

Het zandtransport langs de Vlaamse kust, opgevolgd vanuit de lucht

Bart Deronde¹, Rik Houthuys¹ & Peter DeWolf²

¹ Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Boeretang 200, 2400 Mol;
e-mail: bart.deronde@vito.be of rik.houthuys@telenet.be

² Afdeling Kust, Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Vlaams Ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken

Onze Vlaamse kust is bekend om zijn aantrekkelijke, brede zandstranden afgelijnd met een duingordel. Op vele plaatsen is de duingordel bebouwd en is de helling naar het strand versterkt als zeedijk. Soms lijkt het wel alsof onze stranden altijd hebben bestaan onder de vorm zoals wij ze vandaag kennen en alsof ze ook in de toekomst altijd zo zullen blijven bestaan. Maar niets is minder waar, onze stranden zijn een uiterst dynamisch milieu dat voortdurend in verandering is. Het getij komt en gaat, golven rollen het strand op en af en de wind jaagt bij wijlen over de weidse strandvlakte. Terwijl op de ene plaats het strand afslaet, treedt er enkele kilometers verder aangroei op en worden er nieuwe duinen gevormd. Deze dynamiek, die grotendeels natuurlijk is maar meer en meer beïnvloed wordt door menselijke ingrepen, moet nauwgezet worden opgevolgd. Immers, het strand vormt samen met de vooroever en de duinen een natuurlijke “dam” die het water tegenhoudt bij hoge waterstanden. Deze natuurlijke bescherming wordt vaak een handje geholpen. Het geheel van maatregelen dat zorgt voor de bescherming tegen overstromingen wordt, samen met de van nature aanwezige buffer, “zeewering” genoemd. Zonder zeewering zouden de achterliggende polders bij ieder hoogwater overstromen. Wanneer er zones ontstaan waar het strand en de duingordel niet meer in staat zijn om hun rol als zeewering uit te oefenen, is het van belang dat die opgespoord worden, zodat er doeltreffende maatregelen genomen kunnen worden om de zeewering op peil te brengen. Ook vanuit recreatief oogpunt is het van groot belang een aantrekkelijk en voldoende breed strand te behouden. Het opvolgen en door werken in stand houden van de zeewering is de taak van het Agentschap Maritieme Dienstverlening & Kust, Afdeling Kust.

Hoe meet je de hoogteligging van een strand?

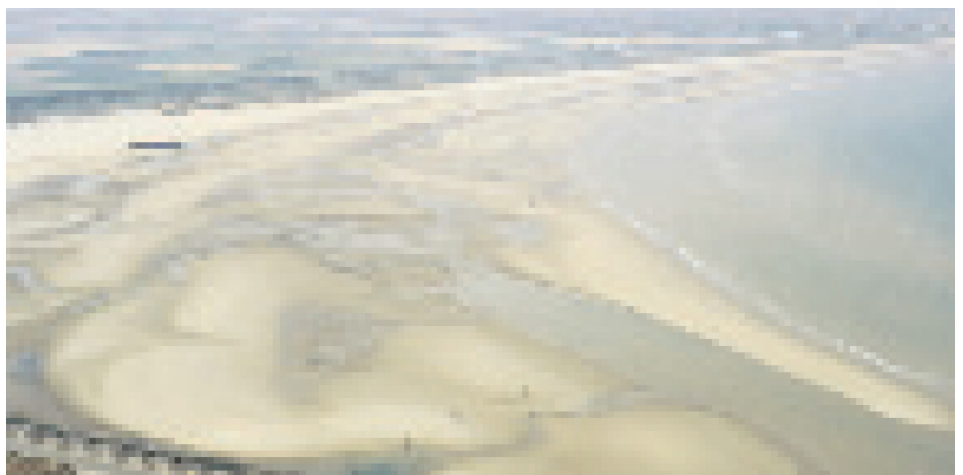
Een evolutie in technieken

De opvolging van de verandering van vorm en hoogteligging van het strand (de *morfodynamiek*) is niet nieuw. Een nauwlettend waarnemer in de voorbije decennia was prof. Guy De Moor van de Gentse universiteit. Zijn bevindingen over de geomorfologie en de dynamiek van de Vlaamse stranden zijn gebundeld in De Moor (2006).

De Afdeling Kust (<http://www.afdeling-kust.be>) verricht al vele tientallen jaren



■ Een erosieve kuststrook in De Haan (Kustatlas, VLIZ)



■ Een sedimentaire kuststrook in Zeebrugge (Kustatlas, VLIZ)

metingen van de hoogteligging van het strand. Aanvankelijk gebeurde dit met landmeettechnieken op de grond, maar vanaf eind de jaren ‘70 werd geleidelijk overgeschakeld naar luchtopnamen. Uit elkaar overlappende luchtfoto’s kon door speciale meettechnieken (*stereofotogrammetrie*) jaarlijks een hoogtekaart van het volledige strand worden gemaakt. Vanaf 1999 werd overgeschakeld op vliegtuiglaserscanning en een jaar later deden hyperspectrale vliegtuigopnamen hun intrede (over deze technieken hieronder meer).

Vooral het gecombineerd gebruik van hyperspectrale en laserscanningopnamen leidt tot een dieper inzicht in de zandtransportprocessen die zich voordoen langs onze kust. In dit artikel worden de resultaten voorgesteld van processen over de periode 2000-2006¹, hier “middellange termijn”

genoemd. Er treedt immers dagelijks zandtransport op, maar voor de kustveiligheid volstaat het te kijken naar het *resulterend transport over verschillende jaren*. Op deze middellange termijn spreekt men vaak van “langs- en dwarstransport”. *Langstransport* is de component van het zandtransport waarbij een hoeveelheid zand door een veelheid van processen (golfwering, stroming, wind, ...) evenwijdig met de kustlijn wordt verplaatst; *dwarstransport* slaat op de verplaatsing loodrecht op de kustlijn. We zien enkel het *resultaat* of de som van alle bewegingen over de beschouwde periode.

¹ de gedetailleerde berekeningen en analyses die tot de hier weergegeven resultaten leiden, zijn uitvoerig beschreven in Deronde en Houthuys, 2007. De studie verliep in opdracht van en in samenwerking met de Afdeling Kust.

Van de maatregelen die de Afdeling Kust toepast om de zeewering in stand te houden vermelden we hier de drie voornaamste die thans worden toegepast (Van De Walle 2001):

- **strandhoofden** (in de volksmond "golfbrekers" genoemd) hebben als doel strandaangroei te bevorderen en te beletten dat zand van het strand wordt afgeslagen door langstransport
- **strandophogingen**: op plaatsen met een onvoldoende breed droogstrand, vaak ter hoogte van badplaatsen, wordt een droogstrandberm aangelegd, dit is een stuk van het strand palend aan de zeedijk dat bij hoogwater droog blijft. Hiertoe wordt ofwel zand vanaf de laagwaterlijn met bulldozers opgevoerd, ofwel zeezand aangevoerd met vrachtwagens. De betrokken zandhoeveelheden zijn niet zo groot, maar de werken moeten jaarlijks herhaald worden
- **strandopspuitingen** (ook suppletiewerken genoemd): grote hoeveelheden zeezand worden rechtstreeks vanuit het baggerschip op het strand aangevoerd. Een deel van het strand of het gehele strand wordt hierbij opgehoogd waardoor de hoogteligging vaak met verschillende meters toeneemt.

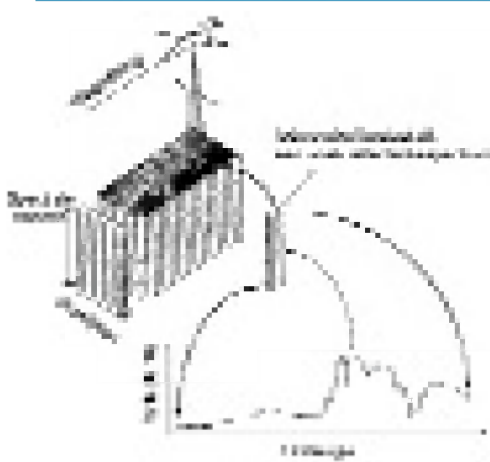


Strandhoofden zijn op vele plaatsen langs de Vlaamse kust aanwezig om strandaangroei te bevorderen en erosie tegen te gaan. Zij vormen een barrière voor het langstransport (VL)

Het is overigens niet alleen van belang het natuurlijk zandtransport te kennen. We moeten ook de effectiviteit van zeeweringsmaatregelen (zie kader) en de invloed van deze maatregelen op het zandtransport kunnen beoordelen.

Hyperspectrale teledetectie

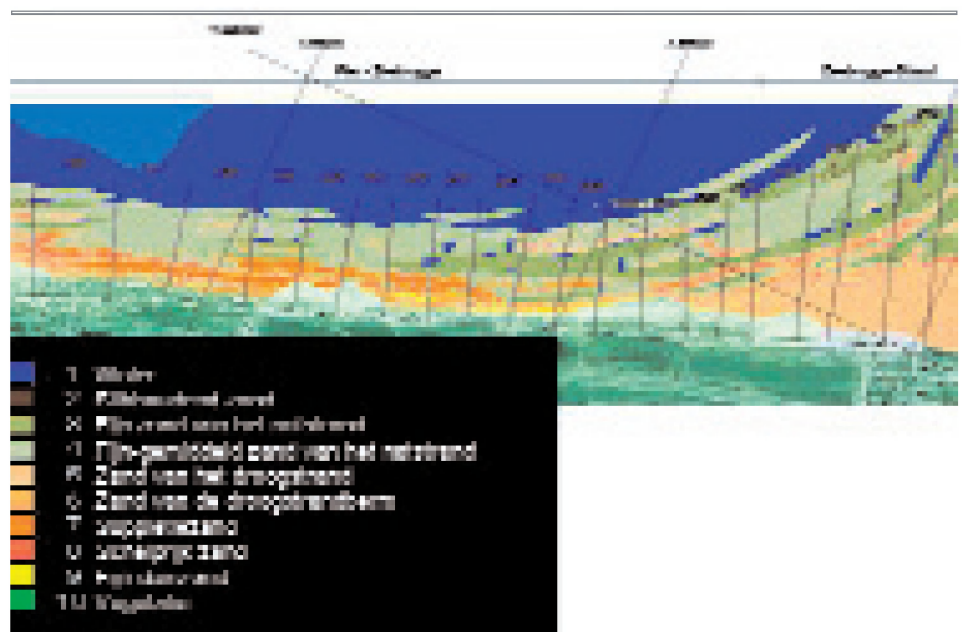
Onderstaande figuur illustreert het principe van *hyperspectrale teledetectie*: het zonlicht wordt door het strand gereflecteerd en opgevangen door de sensor. Deze registreert het zichtbare en nabij-infrarode licht in tientallen fijne spectrale banden.



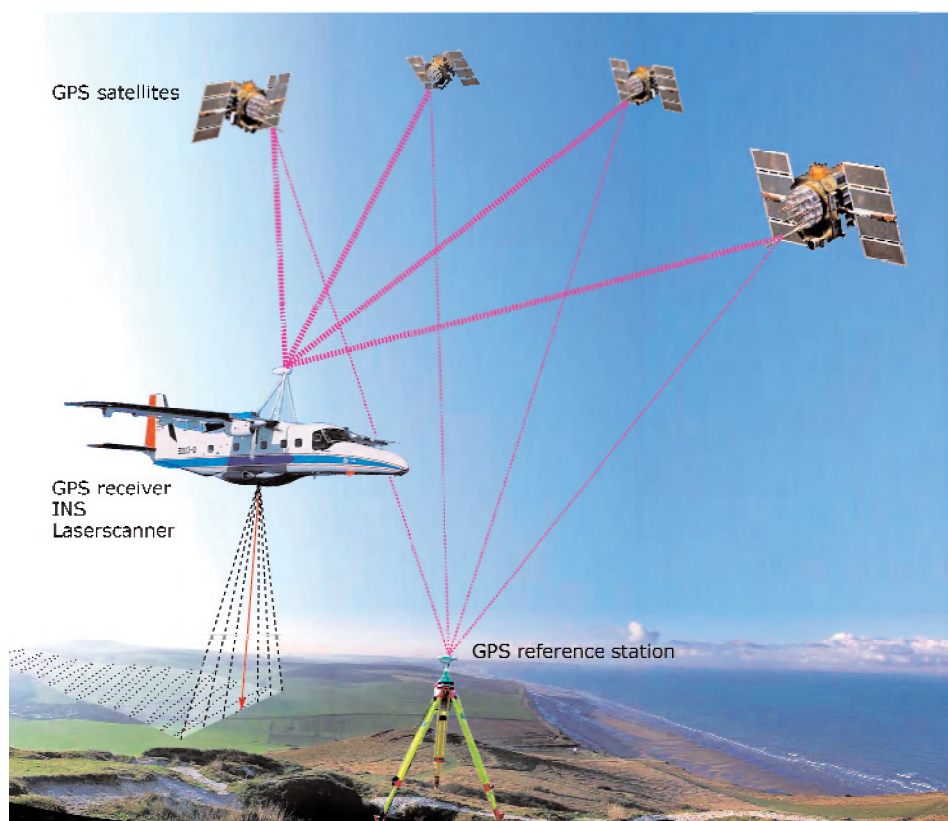
Principe van hyperspectrale teledetectie. Vanuit een vliegtuig worden opnamen gemaakt van de kust in tientallen smalle spectrale banden. Deze laten toe de verschillende types zand op het strand te onderscheiden (BDR)

Hierdoor bekomt men voor ieder beeldelement, of pixel, een spectrale signatuur die informatie bevat over het zand dat het zonlicht reflecteert. Kleine verschillen in vochtgehalte, korrelgrootte of zelfs mineraalsamenstelling maken dat de spectrale signatuur er anders uitziet.

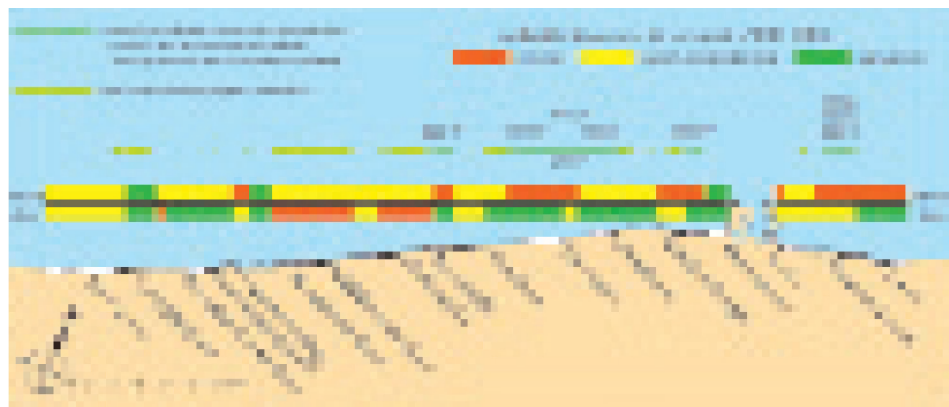
Met een hyperspectrale sensor is het mogelijk om het strand in te delen in een aantal zandklassen door middel van op de grond geïdentificeerde referentiegebieden. Zo is het perfect mogelijk om het verschil te zien tussen zeezand dat gebruikt wordt voor suppleties en badstrandophogingen



Hyperspectrale vliegtuig-data (23 augustus 2000) werden gebruikt om het strand tussen de pier van Blankenberge en de westelijke strekdam van Zeebrugge te klasseren in acht zandtypes. De oranje klasse (N° 7) wijst op de aanwezigheid van gesuppleerd zand (suppletiezone van de Duinse Polders)(BDR)



■ Principe van vliegtuig-laserscanning. De laserscanner in het vliegtuig zendt een infrarode puls uit die door het oppervlak (het strand) wordt gereflecteerd en terug opgevangen door de sensor. De tijd tussen uitzenden en ontvangen van de puls laat toe de afstand te bepalen tussen het vliegtuig en het strand. Samen met de exacte positie van het vliegtuig en de richting waarin de puls wordt uitgezonden kan men op die manier de topografie van het strand bepalen (BDR)



■ Overzicht van stroken langs de Vlaamse kust met erosie, aangroei, of geen morfologische verandering over de periode 2000-2006. Ook is aangegeven waar badstrandophogingen plaatsvinden en waar recent strandsuppleties zijn uitgevoerd. In zones met zandaanvoerwerkzaamheden verwijst erosie en aangroei naar de natuurlijke ontwikkeling volgend op de werkzaamheden (BDR)

enerzijds en het zand dat natuurlijk aanwezig is op het droge strand anderzijds. De grovere korrel, het hogere ijzergehalte en het hoger gehalte aan schelpfragmenten in suppletiezand zorgen voor een verschillende spectrale signatuur. In de tijd opeenvolgende zandklassekaarten laten toe om op kwalitatieve wijze het zandtransport op te volgen en duidelijker de transportrichtingen te bepalen dan wanneer we enkel beschikken over hoogtegegevens. De figuur op de vorige pagina toont een geklasseerd hyperspectraal beeld waarop 8 zandklassen onderscheiden zijn.

LIDAR of laserscanning

De tweede sensor die gebruikt werd, is een laserscanner of LiDAR (afkorting van 'Light Detection And Ranging'). In tegenstelling tot een hyperspectrale scanner die gebruik maakt van het zonlicht, is een laserscanner een actief systeem dat zelf een infrarode puls uitzendt en terug opvangt nadat deze gereflecteerd is op het strand. De tijd tussen uitzenden en ontvangen van de puls laat toe de afstand te bepalen tussen de sensor in het vliegtuig en het strand. Samen met de exacte positie van het vliegtuig en de richting waarin de puls wordt uit-

gezonden kan men op die manier de hoogteligging van het strand bepalen (zie figuur). Een overvlieging levert een digitaal terreinmodel op dat de hoogteligging van het strand op dat ogenblik weergeeft. Door de hoogteligging op verschillende tijdstippen met elkaar te vergelijken, kan men berekenen hoeveel zand er op een bepaalde plaats werd weggenomen (afslag of *erosie*) of afgezet (aangroei of *sedimentatie*). We krijgen aldus een kwantitatief beeld van het zandtransport.

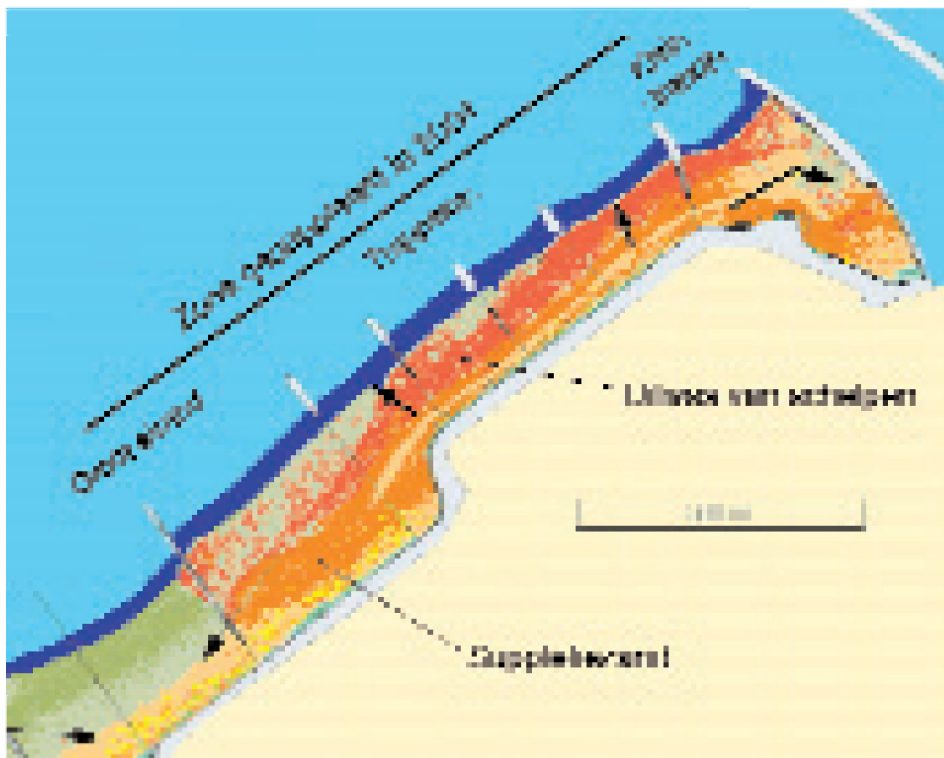
Overzicht van het zandtransport in de periode 2000-2006 langs de Vlaamse kust

Tussen 2000 en 2004 werden telkens op ongeveer hetzelfde tijdstip vier hyperspectrale en vier laserscans opnamen gemaakt van het volledige strand. Onze analyse maakt ook nog gebruik van een laserscanopname in 2006, waarbij geen hyperspectrale opname werd uitgevoerd. Aldus beschikken we over instrumenten om transportrichtingen en hoeveelheden te bepalen over de periode 2000-2004. De laserscanopname van 2006 laat bovendien toe na te gaan of de vastgestelde trends doorlopen tot 2006.

In de periode 2000-2006 wisselden stroken met erosie, morfologisch evenwicht of aangroei elkaar af langs de Vlaamse kust (zie figuur). Tevens kan de evolutie voor de strand- en duinzone verschillend zijn. Wat het strand betreft, merkt men op dat vele stroken met kustafslag vaak samenvallen met plaatsen waar in de voorbije jaren een strandsuppletie werd uitgevoerd. Juist omdat de stranden op die plaatsen afslag kennen, werden de strandsuppleties er verricht. Op zich stopt zulke ingreep het erosieproces niet, maar door de heraanleg van het strand wordt de morfologie van de plaats een aantal jaren "teruggedraaid". Om te beletten dat de strandafslag na de suppletiewerken al te snel het werk zou tenietdoen, wordt zeezand met een grovere korrel aangebracht dan wat voorheen op het strand aanwezig was. Grof zand slaat immers minder snel af. Dit grovere zeezand kan in de hyperspectrale registraties herkend worden en wordt als een afzonderlijke klasse in kaart gebracht.

Van de Franse grens tot aan de IJzermonding

De meest westelijke strook van de Vlaamse kust vertoont over de periode 2000-2006 een stabiel (De Panne) en een aangroeiend (Koksijde – Oostduinkerke – Nieuwpoort) gedeelte. Vooral in Koksijde-Bad kende het strand nog aangroei. Hier is het strand sterk toegenomen na de bouw van twee strandhoofden in 1987-1988. De metingen wijzen erop dat de aangroei thans minder intens verloopt en wellicht stilaan ten einde zal komen. Er wordt dus een nieuwe evenwichtstoestand bereikt ter hoogte van de nieuwe strandhoofden. In de zones waar strandophogingen worden uitgevoerd,



■ Geklasseerde hyperspectrale registratie voor Oostende-centrum (beeld opgenomen op 6 juli 2004, een paar maanden na de suppletie). Pijlen geven de voornaamste transportrichtingen weer (BDR)

nl. te Sint-Idesbald, Koksijde-Bad en Nieuwpoort-Bad, zijn de zandmassa's die aangevoerd worden als aparte zandklassen weergegeven in de hyperspectrale kartering. De hyperspectrale opvolging toont aan dat het zand grotendeels ter plaatse blijft.

Van de IJzermonding tot Oostende

Onmiddellijk ten oosten van de IJzermonding is er een kuststrook die erosie kent. Verder, vanaf Westende-Bad tot Oostende, worden in alle badplaatsen jaarlijkse badstrandophogingen uitgevoerd. Het hierbij aangebrachte zand is te herkennen in de zandklassekaarten. De zandaanvoerwerken bij de strandophogingen zijn noodzakelijk om de droogstrandberm in stand te houden. Immers de natuurlijke tendens is hier afslag van de droogstrandberm. In deze hele kuststrook geldt dat de zandaanvoerwerken volstaan om de erosie te

compenseren.

Het centrum van Oostende werd vóór 2004 gekenmerkt door de afwezigheid van een droogstrand. De enige zeewering werd gevormd door de zeedijk. Die biedt echter onvoldoende bescherming, en daarom werd beslist om een 'noodstrand' aan te leggen in het centrum van Oostende. De suppletiewerken werden uitgevoerd in april-juni 2004. Naast het nieuwe strand, dat goed zichtbaar is vanop de dijk, werd er eveneens een onderwaterbank aangelegd op de vooroever (met zand en voor een klein deel met grind). Het nieuwe strand biedt niet enkel een adequate bescherming in geval van stormen, maar betekent ook een recreatief strand voor het centrum van onze koningin der badsteden. In de figuur herkennen we het gesuppleerde strand duidelijk als de oranje klasse. Het aangebrachte zand is immers spectraal te onderscheiden van het zand dat hier

origineel aanwezig was en daardoor kan het uit de hyperspectrale beelden als een aparte klasse gehaald worden. Op het natstrand zien we een roodoranje klasse. Dit is een zeer schelprijk zandtype dat typisch ontstaat door relatieve toename van schelpen uit het gesuppleerde zandlichaam. De toename is het gevolg van het preferentieel wegnemen van fijnere korrels en deze klasse wijst hier op zandverlies. De zwarte pijlen duiden op zeewaartse afslag, transport richting het Klein Strand en een beperkt transport naar het westen. Merk op hoe de samenstelling van het strand scherp begrensd is ten westen van de suppletiezone.

Van Oostende tot Blankenberge

Uit de hyperspectrale opvolging blijkt een verschillende ontwikkeling voor verschillende suppletiegebieden. In De Haan en omgeving werd na vrij omvangrijke suppletiewerken in de jaren '90 wel een plaatselijke herschikking vastgesteld, maar er werd geen morfologische invloed waargenomen ten westen, in Bredene, of ten oosten, in Wenduine. Doordat bij de suppletiewerken het strand aanzienlijk verbreedde, kon het duin (met "duin" wordt hier bedoeld: de hogere delen van het droogstrand en de duinvoet) er stevig aangroeien. De winst in de duinzone is iets kleiner dan de verliezen op het strand. Er treedt dus nog een netto afslag richting zee op. De volumeverliezen over de periode 2000-2006 waren echter klein vergeleken met de eerder gesuppleerde volumes. Wellicht is dit mede te danken aan de aanwezigheid van een onderwaterberm. Er werd immers bij de opspuitingswerken ter hoogte van De Haan een onderwater-suppletie (voedingsberm) uitgevoerd. Bedoeling hiervan is het strand bij mooi weer te "voeden" vanaf de onderwaterberm. Bij storm zorgt deze berm er dan weer voor dat het geërodeerde zand wordt opgevangen en niet verder zeewaarts verplaatst.

Van Blankenberge tot Zeebrugge

Ter hoogte van het vakantiecentrum 'Duinse Polders', bevindt zich een strandstrook die in het verleden erosie kende. Daarom werd hier in 1999 een suppletie verricht, om zo een droogstrand te realiseren en de eerder afgeslagen zeeduinhelling te herstellen. Ook hier blijkt de suppletie nadien vrij goed stand te houden. Over de periode 2000-2006 sloeg slechts 15% van het aangebrachte zand af.

Een opvallend morfologisch verschijnsel is de sterke aangroei van het strand in Zeebrugge. Sinds de aanleg van de strekdammen van de haven van Zeebrugge in de periode 1979-1985, wordt het langtransport (dat resulterend van west naar oost verloopt) hier quasi volledig onderbroken. Hierdoor ontstond er een groot, nog steeds aangroeiend strand aan de westzijde van de westelijke strekdam (zie ook foto Zeebrugge, vooraan in het artikel). Tussen 2000 en 2006 werd hier meer dan 500.000 m³ zand afgezet. Een deel hiervan wordt gewonnen en



Hoogteverschilkaarten (Ia-Ic)

Geen significant hoogteverschil

tussen +0,25 m en -0,25 m

Negatief hoogteverschil
(erosie)

lichte erosie
(-0,25 m tot -0,50 m)
matige erosie
(-0,50 m tot -0,75 m)
sterke erosie
(meer dan -0,75 m)

Positief hoogteverschil
(aangroei)

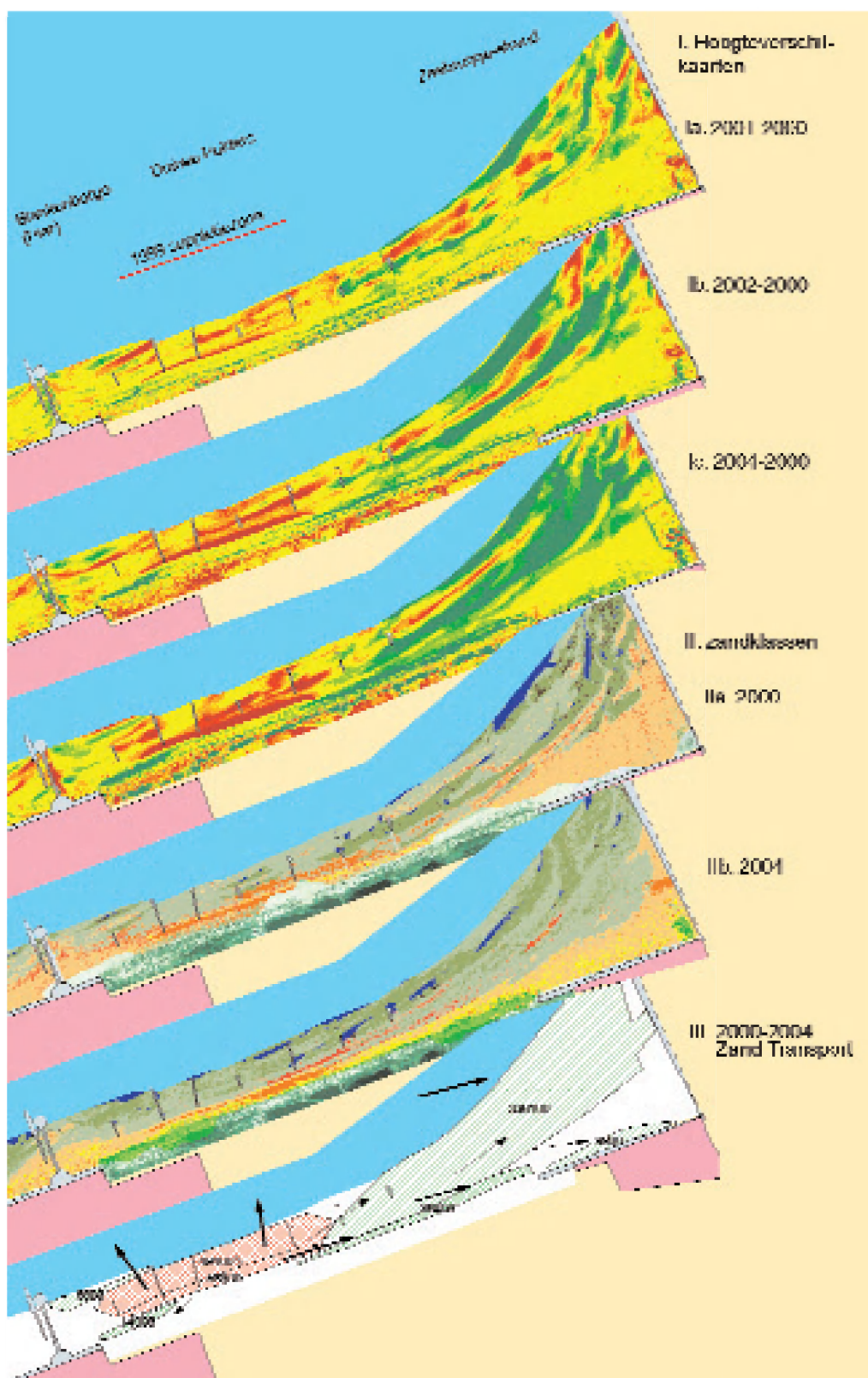
lichte aangroei
(+0,25 m tot +0,50 m)
matige aangroei
(+0,50 m tot +0,75 m)
sterke aangroei
(meer dan +0,75 m)

Zandklassekaarten (IIa-IIb)

Water
Vegetatie
Mengpixels rond vegetatie
Zand met slib
Fijn zand van het natstrand
Gemiddeld zand van het natstrand
Zand van het droogstrand
Zand van de droogstrandberm
Zand van de droogstrandberm
Zand van de droogstrandberm
Zand van de droogstrandberm
Zand met veel schelpen
en/of schelpfragmenten
Fijn duinzand

Zandtransportkaart (III)

erosie
erosie & verandering in klasse
verandering in klasse
aangroei
aangroei & verandering in klasse



De drie bovenste kaartjes zijn de hoogteverschilkaarten voor sept. 2001 – sept. 2000 (Ia), dec. 2002 – sept. 2000 (Ib) en sept. 2004 – sept. 2000 (Ic). Daaronder staan twee geklasseerde hyperspectrale beelden die de zandklassen weergeven in aug. 2000 (IIa) en jul. 2004 (IIb). Het onderste kaartje (III) geeft weer waar er tussen 2000 en 2004 erosie en aangroei is opgetreden; de cijfers zijn verschilvolumes zand in m³ en de pijlen wijzen op de resulterende transportrichting (BDR)



gebruikt voor infrastructuurwerken. Enkele van de beschikbare hoogteverschilkaarten en zandklassekaarten alsook de afgeleide transportvolumes en -richtingen zijn weergegeven in de figuur op pag. 11. Door combinatie van al deze gegevens in een Geografisch Informatie Systeem kan een analyse gemaakt worden van het waargenomen zandtransport.

Van Heist tot aan de Zwinmond

Het strand van Knokke-Zoute blijkt reeds verschillende decennia sterk onderhevig te zijn aan erosie. De erosie is hier groter dan elders aan onze kust. Hier werden, na een grootschalige suppletie in 1978-1980 - waarbij de hele strandstrook ten oosten van Zeebrugge werd hersteld - driemaal onderhoudssuppleties uitgevoerd. Bij de tweede onderhoudssuppletie in 1999 werd ca. 490.000 m³ zand aangebracht in Knokke-Zoute. Nadien, in de periode 2000-2004, werd een afslaghoeveelheid gemeten van de orde van 40% van de aangebrachte volumes. Terwijl het gesuppleerde zand op het droog- en natstrand vrij snel weer afslaat, draagt iedere suppletie ook bij tot de verzwarening van de duinenrij tussen het strand en de zeedijk ter hoogte van de Zwinbosjes. Voor het geheel van de suppletiezone Knokke-Zoute zijn de resulterende verliezen richting zee groter dan bij de Duinse Polders en in De Haan. De sterke erosie in Knokke-Zoute wordt toegeschreven aan de Appelzakgeul, een getijgeul die zich vlak vóór het strand van Knokke-Zoute op de vooroever bevindt. Deze geul zorgt ervoor dat het geërodeerde zand niet op de vooroever achterblijft, maar door getijstroom wordt weggevoerd. Hierdoor ontwikkelt er zich op de vooroever geen buffer van zand die tijdens rustig weer kan zorgen voor voeding van het strand.

En de toekomst?

Voor de gehele Vlaamse kust en de aangrenzende kusten geldt dat de omvang van zandaanvoerwerken de laatste decennia toeneemt. In zeewering is de klemtoon duidelijk verlegd van harde structuren naar het natuurmateriaal zand. Hyperspectrale remote sensing, in combinatie met laserscanning,

draagt bij tot een beter inzicht in de morfologische respons van het strand na zandaanvoerwerken. De technologische vooruitgang staat echter niet stil. In de nabije toekomst bestaat de mogelijkheid dat onbemande vliegtuigen (<http://www.pegasus4europe.com>) worden ingezet waardoor het zandtransport aan onze kust nog gedetailleerder in kaart kan worden gebracht. Onbemande vliegtuigen zijn operationeel goedkoper dan klassieke vliegtuigen en kunnen bovendien maandenlang in de lucht blijven. Hierdoor kunnen meer opnamen gemaakt worden tegen een lagere kostprijs. Dankzij deze nieuwe technieken zal het zandtransport langs onze kust nog efficiënter kunnen worden opgevolgd, wat onze kennis van de natuurlijke processen ten goede zal komen. Bovendien zal het ook mogelijk zijn de impact van de acties genomen ter behoud van het veiligheidsniveau nog beter te evalueren.



Dankwoord

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van de cel Kust - Afdeling Kust - Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaams Ministerie voor Mobiliteit en Openbare Werken. Contactpersoon: ir. Peter DeWolf.

Referenties

- DE MOOR, G. 2006. Het Vlaamse strand, geomorfologie en dynamiek. VLIZ, Oostende, 154 pp.
- DERONDE, B., HOUTHUYS, R., DEBRUYN, W., FRANSAER, D., VAN LANCKER, V. & J.-P. HENRIET 2006. Using airborne hyperspectral data and laserscan data to study beach morphodynamics along the Belgian coast. *Journal of Coastal Research* 22(5): 1108-1118.
- DERONDE, B. & HOUTHUYS, R. 2007. Rapport "Bepaling van het middellange-termijn zandtransport op het Vlaamse strand op basis van geklasseerde hyperspectrale registraties en laserscan data". Onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Kust van het Vlaams Ministerie voor Mobiliteit en Openbare Werken.
- HOUTHUYS, R., DE MOOR, G. & J. SOMME 1993. The shaping of the French-Belgian North Sea Coast throughout recent geology and history. In: *Coastlines of the Southern North Sea* (Eds. R. Hillen and J. Verhagen). New York, American Society of Civil Engineers: 27-40.
- VAN DE WALLE B. 2001. Kustverdediging: de strijd tegen de zee. *De Grote Rede* 3, VLIZ, Oostende: 14-21.