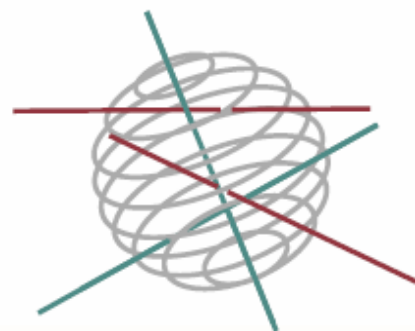


SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**“KWANTIFICEREN VAN EROOSIE/SEDIMENTATIEPATRONEN
OM DE NATUURLIJKE VAN DE ANTROPOGEEN
GEÏNDUCEERDE SEDIMENTDYNAMIEK TE
ONDSCHIEDEN”**

«QUEST4D»

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F, Van den Eynde D,
Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E, Portilla J, Ullmann A, Verwaest,
T, Janssens J, Vanlede J, Vincx, M, Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T,
Vandenberghe H, Zeelmaekers, E, & Goffin A



ENERGY

TRANSPORT AND MOBILITY

AGRO-FOOD

HEALTH AND ENVIRONMENT

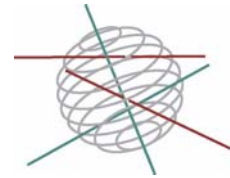
CLIMATE

BIODIVERSITY

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS


TRANSVERSAL ACTIONS

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT
(SSD)



Noordzee

EINDVERSLAG FASE 1

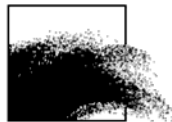


**“KWANTIFICEREN VAN EROSIE/SEDIMENTATIEPATRONEN OM DE
NATUURLIJKE VAN DE ANTROPOGEEN GEÏNDUCEERDE
SEDIMENTDYNAMIEK TE ONDERSCHIEDEN”**

“QUEST4D”

SD/NS/06A

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F,
Van den Eynde D, Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E,
Portilla J, Ullmann A, Verwaest, T, Janssens J, Vanlede J, Vincx M,
Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T, Vandenberghe H,
Zeelmaekers E, Goffin A





Rue de la Science 8
Wetenschapsstraat 8
B-1000 Brussels
Belgium
Tel: +32 (0)2 238 34 11 – Fax: +32 (0)2 230 59 12
<http://www.belspo.be>

Contact person: David Cox
+32 (0)2 238 34 03

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference :

Van Lancker V, Du Four I, Degraer S, Fettweis M, Francken F, Van den Eynde D, Devolder M, Luyten P, Monbaliu J, Toorman E, Portilla J, Ullmann A, Verwaest, T, Janssens J, Vanlede J, Vincx M, Rabaut M, Houziaux J.-S, Mallaerts T, Vandenberghe H, Zeelmaekers E, Goffin A, ***“Kwantificeren van erosie/sedimentatiepatronen om de natuurlijke van de antropogeen geïnduceerde sedimentdynamiek te onderscheiden” “QUEST4D”***. Eindverslag Fase 1. Brussel : Federaal Wetenschapsbeleid 2009 – 7 p. (Onderzoeksprogramma “Wetenschap voor een Duurzame Ontwikkeling”)

Duurzame ontwikkeling vraagt om een kwantificatie van menselijke activiteiten ten aanzien van de ecologische waarde van de zeebodem. Recente impactstudies tonen echter slechts lokale effecten aan; desondanks zijn er aanwijzingen voor een op langere termijn grootschaligere fysieke zeebodemdegradatie. Dit is mogelijk een cumulatief antropogeen-geïnduceerd effect, doch de natuurlijke evolutie en de respons van de zeebodem op klimaatsveranderingen is nauwelijks gekend. Verschillende erosie/sedimentatiepatronen, als gevolg van een veranderend golfklimaat en verhoging in stormintensiteit, zijn echter waarschijnlijk. Deze evolutie dient te worden afgewogen tov de lange-termijneinvloeden van baggerwerken, aggregaatextractie, visserij en strandsuppleties, zijnde de activiteiten die het fysisch functioneren van het ecosysteem het meeste verstoren.

Het Belgische deel van de Noordzee (BDNZ) wordt onderzocht om veranderingen in het zeebodemeecosysteem over de laatste 150 jaar te reconstrueren. Omvangrijke datasets zijn bekomen die toelaten verschillende ecosysteemcomponenten in de ruimte-, tijd- en diepte te bestuderen. In het bijzonder werden sediment- en sedimenttransportprocessen onderzocht, gezien hun centrale rol in de studie van ecosystemen. Langetermijnecosysteemveranderingen werden onderzocht, waarbij gestart werd van een historische dataset van benthos en sedimenten, daterend uit het eerste decennium van de 20e eeuw (de “Gilson collectie”). Samen met langetermijndatasets uit de periode 1866-2008, werden veranderingen in bathymetrie, sedimenten en macrobenthos bestudeerd. Modellerbenaderingen werden verfijnd om ze later te gebruiken voor case studies. Natuurlijke veranderingen werden onderzocht, gebaseerd op observaties en op modellen voor klimaatsverandering. Kwantificatie van menselijke invloed werd uitgevoerd in gebieden, waar langetermijndatasets beschikbaar waren.

De onderzoeksstrategie bestond uit uitgebreide GIS analyses, observaties/staalnames (RV Belgica), experimenten en geavanceerd modelleren in de ruimte-, tijd- en diepte (4D). Een multisensoren meettripode, die o.a. turbiditeit, stromingen en in-situ partikelgrootte registreert, werd op een quasi-permanente tijdsbasis uitgezet. De parameters werden gemeten in functie van modelverbeteringen, en observaties werden gemaakt om hypothesen over zeebodemaard en -dynamica te testen, veelal in een multidisciplinaire context.

Het ecosysteem in de ruimte-, tijd- en diepte

Het BDNZ is een typisch zandbanken-geulen omgeving; toch omvat de kustzone grote slibvelden, alsook sterk turbiede wateren. Gemengde sedimenten komen er voor met een grote variabiliteit in hun samenstelling; dit gegeven inclusief het effect van golven op het falen van geconsolideerde slibbodems, en de effecten van erosie van zand bovenop geconsolideerd slib zijn dan ook de aansturende factoren voor het sedimenttransport in de kustzone. Het vormen van hoge concentratie slib suspensies (HCSS), tijdens periodes van storm, heeft waarschijnlijk een invloed op het transport van gesuspendeerd particulier materiaal (SPM) en op het afzetten van slib in (hoofdzakelijk) de navigatiegeulen en de havens; tot nu toe nooit onderzocht.

Menselijke activiteiten zijn prominent aanwezig in de kustzone (bv. havenuitbreidingswerken, baggeren en storten van gebaggerd materiaal, uitdiepen van navigatiegeulen en aggregaatextractie); een goede kennis is dan ook nodig omtrent de non-cohesieve en cohesieve sedimentdynamiek en hun onderlinge interactie (erosie en depositie). Flocculatie is een belangrijk proces met blijvende noodzaak tot onderbouwing vanuit metingen, alsook kalibraties om de wiskundige modellen voor sedimenttransport te verbeteren. Erodeerbaarheid van sedimenten is een belangrijke parameter, gezien de kustzone slib bevat in variërende mate van consolidatie, dat geërodeerd en afgezet wordt volgens de heersende meteorologische factoren. Metingen hebben aangetoond dat de kritische schuifspanning voor erosie sterk toeneemt met de diepte; daarom is erosie van slib meestal een fenomeen dat zich slechts aan het oppervlak afspeelt; tijdens stormcondities worden ook de geconsolideerde sliblagen geërodeerd.

De herkomst van slib in de kustzone is altijd enigmatisch gebleven. Een gebied van maximale turbiditeit strekt zich grofweg uit tussen het estuarium van de Westerschelde en Oostende. Vooral in dit gebied vinden we verschillende slibtypes van variërende ouderdom terug; hier dagzomen frequent Holocene en oudere sliblagen. De herkomst van het slib werd bestudeerd a.d.h.v. gedetailleerde kwalitatieve en kwantitatieve analyses van de bulk- en kleimineralogie en hun potentiële brongebieden. De resultaten tonen aan dat de kleimineralogie van Holoceen, modern en recent slib en SPM identiek is. Een vrij vergelijkbare kleisamenstelling is terug te vinden in de Schelde (estuarium en stroomopwaarts) en de Rupel. Deze resultaten tonen een nauw verwantschap aan tussen het BDNZ en sedimenten getransporteerd door de Schelde. Volgende potentiële brongebieden werden uitgesloten: (1) het Nauw van Kales; (2) dagzomende glaciële deposities uit het Eoceen en het Pleistoceen; en (3) suspensiemateriaal uit de Atlantische Oceaan. Een vergelijkbaar tot nagenoeg identieke kleimineralogie werd vastgesteld voor, respectievelijk, Holocene slikke en schorre afzettingen en Eemiaan interglaciële afzettingen, bemonsterd nabij de hedendaagse kustlijn; dit suggereert dat een relatie qua herkomst tussen het slib van het BDNZ en het Scheldesysteem af en aan heeft bestaan, sinds het Laat-Pleistoceen.

Sedimentatie/erosiepatronen werden eveneens bestudeerd. Tijdsreeksen van hoge resolutie multibeambathymetrie onthullen variaties op korte tot middellange termijn in de zeebodemdynamica. Vooral dichtbij de belangrijkste stortgebieden van gebaggerd materiaal spelen complexe processen van sedimenttransport. Aanzienlijk bodemtransport en migratie van zandduinen werden vastgesteld, compleet tegengesteld aan de residuele stromingen en suspensietransport. Deze observaties zijn belangrijk in het kader van de recirculatie van gebaggerd materiaal en zullen dus toekomstige optimalisatie toelaten van de bagger/stortactiviteiten. Dichtbij de stortlocaties, in de duintroggen, worden hotspots van biodiversiteit gevonden. Aggregaties van de polycheet '*Owenia fusiformis*' komen hier voor; in deze gebieden migreren de bodemvormen niet, elders worden duinmigratiesnelheden van 20m vastgesteld. Het is nog niet duidelijk of deze biohermen geassocieerd kunnen worden met de stortlocaties of met hogere nutriëntenaanvoer vanuit het Westerschelde-estuarium.

Langetermijnecosysteemveranderingen

De Gilsoncollectie (1899-1908) biedt een unieke kans te onderzoeken hoe fysische en biologische parameters veranderden sinds begin 20^e eeuw, temeer de sediment- en benthosdata werden bemonsterd op een dicht rooster. De dataset werd heropgebouwd en laat nu toe referentiekaders op te stellen van zowel sedimentverdeling als m.b.t benthos. De nodige aandacht werd besteed aan verschil in staalnameprocedures en datakwaliteit waardoor een robuuste dataset werd bekomen die verdere analyse toelaat.

Historische kaarten met sedimenttypes werden samengesteld, gebaseerd op Gilson's sedimentbeschrijvingen. Aanvullend op eerdere digitalisatie is Gilson's benthosarchief nu vervolledigd met bivalven, polycheten en amfipoden. Referentiekaders van benthosamenstelling (soortenrijkdom, totale abundantie) werden opgemaakt en bieden een coherent beeld van de vroegere distributie van de benthische biodiversiteit langsheen de Belgische en Nederlandse kustzone en in de omgeving van de Westhinderzandbank. Het relateren van macrobenthische en sedimentdata zal toelaten vast te stellen of een bepaalde ecologische structuur kan teruggevonden worden in deze eeuwenoude soortensamenstelling.

De distributie van bivalven is verder onderzocht en vergeleken met de hedendaagse distributie (1994-2008, UG-ILVO database). Veranderingen werden toegewezen aan langetermijnpatronen in de Noord Atlantische Oscillatie (NAO), gezien het merendeel van beide datasets bekomen was onder tegengestelde NAO condities. Alle geobserveerde verschuivingen in de soortendistributie stemmen overeen met de verwachtingen van veranderende fysiografische condities, te wijten aan NAO. Op het BDNZ zijn processen, gerelateerd aan turbiditeit en sedimentatie/resuspensie, belangrijk en de kustwateren in het Westen ondergaan tegengestelde patronen van saliniteit, onder langdurige episodes van positieve of negatieve NAO condities. Dit

effect, duidelijk merkbaar in euryhaliene benthische data, reflecteert een toename in rivierafvoer (te wijten aan een NAO-geïnduceerde toename in precipitatie over NW-Europa). Beide effecten zijn gesuperponeerd door hoge positieve NAO waarden, vooral sinds de regimeverschuiving van 1988. Het heel verschillend patroon in de historische dataset, vóór 1903, lijkt een weerspiegeling te zijn van 30 jaar doorgedreven negatieve NAO condities. Deze resultaten pleiten voor een heranalyse van variaties in andere datasets t.g.v. NAO cycliteiten en verschuivingen. Vooral de toename in turbiditeit en siltatie in Belgische wateren zal geïnduceerd worden t.o.v. NAO-geïnduceerde rivierafvoer.

Langetermijnanalyses werden tevens uitgevoerd op bathymetrische datasets in de periode 1866-2007. Geen significante verschuiving van zandbanken werd aangetoond, toch vertoonden sommige banken variabele patronen van erosie en depositie. De Vlaamse Banken tonen accretie langsheen hun zuidwestelijke extremiteiten en erosie aan de noordoostzijde. De geulen tussen de banken vertonen vooral erosie, met als gevolg steilere hellingen van de banken. In de kustzone domineert sedimentatie, met vooral accretie van sedimenten in de Grote Rede geul, landwaarts van de Wenduine Bank. Op basis van langetermijnsediment-veranderingen, stemt dit overeen met slibaccumulatie. Afgezien van duidelijk door de mens geïnduceerde sedimentveranderingen (bijv. baggerstortlocaties), konden geen wijdverbreide veranderingen in de mediane korrelgrootte van het sediment worden aangetoond. Toch werd een belangrijke verandering waargenomen in de sortering van de zandfractie van de sedimenten over de laatste 100 jaar. Alle Gilson staalnames die opnieuw geanalyseerd werden, zijn goed gesorteerd, terwijl de recente staalnames vooral een gemiddelde tot slechte sortering vertonen. De oorzaak van deze degradatie in sortering is geassocieerd met een aanrijking aan fijn materiaal in de zandfractie; dit wordt aangetoond door de skewness van de sedimenten. De ruimtelijke verspreiding van deze trend is gerelateerd aan havengebieden, baggerstortlocaties en aggregaatextractiezones; toch geldt het ook in zogenaamde ‘natuurlijke’ systemen. Een mogelijke relatie met NAO of andere cycliciteiten zal nog nader onderzocht worden.

Procesmodellering

Voor voorspellingen en integrale impactbeoordelingen, is modellering noodzakelijk. De complexiteit van de aard en dynamiek van de zeebodem van het BDNZ vereisen echter verfijnde modellen, bij voorkeur gekalibreerd en gevalideerd met observaties en metingen. Verbeterde bodemmodellen zijn ontwikkeld om erosie van oude sedimenten (Holocene en dagzomende Tertiaire kleien) te verrekenen en aldus onderscheid te maken tussen actieve lagen en meer passieve bufferlagen. Bijkomend is het aangetoond dat de klassieke flocculatiemodellen, volgens een empirische benadering, niet in staat zijn om meetresultaten op voldoende wijze te reproduceren; dit noodzaakt een beter begrip van de SPM dynamiek. Om de implicaties naar kustmorfodynamiek te bestuderen, zijn data nodig m.b.t. de minerale en de microbiële fractie; beide zijn veelal site-specifiek en dienen gelijktijdig bemonsterd te worden.

Een belangrijk aspect blijft de invloed van het Westerscheldeëstuarium op de sediment- en morfodynamiek van het BDNZ en vice versa. Vooral slibtransport aan de grenzen is internationaal gevoelige materie en heeft geleid tot verschillende studies. Slibbalansen, berekend met modellen, resulteren in een jaarlijkse net export van 2 Mton uit het Scheldeëstuarium, wat nog steeds een grootte-orde groter is dan de net import, uitgaande van slibbalansen op basis van observaties. Exacte getallen uit observaties zijn echter onderhevig aan grote onzekerheden en zijn niet goed gekend: schattingen variëren van 0.05 tot 0.35 Mton jaarlijkse net import. Aangezien de modelconcentratiegradiënt tussen het binnen- en buitendeltagebied van het Scheldeëstuarium realistisch is ingeschat, is de gemodelleerde export mogelijks te wijten aan een onderschatting van de estuariene circulatie en de geobserveerde fasefout van de M4 getijdcomponent. Deze beïnvloedt de getijdeasymmetrie, alsook het residuele sedimenttransport. Verdere verificaties zijn nodig.

Finaal werden modellen ontwikkeld die golfturbulentie en golfenergie-dissipatie in rekening brengen. Een gekoppeld golfstromingsmodel is geïmplementeerd en getest met hoog performante computerfaciliteiten. Dit laat toe het stromingsveld (met turbulentie) beter te modelleren, interpreteren en de consequenties na te gaan voor SPM modellering. Deze modelsuite zal later gebruikt worden voor specifieke case studies.

Natuurlijke evolutie en klimaatsveranderingen

Om veranderingen in het mariene milieu, of menselijke invloeden terdege te beoordelen, is nood aan kennis omtrent de natuurlijke variabiliteit van zeebodemprocessen. Vooral zandbankgebieden zijn onderhevig aan zeebodemvariatie, en vooral stormen kunnen de aanwezige sedimentvolumes grondig veranderen. Dit aspect is bestudeerd voor een zandbankgebied waar geen menselijke activiteiten plaatsvinden en waar voldoende bathymetrische data beschikbaar waren. Op basis van een correlatie tussen sedimentvolume-veranderingen en de richting en sterkte van wind, golven en stroming, werd aangetoond dat langdurige noordoostencondities geassocieerd zijn met de laagste sedimentbudgetten, terwijl deze uit zuidwestelijke richting duidelijk sediment aanbrengen. De ruimtelijke validiteit van deze bevindingen dient nog onderzocht te worden; doch tijdsreeksen van bathymetrische data zijn eerder schaars.

De invloed van stormen op SPM concentraties werd tevens bestudeerd. Hierbij werd het belang aangetoond van de windrichting, golfhoogte en de beschikbaarheid aan erodeerbare cohesieve sedimenten. Afgezien van de belangrijkste, goed gekende en algemeen geaccepteerde slibbronnen vanuit het Engels Kanaal, zijn lokale slibbronnen, zoals slib in zandige bodems of geconsolideerde sliblagen tevens verantwoordelijk voor SPM in de waterkolom.

Voor de studie van het klimaat op zeebodemveranderingen, werd een grondig onderzoek opgezet. Er werd aangetoond dat belangrijke stormopzet langsheen de Belgische kust voorkomt wanneer een lagedruksysteem stationair blijft over de Baltische Zee en geassocieerd is met een versterkt hogedrukgebied t.h.v. de Azoren. Het patroon van druk op het zeeniveau ('sea-level pressure', SLP) vertoont een sterke ZW-NO drukgradiënt wat leidt tot aanlandige winden langsheen de Belgische kust. De hoogste stormopzet tijdens wintermaanden (99^{ste} percentiel) te Oostende zijn toegenomen met +1 mm/jaar in de periode 1925 tot 2000. Deze toename is geassocieerd met een verhoging in SLP t.h.v. de Azoren, dat leidt tot een toename in de frequentie van sterke stormopzet gerelateerde drukgradiënten. Een statistische 'downscaling' methode werd gebruikt voor het opzetten van een model om SLP te relateren aan stormopzet te Oostende. Een meervoudige lineaire regressie werd gevonden om de dagelijkse stormopzethoogte te Oostende te relateren aan: (i) de dagelijkse SLP over de Baltische zee; en (ii) de dagelijkse waarde van de drukgradiënt tussen de Baltische Zee en de Azoren. Deze regressie reproduceert, op een robuuste manier, de jaarlijkse tot langetermijnvariabiliteit van hoge stormopzet in Oostende. De regressie is vervolgens gebruikt met SLP tijdsreeksen, gesimuleerd tot 2100 en rekening houdende met scenario's van klimaatsverandering. Hoge stormopzetten worden verwacht stationair te blijven tijdens de 21^{ste} eeuw, met geen significante veranderingen in SLP condities over de Baltische Zee en de Azoren. Het is niet verwacht dat klimaatsverandering in de 21^{ste} eeuw significant de stormopzet en golf-gerelateerde atmosferische circulatie zou veranderen. Toch zal de gemiddelde zeespiegelstijging, geassocieerd aan thermische dilatatie en het smelten van ijskappen, de amplitude van zeespiegelpieken doen toenemen tijdens stormen. Langsheen de Belgische kust, zullen mogelijke relaties tussen hydro-meteorologische parameters (stormopzet, golven) en strand- en vooroeversedimentvolumes verder onderzocht worden.

Impact van menselijke activiteiten

Case studies werden geselecteerd met gekende menselijke invloeden, weliswaar werd nu gepoogd langetermijnveranderingen te kwantificeren.

Een goed voorbeeld is de studie van de langetermijneffecten van de havenuitbreidingswerken van Zeebrugge. Het gebied ten oosten van de havendam, de ‘Baai van Heist’ kent een sterke sedimentatie (o.v.v. een zandbank), evenals een zone parallel aan de havendam, tot 100m in oostelijke richting. De ‘Baai van Heist’ bevindt zich in de luwte van de havendam, met lage stroomsnelheden als gevolg; sedimentatie in de verder oostwaartse zone is wellicht te wijten aan golfattenuatie-effecten. Sedimentatietrends worden voorspeld ter ondersteuning van een toekomstig beheer van deze zone.

Natuurlijke versus antropogeen gestuurde sedimentatie werd bestudeerd in het gebied van de belangrijkste stortlocatie van gebaggerd materiaal (Vlakte van de Raan, B&W S1). Duidelijk verschillende sedimentatiepatronen overheersen de oude en nieuwe stortlocaties, respectievelijk gelegen op een zandplaat en in een geul. Dit toont het belang aan van de morfologische omgeving waarin gestort wordt; dit gegeven en het type gestort materiaal, bepalen mede de finale impact van het langdurige storten, alsook de herstelperiode na stopzetten van de activiteit. Sedimenttransportprocessen in dit gebied zijn heel complex; een grondige analyse is vereist teneinde de consequenties van langdurig storten in kustnabije gebieden beter in te schatten.

Op grotere schaal werden langetermijnveranderingen in de cohesieve sedimentdistributie in de Belgisch-Nederlandse kustzone gecorreleerd met de toename in maritieme toegangswerken. Conclusies werden gebaseerd op veranderingen in de verspreiding van vloeibare sliblagen en toename in suspensiemateriaal gedurende de laatste 100 jaar. Een mogelijke interferentie van NAO cycliciteit dient verder onderzocht te worden.

Finaal was er tevens nood aan het kwantificeren van de ruimtelijke verspreiding van boomkorvisserij in het BDNZ. Ruimtelijk gezien, blijft dit de grootste verstoorder van de zeebodem, toch werd het procentueel belang nog nooit terdege onderzocht. Er wordt vooral gevist in de geulen van de zandbanken, met de hoogste concentratie nabij de voet van de steile helling van de zandbanken. Voor het eerst is deze verstoring gekwantificeerd en aangetoond voor twee zandbankgebieden. Een methodologie werd uitgewerkt om de impact van boomkorvisserij te evalueren op grote schaal en kan toegepast worden wanneer hoge resolutie multibeam terugverstrooiingsdata, van goede kwaliteit, beschikbaar komen. Deze data zijn cruciaal voor de evaluatie van langetermijnveranderingen in zachte substraathabitats.