijp.

3.1.3. inschatting van de mobiliteit aan de hand van de distributiecoëfficiënt (Kd).

Wanneer de distributiecoëfficiënten van de in-situ sedimenten worden vergeleken met deze tijdens het baggeren (tabel 5) kunnen we besluiten dat de Kd varieert maar dat de variatie voor elk metaal anders is. Voor de waarden uit tabel 5 werden voor de in-situ stalen geen rekenkundig gemiddelde berekend, maar werd rekening gehouden met de densiteit van de baggerstalen vermits de concentraties in de in-situ stalen afhangt van de diepte (en dus de densiteit) waarop de stalen werden genomen. De zware metalen waarvan de Kd een duidelijke variatie vertonen in functie van de densiteit zijn : As, Cu, Zn, Mn en in mindere mate Pb.

3.1.4. inschatting van de mobiliteit aan de hand van sequentiële extracties

De verschuiving naar meer of minder mobiele frakties verschilt al naargelang het metaal (tabel 6). Er dient echter worden opgemerkt dat de geobserveerde verschuivingen allemaal zeer klein zijn in de orde van een paar percent.

3.1.5. conclusies

Concluderend kan gesteld worden dat de mobiliteit van metalen verhoogt ten gevolge van het baggerproces. Bij de groene pijp is die verhoging meer uitgesproken dan bij de milieuklep op het niveau van de te lossen baggerspecie in het beun. Bij het baggeren met de groene pijp komt echter (bijna) geen overvloed in de omringende waterkolom terecht zodat deze techniek globaal een minder verhoogde mobiliteit veroorzaakt dan de milieuklep. Er dient opgemerkt te worden dat de verhoogde mobiliteit ten gevolge van het baggeren in absolute cijfers uitgedrukt gering is.

Parameters	Campagne 1 Recirculatiepijp		Campagne 2 Milieuklep	
	Kd overvloed / Kd in-situ %	Kd beun / Kd in-situ %	Kd overvloed / Kd in-situ %	Kd beun / Kd in-situ %
Al	+37	-27	-51	+241
Fe	-93	-92	-60	-65
Mn	-16	-12	-28	-31
As totaal	-49	-42	-49	-31
Cr	+69	+5	-31	-13
Cu	-53,3	-21,1	-4	-12
Ni	+11	+58	-8	+12
Pb	-73	-43	-55	+69
Zn	-45	-73	-55	-72
Som	-212	-247	-341	98
Gemiddelde	-24	-27	-38	11

Tabel 5 : overzicht van de procentuele toename of afname van de Kd-waarden per baggertechniek.

parameters	Campagne 1 Recirculatie pijp	Campagne 2 Milieuklep
	Verschuiving in fraktie	Verschuiving in fraktie
Al, Fe, Ni	+	-
Mn	-	-
As totaal, Cd	-	0
Cr	-	+
Cu	0	0
Hg, Pb, Zn	0	-

Tabel 6 : evolutie naar meer mobiele frakties in functie van de baggertechniek

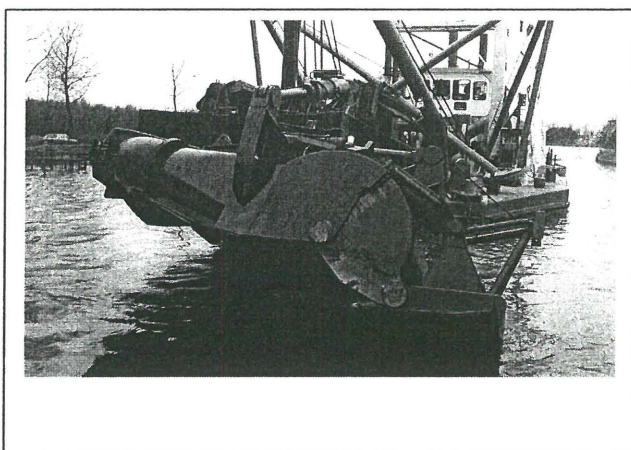
- + : verschuiving naar meer mobiele frakties
- 0 : geen verschuiving
- : verschuiving naar meer mobiele frakties

3.2 Studie met de veegzuiger® te Nieuwpoort

Voor de onderhoudsbaggerwerken te Nieuwpoort werden in het voorjaar van 1996 een traditionele cutterzuiger en een cutterzuiger uitgerust met een 'veegkop' ingezet. De ecologische impact van beide baggertechnieken werden met elkaar vergeleken zowel door het meten van de veroorzaakte turbiditeit nabij de zuiger als op de losplaats en door analyses van slib- en waterstalen. Verder werden ecotoxiciteitsproeven uitgevoerd op elutriaten en sediment contacttesten.

De fysische verstoring werd gemeten aan de hand van mobiele en stationaire turbiditeitsmetingen. Uit deze metingen bleek dat de turbiditeitspluim op de loswal zich gemiddeld tot 400 meter van het lospunt uitstrekt. Verder is er een duidelijk onderscheid tussen de beide baggertechnieken. Bij het gebruik van de veegzuiger wordt nagenoeg geen extra water aan het sediment toegevoegd, wat resulteert in een suspensiestroom boven de bodem op de loswal. Bij de snijkopzuiger daarentegen is de verdunning op de loswal veel groter zodat de achtergrond turbiditeits waarden sneller worden bereikt.

Uit de chemische analyses blijkt dat het gebaggerd sediment als niet verontreinigd kan beschouwd worden. Uit de analyses van zeewaterstalen op de loszone voor en tijdens het baggeren blijkt dat er geen verandering van de kwaliteit van het zeewater optreedt.



De ecotoxiciteitstesten konden geen acute noch chronische toxiciteit aantonen, zowel wat de testen met de elutriaten betreft als de testen waarbij de organismen in direct contact werden gesteld met het sediment. Voor de ecotoxiciteitstesten met de sedimenten afkomstig van de haven van Nieuwpoort werd geopteerd voor volgende organismen : *A. tonsa* (marine copepode), *Corophium volutator* (slijkgarnaal), de aasgarnaal *Neomysis integer* en mariene algen. Aanvankelijk werd een zwak acuut signaal waargenomen voor de testen met de aasgarnaal. Bij herhaling van deze test werden deze signalen niet bevestigd.

De oxiderende processen die kunnen optreden tijdens het opspuiten van het slib ter hoogte van Lombardsijde (gesimuleerd aan de hand van elutriaten) hebben dus geen aantoonbare acute of chronische effecten voor de geteste fylogenetische groepen.

4. MOBILISATIE VAN MICROPOLLUENTEN TIJDENS HET LOSSEN VAN BAGGERSPECIE

De pH van het slib verandert niet tijdens het baggeren en is vrij constant (8,1 – 8,2)⁶. De pH komt overeen met deze van het zeewater op de loszone⁸ waardoor geen verandering van de mobiliteit te verwachten valt ten gevolge van de pH.

Een andere mobiliteitsbepalende factor is de saliniteit. Tijdens stationaire metingen⁹ van de turbiditeit op de loswal Zeebrugge oost werd op de meetframes eveneens de temperatuur, de saliniteit, de stroomsnelheid en de stroomrichting en de hoogte van de waterkolom gemeten.

De gemeten saliniteit wordt bepaald door de eb en vloed cycli aan de Belgische kust en de variatie is van de grootte orde van enkel ‰. De saliniteit die werd gemeten op het poriewater van in situ slibstalen uit de Voorhaven en het CDNB⁵ zijn van de zelfde grootte zodat deze factor evenmin geen invloed heeft op de mobiliteit. Analyse van waterstalen tijdens het lossen van baggermateriaal heeft inderdaad, behalve de natuurlijke variatie, geen significante verandering van de saliniteit op de loszone ten gevolge van het dumpen aangetoond⁸.

De baggerspecie afkomstig uit het CDNB te Zeebrugge is sterk gereduceerd. De laagste redoxpotentiaalwaarden die daar werden gemeten zijn -263 mV tijdens de campagne in 1997⁶ en -256 mV in 2000⁷. Het lossen van de sterk gereduceerde baggerspecie (wat als een sterk zuurstoftekort zou kunnen omschreven worden) heeft een duidelijke invloed op de redoxpotentiaal van het zeewater. Tijdens meting van de redoxpotentiaal⁸ van het zeewater op de loswal is een daling van de redoxpotentiaal geconstateerd die gemiddeld 57 mV bedroeg (achtergrond = 211 mV). Niet tegenstaande deze daling is er geen enkele aanwijzing dat de zuurstofhuishouding in de waterkolom daardoor ernstig in het gedrang komt.

De daling van de redox kon niet worden gecorreleerd met de gemeten turbiditeitsconcentraties tijdens het dumpen.

De arseen concentratie tijdens het dumpen was gemiddeld 1,03 µg/liter hoger in vergelijking met de achtergrondstalen. De achtergrondconcentraties en de concentraties tijdens het dumpen bedroegen respectievelijk 1,25 en 2,27 µg/liter. In de eerste 25 minuten na het dumpen kon de vrijstelling van arseen niet worden gedetecteerd waardoor we aannemen dat de vrijstelling geleidelijk gebeurt.

De gemeten opgeloste zink concentraties variëren heel sterk binnen elke dumpcyclus en tussen de verschillende dumpcycli. De gemiddelde zinkconcentratie van de eerste vier dumpcycli varieert tussen 4,8 en 8,2 µg/liter terwijl voor de overige cycli dat gemiddelde 128 tot 359 µg/liter bedraagt. De achtergrondwaarden zijn zelfs nog hoger. Eventueel is remobilisatie van zink uit de bodemsedimenten op de losplaats ten gevolge van een storm in het midden van de staalnamecampagne een verklaring voor de gemeten verhoogde zinkconcentraties.

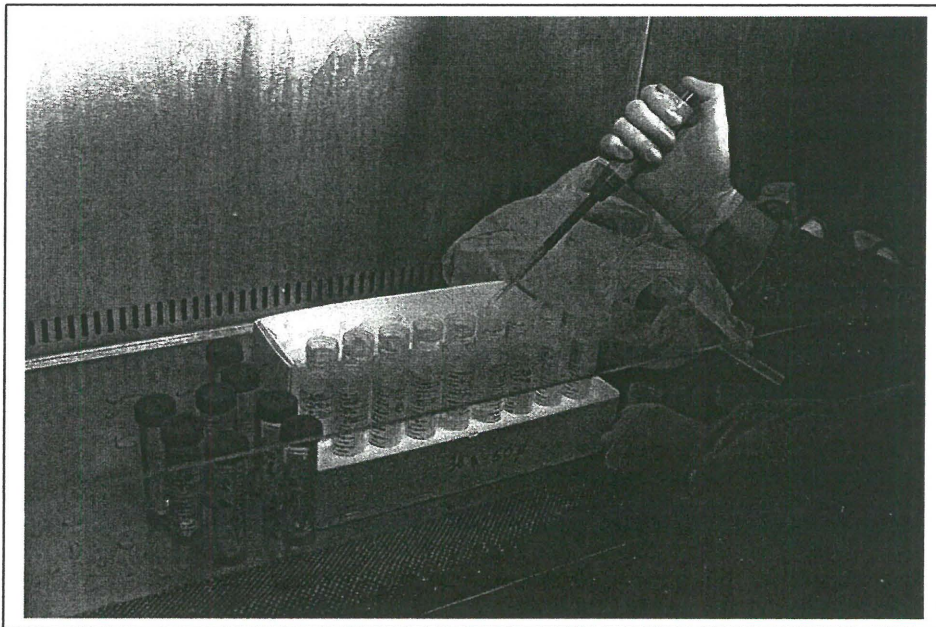
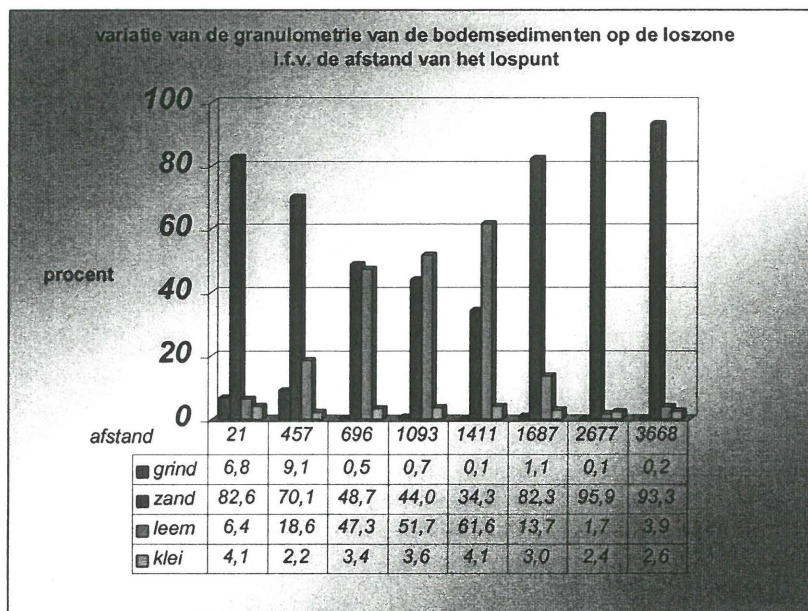


Foto 2 : aanzuren van de zeewaterfiltraten in de laminaire flowkast aan boord de peilvlet 'DN 62' tijdens de campagne in april 2000.

Bij het in zee pompen van de baggerspecie tijdens de baggerwerken met de cutterzuiger Vesalius in het Wielingendok werd deze verhoging van de opgeloste arseenconcentratie niet vast gesteld. Voor zink daarentegen zijn er aanwijzingen dat tijdens het baggeren de zwevende stof zink absorbeert uit zeewater.

Verder is uit stationaire en mobiele metingen van de turbiditeit op de loszone Zeebrugge oost gebleken dat de fysieke invloed van baggerspecie lossingen relatief kortstondig is. Niet tegenstaande het feit dat ter plaatse van de lossing de turbiditeit in de waterkolom gemiddeld het dubbel bedraagt van de achtergrond concentratie, daalt de turbiditeit heel snel naar achtergrondwaarden. Analyse van de metingen van 42 dumpen wees uit dat de turbiditeit veroorzaakt door het dumpen na 25 tot 30 minuten reeds is gedaald tot 5 % van de oorspronkelijke waarde.

Hoewel berekeningen voor de loswal Zb Oost zeer lage stortefficiënties doen vermoeden werd bij nader onderzoek⁹ toch een deel fijn slib aangetroffen ten gevolge van het storten. Het idee dat enkel de zand fractie op de loswal overblijft en de fijnere deeltjes worden uitgewassen is maar ten dele waar voor deze loswal. De fijne fractie ($< 63 \mu\text{m}$) in de bodemsedimenten op de loswal kan nl. oplopen tot 65 %⁹, zelfs meer dan 75 %¹⁰. Dit onderzoek kon eveneens aantonen dat er een gradiënt in de sortering van de sedimenten bestaat afhankelijk van de afstand van het lospunt in de overheersende stroomrichting (grafiek 1). De maximaal afstand tot waar de samenstelling van de bodemsedimenten op de stortzone door de baggerspecie lossingen wordt beïnvloed kon worden geschat op 1700 meter langs beide zijden van het lospunt⁹. De sedimenten in de beïnvloedingssfeer van de lossingen vertonen een bimodale verdeling waarvan de twee populaties een korrelgrootte hebben van respectievelijk 170 tot 210 μm en 10 tot 20 μm . De stalen afkomstig van zones verder dan 1700 meter verwijderd van het lospunt vertonen een unimodale korrelverdeling en bestaan vnl. uit fijn zand ($d_{50} = 170$ tot 210 μm).



Grafiek 1 : evolutie van de verschillende granulometrische fracties van de bodemsedimenten op de loszone B&W Zeebrugge oost (oppervlaktestenen) in functie van de afstand van het lospunt.

- ¹ Magelas, 2000. *Evaluatie methode van de sedimentbalans, relatie sedimentatie en hydro-meteo in het CDNB te Zeebrugge*. In opdracht van het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust.
- ² Vangheluwe M., 2000. *Ecotoxicologische evaluatie op pelagische organismen van de turbiditeit veroorzaakt door baggeractiviteiten en natuurlijke verstoringen*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/VHL/1999-5/MR
- ³ Pieters A. en Speleers L., 1998. *Compilatie van sedimentanalyses in relatie tot de baggerwerkzaamheden in de Belgische Kusthavens en de Vaarpassen van de Noordzee*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/AP-LS/001-98/AP-LS.
- ⁴ Van Craenenbroeck K., 1996. *Ecologische monitoring van de baggerwerken uitgevoerd in de haven van Nieuwpoort*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/KvC/009-1-96/KvC, deelrapport 1-5.
- ⁵ Speleers L., 1996. *Eindrapport onderzoek chemische impact*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/LS/009-1996/LS.
- ⁶ Speleers L. en Pieters A., 1998. *Onderzoek naar de mobiliteit van pollutanten tijdens het baggeren met de sleepopperzuiger 'Cristoforo Colombo' : vergelijking tussen de groene pijp en de milieuklep*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/MDR/98024/PHE.
- ⁷ Pieters A., 2000. *Onderzoek naar de mobiliteit van arseen en zink in het CDNB te Zeebrugge*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/AP/007-2000/AP.
- ⁸ Pieters A., 2000a. *Onderzoek naar de mobiliteit van arseen en zink tijdens het storten van baggerspecie voor de Belgische kust*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/ZB/AP/008-2000/AP.
- ⁹ Van Parys M. en Pieters A., 2001. *Turbiditeit op de loswal B&Wzeebrugge Oost, stationaire metingen*. Intern rapport TVNK. Ref.: TVNK/Z/04/2001/MVP.
- ¹⁰ Vyncke W., Cooreman K., Hillewaert H., Vanhee W., Roose P., Declerck D., Guns M en Van Hoeyweghen P., 1994. *Biologische monitoring van de lossingen van gebaggerd materiaal voor de Belgische Kust*. Proceedings studiedag : 'Invloed van baggerspecielossingen op het leefmilieu in de Zuidelijke Noordzee', maart 1994. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement leefmilieu en infrastructuur, AWZ-WWK.

Publicaties en voordrachten :

- Claeys S., Dumon G., Lanckneus J., 2001. *Mobile turbidity as a tool for determining future volumes of dredged material in access channels to estuarine ports*. Proceedings WODCON Congres at Kuala Lumpur, april 2001.
- Claeys S., Dumon G., Lanckneus J., Trouw K., 2001. *Mobile turbidity measurement as a tool for determining future volume of dredged material in acces channels oestuarine ports*. Terra et Aqua 84; pp 8-16.

-
- De Groote J., Dumon G., Vangheluwe M., and Jansen C. *Environmental monitoring of Dredging Operations in the Belgian Nearshore Zone*. Terra et Aqua 70; pp 21-25.
 - Pieters A., Dumon G., Speleers L. and Vangheluwe M., 2001. *Chemical monitoring of maintenance dredging operations at Zeebrugge (Belgium)*. Terra et Aqua. In voorbereiding.
 - Pieters A., Dumon G., 2001. *Onderzoek naar de mobiliteit van arseen en zink in het centraal deel van de nieuwe buitenhaven van Zeebrugge*. Water. In voorbereiding.
 - Speleers L., De Paepe X., Dumon G. and Pieters A., 1999. *Comparison of analytical methods for the determination of organic matter in sediments and dredged material : T.O.C., loss_on_ignition and peroxide_oxidation*. Proceedings CATS 4 Congres, Antwerpen, 1999.
 - Speleers L., Dumon G. and Pieters A., 1999. *Environmental impact of dredging activities in the ports of Zeebrugge (Belgium) : research on the impact of a hopper dredge on the mobility of contaminants in dredged material*. Proceedings CATS 4 Congres, Antwerpen, 1999.
 - Van Craenenbroeck K. en Dumon G., 1999. *Environmental monitoring of dredging and relocation operations in the coastal harbours in Belgium*. Proceedings CATS 4 Congres, Antwerpen, 1999.
 - Van Parys M., Dumon G., Pieters A., Claeys S., Lanckneus J., Van Lancker V., Vangheluwe M., Van Sprang P., Speleers L. and Janssen C., 2001. *Environmental monitoring of the dredging and relocation operations in the coastal harbours in Belgium : MOBAG 2000*. Proceedings WODCON congres at Kuala Lumpur, april 2001.

SEDIMENTMONITORING EN BEGROTING: MOBIELE EN STATIONAIRE 2 & 3 D VISUALISATIE VAN TURBIDITIETEN MET BEHULP VAN DE COMBINATIE NDP EN OBS (ZEEBRUGGE)

Claeys S.

21745



Vlaams Instituut voor de Zee / Flanders Marine Institute

Sedimentmonitoring en begroting: mobiele en stationaire 2 & 3 D visualisatie van turbiditeiten met behulp van de combinatie NDP en OBS (Zeebrugge).

S. Claeys, Medida

De hieronder besproken resultaten kaderen in een onderzoeksproject “Mobag 2000: Ecologische monitoring van de baggerwerken in de Belgische kusthavens”, van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust). Dit project is opgestart teneinde de invloed van baggerwerken op het milieu na te gaan in de Belgische kusthavens. Drie deelprojecten kunnen worden onderscheiden:

- *Stationair meten van turbiditeiten op de loswallen.*
- *Sedimentflux onder invloed van getijstroomingen aan de haveningang van Zeebrugge*
- *Mobiele metingen op de loswallen Br & W Zeebrugge Oost en S1 tijdens de losoperaties: visualisatie van de lospluimen*

Daar bij elk van bovenstaande projecten telkens gebruik gemaakt wordt van de combinatie van een akoestische Doppler profiler (NDP) en een turbiditeitsmeter (OBS) worden deze samen behandeld.

Het “Stationair meten van turbiditeiten op de loswallen”:

Teneinde de eventuele impact van baggerspeciellossingen op het milieu na te gaan, werden aan de Belgische kust nabij de Haven van Zeebrugge de turbiditeiten gemeten op de 2 loswallen Br & W S 1 en Zeebrugge Oost. Hiervoor werden aan de rand van de loswallen, telkens op vier posities, meetopstellingen uitgezet (bestaande uit twee verschillende combinaties) en dit telkens gedurende een periode van 1 maand.

De turbiditeitsdata werden, bij een eerste combinatie, rechtstreeks geleverd door de 4 OBS-sensoren die opgesteld werden op verschillende hoogtes in de waterkolom. Om de stromingsomstandigheden te kennen, werden ook de stroomrichting en stroomsnelheid gemeten op een vaste hoogte. Bij een tweede combinatie werden de opgenomen intensiteitgegevens van een NDP omgerekend en hierna gekalibreerd met de rechtstreeks opgenomen turbiditeitsdata van twee OBS-sensoren. Hierdoor kon voor iedere intensiteitsmeting bepaald op cellen van 5 dm hoogte en dit over de volledige waterkolom, de overeenkomstige turbiditeit berekend worden.

Ook werden er stroomsnelheid- en stroomrichtingprofielen opgemeten.

De gemeten achtergrondturbiditeit werd geëvalueerd ten opzichte van de getijdenwerking en de weersomstandigheden, zodat een

duidelijk beeld verkregen kon worden van het achtergrondturbiditeitspatroon.

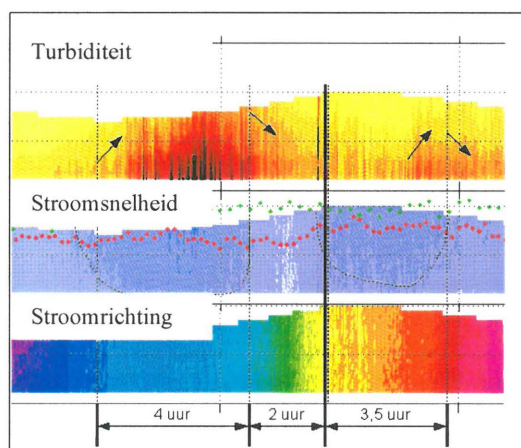


Figure 1: De invloed van de stroomsnelheid op het bodemmateriaal: in suspensie brengen door verhoogde stroomsnelheid en uitsedimentatie bij vermindering van de stroomsnelheid.

De losactiviteiten op de losplaatsen werden geregistreerd en ter beschikking gesteld van het onderzoek. Een eventuele verhoging in turbiditeit op de 4 posities op het ogenblik van de losoperaties werd nagegaan door het opzoeken van turbiditeitanomalieën op het achtergrondturbiditeitspatroon, waarbij rekening gehouden werd met de afstand tot de meetopstellingen, stroomsnelheid en -richting. Een significante turbiditeitsverhoging t.o.v. de natuurlijke achtergrondturbiditeit, veroorzaakt door losoperaties, kon dus tijdens de uitgevoerde meetcampagnes niet geregistreerd worden. De uitgevoerde campagnes hebben een uitgebreide dataset opgeleverd die zonder twijfel kan bijdragen tot een beter begrip van de interactie tussen stromingen, weersomstandigheden en achtergrondturbiditeiten. Deze relaties zullen in een latere fase verder onderzocht moeten worden.

Sedimentflux onder invloed van getijstromingen aan de haveningang van Zeebrugge:

Om een beter inzicht te verkrijgen in de verbanden die bestaan tussen de turbiditeiten en de factoren die ze induceren werden er metingen verricht over een springtij-doodtij cyclus. Deze metingen in dit deelproject werden uitgevoerd in een verticale doorsnede van de vaarpas van de Nieuwe Buitenhaven van Zeebrugge nabij de haveningang. Er werd gemeten over een volledige tijcyclus teneinde de bewegingen van het sediment onder invloed van de getijstromingen te beschrijven en te begroten.

In dit rapport wordt de meeste aandacht besteed aan de interpretatie van turbiditeit-

en stroomrichtinggegevens. Deze parameters werden gebruikt om de sedimentflux te berekenen. De turbiditeiten over de gehele waterkolom werden berekend aan de hand van de "backscatter" intensiteit van een acoustic Doppler current profiler (type NDP) gekalibreerd met de "backscatter" turbiditeitsensoren gemonteerd op een computergestuurde sleepvis.

Na elk gevaren profiel werden de gegevens (stroomsnelheid, turbiditeit en diepte) on-line gevisualiseerd. In een tweede verwerkingstap (off-line) werden de data gecorrigeerd op eventuele fouten. In een derde stap werd de tijdsas omgerekend naar een geografische as.

Om een volledig beeld van de turbiditeiten in tijd en ruimte te verkrijgen, werden enkele correcties toegepast: De hiaten (onberekende informatie tussen de opgemeten profielen) in de tijd werden door interpolatie ingeschat en opgevuld. Ook de hiaten in de ruimte (1.5 m van de bodem en 2 m van het

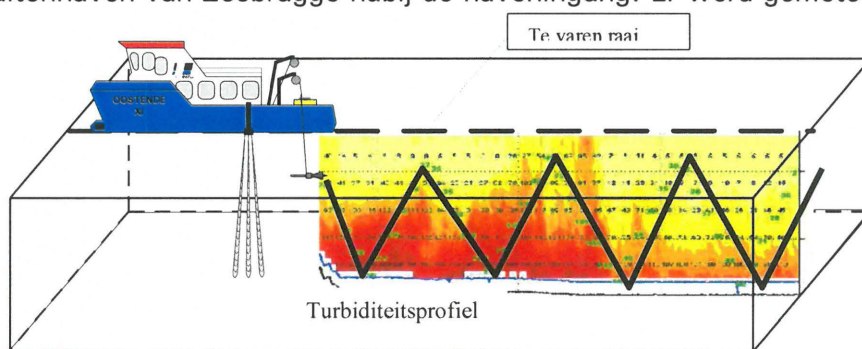


Figure 2: Meetmethode "online" mobiele turbiditeitsmeting

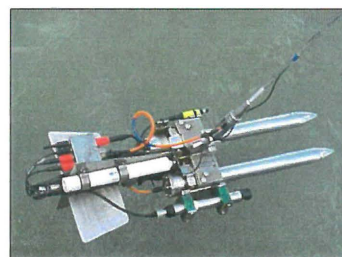


Figure 3: Foto Sleepvis (Navitracker) en OBS sensoren.

wateroppervlak) werden opgevuld door middel van extrapolatie. De uiteindelijke sedimentfluxbegroting werd berekend aan de hand van de opgenomen stromingsprofielen en gecorrigeerde turbiditeitsprofielen.

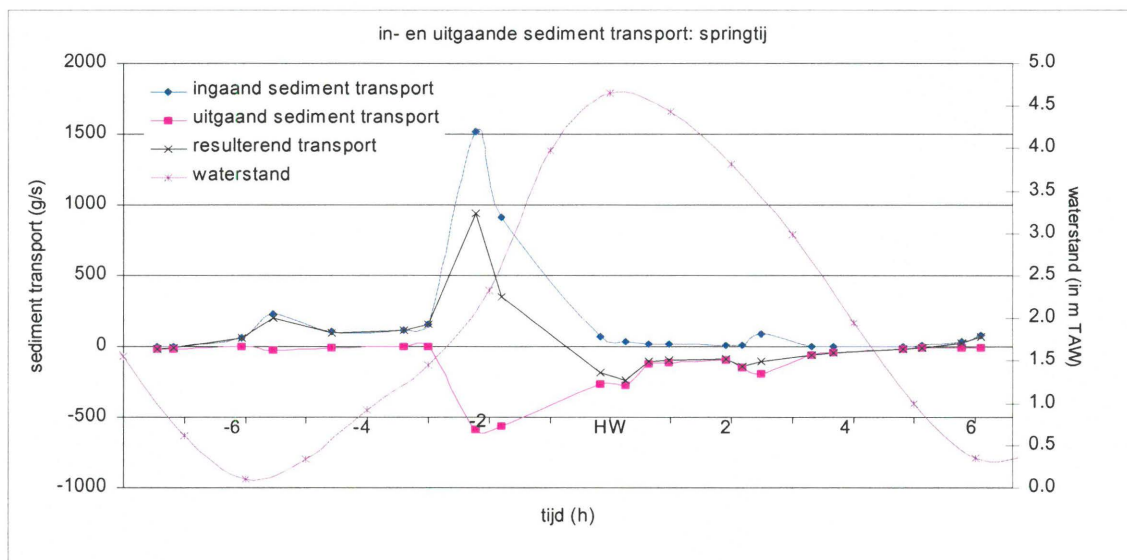


Figure 4: In- en uitgaand sedimenttransport ($\text{kg/m}^2/\text{s}$), tijdens één springtijcyclus, door het profiel van de haveningang van Zeebrugge

Het verschil in de hoeveelheid in- en uitstromend water over een volledig getijdencyclus van spring (33.3 106 m³ water)- en doottij (48.9 106 m³ water) bedraagt ongeveer 25 % en is beperkt. Toch is het verschil in sedimenttransport (springtij: 9200 ton sediment in en 6000 ton sediment uit) (doottij: 2050 ton sediment in en 1260 ton sediment uit) veel signifikanter.

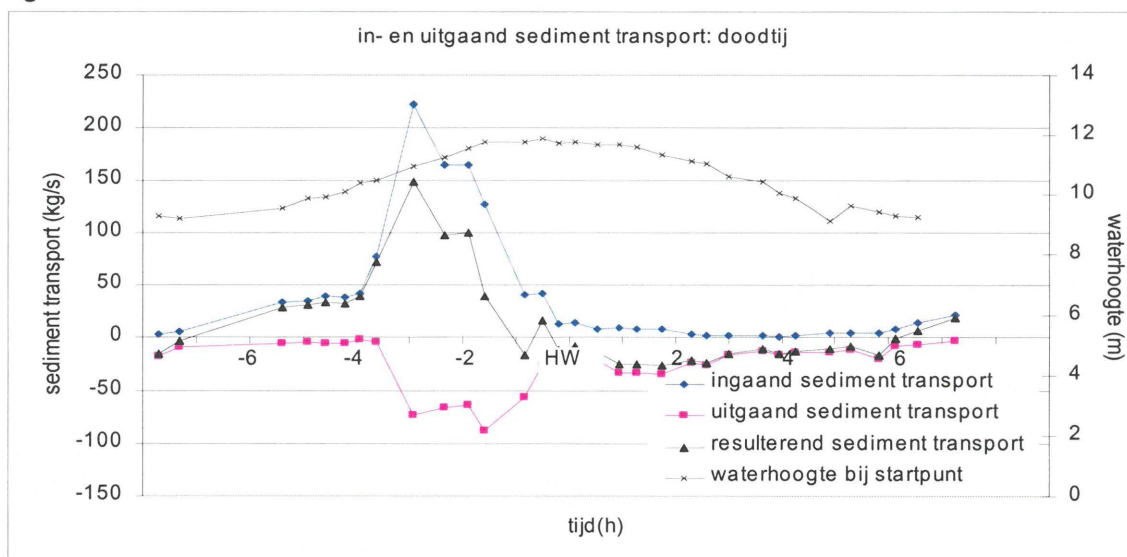


Figure 5: In- en uitgaand sedimenttransport ($\text{kg/m}^2/\text{s}$), tijdens één doottijcyclus, door het profiel van de haveningang van Zeebrugge

Tijdens springtij blijft er 3200 ton sediment achter en tijdens doortij 790 ton sediment, wat overeenkomt met een factor = 4. De hogere stroomsnelheden zijn hiervoor verantwoordelijk. Bij deze begroting van het sedimenttransport wordt geen rekening gehouden met een eventuele bodemtransport en de metingen zijn uitgevoerd bij rustige weersomstandigheden. Deze meetcampagne geeft eveneens, door de 3 D visualisatie, voor het eerst een duidelijk beeld over de complexiteit van de sedimenttransport.

Mobiele metingen op de loswallen Br & W Zeebrugge Oost en S1 tijdens de losoperaties: visualisatie van de lospluimen:

De slibwolken of lospluimen geproduceerd door speciële lossingen op losplaatsen werden in het kader van het onderzoeksproject gevisualiseerd teneinde de impact van deze baggeroperaties op het milieu na te gaan.

De slibwolken werden opgemeten met behulp van mobiele metingen aan de hand van de “backscatter” intensiteit van een acoustic Doppler current profiler (type NDP) gekalibreerd met terugverstrooiings-turbiditeitsensoren van het type OBS gemonteerd op een computergestuurde sleepvis.

Direct na het lossen van de specie werd er over de loslocatie gemeten met bovenstaande mobiele meettechniek. De turbiditeitsprofielen werden dwars op of evenwijdig met de stroomrichting opgenomen. Deze methode heeft heel wat beperkingen doordat de slibwolk tegelijkertijd

sedimenteert en zich verplaatst onder invloed van de stroming. Door middel van een online visualisatie is het mogelijk om de grenzen van de wolk onder het wateroppervlak te volgen. Na elk gevaren profiel werden de gegevens van stroomsnelheid, turbiditeit en diepte

gevisualiseerd aan boord van het meetvlet. Een algemene terugkerende vorm en gedrag van de wolken kan onderscheiden worden. De belading van de wolk is afhankelijk van de lostechniek en de geloste hoeveelheid specie.

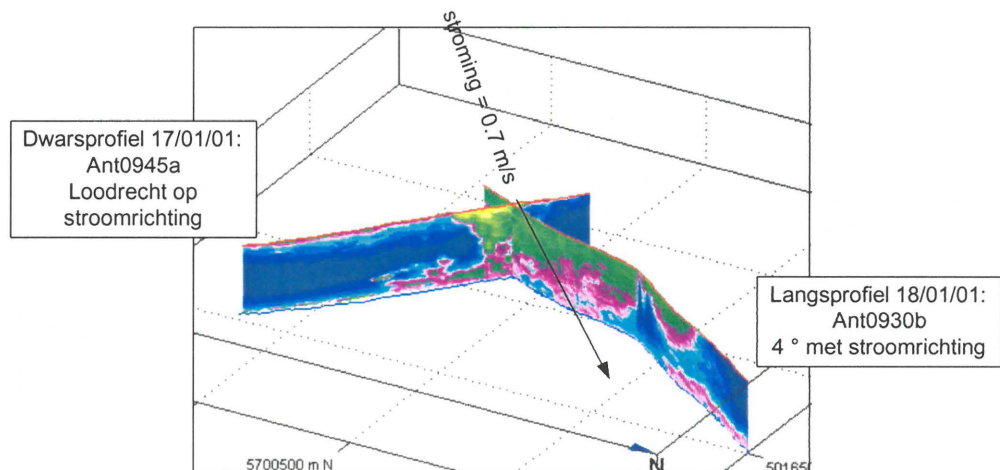


Figure 6: Een sedimentpluim loodrecht en dwars op de stroomrichting opgemeten op twee opeenvolgende dagen. Op dezelfde plaats, tijd t.o.v. het getij, tijd na lossing en zelfde weersomstandigheden. Een duidelijk 3D beeld van de wolk wordt hierdoor gevisualiseerd (eerste profiel +/- 1 minuut na lossing).

DE SLIBAFZETTINGEN EN HET TURBIDITEITSMAXIMUM IN DE BELGISCHE KUSTZONE: INZICHTEN VIA MODELLERING EN METING

Fettweis M.
D. Van den Eynde

21746



DE SLIBAFZETTINGEN EN HET TURBIDITEITSMAXIMUM IN DE BELGISCHE KUSTZONE: INZICHTEN VIA MODELLERING EN METING

Michael Fettweis & Dries Van den Eynde

Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM)

Gulledelle 100, 1200 Brussel; E-mail: m.fettweis@mumm.ac.be, tel: 02/773.21.32

In de voordracht zullen enkele onderwerpen uit het SEBAB-project toegelicht worden, dit project wordt in opdracht van de Afdeling Waterwegen Kust van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap uitgevoerd. De doelstellingen van het project zijn om het sedimenttransport op het BCP te bespreken, om de mogelijke brongebieden van het slib in suspensie en op de bodem te onderscheiden en om een slibbalans op te stellen. Om dit te bereiken wordt gebruik gemaakt van metingen, literatuurbedata en resultaten van numerieke modellen. Gebruik makend van deze data kan dan de verhouding tussen de hoeveelheid materiaal die jaarlijks gebaggerd en gestort wordt en de hoeveelheid materiaal die jaarlijks op natuurlijke wijze het BCP binnenkomt en langs de Belgische kustzone stroomt bepaald worden. Een nauwkeurige kennis van deze verhouding samen met de hydrodynamica en de sedimentologie van het gebied, laat toe om de efficiëntie van de huidige stortplaatsen te schatten. Wanneer deze verhouding groot is, kan dit betekenen dat het baggeren van de vaargeulen en havens een belangrijk proces is in de Belgische kustwateren en dat door de keuze van goede stortplaatsen het rendement van de baggerwerkzaamheden verhoogd kan worden. Is deze verhouding evenwel klein dan is het dumpen van de baggerspecie een onbelangrijk proces ten opzicht van de natuurlijke opvulling van de baggerplaatsen met materiaal dat via de Franse grens het BCP binnenkomt. Dit zou dan betekenen dat de keuze van de ligging van de stortplaatsen van ondergeschikt belang is (wat betreft het rendement van de baggerwerken).

1. Brongebieden van slib

McManus & Prandle (1997) hebben aangetoond dat enkel de Straat van Dover, de noordelijke rand (56° N), The Wash en de Suffolk-kust statistisch significante SPM bronnen zijn in de Zuidelijke Noordzee. Data wijzen op een op lange termijn netto residuele stroming naar de Zuidelijke Noordzee vanuit het Engels Kanaal. In de wetenschappelijke literatuur worden waarden vermeld tussen 2.5×10^6 - 57.8×10^6 t/yr voor het residueel SPM transport door de Straat van Dover. Deze variaties kunnen zowel toegeschreven worden aan de gebruikte meettechnieken als aan natuurlijk optredende fluctuaties.

De distributie van het suspensiemateriaal wordt beïnvloed door een reeks met elkaar verweven processen, zoals temperatuur en biologische activiteit, resuspensie en depositie, hydrodynamica en turbulentie, mineralogische samenstelling, chemische eigenschappen, aggregaatvorming en flocculatie. Het relatieve belang van elk van deze processen is moeilijk te kwantificeren, deels wegens gebrek aan observaties en deels wegens de complexe aard van de processen en de koppeling tussen elkaar.

Het voorkomen van slibvelden geassocieerd met turbiditeitsmaxima in een gebied met hoge hydrodynamische energie is reeds het onderwerp geweest van diverse studies. De in deze studies gegeven verklaringen steunen allen op een zogenoemde 'hydrodynamische val', waarin het uit de Franse kustzone komende suspensiemateriaal gevangen wordt. Deze val is een neer of een divergerende of convergerende residuele

stroming- of transportpatroon (Bastin, 1974; Nihoul, 1975, Gullentops et al. 1976; Malherbe, 1991). Steunend op de modelresultaten die hier voorgesteld worden, verklaren we het voorkomen van een turbiditeitsmaximum door de toevoer van het suspensiemateriaal via de Straat van Dover, het ondiepe karakter van het gebied, de specifieke hydrodynamische eigenschappen en de afname in grootte van de residuele transportvector vanaf de Frans/Belgische grens naar Zeebrugge.

Door de overvloed aan fijnkorrelige sedimenten ter hoogte van de Belgische kust moeten grote onderhoudsbaggerwerken (gemiddeld 10^7 TDS per jaar) uitgevoerd worden om vaargeulen en havens (vooral Zeebrugge en Oostende) toegankelijk te houden voor de scheepvaart. Het frequent storten (om de 2-4 h) van de gebaggerde specie (vooral slib en silt) heeft geen oorzakelijk verband met het voorkomen van het turbiditeitsmaximum. Het heeft wel een invloed op de uitgestrektheid ervan en op de slibafzettingen ter hoogte van B/1 en B/2, omdat de baggergebieden en de stortplaatsen verwijderd zijn van elkaar.

2. De numerieke modellen

De numeriek modellen die gebruikt worden zijn, een 2D hydrodynamisch model en een 2D sedimenttransportmodel. Hieronder volgt een korte toelichting:

Het 2D hydrodynamische model MU-BCZ berekent de dieptegeïntegreerde stroomsnelheid en waterstanden op een rooster onder de invloed van getijden en meteorologische effecten. Het model lost de klassieke ondiepwatervergelijkingen op, m.b.v. een expliciete eindige differentiemethode op een Arakawa-C rooster. De bodemspanning wordt berekend met een kwadratische wet. Het model is toegepast op de Belgische kustzone en de Vlaamse Banken. Het rooster heeft een resolutie van $25'' \times 40''$, d.i. ongeveer $750 \text{ m} \times 750 \text{ m}$. Aan de open randvoorwaarden is het model gekoppeld met het hydrodynamische MU-STORM model, dat de Noordzee en het Kanaal omvat. Vier halfdagelijkse getijcomponenten (M_2 , S_2 , N_2 , K_2) en vier dagelijkse componenten (O_1 , K_1 , P_1 , Q_1) drijven dit Continentaal Plat model aan. Aan de uitstroming van de Schelde is het model gekoppeld met een ééndimensionaal model voor het Schelde-estuarium.

Het 2D sedimenttransportmodel MU-STM is een semi-Lagrangiaans model, dat gebaseerd is op de Second-Moment methode (de Kok, 1994). Het model kan rekening houden met verschillende sedimentklassen en berekent dan voor elk van deze klassen de advectie en de diffusie van het materiaal in suspensie onder de invloed van de getijdenstromingen en van de stromingen, voortgebracht door golven (Stokesdrift). In de hier voorgestelde toepassingen is enkel met slibfractie ($<63 \mu\text{m}$) rekening gehouden. De bodemspanning wordt berekend onder het gecombineerde effect van stromingen en golven volgens een aangepaste versie van Bijker's formule (Van den Eynde & Ozer, 1993). De erosie en de depositie worden gemodelleerd volgens Ariathurai-Partheniades (Ariathurai, 1974) en Krone (1962). De hoeveelheid geërodeerd materiaal is dus een functie van de erosieconstante M en van de kritische erosieschuifspanning τ_{ce} , terwijl de afzetting afhangt van de valsnelheid w_s en de kritische schuifspanning voor depositie τ_{cd} .

3. Efficiëntie van stortplaatsen

Door de data te gebruiken kan de verhouding tussen de hoeveelheid materiaal die jaarlijks gebaggerd en gestort wordt en de hoeveelheid materiaal die jaarlijks op natuurlijke wijze het BCP binnenkomt en langs de Belgische kustzone stroomt bepaald worden.

Gebruikmakend van de bagger- en literatuurbedata worden waarden tussen 0.38-0.45 berekend. Indien we enkel de modelresultaten nemen (zonder de havens) dan is de verhouding kleiner (0.004-0.19). Uit deze resultaten volgt dan dat de keuze van de stortplaats relatief onbelangrijk is. Ondanks de hoge waarde verkregen met de literatuurbedata, voeren we hieronder toch aan dat het storten van baggerspecie van ondergeschikt belang is t.o.v. de natuurlijke opvulling van de baggerplaatsen met materiaal dat het BCP binnenkomt of op het BCP wordt geërodeerd, en dit om volgende redenen:

- Het storten van baggerspecie beïnvloedt enkel lokaal de slibconcentratie.
- Recirculatie van het gestorte materiaal naar de baggerplaatsen is belangrijker bij stortplaatsen B/6 (B&W ZeebrO) en B/9 (B&W Oostende) dan bij B/1 (B&W S1) en B/2 (B&W S2) (Van den Eynde, 1999).
- De SPM-concentratie en het SPM-transport zijn reeds van natuur uit hoog in de kustzone. De aanslibbing van de havens en de vaargeulen zal daarom enkel weinig worden beïnvloedt bij een verandering van de locatie van de stortplaatsen B/6 en B/9. De invloed van het storten van baggerspecie op de natuurlijke turbiditeit in heel het gebied is klein.
- De efficiëntie van de stortplaatsen (B/6 en B/9, maar ook B/1) is waarschijnlijk laag. Omdat er zich echter een turbiditeitsmaximum ter hoogte van de kust situeert, zullen de te baggeren hoeveelheden enkel weinig veranderen bij een verandering van de positie van de stortplaatsen. De positie is dus van ondergeschikt belang bij het beschouwen van de efficiëntie van de baggerwerken.

Om af te sluiten is het belangrijk om te wijzen op het feit dat de hier geformuleerde conclusies voorlopig zijn. Zo is de huidige stand van kennis betreffende de slibinvoer, de sliberosie, de sedimentsamenstelling (korrelgrootte, erosiegevoeligheid, etc.) beperkt. De modellering van de slibprocessen is daarom ook gebaseerd op vereenvoudigde processen. Dit alles maakt dat nieuwe metingen (suspensiemateriaal, bodemsamenstelling) en meer verfijnde modellen (3D, fijner rooster) nodig zijn om de betrouwbaarheid van de resultaten en conclusies te vergroten.

4. Referenties

- Ariathurai, C.R., 1974. A finite element model for sediment transport in estuaries. Ph.D. Thesis, University of California, Davis.
- Bastin, A., 1974. Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en van het Schelde estuarium. Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, Unpublished.
- de Kok, J.M., 1994. Numerical modelling of transport processes in coastal waters. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands, Unpublished.
- Gullentops, F., Moens, M., Ringelé, A., Sengier, R., 1976. Geologische kenmerken van de suspensie en de sedimenten. In: Nihoul, J.C.J., Gullentops, F. (Eds.), *Project Zee - Projet Mer*, Volume 4: Sedimentologie. Science Policy Office, Brussels, Belgium, 1-137.
- Krone, R.B., 1962. Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling processes, Hydraulic and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, USA.
- Malherbe, B., 1991. A case study of dumping of dredged material in open areas. *Terra et Aqua*, 45, 5-32.

- McManus, J.P., Prandle, D., 1997. Development of a model to reproduce observed suspended sediment distributions in the southern North Sea using Principal Component Analysis and Multiple Linear Regression. *Continental Shelf Research*, 17, 761-778.
- Nihoul, J.C.J., 1975. Effect of tidal stress on residual circulation and mud deposition in the Southern Bight of the North Sea. *Review of Pure and Applied Geophysics*, 113, 577-591.
- Van den Eynde, D., Ozer, J., 1993. Sediment Trend Analyse: Berekening van het sedimenttransport met behulp van een mathematisch model. BMM/STA/TR01, MUMM, Brussels, Belgium.
- Van den Eynde, D., 1999. Toepassing van het sedimenttransportmodel mu-STM voor het beheer van baggerspeciéstortingen. VESTRAM/1/DVDE/199912/NL/TR/2, MUMM, Brussels.

Het SEBAB-project werd samengevat in:

Fettweis, M. & D. Van den Eynde. 2001. Bepaling van de Sedimentbalans voor de Belgische Kustwateren. Eindrapport. BMM-rapport SEBAB/1/MF/200103/NL/ER/1, 33 pp.

Een copie van het rapport kan verkregen worden bij ir. D. De Brauwer, afdeling Waterwegen Kust, Vrijhavenstraat 3, 8400 Oostende.

SEDIMENTTRANSPORT ONDER INVLOED VAN GETIJSTROMING AAN DE HAND VAN STATIONAIRE METINGEN OP DE LOSWALLEN B&W ZEEBRUGGE OOST EN S1

Van Parys M.

21748



Vlaams Instituut voor de Zee / Flanders Marine Institute

SEDIMENTTRANSPORT ONDER INVLOED VAN GETIJSTROMING AAN DE HAND VAN STATIONAIRE METINGEN OP DE LOSWALLEN B&W ZEEBRUGGE OOST EN S1

Inleiding

Tijdens de periode van 1997 tot 2000 werd per jaar gemiddeld 9.4 miljoen ton droog sediment gebaggerd om de Belgische kusthavens en de toegangsgeulen te onderhouden. Het verdiepingsprogramma voor de Westerschelde bracht bijkomend 8.7 miljoen ton sediment met zich mee, gespreid over de periode 1998 tot 2000. Dit gebaggerd materiaal werd gedeeltelijk naar gereserveerde loswallen op zee gebracht en gedeeltelijk hergebruikt ter bescherming van de kustlijn bij wijze van zogenaamde 'voedingsbermen'. Grootschalige baggeroperaties zoals deze hebben een invloed op de omgeving. In september 1995 gunde het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, in het kader van MOBAG 2000 de bijakte 14 aan de Tijdelijke Vereniging Noordzee en Kust. Deze bijakte omvatte de opdracht om een uitgebreide wetenschappelijke studie uit te voeren waarbij de invloed van baggeractiviteiten op de omgeving onderzocht werd. De doelstelling was de 'Best-Environmental Practice philosophy', vermeld in het Verdrag van Oslo na te streven.

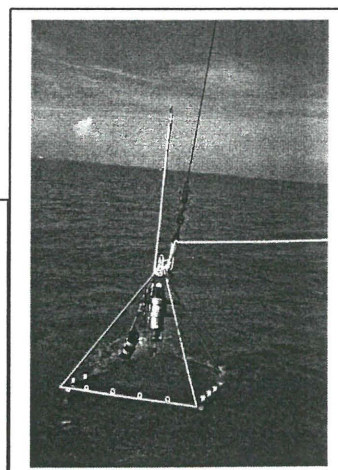
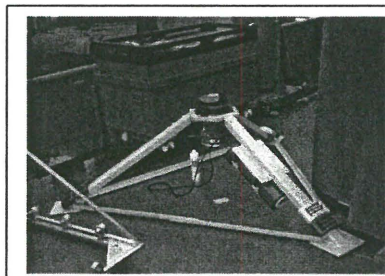
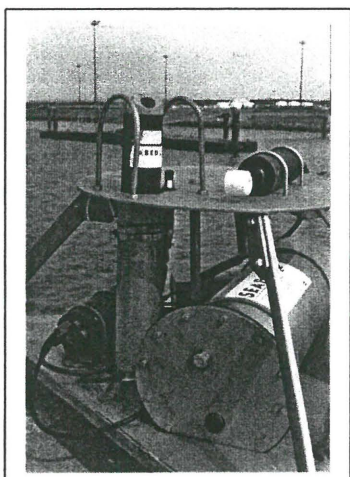
De fysische invloed van een verhoging van de vertroebeling is voorspelbaar. Een reductie van de doorzichtbaarheid beïnvloedt de fotosynthese van het plankton in de waterkolom. Ook de ontwikkeling van vissen kan beïnvloed worden. Tenslotte kan de verandering van het zeebodemsediment als gevolg van de losoperaties leiden tot migratie van bepaalde vissoorten en andere levende organismen in het betrokken gebied.

Turbiditeit op de losplaatsen

Sediment, gebaggerd in de haven van Zeebrugge en de vaarroutes naar deze haven, wordt gelost op de loswallen S1 en Zeebrugge Oost. Om de fysische invloed van deze losactiviteiten op de omgeving te evalueren werden per loswal twee meetcampagnes georganiseerd. Gedurende de eerste meetsessie werden de meetinstallaties op de hoeken van een omschrijvende rechthoek geplaatst met als doel zoveel mogelijk informatie te verzamelen in verband met de achtergrondturbiditeit en het stromingspatroon. Dit liet toe de optimale configuratie te bepalen voor de volgende meetsessie waarbij de registratie van de losactiviteiten en de bepaling van de bezinkingssnelheid van de sedimentpluim centraal stonden.

Tijdens de meetcampagnes werden twee verschillende meetconfiguraties gebruikt :

- de opstelling met oppervlakteboei voor directe meting met optische sensoren, gespreid over de waterkolom (links)
- de gecombineerde opstelling met optische sensoren (rechts) en doppler profielen (onder) voor indirecte meting

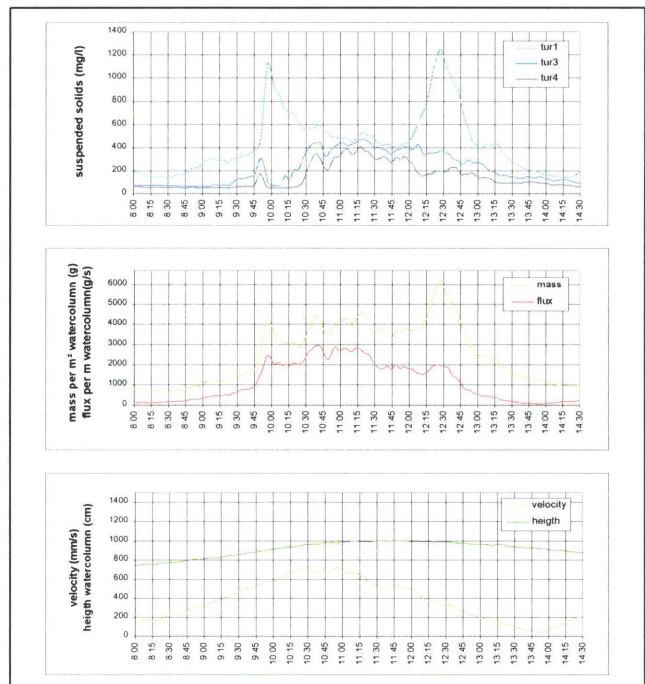


Optische sensoren sturen een bundel infrarood licht in de suspensie. De hoeveelheid licht, gereflecteerd op de fotocel, is afhankelijk van de grootte, de vorm, de kleur en de concentratie van het sediment in suspensie. De relatie tussen de gemeten lichtsterkte en het gehalte sediment in suspensie wordt bepaald door calibratie van de sensor met sediment afkomstig uit het studiegebied.

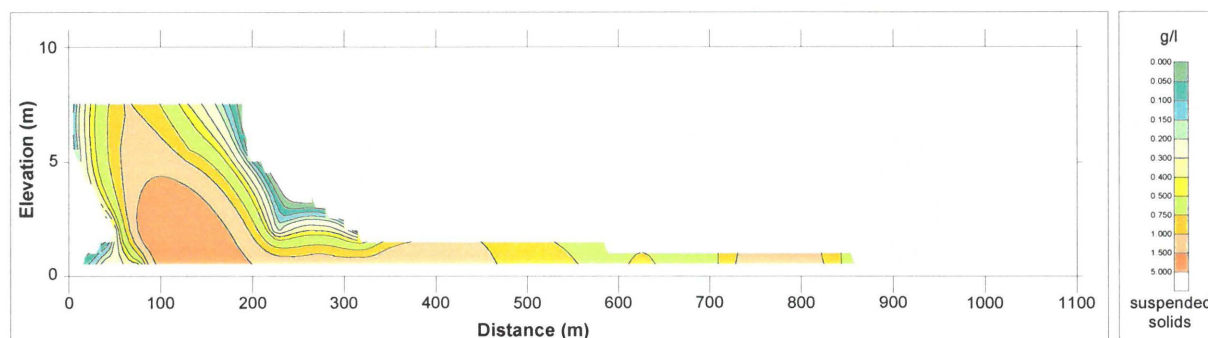
Met de gecombineerde meetopstelling worden de stroomsnelheden en de reflectie-intensiteiten gemeten met een doppler profiler en gelogd. De karakteristieken van toepassing op geluidsgolven die zich voortplanten in een vloeistof worden aangewend tijdens het verwerken. De metingen uitgevoerd met de optische sensoren worden als referentie gebruikt.

De sterke getijstromingen ter hoogte van de loswallen hebben als logisch gevolg dat de achtergrondwaarden voor sediment in suspensie de getijcurve volgen. Aan de hand van een opname afkomstig van de loswal Zeebrugge Oost wordt een typische cyclus geëvalueerd. Beginnend bij stil tij na laag water stellen we volgende evolutie vast :

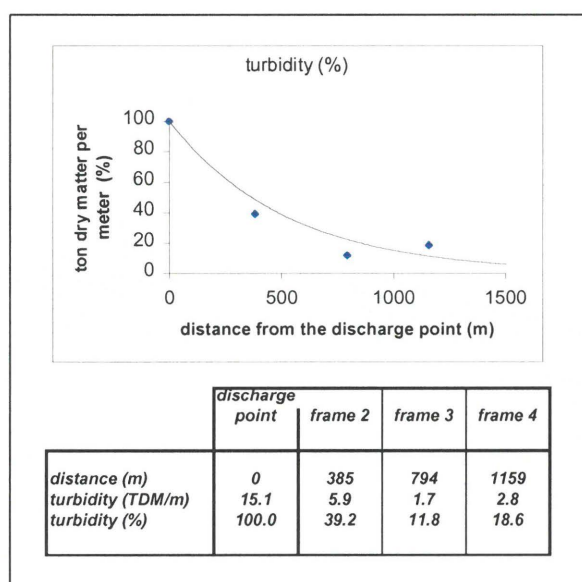
- De stroomrichting draait 180° bij minimum stroomsnelheid terwijl het getij toeneemt en het gehalte sediment in suspensie over de ganse waterkolom daalt ten gevolge van bezinking. Ter hoogte van de bodem vormt zich, onder een bovenlaag in ongehinderde bezinking, een colloïdaal mengsel. Zolang de stroomsnelheid beneden 0.15 m/s blijft gaat deze bezinking door.
- Een geringe toename van de stroomsnelheid brengt de niet-cohesieve laag terug in suspensie. Terwijl onderaan de waterkolom sediment in suspensie gebracht wordt, blijft de concentratie ter hoogte van de bovenste sensoren dalen. Ongeveer een uur later, terwijl de stroomsnelheid gestegen is tot 0.40 m/s, wordt ook in de bovenlaag een toename gemeten.
- Bij een stroomsnelheid van 0.50 m/s verbreekt de eroderende kracht van het water de cohesie van het colloïdale bodemsediment. Dit resulteert in een plotse concentratie toename ter hoogte van de onderste sensoren gevolgd door een sterke terugval. Deze terugval is niet het gevolg van sedimentatie maar wel van de dispersie van de deeltjes over de ganse waterkolom.
- Verdere evaluatie van het proces vereist de berekening van de sedimentflux als bijkomende parameter. De verdere toename van sediment in suspensie is getij-afhankelijk. Bij springtij erodeert het zeebed verder ten gevolge van de sterke stroming. Bij dood tij wordt slechts een geringe bijkomende toename vastgesteld.
- Na het bereiken van de maximale stroomsnelheid blijven de fijne deeltjes zich nog verder verspreiden over de waterkolom terwijl de grovere fracties terug beginnen te bezinken.
- De plotse toename ter hoogte van de onderste sensoren, gemeten op het moment dat de stroomsnelheid terug tot 0.5 m/s gedaald is, wordt niet veroorzaakt door erosie maar wel door de combinatie van bezinking van deeltjes uit de bovenste lagen en de dalende stroomsnelheid.
- Na het bereiken van een maximum concentratie bij 0.3 m/s dalen de waarden op alle sensoren. Deeltjes bezinken en onder de laag in ongehinderde bezinking vormt zich terug een colloïdaal mengsel.



Ter evaluatie van de sedimentpluim, opgewekt tijdens de losoperaties, werden de meetsystemen opgesteld in lijn met de losplaats, georiënteerd volgens de vloedstroom. Om permanent over achtergrondgegevens te beschikken werd één registratiesysteem 400 m ten westen van de losplaats geplaatst. De andere frames werden respectievelijk 400, 800 en 1200 m ten oosten van de losplaats geplaatst. Een algoritme werd opgesteld om het sediment in suspensie in functie van de afstand tot de loslocatie te begroten.



De bovenstaande grafiek visualiseert de sedimentpluim, gecorrigeerd voor de achtergrondwaarden, en bevestigt de stelling omtrent het bestaan van een verticale densiteitstroom van gelost materiaal en het daaropvolgend transport van een fractie fijn materiaal in een wolk dicht bij de bodem. De bovenste sensoren meten een concentratie verhoging gedurende slechts 3 minuten. Nabij de bodem duurt het 25 tot 30 minuten vooraleer de concentratie tot de achtergrondwaarden gedaald is.



De grafiek hiernaast illustreert de invloedssfeer van de losoperaties.

Om de grafiek op te stellen werden de resultaten van 42 dumps gemiddeld. Tijdens de meetcampagne werden in totaal 135 ladingen gelost. Uiteraard werden enkel de dumps gedurende vloed geregistreerd. Bij een aantal lossingen was het onmogelijk de lospluim af te lijnen ten gevolge van de te hoge achtergrondconcentratie. Uitgaande van 100 procent sediment ter hoogte van de initiële losplaats werd het gemiddelde percentage sediment geregistreerd op de 3 meetlocaties in de grafiek uitgezet.

De invloedssfeer bedraagt ongeveer 1.5 km (het sedimentgehalte is er afgenomen tot 5 %).

Bodemsediment

Het sediment is ter hoogte van de losplaats onderhevig aan getijstromingen. Het bodemtransport en uitwassen van de fijne fractie kan bepaald worden door de granulometrie uit te zetten in functie van de afstand tot de losplaats. De korrelgrootte van het bodemsediment daalt voor de stalen, genomen tot op een afstand van 1700 m van de loslocatie. Verderop zijn de bodemstalen terug gelijkaardig van samenstelling en bevatten ze voornamelijk siltig zand.

RELATIE TUSSEN DE HYDRO-METEO EN DE SEDIMENTATIE IN DE HAVEN VAN ZEEBRUGGE

Lanckneus J.
V. Van Lancker

21749



Vlaams Instituut voor de Zee / Flanders Marine Institute

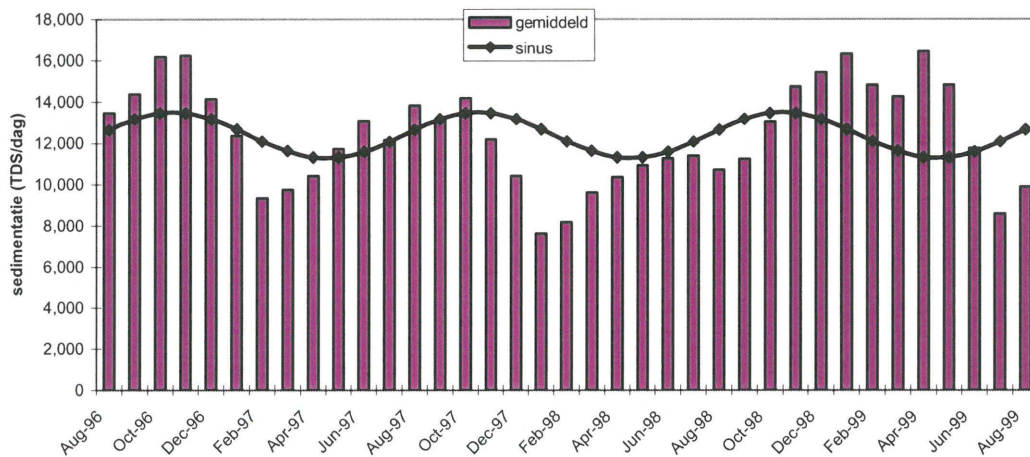
Relatie tussen de hydro-meteo en de sedimentatie in de haven van Zeebrugge

Jean Lanckneus¹, Vera Van Lancker^{1,2}

¹ Magelas, Violierstraat 24, B-9820 Merelbeke, info@magelas.be

² RCMG, Universiteit Gent, Krijgslaan 281, B-9000 Gent, vera.vanlancker@rug.ac.be

Op regelmatige tijdstippen worden er in de Haven van Zeebrugge metingen uitgevoerd teneinde de sedimenthoeveelheid, uitgedrukt in TDS (Tonnen Droge Stof), te bepalen ten opzichte van een aantal referentieniveaus. Deze berekende sedimenthoeveelheden worden gebruikt voor het opstellen van een sedimentbalans die een nuttige indicatie verschaft over de hoeveelheden slib die maandelijks in de haven van Zeebrugge sedimenteren. De sedimentbalans kan weergegeven worden in histogramvorm (fig. 1) waarbij een sinuscurve gedefinieerd werd die de variaties in TDS min of meer volgt.



Figuur 1. Sedimentbalans in het CDNB met voorstelling van de sinuscurve die de variaties van de hoeveelheden TDS benadert. (T.V. Noordzee en Kust, 1998).

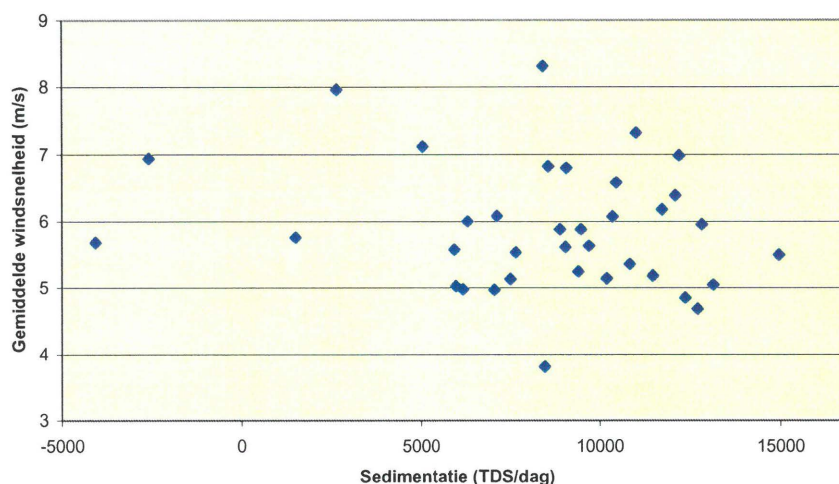
Figuur 1 geeft weer dat de hoeveelheden slib die in de haven van Zeebrugge sedimenteren, variëren in de tijd. De waargenomen variatie is echter te complex om bijvoorbeeld minima en maxima hoeveelheden te correleren met een specifieke maand. De variaties vinden hoogst waarschijnlijk hun oorsprong in een combinatie van bepaalde hydrografische (stroming, golven) en meteorologische (wind) factoren die de aanvoer van het suspensiemateriaal bevorderen of verhinderen.

In het kader van het Mobag 2000 project, werd nagegaan indien dergelijke correlaties bestaan. Hiervoor werd een correlatieanalyse uitgevoerd tussen de sedimentatiehoeveelheden van 37 perioden (tussen augustus 1996 en augustus 1999) en de hydro-meteorologische data gemeten tijdens dezelfde perioden.

De gebruikte hydro-meteo gegevens waren afkomstig van het Meteopark te Zeebrugge (gemiddelde windsnelheid en -richting, maximum windpieksnelheid), van de directionele golfboei gelocaliseerd in het station Bol van Heist (significante golfhoogte, gemiddelde golgperiode, gemiddelde golfrichting) en van de Meetpaal 3 (stroomsnelheid en -richting).

Het bestaan van verbanden tussen sedimentatie en hydro-meteo omstandigheden werd in eerste instantie nagegaan met behulp van Pearson correlatiecoëfficiënten, die berekend werden tussen gemiddelde waarden van hydro-meteo parameters (bijvoorbeeld gemiddelde windsnelheid,

gemiddelde golfhoogte) en de hoeveelheden sedimentatie per periode. De bekomen correlatiecoëfficiënten waren echter allen zeer laag (bijvb -0.18 voor de coëfficiënt tussen gemiddelde windsnelheid versus sedimentatie, zie figuur 2) en niet significant wat leek te wijzen op het ontbreken van een significant verband tussen sedimentatie en externe factoren.



Figuur 2. De sedimentatie ifv de gemiddelde windsnelheid uitgerekend per periode. De correlatiecoëfficiënt bedraagt hierbij -0.18 .

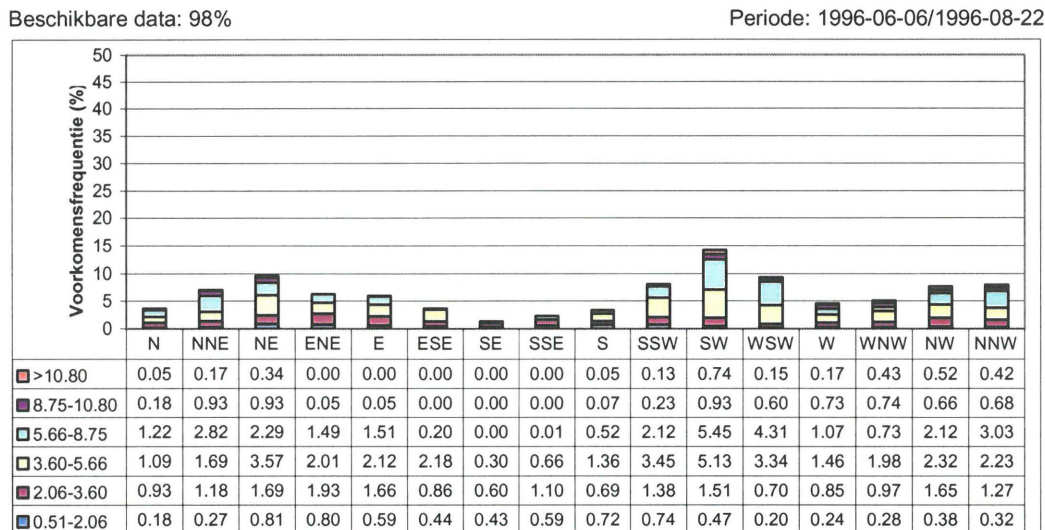
De slechte resultaten zijn echter het resultaat van het feit dat het niet mogelijk is om de hydro-meteo evolutie van een maand, voor te stellen met behulp met één enkele waarde. Het voorkomen van een korte maar hevige storm bijvoorbeeld komt immers niet tot uiting in de gemiddelde golfhoogte daar deze gemiddelde waarde hoofdzakelijk bepaald zal worden door de lagere golfhoogtewaarden die tijdens de rest van de maand domineren. Bovendien kunnen richtingsparameters (windrichting, golfrichting, stroomrichting) niet zo maar gemiddeld worden waardoor een verschillende verwerkingsmethode gebruikt moet worden.

De hydro-meteo data van elke periode werd opgedeeld in 16 richtingsklassen (N, NNO, NO, ENO, E, EZE, ZE, ZZE, Z, ZZW, ZW, WZW, W, WNW, NW en NNW) en vier tot 6 grootteklassen (tabel 1). Teneinde de resultaten te visualiseren werd programmatisch elk bestand ingelezen in Excel en verder verwerkt tot gecombineerde histogrammen. Deze geven visueel en numerisch een samenvatting van het gedrag van de wind, stroming en golven voor elke te analyseren periode. Hierbij wordt de beschikbare data procentueel aangegeven.

Klassen	Windklassen (m/s)	Golfklassen (m)	Stromingsklassen (m/s)
Klasse 1	0.51-2.06 (1 Bft)	0-0.50	0-0.4
Klasse 2	2.06-3.60 (2 Bft)	0.50-1.00	0.4-0.8
Klasse 3	3.60-5.66 (3 Bft)	1.00-1.50	0.8-1.2
Klasse 4	5.66-8.75 (4 Bft)	1.50-2.00	≥ 1.2
Klasse 5	8.75-10.80 (5 Bft)	2.00-2.50	
Klasse 6	≥ 10.80 (>5 Bft)	≥ 2.50	

Tabel 1. De geselecteerde klassen voor de wind- golf en stroomgegevens.

Figuur 3 geeft hiervan een voorbeeld. De windgegevens die op deze figuur voorgesteld zijn, gelden voor de periode 06/06/1996 tot 22/08/1996. Het histogram splitst de windgegevens op enerzijds in functie van de windrichting (16 richtingen) en van de windsnelheid (6 klassen).



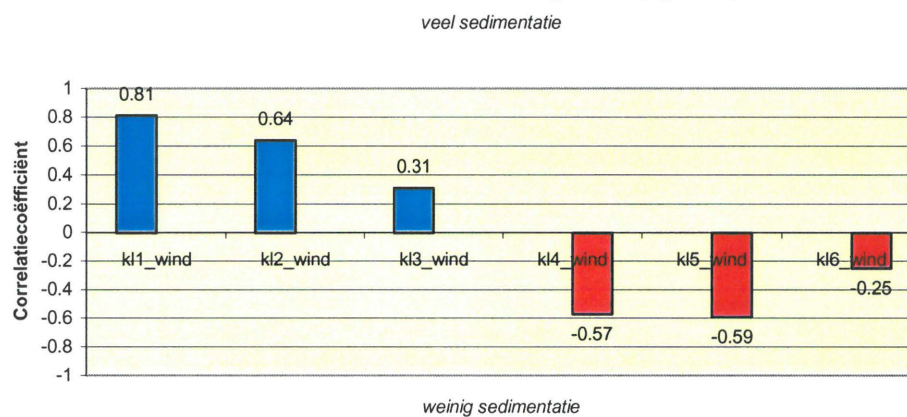
Figuur 3. Windparameters voor de periode 06/06/1996 tot 22/08/1996

Hierna werden per periode een aantal sommaties gemaakt : (i) de voorkomensfrequentie van de 16 richtingen zonder onderscheid te maken tussen de verschillende grootte-orde (voor iedere richting worden de waarden van de verschillende klassen opgeteld) en (ii) de klassen van de grootte-orde zonder onderscheid te maken tussen de verschillende richtingen (voor iedere grootte-orde worden de waarden van de 16 verschillende richtingen opgeteld).

Met behulp van een correlatieanalyse en van Principaal Component Analyse op de gesommeerde data konden de volgende relaties tussen de hydro-meteo factoren en de sedimentatiehoeveelheid achterhaald worden:

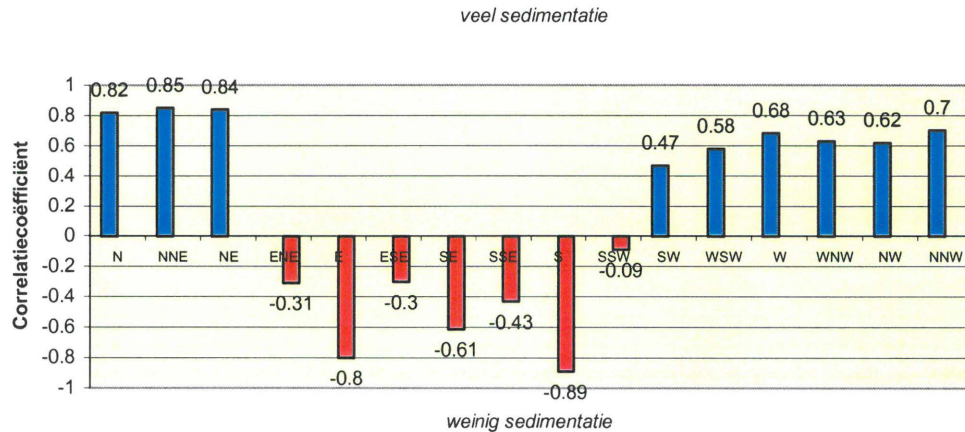
✓ Voor de wind:

- de sedimentatie in het CDNB is omgekeerd evenredig met de windsnelheid: bij lage windsnelheden grijpt een uitgesproken sedimentatie plaats en bij hoge windsnelheden vermindert het sedimentatieproces (figuur 4);



Figuur 4. Correlatiecoëfficiënten tussen de sedimentatiehoeveelheden en de windsnelheid.

- de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal treedt preferentieel op wanneer zeewinden (NE tot NW) domineren. Landwinden zijn in staat om het binnenkomen van gesuspendeerd sediment tegen te werken;
- de sedimentatie is het sterkst gecorreleerd met zwakke winden uit de N-NNW richting. Winden uit de NNW richting blazen immers evenwijdig aan de as van het CDNB waardoor de aanvoer van gesuspendeerd materiaal in de haven bevorderd wordt (figuur 5);



Figuur 5. Correlatiecoëfficiënten tussen de sedimentatiehoeveelheden en de windrichtingen.

✓ Voor de golven:

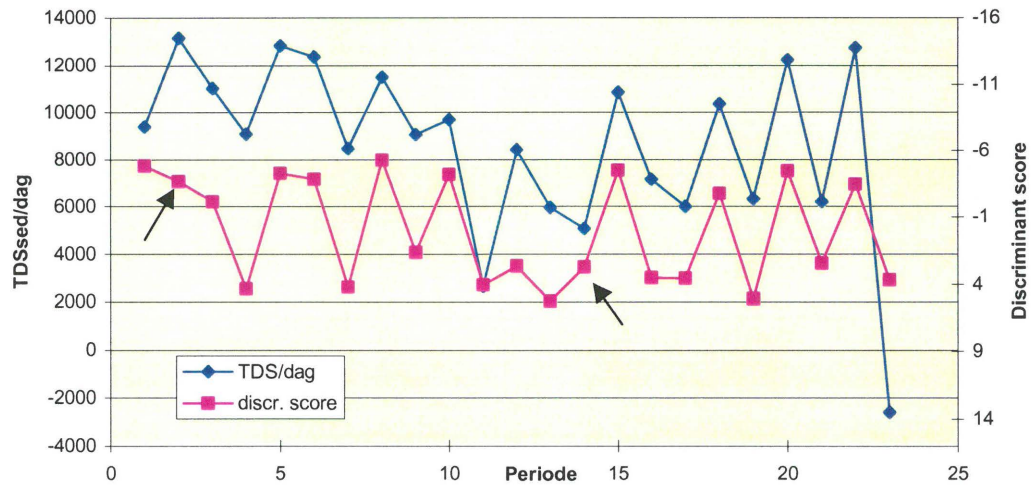
- het suspensiemateriaal zet zich maximaal af in het CDNB op het ogenblik dat de golven afkomstig zijn uit het NNW. De sedimentatie domineert bovendien bij de categorie van laagste golfhoogte. Golven uit deze richting zijn, net als de wind, gealigneerd met de as van het CDNB waardoor de aanbreng van gesuspendeerd sediment het minst verhinderd wordt;
- de sedimentatie vermindert bij het voorkomen van hogere golven. Negatieve correlaties komen voor met de overige golfrichtingen. In dit opzicht moet rekening gehouden worden met refractieverschijnselen van de golven met de haveninfrastructuur.

✓ Voor de stroming:

- de sedimentatiehoeveelheid is in eerste instantie het sterkst gecorreleerd met de stroming uit het SSW-SW, overeenkomend met de vloedrichting, en in iets mindere mate, met de stroming uit het NE-ENE, overeenkomend met de ebstroom.
- De stroming is verantwoordelijk voor de aanvoer van het sediment in suspensie naar de haven toe.

Een discriminantanalyse, die nagenoeg uitsluitend op winddata steunt, werd uitgevoerd teneinde na te gaan indien de verschillen in hydro-meteo die heersen tijdens perioden van hoge versus lage sedimentatie, voldoende groot zijn om beide perioden van elkaar te onderscheiden. Hiervoor werden de perioden ingedeeld in twee klassen: één klasse gekenmerkt door een lage sedimentatie (< 9100 TDS/dag) en één klasse gekenmerkt door een hoge sedimentatie (>9100 TDS/dag). Met behulp van de discriminantfunctie werd de probabieliteit berekend dat een periode tot één van beide klassen behoort. De predictie van de klasse was correct voor alle 23 perioden die hiervoor gebruikt werden.

De discriminantfunctie benadert voldoende goed het sedimentatiegedrag in het CDNB opdat de trend van de sedimentbalans (verhoging of verlaging t.o.v. de vorige periode) nagenoeg volledig overeenkomt met de trend van de discriminantscores (figuur 6).



Figuur 6. Relatie tussen de discriminantscore en sedimentatie. Een verhoging/verlaging van de sedimentatie komt overeen met een verhoging/verlaging van de discriminantscore die uitsluitend steunt op hydro-meteo gegevens. De pijlen geven de twee scores aan waarvan de trend (verlaging of verhoging t.o.v. de vorige score) niet overeenkomt met de trend van de hoeveelheden TDS).

Een correcte kwantitatieve voorspelling van de sedimentatiehoeveelheid op basis van de windgegevens is echter op dit ogenblik nog niet mogelijk daar het verschil tussen gemeten en voorspelde sedimentatiehoeveelheid nog enkele duizenden TDS/dag kan bedragen.

Referenties

Tijdelijke Vereniging Noordzee en Kust, 1998. Evaluatierapport Bijakte 13 Derde projectjaar ;
Ref. : TVNK/Z/N/98038/MDR/PHE