

**MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT
DIRECTORAAT-GENERAAL RIJKSWATERSTAAT
RIJKSINSTITUUT VOOR KUST EN ZEE / RIKZ**

**LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE
BELGISCHE KUST**

RAPPORT

NML1856
00023



HAECON

Harbour & Engineering Consultants
Deinsesteenweg 110 - 9031 Drongen

98577

DOCUMENTCONTROLEBLAD

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT
DIRECTORAAT-GENERAAL RIJKSWATERSTAAT
RIJKSINSTITUUT VOOR KUST EN ZEE / RIKZ

LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

RAPPORT

NML1856
00023

3							
2							
1	16-02-99	EINDRAPPORT	S. Vermeire	R. Adams	B. Lahousse i.o. MLZ	C.P. De Meyer	RIKZ
0	26-11-98	CONCEPT VERSIE	S. Vermeire	R. Adams	B. Lahousse	C.P. De Meyer	RIKZ
Rev.	Datum	Omschrijving	PMW	PL	DHD	DIR	KLANT



LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

RAPPORT

INHOUDSTAFEL

1	SITUERING VAN DE STUDIE	1
2	BESTUDEERDE WERKEN EN LITERATUUR.....	4
2.1	MORFOLOGISCHE STUDIES	4
2.2	MATHEMATISCHE EN FYSISCHE MODELLEN	5
2.3	SEDIMENT TREND ANALYSE (STA)	6
2.4	TRACERSTUDIES	7
2.5	ROXANN BODEM CLASSIFICATIE SYSTEEM	8
3	SYNTHESE.....	9
3.1	PRE-UITBOUWFASE ZEEBRUGGE: TOT 1979.....	11
3.1.1	<i>Oostkust: gebied gelegen tussen Zeebrugge en het Zwin.....</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Westerschelde.....</i>	<i>15</i>
3.2	UITBOUWFASE VAN ZEEBRUGGE.....	17
3.3	POST-UITBOUWFASE ZEEBRUGGE EN HUIDIGE SITUATIE.....	20
3.3.1	<i>Algemeen beeld.....</i>	<i>20</i>
3.3.2	<i>Zeebrugge.....</i>	<i>23</i>
3.3.3	<i>Geulen.....</i>	<i>24</i>
3.3.4	<i>Kuststrook.....</i>	<i>26</i>
4	DISCUSSIE	28
4.1	VOORKOMEN VAN EEN TURBIDITEITSMAXIMUM EN RECIRCULATIE.....	28
4.2	SEDIMENTATIE- EN EROSIEPATRONEN, MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN.....	29
4.3	SEDIMENTBALANS EN TRANSPORT OVER DE GRENS.....	31
4.4	LANGSTRANSORT.....	32
4.5	EFFECTEN VAN DE UITBOUW VAN DE HAVEN VAN ZEEBRUGGE.....	33
4.6	EFFECTEN VAN BAGGERWERKEN, VERANDERINGEN VAN HET GETIJ.....	34
5	AANBEVELINGEN.....	35
5.1	OPTIMAAL KUSTVERDEDIGINGSBELEID.....	35
5.2	OPTIMALISATIE VAN DE BAGGERWERKEN IN DE WESTERSCHELDE-MOND.....	38
5.3	OPTIMAAL BEHEER VAN MILIEUEFFECTEN.....	40

6	LIJST DER BESTUDEERDE WERKEN	42
7	SYNTHESEFICHES	51
7.1	MATHEMATISCHE EN FYSISCH E MODELLEN	51
7.2	STA EN TRACERSTUDIES, OPTIMALISATIE VAN BAGGERWERKEN.....	71
7.3	GEOFYSISCH E, MORFOLOGISCH E EN SEDIMENTOLOGISCH E STUDIES EN KUSTVERDEDIGING.....	111
8	KAARTEN	157



LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

RAPPORT

1 SITUERING VAN DE STUDIE

De literatuurstudie "Morfologie Belgische kust" behelst een synthese van de recent in België uitgevoerde onderzoeken en daarmee verworven inzichten in verband met erosie- en sedimentatiepatronen, en de sedimentbeweging langs de Belgische kust, en in het bijzonder de sedimentbeweging in het Belgische deel van de Westerscheldemond. Deze studie is uitgevoerd in het kader van het KUST*2000 programma, waarbinnen ondermeer onderzoek verricht wordt naar de werking en ontwikkeling van het morfologische systeem van de Westerscheldemond. Deze studies moeten leiden tot inzicht in de werking en ontwikkeling van het morfologisch systeem van de Westerscheldemond.

De uitbreiding van kennis die deze studies moeten opleveren moet de Directie Zeeland van de Rijkswaterstaat en het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee) toelaten een lange termijn visie te ontwikkelen voor het estuarium van de Westerschelde, waarbij verschillende beheersalternatieven beter tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Het gedrag van de Westerscheldemond is nauw verbonden met het gedrag van de Belgische kust en de morfologische evolutie van de zeebodem voor deze kust. Daarom moet het onderzoek naar het gedrag van de Westerscheldemond zich uitstrekken tot het noordoostelijk deel van de Belgische kust.

De doelstelling van de literatuurstudie is te omschrijven als het toegankelijk maken van de in België bestaande kennis, modelonderzoek en metingen met betrekking tot de Kust en Westerscheldemond, in aanvulling tot onderzoek dat in Nederland is uitgevoerd.

Opvatting van de studie

De studie onderscheidt twee belangrijke componenten:

- het identificeren van de belangrijkste onderzoeken met betrekking tot dit onderwerp die in België uitgevoerd werden tijdens de laatste 30 jaar, en het synthetiseren van deze onderzoeken;
- het naar voren brengen van de op deze onderzoeken gebaseerde inzichten.

Tijdens de literatuurstudie is specifiek naar kwantitatieve gegevens gezocht. Door de aard van gevoerde onderzoeken en de wijze van rapportage van deze, zijn de hier voorgestelde bevindingen echter bijna louter kwalitatief van aard.

Studiegebied

Het studiegebied *sensu strictu* beperkt zich tot de Belgische Oostkust, met name de zone ten westen van Zeebrugge tot aan de monding van het Zwin. Vanzelfsprekend stemt het gebied dat onderwerp is van bepaalde studies niet steeds overeen met het studiegebied van de literatuurstudie, vaak is dit gebied veel groter (*studiegebied sensu latu*). De ligging van de toegangsheuvelen tot de haven van Zeebrugge en de Westerschelde, de Pas van het Zand en de Scheur/Wielingen bepaalt evenwel vaak het gebied van een studie, en dit stemt vrij goed overeen met het studiegebied *sensu strictu* van de literatuurstudie (zie figuur 1).

Accenten van het onderzoek

De aard van de uitgevoerde onderzoeken liet tijdens de literatuurstudie slechts in beperkte mate toe bepaalde accenten te leggen, de specifieke aard en doelstellingen van uitgevoerde onderzoeken brengen immers een bepaald soort resultaten mee :

- Studies betreffen vaak het totale sediment. In geval van opsplitsing beperkt een studie zich vaak tot de slibcomponent. Dit laatste komt uitgebreid aan bod in het kader van de vele onderzoeken voor de optimalisatie van de baggerspeciestortplaatsen in het studiegebied, waarbij vooral de studie van de recirculatie van het slib aan de orde was. Het deel zeebodem net voor de Belgische kust is in hoofdzaak gekenmerkt door slibafzettingen. Daarom is specifieke informatie over zand eerder schaars.
- Modelonderzoeken staan meestal in relatie tot de uitbouwwerken van de haven van Zeebrugge. Ze worden niet beschouwd als doel op zich maar als aanvulling van andere onderzoeken.

Omwille van de complexe aard van de met modellen bestudeerde transportprocessen en de sterke vereenvoudiging van de modellen, is het inderdaad aangewezen deze studies enkel te beschouwen te samen met andere uitgevoerde studies.

- Bestaande studies van morfologie en bathymetrie zijn gebaseerd op peilwaarden (schaal 1:10.000 à 1:2.000), beschrijven de opgetreden veranderingen en kunnen leiden tot sedimentbalansen. De huidige beschikbare informatietechnologische middelen maken het mogelijk om op basis van deze gegevens balansen te berekenen voor verschillende sectoren binnen het studiegebied. Onder sedimentbalans wordt verstaan het verschil in gewicht (in kg) droge stof voor een bepaald gebied op 2 verschillende tijdstippen.
- Omwille van het belang van de uitbouw van de haven van Zeebrugge komt dit aspect uitgebreid aan de orde. Hoewel in dit kader veel studies verricht werden, maar vaak met specifiek werkengerichte doeleinden, laten ze slechts in beperkte mate toe antwoorden te geven op de vraagstelling die in de literatuurstudie aan de orde is. Conclusies met betrekking tot het effect van de uitbouw van de haven van Zeebrugge beperken zich tot de formulering van op onderzoek gebaseerde verwachte wijzigingen, de vaststelling van opgetreden wijzigingen, of hypothesen omtrent de link met de gewijzigde morfologische omstandigheden.
- De meeste van de studies in relatie tot zandsuppleties zijn gericht op kustverdediging, en de aspecten die in deze studie aan bod komen wijken sterk af van de vraagstelling. Het groeperen van deze studies tot een globaal onderzoek van de kustevolutie zou nochtans kunnen leiden tot interessante inzichten.

Leeswijzer

Het onderhavig rapport is in de eerste plaats gericht op het voorstellen van de inzichten. Deze zijn onlosmakelijk verbonden aan de voorafgaande onderzoeken, die dan ook kort voorgesteld dienen te worden (Hoofdstuk 2). De feitelijke synthese voegt de belangrijkste bevindingen van de onderzoeken te samen, en stelt de eruit afgeleide inzichten voor (Hoofdstuk 3). Voor de verschillende onderzochte aspecten volgt een discussie (Hoofdstuk 4). De conclusies koppelen terug naar de vraagstelling (i.e. een kwalitatieve en indien mogelijk een kwantitatieve beschrijving van erosie- en sedimentatiepatronen en de sedimentbeweging langs de Belgische Kust) en geven de leemten van kennis aan, die de basis vormen voor het formuleren van specifieke aanbevelingen (Hoofdstuk 5).

Hoofdstuk 6 betreft de lijst van bestudeerde werken, deze worden aan de hand van synthesefiches met een selectie van relevante figuren en tabellen kort voorgesteld (Hoofdstuk 7).

2 BESTUDEERDE WERKEN EN LITERATUUR

De beschikbare studies die van belang zijn in het onderzoek van sedimentbewegingen, erosie- en sedimentatiepatronen voor de Belgische kust zijn gebaseerd op verschillende onderzoeksmethodes. De aard en het kader van deze onderzoeken die in de laatste 30 jaar plaatsvonden worden in dit hoofdstuk geschetst.

2.1 MORFOLOGISCHE STUDIES

Voor de wetenschappelijke werken van J. Van Veen (1936) en A. Bastin (1974) zijn waardevolle referenties teneinde inzicht te bekomen in de morfologische processen in dit deel van de Noordzee. Morfologische studies steunen op dieptemetingen. De oudste lodinggegevens zijn reeds meer dan honderd jaar oud en bleken noodzakelijk voor de scheepsvaart. Aan de betrouwbaarheid van dergelijke oude dieptepeilingen kan men zich echter vragen stellen (plaatsbepaling, reductie, peilmethode), dermate dat men zich best beperkt tot het beschouwen van de gegevens vanaf de jaren zestig om een realistisch verhaal te ontwikkelen over de morfologische evolutie van de Belgische Oostkust. Echter, ook deze recente gegevens blijken niet altijd even gemakkelijk met elkaar te vergelijken. De reden hiervoor is de continue ontwikkeling en verbetering van de peilingstechnieken.

De bathymetrische data komen het best tot hun recht bij de beschrijving van de morfologische evolutie via verschilkaarten. Voor het studiegebied is het interessant om twee grote periodes te beschouwen, de 'pre-expansie'- (tot 1979) en 'post-expansie'- (na 1986) fasen van de haven van Zeebrugge. Voor het laatste decennium is het echter wel veilig om kortere periodes te beschouwen. Bathymetrische kaarten en verschilkaarten werden voor de Belgische Oostkust vooral gebruikt ten behoeve van onderzoek naar optimalisatie van de baggerspeciessortplaatsefficiëntie.

2.2 MATHEMATISCHE EN FYSISCHE MODELLEN

Fysische modellen of schaalmodellen van de "Monding van de Westerschelde en de Belgische Oostkust" worden hoofdzakelijk tussen 1975 en 1987 in het W.L. Borgerhout ontwikkeld :

- Hydraulische overzichtsmodellen;
- Detailmodel van de haven van Zeebrugge;
- Golfdiffractiemodel;
- Sedimentologisch detailmodel van de haven van Zeebrugge.

Deze modellen zijn vooral nuttig geweest voor de bepaling van het (veranderde) stroombeeld en de lokale morfologische evolutie ten gevolge van de uitbouw van de havendammen (erosies + sedimentaties).

Mathematische modellen worden ontwikkeld om voorspellingen te doen voor een welbepaald gebied en voor welbepaalde doelstellingen.

Het Ministerie van Volksgezondheid, Beheerseenheid van het Mathematisch Model (BMM) is een federaal orgaan die erover waakt dat het mariene milieu op het Belgisch Continentaal Plat niet (nadelig) beïnvloed wordt door menselijke ingrepen. Zo heeft de BMM met behulp van mathematische modellen en oceanografische metingen (BMM beheerst de M.S. Belgica) onderzoeken gedaan naar:

- Ecologische effecten van de uitbouw van de haven van Zeebrugge (1980, in opdracht van het Ministerie van Openbare Werken),
- Ecologische effecten van de baggerspecie dumpingen (1990, in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap en in samenwerking met HAECON),
- Baggerspecie verspreiding vanop de stortplaatsen in zee (1994, in opdracht van HAECON),
- Voorspellingen van olieverspreiding (kader OILPOL en MARPOL),
- Ecologische effecten van chemisch dumping en verbrandingsactiviteiten op zee (in opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid).

Voor de Belgische Oostkust werden twee types mathematische modellen ontwikkeld.

- Een eerste reeks modellen (2D en pseudo-3D) werd ontwikkeld eind de jaren '70 begin de jaren '80 (Universiteit van Luik). De modellen werden voorzien om een evolutief beeld te verkrijgen van het hydrodynamisch milieu bij de expansie van de haven van Zeebrugge. Uit de modellen pogde men ook af te leiden welke bouwfaserings de minst ingrijpende gevolgen op het marien milieu zou hebben.

- Een tweede reeks modellen (3D) werd door de Beheerseenheid Mathematisch Model (BMM) ontwikkeld waarin voorspellingen worden gedaan omtrent milieu-effecten en sedimenttransport. De bedoeling van de studies was de efficiëntie toetsen bij het storten van baggerspecie. Er werd gezocht naar dumpingplaatsen met hoge stortefficiëntie, i.e. dat een zo beperkt mogelijke hoeveelheid baggerspecie terug in circulatie komt.

In het kader van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek hebben Yu C.S. (1993) en Fettweis M. (1995) modellen ontwikkeld. Deze studies beslaan een groter (Fettweis) of afwijkend (Yu) studiegebied. De doelstellingen sluiten niet aan op het actuele onderwerp. De studies handelen vooral op een optimale verfijning van wiskundige modellen. In de studie van Fettweis kunnen wel interessante gegevens terug gevonden worden over in situ metingen van stromingen en sedimenttransport in de Westerschelde (zie steekfiche).

2.3 SEDIMENT TREND ANALYSE (STA)

Sediment Trend Analyse (STA) kan onder bepaalde omstandigheden een beeld van de netto sediment migraties geven. STA baseert zich op statistische trends van de korrelverdeling van het afgezette sediment om preferentiële transportrichtingen te identificeren. De methode is een verfijning van de McLaren methode. Het resultaat is, bij efficiënte en doelgerichte bemonstering, een weerspiegeling van het residueel sedimenttransport over langere periodes.

Monsters van oppervlakkige bodemsedimenten (tot op 30 cm diepte) worden op regelmatige afstanden van mekaar genomen, volgens een zo dicht mogelijke staalnamesysteem. De bodemonsters worden onderzocht naar korrelgrootteverdeling.

Voor de Belgische kust zijn er studies uitgevoerd op basis van twee soorten ST-analyse:

- de populaties worden onderzocht naar de relatie tussen scheefheid, sortering en gemiddelde;
- de korrelgroottefracties worden voorgesteld als afwijking onder de vorm van een standaarddeviatie ten opzichte van het gemiddelde van de totale populatie.

De resultaten van het onderzoek zijn gesteund op bestaande korrelverdelingsdata (probleem: grote tijdsspanne en gebrek aan ouderdomscreening!) en worden aan de hand van vectoren visueel weergegeven op een kaart waarbij de richting en zin van het transport wordt aangeduid en de relatieve grootteorde van de sedimentbeweging. Hierbij dient wel vermeld te worden dat de grootteorde van het transport louter relatief is. Deze kan afgeleid worden uit de trend. Hoe groter de vector voor transport in een bepaalde richting, hoe groter het effectief transport in deze richting zal zijn.

De ST-analyse voor de Belgische kust is uitgevoerd als complementaire studie van het radioactief traceronderzoek in het kader van het onderzoek naar de baggerslibstortplaatsefficiëntie en ter voorbereiding van een eventueel specifiek STA-onderzoek.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de ST analyse is gesteund op data van verschillende bemonsteringscampagnes die een periode beslaan die de uitbreidingswerken van de haven van Zeebrugge overlappen. Dit betekent dat eventuele effecten ten gevolge van deze werken, niet uit de STA zullen blijken.

2.4 TRACERSTUDIES

Tracerstudie is een zeer efficiënte onderzoeksmethode voor het bepalen van fysisch reëel sedimenttransport. Door het injecteren van een tracer met gelijkaardige fysische eigenschappen als het gastsediment, kan men aannemen dat de tracer dezelfde processen ondergaat als het te observeren sediment zelf. Bij detectie zal de intensiteit van het signaal een maat zijn voor de hoeveelheid tracer aanwezig op de bodem. In bepaalde omstandigheden zal op deze manier niet alleen kwalitatief het transport kunnen nagegaan worden, maar ook semi-kwantitatief. Dit is enkel zo wanneer men alvorens het injecteren van de tracer in het sediment, men nagaat wat de intensiteit van het signaal is per gewichtseenheid van de tracer. De kennis van de hoeveelheid "tracersediment" die er vervoerd wordt, geeft in zekere zin een beeld van de reële sedimentverplaatsing over de beschouwde proefperiode.

Verskillende types tracers werden aangewend:

- bodemtransport van zand (T = 1 à 3 maanden),
- suspensietransport van slib (T = 6 à 12 uur),
- studie van overflow en dumpprocessen,
- studie van recirculatieprocessen (zogenaamde recirculatietracers).

2.5 ROXANN BODEM CLASSIFICATIE SYSTEEM

Roxann is een echo-lodingsysteem dat ontwikkeld is om de ruwheid bepaald van de korrelgrootte van de oppervlakesedimenten te bepalen. Het toestel wordt gekalibreerd door de intensiteit van de gereflecteerde geluidsgolven te bepalen per sedimenttype. Dit systeem geeft een goed beeld van de sedimenten die op de zeebodem liggen en maakt een onderscheid tussen zand, cohesief slib en los slib. Het systeem is zeer doeltreffend voor het opsporen van de mobiele slibmassa's.

De Roxannmethode werd voor de Belgische Oostkust gebruikt tijdens het traceronderzoek om een ruimtelijke beeld te verkrijgen van de migratie van slib voor de Belgische kust. Zones met mobiel slib kunnen door middel van het Roxann systeem opgespoord worden zodat de efficiëntie van de bemonstering verhoogd wordt.

Het samen in kaart brengen van de gegevens van ruwheid (Roxann) en de bathymetrische gegevens (morfologie zeebodem) kan de relatie weergeven die er is tussen de morfologische entiteiten van de zeebodem en het type sediment.

3 SYNTHESE

Elke hoger voorgestelde methode heeft zijn beperkingen, geen enkele laat toe op zich, zonder beschouwing van de resultaten van de andere gebruikte technieken te komen tot een éénduidig beeld van de sedimentmigraties voor de Belgische kust.

In volgende synthese worden de inzichten, verworven door deze studies, besproken volgens relevante tijdsgebonden en plaatsgebonden aspecten.

Tijdsgebonden indeling

Omdat het gebied tijdens de studieperiode (vanaf de jaren 1960) gekenmerkt wordt door de uitbouw van de haven van Zeebrugge, die een verandering van het natuurlijk marien milieu (en de hierbij horende mariene processen) meebrengt zal de synthese opgesplitst worden in de periode voor, tijdens en na de uitbouw van de haven Zeebrugge.

De meeste terreinopname inzake natuurlijke processen gebeurde vóór of tijdens de uitbouw van de haven van Zeebrugge. De in situ metingen betreffen dieptemetingen, stromingsmetingen (vertikaal en horizontaal getij), suspensietransport, sedimentsamenstelling, geologische opbouw, golf- en tijklimaat, hydrometingen. Tracerstudies werden uitgevoerd voordat de uitbouw van het havengebied in werf was, teneinde bodem en suspensietransport te karakteriseren. Omwille van de omvang van de ingreep zijn er echter wel enkele mathematische modellen ontwikkeld voor het voorspellen van hydrodynamische veranderingen en sedimentfluctuaties tijdens en na de infrastructuurwerken. Door de modelgegevens in relatie te brengen met morfologische gegevens in de vorm van verschilkaarten kunnen er een paar belangrijke conclusies getrokken worden over sedimentbewegingen, erosie, sedimentatie en stromingsdominantie.

Na de expansie van Zeebrugge zijn er vier radioactieve tracerproeven uitgevoerd in het kader van de studie voor het optimaliseren van baggeractiviteiten (dit betrof telkens 2 injecties). STAs werden uitgevoerd op bestaande databanken van sedimentologische gegevens, ten behoeve van valideren van wiskundige modellen voor stortplaatsonderzoek.

De ST-analyse omvat sedimentmigraties over een grotere tijdsspanne en is niet specifiek voor of na de uitbouw, maar de effecten zijn er in principe wel in verwerkt. Hieruit volgt dat eventuele effecten van de uitbouw op sedimenttransport niet zullen blijken uit de STA. Voor de periode na de expansie is er dus een grotere hoeveelheid gegevens beschikbaar.

Gebiedsgebonden indeling

De studies omvatten meestal een veel groter gebied dan het interessegebied van de huidige studie, namelijk de zone tussen Zeebrugge en het Zwin. De inzichten in het sedimenttransport doorheen de vermelde zone, zijn gebaseerd op observaties in een groter gebied en dienen dan ook in een breder perspectief geplaatst te worden.

Toch is het voor de periode na de uitbouw aangewezen om de bespreking op te splitsen in volgende gebieden met verschillende morfologische evolutie: de kuststrook waarin onderscheid kan gemaakt worden tussen de accumulatiezone van Heist (ten oosten van de oostelijke strekarm), de erosieve kuststrook tussen Heist en het Zwin; de accumulatiezone van het Zwin, de Appelzak geul en de toegangseulen van Wielingen, Scheur en het Pas van het Zand (zie figuur 1).

Granulometrische indeling

Tabel 3-1 legt de granulometrische grenzen vast zoals deze hier in het rapport begrepen worden.

Grind		>2mm en <256mm
Zand	Grof	<2mm en >500µm
	Middelmatig	<500µm en >250µm
	Fijn	<250µm en >63µm
Silt		<63µm en >2µm
Klei		<2µm

Tabel 3-1
Granulometrische classificatie per sedimenttype.

3.1 PRE-UITBOUWFASE ZEEBRUGGE: TOT 1979

3.1.1 Oostkust: gebied gelegen tussen Zeebrugge en het Zwin

Stroomanalyse

Uit de studie van Bastin (1974) bleek dat het gebied voor de Belgische kust beïnvloed wordt door drie krachten:

- reststroom van het eb
- reststroom van het vloed
- reststroom van de orbitale werking.

Dit wil zeggen dat het gebied voor de Belgische kust een ontmoetingsplaats is van reststromen: de restebstroom van de Westerscheldemond en de restvloedstroom van het Kanaal. Door deze stroomkenmerken en de voorhanden fijne sedimenten wordt de zone van de Westerschelde monding en de Belgische kustwateren gekenmerkt door een turbiditeitsmaximum. In een dergelijk stromingsmilieu zullen fijne sedimenten zoals slib hydraulisch gevangen worden en sedimenteren, hoewel de sterkte van de stromingen en de golfwerking in deze ondiepe strook geen sedimentatie van fijne sedimenten laat vermoeden.

Reeds in deze periode wordt de evolutie van de Oostkust beïnvloed door menselijke ingrepen. In het begin van de eeuw heeft men vastgesteld dat de aanleg van de "Môle" in Zeebrugge belangrijke consequenties had op de natuurlijke stromen. De zeewaartse penetratie van de Môle was belangrijk genoeg en vormde als het ware een obstakel in de natuurlijke stromingspatronen langs de Belgische kust. De aanwezigheid van de havenpier had ook een versterkend effect op de stromingen, en dit vooral op de langsstroming.

Metingen uit 1910 hebben uitgewezen dat zeewaarts van de pier de long-shore current bij hoogenergetische golfslag met korte golfperiode en bij vloed een snelheid had van 1,5 m/s (Malherbe B., 1984). Met zulke stroomsnelheden verkrijgt de long-shore current een hoog erosiepotentiaal. Dit zou de uitschuring van de Appenzak geul misschien kunnen verklaren.

In 1929 bouwde men de "open paal" structuur van de havendam van Zeebrugge om tot een gesloten muur. De Appenzak evolueerde van een vloodschaar tot een ebschaar, gekenmerkt door de sterkst uitgesproken ebreststroom voorhanden aan de Belgische kust.

Bodemsamenstelling van de morfologische eenheden

Begin jaren '70 stelde Bastin in een grootschalig onderzoek een gedetailleerde bodemkaart van de Belgische kuststrook en de Westerschelde op. Dit deed hij op basis van de natuurlijke radioactiviteit van de aanwezige sedimenten, alsook het nemen van bodemstalen. Hierbij observeerde hij de heterogeniteit van de sedimentsamenstelling aan de Belgische kuststrook. Enkel vanaf een zone dat ongeveer 13km zeewaarts gelegen is bestaat het sediment uit een homogeen fijn tot middelmatig korrelig goed gesorteerd zand. Dit gebied werd echter van de kuststrook gescheiden sinds de doorbraak van de Drempel van de Scheur. Hierdoor zou het kustwaarts gerichte zandtransport sterk belemmerd kunnen zijn.

Hinderbanken en Vlaamse Banken

Deze banken zijn opgebouwd uit een goed gesorteerd middelmatig zand (gemiddelde tussen 250 μm en 500 μm). Ze vormen hoge (20 tot 25 m) en uitgestrekte opwelvingen boven de zeebodem waarrond een zeer complexe stromingspatroon bestaat (De Moor, 1989, Lanckneus, 1989). Deze stelden voorop dat de sedimentbewegingen op en rond de zandbanken worden geïnduceerd door spiraalstromingen die voor een continue recyclage van het materiaal zorgen en die voor de instandhouding van de banken zorgt. Het voorkomen van spiraalstromingen zou ook kunnen verklaren waarom een bank als entiteit niet migreert.

Kuststrook voor de Belgische Oostkust

De bodemkaart van Bastin bevestigt de kaart van Van Mierloo (1899) en toont aan dat het gebied bezet is door grote slibvelden die zich uitstrekken tussen De Haan en het Zwin tot 6km zeewaarts. De geringe rigiditeit (of beperkte compactie) van de slibsedimenten wijst op ofwel recente afzettingen, ofwel op afzettingen die aan een bepaalde dynamiek onderworpen zijn en dus steeds herwerkt worden. Door de oscillerende werking van eb- en vloedstromen deinen de randen van deze mobiele slibvelden uit. Een antwoord naar de vraag van een oorsprongsgebied van het slib is driedelig :

- natuurlijke erosie van de Tertiaire kleien die op sommige plaatsen bloot kunnen liggen: dit is de Drempel van de Wandelaar en Scheur, de Pas van het Zand en het ondiepe kleisubstraat (Bartoonklei) ter hoogte van de haven van Zeebrugge (Henriet et al., 1978),
- door het insnijden van de kleilagen bij baggerwerken waarbij de droge stof gehydrateerd wordt en in circulatie komt,
- aanvoer van slibsedimenten vanuit de Westerschelde.

Strandstrook

Het zand aan de strandzijde is een fijn- tot middelmatig korrelig goed gesorteerd zand (steile granulometrische kromme) van hetzelfde type als op de zandbanken. Het valt wel op dat het kalkgehalte beduidend lager ligt. Dit komt doordat het zand door de branding uitgewassen wordt. In normale sedimentatieomstandigheden zou er vanuit zee een aanwinst van 'vers' zand optreden die de uitwassing van het strandzand compenseert. De aanwezigheid van de Appelzak en van de slibvelden voor de Belgische kust vormen een mogelijke verklaring voor het verhinderen van dit kustwaarts transport.

Tussen 1977 en 1982 werd in een studie in opdracht van Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, het grove opspuitzand gebruikt als referentie om de natuurlijke stranddrift te bepalen langs de Belgische kust. De stranddrift is het transport van zand in een richting parallel aan de kust, voorkomende in het intergetijde gebied.

Hierbij kwam men tot de volgende bevindingen:

- een oostelijk gericht stranddrift domineert tussen Duinbergen en Cadzand,
- de stranddriftsnelheid aan de laagwaterlijn varieert tussen de 2 km en 7 km per jaar,
- een gemiddelde erosie van 188.000m³ per jaar onder invloed van stranddrift werd berekend voor de zone gelegen tussen hoog- en laagwaterlijn,
- de havengeul van Cadzand lijkt de stranddrift sterk te beïnvloeden (uitfilteren van de grovere fracties) in tegenstelling tot de Zwinggeul,
- de stranden ten westen van Zeebrugge zijn stabiel qua samenstelling, in tegenstelling tot de oostelijke stranden.
- ter hoogte van het Lekkerbek in Knokke is de gradiënt van de granulometrische samenstelling langs het profiel veel steiler dan langs andere raaien, dit zou op een lokaal zeer onstabiel strand kunnen wijzen.

Sedimenttransport

Zoals reeds vermeld zorgt het turbiditeitsmaximum voor een sedimentvang van fijne partikels zoals slib voor de Belgische Oostkust. Het slib heeft een lage densiteit en is zeer mobiel. Reeds in de jaren 1970 werd slibmigratie vanuit de Noordzee tot in de Westerschelde vastgesteld, alsook in de toegangsheulen naar de havens toe en de heulen gelegen tussen de zandbanken. Door de beperkte rigiditeit van het slib wordt het migrerend zand aan de randen van de slibvelden gevangen. Hierdoor deint het mobiel slibveld uit en verhindert het zand naar het centrum te komen zodat de slibsedimentatie groeit. Dit wil zeggen dat een slibveld gelegen voor een kuststrook alle kustwaarts zandtransport zal beperken of verhinderen. Dit is het geval voor de kuststrook tussen Zeebrugge en het Zwin, waar het niet-cohesieve slib als 'zandvang' fungeert.

Kustwaarts zandtransport gebeurt via contactpunten (deze zijn gelegen daar waar een zandbank als het ware 'uitsterft' aan de vooroevervoet van de strandzone) zoals voorhanden is aan de Broersbank (Westkust). Vroeger gebeurde dit naar de Oostkust toe via de Paardenmarkt. Bij de uitbouw van de Môle werd dit contact echter afgesloten van de Westkust zodat noordoostwaartse zandmigratie verhinderd werd. Er is enkel nog noordoostwaartse langtransport van zand ter hoogte van de kustbanken.

Langs de kuststrook gebeurt het transport enkel nog via de golfslag. De richting van het transport lijkt noordoostwaarts gericht te zijn als men de accumulatiezone beschouwt die langs de westkant van de golfbrekers gevormd worden. Zoals een 1-jaar lang durende tracerproef aantoonde was dit echter enkel waar bij hoogstrand ($z + 4,5\text{m} < \text{hoogstrand} < z + 7\text{m}$ en $\text{NAP} = z + 2,41\text{m}$). De wekelijkse injectie van tracerzand toonde inderdaad aan dat bij laagstrand ($z + 1,5\text{m} < \text{laagstrand} < z + 4,5\text{m}$) er een zuidwestwaartse sedimenttransport is.

Bij laagstrand ageert de ebstream en zorgt voor een zuidwestwaartse drift van 160.000 ton/jaar tussen Knokke en Zeebrugge (Bastin A., 1974). De erosie zou het gevolg zijn van de evolutie van de Appelszak van een vloednaar een ebschaar.

De oostelijke kuststrook (het strand tussen Heist en het Zwin) kende een dusdanige erosie (afsalg recreatieve strand) dat in de jaren 70 besloten werd zandsuppletiecampagnes door te voeren voor het herstel van een recreatieve kuststrook. De aantasting van de kuststrook was dermate dat bij hoogwater er nauwelijks nog van een strand kon gesproken worden. Vooral ter hoogte van het Zoute en de Lekkerbek was de erosie belangrijk. Op de verschilkaart 1976-1962 valt toch een aanwas op ter hoogte van Knokke-Heist en ten oosten en ten westen van Zeebrugge.

Deze accretie wordt geassocieerd met recirculatie, en het kustwaarts transport van sedimenten die verder in zee na baggerwerken gedumpt worden. Later, bij de verdieping van de toegangsgeulen tot de nieuwe haven van Zeebrugge, zal de kuststrook ter hoogte van Knokke echter opnieuw eroderen.

Meer zeewaarts langs de Oostkust, kan men uit de verschilkaarten concluderen dat de Appelzak expandeerde. De Appelzak groeide uit tot een belangrijke geul die zich toen uitstreckte van dicht bij de Môle tot over de Nederlandse grens. De geul evolueerde tot een ebschaar. Wel worden de geërodeerde sedimenten van de kuststrook naar de geul getransporteerd. Hoewel Bastin met een tracerproef een zuidwestwaartse gericht transport aantoonde in de Appelzak (bodemtransport van circa $0,05\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$), moet er ook een noordoostwaarts transport voorhanden zijn. Deze zal waarschijnlijk vooral effectief zijn bij zwaar stormweer en sterke vloedstromen (springtij). Kwantitatief bedraagt de verplaatsing van het zand, gemeten in het centrum van de geul $2,5\text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$. Het langzaam verdwijnen van geulen zoals de Zwinggeul (die kunstmatig in stand gehouden wordt), Deurloo en de Spleet zouden daarmee samen kunnen hangen.

De Appelzak was tot op minder dan 500m van de Môle genaderd. De versterkte golfslag die daardoor tijdens stormen insloeg op de havenpier werd te hevig en vormde een dreiging voor de havendam. De invloed van de Appelzak is na strandsuppletie en de uitbouw van de haven van Zeebrugge sterk verminderd.

3.1.2 Westerschelde

De samenstelling van de bodemsedimenten in de Westerschelde is zeer heterogeen. Grote slibvelden treden veelvuldig op, en dit vooral in de vaarpas of de geulen gekenmerkt met de belangrijkste stroomsnelheden en grootste dieptes. De slibmassa's vormen een mobiel systeem die in nauwe relatie staan tot de densiteitsstromen. De voorhanden densiteitsstromen ontstaan ten gevolge van het contrast zout / zoet, ten gevolge van een verschil in sedimentlading van de waterkolom of ten gevolge van een combinatie van beide fenomenen.

In de omgeving van de Bocht van Bath en Zandvliet, tussen Antwerpen en Doel zijn uitlopers van slibvelden opgemerkt. Korrelgrootteanalyses van zand uit dezelfde zone hebben aangetoond dat deze zanden gelijke kenmerken vertonen als de mariene zanden die in zee bemonsterd werden. Dit wijst erop dat de zone tussen de Bocht van Bath en Zandvliet gekenmerkt wordt door een ontmoetingszone van reststromen. Dit is een ontmoetingszone van mariene en continentale invloeden.

Uit de studie van Bastin (1974) werd een benaderende sedimentbalans vanuit kwantitatief standpunt besproken. Hierbij kwam hij tot de volgende conclusie: de sedimenten (zowel zand als slib) van continentale oorsprong worden voornamelijk afgezet vóór de Belgisch-Nederlandse grens tussen de Rupel en Doel:

- totale input: 2.220.000 ton/jaar
- afgezet voor Belgisch-Nederlandse grens: 1.900.000 ton/jaar
- output van Westerschelde naar Noordzee: 320.000 ton/jaar.

Voor deze waarden in ton te bekomen gebruikte Bastin volgende densiteit:

$$\rho_s = 1800 \text{ kg/m}^3.$$

3.2 UITBOUWFASE VAN ZEEBRUGGE

Verschillende mathematische modellen werden opgemaakt met als doel de hydrodynamische evolutie tijdens en na de infrastructuurveranderingen te voorspellen. Aan de hand van de modellen werd nagegaan welke bouwfaseringsde minst ingrijpende invloeden zou hebben op de heersende hydrodynamische eigenschappen.

Stromingproblematiek

De modelberekeningen gaven aan dat de expansie van Zeebrugge gepaard zou gaan met vooral lokale hydrodynamische veranderingen.

Uit de modellen is gebleken dat bij een zeewaartse penetratie van de oostelijke en/of de westelijke dam er belangrijke snelheidstoename zal optreden van de stromingen langs de dammen. Deze zouden in een grootteorde vallen van 80 cm/s en zouden een piekwaarde kunnen bereiken ter hoogte van de oostelijke dam van 2,3 m/s. De snelheid ter hoogte van de oostelijke dam zou echter terugvallen bij volledige afwerking van de westelijke dam, waarnaar de zone van snelheidstoename zal verschuiven.

Snelheidstoenames van de ebstroming zouden zeewaarts moeten optreden van de noordoostelijke dam en in de nieuwe havenmond. De zone aan de lizijde van de oostelijke strekarm (westelijk kustdeel van Heist) zou continu onder invloed staan van een ebstroom.

De vloedstroming in het Pas van het Zand zou weinig verstoord worden door de uitbouw van Zeebrugge, terwijl de modellen voorspellen dat er in de havenmond zelf en voor de kust van Heist neervorming optreedt. De ebstroom zou door de dam zeewaarts afgeduwd worden met de ontwikkeling van neerzones voor de havenmond en werkhaven tot gevolg. De neerzone zou even ver zeewaarts reiken als de uitgebouwde zuidoostelijke dam uit de zeehaven.

Bij de volledige uitbouw van de westelijke dam zou bijna het volledig havengebied onttrokken worden aan de vloedstroom en zou de ebstroom in geringe mate zeewaarts moeten migreren. Het havengebied zou gekenmerkt worden als een neerzone, en het stroombeeld in de toegangsgemaal zal bij vloed heel complex zijn. Omwille van de berekende lage stromingssnelheden zou sedimentatie kunnen optreden in de neerzones.

Belangrijke stromingsveranderingen zouden volgens de modellen niet optreden ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens. De tijdstroming zou noch van richting veranderen, noch van amplitude. Daarentegen, zou een verdieping van de Scheur wel voor perturbatie kunnen zorgen ter hoogte van het Zwin, waarbij vooral een afzwakking zou optreden van de stroomsnelheden.

De invloeden van de verdieping van de Scheur zouden merkbaar zijn tot in het estuarium van de Schelde: er wordt een maximale verhoging van de getij-amplitude verwacht van een 15tal cm terwijl de debieten een maximale versterking van een 5tal % zouden kennen.

Sedimentdynamiek

De stromingssnelheden en hun fluctuaties berekend op basis van de modellen hebben ook toegelaten schattingen te doen inzake erosie en sedimentatie.

Zeewaarts van de noordoostelijke havenmuren zou er, indien het sedimenttype het toelaat, een ebgeul gevormd worden. Er werd geschat dat ongeveer 5m sediment zou kunnen weggeërodeerd worden op de positie gelegen voor de nieuwe havenmond. Dit laatste geldt alleen bij aanwezigheid van erosiegevoelig materiaal.

Anderzijds zou er binnen de havendammen, aan de lijzijde van de oostelijke strekarm en voor de kust van Heist grote hoeveelheden sediment aangevoerd worden.

Oriënterend erosieonderzoek

Aan de hand van schaalmodellen werden simulaties uitgevoerd ten einde erosievolumes te bepalen die zouden gegenereerd worden tijdens de uitvoering van de uitbreidingswerken. Hierbij viel op dat erosiezones vooral voor zouden komen aan de zeewaartse zijde van de noordoostelijke dam, terwijl slechts geringe erosie optrad aan de voet van de westelijke strekarm.

In Tabel 3-2 worden totale oppervlaktes en volumes van geërodeerd materiaal weergegeven, voor de zones gelegen onder de isobaten -10 m en -15 m.

<i>Isobaat (m)</i>	<i>Geërodeerde oppervlakte (m²)</i>	<i>Totaal volume (m³)</i>
-10	140.000	400.000
-15	24.000	16.000

Tabel 3-2

Erosieoppervlaktes en -volumes voor de periode van de uitbreidingswerken.

Op basis van het bestaand model werden verdere simulaties uitgevoerd om erosiepatronen na te gaan die zouden kunnen ontstaan, in de 10 jaar volgend op het einde van de uitbreidingswerken. In de periode na de beëindiging van de uitbreidingswerken, lijkt de erosieve zone zich te verplaatsen naar de zeewaartse zijde van de westelijke strekarm. Hierdoor ontstaat er een sedimentflux over de havengeul van Zeebrugge, zodat deze kunstmatig opgehouden moet worden voor het behouden van de vereiste diepte.

De zo gevormde erosiekuil heeft volgende kenmerken:

- Maximale diepte op -21.5m,
- Extensie van 2000m met -10m als referentielijn.

Volumes en oppervlaktes van erosie zijn vermeld in Tabel 3-3.

<i>Isobaat (m)</i>	<i>Geërodeerde oppervlakte (m²)</i>	<i>Totaal volume (m³)</i>
-10	680.000	2.000.000
-15	160.000	440.000

Tabel 3-3

Erosieoppervlaktes en -volumes in een periode van 10 jaar na de uitbreidingswerken.

Validatie

Algemeen kan gesteld worden dat de modellen vrij goed beantwoorden aan de realiteit.

Fluctuaties van de stroomsnelheden zijn geobserveerd ter hoogte van de havendammen. Sedimentatie en erosie is effectief opgetreden ter hoogte van de voorspelde zones binnen en buiten het havengebied. Deze zijn: aanwas van sedimenten aan de westelijke kant van het strand te Heist; sedimentatiezones in de haven van Zeebrugge door neervorming; slibstroom langs de toegangsheul naar Zeebrugge (onderhoud is nodig); erosie aan de voet van de oostelijke strekarm van de haven.

Dit laatste werd verholpen door het aanbrengen van bodemmatrassen boven de putten zelf om verder erosie tegen te werken en het plaatsen van arduinblokken en houtmatten aan de voet van de strekarm om de golfslag te breken.

De door de modellen voorspelde ebgeul noordoostelijk van de havenmond is echter niet meteen observeerbaar. Dit zou gebonden kunnen zijn aan de lithologie van het substraat. De aanwezigheid van een erosiebestendig Bartoon klei onder een dun Quartair dek zou hiervoor een logische verklaring kunnen zijn.

3.3 POST-UITBOUWFASE ZEEBRUGGE EN HUIDIGE SITUATIE

3.3.1 Algemeen beeld

Getijanalyse

Getijanalyse van de Westerschelde heeft uitgewezen dat het algemene eb-getijde-delta concept passend is voor de Westerscheldemond.

Deze wordt beïnvloed door het verticale getij, geïnduceerd door de verschillen in het verhang. Het mondingsgebied vormt een overgangszone tussen het Westerscheldebekken en de Noordzee, met wederzijdse beïnvloeding van de specifieke getijdensystemen. Dit zou leiden tot een turbiditeitsmaximum in het gebied. De kenmerkende eigenschappen van de getijdensystemen voorhanden zijn afhankelijk van de aanwezige lithologie en morfologie. Hoewel de Westerscheldemond een overgang is tussen Schelde en Noordzee is de uitwisseling met de open zee gering.

De reden wordt gezocht in het voorkomen van het turbiditeitsmaximum dat van de Westerscheldemond ten zuiden van de Wielingen een vrij gesloten systeem maakt, hoewel het gebied toch exporterend lijkt te zijn (Van Alphen, 1990).

Mathematische modellen

Algemeen is uit mathematische modellen gebleken dat de stromingen op het Belgisch Continentaal Plat te zwak zijn om sedimenten te transporteren. Slechts een gecombineerde werking van golven en stromingen heeft sedimenttransport tot gevolg. Het sediment lijkt voornamelijk tijdens stormperiodes in beweging gebracht te worden.

Modellen hebben aangetoond dat na de havenexpansie de residuele stromen zich zouden verplaatsen, van een zone gelegen ten zuidwesten van Zeebrugge (Wenduyne Bank en verder zeewaarts) naar een accumulatiezone gelegen ten oosten van Zeebrugge, met een zware verzanding van de Zwingel. De modellen geven de trends aan maar niet de totale sedimenthoeveelheden.

Sedimenttransportmodelleringsproeven werden opgestart als begeleidende studie voor de baggeractiviteiten van de NORFRA-pijpleiding. De hieruit afgeleide residuele stromingen zijn algemeen zuidwest gericht met een residueel transport dat gekenmerkt wordt door een noordoosttrend. Residueel transport is het hoogst voor de kust, boven de zandbanken en boven de Vlake van de Raan. Transportrichtingen van baggerspecie gestort dicht bij de kust (Paardenmarkt "ZB Oost", zuidelijke Vlake van de Raan "S2" en "R4") zijn kustwaarts of naar de vaargeulen toe. Baggerspecie afgezet in de zone van de Westhinder wordt noordelijk getransporteerd en zal niet naar de kust getransporteerd worden, noch naar de geulen toe gerecycleerd worden. Verder is uit het model gebleken dat de wind een belangrijke invloed heeft op de transportrichting in ondiepe waters. De richting kan door de wind omgekeerd worden.

Tracereperimenten

Tracer- en sedimenttransportstudies wijzen uit dat de sedimentcirculatie (met het nadruk op slib) in de Belgische kustwateren beïnvloed wordt door een turbiditeitsmaximum.

Een maximum ontstaat ter hoogte van een ontmoetingsgebied waar residuele transporten samenkomen. Dit betekent concreet dat de Belgische kustwateren een weinig open systeem vormen en uiteindelijk vrij weinig uitwisseling kennen met de rest van de Noordzee. De ligging van dit maximum wordt bepaald door het tijcoëfficiënt, de golfwerking en het bovendebiet van de Schelde. Onder invloed van het maximum is er ook een aanrijking van fijn materiaal, die het ontstaan van slibvelden tot gevolg heeft.

Deze velden zijn weinig stabiel, migreren binnen het gebied van het turbiditeitsmaximum over de zeebodem en kunnen voorkomen van Nieuwpoort tot in Terneuzen , soms tot in het Zandvlietsluis.

Proeven toonden aan dat stortverliezen zich voordoen als losse weinig geconsolideerde slibafzettingen van ca. 0,5m dikte. Deze migreren over de zeebodem en concentreren zich in een smalle band langs de Belgische kust tussen Nieuwpoort en Terneuzen. Verder blijkt dat hoe verder men zich verwijderd van de kust, hoe kleiner de weergevonden tracerconcentraties zijn. Recirculatie van slib gebeurt dus in een gesloten systeem, waarbij de Vlaamse Banken mogelijk een belangrijke rol spelen in de verandering van stromingen. Het kustwaarts gericht transport wordt veroorzaakt door natuurlijke (residuele) stromingen. Het recirculatiebeeld wordt versterkt door het slib dat in circulatie gebracht wordt bij baggeractiviteiten.

Sediment Trend Analyse en bodemsamenstelling

Het STA-beeld bevestigt de hydraulische/sedimentologische slibvang gelegen voor de Belgische kust. Uit de STA komt het invloedsgebied van de voordelta van Schelde, Maas, Rijn, Waal en IJ naar voor als een gesloten gebied waar fijn sediment preferentieel accumuleert. Verder van de kust wordt de residuele transportrichting wel afwisselend noordoostelijk en zuidwestelijk bevonden (i.e. parallel aan de kustlijn).

Sedimenttrendanalyses geven een gemiddelde trend aan van kustwaarts transport in de Belgisch kustwateren. Het materiaal zal in het gebied behouden blijven door een groot recirculatiepotentiaal van de Belgische kustwateren. Een mogelijke verklaring voor de beperkte dispersie van het materiaal is dat de energie van de deining gebroken wordt op de Vlaamse Zandbanken.

Algemeen voor de sedimentsamenstelling aan de Belgische kust geldt dat de oppervlaktensedimenten op de zandbanken en meer zeewaarts vooral uit fijn en middelgrof zand bestaan. Terwijl meer kustwaarts de zandfractie steeds fijner wordt, is voor de kust het zand slibhoudend. Slib concentreert zich in de vaargeulen naar Zeebrugge en Westerschelde, en voor de Belgische kust.

Metingen uitgevoerd met Roxann-classificatiemethode tonen een hoog slibgehalte aan, maar er moet rekening gehouden worden met de mobiele kenmerken van de slibmassa. Dit betekent dat deze sedimentmassa's, door hun grote mobiliteit, als een dens fluidum over de zeebodem als het ware migreren onder invloed van de stromen. Hierdoor is het moeilijk om de juiste grootte of extensie te bepalen van deze slibvelden.

Sedimentbalans

Kwantitatief werd uit de studie "Sedimentbalansen en Slibcirculaties" (MBS460/87.0507, Haecon) een sedimentbalans opgemaakt uit de verschillende beschikbare gegevens:

- totale sedimentaanvoer in de gehele Noordzee, vanuit oceanen en rivieren: 23.000.000 ton/jaar;
- stroomopwaarts transport in de Westerschelde: 1.000.000 ton/jaar;
- sedimentdebiet van Westerschelde naar Zee: 100.000 ton/jaar.

Het totale kustlangse transport in noordoostelijke richting zou 7.000.000 ton/jaar bedragen, waarvan een deel in de havens en vaargeulen sedimenteert. Dit sediment wordt op zijn beurt gebaggerd en gedumpt, waarbij een deel terug in circulatie gaat.

3.3.2 Zeebrugge

Een voorafgaande seismische studie van het gebied rond Zeebrugge heeft een belangrijk kenmerk aan het licht gebracht. Onder een dun Quartair (lokaal slechts 1 m dikte) dek van sedimenten afgezet onder sterk afwisselende en energetische getijdenstromen schuilt over een lengte van 400 m de Bartoon klei. Dit lithologisch lichaam met een maximale dikte van een 50 tal m, vertegenwoordigt een vlakte met erosiebestendigheid.

De bouw van de nieuwe strekarmen bleek nochtans de vorming van belangrijke erosieputten tot gevolg te hebben nabij de dammen. De bron van erosie was de aanwezigheid van harde structuren die de stromen meer turbulent maakten, waardoor de transportcapaciteit van de stromen verhoogd wordt. Dit fenomeen wordt versterkt door intensieve golfwerking en dit vooral tijdens stormen.

Op basis van bathymetrische data werd een schatting gemaakt van de hoeveelheid getransporteerd materiaal. Er werd tevens ook vastgesteld (tracerstudies, STA) dat de invloedszone van infrastructuurwerken op schaal van Zeebrugge zich kan uitstrekken in een gebied van ca. 100km² rond het havengebied. De berekende maximale sedimentfluxen die ontstaan in de beschouwde invloedszone ten gevolge van de zeehaven wordt geschat op 1.000.000m³ of meer op jaarbasis.

In de bufferzone Heist, gelegen aan de lijzijde van de oostelijke strekarm van de haven van Zeebrugge, is er een vrij continue aanwas van sedimenten geconstateerd, met een vloedoverschot in de onmiddellijke omgeving van de strekarm. Bij kentering zal de volledige zandfractie in suspensie sedimenteren en 80 à 90% van de slibfractie. Bij stormen zijn de stromen te sterk in deze zone om sedimentatie toe te laten.

3.3.3 Geulen

De Appelzak

Het vergelijken van oude en recente bathymetrische kaarten toont duidelijk het positief effect van zandsuppleties op de stabiliteit van de stranden aan de Oostkust. Hierbij werd de erosie van het strand weliswaar afgeremd, en de sedimenten die kunstmatig aangevoerd werden zullen bij erosie in de Appelzak opgevangen worden die fungeert als een sedimentval. Toch is deze verondieping slechts van tijdelijke aard. De Appelzak blijkt sinds de aanleg van de nieuwe zeehaven Zeebrugge een erosieve ebgeul te zijn. Door de nieuwe havendammen wordt de kustwaartse stroom afgebogen langs de kust en versterkt. Dit zorgt ervoor dat de sedimenten die in de geul belanden uitgewassen worden en getransporteerd worden naar de Nederlandse kust toe.

De sedimentstroom wordt deels afgetakt in de Zwinggeul die aan het verzanden is. De Appelzak is voor de Nederlandse kust gereduceerd tot een kleine, amper observeerbare depressie van de zeebodem. In de Appelzak worden er ook mobiele slibafzettingen (slibvang, recirculatie van baggerspecie) geobserveerd.

Op sedimentdynamisch vlak is transport ten gevolge van getijden beperkt aan de dwarszijden van de geul. Aan het westelijke uiteinde van de Appelzak is er wel een beperkt kustwaarts transport ($0,05\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$ of $1\text{m}/\text{dag}$) geïnduceerd door de aanwezige golfslag. Bij zwaar stormweer en springtij treedt vloedgericht transport op in de Appelzak. De sedimentsamenstelling is zeer heterogeen en het transport behoort tot de grootteorde van $2,5\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$ (dit is een transportsnelheid van $35\text{m}/\text{dag}$).

Wielingen-Scheur

De verdieping van de Wielingen-Scheur en de aanhoudende onderhoudsbaggerwerken hebben geleid tot een vervroeging van het getij in de Westerschelde. In de geul is de stroomsterkte toegenomen en het verticale getij is in amplitude toegenomen. Verdere uitdieping van de geul door natuurlijke processen wordt echter sterk vertraagd door de aanwezige lithologie.

De bodem van de geul snijdt de Boomse klei aan die gekenmerkt wordt door een hoge erosieresistentie.

In de Westerscheldemonding zijn er morfologische vormen die als obstakels fungeren voor de aanwezige transportrichtingen. Zo is er op de Vlake van de Raan en het Bankje van Zoutelande een landwaarts transport voorhanden, beide geïnduceerd door een reststroom. Deze landwaartse transporten kunnen wel tenietgedaan worden door retourstromen tijdens zware stormen.

Pas van het Zand

De Pas van het Zand vormt een sedimentvang voor de omliggende gebieden. De sedimentverrijking in de geul bestaat vooral uit slib. Via de geul migreert het slib naar de zeehavens en de kuststrook toe en de Westerschelde in.

Tijdens de verbouwingswerken is de sedimenttransportresultante over het Pas van het Zand geëvolueerd van een eboverschot naar een vloedoverschot. Ook constateerde men dat het resulterend suspensietransport over de geul met een factor 5 was toegenomen, ten opzichte van de periode voor de expansie. Dit betekent dat de Oostkust onderhevig is (situatie 1983) aan een belangrijke aanvoer van slibmateriaal, becijferd op 61.840 kg/m per getij. Een gedeelte zal sedimenteren in een neer voor Heist, een andere gedeelte zal gevangen worden in de ontmoetingszone gelegen voor de Oostkust ("Sedimentbalansen en slibcirculaties", Haecon, 1983,).

3.3.4 Kuststrook

Strandstrook: algemeen

In het kader van een observatieprogramma voor de morfologische evolutie van de Belgische kust laat het Ministerie van het Vlaamse Gemeenschap, Administratie Waterwegen en Zeewezen, afdeling Waterwegen Kust op regelmatige basis luchtfotografische opnamen uitvoeren van duin, strand en vooroever. Door middel van fotogrammetrische berekeningen worden de volumeveranderingen van de strandstrook (het gebied gelegen tussen de z +7 m aan de landzijde van de duinreep en de vooroever voet gelegen op z -4 m en NAP = z +2,411m) afgeleid. De hier besproken gegevens zijn de algemene trends van strandvermindering en -toename zoals geobserveerd tussen 1979 en 1997.

- Het strand te **Blankenberge** groeit aan sinds 1984. Dit is deels het gevolg van menselijke ingrepen (verstevingingswerken strandhoofden, jaarlijkse badstrandverhogingen zonder aanvoer van alloctoon zand) en waarschijnlijk ook deels het gevolg van een natuurlijke trendomslag. Of het eerste induceert het tweede. Ondanks de stormafslag van 1990 en 1993 is het aangroeiritme constant over de periode 1984-1997 en bedraagt circa 12m³/m per jaar.
- Het strand te **Zeebrugge** kent een constante aangroei sinds 1979 dat becijferd kan worden op 945.600m³ zand. Het aangroeiritme ligt in de orde van 30m³/m per jaar.
- Het strand van **Heist** kende tot in 1986 een beduidende aangroei, deels door suppleties (1979, 1993-1994) en deels door natuurlijke aangroei. Het volume van het nat- en droogstrand (z +1,5m < natstrand < z +4,5m ; z +4,5m < droogstrand < z +7m en NAP = z +2,411m) is nu verminderd met circa 145.500m³.
- Het strand tussen **Duinbergen tot het Zwin** is erosief. De erosie was het meest intens in de periode 1979-1987 en vooral ter hoogte van Knokke aan Zee (Lekkerbek). Thans is de erosie sterk in intensiteit verminderd, maar niet herleid tot nul. De duinen van het kustdeel 'Zwin' groeiden tussen 1979 en 1987 lineair in de tijd aan.
- Het in 1986 opgespoten zand op het strand van **Knokke-Zoute** was reeds weggeërodeerd in 1991. De afslagintensiteit is sterk verminderd, hoewel het strand er nog steeds erosie ondergaat, met een intensiteit van 8m³/m kustlengte per jaar.

- Het *Zwinmondingsgebied* en zijn zandvang werd in het voorjaar 1997 voor de vierde maal heruitgegraven. 90.000m³ zand werd toen gewonnen, dat toen gebruikt werd voor suppletie op Nederlandse kustdelen. De ontwikkeling van een zandtong in sectie 74, aan de Nederlandse zijde van de Zvingeul, toont dat het gesuppleerde zand door de natuurlijke morfologische transportprocessen terugkeert in de richting van de Zvingeul en de zandvang. Kwantitatief is dit transport thans nog niet bepaald, louter kwalitatief.

Oostende

Harde verdedigingsstructuren aan het strand van Oostende hebben geleid tot het bijna complete wegeroderen van de aanwezige strandzone. Het is waarschijnlijk dat deze sedimenten zich verplaatsen in richting van de vaargeul of toegangseul van de haven van Oostende. Ook hier hebben vooral stormcondities vernielende gevolgen op de kuststrook.

Oostkust (oostwaarts van Zeebrugge)

De erosiemechanismen langs de Belgische kuststrook lijken geïnduceerd door een dominante vloedstroom die parallel verloopt aan de kust en die op zijn beurt een oostwaartse littorale drift veroorzaakt. De haven van Zeebrugge zelf zorgt voor een soort hindernis van de langse kuststromen. Beide effecten gecombineerd, en het wegvoeren van de geërodeerde kustsedimenten langs de Appelpak (zodat recirculatie van de sedimenten via de kustwaartse stroom ingedijkt wordt) zorgen voor een vrij sterke kusterosie langs de Oostkust, en dit vooral ter hoogte van Knokke.

Kwalitatief gezien is dus het netto-transport oostwaarts gericht bij vloed (hoogstrand). Dwarstransport van de swash-zone naar de Appelpak treedt op tijdens stormweer. Deze sedimenten worden zoals hierboven vermeld is met long-shore current naar de Nederlandse grens vervoerd. Kwantitatief heeft men enkel waarden van het netto-transport in rustige weersomstandigheden (<5BF) en deze bedragen 0,045m³/m/dag. Voor een laagstrand dat 250m breed is, is de hoeveelheid sediment verplaatst op een dag 11,25m³.

Gemiddeld bedraagt de snelheid van het transport 1 à 2m per dag, met piekwaarden tot 9m ter hoogte van Heist (oostkant). Dwarstransport, met sedimentatie of erosie van het strandgedeelte tot gevolg, is dominant tijdens stormen.

4 DISCUSSIE

4.1 VOORKOMEN VAN EEN TURBIDITEITSMAXIMUM EN RECIRCULATIE

Verschillende onderzoeken wijzen op het voorkomen van een turbiditeitsmaximum voor de Belgische kust. Voor de Belgische kust blijkt een zone voor te komen met kustwaarts gericht residueel transport. Met STA analyse onderscheidt deze zone zich via de zogenaamde equipartitielijn vrij scherp van een zeewaartse zone die gekenmerkt is door residuele kustparallele stroming en transport. De interpretatie wordt bevestigd door mathematisch modelonderzoek en door tracerexperimenten. De experimenten wijzen op de beperkte sedimentuitwisseling van de Belgische kustzone met de rest van de Noordzee, onder normale hydrologische omstandigheden. Bovendien wordt de zeebodem als het ware afgesloten door de slibvelden waardoor de uitwisseling verder bemoeilijkt wordt. Het voorkomen van de Vlaamse banken voor de Belgische kust is een mogelijke verklaring voor het contrast met de sedimentdynamiek voor de Nederlandse kust ten noorden van de Westerscheldemond.

De meeste studies werden uitgevoerd omwille van de problematiek van de recirculatie van baggerslib, en onder meer de recirculatietracerproeven geven enkel uitsluitsel over het transportgedrag van slib. Het kustwaartse residueel transport is echter niet beperkt tot slib. Dit wezen bijvoorbeeld de mathematische modellen uit, maar vooral de STA-studie levert hiervoor goede indicaties. De STA werd immers uitgevoerd op totaal sediment, waarbij het aantal slibstalen beperkt is, ten opzichte van zandstalen.

De tracerproeven geven aan dat tijdens stormcondities wel veranderingen in het transportbeeld optreden. Er vindt wel degelijk uitwisseling plaats met de rest van de Noordzee. Ook de modellen wijzen op de veranderde stromingscondities. De slibvelden die zich voor de Belgische kust bevinden, worden weliswaar tijdens stormen opgewoeld en verplaatst, maar blijven toch in het recirculatiegebied. Het STA-onderzoek wijst er op dat het nettoresultaat, het residueel transport, kustwaarts gericht is.

Aanbevelingen

- aan de hand van een nieuwe staalnamecampagne voor de Belgische kust en de Westerschelde zou een ST-Analyse specifiek uitgevoerd kunnen worden om de uitwisselingstrend (richting en relatieve benadering van grootteordes) tussen beide te onderzoeken,
- ook het uitvoeren van radioactieve tracerproeven in het overgangsgebied tussen Westerschelde en Noordzee kunnen bijdragen tot de studie van de uitwisseling. Hierbij kan men zich concentreren op de mobiliteit van de slibvelden, die kunnen opgespoord worden met de Roxann echosounder met het oog op een efficiëntere bemonstering. Kleine hoeveelheden van zeer zwak radioactief materiaal is reeds voldoende voor het detecteren van het materiaal, na recirculatie, uitdunning en monsternamen.

4.2 SEDIMENTATIE- EN EROSIEPATRONEN, MORFOLOGISCHE VERANDERINGEN

Sedert de jaren zestig is de bathymetrie van de Belgisch Oostkust goed opgevolgd, aan de hand van verschilkaarten. Vooral de directe menselijke ingrepen zijn goed herkenbaar. Met name vallen de verdieping van de toegangseulen tot de Westerschelde en kusthavens, het Scheur en de Pas van het Zand, op. Vanzelfsprekend springt de uitbouw van de haven van Zeebrugge in het oog. Andere menselijke ingrepen zoals het leggen van pijpleidingen en telecommunicatiekabels dateren van na de periode bestudeerd met verschilkaarten. Bij de baggerstortplaatsen vindt over het algemeen een accumulatie plaats. Deze staat echter niet in verhouding tot de gestorte hoeveelheden. Hier speelt de recirculatie voor de Belgische kust een belangrijke rol. Toch wordt een belangrijke aangroei waargenomen ten noorden van stortplaats S1, bij de verdieping aan de noordrand van de vlakte van de Raan.

De belangrijkste sedimentatie- en erosiepatronen buiten de gebieden van deze directe menselijke ingrepen komen voor langs de kust ten westen van Zeebrugge, met name in de zone rond de Appelzak. De oorzaken van de verandering in sedimentatie- en erosiepatronen is echter wel bepaald door menselijke ingrepen in de nabuurgebieden, met name de uitbouw van de haven van Zeebrugge en kustverdedigingswerken.

De aanleg van de "Môle" voor Zeebrugge heeft al van in het begin invloed gehad op de stromingen, en in het bijzonder de stromingen langs de Oostkust. De verhoogde stromingen zouden aan de basis liggen van het verdiepen, en het verbreden van de Appelzak. De erosie tussen Heist en het Zwin leidde tot het versmallen van de recreatieve kuststrook. Dit fenomeen was de aanzet tot de strandsuppletiecampagnes van de jaren 70. Deze vielen samen met de infrastructuurswerken aan de haven van Zeebrugge.

Het is waarschijnlijk dat het geërodeerde sediment via de Appelzak naar noordoostelijke richting werd gebracht, en dit droeg wellicht bij tot het geleidelijke verdwijnen van geulen voor en bij de Nederlandse kustwateren en in de voordelta van de Westerschelde, namelijk Deurloo en Spleet, en de Zwingel.

Verschilkaarten tonen het positieve effect van de strandsuppleties op de stabiliteit van de Oostkust. De Appelzak vangt het geërodeerd sediment op, de verondieping die daardoor optreedt is van tijdelijke aard. De Appelzak is sedert de uitbouw van de haven van Zeebrugge geëvolueerd tot een erosieve ebgeul. Door de havendammen wordt de kustwaartse stroming langs de kust gedeflecteerd en versterkt, waardoor de sedimenten die in de geul terechtkomen naar de Nederlandse kustwateren getransporteerd worden ($2,5\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$). Deze stroming wordt gedeeltelijk naar het Zwin afgetakt, en draagt bij tot de verzanding. Bij laagstrand echter is er een zuidwestwaarts gericht transport. Dit transport, dat vooral lijkt op te treden bij rustige weersomstandigheden draagt toe aan de accumulatie van zand aan de westelijke Heist-strand (ongeveer 355.000 ton/jaar).

De modelstudies lijken ook te wijzen op een verschuiven van een accumulatiezone ten oosten van Zeebrugge naar een gebied ten westen van Zeebrugge (Paardenmarkt, voorkust Knokke).

De heersende hydrologische omstandigheden bepalen in belangrijke mate de stromingen en golven die aan de basis liggen van transport. Modellen wijzen er op dat transport vooral tijdens stormen plaatsvindt. Dit doet echter niets af aan de met STA vastgestelde residuele transportrichtingen en -groottes. Het totaal langtransport naar Nederlandse kustwateren wordt geschat op 7.000.000 ton per jaar (cfr. Van Alphen), maar dit zegt niets over het residueel transport.

De erosiemechanismen langs de Belgische kuststrook lijken geïnduceerd door een dominante vloedstroom die parallel verloopt aan de kust en die op zijn beurt een oostwaartse littorale drift veroorzaakt. De haven van Zeebrugge zelf zorgt voor een soort hindernis van de langse kuststromen. Beide effecten gecombineerd, en het wegvoeren van de geërodeerde kustsedimenten langs de Appelzak (zodat recirculatie van de sedimenten via

de kustwaartse stroom ingedijkt wordt) zorgen voor een vrij sterke kusterosie langs de Oostkust, en dit vooral ter hoogte van Knokke.

Kwalitatief gezien is dus het netto-transport oostwaarts gericht bij vloed (hoogstrand). Dwarstransport van de swash-zone naar de Appelzak treedt op tijdens stormweer. Deze sedimenten worden zoals hierboven vermeld is met long-shore current naar de Nederlandse grens vervoerd. Kwantitief heeft men enkel waarden van het netto-transport in rustige weersomstandigheden (<5BF) en deze bedragen 0,045m³/m/dag. Kustwaarts transport, met sedimentatie of erosie van het strandgedeelte tot gevolg, is dominant tijdens stormen.

Aanbevelingen

- nieuwe bathymetrische verschilkaarten van de Belgische Oostkust zouden toelaten volumeberekeningen uit te voeren om erosie- en sedimentatiepatronen te bestuderen en de morfologische evolutie na te gaan.

4.3 SEDIMENTBALANS EN TRANSPORT OVER DE GRENS

Uit de globale sedimentbalans blijkt de totale sedimentaanvoer (van oceaan, rivieren, enz.) in de Noordzee 23.000.000 ton/jaar te bedragen. Het jaarlijks stroomopwaarts transport in de Westerschelde wordt op 1.000.000 ton per jaar geschat, terwijl de bijdrage van het sedimentdebiet van de Westerschelde tot de Noordzee zich beperkt tot 100.000 ton per jaar.

Tegen de kust blijkt volgens modellen het effect van de uitbouw van de haven van Zeebrugge op stromingen voor de Belgisch-Nederlandse grens beperkt te blijven.

Volgens STA en modellen is er een noordoostwaarts gericht transport ten noorden van de zogenaamde equipartitielijn.

Het totale langstransport in noordoostelijke richting zou 7.000.000 ton per jaar bedragen (Van Alphen, 1990).

Aanbevelingen

- op basis van de gegevens van een nieuwe staalnamecampagne ten behoeve van het recirculatieonderzoek zou tevens een geactualiseerde sedimentbalans kunnen afgeleid worden voor het onderzochte gebied.

4.4 LANGSTRANSPORT

Langs de kuststrook gebeurt transport enkel via golfslag. Tussen Duinbergen en Cadzand is de stranddrift Oostwaarts gericht, die blijkt te variëren tussen 2 en 7 kilometer per jaar. De erosie onder invloed van de stranddrift werd voor de periode 1977 tot 1982 geschat in de grootte-orde van 150.000 tot 200.000 m³ per jaar.

De havengeul van Cadzand blijkt een belangrijke rol te spelen in het uitfilteren van de grove fractie. Dit is in overeenstemming met de grootte-orde van de sedimenthoeveelheden die jaarlijks gevangen worden over de Belgische kust in de haventoeegangseulen (vb. Voor Nieuwpoort is dat 50 à 100.000 m³/jaar). Hoe dan ook werd voor de uitbouw van Zeebrugge plaatselijk een zuidwestwaarts gerichte drift waargenomen te Heist, die toegeschreven werd aan de evolutie van de Appelzak van vloed- naar ebgeul.

Het totale langstransport in noordoostelijke richting zou 7.000.000 ton per jaar bedragen. De bijdrage van de hierboven voorgestelde processen in de strand en nabije kustzone is dus eerder beperkt.

Aanbevelingen:

- topografische verschilkaarten van de strandstrook (laagstrand, hoogstrand, strandwal) zouden kunnen gebruikt worden voor het kwantitatief bepalen van geërodeerde volumes zand langs de kuststrook,
- dit vorige gecombineerd met zandtracerproeven, waarbij grofkorrelig zand gebruikt bij de tweede strandsuppletie (1986), wordt opgespoord, zou een goed beeld kunnen geven van de transportroutes langs de Oostkust. Hierbij wordt in het bijzonder gedacht om bemonstering van materiaal uit te voeren ter hoogte van de Zwingel en de Appelzak voor de Nederlandse kuststrook. De granulometrische kenmerken (het grofkorrelig zand van de strandsuppletie) van het bemonsterd materiaal zou suppletie oorsprong van het zand kunnen weerspiegelen, tenminste als het sediment langs de Oostkust geërodeerd werd,
- fluorescentietracerproeven met repetitieve injecties op laag- en hoogstrand zouden een ondubbelzinnig patroon kunnen opleveren van sedimentbewegingen aan de voorkust,
- het belang van de Appelzak in het langstransport, zou kunnen worden nagegaan door het uitvoeren van radioactieve injectietracerproeven in verschillende zones van de Appelzak.

4.5 EFFECTEN VAN DE UITBOUW VAN DE HAVEN VAN ZEEBRUGGE

De aanleg van de "Môle" heeft een belangrijke invloed gehad op de stromingen voor de Belgische Oostkust. Deze werden boven besproken.

De studies met betrekking tot de uitbouw van de haven aan het eind van de jaren zeventig, wijzen in de eerste plaats op locale hydrodynamische veranderingen. De aanwezigheid van havendammen leidde effectief tot meer turbulente stroming met verhoogde transportcapaciteit. Hierdoor zijn plaatselijk belangrijke erosieputten ontstaan.

De uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft ook tot gevolg dat de Appelzak evolueerde tot een erosieve ebgeul. De havendammen hebben de kustwaartse stroming langs de kust afgebogen en versterkt, waardoor de sedimenten die in de Appelzak terechtkomen naar de Nederlandse kustwateren getransporteerd worden. Hetgeen bijdraagt tot de hoger besproken accumulatie ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens. Ook de verzanding van de Zwingel wordt hierdoor geaccentueerd.

Aanbevelingen

- om de uiteindelijke invloed van de uitbouw van de haven van Zeebrugge na te gaan lijkt het interessant een nieuwe meetcampagne uit te voeren met als doel het opstellen van actuele hydrodynamische kaarten van de Belgische kustwateren. Door deze gegevens te vergelijken met de pre-uitbouwgegevens heeft men al een eerste indruk van de veranderingen. Hoe dan ook lijkt het onmogelijk om veranderingen enkel toe te schrijven aan de uitbouw van de haven, daar de zone te veel door menselijke ingrepen wordt gekenmerkt (bagger- en stortwerken, kustdefensie, infrastructuur).

4.6 EFFECTEN VAN BAGGERWERKEN, VERANDERINGEN VAN HET GETIJ

De verdieping van de Wielingen-Scheur en de aanhoudende onderhoudsbaggerwerken hebben geleid tot een vervroeging van het getij in de Westerschelde. In de geul is de stroomsterkte toegenomen en het verticale getij is in amplitude toegenomen.

Verdere uitdieping van de geul door natuurlijke processen wordt echter sterk vertraagd door de aanwezige lithologie. De bodem van de geul snijdt in de Boomse klei die gekenmerkt wordt door een hoge erosieresistentie.

Waar volgens de modellen ten gevolge van de uitbouw van de haven van Zeebrugge geen belangrijke stromingsveranderingen optreden ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens, zou de verdieping van het Scheur wel voor perturbatie kunnen zorgen ter hoogte van het Zwin (Nihoul C.J., Runday, 1979). Dit zou volgens deze modellen tot een afzwakking van de stromingen kunnen leiden, met verzanding als gevolg.

De invloed van de verdieping van de Scheur zou volgens deze modellen in de Westerschelde leiden tot een maximale verhoging van het tijamplitude met een 15 cm, terwijl de bijdrage tot een perturbatie van de debieten (zowel negatief als positief) tot maximaal 5% zouden leiden.

5 AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek blijkt dat er nog heel wat leemtes in kennis bestaan inzake de sedimentbewegingen in dit deel van de Noordzee en hun wisselwerking in relatie tot belangrijke beleidsacties zoals de kustverdediging, de baggerwerken en het milieubeleid.

Daarom worden hierna een reeks aanbevelingen voor aanvullend onderzoek geformuleerd, die tevens een betere beslissingsname mogelijk moet maken aangaande :

- een optimaal kustverdedigingsbeleid dat een beter beheer toelaat van de beschikbare sedimentreserves in de toekomst;
- een optimaal beheer van de verdiepings- en onderhoudsbaggerwerken in de Westerschelde-mond;
- een optimaal beheer van de milieueffecten.

5.1 OPTIMAAL KUSTVERDEDIGINGSBELEID

Uit het onderzoek blijkt dat zowel langs- als dwarsstromen van sediment een invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de kuststroken. Meer specifiek staat de strandwal (Nat en Droog Strand + Duingordel) in een gevoelig evenwicht met enerzijds de beschikbare zandreserves (waarvan de meerderheid van mariene oorsprong is) en anderzijds de hydrodynamische krachten. Het blijkt ook dat thans uitermate weinig terreinkennis aanwezig is over de exacte sedimentbalans tussen Zeebodem, Vooroever en Strandwal; veel conclusies en beleidsbeslissingen worden genomen op basis van veronderstellingen, interpretaties van observaties en mathematische simulaties die vaak geen grondige terreinvalidatie genoten. Een voorbeeld hiervan is de grote Noordoostelijke zandstroom door langstransport langs de Noordfranse, Belgische en Nederlandse kusten, die overal in wetenschappelijke literatuur vermeld wordt, maar in feite nooit opgemeten werd (en vermoedelijk ook niet bestaat).

Aangezien de exacte kennis van de herkomst en de bestemming van het strandzand de belangrijkste parameter vormt inzake de oordeelkundige selectie van de meest geschikte kustverdedigingsmaatregel, verdient het aanbeveling om hieraan een bijzonder onderzoeksprogramma te wijden. Dit onderzoek moet uiteraard een grensoverschrijdend karakter hebben en een

integrale aanpak krijgen van alle processen : zeespiegelstand (+ variaties), golfklimaat (+ transformatie bij kustnadering) en golfstromingen, getijdenstromingen, windklimaat en geologie van de kuststrook. Tevens moeten de menselijke ingrepen nauw omschreven worden teneinde de effecten op zowel drijvende krachten als beschikbare (zand-)reserves goed in te schatten : hierbij wordt gedacht aan havenmonden, spuriolen, nabijheid van stortplaatsen van fijnkorrelige cohesieve baggerspecie (die kustwaarts migrerende 'voedende' zandtransporten zouden kunnen onderscheppen), kustverdedigingswerken, zandwinningen (op strand en op zee), baggerwerken, ...

Omdat dergelijk onderzoek slechts zin heeft met een complete kennis van de richting en intensiteit van de zandstroom, behoeft het de aanbeveling een onderzoeksprogramma uit te voeren, afgestemd op een grondige inventarisatie in nauwe samenwerking met de betrokken diensten van de Rijkswaterstaat (Directie Zeeland, RIKZ, ...).

Dit onderzoek dient opgesplitst te worden in een bureaustudie en een veldstudie.

De bureaustudie zou volgende elementen moeten omvatten :

- een uitbreiding van de literatuurstudie naar Nederlandse zijde met de Rijkswaterstaat;
- een gedetailleerde zandbalans aan de hand van gecombineerde fotogrammetrische / topografische / peilwaarnemingen van vooroever, strand en duin (+ gekwantificeerde verschilkaarten met densiteit-correctie); ook moet dit in tijdreeks en/of planzicht toelaten om de zgn. 'Zandgolven' beter te identificeren;
- een correlatie-analyse tussen de tijdreeksen van respectievelijk de hydrometeo-omstandigheden en de zandbalans, strandprofielen teneinde de wetmatigheden van zandaanvoer, zandverlies, versteiling van de strandwal, ... beter te bepalen.

In de veldstudie moeten volgende elementen begrepen zijn :

- semi-continue tracerproeven met gemerkt zand op zowel vooroever als nat en droog strand gekoppeld aan een simultane opname van wind (+ eolisch transport), golfklimaat (inclusief processen in de brekerzone met behulp van WESP-metingen – Nederlands Water En Strand Profiler; dit is de equivalent van de CRAB of COASTAL Research Amphibious Buggy); deze proeven hebben dan als voornaamste doel te komen tot een exacte kwantificering van langs-, dwarstransport en eolisch transport;
- detailbemonsteringen (oppervlaktemonsters en boringen tot 30 m diep) van de betrokken kuststroken met gedetailleerde granulometrische

- analysen en verwerking door middel van Sediment Trend Analyse teneinde de langetermijn residuele transportrichtingen bevestigd te zien;
- mineralogische analyses van de zandmonsters gekoppeld met Foraminiferenanalyse om herkomstfamilies te bevestigen;
 - 'bed-load' tracerproeven teneinde het sedimenttransport op zee en de wisselwerking Zee/Strand (+ alle storende invloeden, natuurlijke en/of menselijke) te bepalen.

Dit terreinonderzoek is duidelijk positiegebonden ten opzichte van strand vooroever en zeebodem. Deze relatie wordt weergegeven in Tabel 5-1.

<u>Veldstudie</u>	<u>Strand</u>	<u>Vooroever</u>	<u>Zeebodem</u>
Correlatie-analyse	X		
Semicontinue tracer	X		
WESP	X		
Bemonstering (incl. mineralogische en foraminiferenanalyse)	X	X	
STA		X	
Zandbalans		X	X
Bed-load tracer		X ^(*)	X

(*) wordt wellicht niet toegestaan

Tabel 5-1
Relatie tussen studie- en veldtypen

Alleen in België wordt al circa 20 MEuro/jaar gespendeerd aan het onderhoud en de bouw van nieuwe kustverdedigingswerken. De meerwaarde die soortgelijk onderzoek mee zal brengen is als volgt samen te vatten :

- valorisatie van de bestaande kennis;
- optimalisatie van het ontwerp en de planning van de toekomstige kustverdedigingswerken (sommige werken zouden misschien ofwel te vroeg ofwel te laat uitgevoerd geweest zijn, of met een totaal onaangepast ontwerp dat geen rekening houdt met de regionale en/of langetermijnontwikkeling of zelfs helemaal overbodig zijn);
- beter beheer van het kapitaal 'Zand' voor de toekomst (het is de laatste 20 jaar duidelijk geworden dat deze reserves niet onuitputtelijk zijn en dat de zandhonger of het tekort aan zand (door o.a. erosie) niet steeds met een voldoende aanbod gecompenseerd wordt om tegemoet te komen aan de eisen van kustverdediging en toerisme);
- beter integraal beleid door het mede beheren van mogelijke storende menselijke ingrepen en/of activiteiten.

5.2 OPTIMALISATIE VAN DE BAGGERWERKEN IN DE WESTERSCHELDE-MOND

Het is duidelijk dat de huidige productiecapaciteit van moderne baggerschepen veruit de natuurlijke processen overtreft. Toch blijkt het dat uit de vrij belangrijke transportafstanden tussen baggersite en stortlocatie (vaak meer dan 15 km en soms zelfs 40 km), alsmede uit de aanzienlijke segregatiemechanismen (natuurlijke zandscheiding) die optreden bij het aquatisch bergen van zand-/slibmengsels, dat de menselijke ingreep op de natuurlijke sedimentbalans en zand-/slibuitwisselingen significant is. Op zichzelf beschouwd is het verdiepen en onderhouden van de vaarpassen waarschijnlijk wel een noodzaak voor de economische expansie van het maritiem trafiek; doch de neveneffecten van een onaangepast 'Sediment Management' kunnen op langere termijn ook heel wat (negatieve) economische impact hebben. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan de progressieve oververzadiging van bepaalde stortplaatsen in zee of in het estuarium en die nu steeds grotere transportafstanden (en dus hogere prijzen) induceren.

De jaarlijkse kosten voor het onderhoud van de maritieme vaarwegen is thans in de orde van grootte van 100 MEuro/jaar en impliceert het nat grondverzet van ca. 20 Mm³ zand per jaar en ca. 25 à 30 Mm³ slib per jaar in de Westerschelde en de Westerschelde-mond, terwijl de natuurlijke morfologische bewegingen amper 40 Mm³/jaar bedragen (met inbegrip van de verondiepingen der stortplaatsen en de verdiepingen van de geulen).

De impact van deze werken op de totale zandbalans om en rond de Westerschelde-mond is onbekend en dit geldt zowel voor de mobiele zandhoeveelheden op de zeebodem als deze op de stranden. Deze regionale problematiek vergt een geëigende aanpak waarbij zowel Westerschelde-estuarium als Westerschelde-mond als één geheel bekeken en doorlicht worden.

Om bovenstaande beheerselementen van de zandreserves mogelijk te maken en te ondersteunen moeten de volgende aspecten op het terrein onderzocht worden via een integrale aanpak die tevens toelaat een onderscheid te maken tussen zand- en slibtransport :

- de residuele zandmigratie (richting en intensiteit) in zowel eb- als vloedscharen; dit kan gebeuren door een reeks oordeelkundig gekozen tracerproeven en sedimenttransportmetingen over de volledige vertikaal (zowel suspensie als bodemtransport);
- de slibuitwisseling tussen de Westerschelde en de Westerschelde-mond : dit kan door de zogenaamde recirculatietracertechniek (door Haecon in 1988 op punt gezet) en/of de meer recente activatietracertechniek; hiermede wordt vooral beoogd om de onderhoudsbaggerwerken (zowel bagger als stortwerkzaamheden) beter te plannen in functie van de hydrometeorologische omstandigheden en van de beschikbare bergingscapaciteit;
- de regionale morfodynamica door de integratie van zoveel mogelijk (simultane of quasi simultane) peilgegevens en deze te verwerken met behulp van verschilkaarten; verschilvolumes worden dan berekend en gecorrigeerd voor densiteit; verschilvolumes in bagger-, respectievelijk stortvakken, worden vergeleken met de (over die bewuste periode) gerealiseerde productiecijfers, waaruit dan primaire bagger- en stortefficiëntie kunnen bepaald worden alsmede beschikbare bergingscapaciteiten;
- residuele transportrichtingen zouden met behulp van een aangepaste Sediment Trend Analyse (gebied van Rupelmonde tot Oostende) kunnen onderzocht worden ter ondersteuning van de hoger vermelde terreingegevens;
- aangepaste terreinwaarnemingen van de tijvoortplanting vanuit de Noordzee in de Westerschelde moeten toelaten om de stabiliteit van de scharen te toetsen in functie van de hydraulische gradiënten;
- de resultaten van het voorgestelde onderzoek zullen toelaten de technische en economische effecten van een nieuw stortplaatsbeleid te optimaliseren via parametrische modellen ;
- uiteraard leveren de resultaten van het onderzoek bijkomende randvoorwaarden en waarden voor de verbetering en validatie van mathematische modellen waarmee uitwisseling tussen verschillende sectoren bestudeerd kan worden.

5.3 OPTIMAAL BEHEER VAN MILIEUEFFECTEN

De grote menselijke ingrepen die de laatste 20 jaar gebeurd zijn in dit gebied (verdieping van geulen, uitbouw Haven van Zeebrugge, kustverdedigingswerken, sluiting zeegaten, stortwerkzaamheden, ...) hebben ongetwijfeld hun effecten gehad op de morfodynamica en de sedimentuitwisseling van het Estuarium. De indirecte effecten op het milieu worden ingeschat maar zijn in feite nooit in realiteit opgemeten. De kennis van deze effecten zou een onschatbare bron aan informatie kunnen betekenen voor andere in de buurt zijnde geplande projecten, zoals luchthavens in zee/estuarium, nieuwe opspuitgebieden (Maasvlakte II), ...

Deze kennis kan bekomen worden mits aangepaste meet- en onderzoeksprogramma's die afgestemd moeten worden op bestaand onderzoek zoals in dit rapport geïnventariseerd werd.

De morfodynamische effecten van grote waterbouwkundige werken kunnen het best bepaald worden door de situatie (zowel morfologie als sedimentologie) van vóór de werken te vergelijken met deze van na de werken, en dit tegen de achtergrond van hydrometeorologie, geologie en andere eventueel samenlopende menselijke (of natuurlijke) wijzigingen van het milieu. Derhalve vallen we hier terug op de aanbeveling van de vorige paragrafen, namelijk de opmaak van 'regionale' (bijvoorbeeld van Rupelmonde tot Oostende) verschilkaarten, lithologische/sedimentologische kaarten en de verwerking van deze info onder de vorm van sedimentbalans. De sequentie is ook van belang inzake te vergaren kennis, aangezien de tijdschaal het struikelblok is van de meeste sedimentologische simulaties.

Milieueffecten zijn vaak gebonden aan de vervuiliingsbronnen maar ook en in evenwaardige mate aan het gedrag van de drager van deze vervuiling, met name water of slib. Voor een estuarium zoals de Westerschelde is het duidelijk dat belangrijke milieueffecten ook te verwachten zijn bij grootschalige lithologische wijzigingen. Dit alles pleit voor een gedegen kennis van zand- en slibuitwisseling tussen estuarium en estuariummond : deze kennis is quasi onbestaande en louter gebaseerd op mineralogische en/of isotopische beschouwingen en geenszins gesteund op terreinonderzoek.

De betekenis van slibdekens (de besproken losgepakte slibafzettingen op de bodem) als zandvang verdient hierbij bijzondere aandacht. Omwille van zijn omvang zou dit fenomeen wel eens een belangrijk effect kunnen hebben op de morfologische impact van grote waterbouwkundige werken. Tevens zou dit slib een rol kunnen spelen in de relatie tussen lithologische wijzigingen en vervuiling en de verspreiding ervan.

Ook hier pleit Haecon voor een integrale onderzoeksanpak met behulp van tracers en verschilkaartanalyses.

6 LIJST DER BESTUDEERDE WERKEN

BASTIN, A. (1964) - Het gebruik van tracers voor sedimentologisch onderzoek, KULeuven, NV Haecon, voordracht voor het Geologisch Genootschap van het Technologisch Instituut, Antwerpen.

BASTIN, A. (1974) - Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en de Westerschelde, KULeuven, Proefschrift.

BASTIN A., CAILLOT A., MALHERBE B. - Zeebrugge Port Extension: Sediment Transport on and off the Belgian Coast by Means of Tracers, NV Haecon, Commissariat à l'Energie Atomique, Office des Rayonnements Ionisants, Saclay, France.

BMM, MINISTERIE VAN VOLKSGEZONDHEID EN LEEFMILIEU, DIENSTEN VAN DE VLAAMSE EXECUTIEVE, OPENBARE WERKEN EN VERKEER, BESTUUR DER WATERWEGEN EN VAN HET ZEEWEZEN (1980) - Ecologische effecten van de uitbouw van de haven van Zeebrugge.

BMM, MINISTERIE VAN VOLKSGEZONDHEID EN LEEFMILIEU, DIENSTEN VAN DE VLAAMSE EXECUTIEVE, OPENBARE WERKEN EN VERKEER, BESTUUR DER WATERWEGEN EN VAN HET ZEEWEZEN (1990) - Ecologische impact van baggerspecielossingen voor de Belgische Kust, conceptrapport.

BMM, MINISTERIE VAN VOLKSGEZONDHEID EN LEEFMILIEU, DIENSTEN VAN DE VLAAMSE EXECUTIEVE, OPENBARE WERKEN EN VERKEER, BESTUUR DER WATERWEGEN EN VAN HET ZEEWEZEN, HAECON (1994) - Baggerspecie verspreiding vanop de stortplaatsen in zee.

CHARLIER R.H., DE MEYER C. EN DECROO D. (1989) - Beach protection and restoration. Part 2: a perspective of soft methods, NV Haecon, Intern. J. Environmental Studies vol.33.

CHARLIER R.H., DE MEYER C. EN DECROO D. (1989) - Beach protection and restoration. Part 1: hard structures and beach erosion, NV Haecon, Intern J. Environmental Studies, vol.33.

DE MEYER C., CHARLIER R.H. (1993) - New developments on coastal protection along the Belgian Coast, NV Haecon.

DE MOOR G. (1989) - Maintenance on the Flemish Banks, Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologische Dienst, RUGent, the Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea.

EUROSENSE BELFOTOP NV, HAECON NV (1992) – Kustveiligheidsplan 2000: een beleidsplan voor het realiseren van een veilige kustverdediging, beleidsvoorbereidende nota. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kusthavens (Oostende).

FETTWEIS M. (1995) – Modelling currents and sediment transport, phenomena in shelf seas and estuaries, Proefschrift voor het behalen van het doctoraat in de toegepaste wetenschappen, KULeuven.

HAECON (1983) – Sedimentologie: sedimentologie van het strandzand aan de oost- en westkust van Zeebrugge, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, ZBO 83.2182.

HAECON (1983) – Sedimentbalansen en slibcirculaties: vorderingsnota bij de voorspellingen in de T-6 toestand, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, ZBO 83.1415.

HAECON (1986) - Optimalisatie der baggerwerken - Evaluatie der optimalisatie op basis van de resultaten bekomen in de eerste twee onderzoeksjaren, Ministerie van Openbare Werken Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, MOB321/86/3569.

HAECON (1987) – Sedimentbalans en Slibcirculaties. Inventaris van gegevens betreffende aan- en afvoer in het zuidelijk deel van de Noordzee, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, MBS460.87/0507.

HAECON (1988) - Optimalisatie van het Onderhoudsbaggersysteem Stortplaatsonderzoek Survey van stortplaatsen, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, MBS460/88/1834.

HAECON (1989) - Hydro-meteowaarnemingen in het Belgische Kustgebied en op het Belgisch Continentaal Plaat, Atlas, ZHA732/89.2577.

HAECON (1992) - Stortplaatsonderzoek Bijakte 1: Wetenschappelijke evaluatie van Sediment-Trend Analyse Technieken (STA), Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, ISS1165/00032.

HAECON (1992) - Stortplaatsonderzoek Bijakte 1 Raadpleging van bestaande databanken, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, ISS1165/00049.

HAECON (1992) - Stortplaatsonderzoek Identificatie en selectie van de te onderzoeken stortplaatsen, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00112.

HAECON (1992) - Stortplaatsonderzoek Identificatie en selectie van de te onderzoeken stortplaatsen, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00137.

HAECON (1993) - Stortplaatsonderzoek Bijakte 1 Sediment-Trend Analyse van geselecteerde data, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, ISS1165/00076.

HAECON (1993) - Stortplaatsonderzoek Identificatie en selectie van de te onderzoeken stortplaatsen Recirculatietracerproef Sx3, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00280.

HAECON (1993) - Stortplaatsonderzoek Identificatie en selectie van de te onderzoeken stortplaatsen, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00206.

HAECON (1993) - Stortplaatsonderzoek Recirculatieonderzoek Recirculatietracerproef Sx1 Synthese der meetresultaten, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00232.

HAECON (1994) - Stortplaatsonderzoek Bijakte 1 Eindrapport van de sedimenttrendanalyse: interpretatie van de STA-resultaten, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, ISS1165/00085.

HAECON (1994) - Stortplaatsonderzoek Bijakte 1 Syntheserapport Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, ISS1165/00065.

HAECON (1994) - Stortplaatsonderzoek Syntheserapport, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00390.

HAECON (1994) - Dumping site Research Synthesis Report, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00441.

HAECON (1994) - Stortplaatsonderzoek Recirculatieonderzoek Recirculatietracerproef Sx2 Synthese der meetresultaten, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00287.

HAECON (1995) - Stortplaatsonderzoek Recirculatieonderzoek Toetsing van complementaire methodes voor het beschrijven van het globale sedimentcirculatiesysteem, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00473.

HAECON (1995) - Stortplaatsonderzoek Stand van het Onderzoek op 30-03-95, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00508.

HAECON (1995) - Stortplaatsonderzoek, synthese Overzicht van het gepresteerde onderzoek en de rapportering, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00579.

HAECON (1995) - Stortplaatsonderzoek Recirculatieonderzoek Recirculatietracerproef Sx3 Synthese der meetresultaten, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00418.

HAECON (1997) - Haalbaarheidsonderzoek inzake stortplaatslocatie en stortplaatsinrichting. Rapport der oplossingen, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00667.

HAECON (1997) - Onderzoek Zeebodemsedimenten, Ministerie van Economische Zaken, Bestuur van Kwaliteit en Veiligheid, Belgisch Geologische Dienst.

HAECON (1998) - Onderzoek Zeebodemsedimenten, Ministerie van Economische Zaken, Bestuur van Kwaliteit en Veiligheid, Belgisch Geologische Dienst.

HAECON (1983-1985) - Kustevolutie, observatieprogramma kuststrook ten oosten en ten westen van Zeebrugge, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, NV Haecon.

HAECON - The cost-effectiveness of sedimentological studies in optimizing maintenance dredging.

HAECON (1995) - Recirculatietracerproef Sx4 aan de S1 en de Br & W Zeebrugge Oost - Synthese der meetresultaten, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, MSB0721/00566.

HAECON (1997) - Haalbaarheidsonderzoek inzake stortplaatslocatie en stortplaatsinrichting, Ministerie van Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen en Kust, NV Haecon.

HAECON, (1987) - Sedimentbalansen en slibcirculatie, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, MBS460/87.0507.

HAECON, COMMISSARIAT A L ÉNERGIE ATOMIQUE (1983) - Zeebrugge port extension, sediment transport measurement on and off the Belgian coast by means of tracers, 8th international Harbour Congress.

HAECON, MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN, BAGGERWERKEN DECLOEDT (1986) - Nautical bottom research and survey for optimization of dredging in mud areas, congres "Oceanology International", Oceanology, vol.6.

HENRIET J.P., BASTIN A., DE ROUCK J. (1978) - Integration of continuous seismic profiling in geotechnical investigations of the Belgian Coast, 7th international Harbour Congress, Haecon nv.

KERCKAERT, ROOVERS, DE CANDT, NOORDAM (1982) - Artificial beach re-nourishment on the Belgian Coast, Ministerie van Openbare Werken, T.V. Zeebouw-Zeezand, NV Haecon, 18th international conference on coastal engineering, Cape-town.

LAFORCE, E. (1979) - tijverzichtsmodel van de kust en het Schelde-estuarium, Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.

LAFORCE, E. (1980) - tijverzichtsmodel van de kust en het Schelde-estuarium. Onderzoek bouwfasen. 3de rapportering, Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.

LANCKNEUS, J. (1989) - A comparative study of sedimentological parameters of some superficial sediments on the Flemish Banks, Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologische Dienst, RUGent, the Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea.

MALHERBE B., BASTIN A., VAN MECHELEN D. HAECON NV (1983) - Sedimentologie: sedimentbalansen en slibcirculaties, kwantitatieve sedimentbalans, Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, ZBO T83.2563.

MALHERBE B., BASTIN A. HAECON NV (1983) - Sedimentbalansen en slibcirculaties: tijdsevolutie van de zandbank "Bol van Heist", Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, ZBO 83.3019.

MALHERBE B. (1984) - the influence of port structures on coastal sedimentation processes and maintenance dredging, Council of Europe, Intensive Course on Modeling and Management of Marine Systems, NV Haecon.

MALHERBE B. (1983) - L'influence des ouvrages portuaires sur la sedimentologie et les dragages du site, Séminaire sur les digues en mer, Casablanca, NV Haecon.

MALHERBE B. (1988) - Nucleaire, akoestische en mechanische meettechnieken van sedimenten ten behoeve van hydrografie en baggerwerken, NV Haecon.

MALHERBE B (1989) - Sediment Detection and measuring systems as valuable management tools for hydrography and dredging works, Hydrographic Society, Workshop "Specifications and Dredging Technology", NV Haecon.

MALHERBE B., DE MEYER C. (1987) - Optimization of maintenance dredging operations in maritime and estuarine areas, NV Haecon, Terra et Aqua, nr35.

MALHERBE B., DE MEYER C. (1986) - Optimization of maintenance dredging operations in maritime and estuarine areas, Papers Ports & Waterways, Buenos Aires, Argentina, NV Haecon.

MALHERBE, B. (1990) - Sediment management: a new concept for cost-effective dredging of ports and access-channels, NV Haecon.

MALHERBE, B. (1991) - Case-study of dumping in open areas, Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, NV Haecon, Terra et Aqua, nr45.

MALHERBE, B. (1992) - Etudes et optimisation de travaux de dragage au moyen de la radioactivité, Instituts Portuaires de Nantes, Ports Maritimes et Voies Navigables, NV Haecon, La Houille Blanche/N4-1992.

MALHERBE B., DE MEYER C. , MAENHAUT VAN LEMBERGE P.- Toegepast sedimentologisch onderzoek van baggerstortplaatsen en baggerrendement in de Zuidelijke Baai van de Noordzee, NV Haecon.

MALHERBE B., BASTIN A., DE PUTTER (1982) - Physical properties of sand and mud sediments, Preprints symposium Engineering in Marine Environment, NV Haecon.

NIHOUL C.J., RONDAY F. (1979) - Mathematisch model van de zeevaartse uitbouw van de haven van Zeebrugge, Université de Liège, Unité de Modelisation Hydrodynamique.

SVASEK (1997) - Getijanalyse Westerscheldemon, Svasek, Programma Kust*2000 / Project K2000*KOP.

TYTGAT J. (1989) - Dynamics of gravel in the superficial sediments of the Flemish Banks, southern North Sea, Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologische Dienst, RUGent, the Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea.

VAN ALPHEN J.S.L.J. (1990) – Mud balance for Belgium Dutch Coastal waters between 1969-1986, National Journal of Sea Research, V25, pp. 19-30.

VAN DEN EYNDE DRIES - MANAGEMENT UNIT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE NORTH SEA AND THE SCHELDT ESTUARY (1996) - Sediment transport modelling for the dredging works for the NorFra pipeline, Project SEMNOP.

VAN DEN EYNDE D. EN OZER J. (1993) - Sediment-Trend-Analyse: berekening sedimenttransport met behulp van een mathematisch model, BMM, NV Haecon.

VAN DER SLIKKE M.J. (1997) - Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993), Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht.

VAN DER SPEK A.J.F. ET AL. (1997) - De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling, Nederlands Instituut voor Toegepaste Wetenschappen (TNO), Programma Kust*2000 / Project K2000*KOP.

VAN ENCKEVOORT IRENE (1996) - Morfologisch onderzoek Westerschelde Monding, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht, R96-21 // 98/00001b.

VAN MIERLOO, C.J. (1899) – La carte lithologique de la partie méridionale de la Mer du Nord. Bulletin Société Belge des Geologues, t. XIII.

VAN VEEN J. (1936) – Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandse Kust. Nieuwe verhandelingen van het Bataafse Genootschap voor Proefondervindelijke Wijsbegeerte te Rotterdam, 2de reeks, 11e deel.

VERSLYPE H., BLOMME E. EN DECROO D. (1990) - Sediment transport, beach nourishment and effect of marine works on the west of the Belgian Coast, Ministerie van Openbare Werken, Dienst der Kust, Haecon nv, International Navigation Congress, Osaka.

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT (1979) – Oriënterend Erosieonderzoek, Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, MOD.387-3.

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT (1981) – Port de Zeebrugge: Etude sur Modèle Réduit Sédimentologique. Rapport final, Synthèse., Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, MOD.387.S-7.

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT (1982) – Voorhaven Zeebrugge, Evolutie van de bodemerosies, Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, MOD.387.S-8.

YU C.S., DECROO D., BLOMME (1988) - Tidal currents along the West-Belgian Coast, KUL, Ministerie van Openbare Werken Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust, Haecon nv.

YU C.S. (1993) – Modelling Shelf Sea Dynamics and Estuarine Circulations, KULeuven, Proefschrift voorgedragen tot het behalen van het doctoraat in de toegepaste wetenschappen.

7 SYNTHESEFICHES

7.1 MATHEMATISCHE EN FYSISCHE MODELLEN

Auteurs(s)	Fettweis Michaël
Titel	Modelling currents and sediment transport, fenomenen in shelf seas and Estuaries
Ref.	
Organisatie	KULeuven, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Laboratorium voor Hydraulica
Specificatie bron	Proefschrift voorgedragen tot het behalen van het doctoraat in de toegepaste wetenschappen
Domein	Sedimenttransport in het Schelde-estuarium
Jaartal	1995
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Monitoring en in-situ metingen geven een gedetailleerd beeld van de fenomenen die het sedimenttransport beïnvloeden
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Een kort overzicht van de hydraulische en morfologische aspecten van het Schelde estuarium wordt gegeven. Het wordt gedefinieerd als een gemengd tot deels gestratificeerd estuarium. Invloed van stratificatie is het grootst in de benedenloop, tussen Antwerpen en de Belgisch-Nederlandse grens. In dit gebied werden stroomsnelheids-, saliniteits-, slib concentratie en temperatuursmetingen uitgevoerd. De monitoring pleegde over verschillende tijdsintervallen, gaande van een half getij (eb zowel als vloed) tot meer dan een jaar. Volgende besluiten werden genomen uit de metingen.

Drempel van Zandvliet

Ter hoogte van de drempel heeft de stratificatie van het water een belangrijke impact op de snelheidscondities in de waterkolom. Een 'neerstream' snelheidscomponent wordt geobserveerd nabij het oppervlakte, en een opstroom component is voorhanden nabij de bodem. Dit resulteert in een afname van de snelheid aan het oppervlak bij vloed en een toename van de snelheid bij eb. Het omgekeerde doet zich voor langs de bodem van de Schelde. Dit vervormde snelheidsprofiel en de hogere pieksnelheden bij vloed verklaren de hogere slibconcentratie van het water (in suspensie) bij vloed. Daarentegen valt het op dat in de fase gaande naar een snelheidsmaximum, dus tijdens de snelheidstoename zelf de concentratie aan slib lager ligt dan tijdens de snelheidsafname. Het sediment is meer homogeen over de waterkolom verdeeld tijdens eb dan bij vloed. Bij vloed is de oppervlakteconcentratie van slib eerder gering. Het netto-transport is 1,1kg/s tijdens eb (doodtij) en 5,4kg/s bij vloed (springtij). In onderstaande tabel wordt het totaal slibtransport tijdens dood- en springtij gegeven ter hoogte van de Drempel van Zandvliet.

	Doodtij (ton)	Springtij (ton)
Eb	5.255	13.661
Vloed	- 5.206	- 13.418
Getijcoëfficiënt	49	243

Het totaal transport is tijdens springtij factor 2,5 hoger dan tijdens doottij.

Plaat van Lillo en Vaarwater van Bath

De laterale en verticale gemiddelde slibconcentratie van het Scheldewater zijn het grootst ter hoogte van de Plaat van Lillo en het laagst bij het Vaarwater van Bath. Ter hoogte van de Drempel van Zandvliet ligt de concentratie tussen de twee hierboven vermelde punten.

Toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht

De stroom ter hoogte van de toegangsgeul-rivierpunt wordt gedomineerd door dichtheidsfluctuaties. Het gevolg is dat de stroom gedurende alle getijden onderverdeeld kan worden in 2 lagen, zijnde een opgaande stroom en een afgaande stroom.

Prosperpolder

Ter hoogte van de Prosperpolder is vastgesteld dat een minimum aan zoutconcentratie optreedt 5 dagen na een maximale zoetwater input. De hoofdzakelijke reden die ter hoogte van de Prosperpolder zorgt voor het verschil tussen maximale en minimale zoutgehalte is het getijde coëfficiënt. Het verschil in zoutgehalte van het water kan variëren tussen 16g/l in de eindzomerperiode tot 1,5g/l tijdens de winter.

Slibconcentratievariëaties lijken op verschillende tijdsschalen te beantwoorden, namelijk getijden, spring of doottij en seizoenaal. Hoogfrequente variaties zijn ook opgemerkt tijdens de monitoring. De getijgebonden slibconcentratie is tijdens een doottij 1,0 tot 1,7 maal kleiner dan tijdens een springtij. Deze verhouding is vooral afhankelijk van de amplitude van het getij. De waarden variëren tussen 46 mg/l (doottij, ebb, zomer) en 151 mg/l (springtij, vloed, winter) op 0,5m boven de bodem en tussen 27 mg/l (doottij, eb, zomer) en 133 mg/l (springtij, vloed, winter) op 1,5m boven de bodem. Een verklaring van de hoge concentratieverschillen werd gezocht in het verschuiven van het turbiditeitsmaximum als functie van de zoetwaterinbreng en een hoger sedimentlading tijdens de winter door een verlaagde biologische activiteit en verhoogde erosie.

Algemeen besluit

Stroomsnelheid, sedimentconcentratie, saliniteit en temperatuur variëren in functie van het getij. Sliblading van het water, saliniteit en temperatuur zijn daarbij ook nog afhankelijk van de seizoenale omgeving. Het invloed van de seizoen is gelinkt aan de klimatologische cycli, gedreven door de warmte-input van de zonne-energie. Slibconcentratie en saliniteit zijn echter niet rechtstreeks afhankelijk van de zonne-energie, maar worden beïnvloed door biologische activiteit, zoetwaterdebiet en landerosie (seizoenale variaties).

Auteur(s)	Laforce, E.
Titel	Tijoverzichtsmodel van de Kust en het Schelde-estuarium. Onderzoek bouwfasen 1750G.
Ref.	MOD.265 / 2-4. R/IV/146/112/9 E.
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen.
Specificatie bron	WLB, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.
Domein	hydrodynamische wijzigingen
Jaartal	1979
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Adhv een wiskundig model de hydrodynamische wijzigingen voorspellen gekoppeld aan de uitbouw van de haven van Zeebrugge
Bruikbaar voor	Invloed zeewaartse havenstructuren op het natuurlijk hydrodynamisch milieu, omgeving Zeebrugge
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

In dit verslag worden modelproeven uitgevoerd naar de verschillende bouwfasen van de expansie van Zeebrugge. De proeven worden uitgevoerd met het oog op het vervaardigen van stroomatlassen voor de Pas van het Zand en het werkgebied nabij de zuidelijke Oostdam. Alle bouwfasen werden beproefd rekening houdend met de suppletie aan de Oostkust, de latere bouwfasen worden beproefd met een verdiepte toegangseul.

Uit de proefsituaties is gebleken dat bij de uitbouw van de zuidoostelijke dam (1.500m zeewaarts) weinig invloed heeft op de vloedstrooming in de Pas van het Zand, terwijl er in de havenmond en voor Heist er neervorming optreedt (behoud van sediment en/of sedimentatie bij input). De ebstroom zal door de dam zeewaarts afgeduwd worden met de ontwikkeling van neerzones voor de havenmond en werkhaven. De neerzone zal even ver zeewaarts reiken als de uitgebouwde zuidoostelijke dam uit de werkhaven.

Bij vervollediging van de ZO-dam en de bouw van de LNG-dam onstaat er een grondige verandering in het stroombeeld. De ebstroom zal de oostelijke havendam volgen en het toekomstig havenareaal wordt ingenomen door een neerzone. Het stroombeeld is zeer complex over de toegangseul. Bij uitbouw van 1.050m Westdam zal de vloedstroom slechts weinig zeewaarts verplaatst worden.

Bij 2.300m Westdam wordt echter bijna het volledig havengebied aan de vloedstroom onttrokken.

Door de neervorming ontstaat ook boven de toegangseul een complex stroombeeld bij vloed.

Omwille van de berekende lage stromingssnelheden kan in de neerzones sedimentatie optreden.

De stromingssnelheid zelf neemt langs de Westdam noemenswaardig toe bij uitbouw van 1.050m. Langs de Oostdam neemt de vloedsnelheid toe tot 2,3m/s maar zal bij volledige uitbouw van de Westdam weer dalen.

Auteur(s)	Laforce, E.
Titel	Tijverzichtsmoedel van de Kust en het Schelde-estuarium. Onderzoek bouwfases. 3de Rapportering.
Ref.	MOD.265 / 2-6. R/IV/146/112/12.
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen.
Specificatie bron	WLB, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.
Domein	Hydrodynamische wijzigingen
Jaartal	1980
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Adhv een wiskundig model de hydrodynamische wijzigingen voorspellen gekoppeld aan de uitbouw van de haven van Zeebrugge
Bruikbaar voor	Invloed zeewaartse havenstructuren op het natuurlijk hydrodynamisch milieu, omgeving Zeebrugge
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De proefonderzoeken naar een variante bouwfasering worden gerapporteerd. In de beschouwde variante wordt de Oostdam zo snel mogelijk uitgebouwd en wordt de LNG-haven gevormd door de ZO-dam, de Oostdam en de retourdam (op die manier wordt de bouw van de LNG-dam vermeden).

Bij het uitbouwen van de Oostdam zal de vloedstroom verhoogde snelheden kennen (tot +80cm/s) boven de Paardenmarkt voor Heist. Vanaf 2km Westdam verplaatst de zone van snelheidstoename zich naar het Westen naar de nieuwe havenmond en in het tracé van de NW-dam.

Snelheidstoenames van de ebstroming treden zeewaarts van de NO-dam op en in de nieuwe havenmond.

Op basis van de stromingssnelheden werden ook schattingen uitgevoerd naar erosie en sedimentatie.

- (1) Aanzienlijke erosie (tot 5m) zou zich moeten voordoen voor de nieuwe havenmond met het ontstaan van een ebgeul (als het sedimenttype het toestaat) zeewaarts van de NO-dam.
- (2) Binnen de havendammen, ten westen van de haven en in de schaduw van de Oostdam zullen grote hoeveelheden materiaal aangevoerd worden. Bij deze stelling wordt echter geen rekening gehouden met het feit dat in de hoek gevormd tussen de Oostdam en het strand van Heist de stroming blijvend ebgericht zal zijn.
- (3) De stroomsituatie bij vloed langs de vaargeul verandert zeer snel met een toename van de maximale vloodsnelheid van 50%.

Auteur(s)	Nihoul, C.J., Runday, F.C.
Titel	Mathematisch model van de zeevaartse uitbouw van de haven van Zeebrugge
Ref.	MOD382 // R/IV/241/2/12
Organisatie	Université de Liège
Specificatie bron	Unité de Modelisation Hydrodynamique
Domein	hydrodynamische wijzigingen
Jaartal	1979
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Adhv een wiskundig model de hydrodynamische wijzigingen voorspellen gekoppeld aan de uitbouw van de haven van Zeebrugge
Bruikbaar voor	Invloed zeevaartse havenstructuren op het natuurlijk hydrodynamisch milieu
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	5 figuren: fig. 1 en bijhorende numerische concepten.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De wiskundige modellen steunen op de hydrodynamische vergelijkingen geïntegreerd over de diepte. De zones waarbinnen de stroomsnelheden en waterstanden worden aangedreven door het getij zijn vastgelegd bij middel van 3 ineengevoegde wiskundige modellen (fig 1):

- (1) het globale model (mazen van 1.000m) dat het Belgische kustgebied en een gedeelte van de Westerschelde omvat;
- (2) het lokale model (mazen van 500m) dat de omgeving van Zeebrugge, de Appelzak, het Scheur en de Pas van het Zand omvat. Met dit model wordt de ruimtelijke weergave van de voorhaven en de vaargeulen te verbeteren;
- (3) het eendimensionaal wiskundig model van de Westerschelde en zijn bijrivieren (dwarssecties op 1.000m van elkaar).

Verstoringen veroorzaakt door de uitbouw van de haven van Zeebrugge werden bestudeerd op het globaal mathematisch model, deze veroorzaakt door de uitbouw van een krib in de Appelzak werden berekend op het lokale model. Drempelveranderingen in de estuarium van de Westerschelde en de daaruit volgende hydrodynamische veranderingen werden bestudeerd op het eendimensionaal model.

In het globaal model worden volgende ingrepen in beschouwing genomen die een verstoring zouden kunnen veroorzaken:

- (1) uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge
- (2) een verdieping van het Pas van het Zand over een breedte van 650m (tot -17m50 N.A.P)
- (3) verdieping van de Scheur (ten W van het Pas van het Zand) over een breedte van 780m (tot -18m70 N.A.P.)
- (4) verdieping van de Scheur ten O van het Pas van het Zand over een breedte van 500m (tot -18m50 N.A.P.)
- (5) zandaanvulling van 1m in de Appelzak tussen Zeebrugge en de belgisch-nederlandse grens over een breedte van 1km.

De berekeningen van het model geven aan dat de verstoringen vooral op een noemenswaardige wijze optreden ter hoogte van Zeebrugge zelf. Aan de belgisch-nederlandse grens lijkt de invloed van de uitbouw gering te zullen zijn. De verdieping van de Scheur daarentegen zal een vertraging van de stroomsnelheden tot gevolg hebben ter hoogte van de belgisch-nederlandse grens. Een verandering in de amplitude van het getij lijkt niet te zullen optreden aan de belgisch-nederlandse grens. Aan de oostkant van de haven van Zeebrugge zal de amplitude bij eb hoger zijn, en de amplitude bij vloed lager, de stroomsnelheden zullen in beide gevallen aanzienlijk dalen (tot -1m/s bij maximum vloed). De richtingsverandering van de stroom is nul ter hoogte van het Zwin, en is naar de kust toe aan de oostkant van Zeebrugge.

Op het lokaal wiskundig model werden op een meer realistische wijze (kleinere mazen) de veranderingen berekend bij aanpassingen van vaargeulen (Scheur en Pas van het Zand), uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge, zandaanvulling in de Appelzak tussen het Zwin en Zeebrugge en de bouw van 2 kribben in de Appelzak. Om de aanwezigheid van de kribben te simuleren worden de dieptes, in de knooppunten van het mazennet, plots aangepast.

De verstoringen die optreden zijn vooral lokaal voelbaar aan de Appelzak en vooral om en bij de 2 kribben. Zo zullen de stroomsnelheden dalen tot 63cm/s tussen de 2 kribben. De aanwezigheid van een 2de krib heeft de neiging het effect van dood water aan de oostzijde van de haven van Zeebrugge te versterken.

Voor het wiskundig model voor het estuarium van de Westerschelde wordt gezocht naar de invloed van de verdieping van de drempels op de stromingen.

De verstoringen zullen zijn op vlak van:

- getij-amplitude: maximale verhoging van 14cm
- debieten: maximale verstoring van 4,3%, met grotere verstoringen bij zwakkere debietwaarden.

Auteur(s)	Svasek
Titel	Getijanalyse Westerscheldemond
Ref.	98/00001c/d // K2000*KOP deel 1 en deel2
Organisatie	RIKZ
Specificatie bron	
Domein	Link tussen waterbewegingen en morfologie bepalen.
Jaartal	1997
Consulteerbaar	
Situering studie	Aan de hand van getijanalyse in de westerscheldemonding wordt de invloed van de stromingen op de morfologie van het gebied bepaald, en dus ook welke stromingen erosie of accretie zullen veroorzaken.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Het eb-getijde-delta-model is passend voor de Westerscheldemond, maar dient genuanceerd te worden door rekening te houden met de invloed van verticale getij (vervallen). Verder vormt het mondingsgebied een overgang tussen het Westerscheldebekken en de Noordzee, waarbij beide specifieke (aan de morfologie van het substraat gebonden) getijdensystemen mekaar beïnvloeden.

Verdieping van de Wielingen/Scheur heeft tot een vervroeging van het getij geleid en tot een 'opslingering' van het getij (toename in verticale amplitude).

Auteur(s)	Van den Eynde Dries - Management Unit of the Mathematical Model of the North Sea and the Scheldt estuary
Titel	Sediment transport modelling for the dredging works for the NorFra pipeline
Ref.	Project SEMNOP
Organisatie	NV Haecon
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1996
Consulteerbaar	

situering studie

The construction of the NorFra pipeline required important dredging on the BCS. To minimise the risk of dumping activities on the water depth of the fair channels, the dumping site was selected to limit the recycling of the sludge. Three possible dumping sites are being compared by simulation with a 2D Lagrangian sediment transport model, in order to select the optimal dumping site.

bruikbaar voor
Opleggende voorwaarden
Synthese
Figuren

10: figuren:
fig. 13, 14, 16: residuele stroming en transport,
fig. 15: particle tracks,
fig. 17, 18: mean, min bottom stress,
fig. 19: maximum bottom stress,
fig. 34, 35, 37: simulatieresultaten.

Tabellen
Inhoudstafel
Opsteller

RAS

Synthese

Het model bouwt voort op het MU-STM model dat specifiek ontwikkeld is voor het simuleren van dispersie van baggerslib. De validatie van het sediment transport model is gebeurd met zes radioactieve tracer experimenten uitgevoerd door Haecon. De overeenkomst in resultaten is vrij goed, hoewel het model een veel beperkter kustwaarts transport aangeeft.

Het te baggeren sediment werd voor het model gedefinieerd als cohesief (91% <63 μ , 24% <2 μ , met 2 pieken in korrelgrootteverdeling: 15 μ en kleiner dan 2 μ ; op basis hiervan werden 3 sedimentklassen gedefinieerd).

Sediment parameters (kritische erosiespanning, kritische afzettingsspanning, settling snelheid, erosiesnelheid) zijn gebaseerd op literatuur.

Voor erosiespanning wordt een grote variatie vastgesteld, afhankelijk van de consolidatietoestand van de bedding; omwille van de geringe consolidatie van gestort slib, zullen kleine waarden gekozen worden. Het is gekend dat slib zeer snel settelt voor de Belgische kust, daarom worden vrij hoge kritische afzettingsspanningen aangenomen. Er wordt uitgegaan van een hoge erosie coëfficiënt. Er wordt op gewezen dat dit niet noodzakelijk een hoge erosie betekent, dit hangt immers ook af van het beschikbare erodeerbare materiaal. De settling snelheid werd gekozen tussen 1 en 5mm/s. Dit houdt rekening met de flocculatie van het cohesief materiaal, en laat toe de snelle afname van de turbiditeit voor de Belgische kust tijdens doortij te verklaren.

Simulatie zijn uitgevoerd onder M_2 tij, en M_2 met 8m/s zuidenwind en noordenwind respectievelijk; deze winden zijn representatief voor de verandering op de residuele stromingen. Ook al lijkt 8m/s niet hoog, toch heeft maar 12% van de winden een hogere snelheid. Een andere simulatie is uitgevoerd met een uniforme golf van 2 m met frequentie 0,2Hz. Vermits golven enkel van belang zijn voor de resuspensie en niet voor de dispersie, is de golfrichting niet van belang. De simulaties betreffen het storten van een baggerlading van 15.000 ton volgens de bepaalde sedimentklassen, tot een week na storten.

Residuele stromingen blijken over het algemeen zuidwest gericht te zijn, terwijl residueel transport een noordoosttrend toont. Residuele stroming is bijzonder laag boven de vlakte van de Raan. Residueel transport blijkt hoogst te zijn in ondiepe waters: voor de kust, boven de zandbanken, boven de Vlakte van de Raan. De onderzochte dumping sites zijn Westhinder 1 en 2 en S1. Residueel transport van W1 en 2 is noordoost gericht, van S1 is westwaarts. Dit laatste is in tegenspraak met andere studies. De invloed van de wind is zeer groot, bij noordenwind is residuele stroming en transport zuidwest gericht. Gemiddelde bodemspanningen zijn hoog boven de zandbanken bij de Franse grens, en in de Westerscheldemonding, maar zijn veel lager voor de kust, boven W1 en 2 is de bodemspanning hoger dan boven S1. De minimum bodemspanning is laag voor de kust, maar is vrij hoog boven de zandbanken en de vlakte van de Raan. Ze is ook hoger boven S1 dan boven W1 en W2, dit betekent dat fijn sediment moeilijker zal sedimenteren boven S2. De maximale bodemspanning is belangrijk met betrekking tot erosie. Deze vertoont ongeveer het patroon van de gemiddelde bodemspanning.

Bij storten boven W1 is alle sediment in suspensie na 2,5 dagen. Het sediment wordt vrij effectief verwijderd uit het gebied, zonder recirculatie naar de vaargeulen.

W2 ligt dicht bij de vaargeulen, en hier komt snel na het storten een deel van het materiaal terecht.

Bij S1 is de spreiding veel beperkter, en is er een recirculatie naar de Belgische kust, en dus ook naar de vaargeulen.

Eenzelfde beeld werd bekomen bij variatie van de sedimentparameters. Bij zuidenwind verdwijnt het sediment uit het studiegebied. Telkens is er beperkte recirculatie. Bij noordenwind blijft het slib in dispersie rond de stortplaats en is er recirculatie naar de vaargeulen, en igv S1 naar de kust, vooral voor W2 heeft dit grote recirculatie naar de vaargeulen tot gevolg. Golven hebben weinig effect op de dispersiebeelden van W1 en 2, voor S1 is de recirculatie naar de vaargeulen belangrijker.

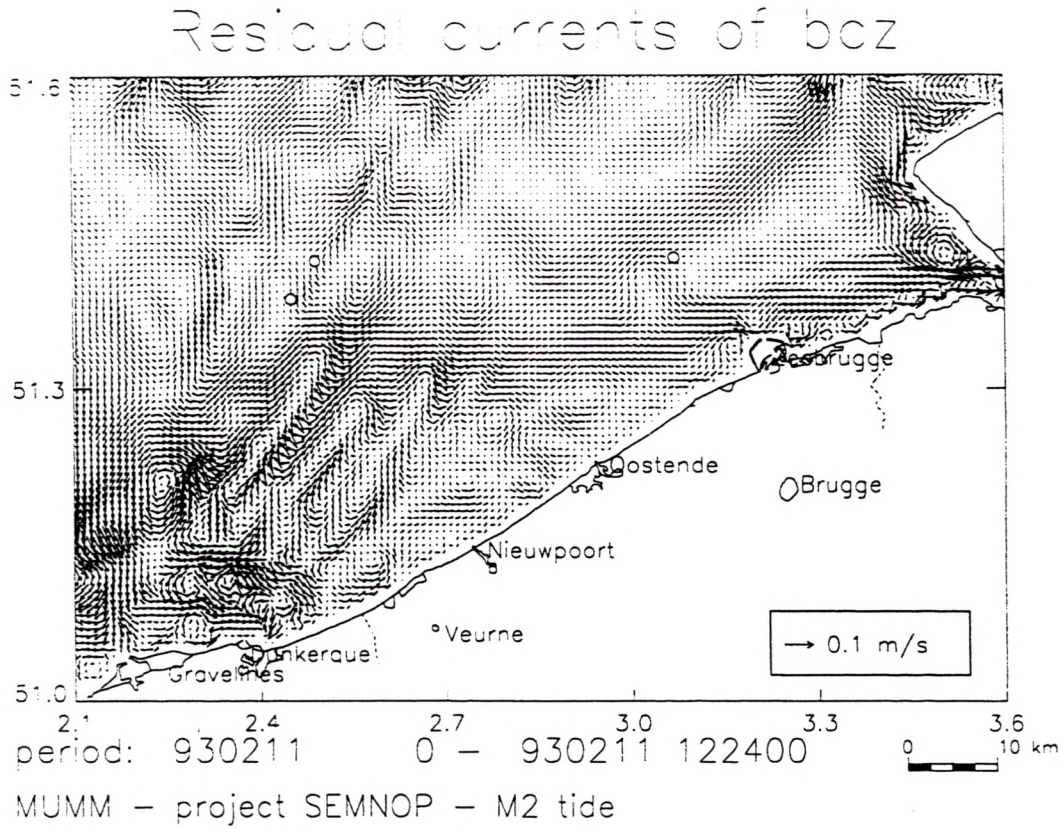


Figure 13: Residual currents in the Belgian coastal zone for the M_2 -tide, as calculated by the MU-BCZ model. The possible dumping sites are indicated by small white circles.

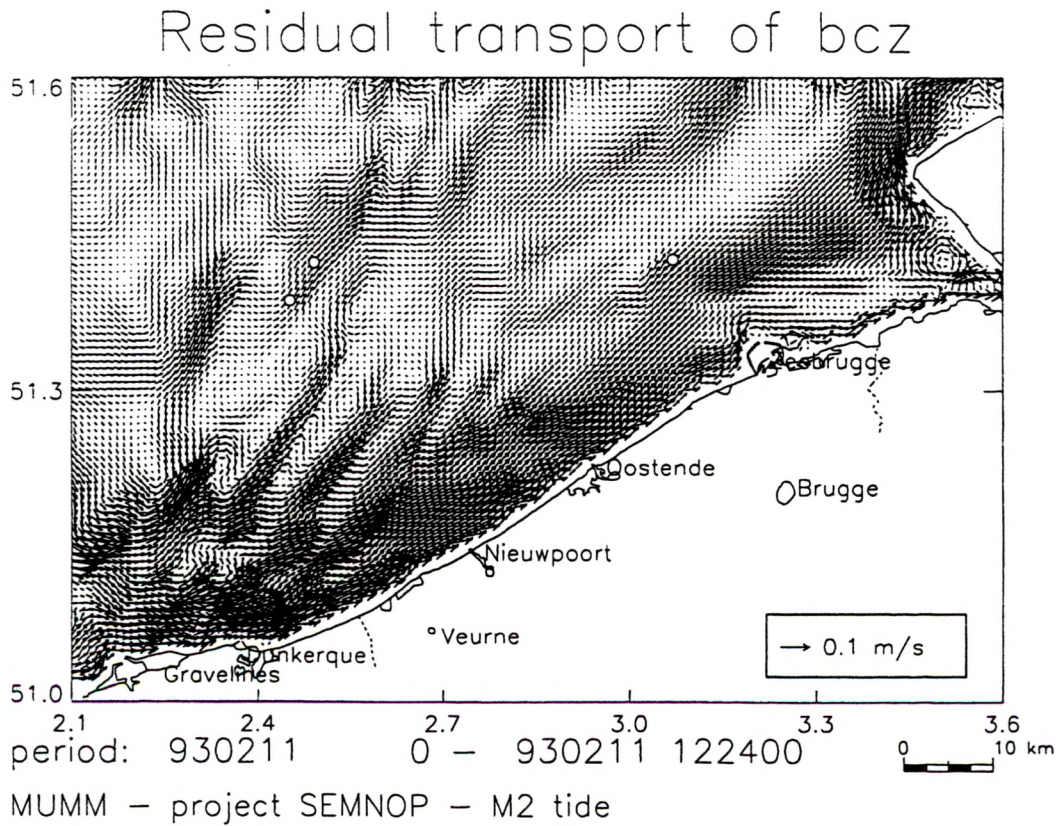


Figure 14: Residual transports in the Belgian coastal zone for the M_2 -tide, as calculated by the MU-BCZ model. The possible dumping sites are indicated by small white circles.

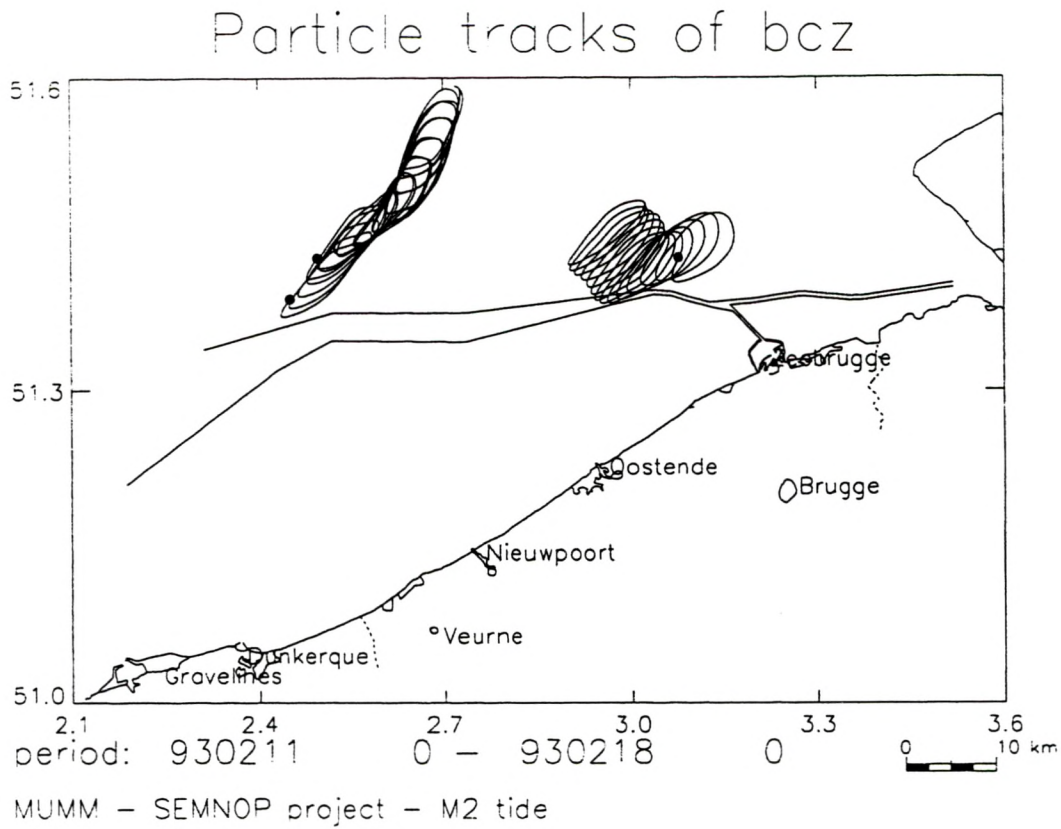


Figure 15: Lagrangian displacements for the M_2 -tide during one week for particles starting at the three possible dumping sites. Results calculated by the MU-BCZ model.

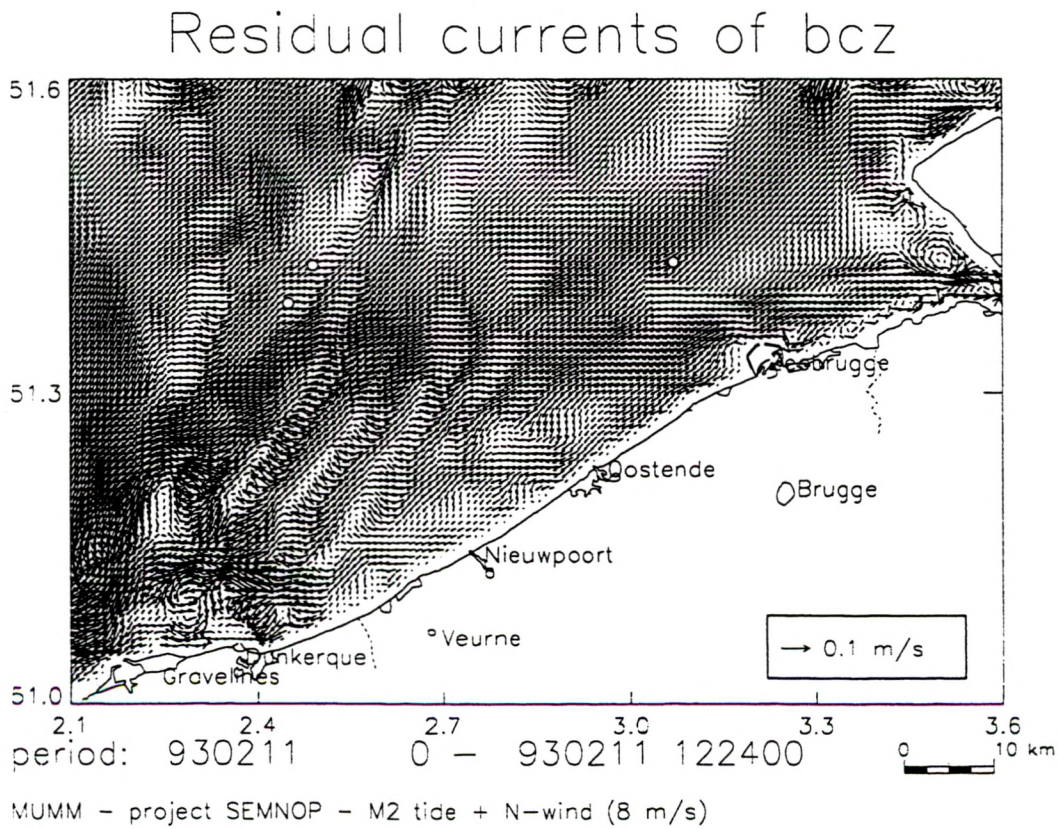


Figure 16: Residual currents in the Belgian coastal zone for the M_2 -tide, with an imposed northern wind of 8 m/s. as calculated by the MU-BCZ model. The possible dumping sites are indicated by small white circles.

Mean bottom stress of bcz

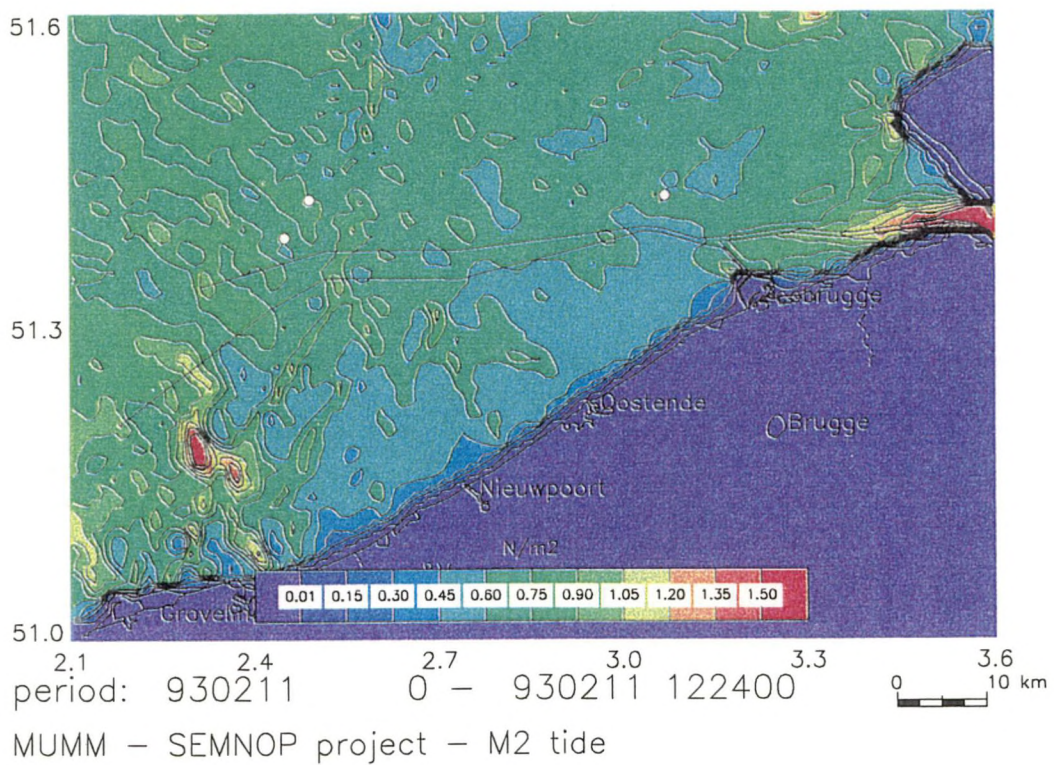


Figure 17: Mean bottom stress during the M_2 -tide, as calculated by the MU-BCZ model. The three possible dumping sites are indicated by white circles.

Minimum bottom stress of bcz

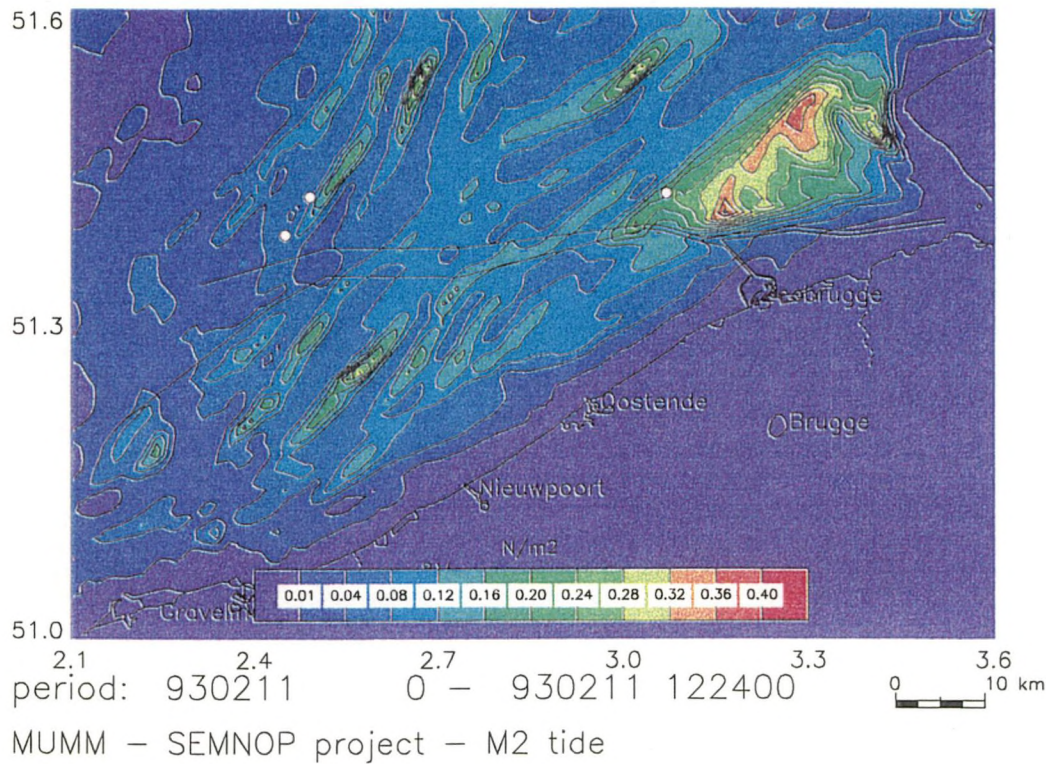


Figure 18: Minimum bottom stress during the M_2 -tide, as calculated by the MU-BCZ model. The three possible dumping sites are indicated by white circles.

Maximum bottom stress of bcz

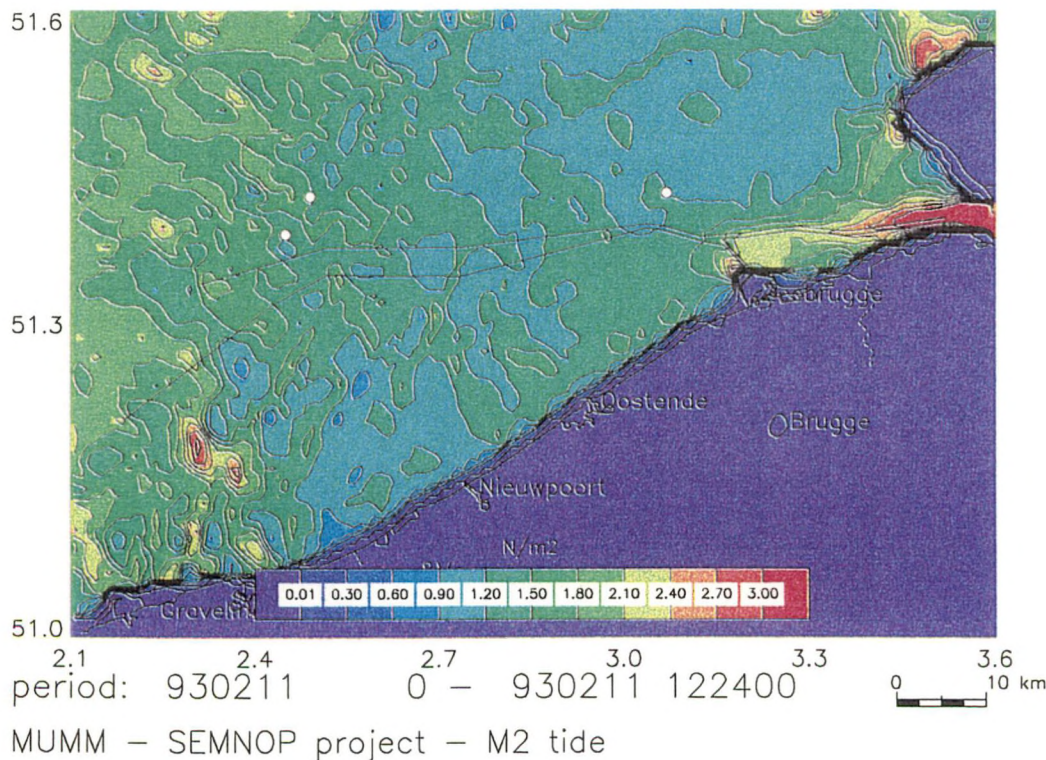


Figure 19: Maximum bottom stress during the M_2 -tide, as calculated by the MU-BCZ model. The three possible dumping sites are indicated by white circles.

Simulation 1: M₂-tide + N-wind - Westhinder

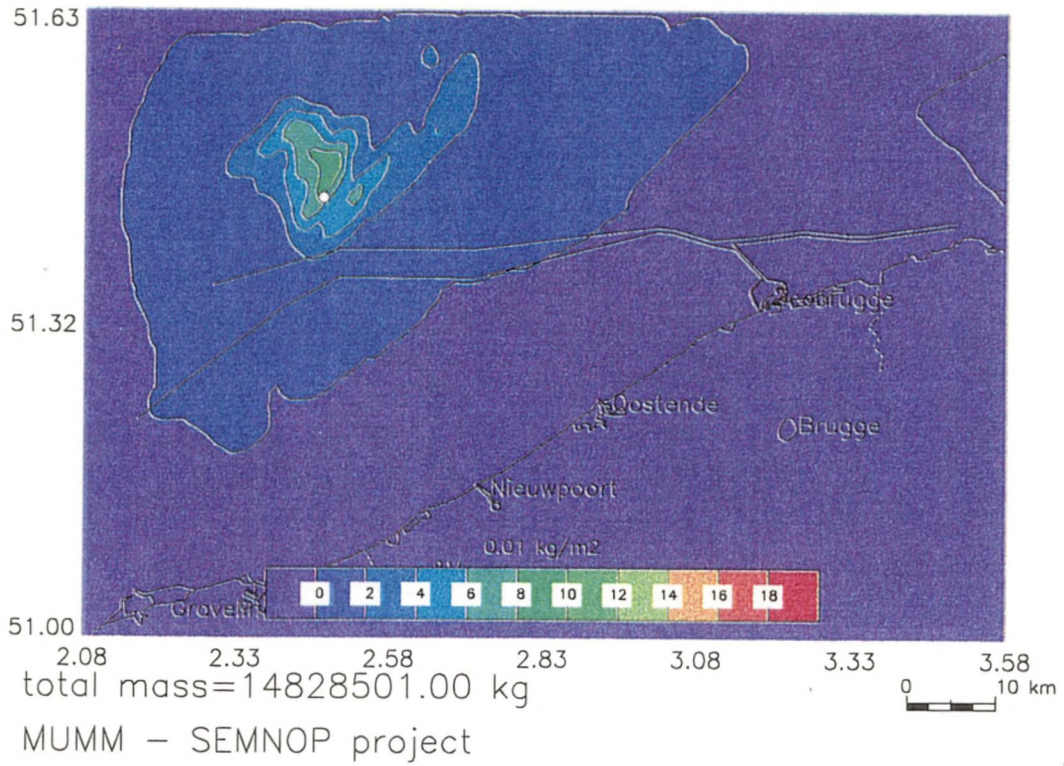


Figure 34: Dispersion of the sediments of simulation 1, one week after dumping at the Westhinder 1 dumping site, under the influence of the M₂-tide and a northern wind of 8 m/s.

Simulation 2: M₂-tide + N-wind - Westhinder

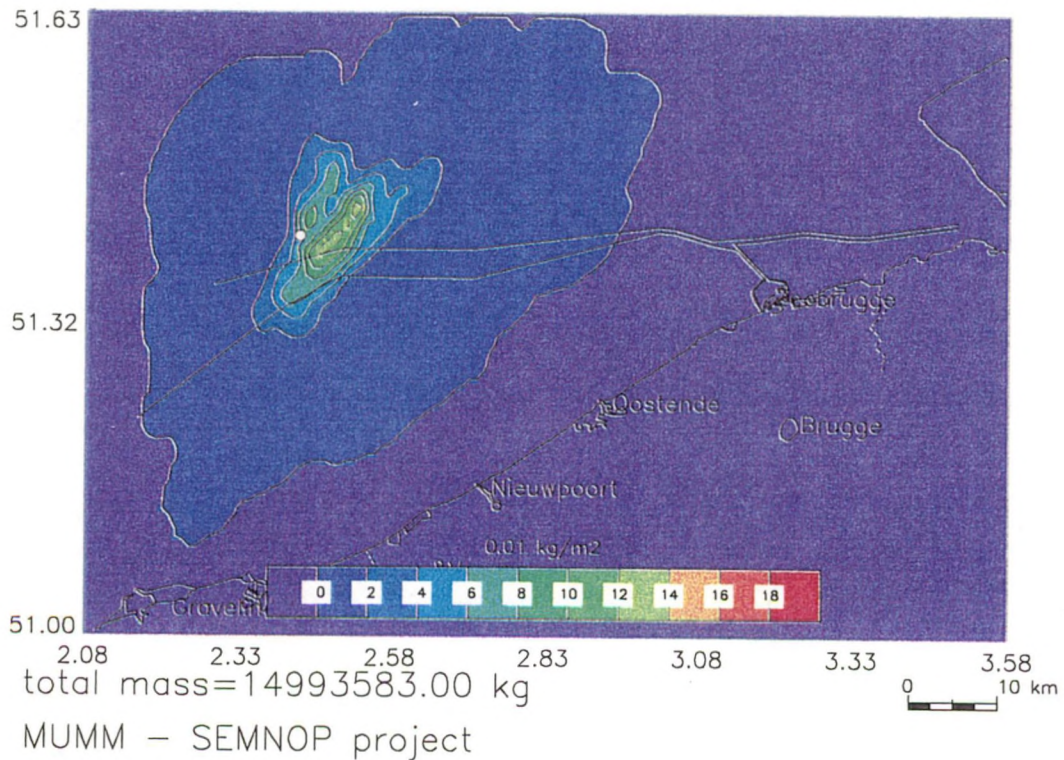


Figure 37: Dispersion of the sediments of simulation 2, one week after dumping at the Westhinder 2 dumping site, under the influence of the M₂-tide and a northern wind of 8 m/s.

the material from the S1 and the Westhinder 2 site respectively. In contrast with the results under the influence of the M_2 -tide alone or under the influence of the M_2 -tide and a southern wind, the Westhinder 2 site now seems to be the worst place to dump the mud.

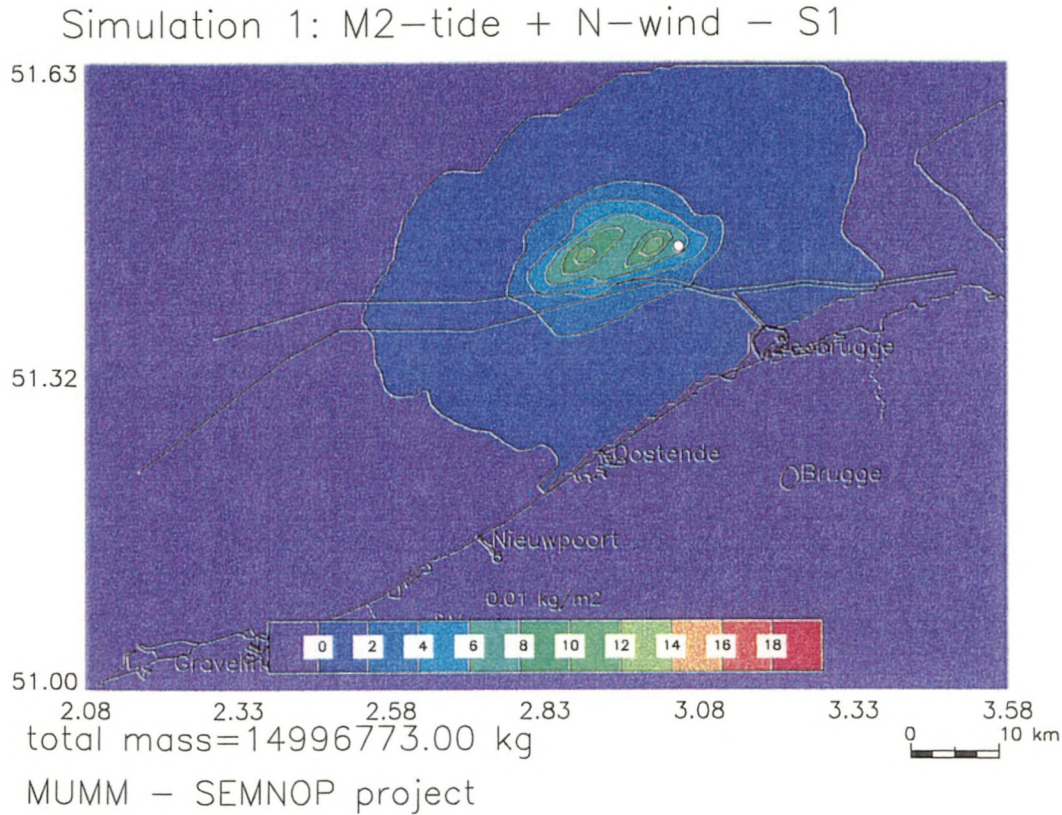


Figure 35: Dispersion of the sediments of simulation 1, one week after dumping at the S1 dumping site, under the influence of the M_2 -tide and a northern wind of 8 m/s.

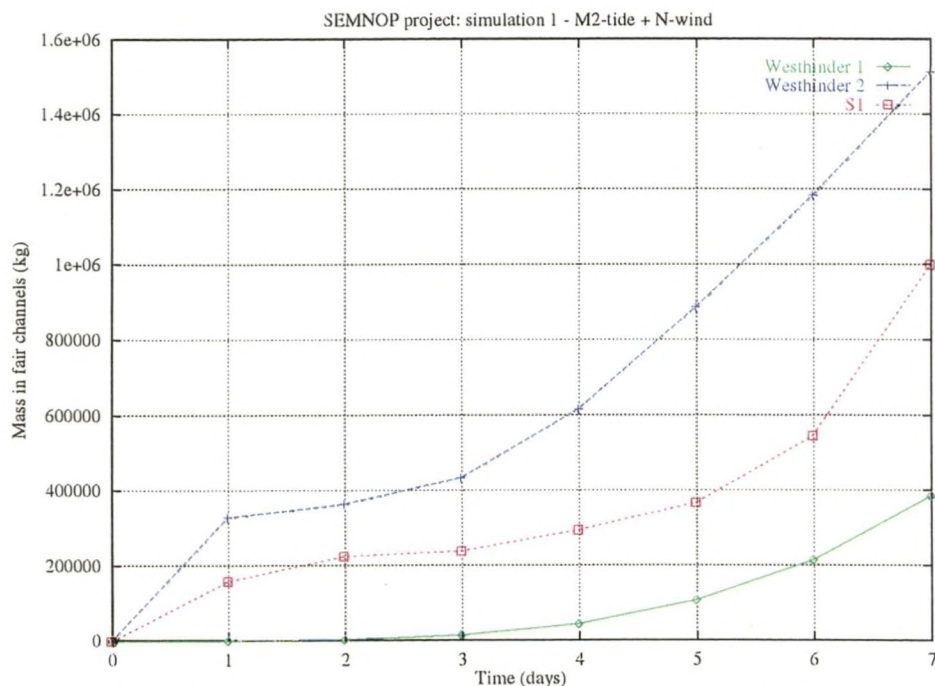


Figure 36: Recirculation of the simulation 1 sediments from the three dumping sites to the fair channels, under the influence of the M_2 -tide and a northern wind of 8 m/s.

Auteurs(s)	Van den Eynde Dries, Ozer José
Titel	Sediment-Trend-Analyse: berekening van sedimenttransport met behulp van een mathematisch model
Ref.	
Organisatie	Beheerseenheid Mathematisch Model
Specificatie bron	Haecon
Domein	Resultierend sedimenttransport
Jaartal	1993
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Vlaams Impulsprogramma Zeewetenschappen, en onderzoek Sediment-Trend-Analyse bij Stortplaatsonderzoek. Onderzoek naar wetenschappelijke basis van de Sediment-Trend-Analyse methodologie; vastleggen bruikbaarheid en beperkingen van laatste; en eventuele latere toepassing bij studie sedimentrecirculatie en slib in bijzonder; bijzonder doel optimalisatie van stortplaatsen van baggerspecie en verbeterd inzicht in ecologische effecten
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	10 figuren: geïntegreerde stromingssnelheid; overschrijdingsfrequentie van kritische golfhoogte voor verschillende sedimentfracties: 47,5 µm, 302 µm, 1698 µm; gemiddeld sediment transport; evolutie van de bodem.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

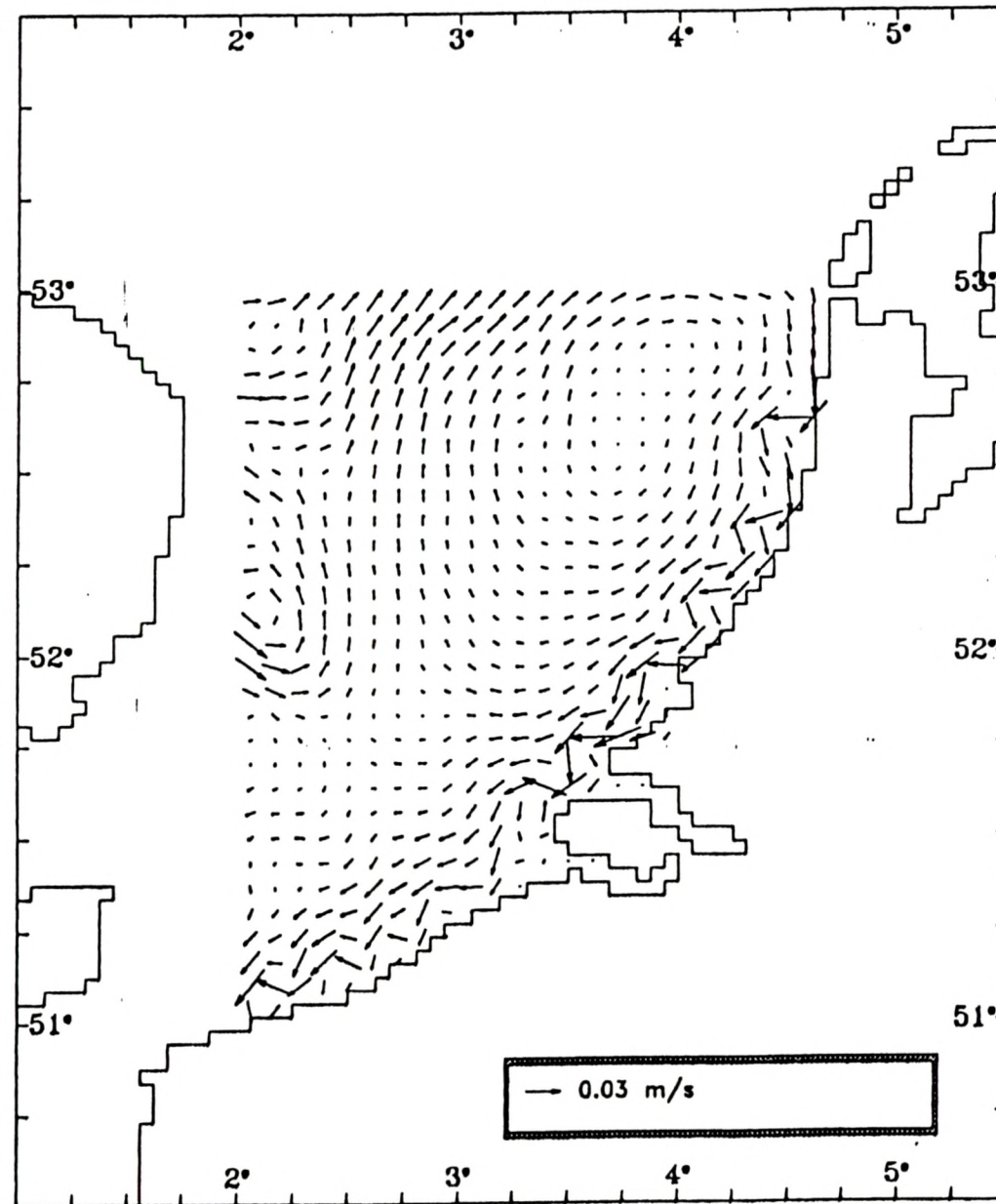
Er wordt een eenvoudig transportmodel voor de Belgische kustzone besproken. Het model berekent de geometrie van de bodemmorfologie en de bijhorende ruwheid, vervolgens wordt de bodemspanning onder invloed van de getijstromingen en golven berekend. Tenslotte wordt via een eenvoudige transportformule het totale sedimenttransport berekend.

Er wordt een onderscheid vastgesteld tussen de diepere waters waar de golfwerking minder belangrijk is, en de ondiepe waters waar deze wel belangrijk is bij de bepaling van de bodemspanning. Het sedimenttransport wordt ook door de gecombineerde werking van getijden en golven bepaald.

Stromingen zijn over het algemeen te zwak op het BCS om veel sedimenttransport te veroorzaken. Het sediment blijkt voornamelijk tijdens stormperiodes in beweging gebracht te worden door gecombineerde getijde en golfwerking, waarna het ook door kleinere stroming getransporteerd wordt.

De modelresultaten blijken in grote lijnen vergelijkbaar te zijn met Sediment-Trend-Analyse: fijn materiaal blijkt vooral in het noorden van het gebied voor te kunnen komen. Het gaat echter om een sterk vereenvoudigd model (formulering, vb. weerstandscoefficiënt is onafhankelijk van de berekende bodemruwheid, terwijl golfwrijvingscoëfficiënt er sterk afhankelijk van is) met kleine resolutie (7,5 op 7,5 km, onvoldoende om Vlaamse banken voor te stellen, en invloed van stormen in rekening te brengen). Verder wordt verandering van bodemmorfologie niet in rekening gebracht. Naar de toekomst is een afzonderlijke berekening van transport van verschillende sedimentklassen en afzonderlijke berekening bodemtransport en transport in suspensie nodig.

Sediment-Trend-Analysis

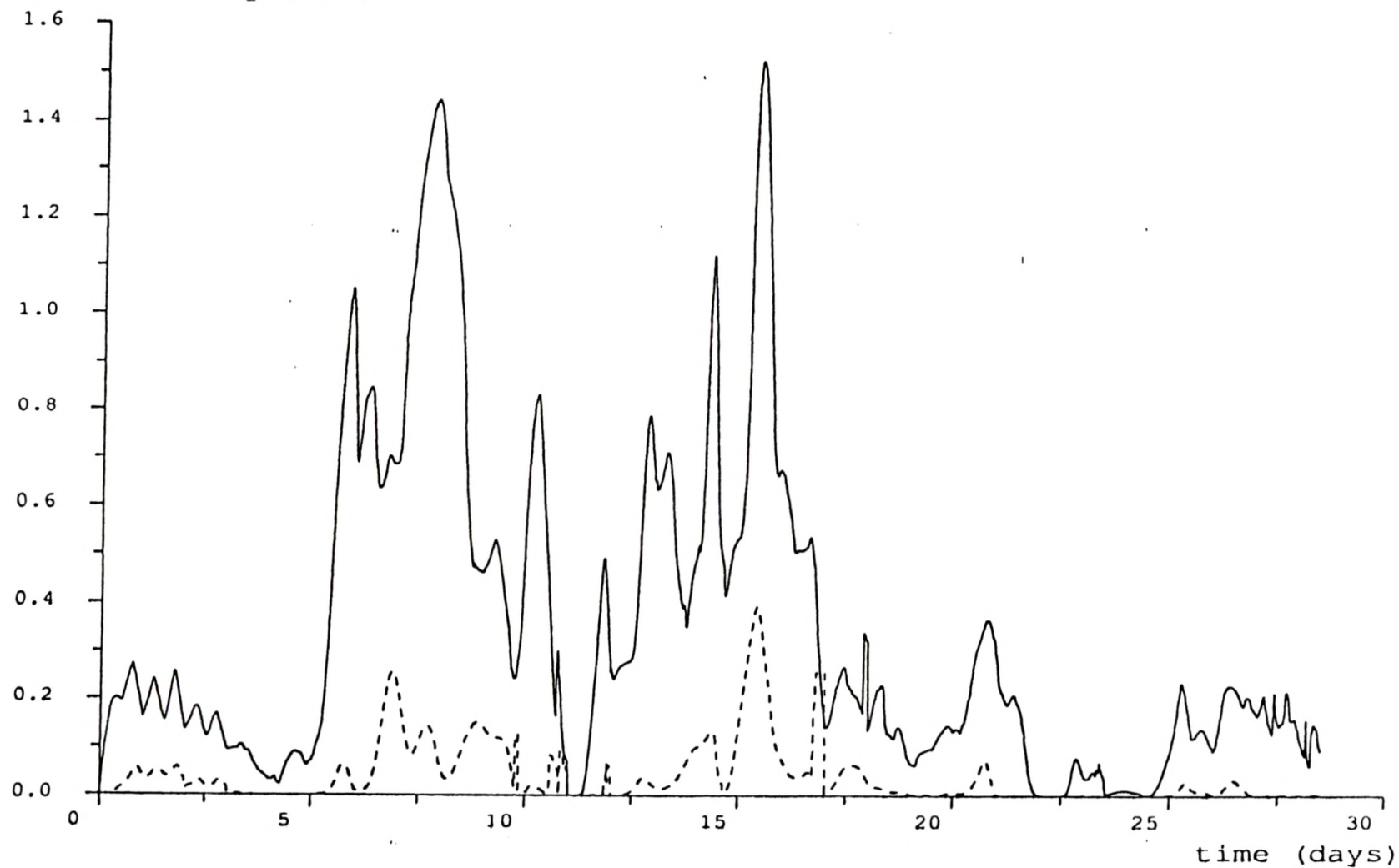


Mean integrated current
M.U.M.M. North Sea

0 50 km

Figuur 36

Orbital velocity (m/s)

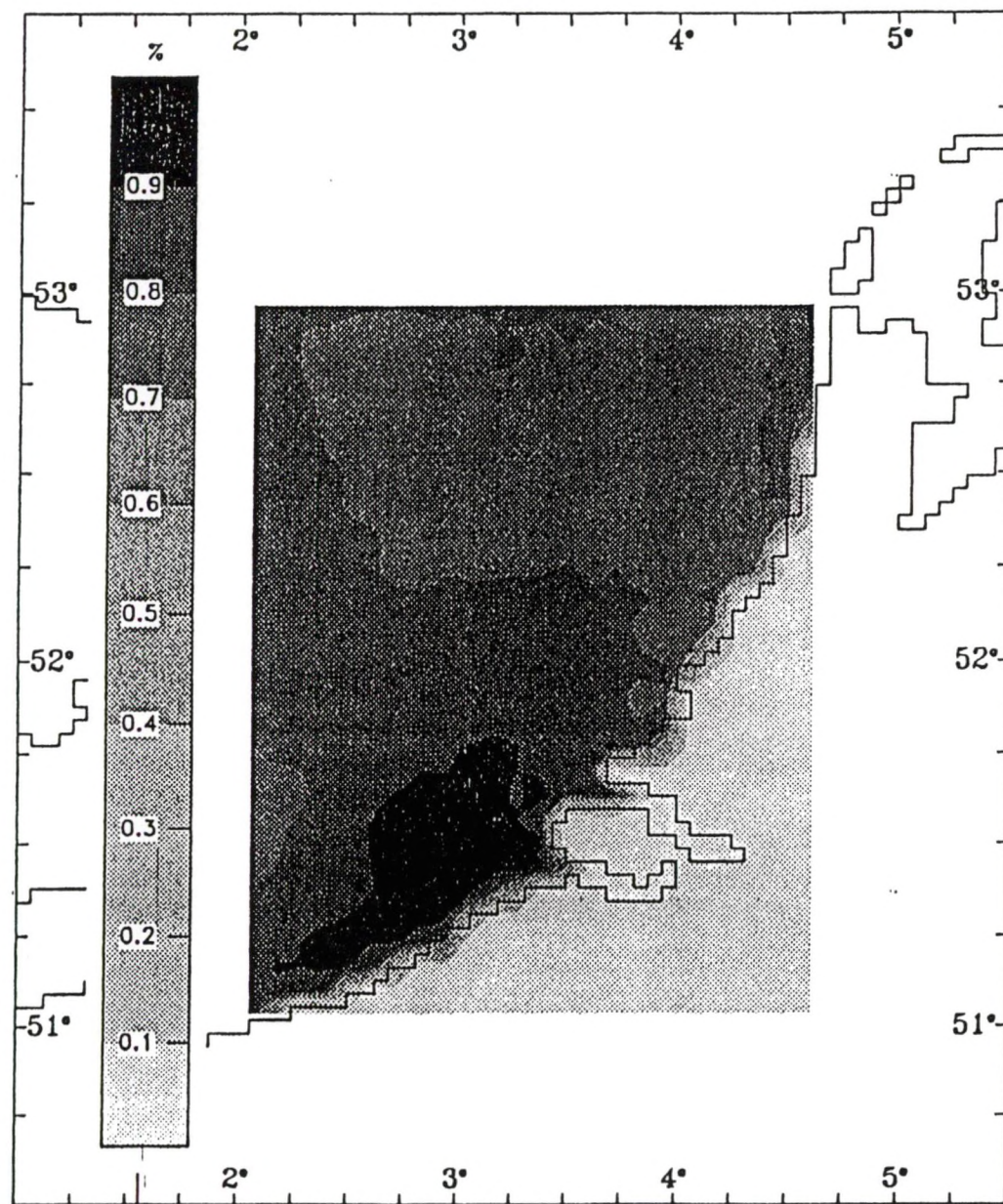


— Point 1

- - - - - Point 2

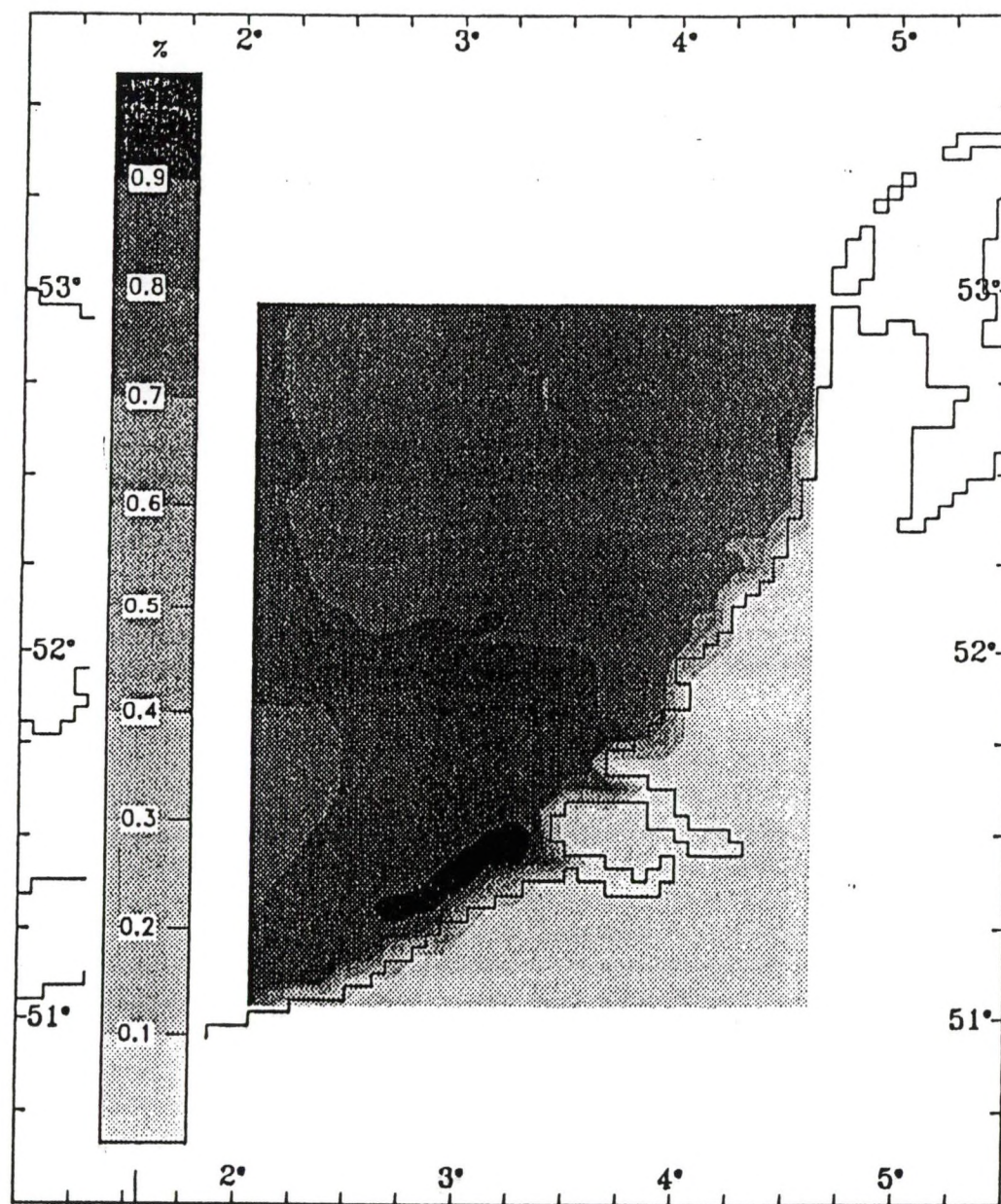
M.U.M.M. North Sea

Figuur 40



Percentage of exceedence : 47.5 um (0.47%)
M.U.M.M. North Sea

Figuur 41



Percentage of exceedence : 302.0 um (36.52%)
 M.U.M.M. North Sea

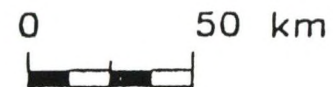
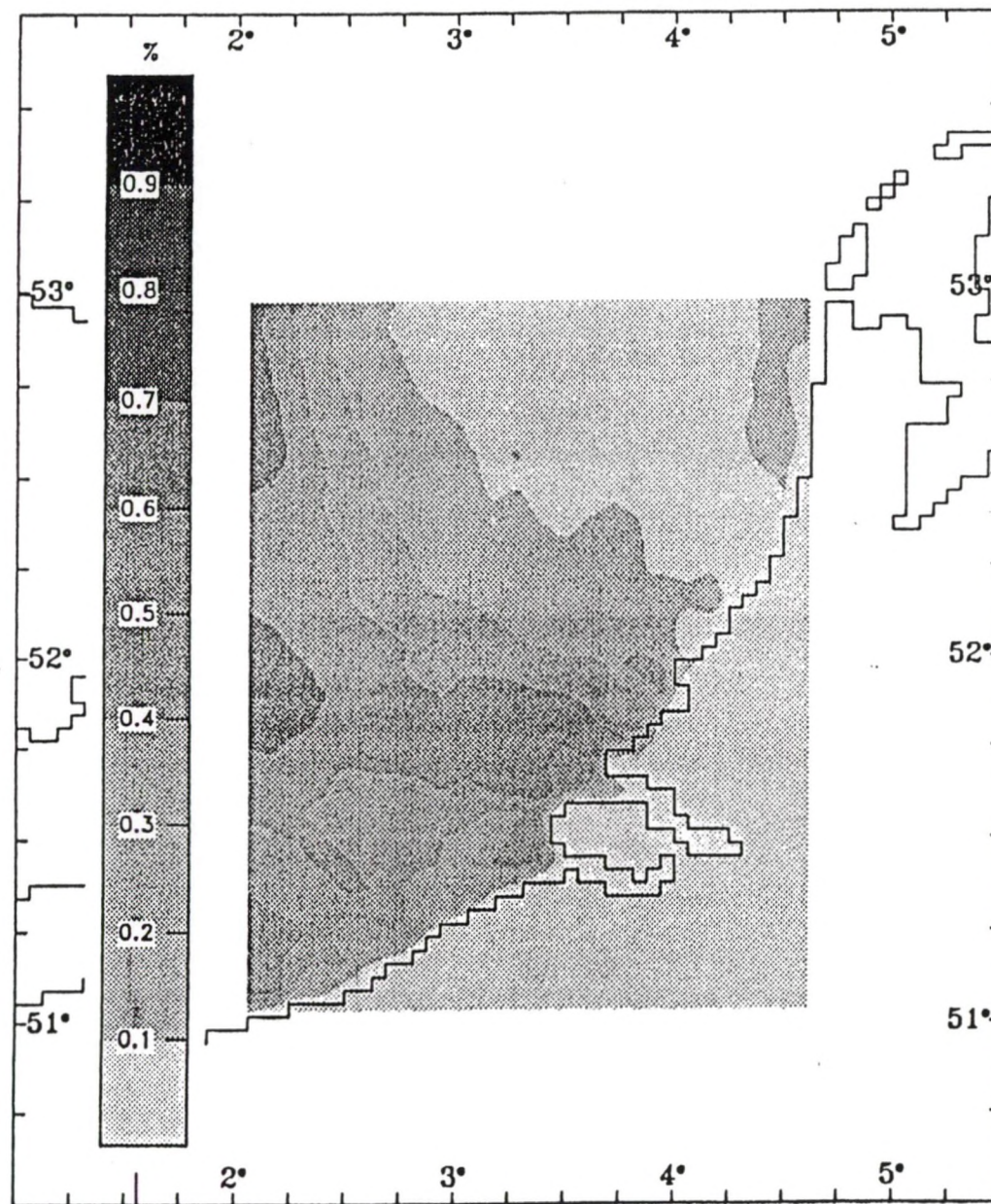
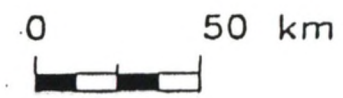


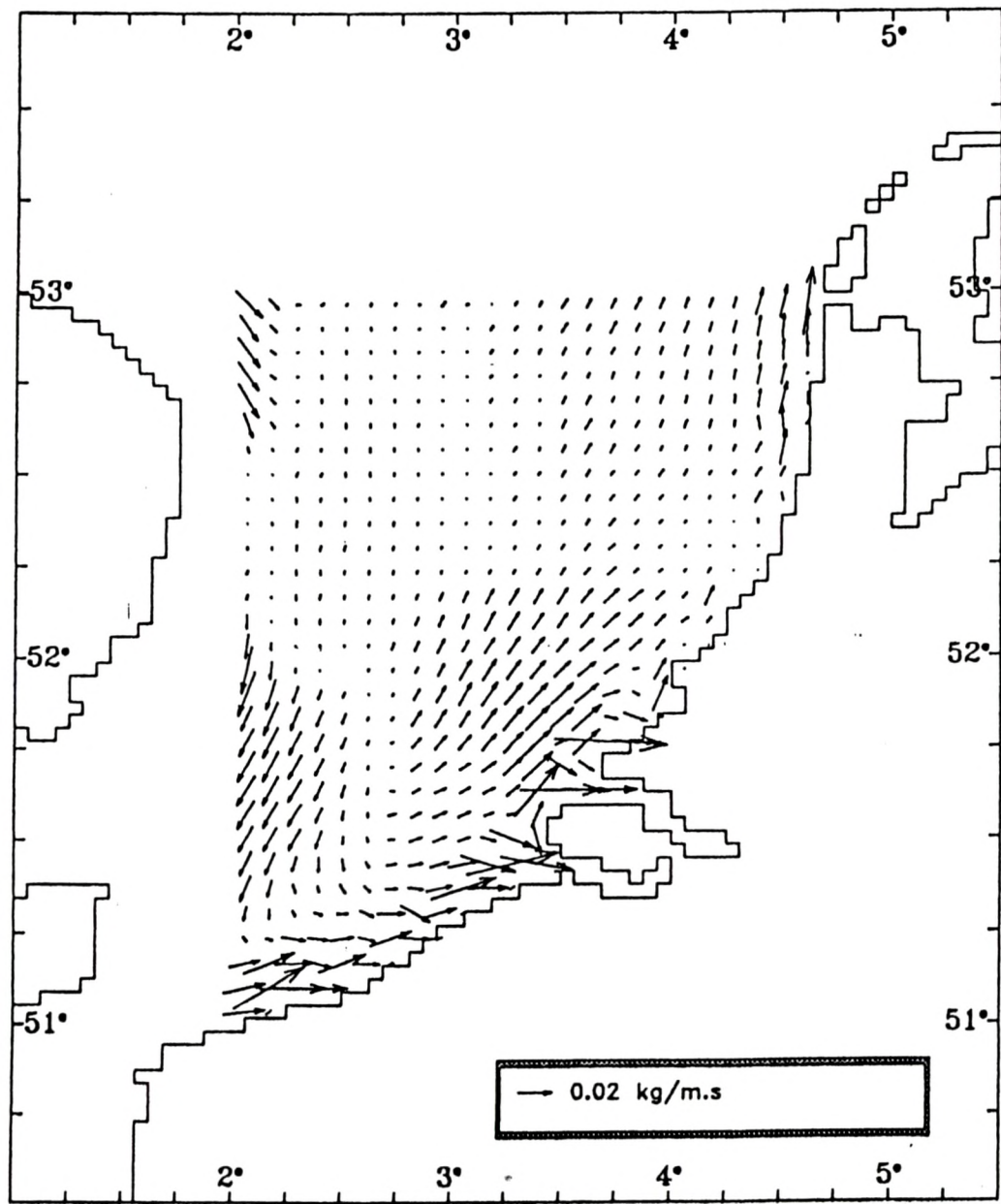
FIGURE 42



Percentage of exceedence : 1698.0 um (0.24%)
 M.U.M.M. North Sea

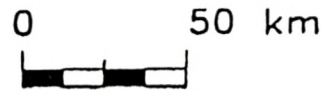


Figuur 43

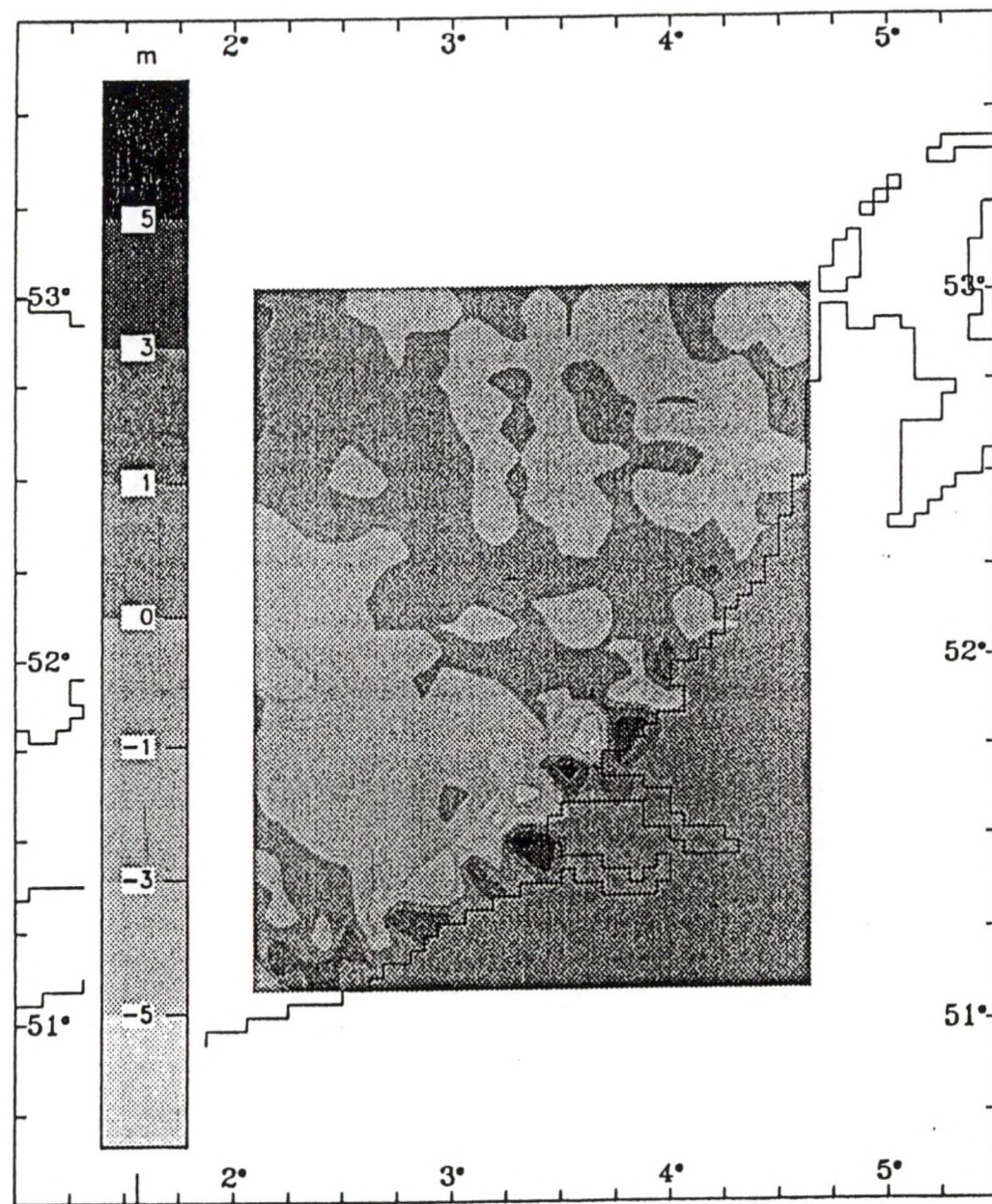


Mean sediment transport
M.U.M.M. North Sea

berokit ... total shun

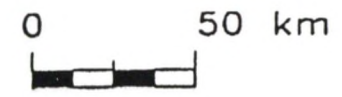


Figuur 48

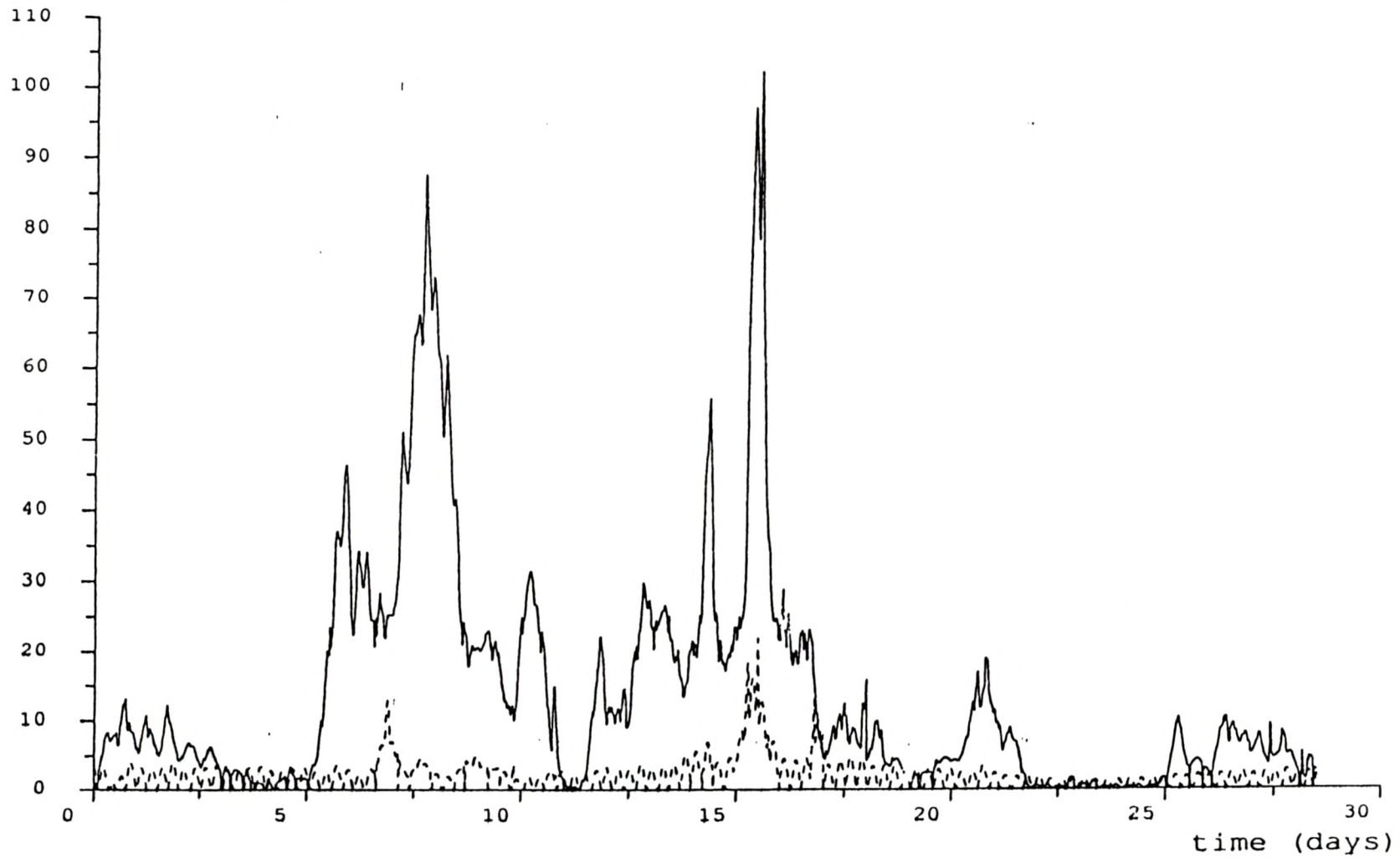


Evolution of the bottom
M.U.M. North Sea

Figur 49



Total bottom stress (Pa)

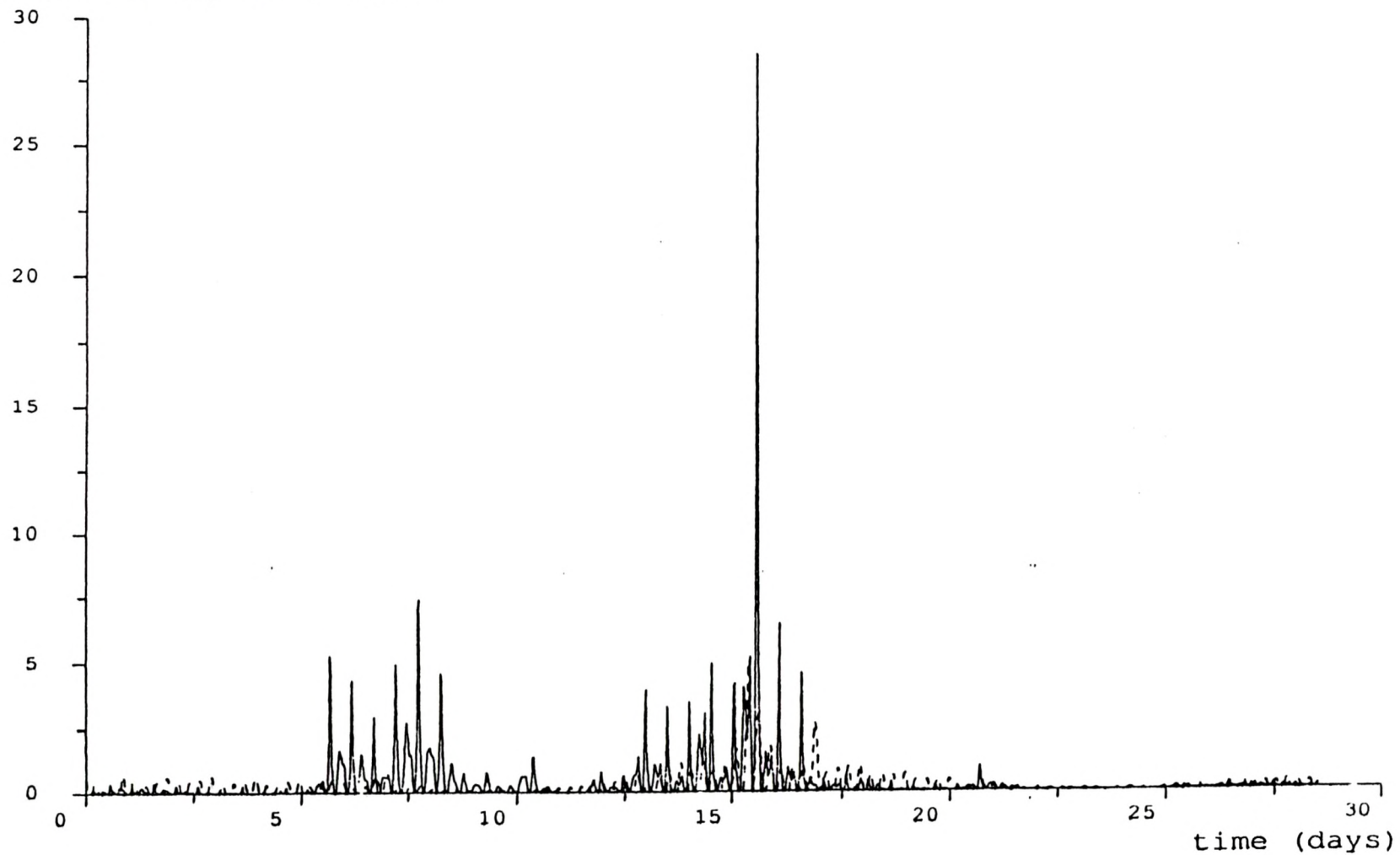


—— Point 1

----- Point 2

M.U.M.M. North Sea

Sediment transport (kg/m.s)

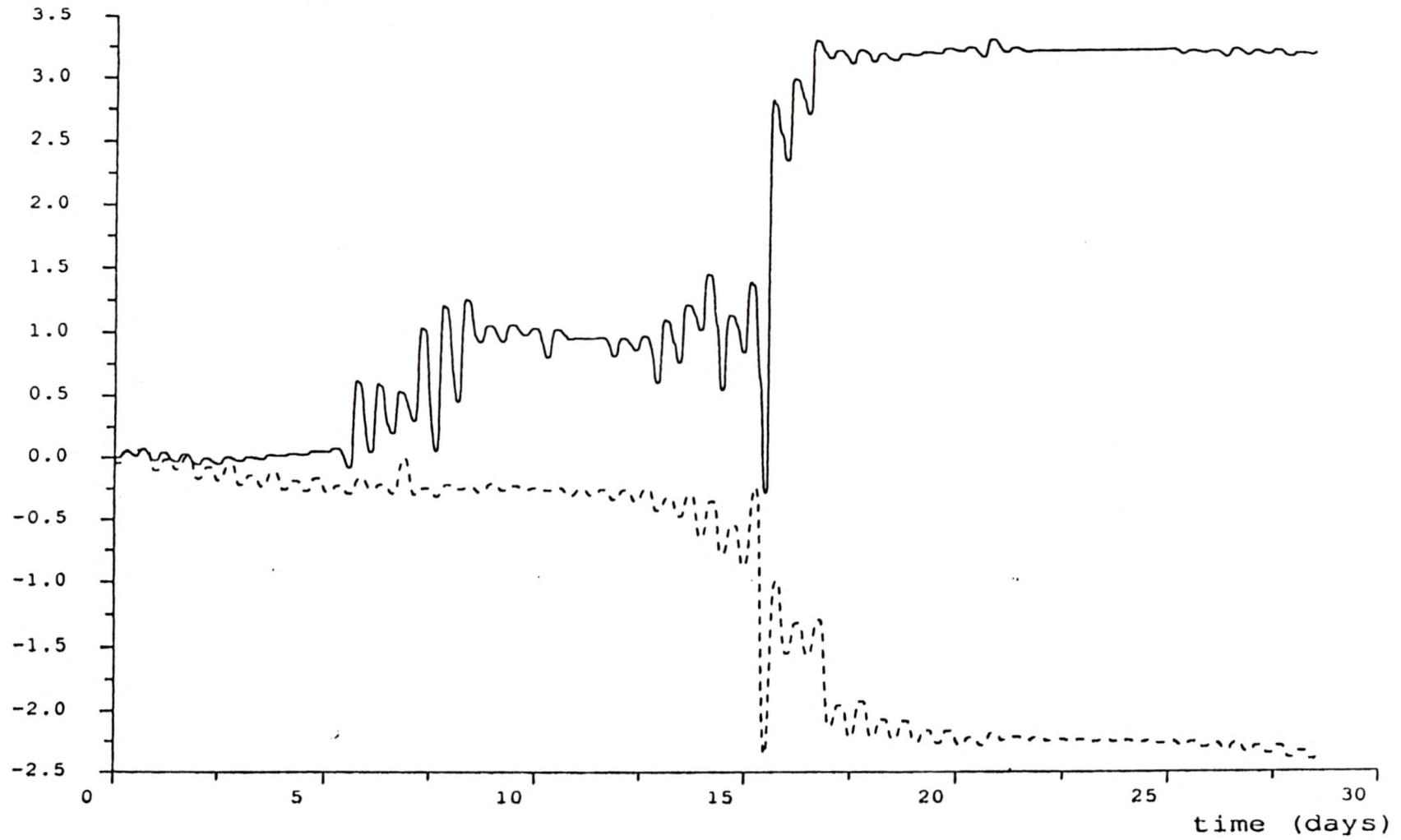


—— Point 1

----- Point 2

M.U.M.M. North Sea
Figuur 61

Evolution of bottom level (m)



— Point 1

- - - Point 2

M.U.M.M. North Sea

Figure 67

Auteurs(s)	WLB, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout
Titel	Oriënterend erosieonderzoek
Ref.	MOD. 387-3
Organisatie	WLB
Specificatie bron	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur de Waterwegen
Domein	Erosieonderzoek bij uitbouw van de haven van Zeebrugge
Jaartal	1979
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	Aan de hand van een fysisch model wordt de impact van erosieve processen in de onmiddellijke omgeving, dit is aan de voet van de toekomstige havendammen, nagegaan
bruikbaar voor	Zeer lokaal gericht, het heeft dus weinig belang in de kader van het project
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Het fysisch model betreft enkel de onmiddellijke omgeving van de haven van Zeebrugge. De gegevens die uit het model afgeleid zijn hebben dus niet meteen een belangrijke betekenis in het kader van het project.

Het vaste modelbodem ligt op -14m TAW, zodat enkel erosiepatronen tot op die diepte kunnen onderzocht worden.

De resultaten van de proeven zijn louter indicatief voor erosieverschijnselen veroorzaakt door turbulentie aan de koppen en discontinue delen der dammen.

Bij de eindsituatie van de uitbouw lijkt de erosie te handhaven voor de strekarmen, maar een veel grotere intensiteit aan de westelijke strekarmuiteinde. Het geërodeerde materiaal zet zich steeds af voor de havenmond. Het aanleggen van grondbeschermingsstructuren zal enkel de erosiezones zeewaarts verplaatsen, doch niet veranderen aan de grootte van de erosievormen.

Auteurs(s)	WLB, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout. Laboratoire Central d'Hydraulique de France
Titel	Port de Zeebrugge: Etude sur Modèle Réduit Sédimentologique. Rapport Final, Synthèse.
Ref.	MOD. 387.S-7
Organisatie	WLB
Specificatie bron	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur de Waterwegen
Domein	Sedimentologie
Jaartal	1981
Consulteerbaar	Haecon

situering studie De evolutie van de zeebodem in de omgeving van het
havengebied Zeebrugge wordt voorspeld aan de hand van een
fysisch modelonderzoek

bruikbaar voor Het onderzoek is lokaal gericht en levert dus in beperkte
mate een bijdrage aan de kennis van de sedimentologische
processen in het beoogde gebied van het project

Opleggende voorwaarden

Synthese

Figuren

Tabellen

Inhoudstafel

Opsteller

SVE

Synthese

Het modelonderzoek bevestigt, zoals reeds afgeleid uit vroegere
modelonderzoeken, de ontwikkeling van een diepe erosiekuil voor de
westelijke strekarm. De hierbij geërodeerde sedimenten worden gevangen in
de toegangsgeul van de haven.

Auteurs(s)	WLB, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout
Titel	Voorhaven Zeebrugge, Evolutie van de bodemerosies
Ref.	MOD. 387.S-8
Organisatie	WLB
Specificatie bron	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur de Waterwegen
Domein	Erosieonderzoek bij uitbouw van de haven van Zeebrugge
Jaartal	1982
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	Metingen (echo-lodingen) werden uitgevoerd tijdens de verschillende bouwfases om de evolutie van de erosieputten te controleren. Uit de diepte en oppervlakte van de putten werden de volumes berekend van de verplaatste sedimenten.
bruikbaar voor	Locaal gericht project, maar de volumeberekeningen geven wel een informatie van in circulatie gebrachte sedimenthoeveelheden

Opleggende voorwaarden

Synthese

Figuren

Tabellen

Inhoudstafel

Opsteller

SVE

Synthese

Op het einde van 1982 berekende men dat er uit de erosieputten rond de haven van Zeebrugge 340.000m³ sediment in circulatie gebracht is. In het rapport wordt niets vermeld wat betreft de eventuele bestemming van de bewegende sedimenten, maar uit de modellen kan men afleiden dat een grote deel ervan in de toegangseul beland is.

Auteur(s)	Yu C.S., Fettweis M. en Berlamont J., KULeuven, Decroo D., NV Haecon, Blomme E, Ministerie van Openbare Werken Dienst der Kust, Oostende.
Titel	Tidal currents along the West-Belgian Coast
Ref.	
Organisatie	KUL (hydrologie), Ministerie van Openbare werken, NV Haecon Opgesteld voor 'international Conference on Computer Modelling in Ocean Engineering, Venice.
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	1988
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Een 2D-numerisch model werd gebruikt voor het visualiseren en interpreteren van de getijdestromingen aan de Belgische Westkust, om tot een beter inzicht te komen van hun erosieve werking.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Het artikel is een uiteenzetting voor het op punt stellen van een numerisch model van stromingspatronen en bevat in dit opzicht weinig relevante informatie over de stromingen zelf, behalve dan dat de intensiteit, richting en dergelijke van de getijdestromingen aan de Belgische kust vooral lijken afhankelijk te zijn van de bathymetrie.

Auteurs(s)	Yu, Chia-Shun
Titel	Modelling Shelf Sea Dynamics and Estuarine Circulations
Ref.	
Organisatie	KULeuven, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Laboratorium voor Hydraulica
Specificatie bron	Proefschrift voorgedragen tot het behalen van het doctoraat in de toegepaste wetenschappen
Domein	Methodologie van het modelleren voor een shelfgebied
Jaartal	1993
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	
bruikbaar voor	Weinig bruikbaar voor het project
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De informatie verwerkt in de studie is weinig relevant in het kader van het project. Het is meer een methodologische beschrijving voor het ontwikkelen van modellen. Twee gedetailleerde modellen werden weliswaar opgesteld voor de Belgische kustwateren, enerzijds met een gridoppervlakte van 300m² en anderzijds met een gridoppervlakte van 75m². Hierbij dient wel gezegd dat het tweede model niet onafhankelijk is, daar het de randvoorwaarden van het groter model gebruikt. Het gebruik van kleine gridoppervlaktes leek noodzakelijk voor een correcte weergave van de complexe zeebodemmorfolgie. Het model gebruikte "open randvoorwaarden" zodat een juiste reflectie kon gebruikt worden van de reële getijden.

Als conclusie wordt gestipuleerd dat het model goed overeenstemt met reële waarnemingen.

7.2 STA EN TRACERSTUDIES, OPTIMALISATIE VAN BAGGERWERKEN

Auteur(s)	Bastin, A.
Titel	Het gebruik van tracers voor sedimentologisch onderzoek.
Ref.	
Organisatie	KULeuven
Specificatie bron	Voordracht voor het Geologisch Genootschap van het Technologisch Instituut K.VIV, Antwerpen.
Domein	Traceronderzoek.
Jaartal	1964
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Opsporen van sedimenttransport dmv tracers.
Bruikbaar voor	Er wordt een technische beschrijving gegeven van de techniek, en de mogelijkheden worden benadrukt.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Een technische beschrijving van tracerproeven wordt gegeven. In het artikel wordt ook vermeld welke verschillende gegevens uit de gemeten resultaten kunnen gedistilleerd worden:

- (1) kwalitatief: tracerproeven geven een duidelijk beeld van de sedimenttransportpatronen, zowel op korte termijn (bv tijdens 1 tijcyclus) als over een langere periode
- (2) kwantitatief: in het artikel wordt aangetoond dat, als men de techniek gebruikt van continu tracerinjecties gebruikt en dit op regelmatige tijdsbasis, dat men dan ook hoeveelheden ton kan bepalen van het verplaatste sediment.

Auteur(s)	Haecon-KU Leuven (Prof. F. Gullentops)
Titel	Wetenschappelijke evaluatie van Sediment-Trend-Analyse Technieken
Ref.	
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen – Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1992
Consulteerbaar	
situering studie	Ondersteuning van Stortplaatsonderzoek, waar recirculatie van fijnkorrelige baggerspecie vanuit de stortplaatsen experimenteel in situ bepaald wordt met behulp van tracers
bruikbaar voor	Validatie van mathematische modellen
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Doel :

Betere beschrijving van het residueel sedimenttransport op het BCS en langs de Belgische kust, in het licht van optimalisatie van stortplaatsen voor baggerwerken. STA wordt beschouwd als een complement van in situ metingen van recirculatie met tracers, evenals een mathematisch model.

Bestaande STA-technieken worden gescreend. Gebreken van traditionele methodes (vb. McLaren, niet opleggen van residuele transportlijnen, niet in rekening brengen van afstanden tussen sedimentmonsters, niet in rekening brengen van alle korrelgrootteparametercombinaties) worden in een nieuwe methode opgeheven. De methode wordt getest op de CIPS database, bevestigt verschillende benaderingen en toont complementariteit met STA op basis van korrelgroottefractieverdeling.

Het STA-beeld bevestigt het voorkomen van een hydraulisch/sedimentologisch slibvang (marien turbiditeitsmaximum) van de voordelta voor de Belgische kust. Het invloedsgebied van de voordelta van Schelde, Maas, Rijn, Waal en IJ komen naar voor als gesloten gebied waar fijn sediment preferentieel accumuleert. Verder van de kust is het residueel transport afwisselend NO en SW gericht.

Er wordt beklemtoont dat het gaat om kwalitatieve resultaten, en het gebruik beperkt is tot validatie eerder dan calibratie van mathematische modellen.

Auteur(s) NV Haecon
 Titel Stortplaatsonderzoek – Raadpleging van bestaande databanken
 Ref.
 Organisatie Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen – Afdeling Waterwegen Kust
 Specificatie bron
 Domein
 Jaartal 1992
 Consulteerbaar
 Situering studie Ondersteuning van Stortplaatsonderzoek, waar recirculatie van fijnkorrelige baggerspecie vanuit de stortplaatsen experimenteel in situ bepaald wordt met behulp van tracers
 Bruikbaar voor
 Opleggende voorwaarden
 Synthese
 Figuren 1 figuur: Geografische afbakening staalnamegebieden.
 Tabellen
 Inhoudstafel
 Opsteller RAS

Synthese

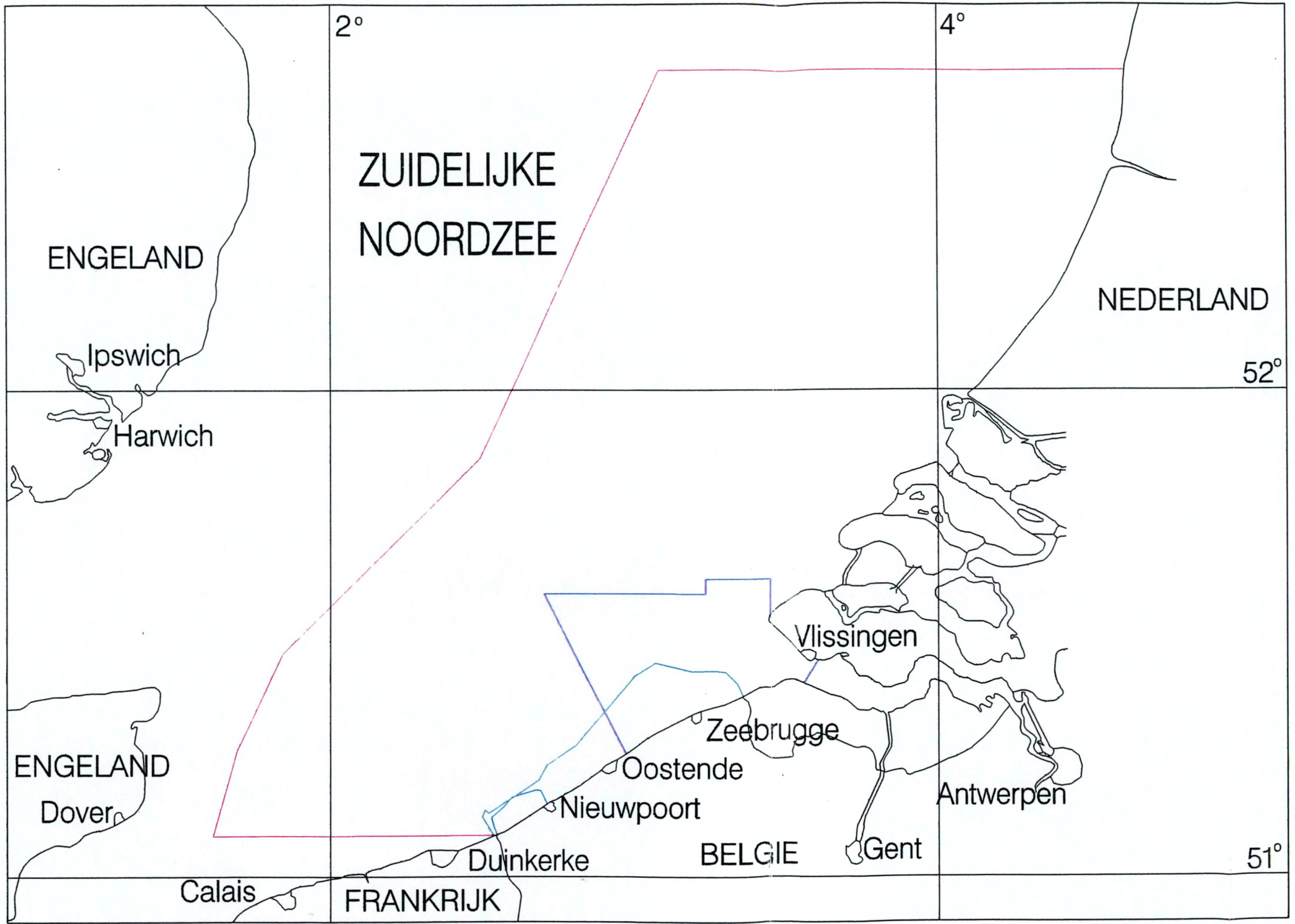
Doel:

Beschrijving van bestaande databanken, waarop STA techniek toegepast wordt, teneinde gebieden met geringere recirculatiekansen aan te duiden.

Er is geen beschrijving van bemonsteringswijze, wel van de verschillende korrelgroottefracties. Er wordt niet beschreven wie eigenaar is en waar stalen geconsulteerd kunnen worden of beschreven zijn.

<i>databank</i>	<i>Project, bron</i>	<i>staalname</i>	<i>Aantal</i>	<i>Staalnamewijze</i>
CIPS	Commission Interministérielle de la Programmation Scientifique, Projet MER 1977	01-72 tot 05-73	1.110	Grid, 3.700m
MOB0321	Optimalisatie der Baggerwerken	08-81 tot 11-87	1.358	Heterogeen, verschillende projecten
KKV0456	Koksijde kustverdediging	12-86 tot 2-87	160	Variabel 30-110m aan strand, 200 tot 1.000m op BCS
NCP0719	Noordzee Continentaal Plat – Geologie oppervlakkige sedimenten	03-88 tot 10-89	418	Grid, 1.000m, er wordt een onderscheid gemaakt tussen slibhoudende en niet slibhoudende monsters
BMM	Beheerseeneheid Mathematisch Model	Meerdere staalnamen van 1980 tot 1985, op zelfde bemonstering-splaatsen voor monitoring doeleinden	Van 20 tot 321	Variabel, soms vaste monitoringpunten

STORTPLAATSONDERZOEK – SEDIMENT-TREND ANALYSE



LEGENDE

GERAADPLEEGDE DATABANKEN

De contouren van de beschikbare gegevens worden geïllustreerd.

- NCP - Noordzee Continentaal Plat
- CIPS - Commission Interministerielle de la Programmation Scientifique (projet MER 1977)
- MOB - Optimalisatie der Baggerwerken
- KKV - Koksijde Kustverdediging



INDEX	DATA	VERZICHT	KONTROLE

STORTPLAATSONDERZOEK – SEDIMENT-TREND ANALYSE
 Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
 Departement Leefmilieu en Infrastructuur
 Administratie Waterinfrastructuur en Zeezeen
 Dienst der Kusthoven, Oostende



SEDIMENT-TREND ANALYSE
 RAADPLEGING VAN BESTAANDE DATABANKEN
 Geografische afbakening van de databanken

Ontstond	VMT	Registra	BME	DIREKTE	Geografisch	Datum	15/12/92
Datum	15/12/92	Schaal	1/1.000.000	Tekening	ISS1165	09.70	011

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Stortplaatsonderzoek - Sediment-Trend-Analyse van geselecteerde data
Ref.	
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap - Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen - Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	Resultierend sedimenttransport
Jaartal	1993
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Ondersteuning van Stortplaatsonderzoek, waar recirculatie van fijnkorrelige baggerspecie vanuit de stortplaatsen experimenteel in situ bepaald wordt met behulp van tracers
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	1 figuur: spreiding van de fractie $125\mu\text{m} >x> 88\mu\text{m}$ in de Zuidelijke Noordzee
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

De STA analyse van data voorgesteld in een vorig rapport wordt besproken. Data worden voorgesteld door een vector, die richting en belang van transport aangeeft voor gevallen die:

Wijzen op netto sedimentatie: deze zijn vooral naar het NE toe georiënteerd.

FB- : fijne beter gesorteerde negatief geskewde transporttrend

FB+ : fijne beter gesorteerde positief geskewde transporttrend, wijst op ontmenging van grof materiaal

Wijzen op netto erosie: SW-waarts gericht

CB- : grovere, beter gesorteerde negatief geskewde transporttrend

CB+ : grovere, beter gesorteerde positief geskewde transporttrend

Korrelgroottefracties worden voorgesteld als afwijking onder vorm van standaarddeviatie ten opzichte van het gemiddelde.

Het mathematisch model van de BMM wordt besproken :

Op basis van hydrometeorologische gegevens worden golven en getijden berekend, het volgend horizontaal getij is basis voor de resulterende stroming, die op haar beurt voor de berekening van schuifspanning gebruikt wordt. Er wordt uitgegaan van gemiddelde totale bodemruwheid (korrelgrootte en ribbelhoogte), er wordt enkel niet-cohesief sediment beschouwd, zand met $d_{50}=190\mu\text{m}$. Er wordt geen rekening gehouden met golf-geïnduceerd transport (enkel stromingsrichting wordt in rekening gebracht). De formuleringen van het sedimenttransport zijn eenvoudig. De resolutie is 7,5km, dit weerspiegelt niet de zandbankgeometrie. Er wordt geen rekening gehouden met stormsurge. De gemodelleerde periode, oktober 1987, is gekenmerkt door twee stormen, en is mogelijk niet representatief.

Aan de kust vertoont het model de invloed van boundary effecten en wordt niet als representatief beschouwd. Bovendebieten van rivieren worden ook niet beschouwd. Er wordt gewezen op het ontbreken van overeenkomsten tussen de overschrijdingsfrequentie van kritische bodemspanning en de korrelgroottefractieverdeling. Het turbiditeitsmaximum komt niet tot uiting.

Het gemiddeld sedimenttransport blijkt meest intens langs de Belgisch-Zeelandse kust (invloed golfwerking) volgens de dominante vloedrichting; de aanvoer naar de Scheldemondingen is opvallend. Het dwarstransport (tracers, STA) komt niet tot uiting.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Optimalisatie der baggerwerken - Evaluatie de optimalisatie op basis van de resultaten bekomen in de eerste twee onderzoeksjaren
Ref.	MOB321/86/3569
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	1986
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	Studie voor: <ul style="list-style-type: none"> - Bepaling van de nautische bodem - Operationeel maken van slibmeetsystemen, voor sturing van onderhoudsbaggerwerken - Optimalisatie van onderhoudsbaggerwerken - Baggertechnische ontwikkeling ter verbetering van het productieproces
------------------	---

bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	Niet relevant
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Er wordt een synthese voorgesteld van de hoger voorgestelde onderwerpen. Uit de studie van de optimalisatie van het baggerproces volgen volgende bevindingen.

De grootste stortplaatsefficiëntie wordt op basis van verschilkartering vastgesteld voor S1, vooral de grofst fractie wordt teruggevonden, de fijnste wordt blijkbaar uitgewassen.

Overvloeitracerproeven in de haven van Zeebrugge tonen:

- Slib dat in suspensie de haven binnendringt zet zich voornamelijk af in neren,
- Slib dat via densiteitsstromen over de geulbodem de haven binnenkomt blijft geconcentreerd in de geul zelf
- Overvloeislib migreert slechts over korte afstanden in de haven alvorens te sedimenteren.

De agitatie-efficiëntie is in de haven beperkt.
Het behaald financieel voordeel wordt beargumenteerd
De studies die aan de basis liggen van deze bevindingen worden niet
besproken in dit rapport.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Stortplaatsonderzoek – Identificatie en selectie van de te onderzoeken stortplaatsen; Recirculatietracerproef Sx3
Ref.	MSB0721/00280
Organisatie	Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, LIN, AWZ, Dienst der Kust
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1993
Consulteerbaar	
situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichting en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	2 figuren: Programma van recirculatie tracerproeven, Baggerefficiëntie en recirculatie van baggerspecie.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

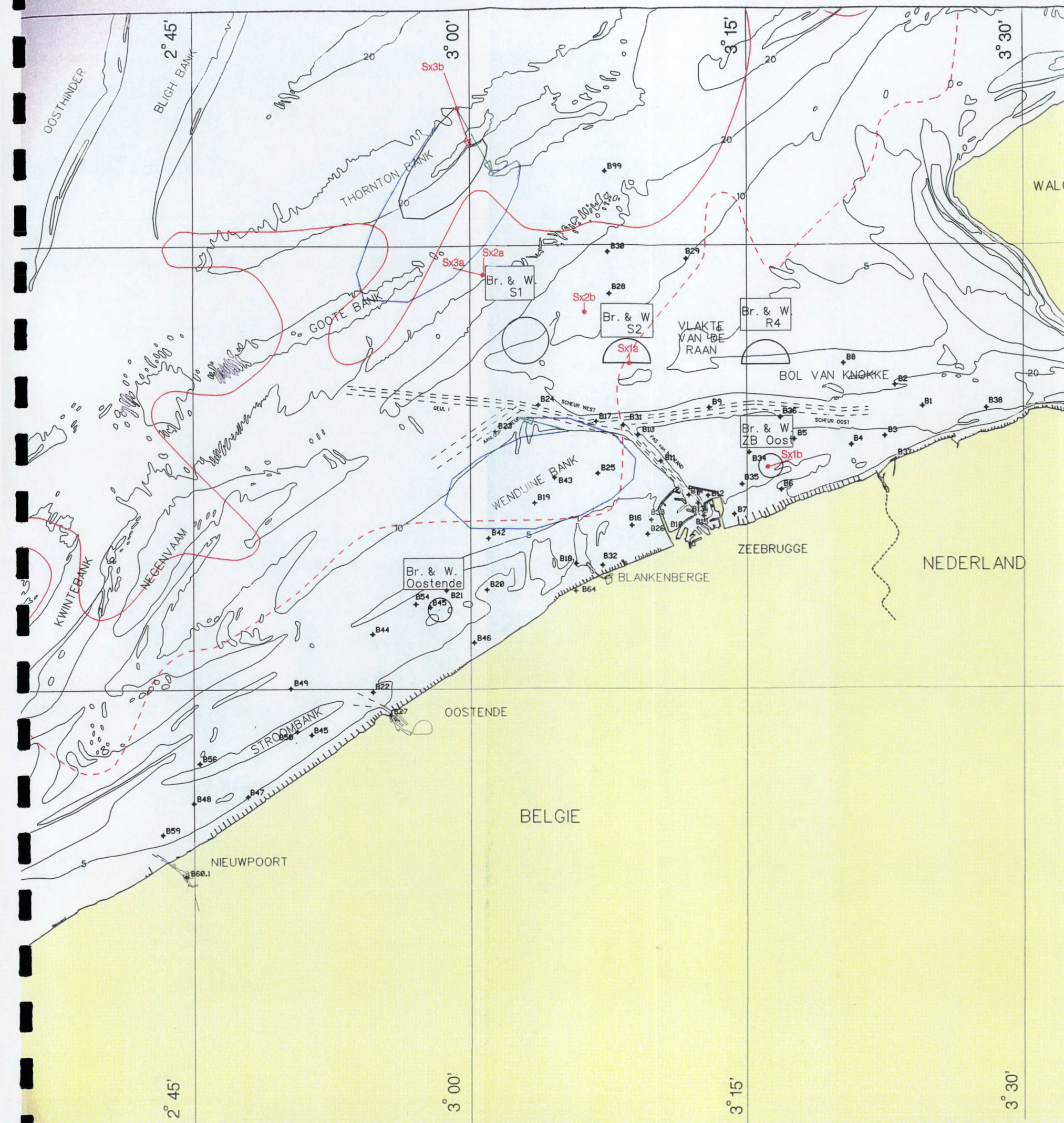
Synthese

Doel: terreinstudie van fijnkorrelige stortverliezen (baggerslib) naar de kustzone en de baggerlocaties, dmv radioactieve recirculatietracers.

Sx3 is gebaseerd op proeven Sx1, Sx2 en de sedimenttrendanalyse.

Sx1 (1992) op S1 en S2 bevestigt een eerder proef (1988) op S1: er is slibrecirculatie naar de havens van Oostende en Zeebrugge binnen 10 tot 15 dagen, na een dertigtal dagen is de recirculatie "constant". Proef Sx2 (noordflank Akkaertbank, ebschaar tussen S1 en S2) toont na 2 dagen reeds het voorkomen van tracer in de havens die bemonsterd werden (van Nieuwpoort tot Breskens). De tracers bleken onder invloed van stormen tot in de Schelde opgestuwd te worden en bleken via het eboverschot terug in zee, de zeehavens tot ver in de Oosterschelde te migreren.

STA toont het invloedsgebied van het estuarium. Sx3 heeft als bedoeling te testen of recirculatie vermeden wordt door slib buiten deze zone te storten. De resultaten van Sx2 worden getoond, maar niet besproken.



LEGENDE

<p>Br. & W. S1 </p> <p>WESTHINDER </p> <p></p> <p>— </p> <p>- - - </p>	<p>Loswal baggerspecie</p> <p>Zandbank</p> <p>Vaargeul</p> <p>Dieptelijnen 5, 10 en 20 m t.o.v. GLLWS ref: peilingen Hydrografie Oostende 1990</p> <p>Equipartitielijnen van recirculatie berekend met STA. (Maximale begrenzing van aanrijking aan de fractie 177µm > x > 125µm (genormeerde waarden). Berekend door middel van fraktieanalyse.)</p> <p>Equipartitielijnen van recirculatie berekend met STA. (Maximale begrenzing van het gebied met kustwaarts sedimenttransport. Berekend door middel van sediment-trend analyse.)</p>	<p>Sx3b </p> <p></p> <p></p> <p>Injektie-locaties a en b</p> <p>stroomroos bij springtij</p> <p>stroomresidu</p>
--	--	--

HET BELGISCH CONTINENTAAL PLAT
MET AANDUIDING VAN
DE LOSWALLEN VOOR BAGGERSPECIE

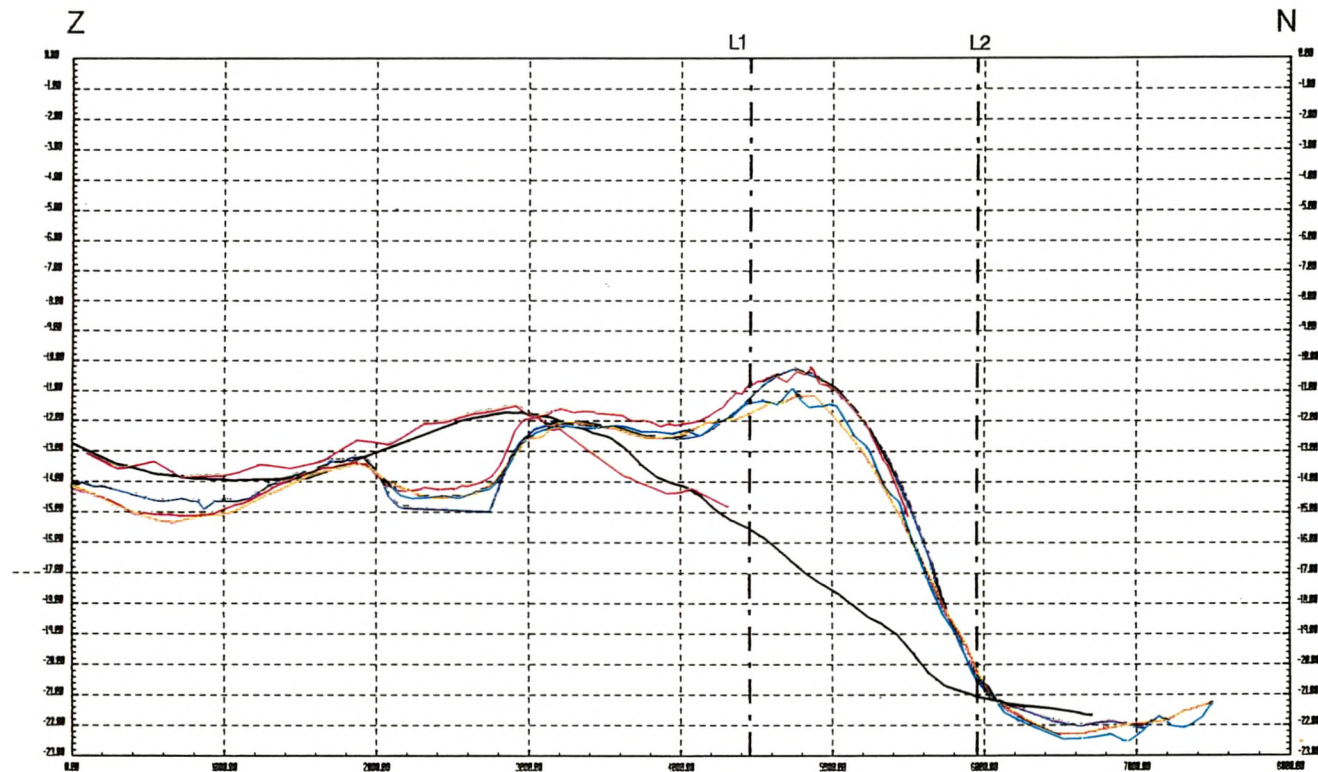
INDEX	DATUM	WIJZIGING	KONTROLE

STORTPLAATSONDERZOEK

<p>MINISTERIE VAN VLAAMSE GEMEENSCHAP DEPARTEMENT VAN LEEFMILIEU & INFRASTRUCTUUR ADMINISTRATIE WATERINFRASTRUCTUUR EN ZEEWEZEN DIENST DER KUSTHAVENS</p>	 HAECON N.V. HARBOUR and ENGINEERING CONSULTANTS <small>Duinaertsteerweg 118 B-9831 GENT-DRONGEN Tel. 09-226.56.94 - Fax 09-227.61.85</small>
---	---

STORTPLAATSONDERZOEK
VOORGESTELD PROGRAMMA
Sx3 Recirculatie tracerproef

Getekend	JRR	Nagezien	BME	DIREKTIE	Goedgekeurd	Datum : 31/07/93	Ref. :
Datum	31/07/93	Schoof	1:250.000	Tekening No	MSB0721	09.70	012
/usr3/projects/msb721/kds/msbx3							



Afstand [m] – Dwarsprofiel 1

LEGENDE :

- Diepte [m] 1995 —
- Diepte [m] 1992 —
- Diepte [m] 1990 —
- Diepte [m] 1986 —
- Diepte [m] 1976 —
- Diepte [m] 1962 —

Schaal: H = 150000
V = 1250

Dieptewaarden in m t.o.v.G.L.L.W.S

Referentie : Lokatie profielen

zie planzicht Tek.: 34.30.001

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT VAN LEEFMILIEU EN
INFRASTRUCTUUR
ADMINISTRATIE WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING WATERWEGEN KUST



HAECON N.V.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

STORTPLAATSONDERZOEK

DWARSPROFIEL 1

Stortplaats Br & W S1 / Br & W S2

GETEK.: DOR

GEZ.: BME

MSB0721/00667

Fig.: 4.4

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Stortplaatsonderzoek, Bijakte 1 – Eindrapport van de Sediment-Trend-Analyse : interpretatie van de STA-resultaten
Ref.	ISS1165/00085
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen – Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	Resultierend sedimenttransport
Jaartal	1994
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Ondersteuning van Stortplaatsonderzoek, waar recirculatie van fijnkorrelige baggerspecie vanuit de stortplaatsen experimenteel in situ bepaald wordt met behulp van tracers
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Samenvoeging van alle tot dan toe gepubliceerde rapporten met betrekking tot STA onderzoek, met bijkomende beoordeling.

Er wordt goede overeenkomst tussen verschillende waarnemingen vastgesteld (stromingen, verschilkaarten, tracerproeven). STA draagt in belangrijke mate bij tot kennis over afkomst en bestemming van het sediment (commentaar: dit wordt echter nergens besproken). De resultaten zijn gemiddelden die seizoenale verschillen omvatten, zoals variatie in de bovendebieten van de grote rivieren. De fractieanalyse wordt beschouwd als middel om de interpretatie te vergemakkelijken. De methode sluit ook golfwerking in, die in belangrijke mate de ligging van de slibvelden voor de kust zou kunnen bepalen. Dit is in overeenstemming met de opzet van het mathematisch model. Er wordt gestipuleerd dat de uitwisseling tussen Noordzee en Schelde gering is, dit wordt echter nergens door een argumentatie hard gemaakt.

STA wijst op kustwaarts transport (5km W, 20km E), binnen het gebied zijn er hoge recirculatiekansen. Daarbuiten zijn ze kleiner.

Dit stemt overeen met de resultaten van traceronderzoek. Buiten de zone is storten economisch niet haalbaar. Keuze van stortplaats is bijvoorbeeld ter hoogte van de NE flank van de Wenduinebank, of ter hoogte van het ZB-Ooststort, binnen het recirculatiegebied. Er wordt gewezen op de hydrodynamische verschillen met de Nederlandse kustzone, golven worden niet op zandbanken gebroken, de energie van deining is groot, er is dispersie van het slib. Voor België wordt de energie door de zandbanken gebroken.

Er wordt voorgesteld de zones rond de baggerplaatsen door een kortstondige meetcampagne te bedekken worden teneinde de recirculatieproeven te valoriseren, die zich niet enkel op de zandfractie maar ook de slibfractie toelegt. Het ontbreken van slibfractie, of tekort aan stalen van deze fractie wordt als gebrek van de STA beschouwd.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	The cost-effectiveness of sedimentological studies in optimizing maintenance dredging
Ref.	
Organisatie	Haecon
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De nadruk wordt gelegd op de verschillende punten die in consideratie moeten genomen worden bij het opmaken van een zo efficiënt mogelijke baggercampagne.

Het onderzoek is niet specifiek gebonden aan de Belgische kustzone.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Stortplaatsonderzoek - Sediment-Trend-Analyse voor het bepalen van het globaal residueel sedimenttransportpatroon – Syntheserapport
Ref.	ISS1165/00065
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen – Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	Resultierend sedimenttransport
Jaartal	1994
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Ondersteuning van Stortplaatsonderzoek, waar recirculatie van fijnkorrelige baggerspecie vanuit de stortplaatsen experimenteel in situ bepaald wordt met behulp van tracers
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Inhoudelijk kan verwezen worden naar “Stortplaatsonderzoek-Eindrapport van de Sediment-Trend-Analyse: interpretatie van de resultaten”.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Stortplaatsonderzoek – Syntheserapport
Ref.	MSB0721/00390 en MSB0721/00441 (Engelstalige versie)
Organisatie	Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, LIN, AWZ, Dienst der Kusthavens
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1994
Consulteerbaar	
situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichting en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Het tracerprogramma bestaat uit 6 injecties van recirculatietracers, gespreid over 3 jaar, waarbij op regelmatige tijdstippen van de monding van de Westerschelde tot Nieuwpoort bemonsterd werd.

SX1	04-92	ZbO (Hf): 2,8km	S2 (Tb): 12,5
SX2	01-93	N-flank Akkaertbank (Hf): 21km	Ebschaar S1/S2 (Tb): 15km
SX3	09-93	Negenvaam (Hf): 17km	N-flank Thornton (Tb): 30km

De proeven toonden aan dat de stortverliezen zich voordoen als een losse weinig geconsolideerde slibafzetting van ca. 0,5m dikte die over de zeebodem migreert, deze concentreert zich in een smalle band langs de Belgische kust van Nieuwpoort tot Terneuzen.

Een groot deel van het slib blijkt te recirculeren en wordt blijkbaar hydraulisch gevangen. Er blijkt een beperkte uitwisseling te zijn voor de uitwisseling van sediment met de rest van de Noordzee. Bovendien migreert stroomopwaarts de Westerschelde. Hoe groter de afstand tot de kust, hoe kleiner de weergevonden concentraties, ook hindernissen vertragen de recirculatie.

De recirculatie gebeurt zeer snel, afhankelijk van de locatie van injectie binnen de twee dagen, na verloop evolueert de concentratie naar een stabiele waarde in de havens. Ondanks onderhoudsbaggerwerkzaamheden is er slechts een geringe vermindering van de traceractiviteit, stormen daarentegen zorgen voor snelle verdunning van de tracers. Het lijkt erop dat slib voor de Belgische kust door natuurlijke processen geconcentreerd wordt, en er slechts geringe uitwisseling is met de Noordzee.

Alle gegevens wijzen op recirculatie van slib in een vrijwel gesloten systeem met kustwaarts transport door natuurlijke (residuele) en door baggeren geïnduceerde stromingen. Buiten deze zone is er wel een belangrijke uitwisseling met de Noordzee.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichtingen en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken in de toegangen tot de zeehavens – Stand van het onderzoek op 30-03-95
Ref.	MSB0721/00508
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap, LIN AWZ, AWK
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	1995
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichtingen en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken in de toegangen tot de zeehavens. De studie omvat volgende deelactiviteiten: <ul style="list-style-type: none"> - Evaluatie van recirculatiepatronen van fijnkorrelige slibspecie vanuit de stortplaatsen naar de kust - Onderzoek van de morfologische evolutie van de stortplaatsen - Vooronderzoek inrichting van stortplaats of optimale locatiekeuze - Ondersteuning van mathematische modellering van slibverspreiding (BMM)
------------------	--

bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Het betreft de synthese in de 3 eerste van 4 proeven telkens op 2 startplaatsen (respektievelijk Hf en Tb als tracer).

Sx1: detectie t/m T0+174 h: Aanvankelijk vertoonden beide stortplaatsen een verschil: S2 (accumulatie tussen Blankenberge en Heist) en Zb O (accumulatie in vaargeulen en Belgisch en Nederlandse haven van Westerschelde). Na T0+34 h is de verspreiding gelijkmatig. Het slib zou snel recirculeren naar de kustzone waar het gevangen zit in een slibwolk (turbiditeitsmaximum).

Sx2: detectie t/m T0+162 h : Onderhoudsbaggerwerken zorgen niet voor activiteitsafname, storm daarentegen wel.

De lagere activiteiten in de haven van Oostende zijn mogelijk te wijten aan de grotere afstand. Nu werden beide tracers overal even snel aangetroffen, ondanks feit dat een tracer tegen de equipartitielijn geïnjecteerd werd is deze na twee dagen al algemeen verspreid. Er wordt in de resultaten een bevestiging gezien van de hypothese op basis van het STA onderzoek: ter hoogte van de Belgische kust is er een zone met kustwaarts transport, dat het fijne sediment gevangen houdt (voor de duur van de proef: ca. 4 maand), er is een concentratie van fijn sediment voor de kust en de uitwisseling met de Noordzee is beperkt. Het slib migreert stroomopwaarts de Westerschelde, en in mindere mate ook de Oosterschelde. De recirculatie van de Tb (gestort op de ebschaar tussen S1 en S2) gebeurt even snel maar in kleinere concentratie.

Sx3: detectie t/m T0+190 h : Ook nu is er een recirculatie naar de kust tot ver in de Westerschelde en in mindere mate in de Oosterschelde. De recirculatie is al detecteerbaar 3 dagen na injectie en evolueert naar een stabiele waarde. De tracer geïnjecteerd aan de noordflank van de Thorntonbank wordt maar in een beperkt aantal stalen gevonden en in kleine concentraties, dit is buiten de equipartitielijn en bevestigt het STA-onderzoek. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden hebben maar beperkt effect op de activiteit. Dit wijst erop dat het sediment over een lange periode gevat is voor de kust.

Sx4: was nog niet ten einde.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichtingen en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken in de toegangen tot de zeehavens; Synthese Stortplaatsonderzoek: overzicht van het gepresteerde onderzoek en de rapportering
Ref.	MSB0721/00579
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en Zeewezen – Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	Optimalisatie, baggerwerken, stortplaatsonderzoek, sedimenttransport
Jaartal	1995
Consulteerbaar	
situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichtingen en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken in de toegangen tot de zeehavens
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

De uitgevoerde studies worden gegroepeerd:

1. Bepaling van de nautische bodem
2. Operationeel maken van meetsysteem voor de bepaling van de nautische bodem
3. Optimalisatie van onderhoudsbaggerwerk
4. Baggertechnische ontwikkelingen
5. Verhoging baggerrendement door stortplaatsselectie en -inrichting en hergebruik van baggerzand
6. Sedimentologie en sedimenttrendanalyse

1. Bepaling van de nautische bodem

Niet van directe belang

2. Operationeel maken van meetsysteem voor de bepaling van de nautische bodem

Niet van direct belang

3. Optimalisatie van onderhoudsbaggerwerk

Doel:

Bepalen van gemiddelde baggercycli en optimale overvloeitijden per baggervak en baggerschip, verminderen van slibcirculatie. De optimalisatie vereist storttracerproeven en overvloeitracerproeven voor de ontwikkeling en verfijning van de recirculatieevaluatie.

Baggercyclusproeven, statistische analyse van beladingsdiagrammen en tracerproeven zijn vereist om de invloed van de verkorting van de overvloeitijd te bepalen.

Voorlopige resultaten:

- Bodemverkenning: monsters en natuurlijke radioactiviteit: spreiding der sedimenttypen
- Op basis van verschilkaarten en bodemmonsters is stortplaatsefficiëntie geëvalueerd
- Grofste fractie wordt teruggevonden, fijnere specie wordt blijkbaar door golven en stromingen uitgewassen
- Overvloeitracerproeven in de binnenhaven van Zeebrugge
 - 1) Slib dat in suspensie de haven van Zeebrugge binnendringt zet zich af in neren
 - 2) Slib dat via beladen densiteitstromen over de geulbodem de haven binnendringt, blijft in de geul
 - 3) Overvloeislib migreert over korte afstanden zowel bij eb als vloed
- De agitatie efficiëntie in de haven van Zeebrugge is beperkt
- Verkorting van overvloeitijd in slibgebieden vermindert het effect van agitatiebaggeren, maar vermindert ook het effect van de recirculatie van de verpompte specie

4. Baggertechnische ontwikkelingen

Niet van direct belang

5. Verhoging baggerrendement door stortplaatsselectie en -inrichting en hergebruik van baggerzand

Het onderzoek "Optimalisatie van de Baggerwerken voor de Belgische Zeehavens" (1984-88) wees uit dat het rendement van baggerwerken in grote mate bepaald is door de primaire stortplaatsefficiëntie en de recirculatie van de fijne deeltjes naar de baggerzones (geulen en havens). Dit leidde tot een gedetailleerd programma van zeebodempeilingen op de vijf belangrijkste stortplaatsen sedert 1988, teneinde de stortcapaciteit te bepalen. Verder leidde dit tot het huidige recirculatieonderzoek in het kader van het Stortplaatsonderzoek. Voorts zijn van belang: de ontwikkeling van een mathematisch sedimentologisch model door de BMM, en de toepassing van de sedimenttrendanalysetechniek voor de bepaling van het sedimenttransport, scanning voor de bepaling van suspensietransport.

Identificatie van stortlocaties:

Stortplaats S2 heeft zeer lage primaire stortplaatsefficiëntie: verschillende vloedscharen wijzen op residuele sedimenttoevoer vanuit het noorden naar de geulen toe.

Recirculatieonderzoek:

Stortplaatsonderzoek toont de segregatie van fijne en grove sedimentdeeltjes aan (op basis van verschilkubering, bodemsamenstellings- onderzoek, storttracerproeven). Er blijkt een nagenoeg volledige uitwassing van het slib bij storten. Dit wordt getransporteerd. In vroegere studies is aangetoond dat slibtransport is bepaald door het patroon van residuele transporten. Sedimentcirculatie (kwantitatief en kwalitatief) wijst op het mechanisme van turbiteitsmaximum, dit is een ontmoetingsgebied van residuele sedimenttransporten wat betekent dat het sedimentsysteem relatief weinig uitwisselt met de rest van de Noordzee. Deze bevinding wordt bevestigd door globale studies van de Noordzee en sedimenttrendanalyse (op basis van korrelgrootteanalyse), en toont de relatieve verrijking van fijn materiaal. Het maximum zou de recirculatie beïnvloeden, dit bevindt zich op 8km buiten de kust tussen Zeebrugge en Oostende, en is bepaald door tijcoëfficiënt, golfwerking en bovendebiet Schelde. De ligging zou beïnvloed zijn door de verstoorde residuele transporten ten gunste van de uitbouw van Zeebrugge, dit zou de aanwezigheid van slibvelden verklaren. Dit moet met behulp van tracers bepaald kunnen worden.

Het gemarkeerd verlies betreft een weinig geconsolideerde slibafzetting die over de zeebodem migreert (0,5cm) en die zich uitspreidt van Nieuwpoort tot Terneuzen. Het sediment blijft dus gevangen in het gebied voor de kust, er is slechts beperkte uitwisseling met sediment met de rest van de Noordzee, verder is er stroomopwaartse migratie in de Westerschelde. Recirculatie gebeurt snel (twee dagen).

Er is een zone van kustwaarts transport vastgesteld (westen (5km), oosten (20km)), op basis van tracer en STA studies. Dit houdt het fijne sediment vast, baggerspecie in het gebied gestort zal steeds recirculeren voor de kustzone.

Haalbaarheid stortplaatsinrichting:

Niet van direct belang

Haalbaarheid hergebruik van baggerzand:

Niet van direct belang

6. Sedimentologie en sedimenttrendanalyse:

Stortplaatsonderzoek slaat op tracerproeven om recirculatie te bepalen. Voor optimalisatie van het baggerrendement wordt een studie uitgevoerd met behulp van sedimenttrendanalyse (STA). Dit gebeurt in de eerste plaats op basis van bestaande sedimentologische databanken. STA baseert zich op statistische trends van het afgezette sediment om preferentiële transportrichtingen te identificeren. Onderzoekingen die hieraan vooraf gaan zijn o.m. sedimenttransport, evolutie van de sedimentatie, gedrag van suspensiemateriaal, turbiditeitsmetingen, ...

Onderzoek wijst op zone met kustwaarts transport (W 5kmBCS, E 20kmBCS). In dit gebied is de recirculatie groot, daarbuiten is deze geringer.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	The cost-effectiveness of sedimentological studies in optimizing maintenance dredging
Ref.	
Organisatie	Haecon
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De nadruk wordt gelegd op de verschillende punten die in consideratie moeten genomen worden bij het opmaken van een zo efficiënt mogelijke baggercampagne.

Het onderzoek is niet specifiek gebonden aan de Belgische kustzone.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Recirculatietracerproef Sx4 aan de S1 en de Br & W Zeebrugge Oost – Synthese der meetresultaten
Ref.	MSB0721/00566
Organisatie	Ministerie Vlaamse Gemeenschap – Dept. Leefmilieu en Infrastructuur, Adm. Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust
Specificatie bron	Haecon
Domein	Recirculatietracerproeven
Jaartal	1995
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichtingen en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Tijdens de Sx4 proef werd het bodemclassificatiesysteem Roxann getest, om de beweging van uitgebreide slibvelden en het in suspensie komen van slib in vaargeulen vast te stellen, zonder de beperking van puntgegevens te moeten ondervinden.

Het rapport vat de milieuveiligheidsaspecten en administratieve regelingen voor het uitvoeren van de proeven samen, technische specificaties, beschrijving van injectie- en detectiecampagne, beschrijving hydrometeorologische omstandigheden, detectieresultaten, beschrijving van de Roxann bodemclassificatie ijking.

Sx4 betrof injectie van Hf tracers op S1 en Tb op Br & W op Zb O. De tracer werd slechts op beperkte tijdstippen en plaatsen teruggevonden boven detectielimiet. Enkel in de haven van Zeebrugge werd de tracer herhaaldelijk teruggevonden. De meetperiode betrof een periode met sterk wisselende hydrometeorologische omstandigheden (stormen). Dit wordt beschouwd als medeoorzaak van de minder goede resultaten van de proeven.

Het bleek mogelijk te zijn met de Roxann methode op snelle wijze de slibvelden te traceren. Deze methode wordt aanbevolen voor verdere meetcampagnes.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Haalbaarheidsonderzoek inzake stortplaatslocatie en stortplaatsinrichting.
Ref.	MSB0721/00667
Organisatie	Ministerie van Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen kust.
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	1997
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichting en herbruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	1 figuur: dwarsprofiel 1.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Tracerproeven en recirculatie van baggerspecie

Tracerproeven ten behoeve van de studie van de recirculatie van baggerspecie wezen uit dat bij dumping van de baggerspecie nagenoeg de totaliteit als een dichtheidsstroom naar de bodem vloeit, waarvan slechts 2-5% in suspensie gebracht wordt. Op de bodem echter zal de fijne fractie (slib) zich als een horizontale dichtheidsstroom gedragen. Hierbij gaat een vrij groot deel van de slibfractie in recirculatie terug naar de kuststrook, haven en vaargeulen toe. Bij stormweer wordt een deel opgestuwd in de Wester- en Oosterschelde. Havens die getroffen zijn door recirculatie van baggerslib zijn Zeebrugge, Blankenberge, Oostende, Nieuwpoort, Breskens, Vlissingen en Terneuzen. Tracers werden ook teruggevonden in Scheur (oost en west), en in het Pas van het Zand. Stromen voeren een deel van de tracers terug tot aan de Zandvlietsluis (Westerschelde) en in Wemeligen, Colijnsplaat en Roompot (Oosterschelde). De migratie van slib in de Westerschelde en Oosterschelde (in mindere mate) wordt beschouwd als een uitwisseling en niet als zuivere input van sedimenten. De reden hiervoor is dat een rivier veel sedimenten naar de open zee vervoert, zodat een deel van het aangevoerde slib weer getransporteerd zal worden.

De evolutieve trend van de zeebodem morfologie door baggerdumping aan de hand van verschilkaarten

Voor de expansie van de haven (voor 1979) werd na baggerwerken grote aanwas van sedimenten bemerkt ten O van Zeebrugge en voor de kust van Knokke Heist (K72.10.001).

Op K72.10.002 (periode voor en na expansie Zeebrugge) is een duidelijke verdieping van de geulen merkbaar en voor Zeebrugge zelf. Aanzanding treft men ten O van Zeebrugge aan (naast de havenarm) en voor Knokke Heist is erosie merkbaar.

Op K72.10.003 (1986-1990) is er een verdere verdieping van de geulen zichtbaar en is er een duidelijke aanwinst ter hoogte van de dumpingsites (Scheur). Voor Knokke treedt verdere erosie op, behalve ter hoogte van het Zwin, waar aanzanding plaatsvindt. De Appelzak slijt langzaam dicht.

Op K72.10.004 (periode 1990-1992) stelt men voor de kust van Knokke Heist aangroei van sedimenten vast. Erosie treedt op ter hoogte van de stortplaatsen en een nieuwe zone van sedimentatie strekt zich uit (W kant van de vlakte van de Raan).

Tussen 1992-1994 (K72.10.009) is er een aangroei van sedimenten aan de oostelijke havenarm van Zeebrugge. Voor de kust van Knokke-Heist treedt opnieuw sedimentatie op.

De hoeveelheden baggerspecie die in de latere jaren worden gestort worden amper op hun oorspronkelijke dumpingplaats teruggevonden. De baggerefficiëntie werd in de laatste jaren geschat op een 12%. D.w.z. dat het overgrote deel baggerspecie terug in circulatie komt in de Noordzee. Dit kan zowel terug naar de kust zijn of als dispersie naar de Noordzee.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Haalbaarheidsonderzoek inzake stortplaatslocatie en stortplaatsinrichting
Ref.	
Organisatie	Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, LIN, AWZ, Waterwegen Kust
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1997
Consulteerbaar	
situering studie	Onderzoek naar stortplaatsen, stortplaatsinrichting en hergebruik van baggerspecie ter verhoging van het globaal rendement van onderhoudsbaggerwerken.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	1 tabel: tabel 4.1.
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Synthese van het recirculatieonderzoek met tracers waarop onderhavige haalbaarheidsstudie gebaseerd is: er is belangrijke recirculatie van slib als gestort wordt ten zuiden van de Thornton bank; ze gebeurt snel (enkele dagen); de recirculatie van het los slib gebeurt in gesloten systeem met geringe uitwisseling met rest Noordzee. De evaluatie van de haalbaarheid is technisch, economisch en ecologisch.

Administratieve en ecologische voorwaarden worden besproken.

Tracerproeven worden besproken:

- Gemerkt slib op Br & W S1 onder eb en vloed condities:
Slechts geringe fractie van beunspecie 2-5% wordt in suspensie gebracht bij storten, op de zeebodem plant de specie zich voort onder invloed van de horizontale dichtheitsstroom, na twee tijcycli blijkt de specie geïrodeerd te zijn en blijft enkel de zandfractie over.
- Sx1 op Br & W S2 en Br & W ZbO toont recirculatie naar havens binnen 10 tot 15 dagen, activiteit blijft constant na 30 dagen.
- Sx2 tussen Br & W S2 en Br & W ZbO geeft al na 2 dagen tracer tussen Nieuwpoort en Breskens. Verder is er migratie naar Wester- en Oosterschelde.

- Sx3 tracer aan noordflank van Thornton (ten noorden van de STA equipartitielijn) toont ook recirculatie (binnen een 3tal dagen) en migratie in de Schelde, wel blijkt de concentratie veel kleiner te zijn.
- Sx4 op Br & W S1 en Br & W Zb O: niet teruggevonden: toegeschreven aan de toen heersende stormcondities.

De geologie voor de kust wordt beschreven. Tertiair, quartair, dikte van het quartair worden afzonderlijk besproken, tenslotte wordt de opname met de Roxann methode besproken. Deze laat toe de mobiliteit te bepalen in geval van opeenvolgende metingen. De campagne is echter beperkt tot één meting.

De databank gestorte hoeveelheden wordt voorgesteld (tabel 4.1). De opmetingen van de zeebodem wordt voorgesteld, op weke basis verschilkaarten gemaakt zijn, deze worden gebruikt om de evolutie van de zeebodem na te gaan en in het bijzonder bij de stortplaatsen.

Volgende verschilkaarten worden besproken:

- 76-62: verdieping geulen, vooral de aanwas van Br & W S1 is duidelijk, verder valt de aanwas voor Knokke-Heist en ten oosten en ten westen van Zeebrugge op.
- 86-76: verdieping geulen en zone voor haven Zeebrugge; dit is de periode van de uitbouw, Br & W S1 valt ook op, ook de verzanding ten oosten van de oostelijke havendam; er is nu erosie ter hoogte van Knokke-Heist.
- 90-86: toont terug de verdieping van de geulen. Er is terug verondieping bij Br & W S1, maar ook tW van Br & W S2 en Br & W R4, erosie bij Knokke-Heist, sedimentatie bij Zwin.
- 90-92: verdieping geulen is beperkt, ondanks storten bij Br & W S1 is er verdieping, verondieping vindt plaats tussen S1 en S2, voor Knokke-Heist terug sedimentatie.
- 92-94: geen verdieping van de geulen, enkel ter hoogte van Br & W S1 wordt verondieping waargenomen, ondanks storten verdiept S2. Voor Knokke-Heist is er terug erosie.

Verder worden specifieke verschilkaarten voor de stortgebieden besproken:

- 94-95 en 95-96 Br & W S1 geringe aanwas niet in verhouding tot gestorte hoeveelheden.

Parallel worden enkele dwarssecties doorheen S1 en S2 besproken: zowel de verondieping, maar vooral de toename van de westelijke helling is duidelijk; ook de verdieping en verbreding van de vaargeulen is duidelijk. De verondieping bij Zb O en Zb W is beperkt tot 1 à 2 m, dit is zeer beperkt in vergelijking met de gestorte hoeveelheden.

De verschillkubieken voor de verschillende stortplaatsen worden vergeleken met de gestorte hoeveelheden: de efficiëntie varieert van 11.4 tot 25.9% voor S1 afhankelijk van de beschouwde periode. De dispersie is dus groot. Bij S2 en Zb O is de efficiëntie nagenoeg nul.

Bij dit laatste wordt wel de sedimentatietrend van de hele Paardenmarkt opgemerkt.

Verskillende oplossingen worden voorgesteld en geëvalueerd:

- Behoud stortplaatsen (nuloptie)
- Storten ten Noorden van de Thorntonbank
- Inkorten van vaarafstand
- Inrichten van stortplaats
- Stort bij de kust

STORTPLAATSSEN

Pachjaar	Stortboei S2			Appelzak R4			Stortboei S1			Paardemarkt			Oost en West van Zeebrugge			Totaal	Cumulatief
	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand Ribzand	Scheur	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand Ribzand	Scheur	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand Ribzand	Scheur	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand	Scheur	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand	Scheur		
01/04-31/03																	
60-'61														1722044		2.633.313	2.633.313
61-'62																5.079.423	7.712.736
62-'63																12.266.950	12.266.950
63-'64																17.748.163	17.748.163
64-'65														676143		21.237.231	21.237.231
65-'66														813837		25.165.459	25.165.459
66-'67														2112265		31.389.449	31.389.449
67-'68														8844371		47.488.337	47.488.337
68-'69														4821632		54.988.906	54.988.906
69-'70														5918399		69.910.470	69.910.470
70-'71														3482767		9.485.828	79.396.298
71-'72																8.393.676	87.789.974
72-'73				2.553.750												14.655.693	102.445.667
73-'74				2.845.618												21.034.933	123.480.600
74-'75				2.503.762												22.462.709	145.943.309
75-'76				2.500.070												21.749.087	167.692.396
76-'77				2.568.247												24.044.710	191.737.106
77-'78				2.602.497												22.878.669	214.615.775
78-'79				2.675.034												24.268.158	238.883.933
79-'80				3.392.890												27.819.833	266.703.766
80-'81				2.617.489												40.266.420	306.970.186
81-'82																49.566.964	356.537.150
82-'83																43.597.326	400.134.476
83-'84																32.129.365	432.263.841
84-'85																47.775.252	454.345.977
85-'86																25.387.353	479.733.330
86-'87																33.291.835	513.025.165
87-'88																29.721.265	542.746.430
88-'89																22.010.934	564.757.364
89-'90																22.638.774	587.396.138
90-'91																20.312.254	607.708.392
91-'92																6.640.733	627.863.231
92-'93																18.858.299	646.721.530
93-'94																18.153.932	664.875.462
94-'95																16.308.534	681.183.996
95-'96																16.117.678	697.301.674

Tabel 4-1
Inventaris gestorte hoeveelheden baggerspecie (m³ 2e soort) periode 1960-1996

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Sedimentbalansen en Slibcirculaties. Inventaris van gegevens betreffende sediment aan- en afvoer in het zuidelijke deel van de Noordzee.
Ref.	MBS460 / 87.0507
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust
Specificatie bron	Haecon
Domein	Inventaris van gegevens betreffende sediment aan- en afvoer in het zuidelijk deel van de Noordzee
Jaartal	1987
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Inventaris van gegevens betreffende sediment aan- en afvoer in het zuidelijk deel van de Noordzee
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	Figuren: 8
Tabellen	Tabellen: 5.
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Uit de verschillende onderzoeken (STA, traceranalyses en resultaten van vroegere studies) werd er in het rapport geconcludeerd dat sedimenttransport langs de Belgische kust een zeer complex fenomeen is daar het onderhevig is aan een turbiditeitsmaxima (= stromingsregime voor het Belgische continentaal plat).

Volgens het rapport (1987) zou :

- het totale sedimentaanvoer in de Noordzee 32.000.000 ton/jaar bedragen, waarvan slechts 100.000 ton uit de Westerschelde
- aanvoer van zee naar Westerschelde : 1.000.000 ton/jaar
- aanvoer van Westerschelde naar Noordzee : 100.000 ton/jaar
- totaal transport langs de Belgische kust in noordoostelijke richting : 7.000.000 ton/jaar

Een deel van dit laatste wordt gesedimenteerd in de havens en vaargeulen, die op hun beurt gebaggerd worden. 10 tot 40% van de baggerspecie bestaat uit zand, de rest is slib. Door het baggeren en een deel ervan opnieuw op stortplaatsen te dumpen komt een deel van het gebaggerd materiaal terug in circulatie.

Op basis van het cijfermateriaal dat betrekking heeft tot onderhoudsbaggerwerken in de Noordzeehavens kan het volgende geëvalueerd worden:

- de haven van Duinkerke kent een jaarlijkse aanwas van circa 2.000.000 ton droge stof per jaar (slib).
- De Belgische kusthavens Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge en Zeebrugge kennen een gezamenlijke jaarlijkse aanwas van de orde van grootte van 10^7 m³ per jaar. De specie is overwegend slib, met een significante zandbijmenging (10 tot 40%).
- De vaargeul Wielingen-Scheur heeft een jaarlijks geschatte aanwas van 10^7 m³ 2de soort (slib en zand).
- De haven van Rotterdam kent een jaarlijkse onderhoud van 8.000.000 ton d.s. per jaar, met een deel van fluviaatiele oorsprong (28%) en een deel van mariene oorsprong (72%). Dit betekent dat Rotterdam voor een jaarlijkse netto-aanvoer zorgt van ongeveer 5.800.000 ton d.s.

Men kan dus een globale transit via de Franse, Belgische en Nederlandse kusten afleiden van 5 tot 10 van circa 5 tot 10 miljoen ton d.s. per jaar in noordoostelijke richting. Van deze transit moet een deel in de beschouwde havens en vaargeulen sedimenteren om daar door onderhoudsbaggerwerken verwijderd te worden.

Op basis van slibaanvoer uit zee en uit de aanlopende rivieren is het mogelijk een kwantitatieve slibbalans op te stellen.

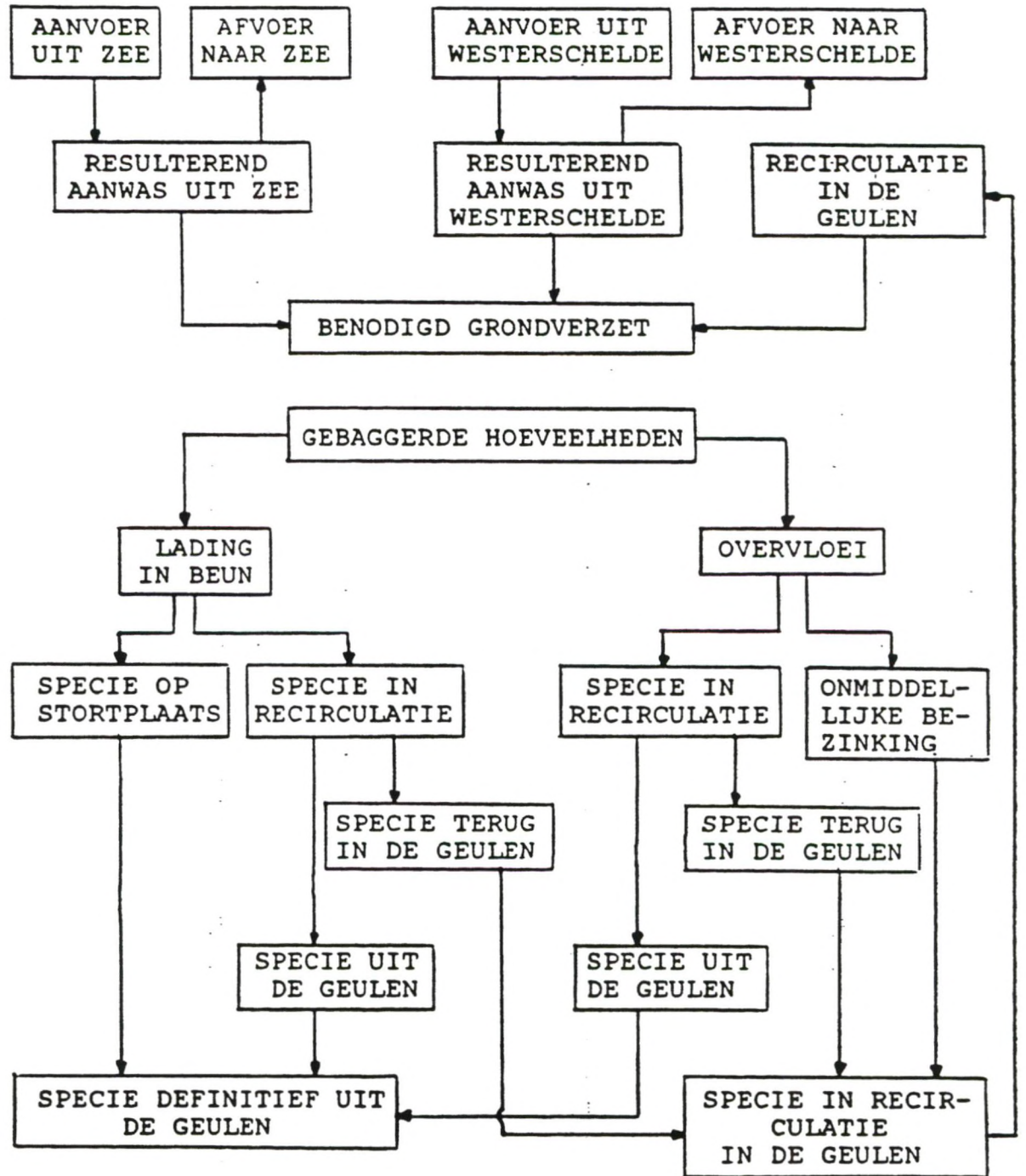
De sedimenttransportbalansen die door enkele onderzoekers zijn opgesteld worden hierna samengevat.

- Berekeningen van McCave (1971) wijzen op een aanvoer van slib uit de Westerschelde naar de zee toe van circa 100.000 ton d.s. per jaar.
- Volgens Terwindt (1976) bedraagt de aanvoer van zeeslib in het westelijk deel van de Westerschelde circa 1.000.000 ton d.s. per jaar.
- De resultaten van metingen en berekeningen uitgevoerd door Wollast en Peters (1979) omtrent het zwevend materiaal en bodemtransport wijzen op een totale aanvoer uit de Westerschelde naar zee van circa 120.000 ton d.s. sediment per jaar stroomafwaarts Hansweert.
- De resultaten van de berekeningen uitgevoerd door Salomons et al. (1981) bevestigen de hierboven vermelde cijfers:
 - Slibaanvoer vanuit zee bedraagt circa 930.000 ton per jaar.
 - Slibaanvoer vanuit de Westerschelde naar zee bedraagt 100.000 ton per jaar.

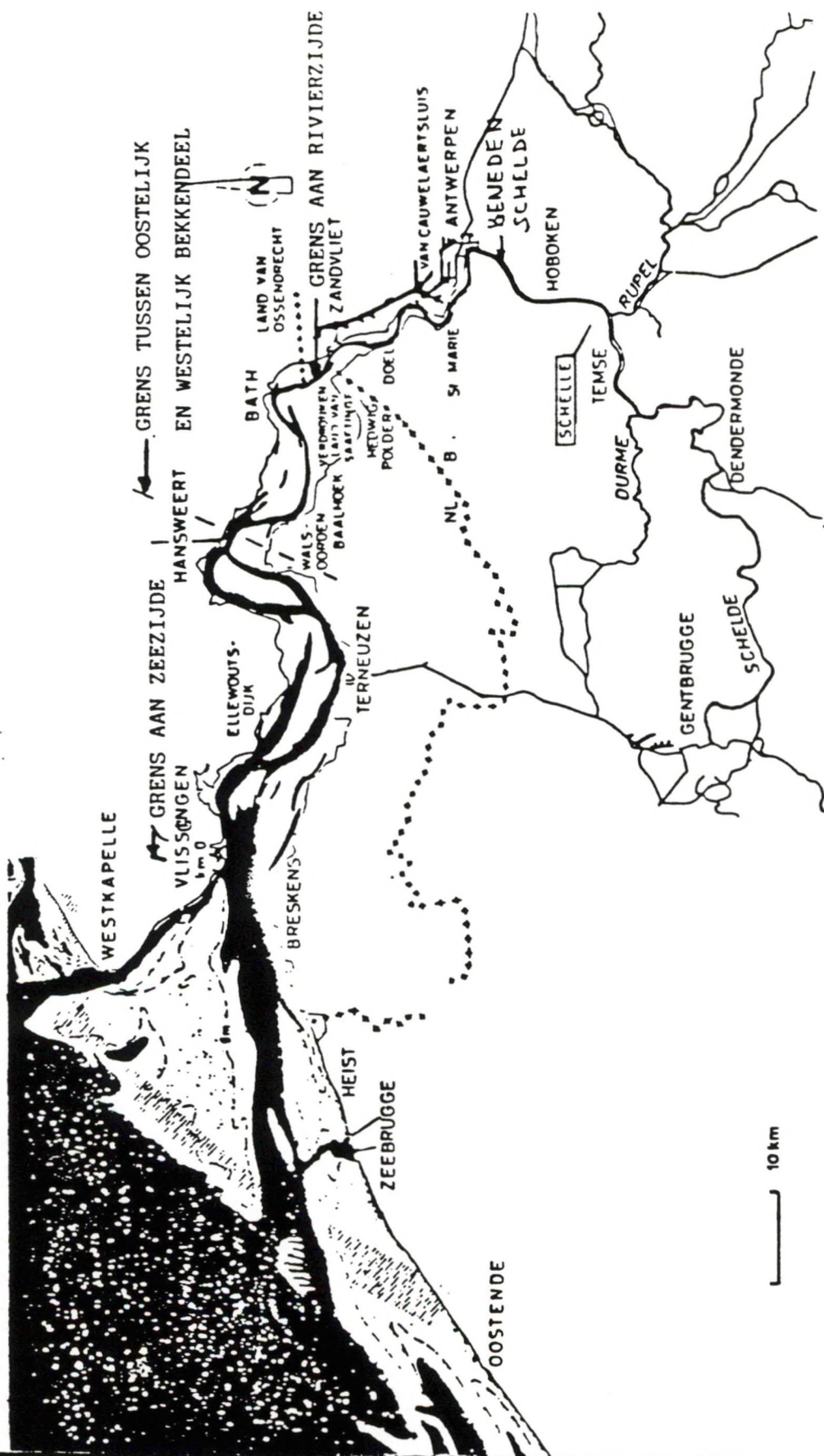
De netto-aanvoer van sediment (zand en slib) vanuit de Westerschelde in dit gebied van de Noordzee blijkt dus zeer beperkt.

↑ AANWASMECHANISME ↓

↑ SLIBTRANSPORT EN -CIRCULATIE ↓



Referentie : MBS460 / 87.1370

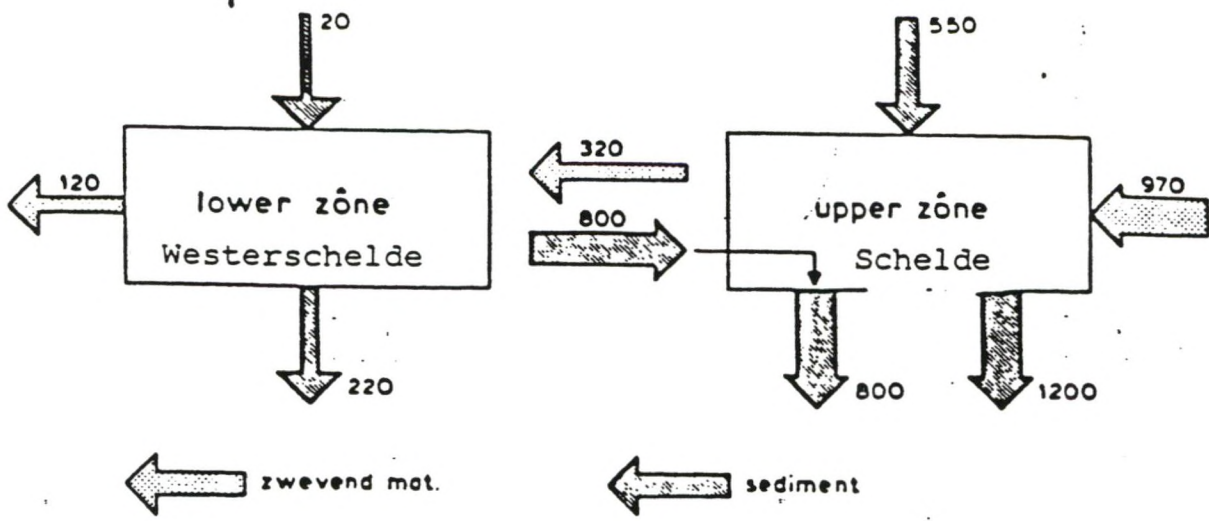


Informatie overgenomen van :
 R.J. Manni (1986)
 Peters en Sterling (1976)

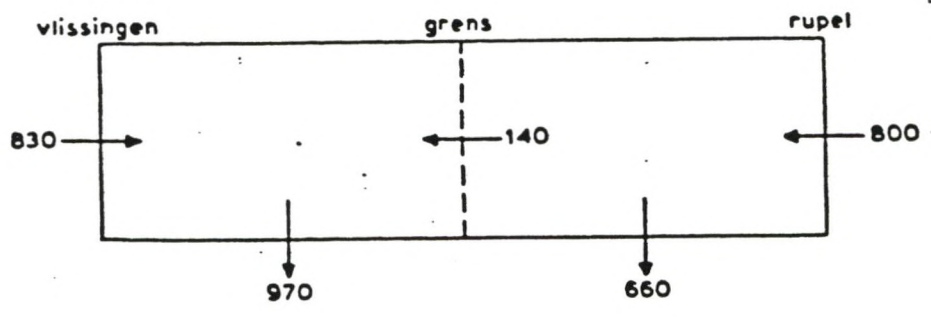
OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



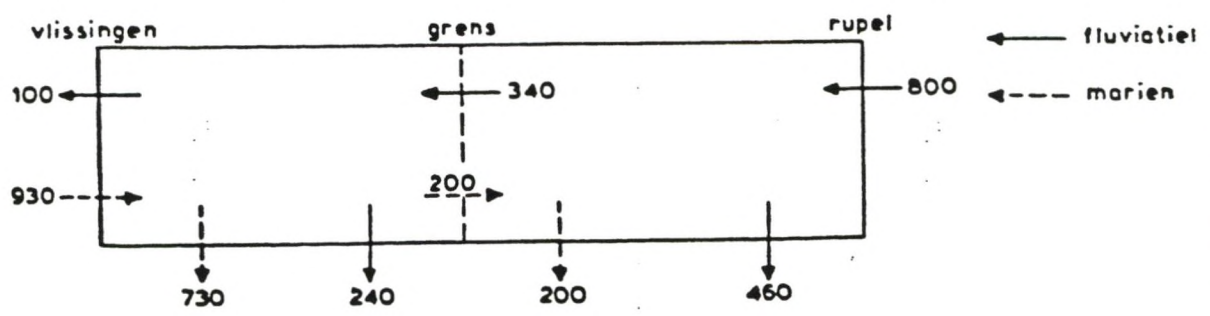
HET SCHELDE-ESTUARIIUM



a.



b.



c.

Informatie overgenomen van :
 R.J. Manni (1986)
 Daamen (1984)

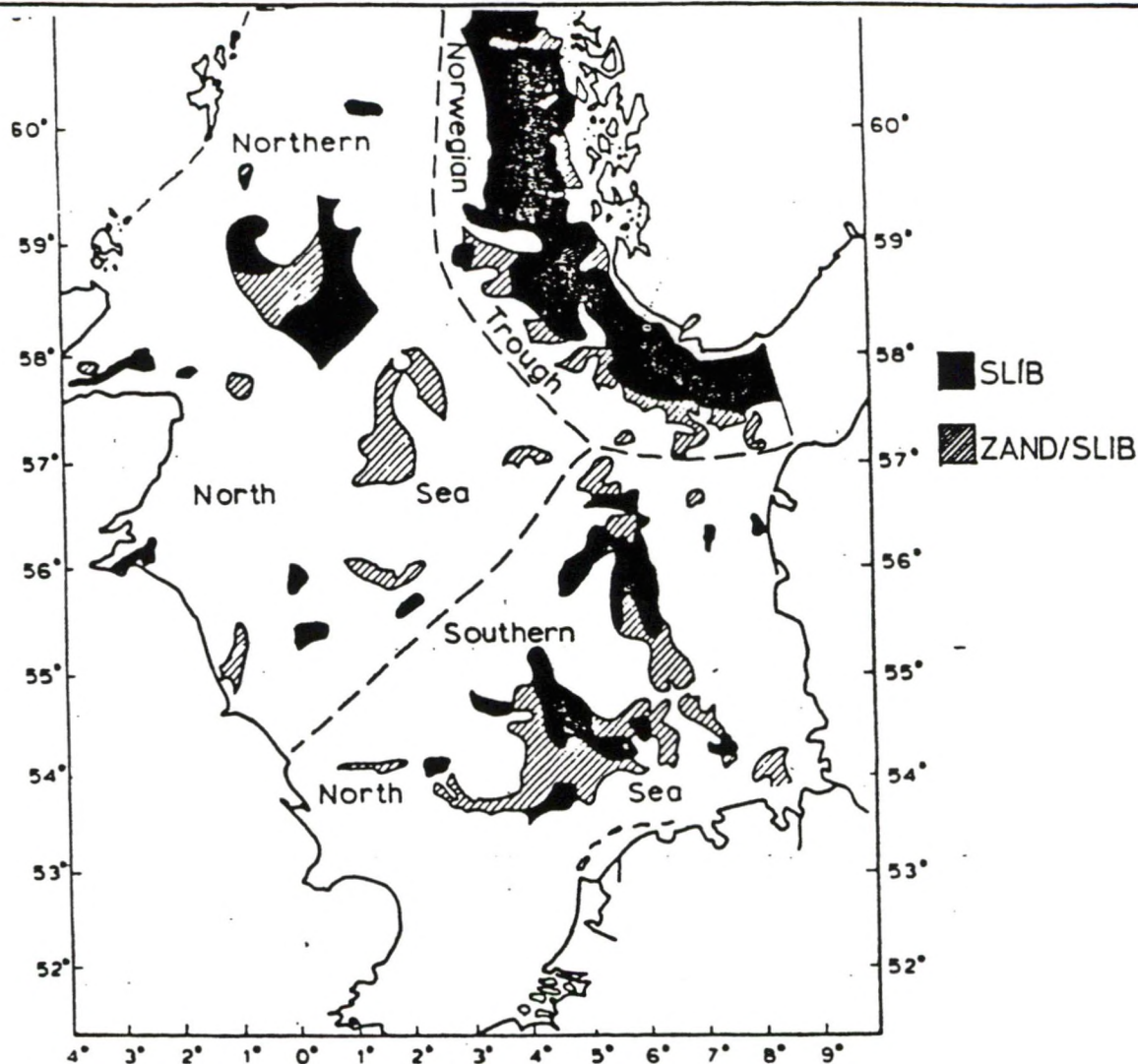
- a. Wollast en Peters (1979) zwevend materiaal en bodemtransport
- b. Salomons et al (1981a) zwevend materiaal netto
- c. Salomons et al (1981a) zwevend materiaal fluviatief/marien

OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



HAECON n.v.
 HARBOUR
 and
 ENGINEERING CONSULTANTS

SLIBBALANS BEREKENINGEN VOOR HET SCHELDE-GEBIED



Source	Volume ^a (km ³)	Supply (M ton/yr)
Rhine-Waal ^b	66 km ³	3.20
Maas ^b	10	0.70
Scheldt	10	0.40
Ems	4	0.14
Weser	12	0.42
Elbe	24	0.84
E. Britain	49	1.47
W. Denmark	4	0.12
S.W. Norway	66	1.31
E. Anglia cliffs		0.30
Holderness cliffs		0.40
Subtotal	245	9.30
N. Atlantic ^c	23 000	4.60
Channel, centre ^d	7 150	2.15
Channel, coastal ^d	250	3.00
Baltic ^e	480	0.48
Subtotal	30 880	10.23
Organic origin		2.0
Aeolian ^f		1.6
Subtotal		3.60
Total supply	31 125	23.13

Informatie overgenomen van :
 Mc Cave (1971)
 Luders (1939)

OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



HAECON n.v.
 HARBOUR
 and
 ENGINEERING CONSULTANTS

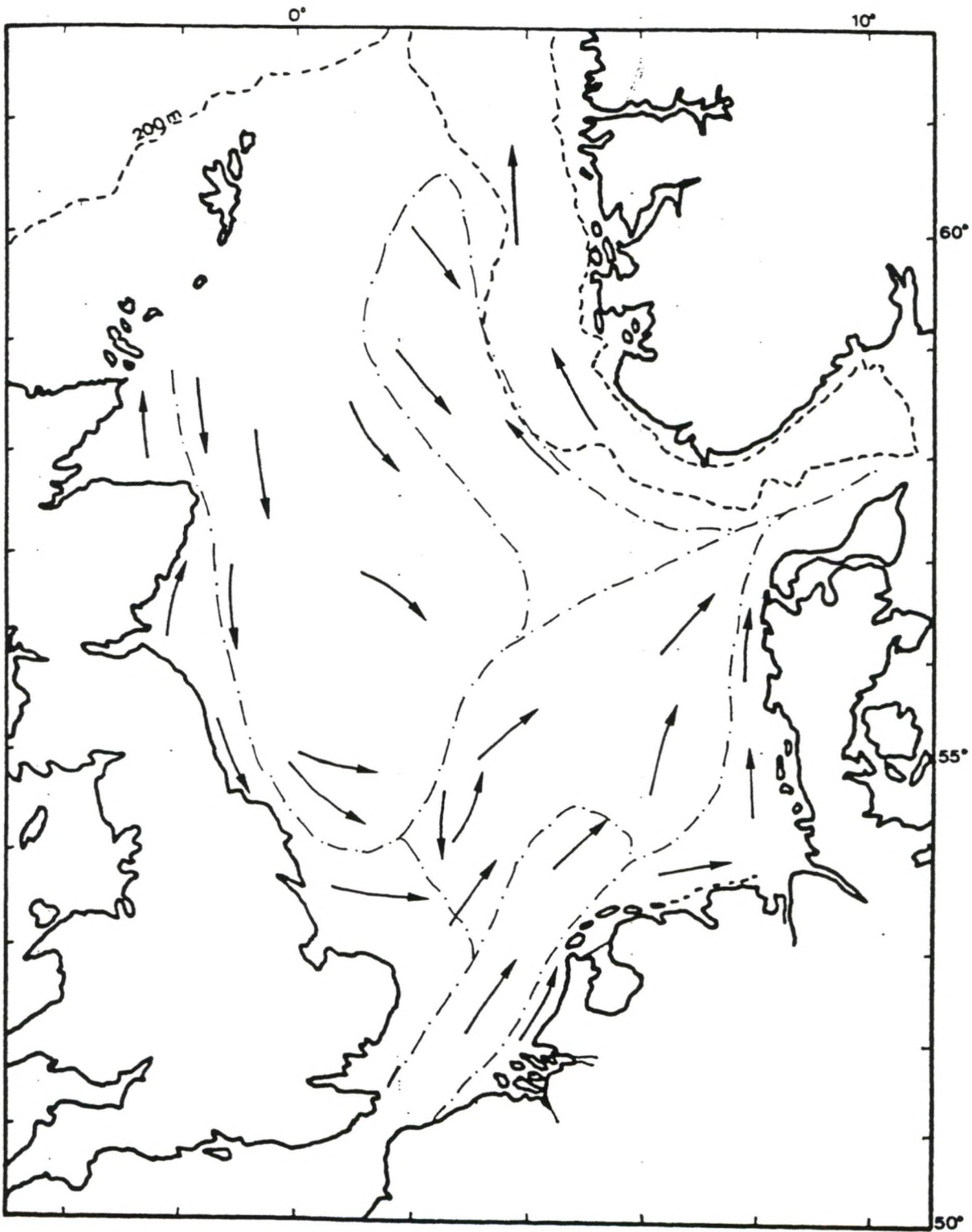
AANSLIBBINGSZONES IN DE NOORDZEE

GETEK

GEZ BLE

MBS460 87/0507

FIG 3



Informatie overgenomen van :
 Nihoul J.C.J. (1975)
 Laevastu (1963)

OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



HAECON n.v.
 HARBOUR
 and
 ENGINEERING CONSULTANTS

WATERBEWEGINGEN IN DE NOORDZEE

GETEK

GEZ BLE

MBS460 87/0507

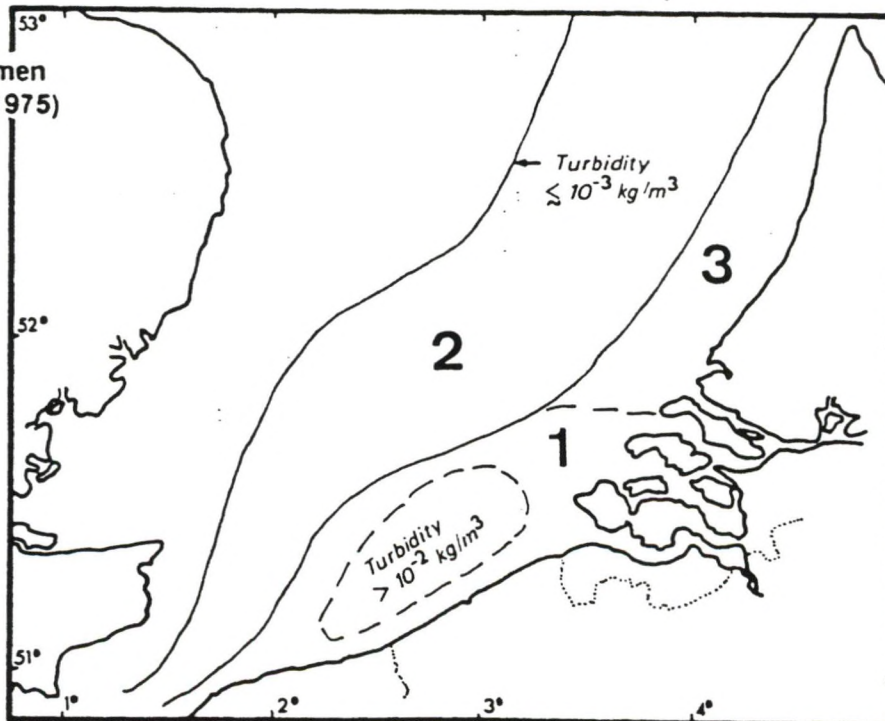
Fig 4

Informatie overgenomen van:
Eisma-Nioz



→ Zeestroming
→ Slib

Informatie overgenomen
van: Nihoul J.C.J. (1975)



OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

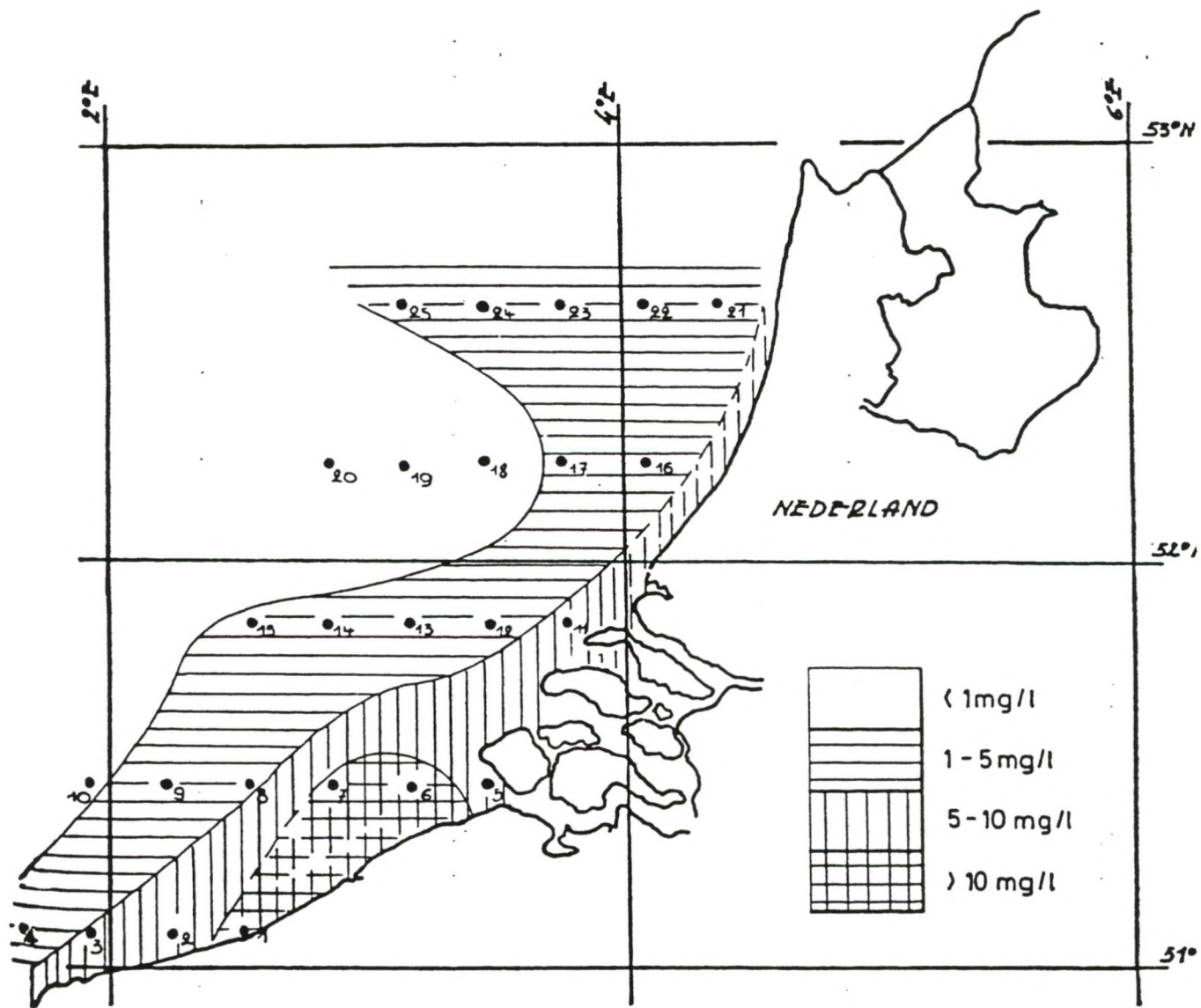
WATERBEWEGINGEN IN DE NOORDZEE EN
TURBIDITEITZONES

GETEK

GEZ BLE

MBS460 87/0507

Fig 5



OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



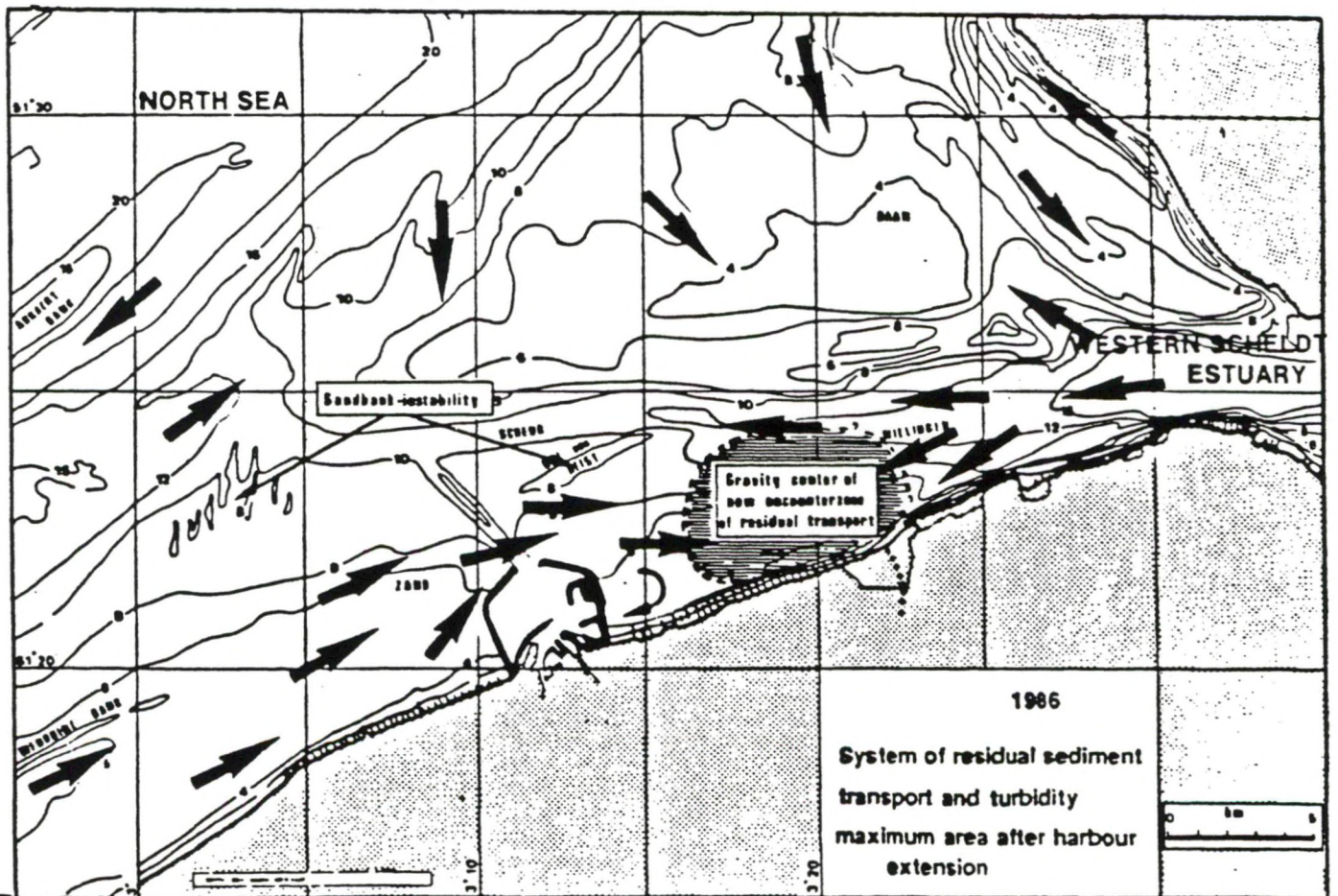
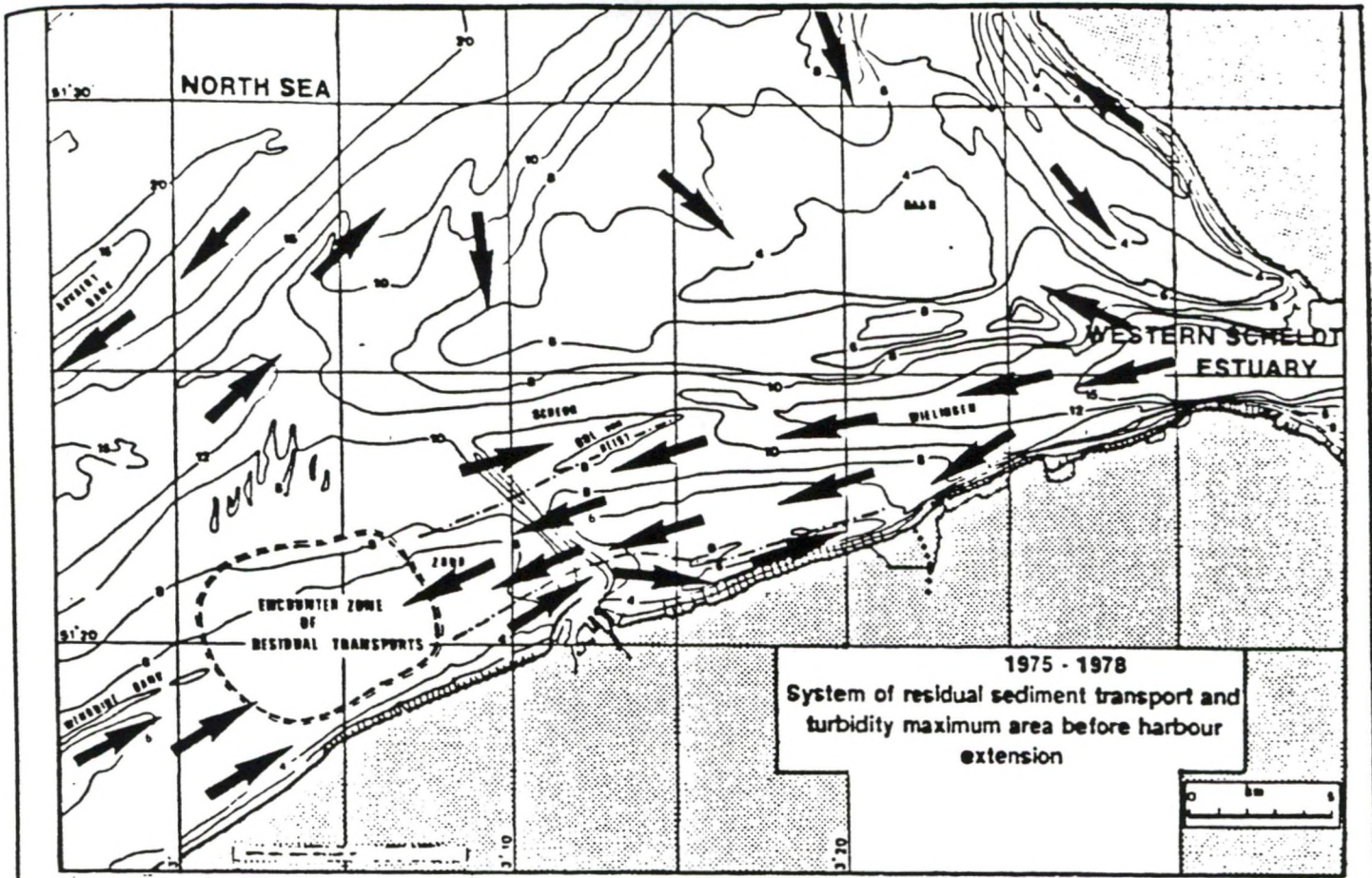
HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

GEMIDDELDE SUSPENSIE GEHALTEN
IN DE NOORDZEE

GETEK JDB

GEZ B.LE

MBS.460 / 87.0507 Fig 5A



OPTIMALISATIE DER BAGGERWERKEN



HAECON n.v.
HARBOUR
and
ENGINEERING CONSULTANTS

RESIDUEEL SEDIMENTTRANSPORT LANGS DE BELGISCHE KUST

GETEK

GEZ BLE

MBS460 87/0507

Fig 7

PACHTJAAR 1/04 - 31/03	HAVEN (slib)	HAVENTOEGANG + STROOMBANK (slib + zand)	TOTAAL m ³ 2e soort
1970 - 1971	1.220.908	396.339	1.617.247
1971 - 1972	1.402.327	425.130	1.827.457
1972 - 1973	1.822.748	417.913	2.240.661
1973 - 1974	1.397.976	432.723	1.830.699
1974 - 1975	1.270.211	471.991	1.742.202
1975 - 1976	1.313.860	362.599	1.676.459
1976 - 1977	1.984.811	401.151	2.395.962
1977 - 1978	1.773.782	428.030	2.201.812
1978 - 1979	1.638.218	296.988	1.935.206
1979 - 1980	1.695.311	400.260	2.095.571
1980 - 1981	1.867.128	408.144	2.275.272
1981 - 1982	1.600.770	335.578	1.936.348
1982 - 1983	1.923.700	281.113	2.214.813
1983 - 1984	1.917.613	478.898	2.396.511
1984 - 1985	1.962.330	418.606	2.380.936
1985 - 1986	1.757.060	534.606	2.291.666

Tabel 6 : Gebaggerde hoeveelheden (m³ 2e soort) uit de haven van Oostende.

PACHTJAAR 1/04 - 31/03	HAVEN (slib)	HAVENTOEGANG (zand)	TOTAAL m ³ 2e soort
1970 - 1971	758.012	71.300	829.312
1971 - 1972	604.511	64.239	668.750
1972 - 1973	696.118	63.362	759.480
1973 - 1974	571.099	63.124	634.223
1974 - 1975	513.402	48.388	561.790
1975 - 1976	516.957	106.311	623.268
1976 - 1977	473.209	70.885	544.094
1977 - 1978	426.960	64.151	491.111
1978 - 1979	492.686	50.914	543.600
1979 - 1980	371.018	93.433	464.451
1980 - 1981	512.028	57.046	569.074
1981 - 1982	548.986	81.582	630.568
1982 - 1983	585.419		
1983 - 1984	491.063	46.293	537.356
1984 - 1985	504.733	90.904	595.637
1985 - 1986	552.522	90.602	643.124

Tabel 5 : Gebaggerde hoeveelheden (m³ 2e soort) uit de haven van Nieuwpoort

PACHTJAAR	STORTPLAATSEN						
	Stortboei S1			Paardemarkt		Oost en West van Zeebrugge	
	Scheur	Pas v/h Zand Ribzand	Haven en Voorhaven	Scheur	Pas v/h Zand Ribzand	Pas v/h Zand	Haven en Voorhaven
'60-'61				510.091			2.123.222
'61-'62						1.722.044	3.357.379
'62-'63				749.603	1.380.748		2.423.863
'63-'64				1.200.723	1.579.527		2.700.963
'64-'65				425.477		676.143	2.387.448
'65-'66				286.877		813.837	2.827.514
'66-'67	2.101.575					1.082.222	1.890.063
	120.087					1.030.043	
'67-'68	2.099.827					4.241.405	2.370.691
	120.859					4.602.966	2.663.140
'68-'69	180.779					4.821.632	2.498.158
'69-'70	6.000.109					5.918.399	3.003.056
'70-'71	6.003.061					3.482.767	
'71-'72	3.005.372	2.834.554					
'72-'73	6.096.317	5.713.758					
'73-'74	6.009.799	7.495.633		5.025.739			
'74-'75	6.001.289	8.960.563		5.000.787			
'75-'76	6.000.416	8.179.886		5.000.538			
'76-'77	4.376.451	14.642.041		2.423.721			
'77-'78	6.636.001	13.567.634					
'78-'79	8.675.356	12.199.912					
'79-'80	11.191.333	14.011.011					
'80-'81	22.651.908	15.093.659					2.520.853
'81-'82	35.622.439	11.545.050					2.399.475
'82-'83	33.708.331	7.351.852					2.537.143
'83-'84	19.485.521	9.825.666					2.818.178
'84-'85	8.022.184	7.643.049					4.775.252
'85-'86	3.860.892	10.270.555					5.474.062
'86-'87							

PACHTJAAR	STORTPLAATSEN								
	1/04-31/03	Stortboei S2			Appelzak R4			Wielingen 2	Sea Blue
		Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand Ribzand	Scheur	Haven en Voorhaven	Pas v/h Zand Ribzand	Scheur	Scheur	Scheur
'60-'61									
'61-'62									
'62-'63									
'63-'64									
'64-'65									
'65-'66									
'66-'67									
'67-'68									
'68-'69									
'69-'70									
'70-'71									
'71-'72				2.553.750					
'72-'73				2.845.618					
'73-'74				2.503.762					
'74-'75				2.500.070					
'75-'76				2.568.247					
'76-'77				2.602.497					
'77-'78				2.675.034					
'78-'79				3.392.890					
'79-'80				2.617.489					
'80-'81									
'81-'82									
'82-'83									
'83-'84									
'84-'85		439.852	74.895		7.037	598.233	84.077	437.557	
'85-'86	17.913	3.546.348	237.029		18.382	1.144.261	119.448	698.463	
'86-'87									

Tabel 7 : Gebaggerde hoeveelheden (m³ 2e soort) uit de haven van Zeebrugge, de Pas van het Zand/Ribzand en het Scheur.

JAAR (of pacht- jaar)	WESTER- SCHELDE	BENEDEN- ZEESCHELDE	TOEGANGS- GEUL KALLOSLUIS	KUSTHAVENS (*)	TOEGANGS- GEUL (*)	VOORHAVEN Zeebrugge	PAS VAN HET ZAND / RIBZAND	SCHEUR	KANAAL GENT - TERNEUZEN	TOTAAL
1975	32.434.474	6.236.778		1.934.182	589.383	2.568.247	8.179.886	11.000.954	574.609	63.518.513
1976	32.919.691	5.254.344		2.488.855	545.698	2.602.497	14.642.041	6.800.172	160.696	65.413.994
1977	23.006.277	7.824.680		2.315.618	581.634	2.675.034	13.567.634	6.636.001	28.244	56.635.122
1978	28.594.853	9.905.158		2.185.001	456.041	3.392.890	12.199.912	8.675.356		65.409.211
1979	30.868.526	6.789.864		2.119.923	595.340	2.617.489	14.011.011	11.191.333	219.618	68.413.104
1980	28.808.038	4.379.763		2.579.428	579.492	2.520.853	15.093.659	22.651.908	166.052	76.779.193
1981	26.000.810	7.921.614		2.269.532	549.130	2.399.475	11.545.050	35.622.439	151.930	86.459.980
1982	29.144.974	6.177.925		2.622.891	504.779	2.537.143	7.351.852	33.708.331	88.626	82.136.521
1983	18.601.421	4.726.758	1.489.950	2.473.028	658.939	2.818.178	9.825.666	19.485.521		60.079.461
1984	20.803.666	5.941.354	1.684.122	2.632.883	698.755	4.775.252	8.089.938	9.216.946		53.842.916
1985	25.054.728	5.458.048	1.642.978	2.323.982	696.237	5.491.975	13.835.285	6.060.093	313.113	60.876.439
	296.237.418	70.616.286	4.817.050	25.945.323	6.455.428	34.399.033	128.341.934	171.049.054	1.702.888	739.564.454 (1)

Tabel 9 : Gebaggerde hoeveelheden in Belgische havens en toegangseulen.

(*) Oostende, Blankenberge, Nieuwpoort

(1) m³ 2e soort

Om de onderlinge vergelijkbaarheid te bevorderen werden alle baggervolumes herleid naar een densiteit van 1,6 T/m³. Strikt genomen heeft deze herleiding slechts zin voor slib, dus niet voor de baggerwerken in de Westerschelde, die vooral baggerwerken in zand zijn.

Auteur(s)	Bastin A., Malherbe B., NV Haecon, Caillot A., Commissariat a l'energie atomique
Titel	Zeebrugge port extension, sediment transport measurement on and off the Belgian coast by means of tracers
Ref.	
Organisatie	8 th International Harbour Congress, Antwerp
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1983
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Sedimenttransport nagaan dmv tracers tijdens expansiewerken aan de haven van Zeebrugge
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	1 figuur: fig1.
Tabellen	3 tabellen: 6, 7, 8.
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Enkele interessante sedimenttransportroutes voor bepaalde morfologische zones kunnen aangehaald worden, steunend op resultaten behaald met tracerproeven:

Geul 'Appelzak'

Transport ten gevolge van getijden is beperkt aan de dwarszijden van de geul. Aan de westelijke zijde is er kustwaartse transport ten gevolge van de golfslag ($0,05\text{m}^3/\text{m}/\text{day}$). Centraal in de Appelzak is de sedimentsamenstelling zeer heterogeen. Het resulterend transport is zeer belangrijk en vloedgericht ($2,5\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$). De golfslag is sterk zodat de drukopbouw voor transport in suspensie zorgt.

Oostkust, shore-face

Kwalitatief is alle netto-transport oostelijk gericht. In rustige weersomstandigheden is er een long-shore transport dat grotendeels belemmerd wordt door golfbrekers. De langsstromen legen als het ware de geul en de sedimenten wordt tot voor de Nederlandse kust vervoerd.

Bij storm treedt er een dwars transport op van de swash-zone naar de Appelzak. Dit transport is versterkt ter hoogte van golfbrekers.

Kwantitatief heeft men enkel waarden voor rustige omstandigheden ($<5\text{ BF}$): $0,045\text{m}^3/\text{m}/\text{day}$.

Het is wel duidelijk dat aan de kustzijde transport en erosie slechts of vooral optreden tijdens stormen.

Vaargeulen

Het is duidelijk dat voor de omliggende gebieden het Pas van het Zand een sedimentval is.

Voor vaargeulen is het belangrijk de verzilting te bepalen. Deze is afhankelijk van bodemtransport, transport in suspensie en ontwikkeling van de geulwallen. Hierbij is de hellingsgraad van de geulwallen determinerend daar ze de stabiliteit van het sediment bepalen. Voor waarden zie tabel 8.

Channel dimension		Sedimentation (channel 2000 m length)					
bottom width	depth (m)	first year			following year		
		annual sedimentation (m ³)	composition (% slib)	density γ sat (t/m ³)	annual sedimentation (m ³)	composition (% slib)	density γ sat (t/m ³)
300	10,5	4.443.000	88	1,33	4.443.000	88	1,34
300	11,0	4.914.500	87	1,33	4.687.000	87	1,32
300	12,0	5.766.900	85	1,32	5.243.900	86	1,31
300	13,0	6.531.300	84	1,32	5.831.300	85	1,30
300	14,0	7.234.700	85	1,31	6.394.700	87	1,30
300	15,0	8.077.500	86	1,31	7.097.500	89	1,29

TABLE 7 - Evaluation of sedimentation in a 2 km section of the Pas van het Zand with respect to the T_O condition

Channel dimension		Sedimentation (channel 2000 m length)					
bottom width	depth (m)	first year			following year		
		annual sedimentation (m ³)	composition (% slib)	density γ sat (t/m ³)	annual sedimentation (m ³)	composition (% slib)	density γ sat (t/m ³)
300	10,5	9.573.800	89	1,31	9.573.800	90	1,31
300	11,0	10.170.700	88	1,30	9.943.300	89	1,31
300	12,0	11.311.100	87	1,30	10.788.000	88	1,31
300	13,0	12.379.300	87	1,30	11.679.300	87	1,29
300	14,0	13.377.000	87	1,31	12.534.000	90	1,29
300	15,0	14.580.900	87	1,31	13.600.800	90	1,28

TABLE 8 - Evaluation of sedimentation in a 2 km section of the Pas van het Zand after port extension

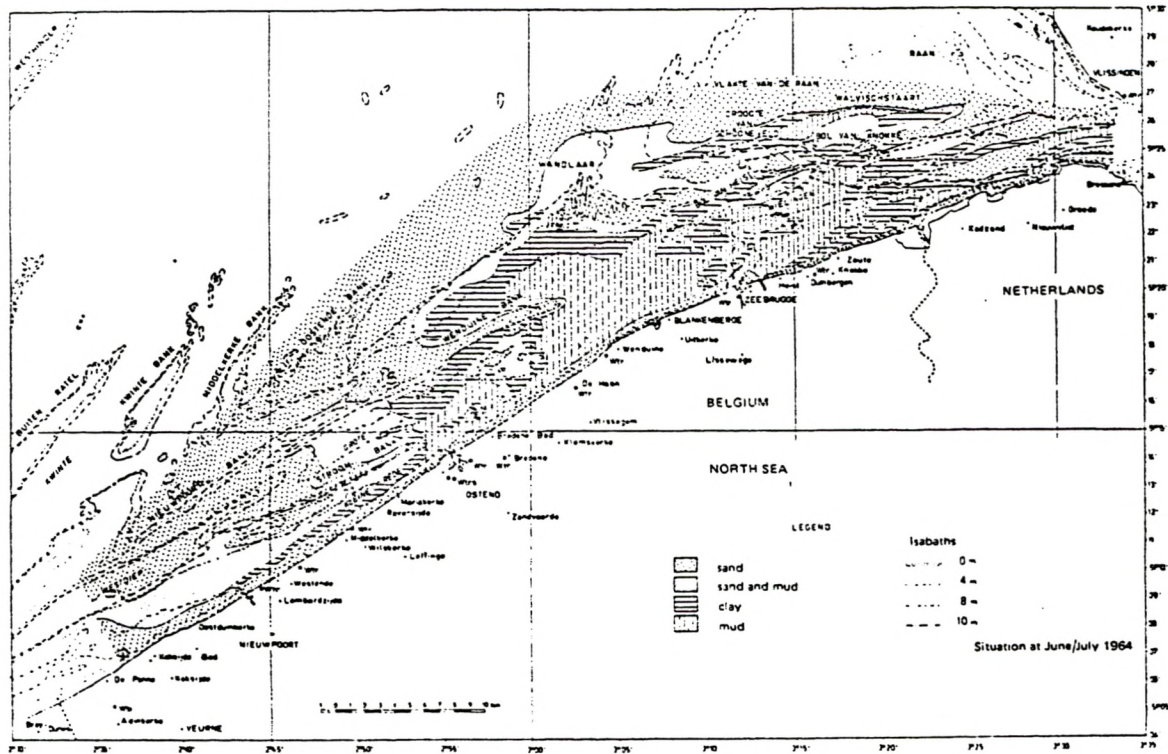


FIG. 1 - Lithological map of the North Sea bed (1964) drawn on the basis of natural radioactivity measurements.

deepening from - to	E-slope	W-slope	Total
10,5 m 11 m	157.500 m ³	70.000 m ³	227.500 m ³
11,0 m 12 m	363.000 m ³	160.000 m ³	523.000 m ³
12,0 m 13 m	500.000 m ³	200.000 m ³	700.000 m ³
13,0 m 14 m	600.000 m ³	240.000 m ³	840.000 m ³
14,0 m 15 m	700.000 m ³	280.000 m ³	980.000 m ³

Table 6 - Sedimentation due to slope evolution

Auteur(s)	NV Haecon, Ministerie van Openbare Werken, Baggerwerken Decloedt en zoon.
Titel	Nautical bottom research and survey for optimization of maintenance dredging in mud areas
Ref.	
Organisatie	Voor congress 'Oceanology International'
Specificatie bron	Oceanology, volume6
Domein	
Jaartal	1986
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Het aantonen van het verschil tussen het sliboppervlakte en de aanvaardbare diepgang voor een schip.
Bruikbaar voor	Terugslag en voordelen voor baggeroperaties, van methodologisch belang, eerder dan de betreffende problematiek.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Slibafzettingen in de vaargeulen voor de Belgische kust vormen een gelaagd systeem waarbij de top bestaat uit een vloeibare massa en de basis meer bestaat uit een vaste slibfractie. Bij het determineren van het sliboppervlakte met echosounding detecteert men een impedantieverschil daar waar het water gekenmerkt wordt door een hoge slibconcentratie. Dit oppervlak stemt echter niet overeen met de eigenlijke 'nautische' bodem. Dit wil zeggen dat hoewel de echosounder een oppervlakte detecteert dat geïnterpreteerd wordt als bodem, de eigenlijke bodem dieper zal gelegen zijn. Door een techniek te ontwikkelen steunend op de rheologische eigenschappen van de sliblaag kan men op een efficiëntere wijze de nautische bodem detecteren. Dit is voordelig voor baggermaatschappijen die een duidelijkere blik hebben op de werkelijke diepte van een vaargeul. Als veiligheidsgrens voor bevaarbaarheid van slibrijk water wordt een concentratie aanvaard van $1,2t/m^3$. De densiteitsgrens $1,2t/m^3$ is dan ook de nautische bodem.

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	Nucleaire, akoestische en mechanische meettechnieken van sedimenten ten behoeve van hydrografie en baggerwerken
Ref.	
Organisatie	Technologisch Instituut KVIV
Specificatie bron	Studiedag "modern, niet-destructief grondonderzoek", Antwerpen.
Domein	
Jaartal	1988
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Technische benadering van tracerproeven, nauwkeurige dieptebepaling en dichtheidsmetingen van niet geconsolideerd slib.
Bruikbaar voor	Louter techniek beschrijving, niet relevant voor het beoogde doel.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Bij de aanwezigheid van vloeibaar slib in de geulen, kunnen echosoundingstechnieken niet meer gebruikt worden daar ze tot een niet ondubbelzinnig interpretatie leiden. In dit geval gebruikt men dichtheidsmetingen die toelaten de grenslaag water-ondergeconsolideerd slibvloeistof te detecteren.

Verder wordt de tracertechnieken besproken die het mogelijk maken sedimentroutes te detecteren, alsook slibrecyclage ter hoogte van dumpingsplaatsen.

Auteur(s)	Malherbe B., NV HAECON.
Titel	Sediment detection and measuring systems as valuable management tools for hydrography and dredging works
Ref.	
Organisatie	Hydrographic Society, Workshop "Specifications and Dredging Technology", Amsterdam
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Sedimenttransport nagaan dmv tracers
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Dit artikel betreft een methodologische beschrijving voor detectie van sedimenttransport, slibrecyclage en nautische bodem.

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	Sediment Management: a new concept for cost-effective dredging of ports and access-channels
Ref.	
Organisatie	2nd international ports & waterways conference & exhibition "leading ports 90's".
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1990
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Dit artikel is van methodologisch aard met de bedoeling tot kost-efficiënter baggeren. Een nieuw concept van sedimentmassa observatie wordt geïllustreerd door middel van voorbeelden voor de Belgische kust. De dispersie van slib-baggerspecie tot 70 dagen na de dumping wordt door middel van recirculatietracerproeven weergegeven. Hierbij wordt vastgesteld dat de primaire efficiëntie van de baggerwerken of dumping voor de Belgische kust vrij laag liggen.

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	Case-study of dumping in open areas
Ref.	
Organisatie	Actes du séminaire international sur les aspects environnementaux liés aux activités de dragages
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1991
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Problemen gebonden aan baggerwerken en dumpingsites van baggerspecie
Bruikbaar voor	Beeld van de residuele stromingen in de Noordzee
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	4 figuren: fig.4, fig.6, fig.14,fig.15.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Hydrodynamische aspecten van het gebied

Het algemene watercirculatiepatroon voor de Belgische kustwateren (fig.1) wordt gekenmerkt door een turbiditeitsmaximum, dit wil zeggen dat er weinig 'doorstroming' is maar dat er eerder een soort 'jojo'beweging plaatsvindt waarbij steeds het water af- en aangevoerd wordt. Verder zeewaarts is er een dominante ZO-NW gerichte stroming.

Sedimentologische kenmerken

Door dit turbiditeitsmaximum is de Belgische kust als het ware een 'concentratiegebied' voor slibsedimenten. Op fig.6 ziet men duidelijk dat slib zich concentreert in de vaargeulen naar Zeebrugge en Westerschelde, en voor de Belgische kust. Zand komt vooral voor meer zeewaarts en op zandbanken dicht bij de kust.

Invloed Zeebrugge en baggeractiviteiten

Fig. 15 heeft duidelijk aan de evolutie van de sedimenttransport voor en na de uitbouw van Zeebrugge. De figuur is opgesteld op basis van sedimenttransportproeven (STA, tracerproeven) uitgevoerd door NV Haecon., en dit voor en na de uitbouw van de haven van Zeebrugge.

Voor de uitbouw leidden de residuele transportroutes naar een zone ten ZW van Zeebrugge, ter hoogte van de Wenduyne Bank en verder zeewaarts.

Na de havenexpansie, 'verhuisde' de accumulatiezone ten oosten van Zeebrugge, met de quasi verdwijning van de Appelzak geul en zware verzanding van de Zwingeel.

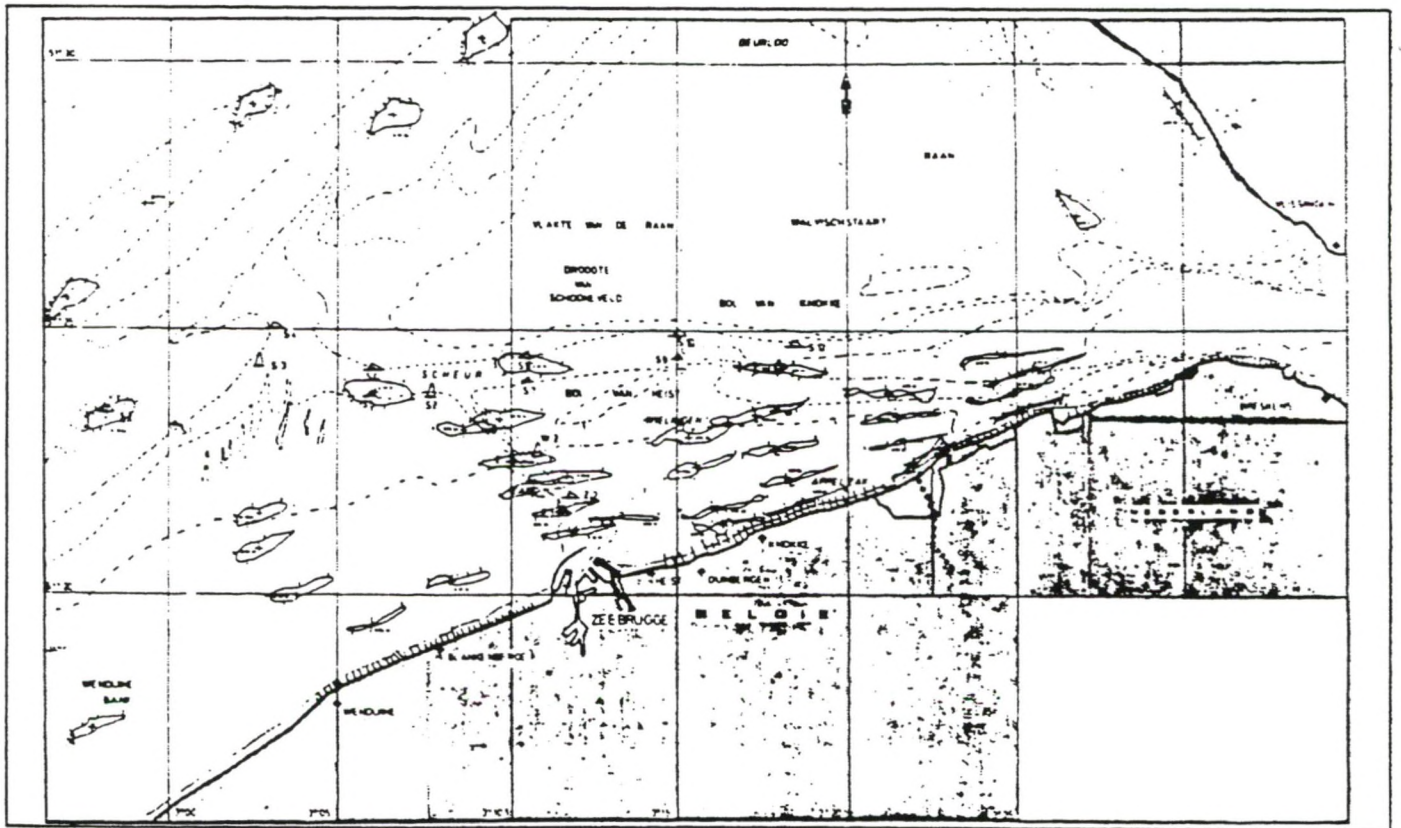


Figure 4. Current roses along the Belgian coast (Spring tide).

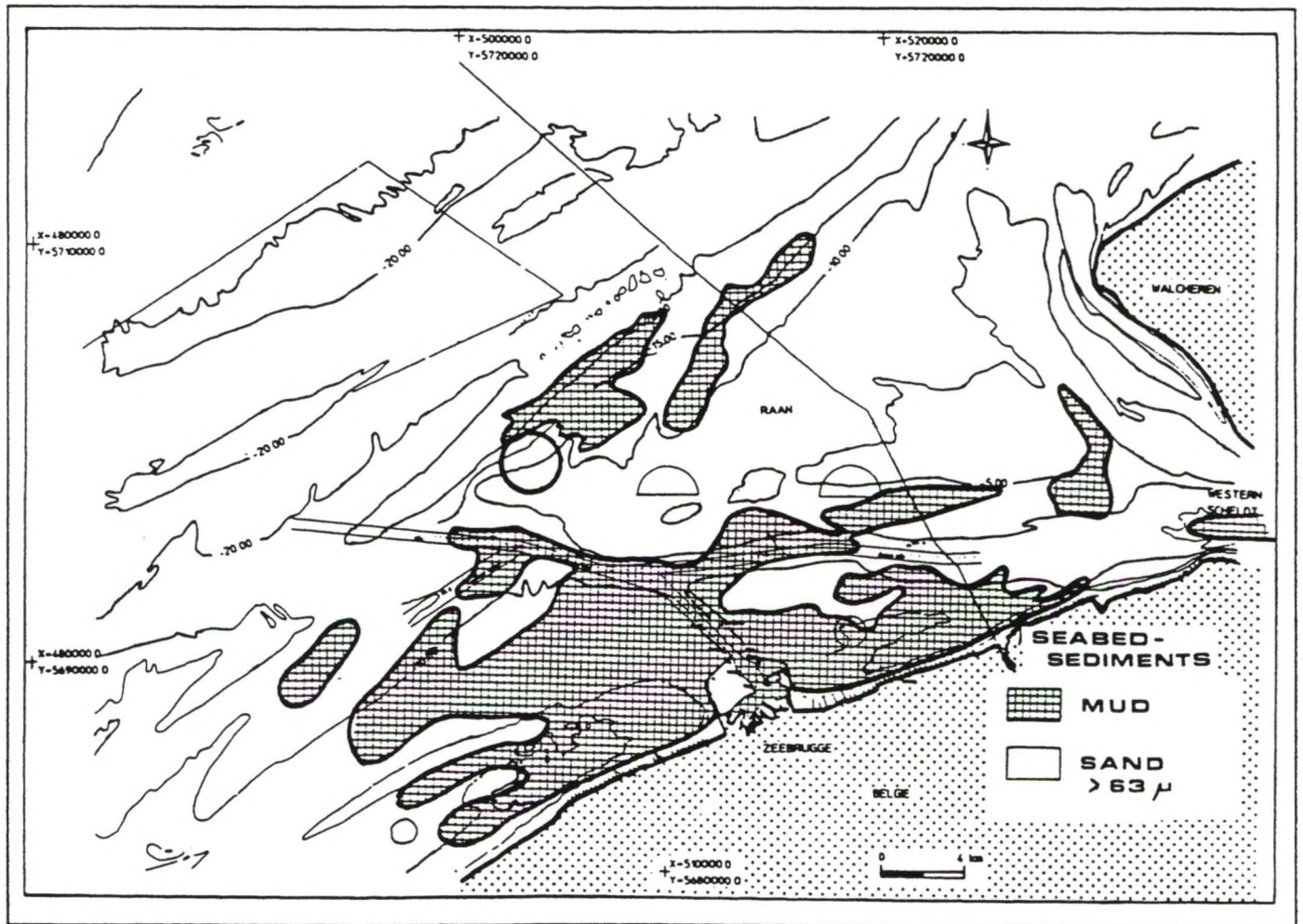


Figure 6. Lithological map of the study area indicating distribution of sand and mud seabed sediments.

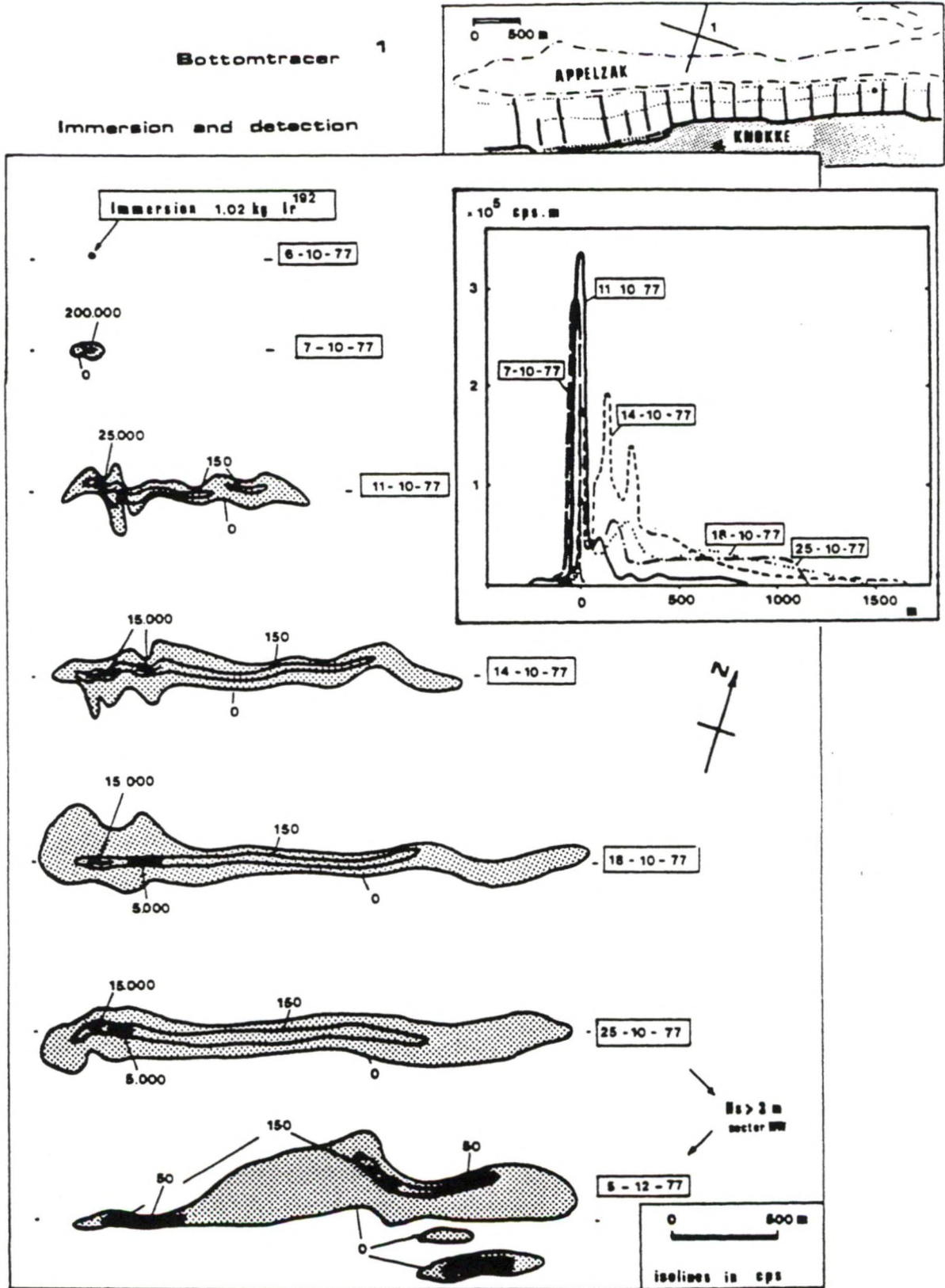


Figure 14 Bed-load transport; measurements with radioactive tracers. Example of detection results yielding residual sediment transport directions and discharges under combined tidal current and wave actions

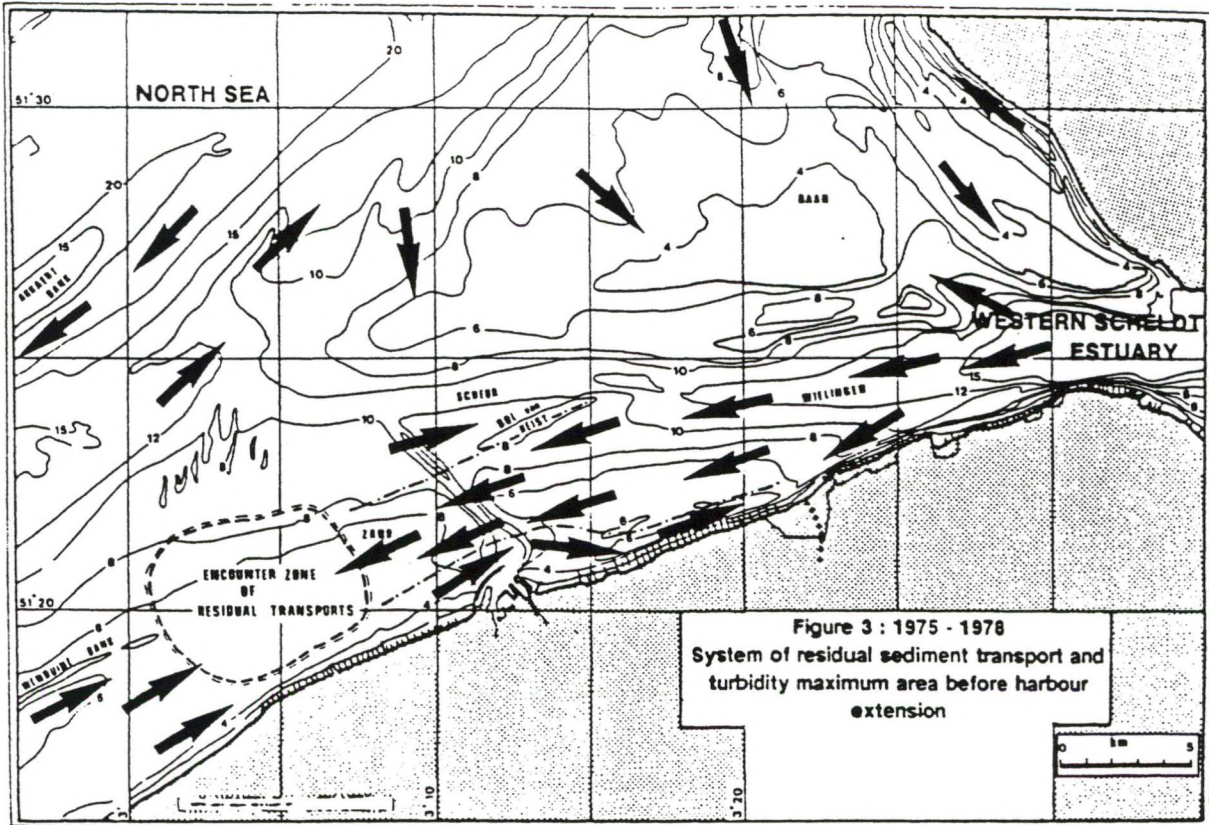


Figure 3 : 1975 - 1978
System of residual sediment transport and turbidity maximum area before harbour extension

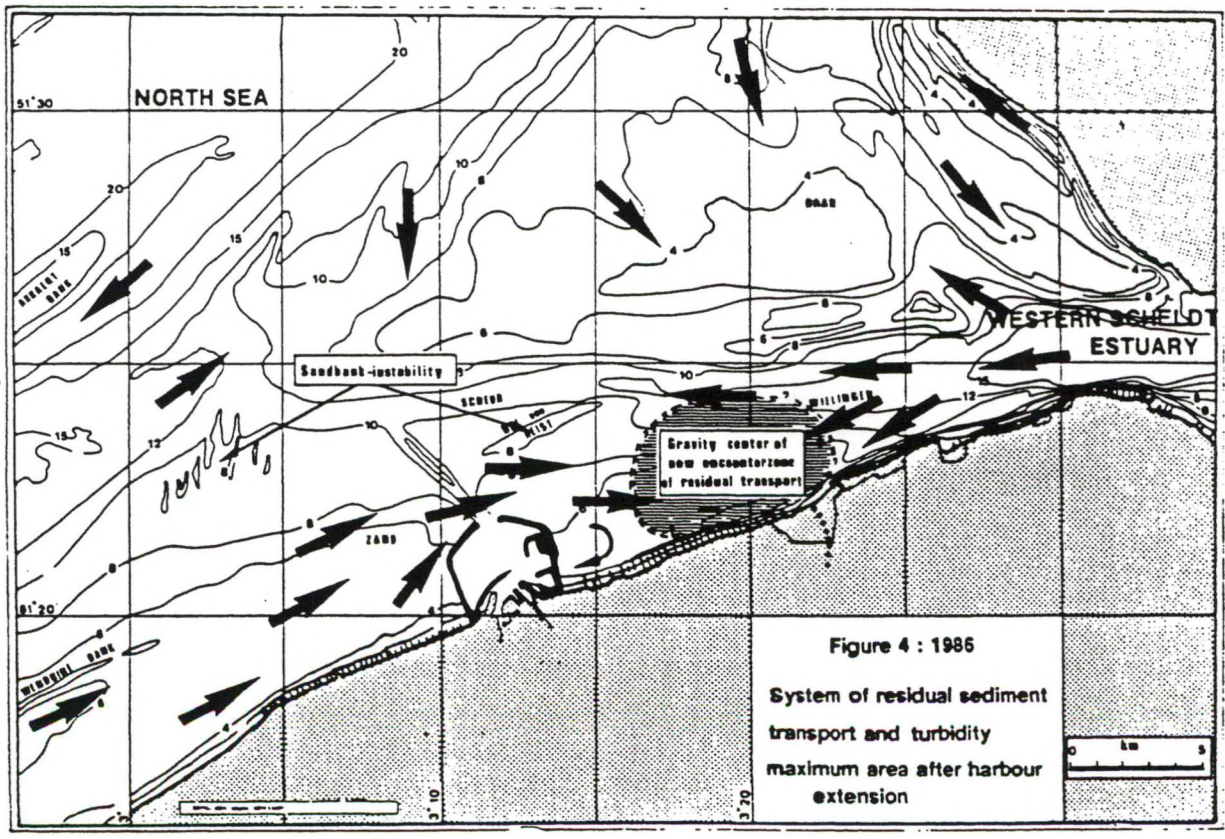


Figure 4 : 1986
System of residual sediment transport and turbidity maximum area after harbour extension

Figure 15. Description of residual sediment transport pathways and T.M.A. system before and after Zeebrugge harbour construction.

Auteur(s)	Malherbe B, NV Haecon, Brossard C & H�elard J.P., Port autonome de Nantes – St-Nazaire, Monadier P., Ports Maritimes et Voies Navigables, Brisset P., Hoslin R., Meuer G. & Caillot A., Commissariat � l'Energie Atomique.
Titel	Etudes et optimisation des travaux de dragage au moyen de la radioactivité
Ref.	
Organisatie	Instituts portuaires (Nantes), NV Haecon, Ports Maritimes et Voies Navigables,
Specificatie bron	La Houille Blanche/N4-1992
Domein	
Jaartal	1992
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Tracerproeven voor het optimaliseren van baggerwerken
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Enkele belangrijke aspecten met bedoeling tot de dispersie van de baggerspecie door middel van traceronderzoek voor de Belgische kust worden besproken. Hieruit is gebleken dat de dispersie gebeurt in een ellipsoïde vorm rond de dumpingsite. Ongeveer 25% is susceptibel tot dispersie waarvan een klein deel gerecycleerd wordt en teruggevoerd wordt naar de oorspronkelijke dumpingplaats. Het overige materiaal wordt verspreid over grote afstanden, hetgeen zowel voor ecologische problemen kan zorgen als voor navigatieproblemen.

Het is een algemeen artikel waarbij eerder de methode wordt besproken dan het sedimenttransport zelf voor de Belgische kust.

Auteur(s)	Malherbe B., De Meyer C.P., Maenhaut van Lemberge V., NV Haecon
Titel	Toegepast sedimentologisch onderzoek van baggerstortplaatsen en baggerrendement in de Zuidelijke Baai van de Noordzee
Ref.	
Organisatie	NV Haecon
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Residuele sedimenttransporten, na baggeractiviteiten worden besproken
Bruikbaar voor	Residuele sedimenttransporten.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Recirculatietraceranalyse heeft aangetoond dat de slibfractie van een baggerspecie zich over een zeer wijd gebied verspreidt. Aanvankelijk wordt de tracer in hoge concentratie teruggevonden over een groot areaal, wat vertaald kan worden als een snelle en grote verspreiding van de slibfractie. Na verloop van tijd blijft de tracerconcentratie constant, hetgeen wijst op continue herwerking van de slibfractie. De slibfractie beweegt als een dens fluidum boven de zeebodem. De slibafzetting concentreert zich in een dunne strook voor de Belgische kust. Tracers (dus ook de slibfractie zelf) worden teruggevonden in alle geulen en kusthavens, zelfs tot in de Zandvlietsluis. Er is geen tot weinig sedimentuitwisseling met de rest van de Noordzee, en de recirculatie gaat zeer snel (2 dagen).

STA of sedimenttrendanalyse (fig. 6) heeft aangetoond dat de Belgische kust hydraulische segregatiemechanismen kent. Hierbij wordt het minder beweeglijk zand gescheiden van het mobiel slib. STA heeft ook aangetoond dat de zuidelijke Noordzee gekenmerkt wordt door een turbiditeitsmaximum (TMZ). Dit beheerst de sedimentaccumulatie in geulen en havens. Verder heeft het onderzoek aangetoond dat de hydraulische omstandigheden aan de Belgische kust leiden tot een concentratie of accumulatie van fijn materiaal in de kustwateren.

Conclusie

Het onderzoek heeft aangetoond dat de Belgische kustwateren gekenmerkt worden door het hydraulisch vangen van slib met een wisselwerking tussen een licht gecompacteerd sedimentlaag en een suspensie van slib en op een gedeeltelijke recirculatie naar de baggerzone.

7.3 GEOFYSISCHE, MORFOLOGISCHE EN SEDIMENTOLOGISCHE STUDIES EN KUSTVERDEDIGING

Auteur(s)	Bastin, A.
Titel	Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en van het Schelde estuarium.
Ref.	KULeuven: 551.3D
Organisatie	KULeuven
Specificatie bron	Proefschrift voorgelegd ter verkrijging van de graad van Doctor in de Wetenschappen, onder promotorschap van Dr. F. Gullentops.
Domein	Sedimentologische aspecten van de Belgische kust.
Jaartal	1974
Consulteerbaar	Haecon, KULeuven
Situering studie	Aan de hand van de natuurlijke γ -straling van de zeebodemsedimenten wordt een gedetailleerde bodemkaart geleverd van de Oostkust. Tracerproef geeft een opvallende sedimentbeweging aan.
Bruikbaar voor	Invloed zeewaartse havenstructuren op het natuurlijk hydrodynamisch milieu, omgeving Zeebrugge.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	1 figuur: Kaart 8.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De spreiding en enkele belangrijke kenmerken van de afzettingen van het Vlaamse Bankengebied en van een gedeelte van de Schelde werden in dit werk besproken.

Lithologie

Voor het aantonen van de spreiding werd er een nieuwe lithologische kaart opgemaakt op basis van doorlopende metingen van de natuurlijke radioactiviteit van de bodemsedimenten. Tijdens de metingen kon tevens de compactiegraad van de slibvelden vastgelegd worden. Uit de geringe rigiditeit van het slib bleek dat het om recente of steeds herwerkte sedimentmassa's gaat; dit fenomeen wordt in de hand gewerkt door de baggeractiviteiten.

De metingen hebben aangetoond dat er zich een zeer grote slibhoeveelheid accumuleert voor de Oostkust en in de Westerschelde tussen Antwerpen en Zandvliet.

Hoewel het sedimentbeeld voor de Belgische kust en in de Westerscheldemond zeer heterogeen is, bestaan de zandfracties granulometrisch gezien steeds uit goed gesorteerde tamelijk fijne zandkorrels. Enkel verder zeewaarts en lokaal in de Westerschelde is er zand van middelmatig korrelgrootte teruggevonden.

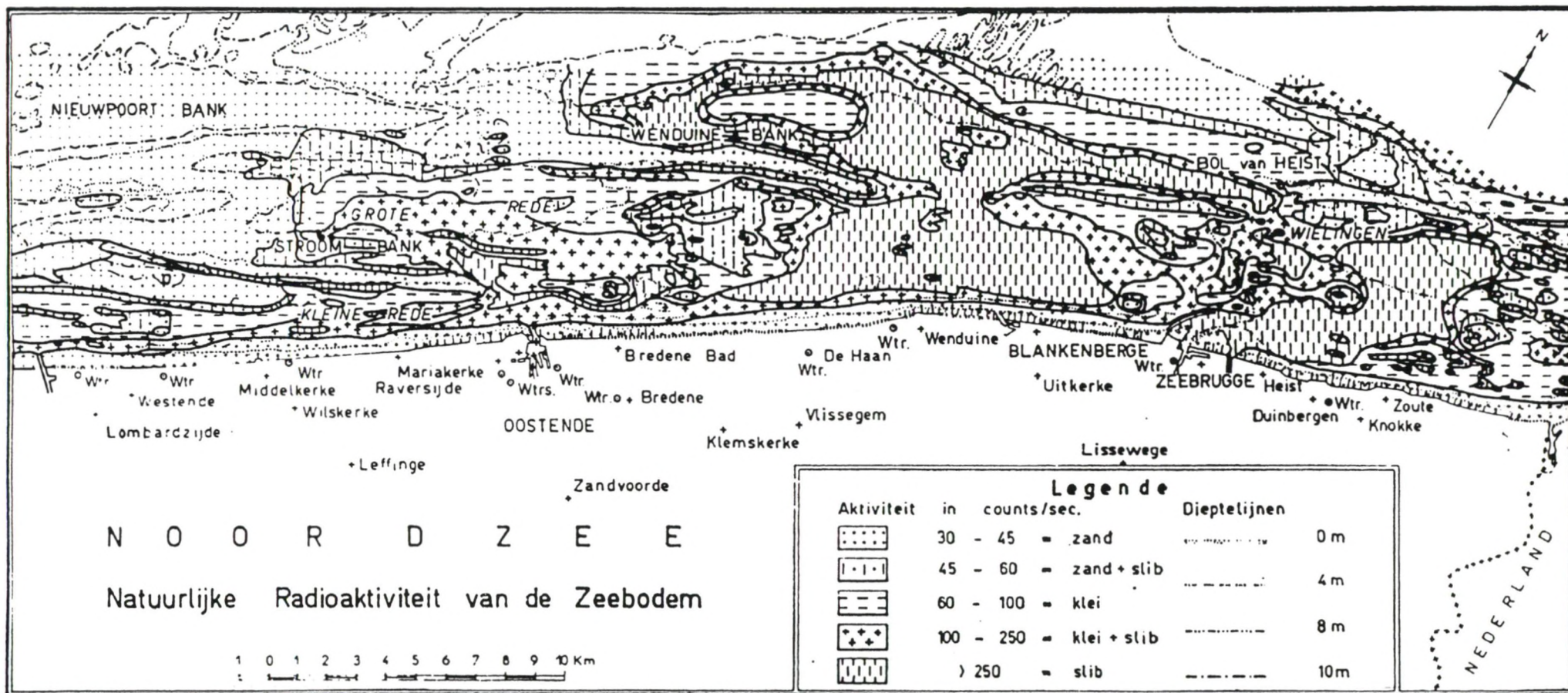
Voor de Westerschelde geldt wel een tendens van algemene vergroving van Antwerpen naar Zandvliet toe. Ter hoogte van Bath is de granulometrische identiteit van de aanwezige zanden echter deze van zeezand.

Sedimentbeweging

Voor het kustgebied is nu duidelijk dat de reststromen van het Kanaal en van de Schelde mekaar ontmoeten voor de Belgische kust. De resultanten van de orbitaalbewegingen van de waterdeeltjes, te wijten aan de golfwerking is kustwaarts gericht. Tussen deze 3 krachten is het water voor onze kust dynamisch gevangen. De krachten zijn tevens sedimentaanvoerend. Dit heeft tot gevolg dat de vaste stoffen zich accumuleren in zone van enkele kilometer breed voor onze kust. De oorsprong van de sedimenten dient in de buurt van het afzettingsgebied gezocht te worden, de aanvoer vanuit de Schelde lijkt miniem te zijn (slechts 320.000 ton/jaar).

Op de stranden bestaat er op eerste gezicht een noordoostelijk transport van zand en dit is zo maar enkel voor het hoogstrand. Een 1-jaar lang durend tracerproef met systematische injecties van tracersediment op het strand van Knokke, heeft echter aangetoond dat er op de Oostkust, voorbij de havendam van Zeebrugge, een verplaatsingsoverschot in zuidwestelijke richting was. Kwantitatief werd de drift berekend op 155.376 ton/jaar.

Voor het gedeelte van de Schelde tussen Antwerpen en de Nederlandse grens kan er uit de configuratie van de bodemkaarten besloten worden dat het grootste gedeelte van de sedimenten die ingevoerd worden in de zone er ook sedimenteren. Op de 2.200.000 ton/jaar input, zou er 1.900.000 ton/jaar afgezet worden. Slechts 320.000 ton zou er per jaar verder afgevoerd worden naar de Noordzee. De aanwezigheid van slibvelden tussen Antwerpen en Doel en het voorkomen van zand met de granulometrische identiteit van zeezand toont aan dat deze zone gekenmerkt wordt door zowel mariene als continentale invloeden. Het is een ontmoetingsplaats van reststromen.



Auteurs(s)	Bastin, A.L., Caillot A., Malherbe B.
Titel	Zeebrugge Port Extension: Sediment Transport Measurement on and off the Belgian Coast by Means of Tracers
Ref.	
Organisatie	
Specificatie bron	NV Haecon., Commissariat à l'Energie Atomique, Office des Rayonnements Ionisants, Saclay, France.
Domein	Sedimenttransport aan de Belgische kust.
Jaartal	
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Uit tracerproeven werden transportsnelheden bepaald, voor de uitbouw van de haven van Zeebrugge.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Appelzak geul

Langs beide 'oevers' van de Appelzak geul is het bodemtransport geïnduceerd door de getijden beperkt. Aan het westelijke uiteinde van de geul wordt een kustwaartse transport vastgesteld, onder invloed van de golfwerking, dat een capaciteit heeft van $0,05\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$ (transportsnelheid van $1\text{m}/\text{dag}$). Daarentegen wordt in het centrum van de Appelzak een vloedgerichte resulterend sedimenttransport geobserveerd van $2,5\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$ (transportsnelheid van $35\text{m}/\text{dag}$). Het kustwaartse transport is vooral een gevolg van de golfwerking. Algemeen kan gesteld worden dat in de omgeving van de Appelzak en dus niet in de Appelzak zelf, een sedimentkorrel niet meer dan $2\text{m}/\text{dag}$ zal verplaatst worden.

Oostkust, strand

Langs de kuststrook, op het 'laagstrand', gebeurt alle transport in oostelijke richting. Gemiddeld is het transportcapaciteit voor de Belgische kust $0,045\text{m}^3/\text{m}/\text{dag}$, dit is in goede weersomstandigheden. Voor een 'laagstrand' dat 250m breed is, is de hoeveelheid sediment verplaatst op een dag $11,25\text{m}^3$.

Gemiddeld is de snelheid van transport 1 à 2m per dag, met een piekwaarde van 9m/dag in Heist (oostkant).

Pas van het Zand

De Pas van het Zand vormt een sedimentvang voor het oostelijk gerichte langtransport. Het aanslibben is een gevolg van zowel bodemtransport, suspensietransport alsook evolutie van de hellingen van de geulwand. Om een idee te geven van de sedimenttoevoer (zie tabellen).

Auteur(s)	BMM, Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu. Diensten van de Vlaamse Executieve, Openbare Werken en Verkeer, Bestuur der Waterwegen en van het Zeewezen.
Titel	Ecologische impacte van baggerspecielossingen voor de Belgische Kust.
Ref.	
Organisatie	BMM
Specificatie bron	Conceptrapport
Domein	Baggerwerken en leefmilieu, waterkwaliteit.
Jaartal	1990
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Tussen 1980 en 1990 was de totale hoeveelheid gebaggerd sediment gedaald van 50 miljoen m³ tussen 1980-1983 (invloed uitbouw Zeebrugge), over 35 miljoen m³ tussen 1985 en 1988 (invloed verdiepingswerken vaargeulen) tot ongeveer 25 miljoen m³ anno 1990 (onderhoudswerken havens en geulen gecumuleerd). Hiervan werd slechts 3 miljoen m³ gebaggerd in de havens van Nieuwpoort, Blankenberge en Oostende (die vooral onder invloed staan van natuurlijke processen) en 22 miljoen m³ in de vaargeulen van de Westerschelde en rond de haven van Zeebrugge.

Auteur(s)	Charlier, De Meyer en Decroo (NV Haecon)
Titel	Beach protection and restoration. Part 2: a perspective of "soft" methods.
Ref.	
Organisatie	NV Haecon
Specificatie bron	Inten. J. Environmental Studies, Vol. 33, pp. 167-191
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	"zachte methoden worden besproken om kusterosie tegen te gaan.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	1 figuur: fig.5.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Zeebrugge en Oostkust

Bathymetrische studies en modellen hebben aangetoond dat getijdestromingen tussen Zeebrugge en het Zwin verantwoordelijk zijn voor erosie van zo een 250.000m³ sedimenten, vermeerderd tot 300.000m³ sediment na de uitbreiding van Zeebrugge. Samen met de golfwerking schat men het jaarlijks verlies aan de Belgische kust rond 800.000m³. Daarbij laat men buiten beschouwing de eolische werking op de kustsedimenten.

Bij de verdere uitbouw van de haven van Zeebrugge is duidelijk gebleken dat de Appelzak geul zich steeds verder uitstreckte parallel aan de kust. Kunstmatige kustaccretie, samen met het effect op de kust- en getijdestromingen gebonden aan de uitbouw van Zeebrugge, heeft een en ander opgelost. Zo is gebleken dat de Appelzak functie doet van sedimentval, met een opvallende concentratie van zeer fijn materiaal en slib (turbiditeitsmaximum typisch voor de Belgische kustwateren induceert sedimentatie en concentratie van vooral fijn sedimenten). Door het bijna verdwijnen van de geul is de energie van zowel getijdenstroming als kuststroming genoeg verminderd om intense verdere kustdepletie te verhinderen.

Echter voor de Oostkust is ten gevolge van de erosie en de hieruit volgende verdieping van de Appelzak, wordt de kust tussen Knokke en het Zoute verder geërodeerd.

Oostende

Zandtransport langs de kust van Oostende veranderde sterk na de constructie van een 'fort' en harde dijk. De kuststrook werd volledig geërodeerd tot aan de voet van de wandeldijk en strand is niet meer aanwezig bij hoog water. Massieve kunstmatige strandsuppletie is onmogelijk daar juist naast het strand de vaargeul naar de haven toe ligt. Verzanding van deze geul moet voorkomen worden.

Een efficiënte techniek om verdere erosie tegen te werken beantwoordt aan volgende 4 punten:

- (1) golfkracht moet bij vloed en storm voldoende gebroken worden om vernietiging van verdedigingsconstructies (golfbrekers, dijk, havenpier) en dijkgebouwen te voorkomen
- (2) een voldoende grote recreatiestrand moet bewaard blijven
- (3) de havengeul moet gevrijwaard blijven
- (4) te ondernemen werken moeten binnen de reeds bestaande structuren van golfbrekers gebeuren.

Als oplossing hierop werd gedacht aan strandsuppletie met een mengsel van grind en zand. Grind heeft als karakteristiek de inkomende golf voldoende te breken (porositeit is hoger dan bij zand) en transport ervan vereist veel hogere energetische omstandigheden.

Een studie naar de haalbaarheid van de oplossing is momenteel in uitvoering.

BEACH PROTECTION II

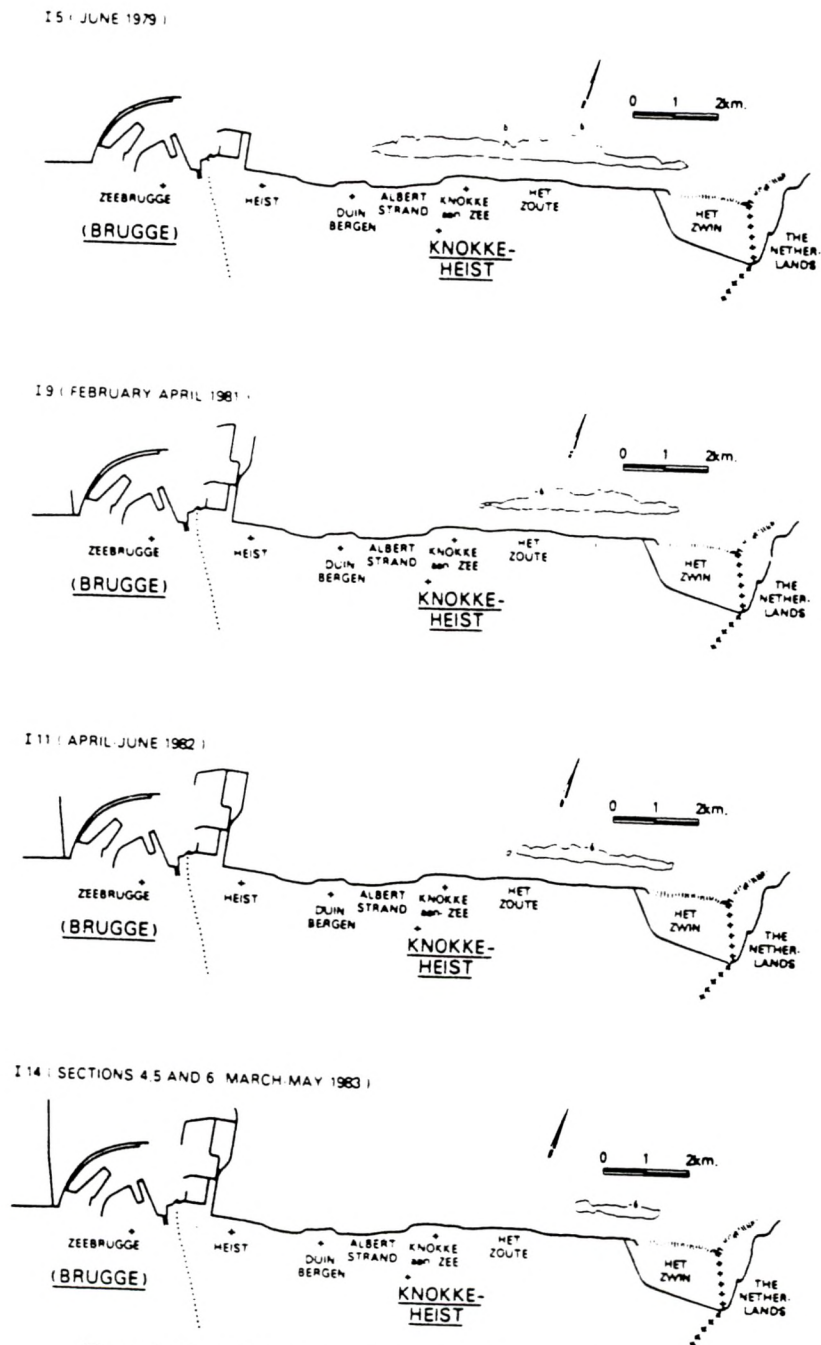


Figure 5 Evolution of "Appelzak" gully. East coast of Belgium.

Auteur(s)	Charlier R.H., De Meyer C., Decroo D., NV Haecon.
Titel	Beach protection and restoration. Part 1: hard structures and beach erosion
Ref.	
Organisatie	Haecon
Specificatie bron	Intern. J. Environmental Studies, vol33, pp.29-44.
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Gevolgen van kustinfrastructuren en erosieproblemen.
Bruikbaar voor	Fenomenen staan los van de te bestuderen problematiek maar een verhoogde kusterosie betekent ook een verhoogde kusttransport. Echter, een link naar het littoraal sedimenttransport wordt niet gemaakt.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Verhoogde kusterosie kan een gevolg zijn van slecht bestudeerde harde kustverdedigingssystemen. Goede voorbeelden hiervan zijn de golfbrekers aan de kust van Knokke en het 'fort' van Oostende met bijhorende golfbrekers. Deze 'harde' structuren hebben op korte termijn geleid tot versnelde en diepgaande (vooral te Oostende) kusterosie. De 2 gevallen worden hier besproken bij wijze van voorbeeld.

Knokke

Aan de lizijde van de golfbrekers is er een erosiegeul ontstaan door de longitudinale stromen die geaccentueerd werden aan de voet van de structuren. Het langzaam wegsmelten van de kuststrook werd tegengegaan door zandopspuitingen vanuit zee. De vroegere ontstane geul (als gevolg van de versterkte stromingen) fungeert aanvankelijk als sedimenttrap zodat een bijna evenwichtstoestand opnieuw hersteld wordt. Het opspuiten van zand op de kust gecombineerd met het aanleggen van een "strandvoedingsrif" aan de voorkust herstelt gedeeltelijk het stromingsbalans en voorkomt verdere overdreven erosie van de kuststrook.

Oostende

Het aanleggen van een harde dijk in Oostende heeft geleid naar een intens versnelde erosie van het strand. Om verdere erosie te vermijden en om de dijk tegen de geïntensifieerde golfslag te beschermen bouwde men golfbrekers. Op die manier hoopte men het langse sedimenttransport op te vangen, zodat accumulatiezones zouden ontstaan. Het effect was echter andersom zodat verdere erosie in stroomversnelling gebeurde. Hoewel strandherstelling door middel van opspuiting ondernomen werd blijven de problemen aanslepen en blijft Oostende gekenmerkt door een versnelde kusterosie.

Auteur(s)	De Meyer C., Charlier R.H.
Titel	New developments on coastal protection along Belgian Coast
Ref.	SYM0962/02396
Organisatie	HACON NV
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1993
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Kustbescherming en kusttheropbouw
Bruikbaar voor	Situatie Appelzak geul
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Hier wordt als voorbeeld het geval Zeebrugge aangehaald. De conclusies van de tekst zijn gebaseerd op vroegere onderzoeken uitgevoerd door Kerckaert et al., "Artificial beach re-nourishment" (1982) en Malherbe B., "The influence of port structures on coastal sedimentation processes and maintenance dredging" (1984). Beide studies worden in andere fiches besproken. Hierin wordt ook vermeld op welke gegevens beide onderzoeken steunen en hoe men tot de conclusies gekomen is.

Voor de bouw van de strekarmen aan de haven van Zeebrugge, was de Appelzak geul zichzelf aan het uitbreiden (kuststromingen) en strekte zich uit van het Zwin tot aan Zeebrugge.

Na de infrastructuur uitbouw vormde de geul een sedimenttrap voor de gedeflecteerde kuststromen. De erosieve zone is geëvolueerd naar een sedimentatiezone en heeft de ervoor liggende kust doen stabiliseren, zij het accumuleren.

De aanwas was duidelijk het gevolg van de strandsuppleties van 1977 en 1979. Na de verondieping van de geul echter wordt de langsstroom in intensiteit versterkt door de aanwezigheid van de grote havendammen van de haven van Zeebrugge. De erosie zal weer gestadig toenemen in de Appelzak zodat het positief effect van de strandsuppletie verloren gaat. De sedimenten opgevangen in de Appelzak worden met de langsstroom richting Zwingeul en Nederland getransporteerd.

Auteur(s)	De Moor G.
Titel	Maintenance on the Flemish Banks
Ref.	
Organisatie	Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologisch Dienst
Specificatie bron	The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon, RUG
Situering studie	Morfodynamische aspecten van de Kwintebank tussen 1982-1986, door middel van volumeberekeningen
Bruikbaar voor	Beperk tot 1 zandbank, ten noordwesten van het studiegebied.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Doel van de studie is de sedimentatie om en rond een zandbank te bepalen, eerder dan het globaal transport.

Op basis van de resultaten behaald voor de Kwintebank stelt men volgende mechanismen vast:

(1) residueel zand-ophoping.

Residuele zandmigratie elimineert geenszins erosie en interageert met andere zandtransporten. Het resultaat is dat het zand steeds herwerkt wordt binnen het bereik van de zandbank.

(2) interne longitudinale transport opgewekt ten gevolge van erosiestromen

(3) verticale sedimentuitwisseling ten gevolge van golftruncatie.

(4) op lange termijn lijken zandbanken onderhevig aan periodes van erosie en periodes van opbouw. Dit laatste is waarschijnlijk gebonden aan de hydraulische omstandigheden van de Noordzee aan de Belgische kust, gekenmerkt door een turbiditeitsmaximum.

Auteur(s)	Eurosense Belfotop nv, Haecon nv
Titel	Kustveiligheidsplan 2000: een beleidsplan voor het realiseren van een veilige kustverdediging.
Ref.	MKB1177 // 92/00011
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kusthavens (Oostende)
Specificatie bron	
Domein	Kustverdediging
Jaartal	1992
Consulteerbaar	Haecon nv
Situering studie	Kustverdediging
Bruikbaar voor	Voorbeeld van zandbalansberekening op basis van verschilkaarten: zandbalans ter hoogte van de Haan.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	Fig. 2.30: sedimentbalans situatie De Haan.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Een strandwal met duinreep reageert op de externe hydrometeorologische omstandigheden (getij, golven, wind) door herschikking van de interne zandbalans. Hierbij kan zowel zand extern ingevoerd (netto-winst) of weggevoerd (netto-verlies) worden.

Wanneer de strandwaarnemingen voldoende ver in zee en over het duin reiken, kan een zandbalans per profiel, per kustsectie of per kustdeel berekend worden. Wanneer het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende waarnemingen voldoende kort is en wanneer de hydrometeorologische condities voldoende bekend zijn, kan ook een interpretatie van het getransporteerde volume zand (richting en debiet) uitgevoerd worden (zie figuur).

Een spectaculaire afslag van het droogstrand betekent niet noodzakelijk een significant verlies van de eerste kustverdedigingslinie.

Dergelijke zandbalansen (gebaseerd op verschilkaarten) kunnen berekend over langere termijn en goed werkinstrument worden voor het bepalen van het netto-zandverlies van een strandwal.

Op decennium termijn moet ook de cycliciteit, inherent aan vele natuurlijke processen van het marien milieu, aan het daglicht komen. Te Vlissegem stelde een cycliciteit in de positie LW-lijn HW-lijn en duinvoet vast. De cycliciteit lijkt in zekere zin in fase te zijn met de cyclus van de helling van de maanbaan (18 2/3 maand).

Observaties of berekeningen beschouwd over lange periodes geven ook het bestaan van zandgolven weer. Zo werd voor de kust van Walcheren (Nederland) volgende karakteristieken van een zandgolf vastgesteld:

- Periode: 130 jaar.
- Golflengte (// aan de kust): ongeveer 6km.
- Migratiesnelheid: 30-300m per jaar.
- Kustlijnverandering: 50-400m.

Het bestaan van zandgolven is uiteraard van belang voor het kustverdedigingssysteem op lange termijn. Om de zandgolven te identificeren zijn ofwel lange tijdreeksen van observaties nodig ofwel simultane opnamen van grote kustgebieden.

Voor het bepalen van hierboven vermelde cycliciteiten en/of zandgolven langs de Vlaamse kust dient een nader onderzoek te gebeuren met betrekking tot het beleid op middellange en lange termijn.

De zandtransportmechanismen dienen met behulp van zandbalansen meer precies geëvalueerd te worden teneinde een beter inzicht te verkrijgen in de processen die de kusterosie bepalen.

KUSTBEVEILIGINGSSTUDIE VOOR DEN HAAN
SEDIMENT-BALANS OP BASIS VAN VERSCHILKAARTEN

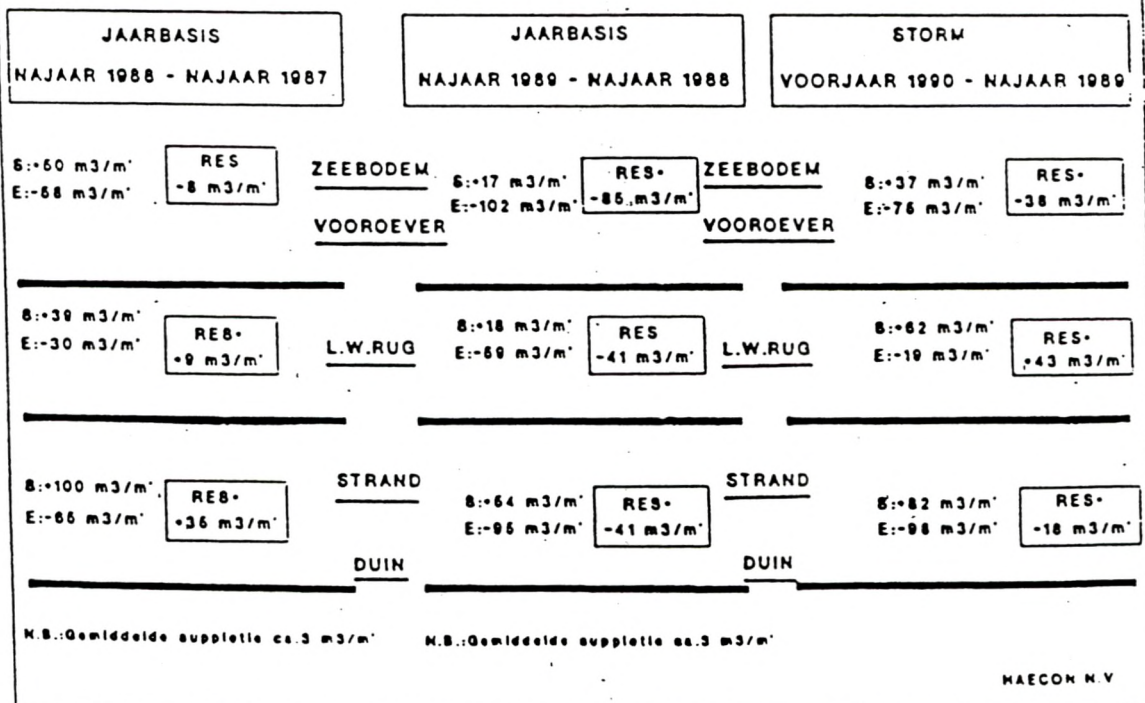


Fig. 2.30. Voorbeeld van zandbalansberekeningen voor de kustdelen van De Haan. (S : sedimentatie, aangroei; E : erosie, afslag).

Auteurs(s)	NV Haecon
Titel	Sedimentologie: sedimentologie van het strandzand aan de oost- en westkust van Zeebrugge
Ref.	ZBO 83.2182
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken
Specificatie bron	Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust
Domein	Sedimentologie
Jaartal	1983
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Het onderzoek geeft informatie over sedimentbalansen in de omgeving van Zeebrugge voor de periode tussen juli 1977 en augustus 1982
bruikbaar voor	Het rapporteert enkel de situatie van de stranden ten westen en ten oosten van Zeebrugge
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Conclusies

Het grove opsputzand werd gebruikt om de natuurlijke stranddrift te bepalen van langs de Belgische kust:

- Oostelijk gerichte stranddrift tussen Duinbergen en Cadzand,
- De stranddriftsnelheid aan de laagwaterlijn varieert tussen en 2km en 7km per jaar,
- Een gemiddelde erosie van 188.000m³ per jaar onder invloed van stranddrift werd berekend voor de zone gelegen tussen hoog- en laagwaterlijn,
- De havengeul van Cadzand lijkt de stranddrift sterk te beïnvloeden (uitfilteren van de grovere fracties) in tegenstelling tot de Zwingel,
- De stranden ten westen van Zeebrugge zijn stabiel qua samenstelling, in tegenstelling tot de oostelijke stranden.
- Ter hoogte van het Lekkerbek in Knokke is de gradiënt van de granulometrische samenstelling langs het profiel veel steiler dan langs andere raaien, dit zou op een lokaal zeer onstabiel strand kunnen wijzen.

Auteurs(s)	NV Haecon
Titel	Sedimentbalansen en slibcirculaties: vorderingsnota bij de voorspellingen in de T6-toestand
Ref.	ZBO 83.1415
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Waterwegen, Dienst der Kust
Specificatie bron	Haecon
Domein	Sedimenttransport en eraan gekoppelde morfologische veranderingen, in de hand gewerkt door de uitbouw van Zeebrugge
Jaartal	1983
Consulteerbaar	Haecon

situering studie	Aan de hand van meetcampagnes worden prognoses van mathematische en fysische modellen getoetst.
bruikbaar voor	Morfologische veranderingen rechtstreeks gelinkt aan de uitbouw van de haven van Zeebrugge

Opleggende voorwaarden
 Synthese
 Figuren
 Tabellen
 Inhoudstafel
 Opsteller

SVE

Synthese

Pas van het Zand en Paardenmarkt

Bij de verbouwingswerken is circa 1980 de sedimenttransportresultante over de Pas van het Zand van een eboverschot naar en vloedoverschot geëvolueerd. Zoals voorspeld door het tijmodel was er ook een sedimenttransport-neer ontstaan voor de kust van Heist-Duinbergen. Ook constateerde men in 1981 dat het resulterend suspensietransport over de Pas van het Zand (in vloedrichting dus) met een factor 5 was toegenomen ten aanzien van de oorsprongssituatie, dit is in 1979 voor de aanvang van de expansiewerken. Dit betekent dat de Oostkust onderworpen zal worden aan een belangrijke aanvoer van slibmateriaal (berekend is 61.840kg/m getij), waarvan een gedeelte zal sedimenteren in de neer voor Heist en een gedeelte zal gevangen worden in de ontmoetingszone gelegen voor de Oostkust.

Bol van Heist en Wielingen

De ommekeer naar een dominantie van sterk vloedoverschot heeft ook een invloed op de stabiliteit van de Bol van Heist en de Wielingengeul.

De Bol van Heist is door de nieuwe stroomcondities van vorm een strekking veranderd. Het vloedoverschot in het gebied is zo sterk geworden dat de bank als het ware aan het oplossen is. Door volumeberekeningen met input van nieuwe gegevens en de evolutietendens te extrapoleren naar de toekomst toe, kan geconcludeerd worden dat 5 jaar na de aanzet van de verbouwingen de Bol van Heist volledig van de kaart zal verdwenen zijn. Indien dit effectief zo is, zal de afwezigheid van de Bol van Heist-bank een invloed hebben op de golfactiviteit vanuit de sector NNW op een groot deel van de Oostkust.

De vloeddinantie dat zich ingesteld heeft bij de uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft ook een positief gevolg voor de scheepsvaart. De versterkte stroom zorgt er namelijk voor dat de Wielingen geul zich natuurlijk zal verdiepen. De drempel tussen de Wielingen en Scheur lijkt ook verdwenen te zijn, dit is gekoppeld aan de evolutie van het westelijk deel van de Wielingen naar een vloedschaar.

Paardenmarkt

Lichte accreties van sedimenten zijn waargenomen aan de zuidflank van de Scheur, tussen de Scheur-9 en de Scheur-Wielingen-boei. De aanwas van sedimenten zou kunnen verklaard worden door de erosie van de stortspecie aan de Bruggen en Wegen Stortboei op de Paardenmarkt en het resulterend transport door de vloedresultante in NE-richting.

De toename van het vloeddinant resultierend suspensietransport vastgesteld over de Pas van het Zand is ook observeerbaar in het westelijke gedeelte van de Paardenmarkt.

Auteurs(s) NV Haecon
Titel Sedimentologie: sedimentbalansen en slibcirculaties,
kwantitatieve sedimentbalans
Ref. ZBO T83.2563
Organisatie Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen,
Bestuur de Waterwegen
Specificatie bron Malherbe B., Bastin A., Van Mechelen D.
Domein Kwantitatieve evaluatie van sedimentcirculaties
Jaartal 1983
Consulteerbaar Haecon

situering studie Door middel van in-situ metingen wordt een evaluatie
gegeven van aanslibbingen of verzandingen en erosies
bruikbaar voor Sedimentbalans
Opleggende voorwaarden
Synthese
Figuren
Tabellen
Inhoudstafel
Opsteller SVE

Synthese

Kwantitatieve gegevens van sedimentcirculaties werden gedistilleerd uit enerzijds verschilkaarten (weergave van morfologische veranderingen en mogelijkheid van volumeberekeningen) en anderzijds uit een inventarisatie van alle bagger en bodemsamenstellingsgegevens.

Conclusies

Het gebied in de omgeving van Zeebrugge wordt hydraulisch beïnvloed door zowel het estuarium van de Westerschelde als de Zuidelijke Noordzee. Dit verklaart waarom het systeem enerzijds gekenmerkt wordt door een systeem van eb- en vloedgeulen en anderzijds deze geulen niet zo scherp afgeijnd zijn als in de Westerschelde.

Kwalitatief kan de Belgische shelf in erosie- en aanwascentre verdeeld worden als volgt:

Erosiegebied tussen de Wandelaarbanken en de kust (van de Haan tot Blankenberge). Het losse slib dat hier vroeger gevangen zat (vroegere ontmoetingszone van de reststromen) spoelt nu naar het Oosten. Tussen Heist en Duinbergen lijkt ook een erosiecentrum te zijn.

Er is een duidelijke aanslibbingszone tussen de Wielingen en de kust (tussen Knokke en het Zwin - Kruishoofd), dat de nieuwe locatie zou kunnen zijn van de ontmoetingsplaats van de reststromen. Tussen Blankenberge en Zeebrugge wordt ook aanwas van slib vastgesteld.

In dit complex systeem zijn grote geulen voorhanden (Wielingen-Scheur en het Pas van de Zand-Ribzand) en 3 baggerstortplaatsen.

Hieruit kan besloten worden dat de sedimentologische invloed gekoppeld aan de uitbouw van de haven van Zeebrugge reikt in een gebied gelegen tussen De Haan en Kruishoofd. Het nieuw sedimentologisch patroon weerspiegelt ook het nieuw hydraulisch regime, en omgekeerd.

De oorzaak van de uitgestrektheid van de invloedssfeer is het ontstaan van een aanslibbingsgebied voor het Zwin en Cadzand dat tot ver voorbij de Wielingen reikt. De natuur neigt de Wielingen te doen aanslibben, maar onderhoudsbaggerwerken vrijwaren de geul. De hydraulische sectie blijkt echter te klein voor een effectieve afvloeiing van de komberging van de Westerschelde. De 2 uitschurende ebgeulen ten N en ten Z van de Wielingen ter hoogte van Cadzand, die wijzen op de pogingen van het ebwater van dit aanwasgebied te ontwijken. De neiging tot aanslibben van het gebied tussen Knokke en het Zwin tot over de Wielingen belemmeren de komlediging van de Westerschelde. De hierdoor ontstane ebgeulen lijken het strand voor Cadzand preferentieel te willen aantasten.

Kwantitatief kan er algemeen gesteld worden dat de uitbouw van de haven van Zeebrugge (tussen 1976 en 1982) geleid heeft tot het verzetten van 21.500.000 ton droge stof door natuurlijke processen. Over dezelfde periode hebben baggerwerken voor een grondverzet van 248.600.000 ton droge stof gezorgd, waarvan ongeveer 186.600.000 ton terug rechtstreeks of onrechtstreeks in de circulatie van het natuurlijke systeem is gekomen. De sediment in sediment in de Belgische kustwateren wordt geschat op zo een 180.000 ton droge stof.

Deze globale cijfers kunnen opgesplitst worden volgens de morfologische eenheden.

Uit de onderhoudsbaggerwerken over de beschouwde periode werd een gemiddelde jaarlijkse aanwas van sedimenten berekend, deze zijn per plaats weergegeven in onderstaand tabel.

<u>Locatie</u>	<u>Aanwas in m³ per m²/jaar</u>	<u>Densiteit (t/m³)</u>
Binnenhaven Zeebrugge	8,50	1,22
Pas van het Zand / Ribzand	8,00	1,25
Scheur Wielingen	0,54	1,42

Uit de verschilkaarten werden per locatie volumes berekend.

<u>Locatie</u>	<u>Erosie (m³ in-situ)</u>	<u>Sedimentatie (m³ in-situ)</u>
De Haan tot Blankenberge	- 9.018.600	
Heist tot Duinbergen	- 21.050.120	
Bol van Heist	- 1.448.800	
Blankenberge tot Zeebrugge		+ 22.519.650
Appelzak		+ 12.872.500
Wielingen (Het Zoute)		+ 5.552.900
Het Zwin		+ 8.408.630
Ten N van de Wielingen		+ 8.338.750
Pas van het Zand	- 4.668.400	
Scheur oost	- 16.218.800	
Scheur west	- 14.785.100	
Ebgeul voor Cadzand	- 1.227.500	
Ebgeul ten n van de Wielingen	- 2.036.250	
Stortplaats Sierra Ventana (S1)		+ 30.808.350

Hierbij dient wel gezegd dat bovenstaande volumes enkel met elkaar kunnen vergeleken worden indien er correcties naar densiteit zijn uitgevoerd. Daaruit kan afgeleid worden dat 90% van de afgezette sedimenten hun oorsprong vinden in recirculatie van gestorte kubieke baggerspecie. Slechts 9 à 10 % van de sedimentmassa zou natuurlijke input zijn.

Na correctie van densiteit vindt men dat de reactie van de natuur op de infrastructuursinvloed aan de volgende cijfers beantwoordt:

21.498.000 ton droge stof is geërodeerd of in circulatie gebracht,

42.751.570 ton droge stof is geaccumuleerd: het valt op dat slechts een deel van de gesedimenteerde massa afkomstig is van natuurlijke erosieprocessen. Deze cijfers zijn steeds beschouwd over de periode tussen 1976 en 1982. Van de totale aanwas is de natuur 8% verantwoordelijk, zijn de baggerwerken voor 30% verantwoordelijk en de stortverliezen voor 62%.

Auteur(s)	NV Haecon
Titel	Atlas Hydrometeowaarnemingen in het Belgisch Kustgebied en op het Belgisch Continentaal Plat
Ref.	
Organisatie	Ministerie van openbare Werken, Bestuur der waterwegen, Dienst der Kust
Specificatie bron	
Domein	Resultierend sedimenttransport
Jaartal	1989
Consulteerbaar	
situering studie	Overzichtelijke weergave van de informatie ingewonnen ten behoeve van het meetprogramma van de Hydrografische dienst; de gegevens zijn Onder meer hydroparameters: vertikaal en horizontaal getij; meteoparameters: windklimaat, luchtdruk en -temperatuur
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	1 tabel: 1.1 meetlocaties.
Inhoudstafel	
Opsteller	RAS

Synthese

Niet direct bruikbaar: Pro Memoria

Beschrijving van:

- Ruimtelijk beeld van het meetgebied
- Het meetsensorenbestand
- Overzicht van de databank
- Overzicht van de statistische informatie
- Algemene beschrijving van het windklimaat
- Algemene beschrijving van het golfklimaat
- Overzicht van basisgetijgegevens

TABEL 1.1. : MEETLOKATIES

LOKATIE	AFK.	GEOGRAFISCHE COORDINATEN		UTM		DIEPTE (dm)	OPM.
		N°	E°	N	E		
<u>Golfmeetboeien</u>							
Westhinder	WH	51°23'00"	02°26'30"	5.692.720	461.144	172	1
Akkaert	AK	51°24'49"	02°46'18"	5.695.964	484.120	157	1
A2-boei	A2	51°21'57"	03°07'43"	5.690.663	508.954	79	1
Bo1 van Heist	BH	51°22'46"	03°12'28"	5.692.160	514.461	77-84	1
D8-boei	D8	51°21'49"	03°10'35"	5.690.393	512.281	57	1
Wielingen 1	W1	51°23'26"	03°18'00"	5.693.418	520.875	92	3
Zand 1	Z1	51°21'25"	03°11'30"	5.689.654	513.346	64-70	3
<u>Meetpalen</u>							
Wandelaar	MOW0	51°23'04"	03°02'50"	5.693.654	503.286	92	2
A2	MOW1	51°21'42"	03°07'11"	5.690.153	508.326	71	2
Paardenmarkt	MOW2	51°21'50"	03°17'28"	5.690.446	520.276	53	2
Bo1 van Heist	MOW3	51°23'26"	03°11'60"	5.693.400	513.913	85	2
Bo1 van Knokke	MOW4	51°25'29"	03°17'59"	5.697.202	520.830	72	2
Schooneveld	MOW5	51°25'30"	03°08'59"	5.697.204	510.418	46	1

1. De in de Atlas verwerkte gegevens zijn afkomstig van deze lokaties (1977 t/m 1986).

2. Nieuwe meetlokaties operationeel sinds eind 1986.

3. Op deze lokaties werd gemeten van 1977 t/m 1981 (W1) en 1983 (Z1) respectievelijk. Statistische data zijn beschikbaar op de Dienst der Kust.

Auteur(s) NV Haecon
 Titel Onderzoek zeebodemsedimenten
 Ref.
 Organisatie Ministerie van economische Zaken, Bestuur van Kwaliteit en Veiligheid, Belgische Geologische Dienst, rapport fase1
 Specificatie bron
 Domein
 Jaartal 1997
 Consulteerbaar

situering studie Studieproject NAT/96-6.1: correlatie
 zeebodemsamenstelling and morfologische verandering
 bruikbaar voor
 Opleggende voorwaarden
 Synthese
 Figuren
 Tabellen
 Inhoudstafel
 Opsteller RAS

Synthese

De zeebodemsamenstelling van de Belgische kustzone wordt besproken aan de hand van de Holoceen en Oppervlaktensedimentenkaart van de British Geological Survey, de Rijksgeologische Dienst en de Belgische Geologische Dienst op 1/250.000. De bodem van de zuidelijke Noordzee bestaat uit fijn en middelgrof zand. Het fijn zand komt voor aan de kust, het middelgrof zand bevindt zich meer zeewaarts. Voor de kust is de zeebodem slibhoudend. Deze bevindingen stroken met de gemiddelde korrelgrootte van de zandfractie die zeewaarts een algemene vergroving kent. De bodemkaart opgemaakt door middel van de Roxann classificatiemethode is complementair te noemen omdat ze de mobiele sliblaag apart weergeeft. Ze bevestigt het hoge slibgehalte voor de Belgische kust.

De bathymetrische gegevens van 1992 en 1994 worden besproken voor het gebied Wielingen-Scheur. Aan de hand van hierop gebaseerde DTM wordt de morfologie van het gebied besproken. Kustwaarts liggen parallelle zandbanken, zeewaarts zijn de banken meer noordwaarts gericht. Het meest markante kenmerk is de Scheur vaargeul naar de Westerschelde, en via de Pas van het zand verbonden met de haven van Zeebrugge. Naast vroegere verdiepingsbaggerwerken, wordt ze nu gekenmerkt door onderhoudsbaggerwerken. Ten Noorden van de Scheur bevindt zich de Vlakte van de Raan, die beschouwd kan worden als de voordelta van de Westerschelde.

De korrelgrootteverdeling is duidelijk gelinkt aan de positie tegenoverstaande van de kust, maar ook de detailmorfologie van de zeebodem. De zeewaartse zandbanken zijn opgebouwd uit fijner materiaal, terwijl de fractie naar de geulen toeneemt. Grind wordt enkel in de geulen in belangrijke mate aangetroffen. Ook bij de kustwaartse banken wordt de grovere fractie in de geulen teruggevonden vb. de Grote Rede. Bovendien komt ook het slib voor in de geulen nabij de kust, dit is bevestigd en in detail beschreven door de Roxann. Dit geldt zowel voor losgepakt als voor gesedimenteerd slib. Vaak vormt het losgepakt slib smalle sporen van 100 à 200 meter die over meerdere meetraaien te volgen zijn in de luwten. Deze laag blijkt mobiel, en geen vaste locatie in te nemen. Uitzondering is het slib in de vaargeulen. Verder zijn dit de enige plaatsen waar het tertiair dagzoomt. Zanderig slib bepaalt de verhevenheden. De baggerstortplaatsen, zijn duidelijk verarmd aan slib. Het betreft ook geen depressies maar eerder ophopingen van zand.

Auteur(s)	NV Haecon		
Titel	Onderzoek zeebodemsedimenten		
Ref.			
Organisatie	Ministerie van economische Zaken, Bestuur van Kwaliteit en Veiligheid, Belgische Geologische Dienst, rapport fase2		
Specificatie bron			
Domein			
Jaartal	1998		
Consulteerbaar			
situering studie	Studieproject	NAT/96-6.1:	correlatie
	zeebodemsamenstelling and morfologische verandering		
bruikbaar voor			
Opleggende voorwaarden			
Synthese			
Figuren			
Tabellen			
Inhoudstafel			
Opsteller	RAS		

Synthese

De bodemsamenstelling van de Westerschelde wordt beschreven. Tot Zandvliet zijn de sedimenten vrijwel uitsluitend marien, stroomopwaarts is de bijmenging van zanden met Tertiaire oorsprong duidelijk op basis van menging met het glauconiethoudend zand van het tertiaire substraat.

De bathymetrische gegevens van 1992 en 1994 worden besproken. Op basis hiervan wordt de morfologie besproken. Het DTM is basis voor verschillarkartering, zowel voor de Westerschelde als voor de kustzone. De meest markante veranderingen over deze vrij korte periode wordt besproken.

Wielingen-Scheur

Deze zone is vrij stabiel. Verhogingen tegen de kust te Blankenberge en Knokke gaan samen met zeewaartse verdiepingen, en worden geïnterpreteerd binnen normale cyclische variaties van het kustprofiel. De accumulatie tegen de haven van Zeebrugge is duidelijk. De dwarsduinen van de wandelaar hebben zich geaccentueerd. De veranderingen op de Bol van Heist en Knokke zijn meer chaotisch. Er is geen sprake van netto aanslibbing van het Scheur. De veranderingen zijn beperkt en zijn verklaarbaar in functie van onderhoudsbaggerwerken, gekende menselijk ingrepen en de natuurlijke dynamica, zonder correlatie met zeebodemsamenstelling. Voor zulke correlatie is detaillering van de zeebodemsamenstelling vereist.

Westerschelde

Ondanks de korte periode, zijn de verschillen opmerkelijk. De Nolleplaat is nagenoeg onveranderd. De hogergelegen duinen hogen weliswaar op ten koste van erosie aan de directe randen. De drempel naar de Honte is vrij stabiel. De Honte en de Schaar van Spijkerplaat vormen een complex getijdenscharen met typische overeenkomende dynamiek: de hoofdvaargeulen, vloedgeulen verdiepen nog, de buitenbochten eroderen, de binnenbocht is gekenmerkt door sedimentatie. Dit is een gebied met een vrij natuurlijke sedimentatiedynamiek, dit is maar mogelijk omdat er al lang niet meer intensief gebaggerd is. Verder is de menselijke invloed groter, maar her en der is de dynamiek te herkennen en actueel (vb. Everingen Midden Plaat). Het is duidelijk dat de morfologie van de Westerschelde een gevolg is van de interactie tussen natuurlijke dynamiek en menselijke ingrepen. Er is geen correlatie met de lithologie.

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	Kustevolutie: observatieprogramma kuststrook ten oosten en ten westen van Zeebrugge
Ref.	ZSO426 / 85.2630
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, Bestuur de Waterwegen, Dienst der Kust
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	Mei 1983 tot mei 1985
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Het onderzoek steunt op een reeks bathymetrische gegevens van de kuststrook ten oosten en ten westen van Zeebrugge waarbij de data-acquisitie gebeurde tussen 1983 en 1985 en vergeleken worden met gegevens uit 1979. De evoluties in morfologie van het near shore of shore-face submarien milieu (intertidale zone) worden weergegeven op overzichtsen en verschilkaarten.
bruikbaar voor	Evolutieve trend nagaan van erosieve zones en sedimentatiezones
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Op basis van verschilkaarten, opgesteld uit bathymetrische metingen uitgevoerd door NV Haecon, werd een verdere uitgraving van de Appenzak geul voor de kust van Knokke vastgesteld en een duidelijke aangroei van een shore-face shallow zone aan de oostelijke havendam van Zeebrugge. Aan het vooroevergedeelte van het Lekkerbek en het Zwin wordt een duidelijke verdieping van de geul vastgesteld.

Een onmiddellijke oorzaak voor de verdieping van de geul ter hoogte van Knokke en het Zwin wordt niet gegeven vermits het hier louter om een observatieprogramma gaat. Wel kan vermeld worden dat de erosieve fasen vooral geconstateerd werden na de winterperiode, waarin de meeste stormen geregistreerd worden.

Auteur(s)	Henriet J.P., RUG, Bastin A., De Rouck J, NV Haecon.
Titel	Integration of continuous seismic profiling in geotechnical investigations of the Belgian Coast
Ref.	
Organisatie	NV Haecon, voor '7 th international Harbour Congress'
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1978
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Seismische onderzoek 'subbottom profiling' van het gebied voor de haven Zeebrugge
Bruikbaar voor	Bepaalde informatie over de ondergrond voor Zeebrugge, beperkte informatie over sedimentatie-omstandigheden (recent)
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Dit rapport behandelt een seismisch onderzoek van het gebied voor de haven van Zeebrugge.

Hoewel een precieze ligging van de besproken profielen niet gegeven wordt kan men 2 vrij belangrijke zaken concluderen uit het artikel :

- (1) de interne structuur van de Quartaire sedimenten wijzen steeds op sedimentatie onder sterk afwisselende en energetische getijdestromingen;
- (2) op geringe diepte onder het Quartair komt over een grote afstand (ongeveer 400m) de Bartoon klei voor. Deze vertegenwoordigt een 'vlakte' met een hoge erosiebestendigheid. Het Quartair dek op het Bartoon substraat daalt lokaal tot 1m dikte.

Auteur(s)	Kerckaert P., Ministerie van Openbare Werken, Oostende, Roovers P.P.L., Ministerie van Openbare Werken, Borgerhout, De Candt P., NV Haecon, Gent, Noordam A., T.V. Zeebouw-Zeezand, Knokke-Heist.
Titel	Artificial beach re-nourishment on the Belgian coast.
Ref.	
Organisatie	Ministerie van Openbare Werken, NV Haecon, T.V. Zeebouw-Zeezand
Specificatie bron	Verslag : 18 th International Conference on Coastal Engineering, Kaapstad.
Domein	Kustverdediging
Jaartal	1982
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Kusttheropbouw en kustverdediging.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	2 figuren: fig. 6, fig. 9.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

In de jaren 70, voor de uitbouw van de haven van Zeebrugge, viel de ontwikkeling van de Appelzak geul op en de hiermee gepaarde kusterosie dat optrad als gevolg van de versterkte golflslag en longitudinale stromen. Men linkt de verdieping van de Appelzak geul aan de oude pier van de haven van Zeebrugge, die door zijn penetratie in zee de oostelijke sedimentstroom verhinderde.

In 1976 besloot de Belgische staat om de haven te vergroten. Voor de verdere uitbouw van Zeebrugge vond men het nodig kustopspuitingen te doen, deels om de kuststrook te beschermen tijdens stormen en vooral om recreatieve redenen.

Als gevolg hierop was aanvankelijk een kusterosie merkbaar ten oosten van Zeebrugge. Echter, de getransporteerde sedimenten kwamen terecht in de Appelzak geul. Hierdoor zwakten de langsstromen af, en vond een stabilisatie van de kust plaats, echter voor geringe tijd.

Met de uitbouw van Zeebrugge werd dit fenomeen geaccentueerd door een herschikking van de stromen, zodat op sommige plaatsen aan de oostelijke voorkust belangrijke accumulatiezones zijn ontstaan.

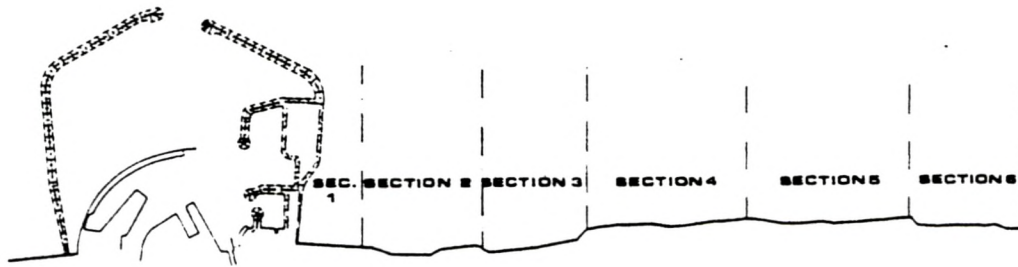
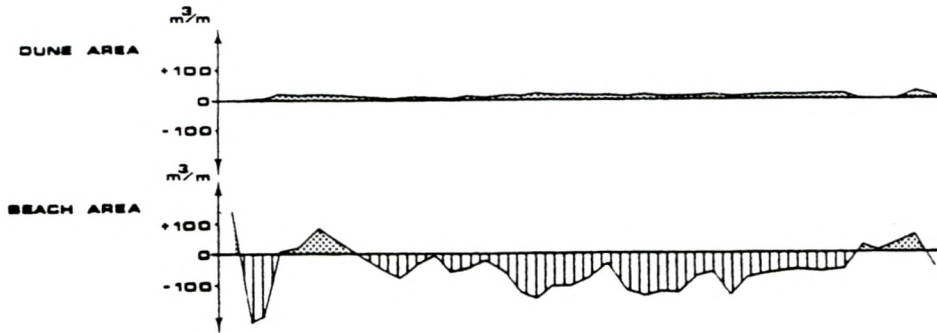


FIG 8: DUNE & BEACH AREA
EVOLUTION T/T₀

ACCRETION
EROSION
T : Feb '81
T₀ : June '78

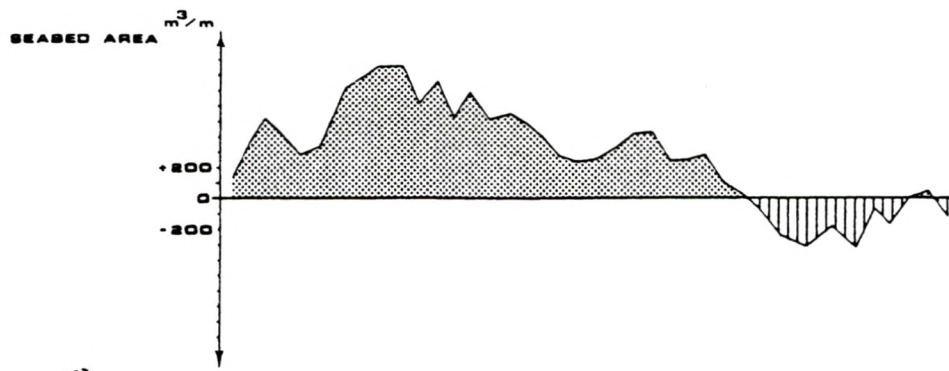


FIG 9: SEASID AREA
EVOLUTION T/T₀

ACCRETION
EROSION
T : Feb '81
T₀ : June '78

Auteur(s)	Lanckneus J.
Titel	A comparative study of sedimentological parameters of some superficial sediments on the Flemish Banks
Ref.	
Organisatie	Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologisch Dienst
Specificatie bron	The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon, RUG
Situering studie	Sedimentatieomstandigheden op de Vlaamse Zandbanken.
Bruikbaar voor	Beperkt studiegebied
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

De verschillende analyses (naar korrelgrootte, samenstelling, bathymetrie) hebben aangetoond dat:

voor de zandruggen:

- (1) naar het NE stijgt de grindfractie en daalt de silt-kleifracie,
- (2) naar het NE wordt het zand grover, dit is aan de noordoostelijke eindkant van de ruggen,

voor de geulen:

- (1) in NW richting wordt het zand grover,
- (2) silt-fractie daalt in NW richting,
- (3) hoge percentage grind in de geul zelf.

Als men de zandbank in zijn geheel beschouwd kan het volgende geconcludeerd worden:

- (1) de westelijke helling van de zandbank kent steeds een grovere korrelgrootte,
- (2) aan het noordelijk uiteinde van de zandbanken neigen de sedimenten naar een grovere korrelgrootte,
- (3) in de geulen liggen de grofste fracties (grind) centraal of westelijk.

Uit de resultaten van het onderzoek worden er geen conclusies genomen wat betreft de hydraulische regime voorhanden rondom de Vlaamse zandbanken.

Auteurs(s) Malherbe B., Bastin A.
 Titel Sedimentbalansen en slobcirculaties: tijdsevolutie van de zandbank "Bol van Heist"
 Ref. ZBO 83.3019
 Organisatie Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur de Waterwegen
 Specificatie bron Haecon
 Domein Erosieonderzoek
 Jaartal 1983
 Consulteerbaar Haecon

situering studie De uitbouw van Zeebrugge heeft geleid tot een hernieuwde hydraulisch regime langs de Oostkust, de verdwijning van de zandbank "Bol van Heist" lijkt hieraan gekoppeld te zijn
 bruikbaar voor Geeft de morfologische verandering weer van een gebied, geïnduceerd door infrastructuurwerken langs de Belgische Kust

Opleggende voorwaarden
 Synthese
 Figuren
 Tabellen
 Inhoudstafel
 Opsteller

SVE

Synthese

In onderstaand tabel staan de volumes weer van de Bol van Heist (tot de -8m lijn).

<u>Jaar</u>	<u>Volume (m³)</u>	<u>Vorderingsstaat van de werken</u>
1976	2.139.200	
1979	2.042.400	Aanvang verbouwingswerken (ZO-dam)
1983	660.100	<ul style="list-style-type: none"> • W-dam uitgebouwd tot ca. 2.300m • O-dam uitgebouwd tot ca. 2.000m

Het is duidelijk dat de hydraulische veranderingen ingevoerd in de Belgische kustwateren tijdens de werken belangrijke morfologische gevolgen kan kennen. De spectaculaire volume-afname van de Bol van Heist is daar een voorbeeld van. Het verdwijnen van de zandbank heeft tot gevolg dat golven met een NNW stroomrichting niet meer "gebroken" worden. Dit zou nefast kunnen zijn voor het strandevenwicht van de Oostkust.

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	The influence of port structures on coastal sedimentation processes and maintenance dredging
Ref.	84.4630
Organisatie	Council of Europe, Intensive course on Modelling and Management of Marine Systems
Specificatie bron	
Domein	Menselijke activiteiten en hun impact op natuurlijke processen
Jaartal	1984
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Invloed van infrastructuurveranderingen op sedimentbalansen.
Bruikbaar voor	Geeft evolutie en invloed van Zeebrugge op sedimentbalans.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	4 figuren: fig. 4, fig. 10, fig. 11, fig. 12.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

In een eerste deel van het artikel wordt gedetailleerd ingegaan op de consequenties geïnduceerd door het uitbouwen van infrastructuren in marien milieu (structuren en de daaraan erosie of sedimentatie processen, eventuele destabilisatie van een sedimentpakket door waterverzadiging van het sediment als gevolg van verhoogde golfdruk, enz.).

Op basis van in situ metingen (stromingen, sedimenttransport door middel van tracers, meteorologische metingen, samenstelling van de sedimenten, korrelgrootte-analyses en bathymetrische opnames) heeft men een nauwkeurig beeld kunnen geven van de invloed van de uitbouw van Zeebrugge op de natuurlijke omstandigheden.

Casus Zeebrugge

Situatie 1910:

Rond Zeebrugge zijn sterke stromingen voorhanden (1,5m/s) en een hoogenergetisch golfslag gekenmerkt door een korte periode. Het sedimentbeeld rond Zeebrugge is heterogeen met een dominantie van slib.

Bij het bouwen van de eerste dam constateert men eerste erosiezones rond 'le Môle', zeewaarts (fig. 4).

Situatie 1981

Bij het bouwen van strekarmen stelt men belangrijke erosiecentra (putten) vast die zich nabij de muren ontwikkelen. De bron van erosie was hierbij de stromingen die ten gevolge van van de structuren meer turbulent werden en dus een groter 'dragende capaciteit' kenden. Dit fenomeen wordt versterkt door intensieve golfwerking, en dit vooral tijdens stormen.

De voet van de strekarm (erosieve zone) werd door volgende structuren beschermd :

- Bodemmatrassen boven de putten zelf om verdere verdieping tegen te werken,
- Arduinblokken en houtmatten om de golfslag te breken, aan de voet van de strekarm.

Invloed op omgeving

Op basis van de bathymetrie en traceranalyses heeft men perturbatie van de sedimentatie kunnen opmerken in een gebied met een oppervlakte van 100km² rond het havengebied. Hierbij kunnen sedimentfluxen ontstaan van 1.000.000m³ en meer.

Transport ten gevolge van van golfslag wordt geperturbeerd op 2 niveaus:

- (1) deflectie van kusttransport
- (2) massatransport wordt onderbroken door obstructie van de dominerende golfvoortzettingsrichting.

Als gevolg kunnen 5 nieuwe situaties ontwikkelen:

- (1) expansie stromen kunnen ontstaan van een zone van hoogenergetische golfslag naar laagenergetische golfslag. Deze hebben een grote 'draagkracht' met ontstaan van accumulatiezones in de laagenergetische zone,
- (2) ontstaan van Tombolo: dit kan ontstaan achter een structuur gebouwd net voor de kust waarbij het sediment als het ware een smalle 'passage' vormt tussen kust en structuur (fig. 8),
- (3) longshore sandpits ontstaan vooral waar kusttransport zeer actief is (fig. 9). Hierbij progradeert de kustlijn in zeevaartse richting,
- (4) accumulatie van driftmateriaal kan zeer sterk zijn wanneer de zeevaartse structuur voorbij de golfslag ligt,
- (5) invloed van zandgolven.

Extensie van golfslag kan leiden tot volledige erosie van een zandgolf met belangrijke gevolgen voor de kuststrook (verhoogde erosie). Daarentegen bij verhoogde refractie van de golf door een infrastructuur kan er een zandgolf ontstaan voor een havenpier.

Zeebrugge : combinatie van golfactie en stromingen

Fig. 10 geeft de situatie voor 1981, fig. 12 erna. De getransporteerde volumes als gevolg van de constructie van Zeebrugge worden geschat op 10 tot 30 miljoen m³ (volumeberekeningen gebaseerd op bathymetrische verschillen).

Om sedimentatie of erosie in de werkzone van een havengebied kan ofwel actief ingrijpen (baggeren) ofwel ook 'passief', door het verleggen van de erosieve zones of accumulatiezones buiten de werkstrook door:

- (1) invoeren van sedimenttraps,
- (2) secundaire structuren aanleggen voor deflectie van sedimenttransporten,
- (3) fixatie van littorale driftstroom door golfbrekers, tombolos, etc.

ZEEBRUGGE

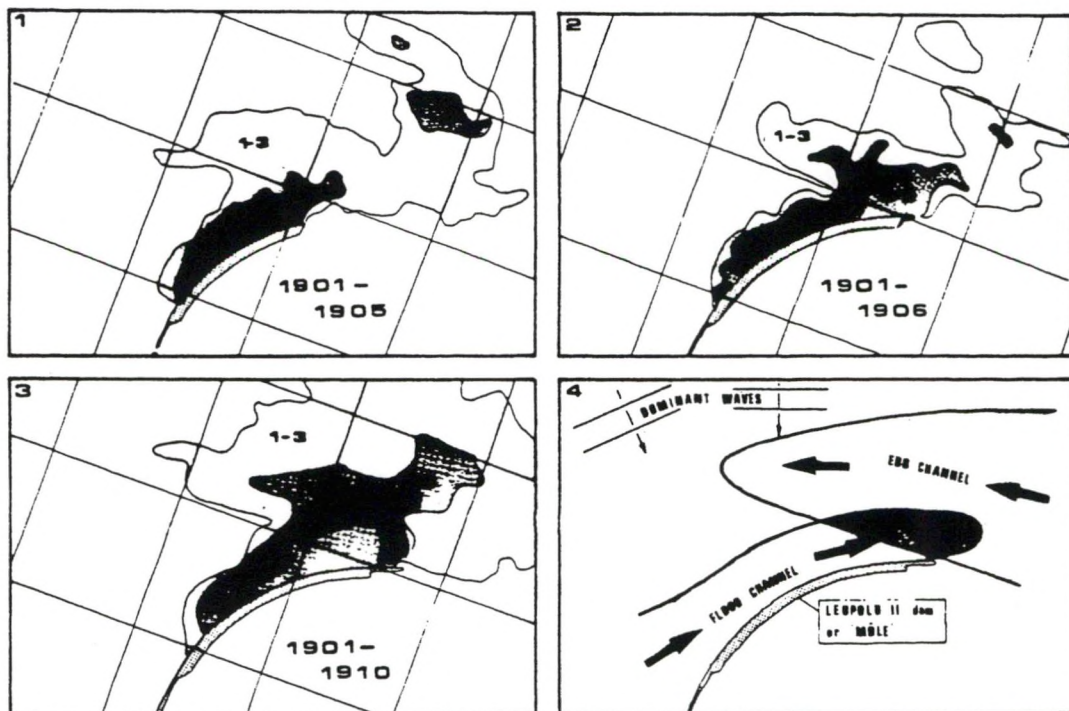


Figure 4 : Erosion at Zeebrugge.

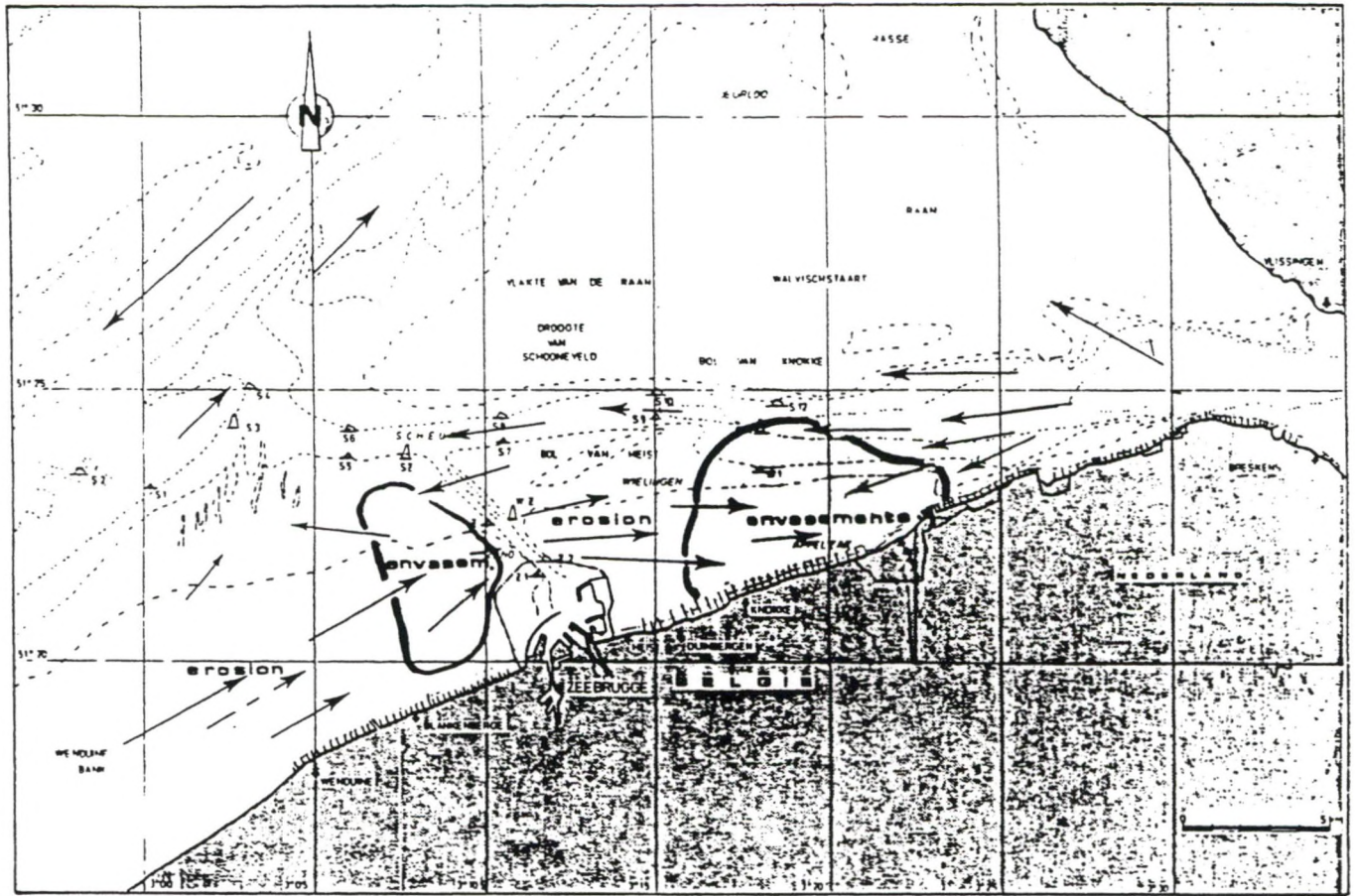


Figure 11 : Predicted changes of the sedimentological regime due to the harbour construction.

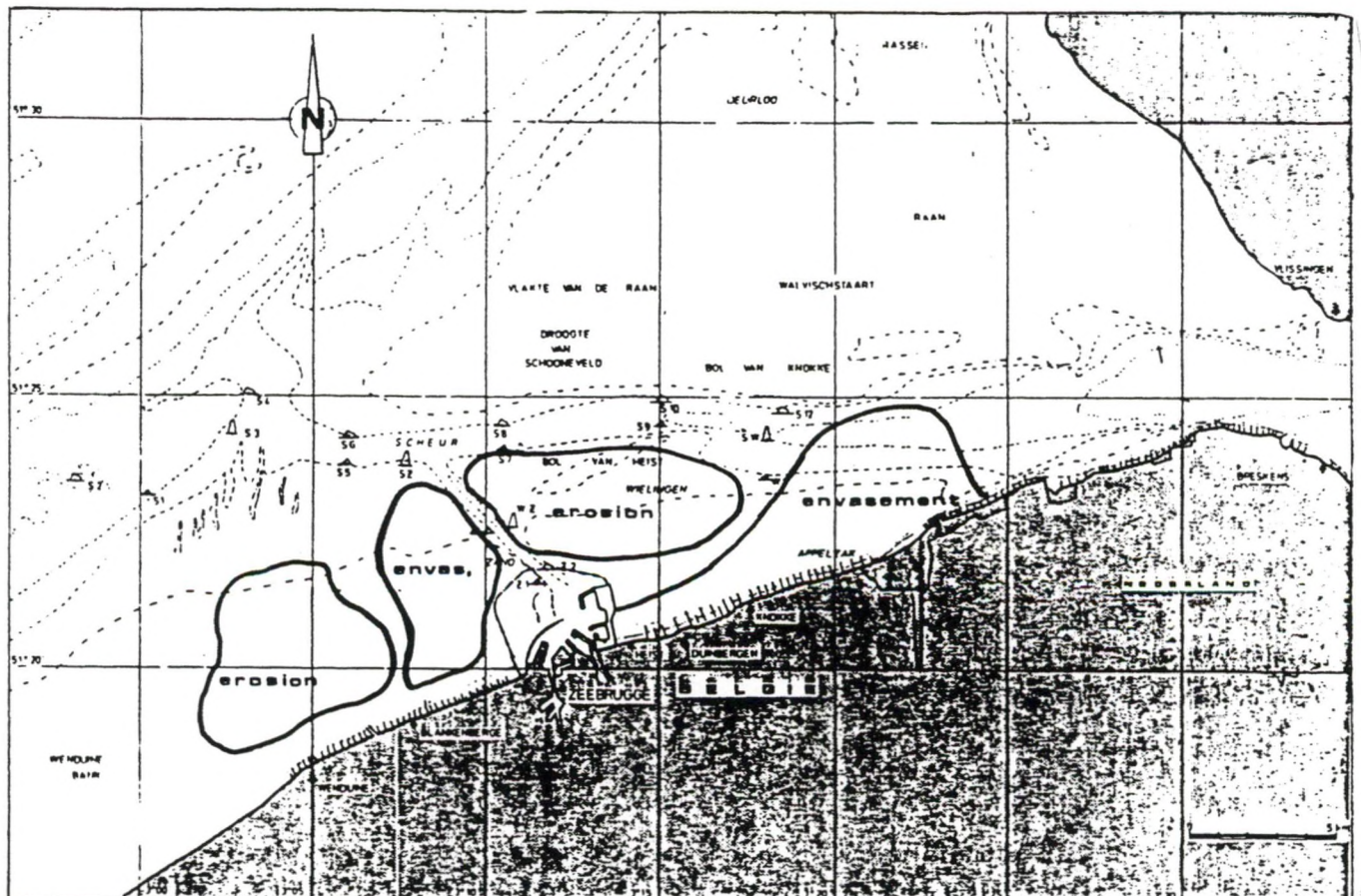


Figure 12 : Results of differential mapping with soundings before and during harbour construction. (1982-1976)

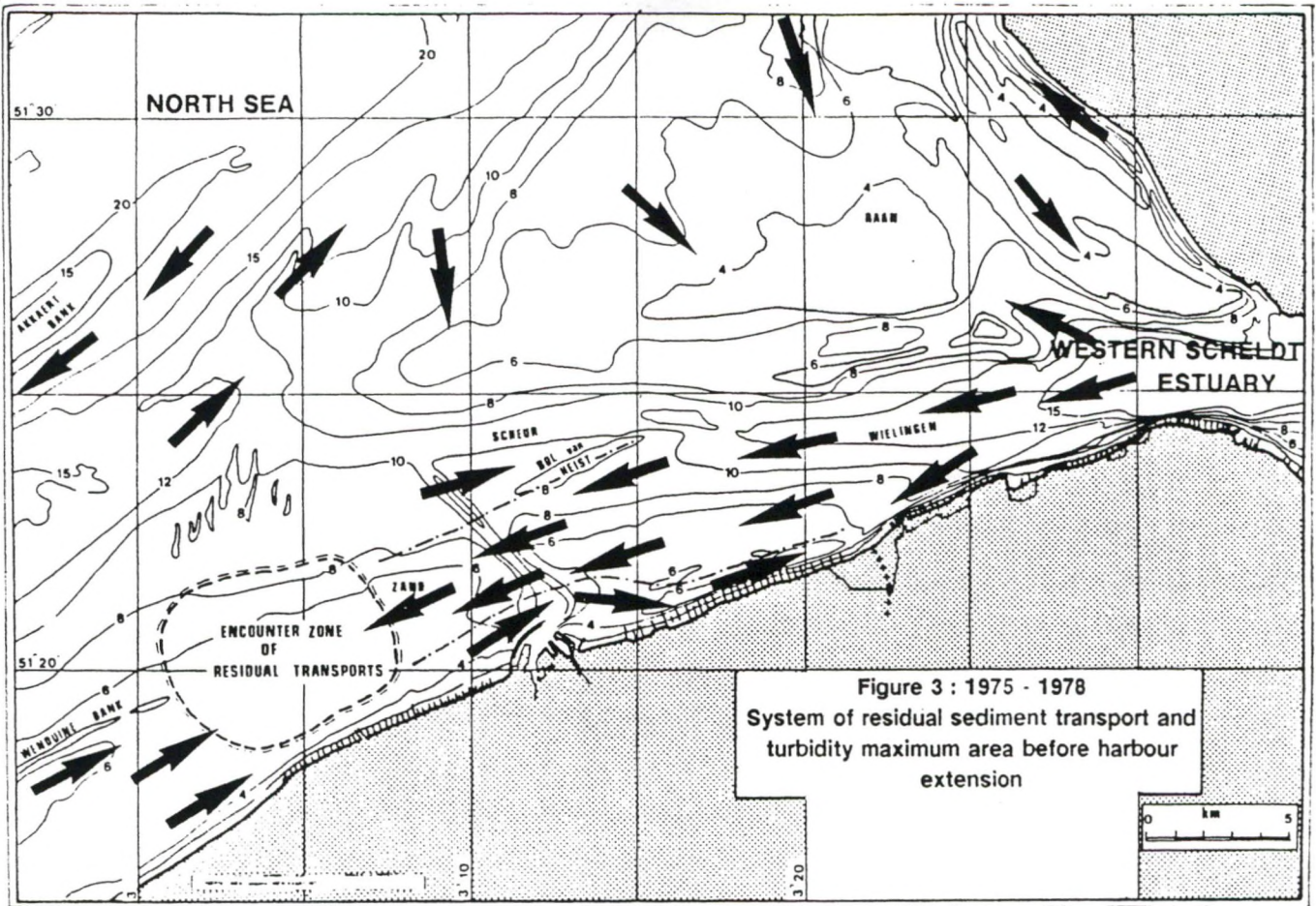


Figure 3 : 1975 - 1978
System of residual sediment transport and turbidity maximum area before harbour extension

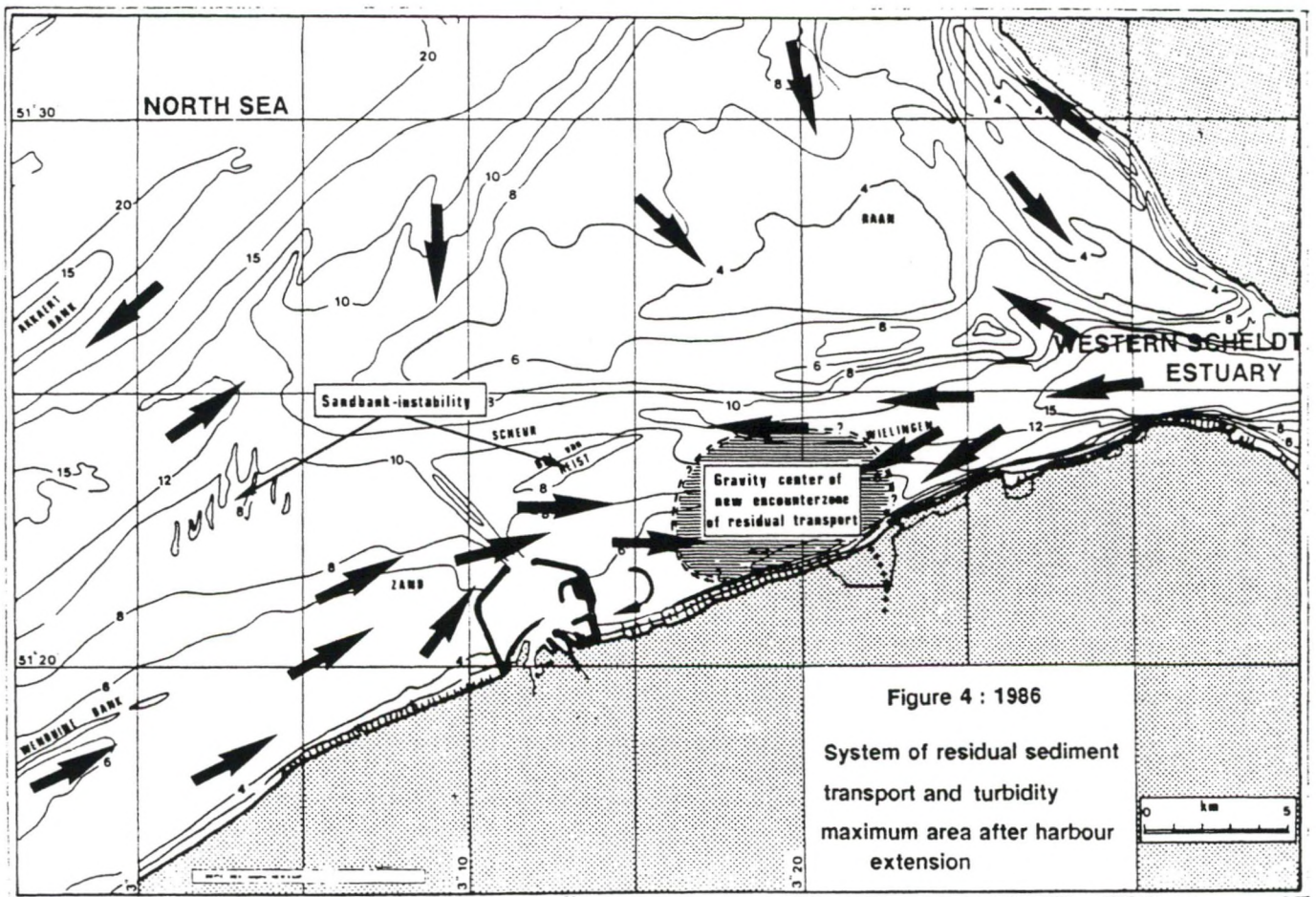


Figure 4 : 1986
System of residual sediment transport and turbidity maximum area after harbour extension

Auteur(s)	Malherbe B., NV Haecon
Titel	L' influence des ouvrages portuaires sur la sedimentologie et les dragages du site
Ref.	
Organisatie	Séminaire sur les digues en mer, Casablanca.
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1983
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Invloed van infrastructuurveranderingen op sedimentbalansen en dergelijke.
Bruikbaar voor	Geeft evolutie en invloed van Zeebrugge op sedimentbalans.
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Voor een inhoudelijk verslag wordt verwezen naar de synthese van het artikel "the influence of port structures on coastal sedimentation processes and maintenance dredging" (door Malherbe, B.).

Auteur(s)	De Meyer C. en Malherbe B., NV Haecon
Titel	Optimization of maintenance dredging operations in maritime and estuarine areas
Ref.	BME/pgm/T87/4346 / SYM962
Organisatie	
Specificatie bron	Terra et Aqua, nr. 35.
Domein	
Jaartal	1987
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Sedimenttransportmechanismen bespreken en mogelijke oplossingen voor baggerwerken.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	2 figuren: fig. 3, fig. 4.
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

In de artikel worden de verschillende oorzaken van sedimenterosie, -transport en -afzetting besproken zonder in te gaan op de situatie aan de Belgische kust.

Voor de bespreking van fig.3 en fig.4 wordt verwezen naar het artikel "Case-study of dumping in open areas" (door Malherbe B).

Slibaccumulaties

Slibaccumulaties treden op onder turbiditeitsmaxima, een kenmerkend hydraulisch regime voor estuaria. In een zone van turbiditeitsmaxima heerst een toestand van hydraulisch en sedimentologisch evenwicht. Het is een zone waar residuele transporten tegengesteld gericht zijn.

Slibtransport kent verschillende kenmerken:

- 1) is vooral intensief dicht bij de zeebodem of rivierbedding,
- 2) bij de bodem bestaat een slibtransport als een dichtheidsstroming: eigen snelheden, richtingen en ondulaties zijn voorhanden,
- 3) transport wordt vooral door de turbulentie zelf van de stroom en golfslag zelf veroorzaakt en is weinig afhankelijk van de intensiteit van de fenomenen apart.

Het verdiepen van een vaargeul of het uitbouwen van een infrastructuur dichtbij een slibtransportzone zal vaak leiden tot sedimentatie van het slib (daling turbulentie).

Zandaccumulaties

Zandtransport verloopt op verschillende niveaus, als gevolg van de grofkorreligheid:

- 1) littoraal: eolisch, golfslag (suspensie of saltatie),
- 2) langs de bodem: golfslag (suspensie, saltatie), stromingen, getijdrift,
- 3) offshore: suspensie, langs bodem, stromingen.

Sedimentatie van zand treedt op bij herverdeling van het hydraulisch regime in een gebied (dit kan zijn door natuurlijke obstakels of niet natuurlijke) waarbij de drempelwaarde van de stroming zijn actiekracht op de korrel verliest.

Auteur(s)	De Meyer C. en Malherbe B., NV Haecon
Titel	Optimization of maintenance dredging operations in maritime and estuarine areas
Ref.	
Organisatie	Papers Ports & Waterways, Buenos Aires, Argentina.
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1986
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Sedimenttransportmechanismen bespreken en mogelijke oplossingen voor baggerwerken.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Voor een inhoudelijk verslag wordt verwezen naar de synthese van het artikel met gelijke titel, uitgegeven in Terra et Aqua, nr. 35.

Auteur(s)	NV Haecon, Ministerie van Openbare Werken, Malherbe B., Bastin A., De Putter B.
Titel	Physical properties of sand and mud sediments
Ref.	
Organisatie	Preprints symposium Engineering in Marine Environment
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1982
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Het bepalen van stromingsenergie voor erosie van zand, los zand en slib.
Bruikbaar voor	Fysische kenmerken van sedimenten, belang voor baggeroperaties; louter van methodologisch belang
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

In het artikel worden de verschillende erosieve werkingen besproken naargelang sediment en stromingen (eb, vloed).

Hierbij wordt vermeld dat bij een sterke stroom vooral grovere sedimenten aan erosie gevoelig zijn, met een delay, daar de erosiedruk niet meteen over het volledig poriënvolume van de zandlaag verdeeld wordt. Bij sterke stromingen zullen de fijnere fragmenten geërodeerd worden maar deze zullen niet door saltatie getransporteerd worden, de partikels blijven in suspensie.

Auteur(s)	Tytgat J.
Titel	Dynamics of gravel in the superficial sediments of the Flemish Banks, southern North Sea
Ref.	
Organisatie	Ministerie van Economische Zaken, Belgisch Geologisch Dienst
Specificatie bron	The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea
Domein	
Jaartal	1989
Consulteerbaar	Haecon, RUG
Situering studie	Grind als sediment op de Vlaamse Banken.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Uit de korrelgrootteverdeling langs de zandbanken voor de Belgische kust is het duidelijk dat de grindfractie deel uitmaakt van de 'bed-load' sedimenten. De zone waar grind voorkomt aan de Vlaamse Banken is sterk onderhevig aan getijdestromingen met energetische pieken die parallel verlopen aan de strekking van de zandbanken. Hevige stromen leiden tot verregaande erosie, zodat een relatieve concentratieverhoging optreedt aan grove sedimenten. Hoge gravel-concentraties liggen trouwens vaak in 'verdiepende' zones.

Transport van grind langs de zandbanken is duidelijk af te leiden uit de korrelgrootteverdeling en samenstelling van het grind (fig. 6). Aan de ligging van het grind, gecombineerd aan de uitgestrektheid van sommige zandgolven, kan men afleiden dat netto-transport ter hoogte van de banken in NW-richting gebeurt. De morfologie van de zandgolven weerspiegelt een erosieve fase tijdens de ebstroom.

Schelpfragmenten vindt men haast niet samen met de grindsedimenten, dit komt doordat wanneer de drempelwaarde bereikt wordt om grind te vervoeren, reeds alle schelpfragmenten uitgewassen zijn.

Auteur(s)	M.J. van der Slikke
Titel	Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993)
Ref.	98/00001f // R97-18
Organisatie	Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht
Specificatie bron	
Domein	Inventarisatie van de dieptegegevens voor de Westerscheldemonding (grootschalig) tussen 1800-1996
Jaartal	1997
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Stand van zaken wat betreft de zandbalans in de Westerscheldemonding voor de laatste decennia. Resultaten zijn afgeleid enkel uit bathymetrische gegevens.
bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Volgens het rapport zijn de grootste morfologische veranderingen opgetreden tussen 1969-1993 als het in- of direct gevolg van het menselijk ingrijpen op het systeem (baggeren en storten). In totaal zou er in deze periode in de Westerscheldemonding een volledig zandvolume van 550Mm³ verplaatst geweest zijn door menselijke activiteiten. De merkbare verdiepingen in de vaargeulen zijn vooral te wijten aan baggerwerken, met daaraan toegevoegd dat de diepere getijdengeulen ook onderhevig zijn aan grotere uitschuringsfenomenen. Significante morfologische veranderingen van de centrale banken zijn niet opgetreden.

Als conclusie wordt vermeld dat de Westerscheldemonding in zandvolume is afgenomen, door uitwisseling (al of niet natuurlijk) met de omgevende gebieden : Belgische Kust, Westerschelde, Oosterscheldemonding en Noordzee.

Uitwisseling tussen Westerscheldemonding en Belgische Kust zal waarschijnlijk afgenomen zijn door de uitbouw van Zeebrugge, die een verandering heeft teweeggebracht in de long-shore currents, hetgeen zelf een gevolg heeft op de getijdestromingen in de Scheur en de Wielingen.

Er wordt vermeld dat er transport moet gebeuren tussen de Noordzee en de Westerscheldemonding maar door gebrek aan gegevens wordt niet vermeld in welke grootteorde.

Uit vroegere studies, steunend op de morfologie van de Oosterschelde werd aangenomen dat de uitwisseling met de Westerscheldemonding nul bedraagt.

Als conclusie is het belangrijk te onthouden :

- dat de verdieping van de Wielingen / Scheur het gevolg is van baggeractiviteiten en door een toenemend belang van de getijdestromingen in de diepere geul zodat deze zich oostelijk en westelijk uitbreidt,
- door de uitbouw van Zeebrugge een ontgrondingskuil is ontstaan voor het havengebied,
- rond de strekarmen van de haven van Zeebrugge een accumulatie (o) en een depletie (w) zone is ontstaan,
- door dumping zijn er sedimentatiegebieden ontstaan ten westen van de centrale banken en op de Paardenmarkt.

Auteur(s)	A.J.F. van der Spek et al., Nederlands Instituut voor Toegepaste Wetenschappen (TNO)
Titel	De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling
Ref.	98/00001e // NITG 97-284-B
Organisatie	Programma Kust*2000 / Project K2000*KOP
Specificatie bron	
Domein	Belang van de geologie in de morfologie van een gebied
Jaartal	1997
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	De geologie van de ondergrond betaalt de stroomresistentie van de lagen en kan dus in vele opzichten de oorspronkelijke morfologie van het gebied verklaren. Er is dus ook een relatie geologie↔stroomgedrag in het gebied.
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Algemeen

Het verplaatsen van sedimenten door stromend water is afhankelijk van 2 factoren :

- (1) de erosiebestendigheid van het sediment : specifieke drempelwaarde !!
- (2) de werkelijke kracht uitgeoefend door het stromend water op het sediment.

Wil er sedimentverplaatsing voorhanden zijn dan moet de schuifspanning uitgeoefend door het water groter zijn dan de drempelwaarde van de sedimenten. De erosiebestendigheid van sedimenten is afhankelijk van verschillende factoren zoals korrelgrootte, compactie, ontwatering, het al of niet geconsolideerd zijn, cementatie van fijn- of grofkorrelig materiaal, samenstelling (geladen partikels in kleien zorgen voor verhoogde consolidatie).

Algemeen geldt :

- (1) voor zanden : de erosiebestendigheid neemt toe met toenemende korrelgrootte,
- (2) voor kleien : consolidatiefactor neemt toe met afnemende korrelgrootte en toenemende compactie.

Erosie, stroombalans en morfologie

De ondergrond van de Westerschelde monding bestaat uit Tertiaire en Pleistocene formaties die door de cementatie van de zanden en de consolidatie van hun kleien (klei van Boom!!) een zekere erosiebestendigheid vertonen. Weliswaar is dat, door hun dieper voorkomen (+ 4,5m onder zeebodem), enkel van belang voor de diepere delen van de migrerende geulen. Zo zal in zulke omstandigheden de verdieping van de Wielingen (ligt boven Boomse Klei) sterk vertraagd worden en zal de stroming vooral leiden tot een laterale uitbreiding.

De Holocene sedimenten (recente afzettingen) kunnen opgedeeld in een oudere reeks afzettingen, bestaande uit een afwisseling van fijne laagjes los zand en geconsolideerd materiaal, en de meest recente afzetting bestaande uit los materiaal en eventuele aanwezigheid van kleipropjes of slibfracties. Door de aanwezige ritmiciteit in de vroeg-Holocene sedimenten, zullen sommige getijdengeulen ook in laterale uitbreiding worden.

Bankje van Zouteland

Slechts op grotere diepte van het bankje komen erosiebestendige lagen voor onder de vorm van kleilagen. Het is dus duidelijk dat dit morfologisch hoog in de Westerschelde delta ontwikkeld is louter door hydraulische processen. De Wielingen snijdt ter hoogte van Breskens de Boomse klei aan en zal zich hier niet diepte uitbreiden, of slechts in beperkte mate.

Het Oostgat snijdt kleihoudende zandlagen aan van Pleistoceen ouderdom en zal waarschijnlijk in zijn verdere uitschuring geremd worden.

Westerschelde buitendelta

Aanvankelijk was in de Westerschelde monding de Deurloo de belangrijkste geul, waarbij de Wielingen en de Spleet aan belang verloren hadden door het ontwikkelen van zandbanken in hun dieptes in landwaartse richting. Later vond opnieuw uitschuring van de Wielingen plaats waarbij Deurloo aan diepte verloor en de Spleet bijna compleet verdween. De geul aanwezig dicht bij de oever van Walcheren kende een trage evolutie maar was steeds aanwezig (Oostgat).

Verlanding van het Zwin en verdere verzanding van oudere geulsystemen heeft geresulteerd in het geleidelijk verdwijnen van de hiermee samenhangende morfologie die de ontwikkeling van de Wielingen

beïnvloedde.

Bij het beschouwen van het geologisch karakter van de ondergrond en de morfologie van het gebied van de Westerschelde monding is het duidelijk dat de samenstelling van de ondergrond de morfologie een delta kan beïnvloeden maar niet induceren.

Het hydraulisch karakter van het gebied is de stuwende kracht van de morfodynamiek.

Opmerking

In dit werk werd geen rekening gehouden met menselijke activiteiten en hun mogelijke invloeden op eventuele morfologische veranderingen.

Auteur(s)	Irene van Enckevoort
Titel	Morfologisch onderzoek Westerschelde Monding
Ref.	98/00001b // R96-21
Organisatie	Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht.
Specificatie bron	
Domein	
Jaartal	1996
Consulteerbaar	Haecon
Situering studie	Morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding sinds 1800
Bruikbaar voor	
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

Synthese

Verschillende hypothesen van sedimenttransport worden aangehaald:

Uitwisseling met Noordzee

In de huidige toestand is het netto-transport verwaarloosbaar daar eb- en vloedtransport mekaar benaderen. Daarentegen, bij verdere uitgraving van de Wielingen/Scheur zal het eb-delta van de Scheldemonding zich zeewaarts verplaatsen over het deltafront.

Langs het deltafront is er een netto-verplaatsing van sedimenten in noord oostelijke richting als gevolg van de dominante brandingsstroomtransport.

Uitwisseling met de Westerschelde

De monding exporteert zand naar het estuariumgedeelte van de Westerschelde als gevolg van de grotere vloednelheden en de hogere sedimentconcentraties.

In de Wielingen / Scheur vindt het netto sedimenttransport een zeewaartse richting, conform de getijdedominantie van de geulen.

Langs de sedimenttransportroutes in de Westerscheldemonding zelf, zijn bepaalde 'obstakels' voor transport waarneembaar.

Vlakte van de Raan

Op dit gedeelte verloopt het transport landwaarts, ten gevolge van een reststroom in zo-richting. Zeewaartse retourstromen kunnen het transport wel teniet doen tijdens zware stormen.

Bankje van Zoutelande

Asymmetrisch brekende golven zorgen voor landwaarts transport ter hoogte van dit morfologisch hoog. De aanwezige 'zanddruk' op de golfwerking heeft een dubbel gevolg:

- landwaartse migratie van het bankje.
- het open blijven van het Oostgat tussen kust en bankje.

Auteur(s)	Verslype H. en Blomme E., Ministerie van Openbare Werken, Dienst der Kust, Oostende, Decroo D., NV Haecon.
Titel	Sediment transport, beach nourishment and the effect of marine works on the west coast of Belgium
Ref.	
Organisatie	Ministerie van Openbare werken, NV Haecon Opgesteld voor het 'International Navigation Congress (PIANC)' te Osaka.
Specificatie bron	Haecon
Domein	
Jaartal	1990
Consulteerbaar	Haecon
situering studie	Een case-study ter hoogte van Koksijde bad moet aantonen welke stromen verantwoordelijk zijn voor kusterosie en welke oplossingen er eventueel weerhouden kunnen worden als 'kustdefensie'.
bruikbaar voor	Invloed menselijke ingrepen op de kustmorfologie en littorale stromingen
Opleggende voorwaarden	
Synthese	
Figuren	
Tabellen	
Inhoudstafel	
Opsteller	SVE

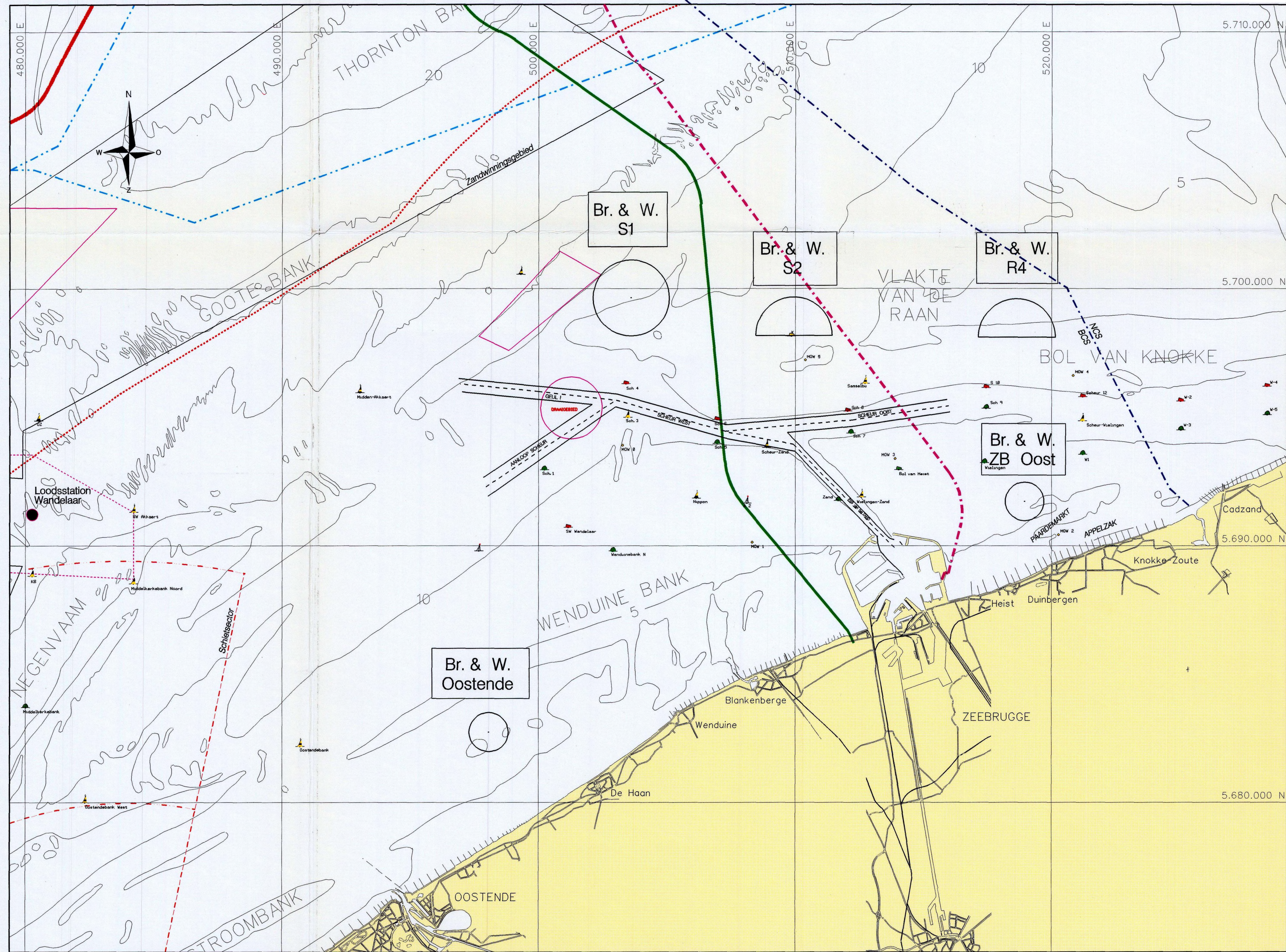
Synthese

De erosiemechanismen langs de Belgische kust blijken geïnduceerd te zijn door een dominant vloedstroom die parallel verloopt aan de kust, en die op zijn beurt een oostwaartse littorale drift veroorzaakt. Men stelt vast dat aanwezigheid van zeedijken, golfbrekers en baggeractiviteiten in open zee en ter hoogte van havengeulen, vaak tot gevolg heeft dat de erosieve werking op de kuststrook versterkt wordt. Dit is vaak het gevolg van een versterkte long-shore current systeem. (zie paper "Beach protection and restoration. Part 1: hard structures and beach erosion", door Charlier, De Meyer en Decroo).

Als oplossing voor de area Koksijde bad werd voorgesteld om niet alleen kunstmatige kustaccretie te ondernemen, maar ook om de intensiteit van de erosieve gedeflecteerde long-shore current (plaatselijk fenomeen!!) af te breken door baggeractiviteiten. Uit modellen heeft men berekend dat de stromen tot 20% van hun snelheid zouden kunnen inleveren.

8 KAARTEN

- FIG. 1 Situeringskaart
- FIG. 2 Dieptekaart Zuidelijke Noordzee - 1962
- FIG. 3 Dieptekaart Zuidelijke Noordzee - 1976
- FIG. 4 Dieptekaart Zuidelijke Noordzee - 1994
- FIG. 5 Korrelgrootteverdeling van de zandfractie Zuidelijke Noordzee
- FIG. 6 Bodemsamenstelling Zuidelijke Noordzee
- FIG. 7 Samenstelling volgens Roxann echosterktemetingen
- FIG. 8 Residueel Sedimenttransport en Sedimenttrend van de Zandfractie
- FIG. 9 Verschilkaart Zuidelijke Noordzee (1976 – 1962)
- FIG. 10 Verschilkaart Zuidelijke Noordzee (1994 – 1962)
- FIG. 11 Verschilkaart Zuidelijke Noordzee (1994 – 1976)
- FIG. 12 Verschilkaart Zuidelijke Noordzee (1994 – 1992)



Legende :

	12 mijl zone		Loswal baggerspecie		Beconning en Bekalking
	ZEEPIPE		Zandbank		Nippon
	NORFRA Pijpleiding		Vaargeul		
	UK-Continent interconnector		Diptelijnen 5, 10 en 20 m t.o.v. H (1934 Dover stait to Westerschelde)		
	Kommunikatie kabels		Draaicirkel		
	Ankergebied				

Orig. gegevens :

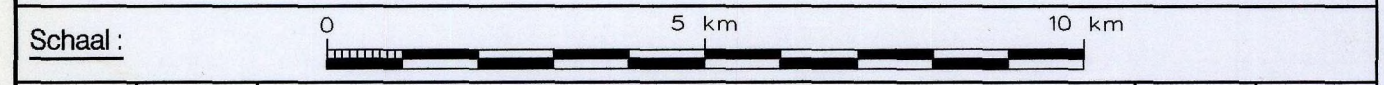
Referentie	:	
Data Acquisitie Systeem	:	

Referentie systeem :

Horizontaal	- Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
	- Spheroides : International (Hayford)
	- Datum : European 1950
	- Grid : 10.000 m
Vertikaal	- Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model :

Type	:	
Gridafstand	:	



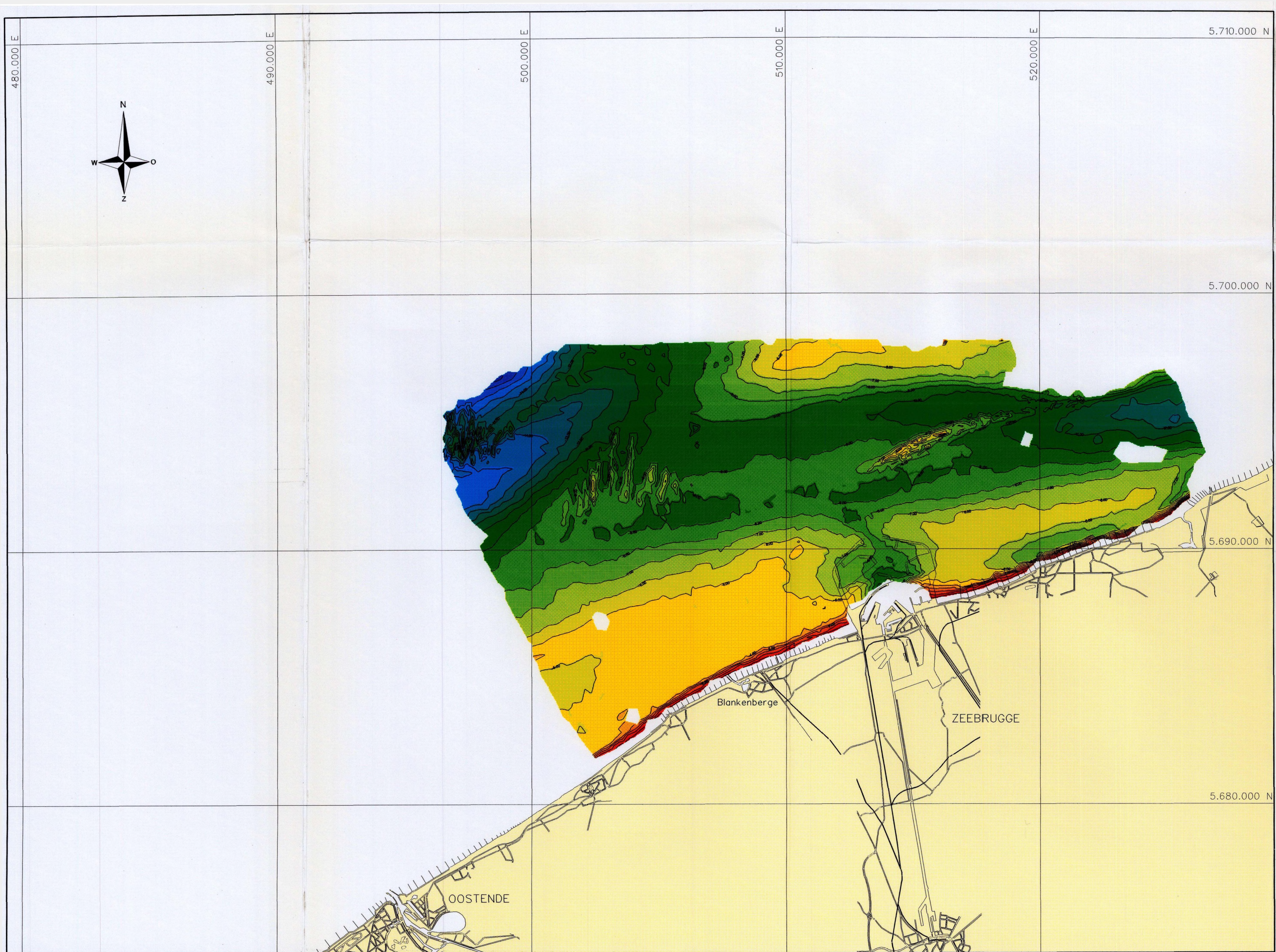
Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

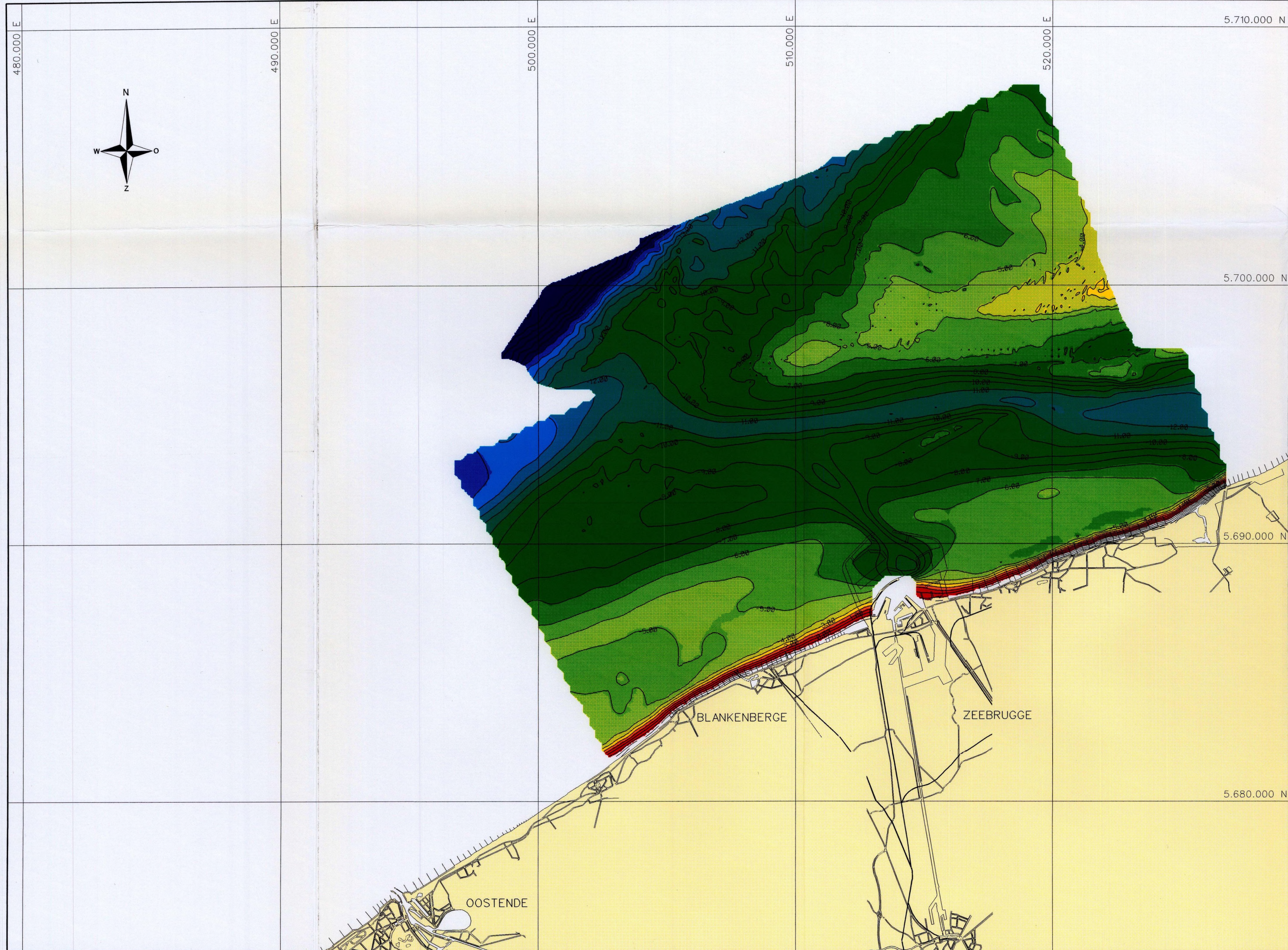
		Dossier Nr.	
RIJKSWATERSTAAT		NML1856	Harbour & Engineering Consultants Deinsesteenweg 110 - 9031 Drongen

SITUERINGSKAART 98582

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.1



Legende :		Symbolen :	
Kleurlegende :		: Dieptelijnen	
Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1962)			
Orig. gegevens :	Referentie	: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1962)	
	Data Acquisitie Systeem	:	
Referentie systeem :	Horizontaal	- Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)	
		- Spherioide : International (Hayford)	
		- Datum : European 1950	
		- Grid : 10.000 m	
	Vertikaal	- Ref. peil : H - GLLWS	
Digitaal Terrein Model :	Type	: MSM (Intergraph)	
	Gridafstand	: 25 m	
Schaal :			
Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle
			Project-leider
LITERAATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST			
 RIJKSWATERSTAAT	 KUST 2000	Dossier Nr. NML1856	 HAECON Harbour & Engineering Consultants Deinsdalenweg 110 - 9031 Drongen
DIEPTEKAART ZUIDELIJKE NOORDZEE 1962		98586	
Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS	
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.:	Fig.2



Legende :

Kleurlegende :	Symbolen :
	 : Dieptelijnen
	Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1976)

Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, RWS (1976)
 Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
 - Spherioide : International (Hayford)
 - Datum : European 1950
 - Grid : 10.000 m
 Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
 Gridafstand : 25 m

Schaal : 0 5 km 10 km

Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

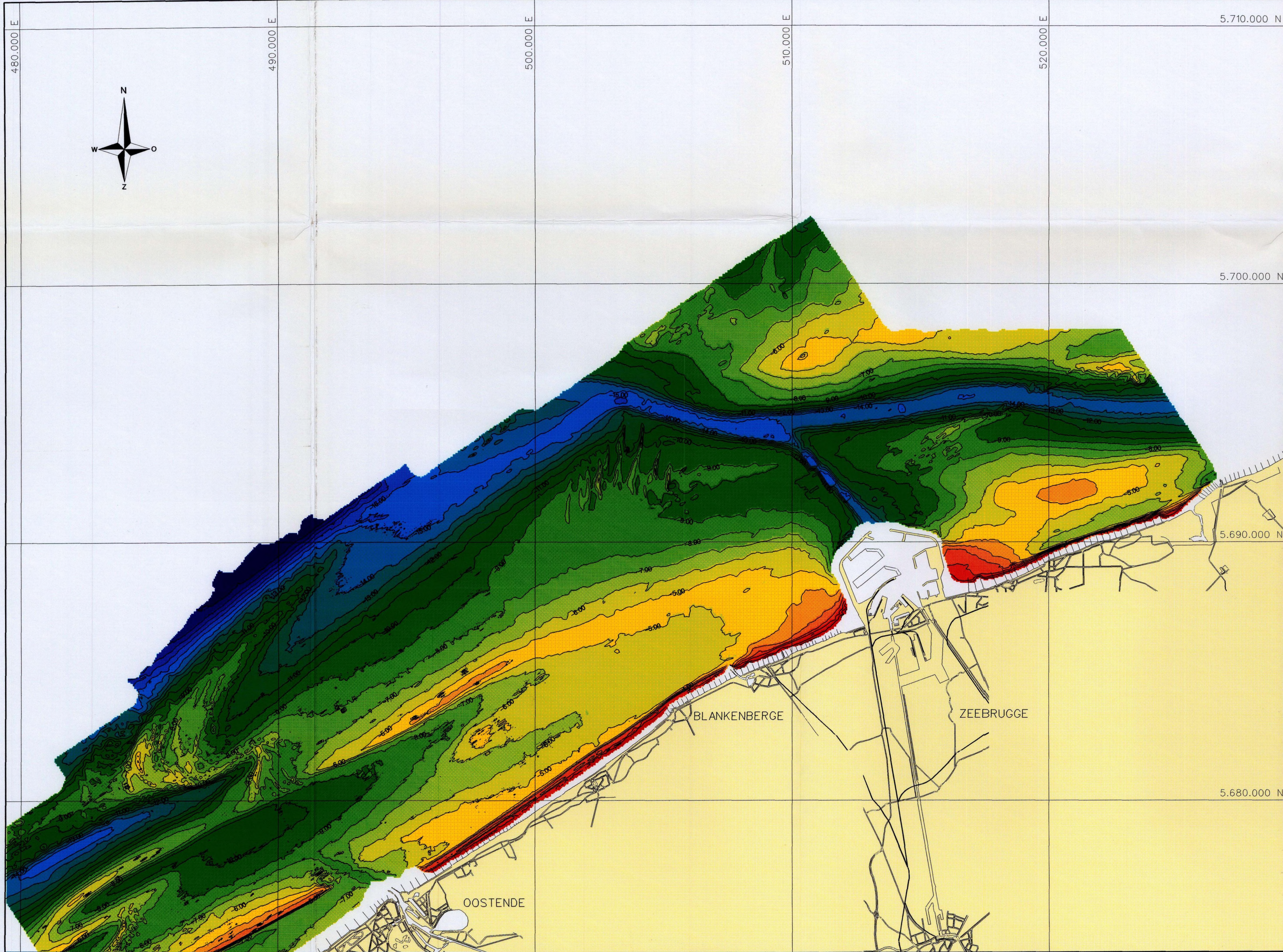
LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr.	
RIJKSWATERSTAAT		NML1856	HAECON Harbour & Engineering Consultants Debiessesteeweg 110 - 9031 Drongen

DIEPTEKAART 98588
ZUIDELIJKE NOORDZEE 1976

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.3

Cres: 26.05.98 Mod: 18.06.98 /gsl/projects/nml1856/fig.3.dgn

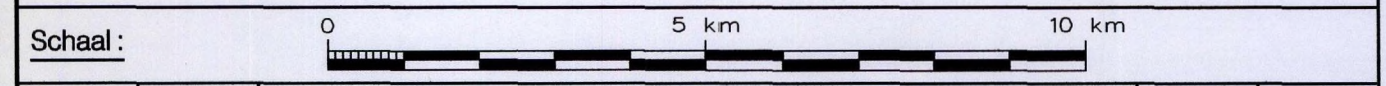


Legende :	
Kleurlegende :	Symbolen :
	: Dieptelijnen
	Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1993,1994)

Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1993, 1994)
Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
- Spherioide : International (Hayford)
- Datum : European 1950
- Grid : 10.000 m
Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
Gridafstand : 25 m



--	--	--	--	--

Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider
----------	-----------	--------------	----------	----------------

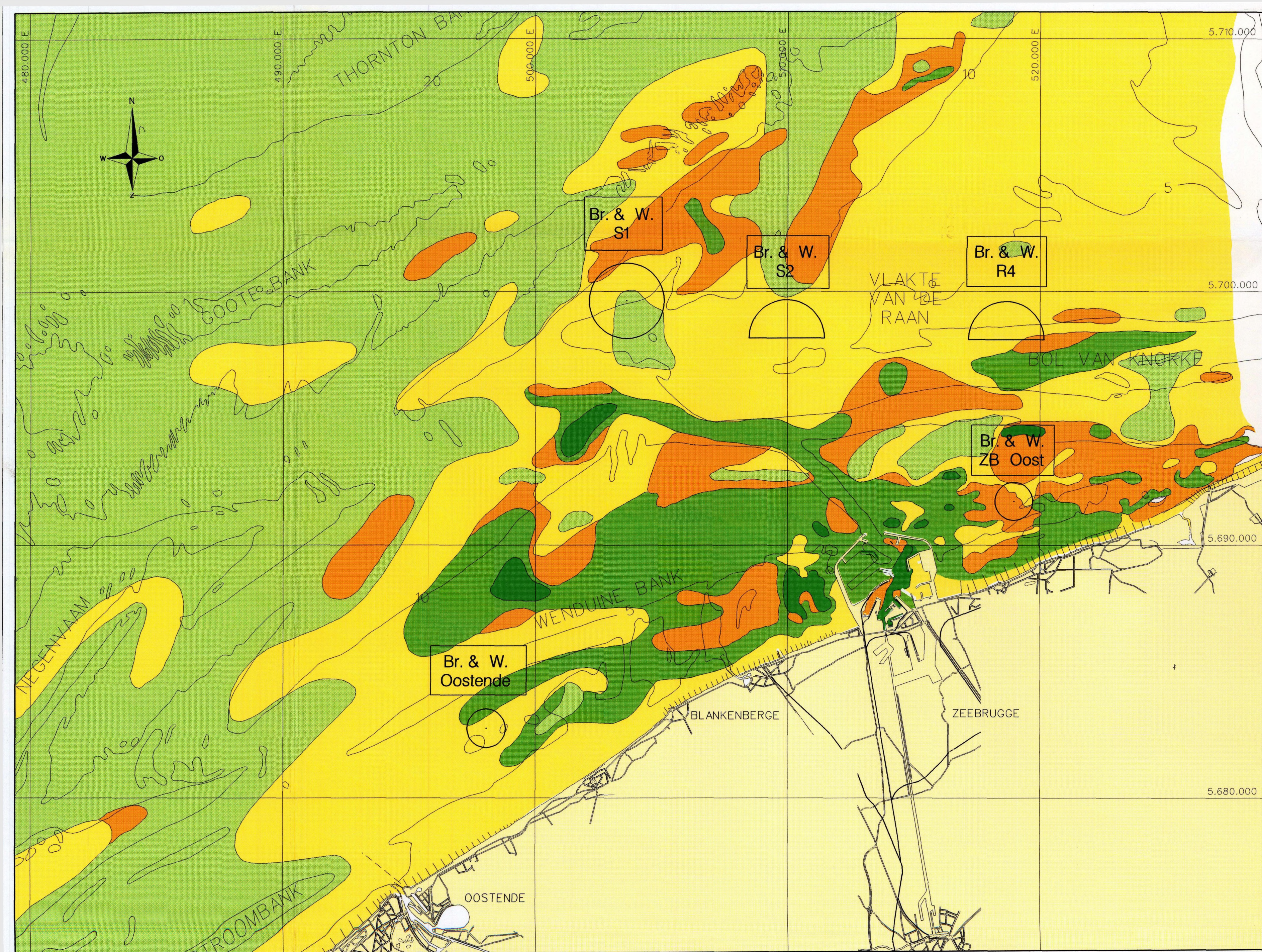
LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr.	
RIJKSWATERSTAAT		NML1856	Harbour & Engineering Consultants Dainsesteerweg 110 - 9031 Drogen

98589

**DIEPTEKAART
ZUIDELIJKE NOORDZEE 1994**

Getekend : JRR	Nagezien :	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.4



Legende :

Kleurlegende :		Symbolen :
SAMENSTELLING SEDIMENT : MIDDELGRF ZAND (>85% ZAND, d 250-420) FIJN ZAND (>85% ZAND, d 125-250) SLIBHOUDEND ZAND (85-50% ZAND) SLIB (>50% ZAND) KLEIRIJK SLIB (<50% ZAND > 22% KLEI)		Br. & W. S1, Br. & W. R4 : Loswal baggerspecie Dieptelijnen 5, 10 en 20 m t.o.v. GLLWS Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS Belgisch Continentaal Plat (1990)

Orig. gegevens : Referentie : Databank Haecon
 Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
 - Spheroïde : International (Hayford)
 - Datum : European 1950
 - Grid :
 Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type :
 Gridafstand :

Schaal : 0 5 km 10 km

Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

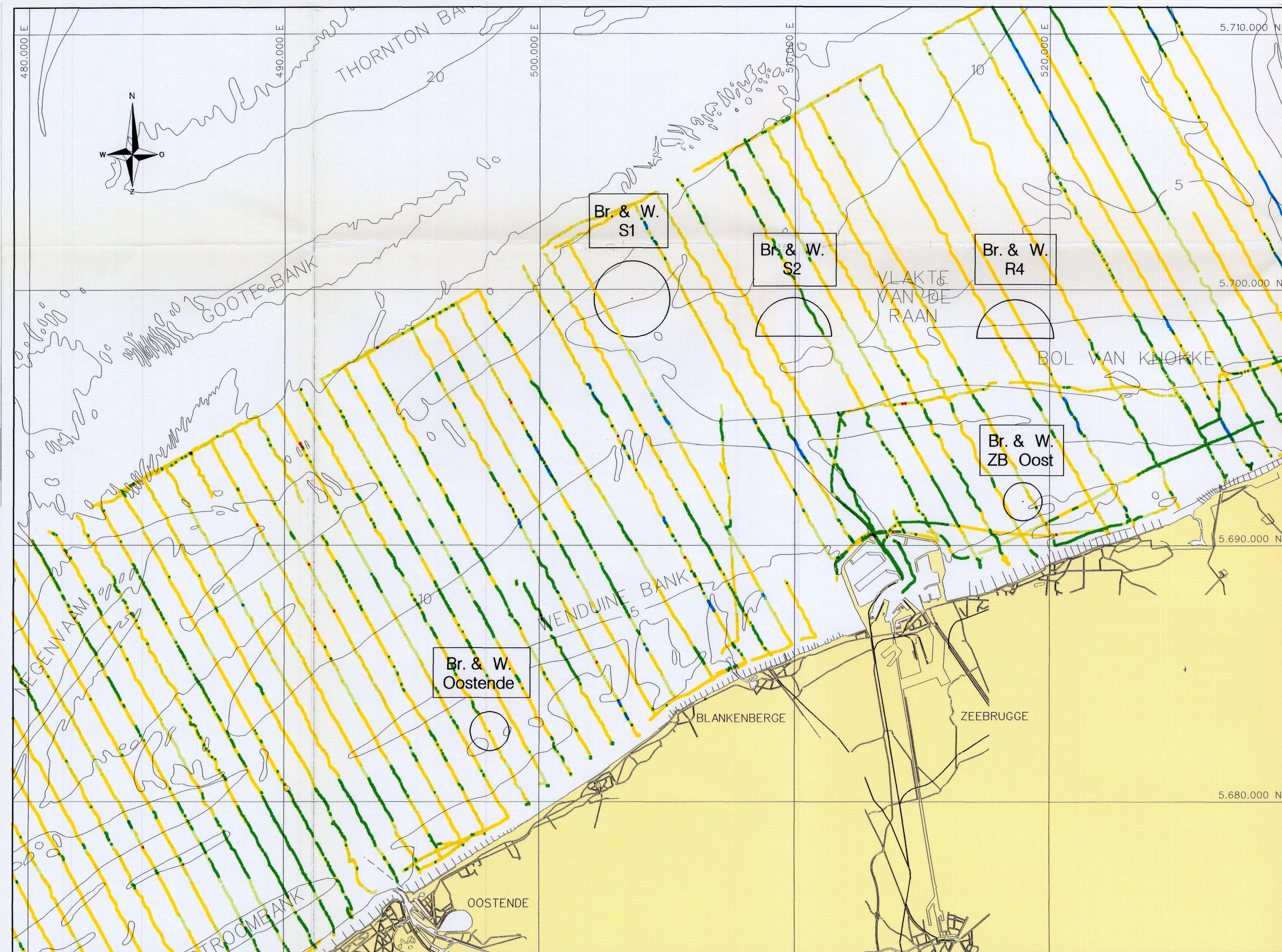
LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

 RIJKSWATERSTAAT	 HAECON Harbour & Engineering Consultants Deijnesdreef 110 - 9031 Drongen	Dossier Nr.	
		NML1856	

**BODEMSAMENSTELLINGSKAART
 ZUIDELIJKE NOORDZEE** 98594

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 25.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.6

Creë 26.05.98 Mod 18.06.98 / g:\proj\cta\nml1856\Fig.6.dgn

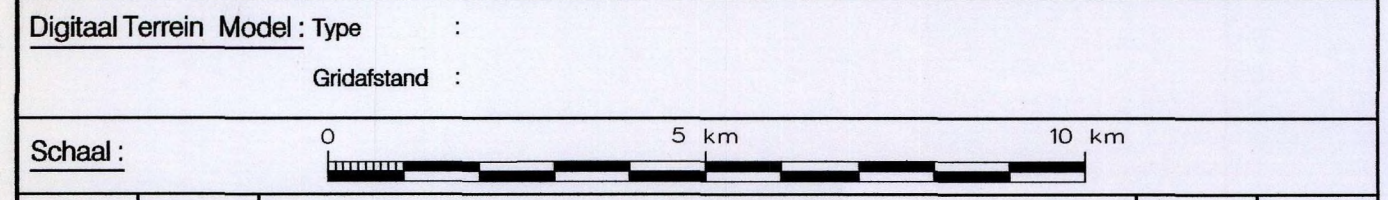


Legende :

Kleurlegende :		Symbolen :
BODEMSPECIFICATIES		
	dun vloeibaar slib/klei-zand-slib/zand-klei-vers slib	: Loswal baggerspecie
	zanderig slib/zand-sliblaag	: Dieptelijnen 5, 10 en 20 m t.o.v. GLLWS
	fijn zand/grind grof zand/grof zand-schelpen/zand-slib	
	klei-vers slib	
	harde klei/klei-zand-schelpen-slib	
	stenen/ grind	

Dieptelijnen :
 Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS Belgisch Continentaal Plat (1990)

Orig. gegevens :	Referentie : Databank Haecon
	Data Acquisitie Systeem :
Referentie systeem :	Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31) - Spherode : International (Hayford) - Datum : European 1950 - Grid : Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS
Digitaal Terrein Model :	Type :
	Gridafstand :



Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

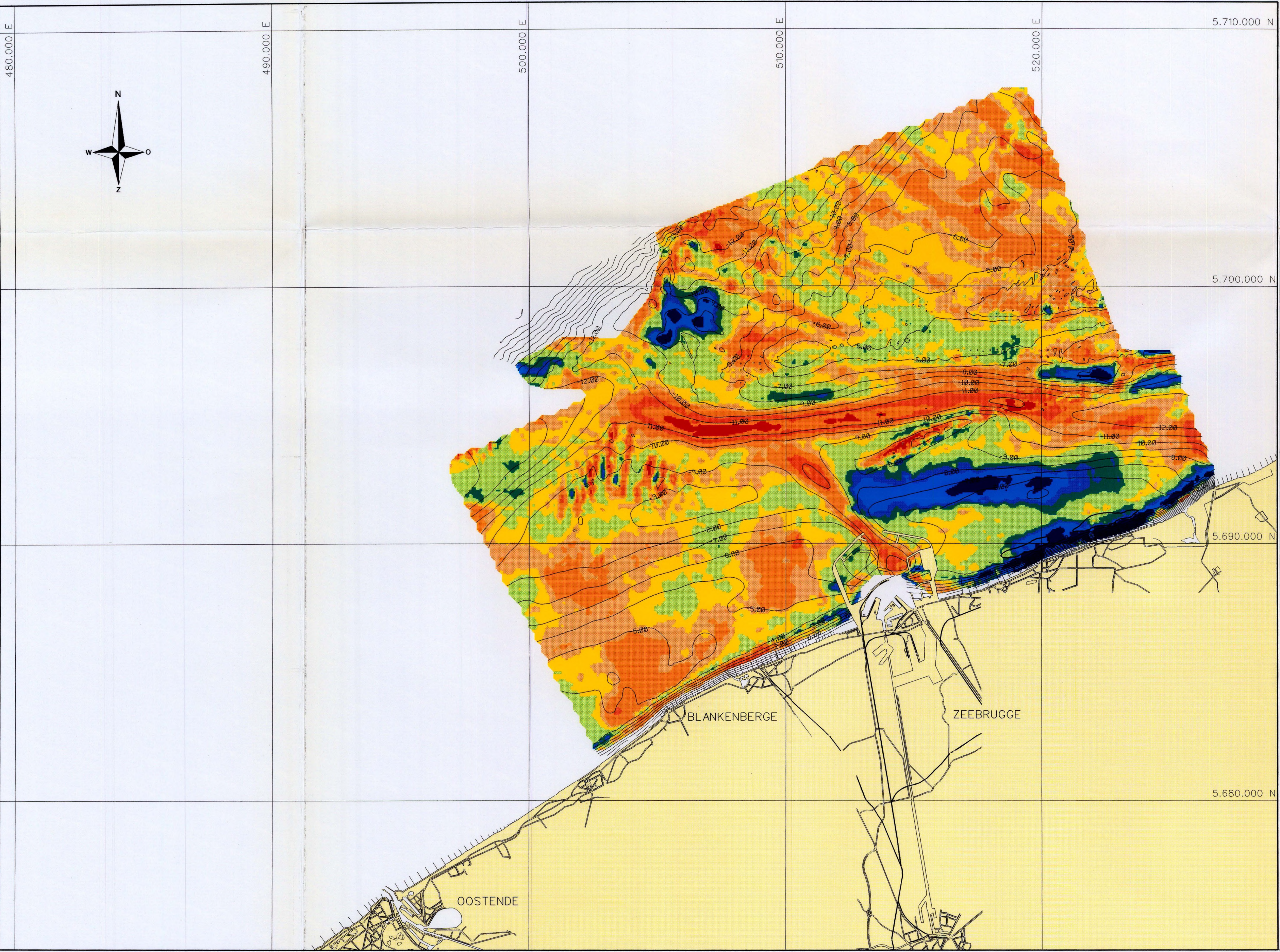
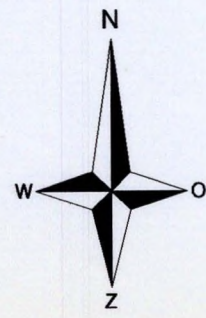
LITERAATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr.
RIJKSWATERSTAAT	HAECON Harbour & Engineering Consultants Dehasesteenweg 110 - 9031 Drongen	NML1856

**SAMENSTELLING VOLGENS
 ROXANN ECHOSTERKTEMETINGEN**

98595

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 25.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.7



Legende :

Kleurlegende :		Symbolen :
verhoging	verdieping	: Dieptelijnen
> +3.00 M	-0.25 M -0.50 M	
-3.00 M -2.50 M	-0.50 M -0.75 M	
-2.50 M -2.00 M	-0.75 M -1.00 M	
-2.00 M -1.50 M	-1.00 M -1.50 M	
-1.50 M -1.00 M	-1.50 M -2.00 M	
-1.00 M -0.75 M	-2.00 M -2.50 M	
-0.75 M -0.50 M	-2.50 M -3.00 M	
-0.50 M -0.25 M	< -3.00 M	
-0.25 M -0.25 M		

Dieptelijnen :
Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1976)

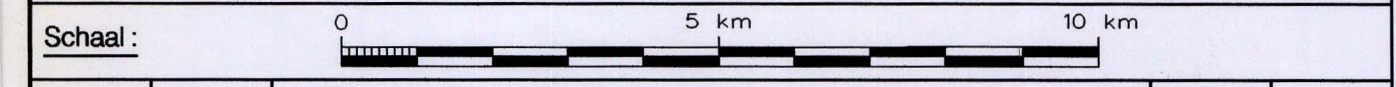
Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, RWS (1962, 1976)

Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
- Spheroides : International (Hayford)
- Datum : European 1950
- Grid : 10.000 m

Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
Gridafstand : 25 m



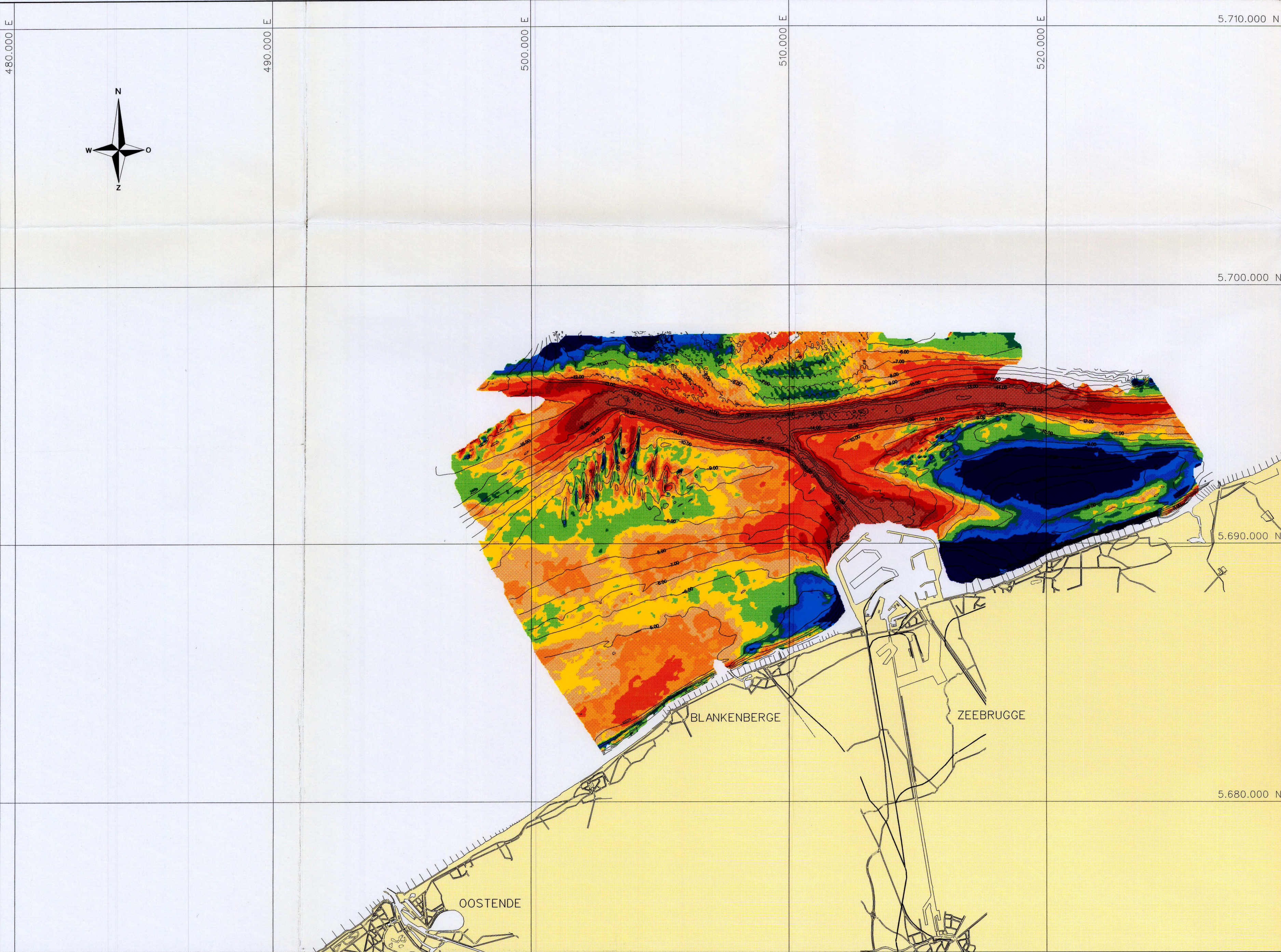
Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

LITERAATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr.	
RIJKSWATERSTAAT		NML1856	HAECON Harbour & Engineering Consultants Deinsesteenweg 110 - 9031 Drogen

VERSCHILKAART 98597
ZUIDELIJKE NOORDZEE (1976-1962)

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.9



Legende :

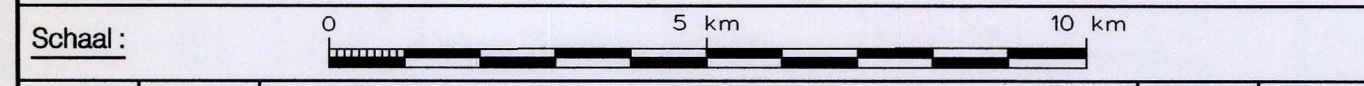
Kleurlegende :		Symbolen :
verhoging	verdieping	: Dieptelijnen
■ > 3.00 M	■ -0.25 M -0.50 M	
■ 3.00 M -2.50 M	■ -0.50 M -0.75 M	
■ 2.50 M -2.00 M	■ -0.75 M -1.00 M	
■ 2.00 M -1.50 M	■ -1.00 M -1.50 M	
■ 1.50 M -1.00 M	■ -1.50 M -2.00 M	
■ 1.00 M -0.75 M	■ -2.00 M -2.50 M	
■ 0.75 M -0.50 M	■ -2.50 M -3.00 M	
■ 0.50 M -0.25 M	■ < -3.00 M	
■ 0.25 M -0.25 M		

Dieptelijnen :
Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge)
(Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1994)

Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1962, 1994)
Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
- Spherolde : International (Hayford)
- Datum : European 1950
- Grid : 10.000 m
Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
Gridafstand : 25 m



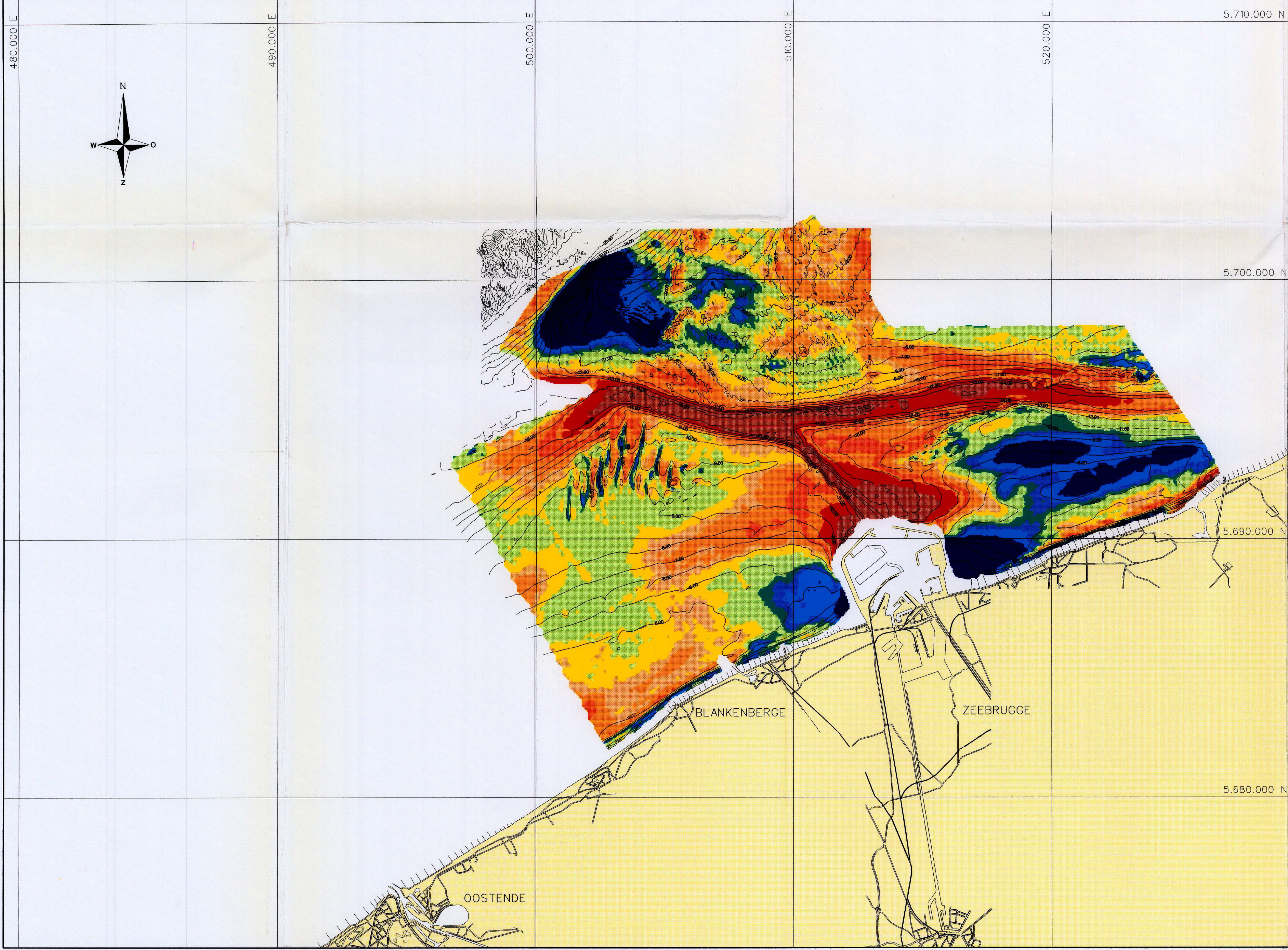
Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr.	
RIJKSWATERSTAAT		NML1856	HAECON Harbour & Engineering Consultants Driesssesteeweg 110 - 9031 Drongen

VERSCHILKAART 98598
ZUIDELIJKE NOORDZEE (1994-1962)

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.10



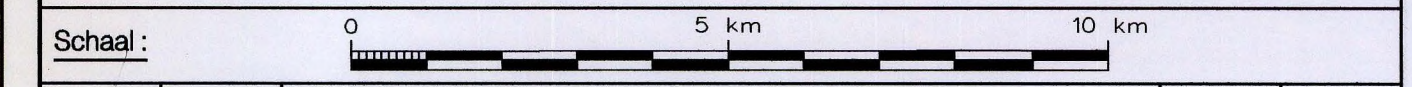
Legende :

Kleurlegende :		Symbolen :
verhoging	verdieping	: Dieptelijnen
<ul style="list-style-type: none"> > -3.00 M -3.00 M -2.50 M -2.50 M -2.00 M -2.00 M -1.50 M -1.50 M -1.00 M -1.00 M -0.75 M -0.75 M -0.50 M -0.50 M -0.25 M 	<ul style="list-style-type: none"> -0.25 M -0.50 M -0.50 M -0.75 M -0.75 M -1.00 M -1.00 M -1.50 M -1.50 M -2.00 M -2.00 M -2.50 M -2.50 M -3.00 M < -3.00 M 	
		Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1994)

Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1976, 1994)
Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
- Spherioide : International (Hayford)
- Datum : European 1950
- Grid : 10.000 m
Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
Gridafstand : 25 m



Rev. Nr.	Rev. dat.	Omschrijving	Controle	Project-leider

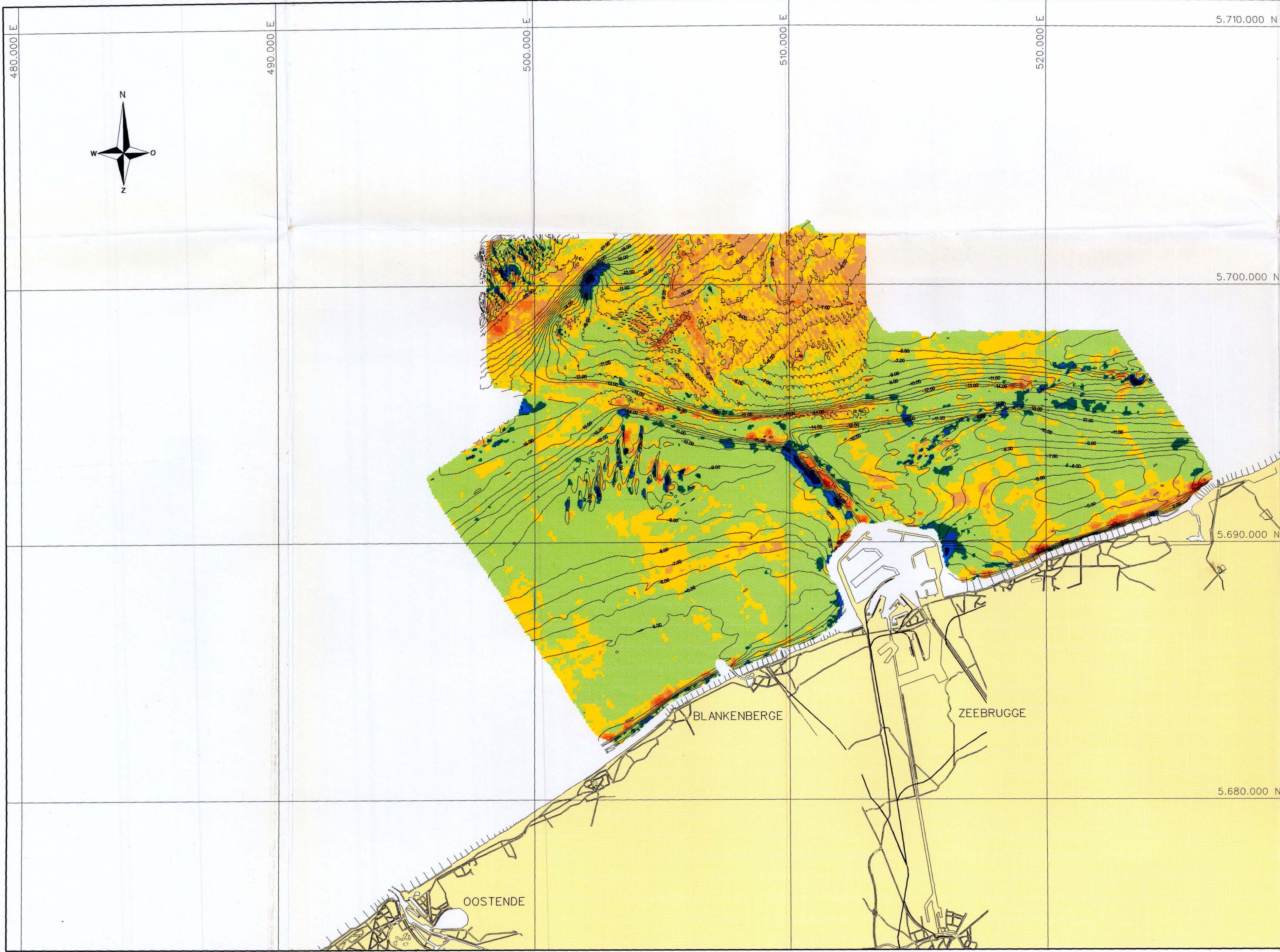
LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

		Dossier Nr. NML1856	 Harbour & Engineering Consultants Deinsesteenweg 110 - 9031 Drogenen
RIJKSWATERSTAAT			

98599

VERSCHILKAART
ZUIDELIJKE NOORDZEE (1994-1976)

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.11



Legende :

Kleurlegende :		Symbolen :
verhoging > -3.00 M -3.00 M -2.50 M -2.50 M -2.00 M -2.00 M -1.50 M -1.50 M -1.00 M -1.00 M -0.75 M -0.75 M -0.50 M -0.50 M -0.25 M -0.25 M -0.25 M	verdieping -0.25 M -0.50 M -0.50 M -0.75 M -0.75 M -1.00 M -1.00 M -1.50 M -1.50 M -2.00 M -2.00 M -2.50 M -2.50 M -3.00 M < -3.00 M	: Dieptelijnen Dieptelijnen : Diepte in meters gereduceerd naar H (Zeebrugge) (Hydrographic Chart Datum) - GLLWS (1994)

Orig. gegevens : Referentie : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1992, 1994)
 Data Acquisitie Systeem :

Referentie systeem : Horizontaal - Projectie systeem : U.T.M. (Zone 31)
 - Spherioide : International (Hayford)
 - Datum : European 1950
 - Grid : 10.000 m
 Vertikaal - Ref. peil : H - GLLWS

Digitaal Terrein Model : Type : MSM (Intergraph)
 Gridafstand : 25 m

Schaal : 0 5 km 10 km

Rev. Nr.	Rev. dat.	OMSCHRIJVING	Controle	Project-leider

LITERATUURSTUDIE MORFOLOGIE BELGISCHE KUST

 RIJKSWATERSTAAT	 RWS 2006	Dossier Nr.	 HAECON Harbour & Engineering Consultants Dainsesterweg 110 - 9031 Drogen
		NML1856	

VERSCHILKAART 98600
ZUIDELIJKE NOORDZEE (1994-1992)

Getekend : JRR	Nagezien : RAS	Goedgekeurd : RAS
Datum : 26.05.1998	Schaal : 1:100.000	Tekening nr.: Fig.12