

GEOLOGIE EN SEDIMENTOLOGIE VAN HET WESTERSCHELDE-MONDINGSGBIED

Isabel Du Four¹, Kristien Schelfaut¹, Sytze Vanheteren², Thaiënne Van Dijk² en Vera Van Lancker¹

¹ Renard Center voor Mariene Geologie (RCMG), Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België. E-mail: isabelle.dufour@ugent.be

² Geological Survey of the Netherlands, TNO Bouw en ondergrond, Princetonlaan 6, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, Nederland

Samenvatting

Het Westerscheldemondingsgebied is zeer complex wat betreft de geologie en sedimentologie. Het Brabantmassief vormt de paleozoïsche sokkel, die pas vanaf het Late Krijt werd overspoeld, en waarop later een serie van paleocene, pleistocene en holocene sedimenten werden afgezet. Op sommige plaatsen is het quaternaire dek minder dan 2.5m dik, waardoor resistente tertiaire lagen dagzomen en kunnen eroderen. Deze resistente geologische lagen kunnen de morfologische ontwikkelingen van een gebied sterk vertragen. De samenstelling van de bodemsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied is zeer heterogeen. Deels is dit te wijten aan de natuurlijke omgeving waarin het zich bevindt, maar ook de mens beïnvloedt dit gebied sterk door onder meer bagger- en stortactiviteiten. Zowel zandige sedimenten als slib komen onder verschillende vormen voor.

1. Inleiding

De Westerscheldemonding is een – op geologische tijdschaal – dynamisch gebied met bijzondere ecologische en kustmorfologische waarden, welke beïnvloed worden door de geologie en de sedimentologie van zowel de zeebodem als de ondergrond. De morfologische evolutie van de Westerscheldemonding is belangrijk voor mariene ecologie, maar ook voor bijvoorbeeld veilige scheepvaart.

Het Westerscheldemondingsgebied wordt vanuit morfologisch standpunt gesitueerd tussen de kust van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen (Fig. 1). De oostgrens wordt gevormd door de lijn Breskens-Vlissingen, die tevens vanuit geografisch oogpunt de monding van de Westerschelde voorstelt. Meer naar het noordwesten toe, wordt het gebied begrensd door de kust van Walcheren tussen Westkapelle en Vlissingen. Het gebied wordt in het noordoosten begrensd door de 'Domburger Rassen', de natuurlijke scheiding tussen het Ooster- en Westerscheldegebied. De kust van Zeeuws-Vlaanderen tot aan Blankenberge vormt de meest zuidelijke grens. Het meest westelijke punt wordt gevormd door de 'Droogte van Schooneveld'. De noordwestelijke grens van het studiegebied wordt in Nederlandse studies vastgelegd op de -20m NAP lijn (Van der Slikke, 1999). Omwille van het verschil in de gehanteerde referentievlakken tussen Nederland en België, wordt voor de huidige synthese de -20m GLLWS lijn gehanteerd als de meest noordwestelijke begrenzing van het mondingsgebied.

Binnen het mondingsgebied lopen twee belangrijke scheepvaartgeulen: de 'Wielingen' langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen, die naar het oosten toe overgaat in de 'Scheur-Oost', en het 'Oostgat', overgaand in de 'Sardijngeul' langs de kust van Walcheren (Fig.1). Daarnaast zijn er verschillende stortplaatsen voor gebaggerd materiaal, afkomstig uit de vaargeulen en de haven van Zeebrugge: S1, S2, Zeebrugge-Oost (Z&BO), S3 en R4. De twee laatste worden enkel gebruikt in geval van nood.

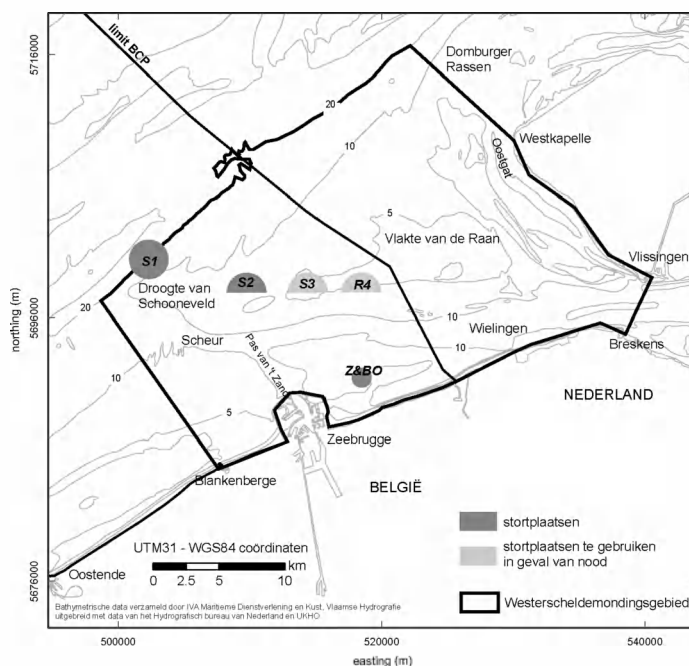


Fig. 1. Situering van het Westerscheldemondingsgebied.

Dit artikel beschrijft in een eerste deel de geologie en in een tweede deel de sedimentologie van de Westerscheldemonding, ten einde het effect van de geologie op de kustevolutie te kunnen verklaren.

2. Geologie

De grootschalige bodembewegingen in het gebied bestaan enerzijds uit een langzame daling van de Noordzeebodem en anderzijds uit een geleidelijke stijging van het 'Massief van Brabant' (De Mulder *et al.*, 2003). Het Brabantmassief vormt de paleozoïsche sokkel, die pas vanaf het Late Krijt werd overspoeld en waarop later een serie van paleocene, pleistocene en holocene sedimenten zijn afgezet (Le Bot *et al.*, 2003, 2005) (Fig. 2).

In dit deel wordt een overzicht gegeven van de verschillende belangrijke geologische lagen. Vooraf worden de technieken aangegeven, die toelaten de geologische gesteldheid te doorgronden.

2.1. Meettechnieken en data

De studie van de geologische lagen gebeurt door middel van verschillende technieken. *Seismische instrumenten* worden aangewend om de distributie en de interne structuur van de geologische lagen te bepalen. Zij maken gebruik van de voortplanting van geluidsgolven in de zeebodem, die weerkaatst worden als er een akoestisch impedantiecontrast aanwezig is. Dit wordt geïnduceerd door een contrast in compactheid, interne patronen en/of het type sediment of steen.

Sinds 1978, heeft het Renard Centre of Marine Geology (RCMG) aan de hand van verschillende seismische technieken een dens raster van seismische lijnen op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) opgebouwd. Voor het Nederlandse gedeelte van de Westerscheldemonding heeft de toenmalige Rijks Geologische Dienst, in samenwerking met Rijkswaterstaat-Directie Noordzee en Directie Zeeland, tussen 1968 en 1991 seismische data opgenomen (Ebbing *et al.*, 1992) en recenter in 1996 (Van der Spek *et al.*, 1997) en 2006 voor de 'Vlakte van de Raan'.

CENOZOÏCUM	QUARTAIR		Neogeen	Holoceen	
	(TERTIAIR)	Paleogeen		Pleistoceen	Weichseliaan Eemiaan Saaliaan Eburoniaan Tigliaan Praetigliaan
				Pliocene	
				Mioceen	
MESOZOÏCUM	Krijt	Paleogeen	Oligoceen		
			Eoceen		
			Paleoceen		
PALEOZOÏCUM	Jura				
	Trias				

Fig. 2. Geologische tijdschaal (naar Gradstein *et al.*, 2005).

Seismische profielen van de ondergrond geven continue informatie langsheen een lijn en worden geëvalueerd met *boorkernen*, die een 1D verticaal beeld geven van de opbouw van de verschillende geologische lagen. Er zijn in totaal 324 boringen genomen in de Westerscheldemonding. Daarnaast worden ook *penetrometertesten* uitgevoerd ter evaluatie van de seismische resultaten. Zij verschaffen kwantitatieve data over de draagkracht van de verschillende lagen, waardoor naast de aard, ook de stratificatie en de dikte van de geologische lagen kunnen bepaald worden. Hierbij wordt een kegelvormige schacht in de grond geduwd en vervolgens wordt de draagkracht gemeten. Deze testen werden echter hoofdzakelijk op land uitgevoerd, met uitzondering van enkele metingen in de buurt van de haven van Zeebrugge (Depret, 1981).

2.2. Tertiaire afzettingen

De tertiaire afzettingen in het Westerscheldemondingsgebied zijn gedefiniëerd door De Batist (1989) en Ebbing *et al.* (1992) (Fig. 3). De tertiaire afzettingen duiken onder een zwakke hoek naar het noordoosten, wat resulteert in het onderduiken van jongere strata onder de sub-horizontale basis van de quartaire afzettingen naar het noordoosten toe (Fig. 4) (Le Bot *et al.*, 2003). De formaties variëren in ouderdom van het Midden-Eoceen tot het Boven-Pliocene en bestaan uit verschillende sedimenten. De oudste tertiaire sedimenten bestaan uit zandige klei, vervolgens wordt zowel klei, kleig zand als zand aangetroffen. Op de grens van België en Nederland komt de formatie van Zelzate voor, die gekenmerkt wordt door een alternatie van zand en klei. Deze wordt opgevolgd door de Boomse kleien en de zandige sedimenten van de jongste formatie, die van Brielle (Fig. 5, Tabel I). De dikte van de paleogene afzettingen verschilt sterk van eenheid tot eenheid, maar is vrij constant binnen eenzelfde eenheid. De diepte van de afzettingen, die varieert van 10 tot 30m in het studiegebied, toont min of meer de morfologie van het tertiaire oppervlak en markeert de overgang tussen het Paleoceen en het Pleistoceen/Holoceen (Fig. 6). Het oppervlak bestaat uit *cuestas*'s, uitgeschuurde valleien, hellingsbreuken, glooiingen en paleovalleien (Liu *et al.*, 1992).

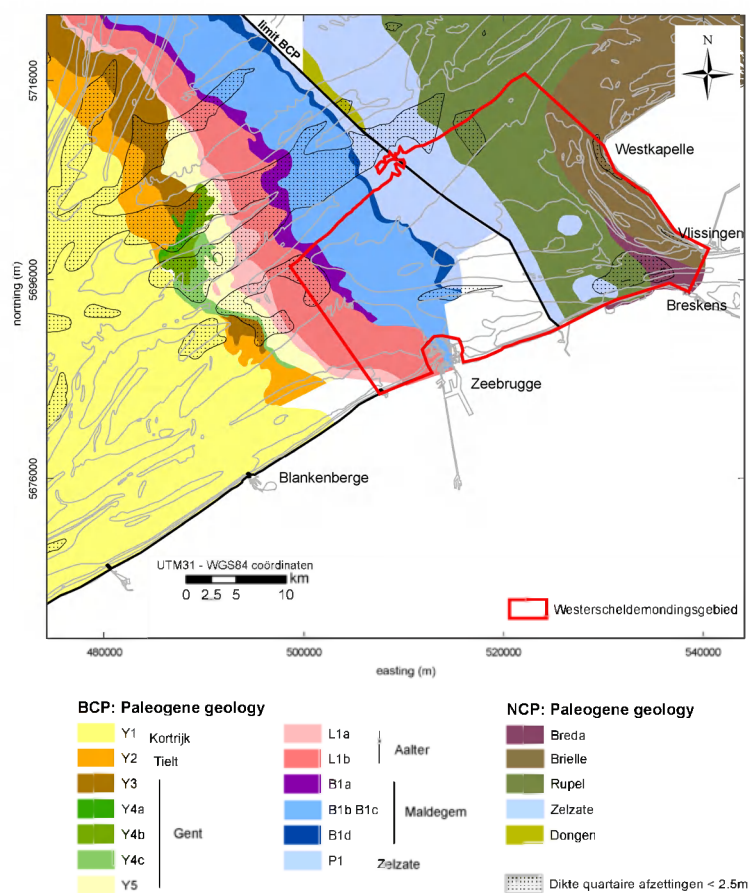


Fig. 3. Voorkomen van tertiaire afzettingen (Le Bot *et al.*, 2003) (BCP data: compilatie naar Maréchal *et al.*, 1986; De Batist, 1989; De Batist en Henriët, 1995. NCP data: Ebbing *et al.*, 1992). Ten oosten van Zeebrugge, in de kustzone van het Belgisch Continentaal Plat, zijn geen betrouwbare data beschikbaar door de ophoping van methaangas.

Tabel I. Naamgeving en lithologische eigenschappen van de paleogene eenheden. Synthese van de beschikbare data (Le Bot *et al.*, 2003; Ebbing *et al.*, 1992).

Seismische eenheid	Formatie	Geologisch tijdperk	Lithologie	Dikte (m)
BCP				
L1a	Aalter	Midden-Eoceen	Grijs-groen gebioturbeerde glauconiethoudend kleig fijn zand	25-30
L1b	Aalter	Midden-Eoceen	Zeer stijve tot hard siltig tot zandige klei met zandige delen	25-30
B1a	Maldegem	Midden-Eoceen	Grijs glauconiethoudend licht kleig fijn zand met zandstenen	45-60
B1b/c	Maldegem	Midden-Eoceen	Klei/ zandige klei / kleig zand (met bioturbatie)	45-60
B1d	Maldegem	Midden-Eoceen	Stijve tot zeer harde klei met verscheidene hoeveelheden zand	45-60
P1	Zelzate	Boven-Eoceen	Stijf en lichtjes zandig, groen-grijze klei	40-90
NCP				
	Breda	Mioceen	Glauconiethoudend zand	tot 70
	Brielle	Boven-Pliocene	Uiterst tot matig fijn zand met schelpen en glauconiet	<1 tot 60
	Rupel	Oligoceen	Boomse klei met een variërend aantal zandlagen	tot 60
	Zelzate	Boven-Eoceen	Glauconiet- en micohoudend uiterst tot matig fijn siltig zand, plaatselijk zand	tot 125
	Dongen	Midden-Eoceen	Klakhoudende kleien met ingeschakelde zandsteenopeenvolgingen	tot 60

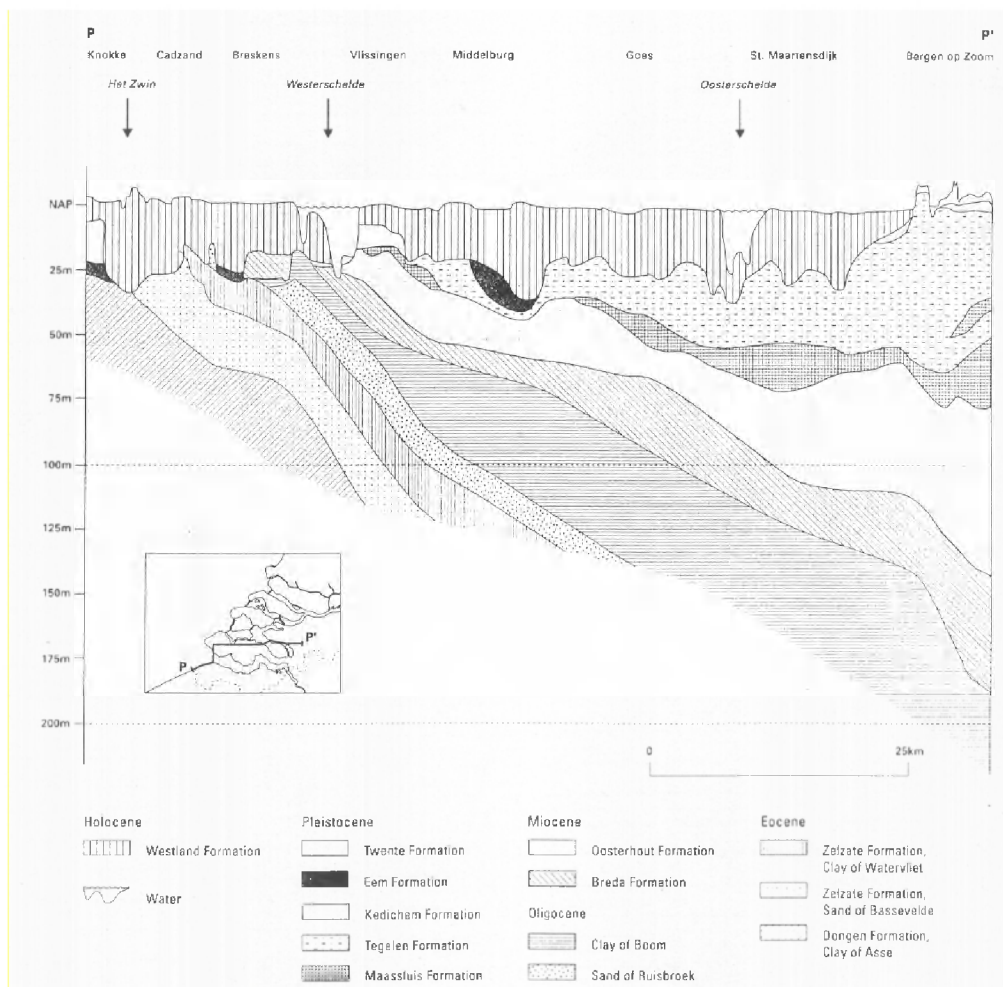


Fig. 4. Dwarsdoorsnede door de tertiaire en pleistocene afzettingen in Zeeland van Knokke naar Bergen op Zoom (uit: Vos en van Heeringen, 1997). De dwarsdoorsnede laat zien hoe de genoemde lagen in noordoostelijke richting wegduiken.

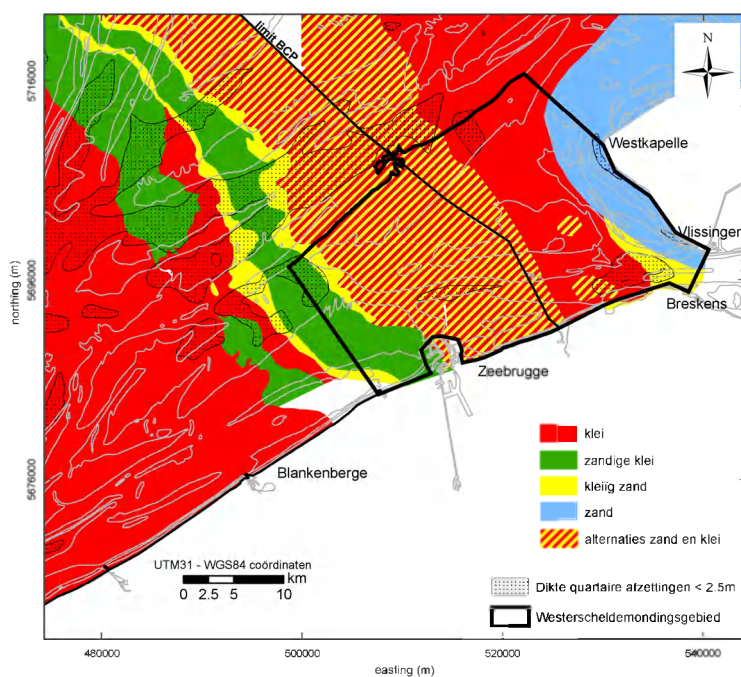


Fig. 5. Distributie van klei en zand in de paleogene afzettingen.

Aan Nederlandse kant wordt eerst een band van siltig zand aangetroffen, waarna de kleiband – genaamd de Boomse klei – opnieuw opduikt. Tegen de Nederlandse kust wordt zand aangetroffen (Fig. 5, Tabel I). De dikte van de paleogene afzettingen verschilt sterk van eenheid tot eenheid, maar is vrij constant binnen eenzelfde eenheid. De diepte van de afzettingen, die varieert van 10 tot 30m in het studiegebied, toont min of meer de morfologie van het tertiaire oppervlak en markeert de overgang tussen het Paleoceen en het Pleistoceen/Holoceen (Fig. 6). Het oppervlak bestaat uit *cuestas*'s, uitgeschuurde valleien, hellingsbreuken, glooiingen en paleovalleien (Liu *et al.*, 1992).

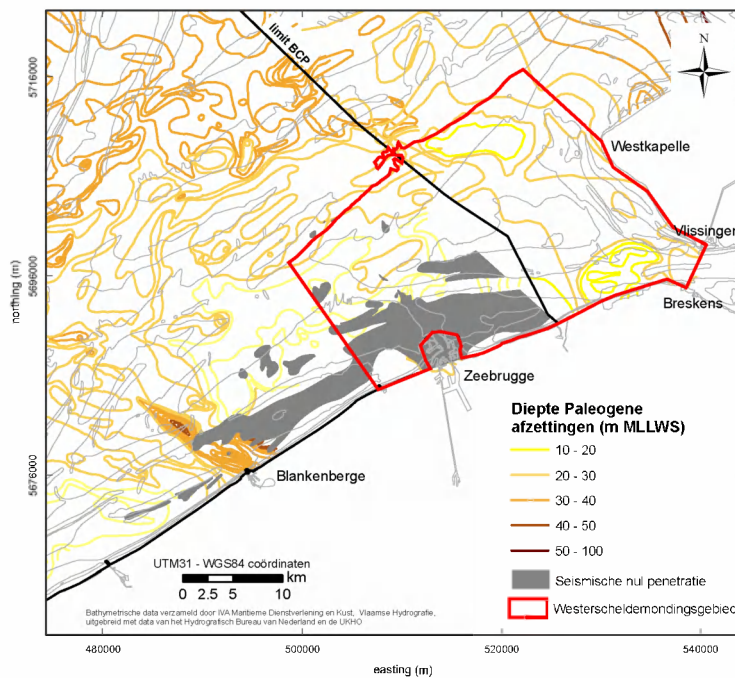


Fig. 6. Dieptelijnen van het transitievlak tussen de tertiaire en quartaire afzettingen (Liu, 1990).

2.3. Quartaire afzettingen

De quartaire afzettingen zijn jongere, niet-gecementeerde sedimenten. Een deel van hen zijn relict, maar het overgrote deel is mobiel onder de huidige getijdenstromingen. Het Quartair wordt gekarakteriseerd door een, zowel lateraal als verticaal, heterogene en complexe sedimentsamenstelling. Deze sedimenten bestaan uit zand met sporadische schelpen. Echter, op de 'Vlakte van de Raan' en in de omgeving van Zeebrugge komen veel klei, klei-zand alternaties en veeninsluitels voor (Le Bot *et al.*, 2003, 2005). De belangrijkste afzettingen zijn pleistocene opvullingen van valleien, uitgeschuurd in de paleogene ondergrond, en holocene getijdenzandbanken.

De dikte van de quartaire afzettingen varieert tussen 0 tot 10m. Op verschillende plaatsen in de Westerscheldemonding is het quartaire dek minder dan 2.5m dik (Maréchal en Henriët, 1983; Maréchal *et al.*, 1986; Ebbing *et al.*, 1992), waardoor meer resistente tertiaire sedimenten aan het oppervlak komen (Fig. 7). Een van deze lagen is de Boomse klei (Formatie van Rupel), die door de 'Wielingen' ten noorden van Zeeuws-Vlaanderen wordt aangesneden (Van der Spek *et al.*, 1997). De Boomse klei bemoeilijkt de westwaartse en noordelijke migratie van de diepere delen van de 'Wielingen'. Ook in het Belgisch deel van de 'Wielingen' zijn tertiaire afzettingen aangetroffen (Haecon, 1997 in Haecon 1999). Dit betekent dat resistente geologische lagen de morfologische ontwikkelingen van een gebied sterk kunnen vertragen.

Het is echter, volgens Van der Spek *et al.* (1997), niet waarschijnlijk dat de geologische ondergrond de morfologische ontwikkelingen stuurt. Wel kan de geologische ondergrond de snelheid van de morfologische veranderingen beïnvloeden. In 'Scheur-Oost' wordt een opeenvolging aangetroffen van klei, en zand met klei. De bovenste twee lagen zijn beide ongeveer 3m dik. In oostelijke richting neemt de dikte van het bovenste kleipakket af en komt het dieper te liggen. In 'Scheur-West' liggen de oudere kleilagen op grotere diepte (persoonlijke commentaar R. Adams, Haecan, geciteerd in Van der Slikke, 1999). Langs de zuidwestkust van Walcheren komt ook een resistente ondergrond voor, waardoor de ontwikkeling van diepere delen van het 'Oostgat' kan vertraagd worden.

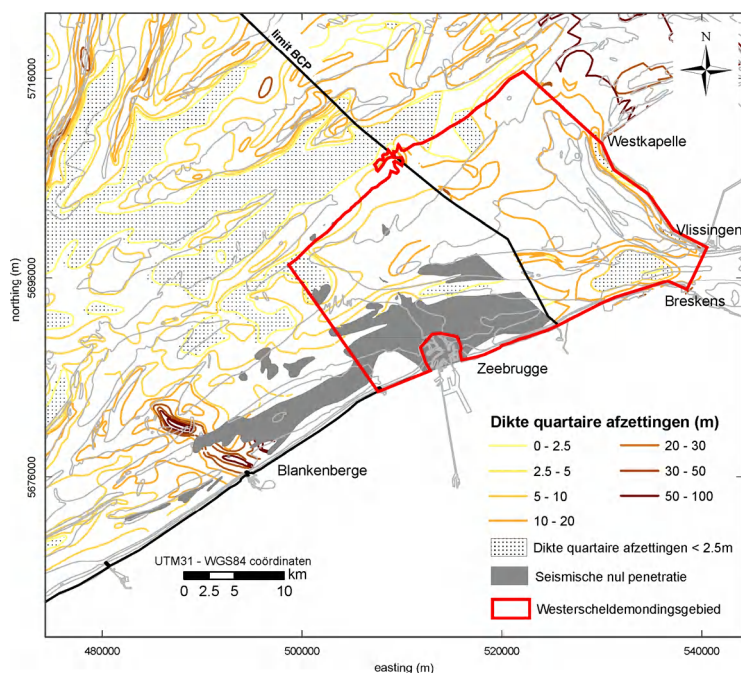


Fig. 7. Dikte van de quartaire sedimenten, met aanduiding van de plaatsen waar de dikte van het quartaire dek minder is dan 2.5m (BCP data: Liu, 1990. NCP: Ebbing *et al.*, 1992).

2.3.1. Pleistocene afzettingen

Het Pleistoceen (< 10 000 jaar) werd gekenmerkt door een opeenvolging van glaciale (ijstijden) en interglaciale. Gedurende de glaciale trad een sterke daling van de zeespiegel op, ten gevolge van het ontstaan van gletsjers op het noordelijk halfrond. Hierdoor viel een groot deel van de Noordzee droog en domineerde een sterke winderosie. Gedurende interglaciale werden grote hoeveelheden sediment aangevoerd door de belangrijkste rivieren.

De oudste voorkomende quartaire afzettingen zijn erosieresten van mariene afzettingen uit het Onder-Pleistoceen (Ebbing *et al.*, 1992). Na een langdurig hiaat in de sedimentatie, vond pas tijdens het Laat-Saalian of het Vroeg-Eemian hernieuwde sedimentatie plaats. Hier ging een periode van erosie aan vooraf, tijdens welke de bovengenoemde afzettingen uit het Onder-Pleistoceen grotendeels verdwenen. Plaatselijk zijn deze sedimenten herwerkt en vormen ze nu de basis van de Eem Formatie (Fig. 8). Er zijn sterke aanwijzingen dat de sedimentatie tijdens het Eemian terrasgewijs plaatsvond. Met name in België is geconstateerd dat de sedimentatie per terras eindigde met wadafzettingen. Deze afzettingen worden gekarakteriseerd door fijn tot zeer grof zand met weinig tot zeer veel schelpen en grind en met plaatselijk kleilagen of – laminae. Deze hardere afzettingen kunnen tevens de morfologische ontwikkelingen in het gebied afremmen.

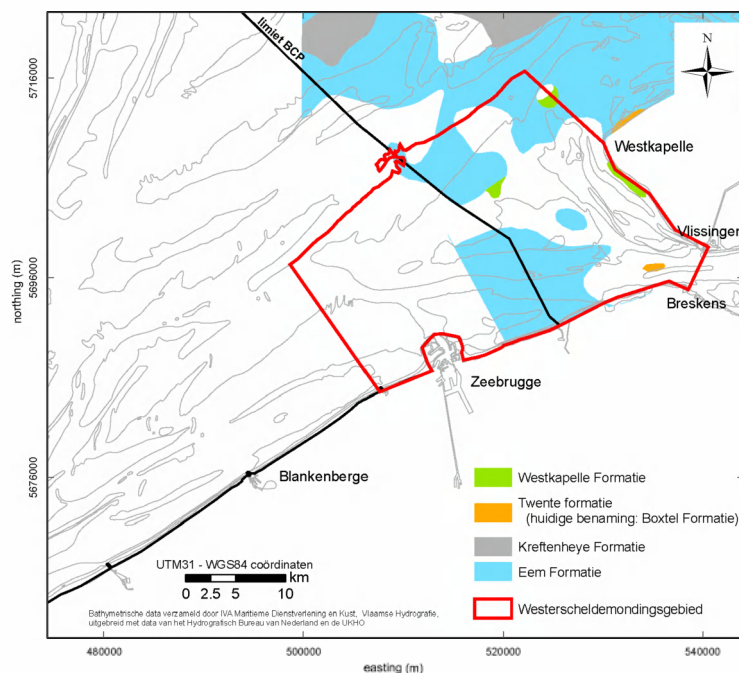


Fig. 8. Voorkomen van pleistocene afzettingen (Ebbing *et al.*, 1992).

Het Pleistoceen eindigde met eolische afzettingen behorende tot de Twente Formatie (tegenwoordig is dit de Bostel Formatie – Rijdsijk *et al.*, 2005), maar slechts in een tweetal boringen in de mond van de Westerschelde werden deze sedimenten aangetroffen. Waarschijnlijk hebben Belgische rivieren aan het eind van het Pleistoceen en het begin van het Holoceen een groot deel van deze afzettingen opgeruimd (Ebbing *et al.*, 1992).

2.3.2. Holocene afzettingen

Het Holoceen begon 10 000 jaar geleden en stelt de huidige interglaciale periode voor. De ontwikkeling tijdens deze periode werd in sterke mate bepaald door de zeespiegelstijging, veroorzaakt door het smelten van de landijskappen. Hierdoor kwam de kustvlakte geleidelijk onder water te staan. In het landwaardse gedeelte van de kustvlakte ontstond er een moerasvegetatie, waardoor er zich een veenpakket ontwikkelde (Baeteman en Van Strijdonck, 1989).

In het meest zeewaartse gebied zijn de pleistocene afzettingen bijna volledig geërodeerd (Baeteman en Denys, 1997) en/of herwerkt tot getijgeïnduceerde wadafzettingen, estuariene zandplaten en strandafzettingen. In de meest ondiepe plaatsen werd door de veranderde condities de groei van veen geïnduceerd, elders onstonden schorren en slikken. De bacteriële afbraak van het organisch materiaal van veenresten is hoogstwaarschijnlijk verantwoordelijk voor de vorming van methaangas. Offshore heeft de aanwezigheid van dit gas als gevolg dat het akoestische signaal van seismische bronnen niet ver in de bodem doordringt. Deze zone van seismische nulpennetratie is aangeduid op de kaarten.

Tenslotte, gedurende het laatste deel van het Holoceen, leidde een herhaaldelijke herwerking en verplaatsing van het fijne materiaal tot een afzetting van zand, dat later deelnam aan de opbouw van de zandbanken. Het werd ook door de werking van de recente getijdenstromingen omgevormd tot planaire afzettingen, kleine en grote bodemvormen (Eisma en Kalf, 1979). De Holocene sedimenten bestaan hoofdzakelijk uit mariene en kustzanden, maar ook grind, klei en veen komen voor. Kleirijke afzettingen en veenresten kunnen door het gewicht van de bovenliggende lagen ontwaterd en geconsolideerd zijn.

3. Sedimentologie

De sedimentologie van de Belgische kustzone werd in het verleden door verschillende onderzoeken in kaart gebracht (Van Mierlo, 1899; Van Veen, 1936; Houbolt, 1968; Bastin, 1974; MOW, 1976-1982; MOW, 1984-1986; Ceuleneer en Lauwaert, 1987; Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst, 1990). Recente kaarten van de mediane korrelgrootte en de slib/kleifractie werden aangemaakt in het kader van het MAREBASSE project¹ (Van Lancker *et al.*, 2006) (Fig. 9). Deze kwamen tot stand door de sedimentdataset (sedisurf@database, sedert 1976 aangemaakt door het RCMG – Universiteit Gent) te interpoleren, gestuurd door de variatie van een bathymetrisch digitaal terreinmodel (Verfaillie *et al.*, in press). Voor het Westerscheldemondingsgebied werd deze dataset aangevuld met sedimentdata van de Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO).

De samenstelling van de bodemsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied is zeer heterogeen. Deels is dit te wijten aan de natuurlijke omgeving waarin het zich bevindt, maar ook de mens beïnvloedt dit gebied sterk door onder meer bagger- en stortactiviteiten (Fig. 9). Zowel zandige sedimenten als slib komen voor en worden respectievelijk besproken.

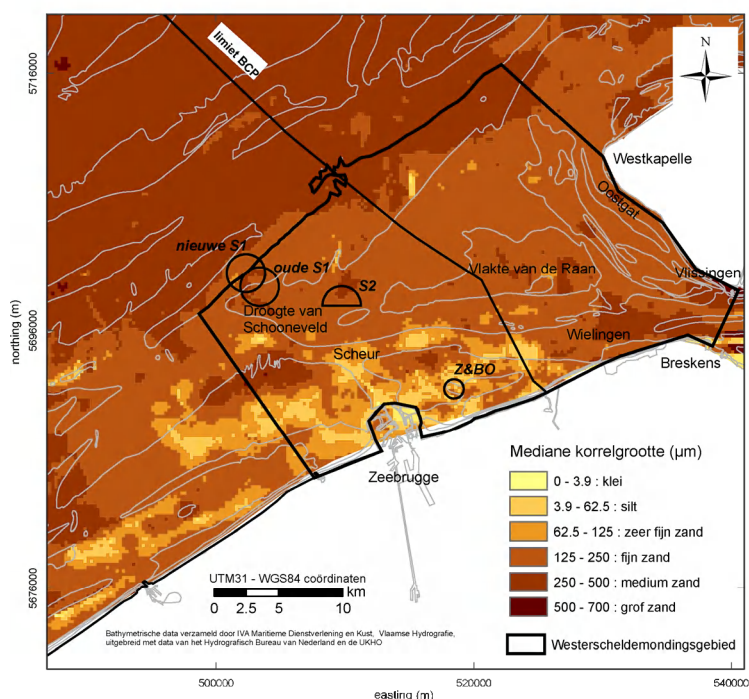


Fig. 9. Mediane korrelgroottekaart, aangemaakt op basis van een interpolatie van de sedimentdataset (sedisurf@database, sedert 1976 aangemaakt door het RCMG – Universiteit Gent), aangevuld met sedimentdata van TNO, en gestuurd door de variatie van een bathymetrisch digitaal terreinmodel (Verfaillie *et al.*, in press).

¹ MAREBASSE, *Management, Research and Budgeting of Aggregates in Shelf Seas related to End-users*. [Beleid, onderzoek en budgettering van aggregaten in continentale zeeën in relatie tot eindgebruikers]. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2002-2006).

3.1. Zandige sedimenten

De mediane korrelgroottekaart toont aan dat de 'Vlakte van de Raan' en de ondieptes en geulen, gelegen in het zuidwestelijk deel van de Westerscheldemonding, hoofdzakelijk worden gekarakteriseerd door fijn zand (Fig. 9). Dit is een gevolg van de omwerking en uitwassing door de hier brekende golven. Op de 'Droogte van Schoneveld' wordt fijn tot medium zand aangetroffen (BMM en AWZ, 1993; Du Four en Van Lancker, in voorbereiding) (Fig. 8). Het gebied omvat de loswallen S2 en de oude loswal S1, die in 1999 werd gesloten wegens het bereiken van zijn maximale capaciteit en vervolgens verplaatst werd naar het noordwesten. De loswal Zeebrugge-Oost (Z&BO) wordt gekarakteriseerd door fijn zand en slibhoudend zand (BMM en AWZ, 1993) (Fig. 9). Nochtans wordt de gestorte baggerspecie gekenmerkt door een vrij hoog slibgehalte (BMM en AWZ, 1993). Het zandige karakter van de stortplaatsen wordt verklaard door het optreden van een hydraulisch scheidingsmechanisme gedurende de stortactiviteiten (Malherbe, 1991; Van Parijs *et al.*, 2002). Dit mechanisme veroorzaakt een scheiding tussen de zandfractie, die overwegend achterblijft op de stortplaats, en de slibfractie, die meegevoerd wordt door de stromingen. Metingen, uitgevoerd door Haecon (1994), tonen aan dat 80 - 90% van het gestorte zand achterblijft op de loswal S1, terwijl de rest terug getransporteerd wordt naar de vaargeul 'Scheur'. Tracer-experimenten, die later werden bevestigd door modelresultaten, toonden aan dat de slibfractie verspreid wordt over een groot gebied onder invloed van de heersende meteorologische omstandigheden. Bij kalm weer vloeit het slib terug naar de kust (Van den Eynde, 2004).

Er is echter wel een verschil in sedimentatie tussen de stortplaatsen gelegen op een zandplaat, zoals S2 en de oude S1, en zij die gelocaliseerd zijn in een getijdengeul, zoals de nieuwe S1 en de loswal Zeebrugge-Oost. De eersten zijn zandlichamen, terwijl op de laatsten een typische getijden/stormsequentie wordt aangetroffen met een afwisseling van zand- en sliblaagjes (BMM en AWZ, 1993; Du Four en Van Lancker, in voorbereiding). De loswal Zeebrugge-Oost wordt daarenboven beïnvloed door de morfologische veranderingen ten gevolge van de uitbouw van de haven van Zeebrugge.

Het grofste zand komt voor in de 'Wielingen', wat verklaard wordt door sterke stromingen die zich voordoen in de hals van het Westerscheldemonding. Van der Spek *et al.* (1997) gaf echter aan dat de Boomse klei (Formatie van Rupel) er wordt aangesneden (Fig. 5). Dit verschil wordt verklaard doordat enkel de bovenste centimeters van de bodemstalen in rekening werd genomen bij de interpolatie in Fig. 9.

3.2 Slib- en kleihoudende sedimenten

Het Westerscheldemondingsgebied wordt gekarakteriseerd door 'storende kleilagen', een hoge turbiditeit en slibvelden. 'Storende kleilagen' zijn kleilagen met een dikte van meer dan 10cm en komen voor in grote delen van het gebied. De hoge concentraties aan gesuspendeerd materiaal – waarden van 100mg.l⁻¹ zijn niet ongevoelbaar – worden bereikt ter hoogte van Zeebrugge en verspreiden zich verder tot Oostende. De processen, mogelijks verantwoordelijk voor de vorming van deze hoge turbiditeitszone, zijn de vermindering in grootte van het residueel transport, het ondiepe karakter van de Belgische kustwateren en de import van gesuspendeerd materiaal doorheen de 'Straat van Dover' (Fettweis en Van den Eynde, 2003).

De slibsedimenten zijn cohesief en bestaan uit een mengsel van water, kleimineralen, slib, carbonaten, organisch materiaal en zand. Op basis van de bulkdensiteit (ρ) worden ze ingedeeld in 4 klassen:

- sterk tot zeer sterk geconsolideerd slib: paleogene klei, die voorkomt als kleigranules in zandige gebieden ($\rho > 1\,800\text{kg.m}^{-3}$)
- zwak tot medium geconsolideerd: holoceen slib, dat voorkomt als gelaagde cohesieve sedimenten met zandige horizonten ertussen ($\rho = 1\,500 - 1\,800\text{kg.m}^{-3}$)
- recent afgezet slib, dat voorkomt als een dun mobiel laagje ($< 2\text{cm}$) of als dikke pakketten ($> 0.5\text{m}$) ($\rho = 1\,300 - 1\,500\text{kg.m}^{-3}$)
- vloeibaar slib

De verspreiding van slibsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied (Fig. 10) werd opgemaakt in het kader van het MOCHA project² en is gebaseerd op beschrijvingen van de sedimentdichtheid (Fettweis *et al.*, 2005). Het omvat staalnames genomen door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) in het kader van de onderzoeksprojecten SEBAB³, MOMO⁴, MAREBASSE en MESH⁵. In het kader van MAREBASSE voerde ook het Renard Centre of Marine Geology (RCMG) van de Universiteit van Gent staalnames uit van gebaggerd materiaal op de S1 stortplaats. Van de zuidwestkust van Walcheren zijn slechts enkele staalnames beschikbaar.

Tertiaire klei, behorende tot de Maldegem Formatie, dagzoomt in de vaargeul 'Scheur' (Fig. 3 & 10). Doordat de dikte van het quataire dek op deze plaats minder is dan 2.5m, kan de tertiaire klei eroderen, waarbij kleigranules kunnen gevormd worden. Kleigranules werden onder meer teruggevonden op de hellingen langsheen de 'Scheur' en op de stortplaats S1. *Holoceen slib* komt zowel voor in de kustzone als ten noorden van de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 9). Deze afzettingen vormen de slibvelden, die onder andere gekarteerd werden door Bastin (1974), Gullentops *et al.* (1976) en Fettweis *et al.* (2004). Ze zijn meestal bedekt met een dunne laag (1 tot 10cm) van zeer fijn zand of slibbig zand. Het *recent afgezet slib* wordt sinds de laatste 50 jaren afgezet in antropogeen beïnvloede zones (Fig. 10). Het komt voor als permanente lagen ($\pm 0.5\text{m}$) in de vaargeulen en de havens en elders als dunne lagen van minder dan 10cm. Het wordt cyclisch in suspensie gebracht door de getijdenwerking. De juiste extensie van de recente sliblagen is bijgevolg moeilijk te bepalen. Vloeibaar slib werd aangetroffen in de haven van Zeebrugge en het navigatiekanaal 'Pas van het Zand' (Strubbe, 1987). Op de kaart, weergegeven in Fig. 10, is geen vloeibaar slib aangegeven omdat er te weinig data bestaan omtrent de verspreiding er van.

² MOCHA, *Mud Origin, Characterisation and Human Activities*. [Slib: oorsprong, karakterisering en menselijke activiteiten]. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2004-2006).

³ SEBAB, *Bepaling van de sedimentbalans voor de Belgische kustwateren*. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO I (1999-2002).

⁴ MOMO, *MONitoring en MOdelling van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperaties*. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2004-2006).

⁵ MESH, *Mapping European Seabed Habitats*. Interreg IIIb (NW Europe) (2003-2007).

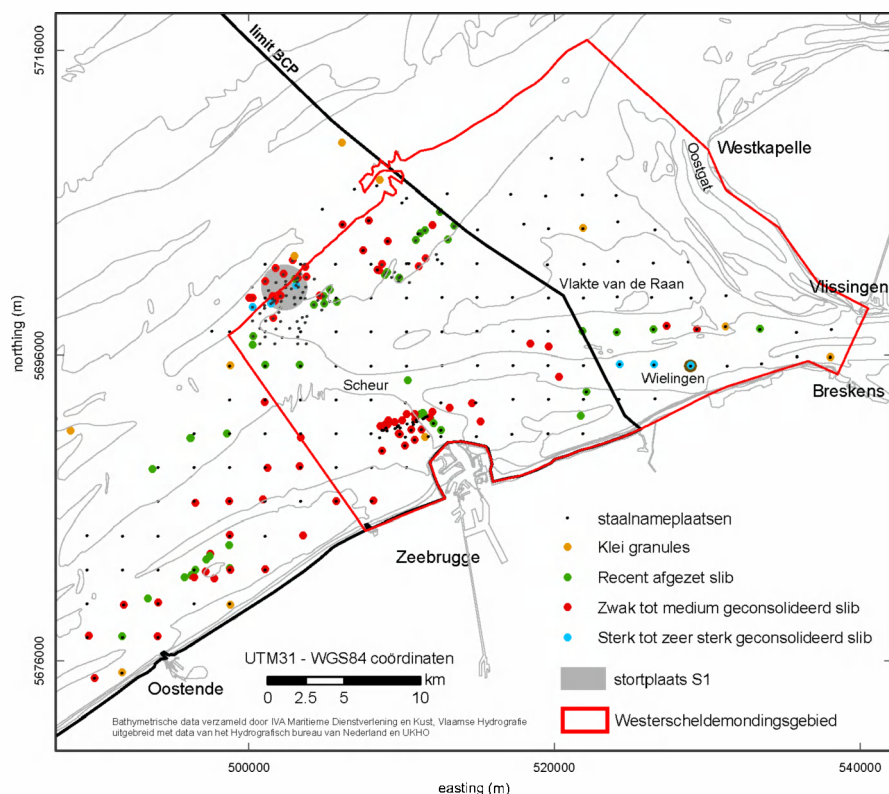


Fig. 10. Voorkomen van de verschillende cohesieve sedimenten op basis van beschikbare sedimentbeschrijvingen. De zwarte bolletjes duiden aan waar stalen zijn genomen; indien ze niet gekleurd zijn, komt er zand voor.

Referenties

- Baeteman C. en Denys L. (1997). Holocene shoreline and sea-level data from the Belgian coast. *Paleoclimate Research*, 21: 49-74.
- Baeteman C. en Van Strijdonck M. (1989). Radiocarbon dates on peat from the Holocene coastal deposits in West Belgium. p. 59-91. In: *Quaternary sea-level investigations from Belgium*. Baeteman C. (Ed.). Ministerie van Economische Zaken, Geologische Dienst van België, Brussel, België.
- Bastin A. (1974). Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en van het Schelde-estuarium, Ph.D. thesis, KULeuven, België.
- BMM en AWZ (1993). Ecologische impact van baggerspecielösungen voor de Belgische kust: Eindrapport. Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu (BMM), Brussel, België. 101 pp.
- Ceuleneer G. en Lauwaert B. (1987). Les sediments superficiels de la zone des 'Vlaamse Banken'. Unité de Gestion du Modèle Mathématique de la Mer du Nord et de l'Estuaire de l'Escaut. UGMM, mars 1987.
- De Batist M. (1989). Seismo-stratigrafie en structuur van het Paleogeen in de Zuidelijke Noordzee. Ph.D. Thesis, UGent, België. 107pp.
- De Batist M. en Henriët J.P. (1995). Seismic sequence stratigraphy of the Tertiary offshore of Belgium, Southern North Sea. *Journal of the Geological Society of London*, 152: 27-40.
- De Mulder E.F.J., Geluk M.C., Ritsema I., Westerhoff W.E. en Wong Th. E. (2003). De ondergrond van Nederland. TNO, Delft.

- Depret M. (1981). Lithostratigrafie van het quartaire en van het tertiaire substraat te Zeebrugge. Lithologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen met de konus van Begemann. Ph.D. Thesis, UGent, België. 255 pp.
- Du Four I. en Van Lancker V. (in voorbereiding). Physical impact assessment of dredged material disposal sites and their recovery after cessation of dumping: a case study in the Belgian coastal zone.
- Ebbing J.H.J., Laban C., Frantsen P.J. en Nederhof H.P. (1992). Kaartblad Rabsbank, concessieblokken voor olie en gas S7, S8, S10 en S11 (51°20' N.B. – 3°00' O.L.). Rijks Geologische Dienst, Nederland.
- Eisma D. en Kalf J. (1979). Distribution and particle size of suspended matter in the Southern Bight of the North Sea and the Eastern Channel. *Netherlands Journal of Sea Research*, 13(2): 298-324.
- Fettweis M. en Van den Eynde D. (2003). The mud deposits and the high turbidity in the Belgian-Dutch coastal zone, Southern Bight of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 23: 669-691.
- Fettweis M., Francken F., Nechad B., Pison V. en Van den Eynde D. (2004). Monitoring en Modelling van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperaties (MOMO). Activiteitsrapport 2 (oktober 2003 - maart 2004). BMM, Brussel. MOMO/MF/200404/NL/ER/1. 33pp.
- Fettweis M., Francken F., Van den Eynde D., Houziaux J.-S., Vandenberghe N., Fontaine K., Deleu S., Van Lancker V. en Van Rooij D. (2005). Mud origin, characterisation and human activities (MOCHA): Characteristics of cohesive sediments on the Belgian Continental Shelf. Scientific Report - Year 1. Belgian Science Policy, Brussel. 70pp.
- Gradstein F.M., Ogg J.G. en Smith A.G. (2005). A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press. 610pp.
- Gullentops F., Moens M., Ringelé A. en Sengier R. (1976). Geologische kenmerken van de suspensie en de sedimenten. In: Project Zee/Projet Mer, Volume 4: Sedimentologie. Nihoul J.C.J. en Gullentops F. (Eds.). Science Policy Office, Brussel, België. 137pp.
- Haecon (1994). Stortplaatsonderzoek. Eindrapport sedimenttrendanalyse: interpretatie van de STA-resultaten (STA). Intern rapport, nr. ISS1165-00032, Drongen, België.
- Haecon (1999). Literatuurstudie morfologie Belgische kust, NML 1856 00023.
- Houbolt J.J.H.C. (1968). Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 47(4): 245-273.
- Le Bot S., Van Lancker V., Deleu S., De Batist M. en Henriët J.P. (2003). Tertiary and quaternary geology of the Belgian Continental Shelf. Science Policy Office, Brussel, België. 75pp.
- Le Bot S., Van Lancker V., Deleu S., De Batist M., Henriët J.P. en Haegeman W. (2005). Geological characteristics and geotechnical properties of eocene and quaternary deposits on the Belgian Continental Shelf: synthesis in the context of offshore wind farming. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 84(2): 147-160.
- Liu A.C. (1990). A seismic and geomorphological study of the erosion surface at the top of the Tertiary in the Southern North Sea (Belgian and Northern French sectors). Ph.D. Thesis, UGent, België. 119pp (vol.1) en 97pp (vol.2).
- Liu A.C., Missiaen T. en Henriët J.P. (1992). The morphology of the top-Tertiary erosion surface in the Belgian sector of the North Sea. *Marine Geology*, 105: 275-284.
- Malherbe B. (1991). A case study of dumping dredged material in open areas. *Terra et Aqua*, 45: 5-31.
- Maréchal R. en Henriët J.P. (1983). Seismisch onderzoek op het Belgisch Continentaal Plat. Eerste fase - ontginningszone 2. Ongepubliceerd rapport, Ministerie van Economische Zaken. 32pp.
- Maréchal R., Henriët J.P., Mostaert F., De Batist M., Moons A. en Verschuren M. (1986). Studie oppervlaktelaag van het Belgisch Continentaal Plat. Seismisch prospectie sector B. Ongepubliceerd rapport, Ministerie van Economische Zaken. 52pp.
- MOW (1976-1982). Interne kaart Ministerie van Openbare Werken en Haecon.

- MOW (1984-1986). Interne kaart Ministerie van Openbare Werken en Haecon.
- Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst (1990). Geologische kaart van de Noordzee, Holocene en oppervlakesedimenten, kaartblad Oostende. British Geological Survey, Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst.
- Rijsdijk K.F., Passchier S., Weerts H.J.T., Laban C., van Leeuwen R.J.W. en Ebbing J.H.J. (2005). Revised Upper Cenozoic stratigraphy of the Dutch sector of the North Sea Basin: towards an integrated lithostratigraphic, seismostratigraphic and allostratigraphic approach. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 84(2): 129-146.
- Strubbe J. (1987). De Belgische zeehavens: erfgoed voor morgen. Lannoo, Tielt, België. 181 pp.
- Van den Eynde D. (2004). Interpretation of tracer experiments with fine-grained dredging material at the Belgian Continental Shelf by the use of numerical models. *Journal of Marine Systems*, 48: 171-189.
- Van der Slikke M. J. (1999). Morfologische ontwikkeling Westerscheldemonding tot 2020, een fenomenologische visie. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU). 43pp + bijlagen.
- Van der Spek A.J.F., Frantsen P.J., Menkovic A. en Ebbing J.H.J. (1997). De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. In opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Programma Kust*2000. Project K2000*KOP. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG-TNO). Rapport NITG-97-284-B.
- Van Lancker V., Deleu S., Bellec V., Du Four I., Schelfaut K., Verfaillie E., Fettweis M., Van den Eynde D., Francken F., Pison V., Wartel S., Monbaliu J., Giardino A., Portilla J., Lanckneus J., Moerkerke G. en Degraer S. (2006). Management, Research and Budgetting of Aggregates in Shelf Seas related to End users (MAREBASSE): Eindrapport. Belgian Science Policy, Brussel, België.
- Van Mierlo C.J. (1899). La carte lithologique de la partie méridionale de la Mer du Nord. *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, t., XIII.
- Van Parys M., Dumon G., Pieters A., Claeys S., Lanckneus J., Van Lancker V., Vangheluwe M., Van Sprang P., Speleers L. en Janssen C. (2002). Milieugerichte monitoring van baggerwerkzaamheden MOBAG 2000. In: Colloquium 'Kustzonebeheer vanuit geo-ecologische en economische invalshoek', 16-17 mei 2002, Oostende, België. Van Lancker V. *et al.* (Eds.). VLIZ Special Publication, 10: 1-22.
- 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, 2e reeks, IIe deel.
- Verfaillie E., Van Lancker V. en Van Meirvenne M. (in druk). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. *Continental Shelf Research*.
- Vos P.C. en van Heeringen R.M. (1997). Holocene geology and occupation history of the province of Zeeland. In: *Holocene Evolution of Zeeland (SW Netherlands)*. Fischer M.M. (Ed.). Medelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 59: 5-109.