

De Noordzee als een landschap vol pieken en dalen

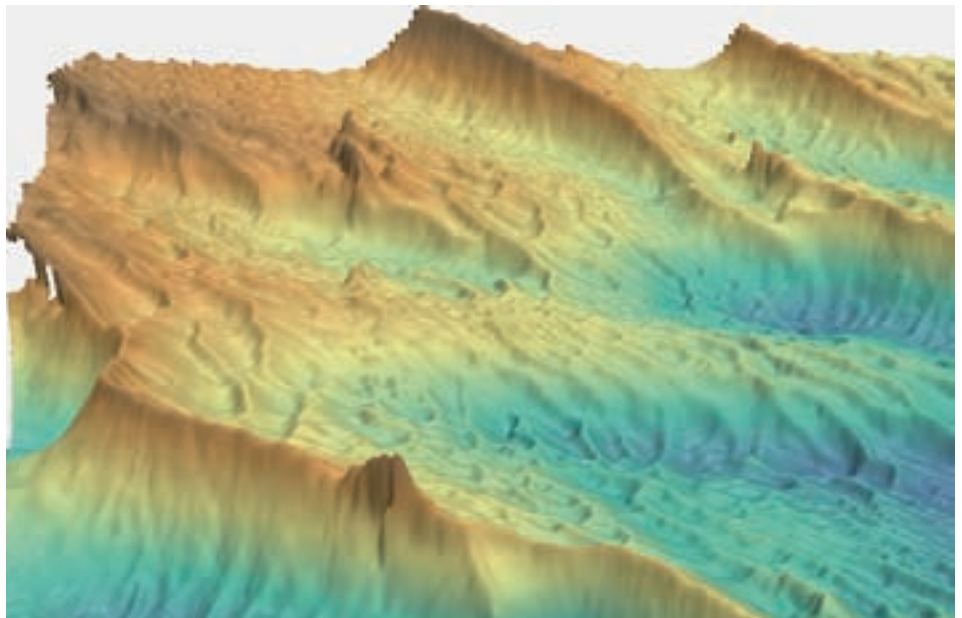
Thomas Van Oyen*, Vera Van Lancker** en Huib de Swart***

* Vakgroep Civiele Techniek, Universiteit Gent, Technologiepark 94, Zwijnaarde, Gent

** Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee, Gulledele, 100, Brussel

*** Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht, Universiteit Utrecht, IMAU, NL-3508 TA Utrecht, Nederland

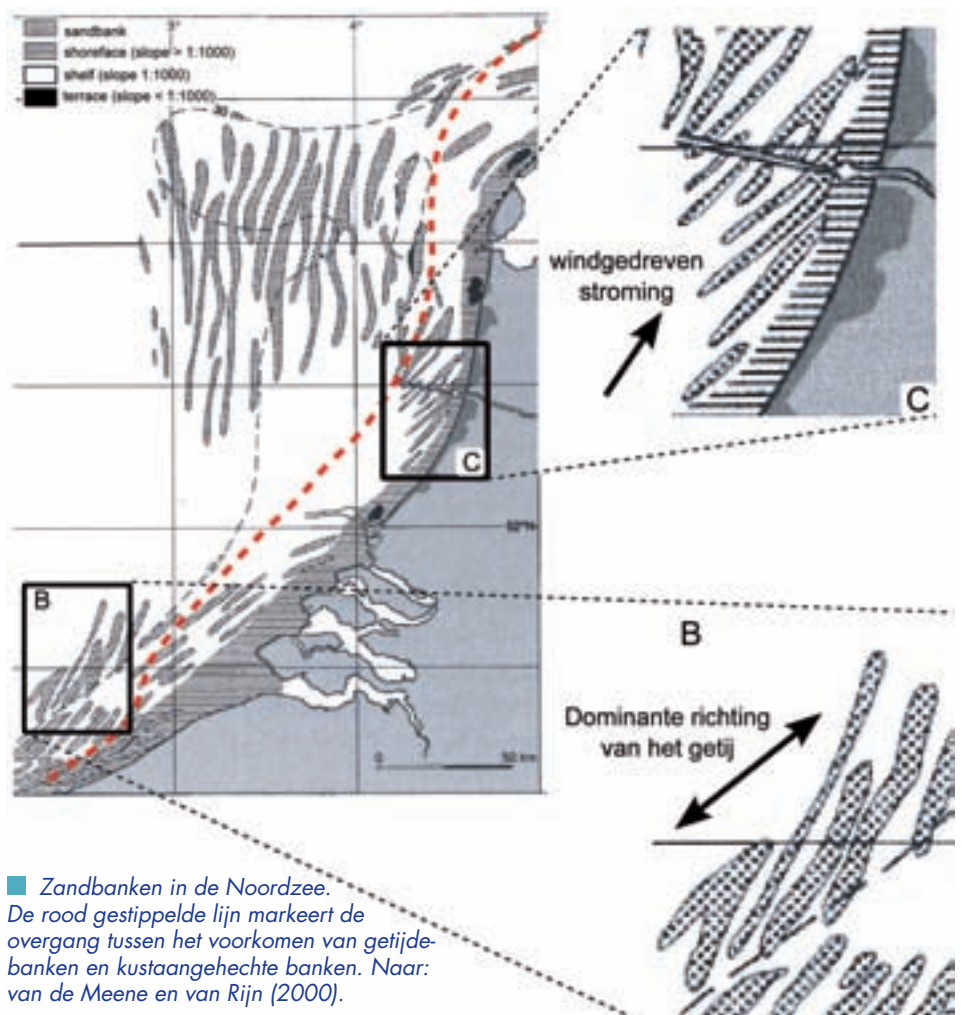
De Wandelaar, Thornton Bank, Ravelingen, West- en Oosthinder, ... Zandbanken zijn voor liefhebbers van onze Belgische kust vertrouwde begrippen. Ze komen dan ook vaak onder de aandacht bij het bredere publiek als vestigingsplaats voor offshore windmolens. Maar naast de gekende zandbanken komen in de Noordzee ook andere “bodenvormen” voor, elk met hun eigen kenmerken. Deze bodempatronen maken het onderwaterlandschap van onze Noordzee erg divers. Toch ontglippen de verschillende bodenvormen vaak aan onze aandacht. Onterecht zo blijkt, want ze vervullen een belangrijke ecologische functie en hebben invloed op bijvoorbeeld de scheepvaart en zandwinning. Hoe ontstaan nu deze bodempatronen in de Noordzee? Welke types kan je er aantreffen? En hoe verschillen ze van elkaar?



Onderwaterreuzen in twee varianten: getijde- en kustaangehechte zandbanken

Als we een zeekaart van de zuidelijke Noordzee bekijken (zie rechts), worden we meteen met de neus op de feiten gedrukt: de bodem kenmerkt zich door een regelmatige opeenvolging van langgerekte dieptes en ondieptes. **Zandbanken**, horen wij je meteen zeggen. Inderdaad, door hun omvang zijn zandbanken wellicht de bekendste bodempatronen die voorkomen in de Noordzee. Deze “kammen” kunnen zich dan ook over meer dan 10 km uitstrekken en een breedte hebben van enkele kilometers. Op het eerste zicht lijken ze een vaste oriëntatie te hebben. Als we de zeekaart echter meer in detail bekijken, dan valt op dat het herhalend patroon van de bodem niet overal hetzelfde is. Zo illustreert de kaart hiernaast dat, als we dieper in zee gaan (links van de rode lijn), de oriëntatie van de kammen afwijkt van deze dicht bij de kustlijn (rechts van de rode lijn).

De verklaring dient gezocht te worden in hun ontstaansgeschiedenis. De bodenvormen die we verder van de kustlijn aantreffen zijn **getijde(zand)banken**. Zoals de naam doet vermoeden ontstaan getijdebanken op plaatsen waar de waterbeweging voornamelijk gestuurd



■ Zandbanken in de Noordzee. De rood gestippelde lijn markeert de overgang tussen het voorkomen van getijdebanken en kustaangehechtebanken. Naar: van de Meene en van Rijn (2000).

wordt door getijwerking. Een minimale (diepte-gemiddelde) stroomsnelheid van 0,5 m/s is daarbij vereist. Opvallend is dat deze banken ‘tegen de wijzers van de klok in’ gedraaid liggen ten opzichte van de richting van de sterkste eb- en vloedstroming (zie B op kaart)

Zandbanken dicht bij de kust zijn echter niet gekoppeld aan de dominante richting van de getijstroming. Voor deze bodemvormen geldt dat hun toppen/dalen een hoek van 20° tot 50° maken met de overheersende richting van de windgedreven stroming bij storm (zie C op kaart). Op het Belgische en Nederlandse deel van de Noordzee is deze door stormen veroorzaakte

stroming voornamelijk noordoostwaarts gericht. Omdat deze zandbanken voorkomen tot net voor de zone waar golven breken, worden ze **kustaangetichte banken** genoemd.

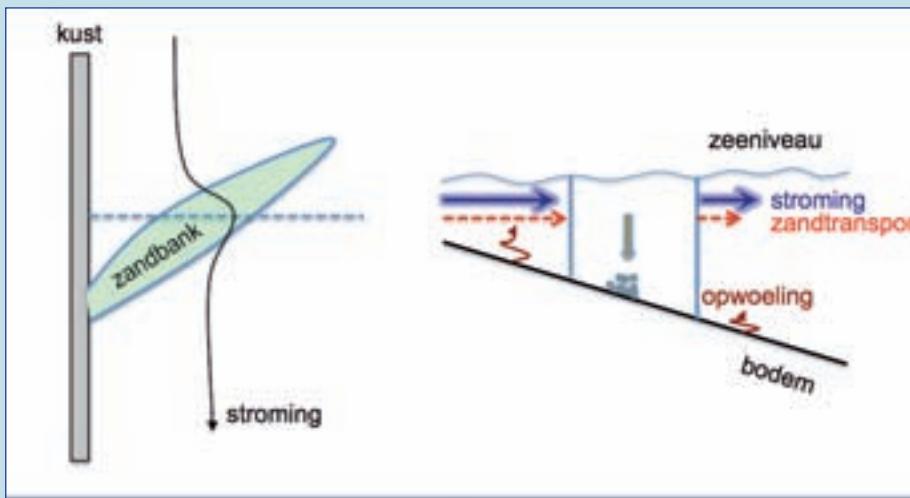
Ontstaan van zeebodempatronen

Ondanks de verschillen tussen getijdezandbanken en kustaangetichte banken, hebben ze één gemeenschappelijke eigenschap: hun ontstaan en ontwikkeling zijn het resultaat van een positieve wisselwerking tussen de vorm die ze

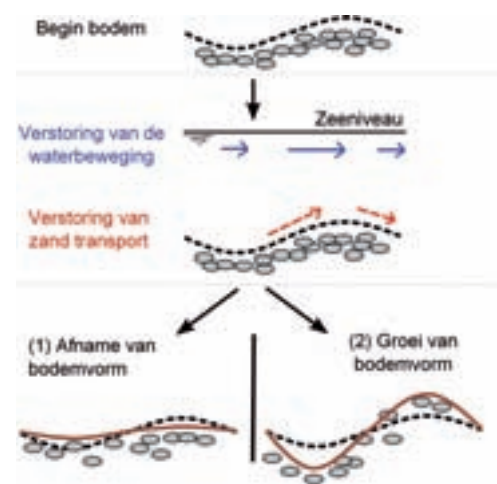
aannemen (de ‘topografie’) en die lokaal de waterbeweging verstoort, en de stroming die zand transporteert en dus, op zijn beurt, het bodemprofiel kan wijzigen. Dit geldt overigens ook voor de bodemvormen die verderop aan bod zullen komen. Recent onderzoek heeft aangetoond dat de bodemvormen die voorkomen in de Noordzee ontstaan omdat deze opeenvolgingen van kammen en geulen de stroming zodanig beïnvloeden dat de waterbeweging (en het daaraan gekoppelde sedimenttransport) de toppen en dalen in stand houden en versterken. Het zand wordt m.a.w. telkens opnieuw zo opgewarrelt en afgezet dat de toppen groeien en de dalen eroderen (zie figuur onder). Stap voor stap kan dit proces als volgt worden begrepen. Alles start bij een kleine ophoging van de bodem. Deze verstoring heeft uiteraard ook een invloed op de waterbeweging. Het onmiddellijke resultaat hiervan is dat ook het zandtransport op een bepaalde manier beïnvloed wordt. Nu zijn er twee mogelijkheden: (1) het veranderde zandtransportpatroon doet de verstoring in het bodempatroon weer verdwijnen (links in onderste paneel figuur), of (2) het verstoorte zandtransport zorgt voor een verdere afzetting van zand op de top en erosie in het dal, waardoor de oorspronkelijke verstoring van de topografie versterkt wordt (rechtsonder in figuur). Het blijkt nu dat de bodempatronen die we waarnemen in de Noordzee net die topografie hebben die aanleiding geeft tot een sterke groei van het patroon. De aanwezigheid van bodemvormen in de Noordzee, zoals zandbanken en kleinere bodempatronen, is dus het resultaat van terugkoppelingsmechanismen die de bodem in ritmische patronen organiseert (zie ook kader “Waar vinden kustaangetichte zandbanken hun oorsprong?”).

Waar vinden kustaangetichte zandbanken hun oorsprong?

Over het ontstaan van kustaangetichte banken zijn verschillende verklaringen in omloop. Eén daarvan bestempelt ze als voormalige zandduinen of door rivieren afgezette zandpakketten, die later door zeespiegelstijging onder water zijn komen te staan. Recent onderzoek toont echter aan dat de banken ook in zee kunnen ontstaan door een spontane wisselwerking tussen stroming, golven en de zandige bodem. Dit mechanisme wordt geïllustreerd in de onderstaande figuur.



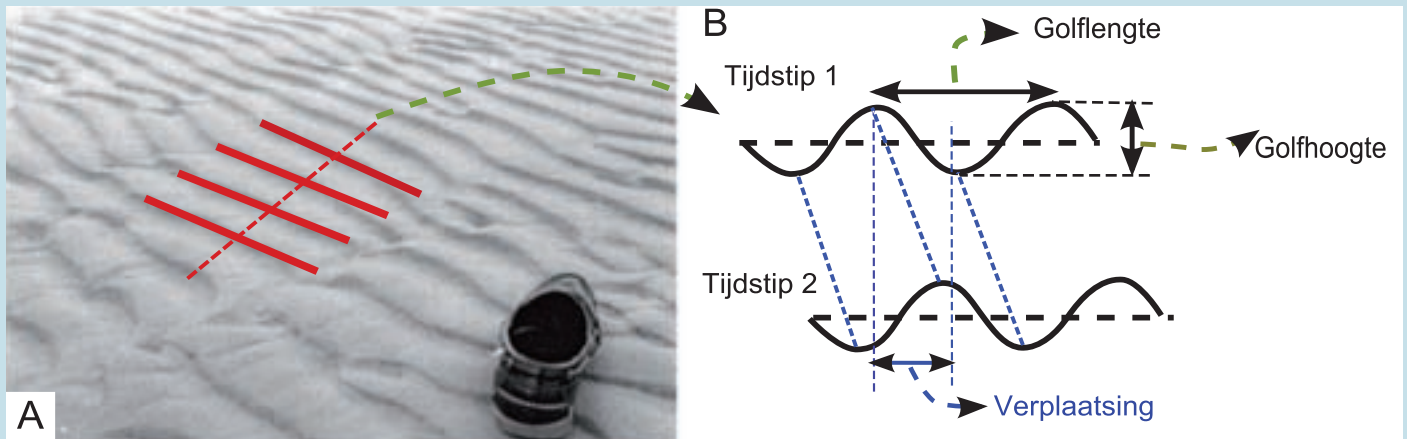
Van bovenaf (links) zie je hoe een windgedreven stroming langs de kust (zwarte pijl) zee- waarts wordt afgebogen door een kustaangetichte zandbank. Dit gebeurt omdat, wegens massabehoud, de stroomcomponent loodrecht op de kam van de zandbank toeneemt bij afnemende waterdiepte. Rechts zie je op een zijanzicht boven de zandbank hoe dit leidt tot aangroei van de zandbank. Wanneer deze zee- waarts gerichte stroming (blauwe pijlen) vervolgens verder van de kust in dieper water komt, vermindert de stroming en dus ook de opwoeling van zand (gekartelde bruine pijlen). Hierdoor wordt ook het zandtransport (rode pijlen) geringer en wordt het zandoverschot afgezet op de bank die daardoor in hoogte toeneemt. Op zijn beurt leidt dit tot een steeds groter wordende zee- waartse afbuiging van de kustlangse stroming. De bank is immers nog ondieper geworden. Er is dus sprake van positieve terugkoppeling: de zandbank groeit en doordat ze groeit, veranderen de stromingen en ontstaat er nog meer zandafzetting. Omdat de grootste afzetting van zand enigszins stroom- afwaarts van de kam plaatsvindt, is er niet alleen sprake van groei, maar ook van verplaatsing van de bank. Toch blijft de zandbank niet groeien. Eens ze een bepaalde hoogte heeft bereikt, vertraagt de groei om vervolgens stil te vallen. Zand heeft immers ook de neiging om zich langs de helling naar beneden te verplaatsen. Zo ontstaan zandbanken die in een soort evenwicht gehandhaafd blijven. De competitie tussen verplaatsing van zand door golven en stroming enerzijds, en door hellingeffecten anderzijds, bepaalt ook de onderlinge afstand tussen opeenvolgende banken. Als de banken zeer ver van elkaar liggen is de afbuiging van de stroming en de groei zeer gering. Maar als de banken dicht op elkaar liggen is het transport van zand langs bodemhellingen zeer effectief waardoor de banken niet meer groeien. Uit modellen blijkt dat de optimale afstand ongeveer enkele kilometers is, wat nauw aansluit bij observaties van de kustaangetichte zandbanken in de Noordzee. Tot slot: kustaangetichte zandbanken groeien alleen als de zee- waartse uiteinden van de kammen stroomop- waarts liggen ten opzichte van de landwaartse zijdes. Als de oriëntatie van de zandbanken omgedraaid zou worden, dan ontstaat er een negatieve terugkoppeling: er wordt juist zand weggehaald boven de bank en de bank verdwijnt.



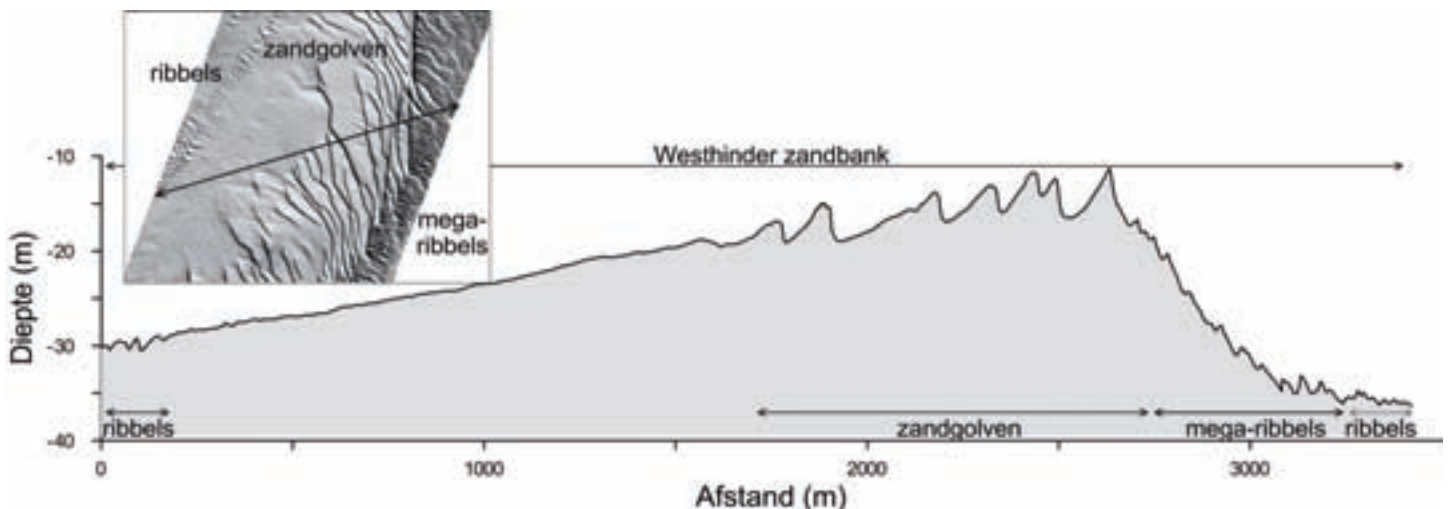
Schematische voorstelling in zijanzicht van de dynamische vorming van bodempatronen (niet in verhouding; zand voorgesteld als grijze ovalen). Alles start met een kleine verhoging van de zeebodem als resultaat van een verstoring. Als gevolg hiervan kan ofwel een groei van die onffenheid optreden (= optie 2 uit tekst boven), of een afvlakking (= optie 1).

Hoe bodemvormen herkennen?

Verskillende karakteristieken samen kenmerken een specifieke bodemvorm (voor synthese zie tabel pag. 21). In de eerste plaats manifesteert een bodempatroon zich door het herhalend karakter van diepere (geulen) en ondiepere (toppen) delen van de bodem. Wanneer je nu op het strand of op een zeekaart een dergelijk patroon opmerkt, is één van de belangrijkste stappen om het bodempatroon te herkennen, de gemiddelde afstand tussen twee opeenvolgende toppen te schatten. Dit kenmerk wordt de *golf lengte* van het bodempatroon genoemd. Daarnaast is een type bodemvorm ook vaak uniek door de *golfhoogte* (de afstand tussen het dal en de top van het ritmisch patroon). Samen geven beide karakteristieken de schaal van de bodemvorm aan. Een laatste kenmerk van een bepaald type bodemvorm is het voorkomen van verplaatsing van het patroon (zie figuur rechts). We stellen immers vast dat, wanneer we op twee verschillende tijdstippen op dezelfde plaats waterdieptes meten, het dal en de top van de bodem verschoven kan zijn ten opzichte van een vorig tijdstip. Het patroon heeft zich dus verplaatst. Dit is ook een uniek kenmerk om een specifieke bodempatroon te herkennen, want de afstand waarover de toppen en dalen zich kunnen verplaatsen gedurende een bepaalde periode verschilt voor ieder type bodemvorm.



A) Het voorkomen van zandribbels op het strand. De dikke doorlopende lijnen duiden de ligging van enkele kamlijnen aan. B) Illustratie van een doorsnede (rode gestippelde lijn in het linker paneel) van het bodemprofiel (hier aangeduid met een zwarte volle lijn) op twee verschillende tijdstippen. De bodem is dus gekenmerkt door een ritmische opeenvolging van toppen en dalen met een bepaalde golf lengte en golfhoogte. Door de ligging van de toppen/dalen op twee verschillende tijdstippen met elkaar te vergelijken, kan waargenomen worden of de bodemvorm zich verplaatst.



Op deze dwarsdoorsnede (en bovenbeeld, zie inzet) van de Westhinder zandbank is te zien dat op zandbanken ook andere bodemvormen kunnen optreden. Zo vertoont de kam van de zandbank een reeks tot 5 m hoge zandgolven die elkaar opvolgen om de 100-200 m. Langs de flanken en in de geulen tussen de zandbanken vinden we dan weer kleinere bodempatronen zoals zandribbels en megaribbels (zie verder)(Delev et al., 2004).

Welke andere bodemvormen kan je nog ontdekken in de Noordzee?

Om nu ook nog de andere bodempatronen in de Noordzee te ontdekken, moeten we verder inzoomen op de bodem. Daarbij is het handig gebruik te kunnen maken van kenmerken als golf lengte, golfhoogte en oriëntatie (zie kader). Hiermee kan je immers een bepaalde bodemvorm beschrijven.

Zandgolven, een kleine en ondiepe variant van zandbanken

Zandgolven zijn gekenmerkt door een ritmische opeenvolging van toppen en dalen met een golf lengte (afstand tussen twee toppen, zie kader) van enkele honderden meter. Daarbij kunnen de toppen tot een derde van de waterdiepte (tot enkele meters hoog) uitgroeien. Opvallend is dat de kamlijnen van zandgolven niet in de dominante richting van het getij gericht zijn

(zoals bij getijdezandbanken), maar er vrijwel loodrecht op georiënteerd zijn. Daarnaast is een belangrijk kenmerk van zandgolven dat ze vaak zeer dynamisch zijn. Ze kunnen zich wel met enkele tientallen meters per jaar verplaatsen. Omdat ze zo de waterdiepte plaatselijk sterk veranderen, vormen ze een potentiële bedreiging voor bijvoorbeeld de stabiliteit van olieplatformen, pijpleidingen of voor de scheepvaart. Zandgolven vind je overigens in het grootste gedeelte van de

Noordzee. Soms komen ze voor op de kamlijn van een zandbank (zoals in dwarsdoorsnede pag. 19), maar ze worden ook geobserveerd op locaties waar geen grotere bodemvormen aanwezig zijn.

Lange bodemgolven, een geval apart

Lange bodemgolven moet je in de Noordzee zoeken als een speld in een hooiberg. Deze bodempatronen zijn zeldzaam en pas recent ontdekt. Ze komen dan ook enkel voor in zeer specifieke omstandigheden. Namelijk wanneer de waterbeweging slechts gedurende enkele fases van de getijcyclus sterk genoeg is om zand te transporteren, en de waterbeweging in de dominante richting van het getij (ebstroom en vloedstroom) niet veel groter is dan de stroomsnelheid die heerst bij de overgang tussen ebstroom en vloedstroom, en tussen vloedstroom en ebstroom (m.a.w. de lokale getijstrooming is elliptisch). Je herkent ze aan twee zaken: (1) Ze onderhouden een onderlinge afstand van ongeveer één kilometer (= golflengte); (2) de kamlijnen van lange bodemgolven liggen óf ongeveer 30° kloksgewijs georiënteerd óf maken een hoek van circa 65° tegen de wijzers van de klok in ten opzichte van de dominante richting van het getij (zie figuur).

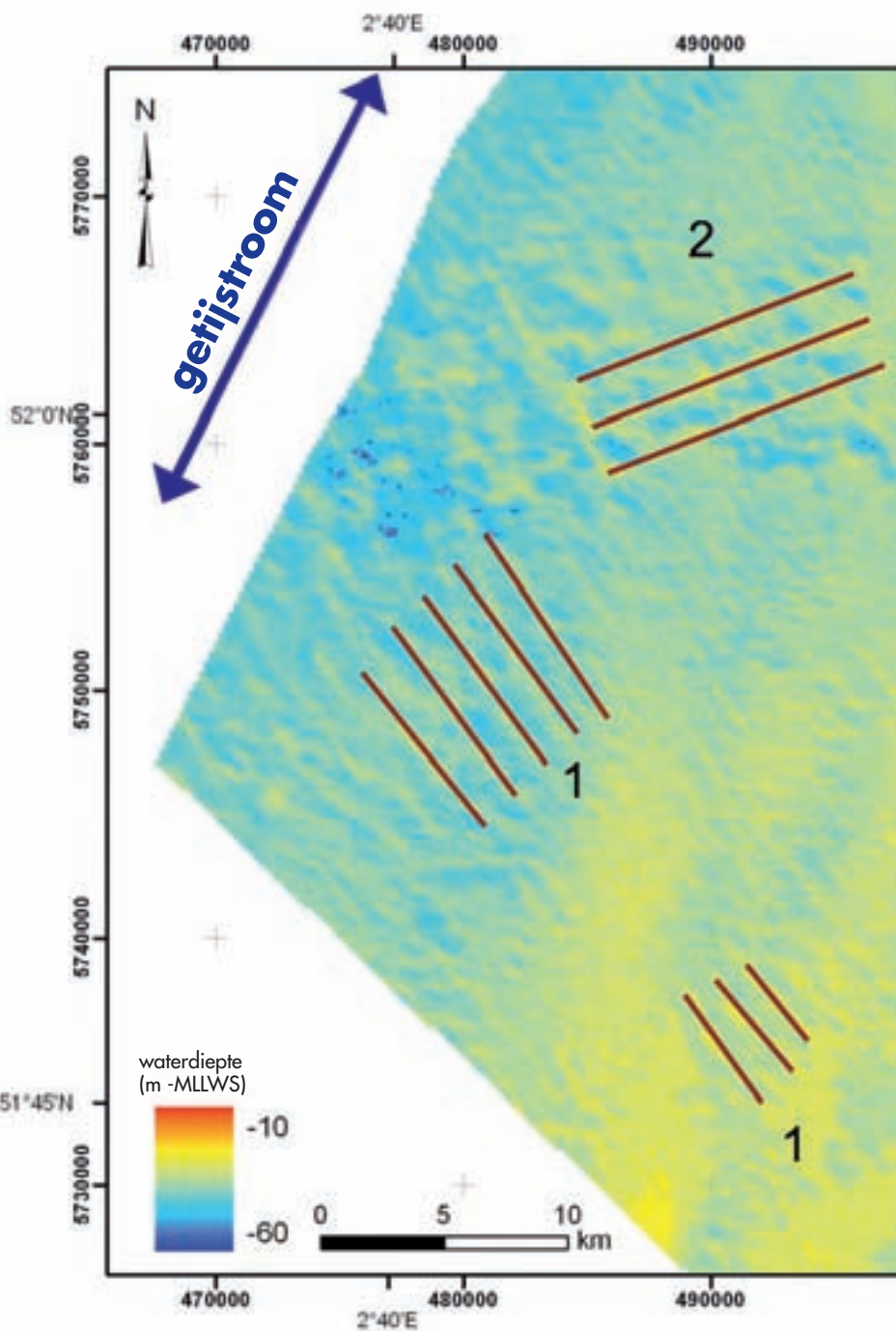
Bekend van op het strand: de zandribbels

Niet alle bodempatronen zijn moeilijk te vinden. De allerkleinste bodempatronen die voorkomen in de Noordzee, tref je dikwijls ook aan bij een wandeling op het strand: **zandribbels**. Hierdoor zijn deze



100 m

Op dit onderwaterbeeld van de Noordzeebodem is een dicht patroon van megaribbels te zien, bovenop een 4-tal zandgolven. Hoe lichter de tint, hoe dieper de bodem ligt. Naar: Passchier en Kleinhans (2005)



Op deze dieptekaart van een deel van de Noordzee zijn lange bodemgolven (bruine lijnen) te herkennen. Ze komen hier zowel voor met een oriëntatie van 65° in tegenwijzerszin t.o.v. de getijstroom (1) als 30° in wijzerszin (2) (figuur gebruikt met permissie van T. van Dijk – Deltares).

bodemvormen, ondanks hun geringe omvang (golflengte ongeveer 10 cm en golfhogte van enkele centimeters, zie figuur A in kader pag. 19), erg bekend. Wat opvalt als je deze bodemvormen op het strand ziet is dat de kamlijnen ongeveer evenwijdig liggen met de kustlijn. Dit komt omdat de oriëntatie van zandribbels bepaald wordt door de voortplantingsrichting van windgolven. De toppen van de ribbels liggen steeds loodrecht op de dominante richting van de golven. En omdat deze laatste meestal vrijwel loodrecht het strand oplopen, verlopen zandribbels doorgaans evenwijdig met de kustlijn.

Grote broer van de zandribbels, de megaribbels

Zandribbels hebben ook nog een grote broer: **megaribbels**. Deze bodempatronen hebben typisch een golflengte van ongeveer 10 m en een golfhogte van circa 1 m. Megaribbels komen veelvuldig voor in de Noordzee, zowel dicht bij de kust als dieper in zee. Ze bevinden zich vaak bovenop een ander bodempatroon (zoals bovenop zandgolven, zie figuur pag. 19). Deze bodempatronen kunnen zich zowel manifesteren als een tweedimensioneel (opeenvolging van toppen en dalen enkel in één horizontale richting, zoals in de figuur) als een driedimensioneel herhalend patroon (ritmische bodemveranderingen in beide horizontale richtingen). Er zijn

	Golflengte	Golfhoogte	Oriëntatie	Verplaatsing
Zandribbels	(0,1 - 1) m	(0,01 - 0,1) m	Loodrecht op de invallende golven	(0,01 -1) cm/minuut
Megaribbels	(5 - 20) m	(0,2 - 1,5) m	Zowel 2D- als 3D-patronen komen voor	Niet gekend
Zandgolven	(100 - 1000) m	(1 - 10) m	Loodrecht op de dominante richting van het getij	
Lange bodemgolven	1,5 km	5 m	Zowel kloks- als antikloksgewijs t.o.v. de dominante richting van de getijde-ellips is mogelijk	Niet gekend
Kunstaangehechte banken	(5 - 8) km	(1 - 5) m	Aangehecht met de kust. Het zeewaartse eind is stroomopwaarts t.o.v. de dominante windgedreven stroming	(1 - 10) m/jaar
Getijdebanken	(5 - 10) km	(5 - 15) m	De oriëntatie van de kamlijn is tegenwijzersin gedraaid t.o.v. van de getijstrooming hoofdrichting	

■ *Samenvatting van de verschillende bodempatronen aanwezig in de Noordzee en hun fysische kenmerken die de diversiteit van de bodempatronen weergeven*

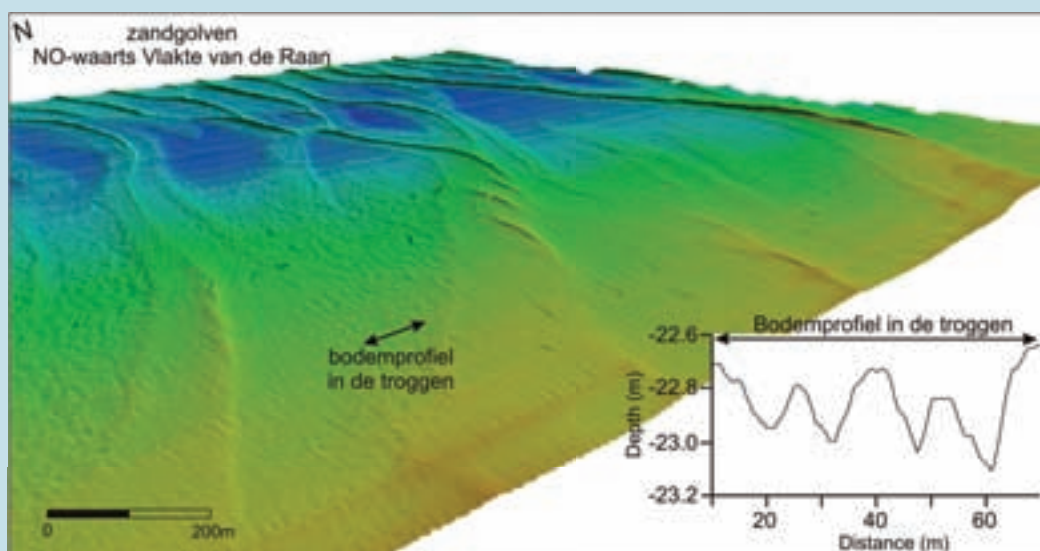
Ecologische en economische functies van de bodemvormen

Zandbanken, zandgolven, megaribbels. Ze zijn allen het resultaat van de dynamiek van een omgeving, al dan niet gekoppeld aan de samenstelling van het sediment (slibbig zand tot grof zand, grind). Door de hogere dynamiek bestaan de grotere bodemvormen, en vooral hun topzones, meestal uit goed gesorteerde zanden met slechts een geringe bijmenging van fijn materiaal. Dit maakt hen uiterst geschikt voor zandontginning. Met name het grovere zeezand (400-500 micrometer diameter) is erg in trek voor beton- en morteltoepassingen. Langs de hellingen is het zand wat fijner (200-300 micrometer). Aan de voet van de hellingen is er meestal een eerste sedimentatie van het zand dat aangevoerd wordt vanuit de geulen. Hier zijn de zanden meestal nog fijner en zijn ze vermengd met slib.

Deze verschillen in bodemtypes, -samenstelling en hellingsgraad zijn ook de sleutel voor het voorspellen van de ecologische waarde.

De hoogste soortenrijkdom en aantallen komen voor in de geulen, aan de voet van de hellingen en in de vlakke troggen van bodemvormen, waar het percentage slib van het sediment hoger is (zie onderstaande figuur). De steile hellingen en topzones daarentegen zijn het armst in soortensamenstelling. De dynamiek is er te hoog en/of de zanden zijn er te grof.

Naast zandontginning heeft de dynamiek van bodemvormen ook gevolgen voor menselijke activiteiten op zee. Opmenging van bodemvormen is onder meer noodzakelijk voor het inschatten van de kans op ondergraving van pijpleidingen, destabilisatie van offshore constructies (bijvoorbeeld windmolens) en het verzanden van scheepvaartroutes. Tot slot mogen we niet vergeten dat ondiepe, dicht bij de kust gelegen zandbanken als eerste de golven breken en dus de golfenergie afzwakken, waardoor onze kusten minder zijn blootgesteld aan extreme natuurkrachten.



■ *Zandgolven ten NO van de Vlakte van de Raan, met hun typische troggen en kamlijnen (tot 3 m hoog). In de troggen toont een hoge resolutie akoestisch beeld – zie inzet – kleine bulten (15-40 cm) die overeenstemmen met kolonies van rifbouwende wormen (Van Lancker et al. 2012)*

aanwijzingen dat in het eerste geval (2D-patroon) de bodemvormen gerelateerd zijn aan de getijstrooming terwijl in de tweede situatie (3D-patroon) mega-ribbels eerder geassocieerd zijn met windgolven. Maar, het precieze mechanisme dat aanleiding geeft tot hun voorkomen, is op dit ogenblik nog voer voor debat.

Zijn alle geheimen van de Noordzee bodemvormen nu onthuld?

Tot slot: wat levert deze kennis nu op? En weten we nu alles over de bodemvormen en het reliëf van onze “Noordzeevloer”? In de eerste plaats geeft deze kennis ons de mogelijkheid om op verschillende locaties ieder bodempatroon te herkennen aan de hand van hun specifieke kenmerken (zie samenvattende tabel). Ook hebben we uit onderzoek kennis over het fysisch mechanisme dat aanleiding geeft tot de vorming van de verschillende bodemvormen. Deze inzichten kunnen we op dit ogenblik aangrijpen om de evolutie van het Noordzee bodemreliëf beter te begrijpen. Tevens kan zo rekening worden gehouden met natuurlijke veranderingen (zoals de zeespiegelstijging) en met menselijk ingrijpen (zoals verdiepingen van een vaargeul, bouw van windmolenparken). Hoe de variatie in grootte, ligging en oriëntatie van bodempatronen kan leiden tot een andere ecologische en economische functie, las je in het kaderstuk op pag. 21.

Toch zijn er nog veel zaken waar we vandaag geen antwoord op weten. Dit komt vooral omdat de kennis die we nu hebben beperkt is tot inzichten gebaseerd op studies onder “ideale” omstandigheden. Hierdoor is de rol van een groot deel van de processen (zowel ecologisch als hydrodynamisch) nog onduidelijk. Daarbovenop is de invloed van de wisselwerking tussen alle fenomenen samen nog een wetenschappelijk braakliggend terrein. Hierdoor is het precies berekenen van de bodemevolutie met grote zekerheid nog steeds een zeer grote uitdaging.

Bronnen

- Deleu S., Van Lancker V., Moerkerke G. & D. Van den Eynde, D. (2004). Morphodynamic evolution of the kink of an offshore tidal sandbank: the Westhinder Bank (Southern North Sea). *Continental Shelf Research* 24: 1587-1610.
- van de Meene & van Rijn (2000). The shoreface-connected ridges along the central Dutch coast part 2: morphological modelling. *Continental Shelf Research* 20: 2325- 2345.
- Passchier & Kleinhans (2005). Observations of sand waves, megaripples and hummocks in the Dutch coastal area and their relation to currents and combined flow conditions. *Journal of Geophysical Research* 110: 2156 – 2202.
- Fine-scale geomorphological mapping for the prediction of macrobenthic occurrences in shallow marine environments, Belgian part of the North Sea, pp. 251-260. In: Harris, P. & Baker, E.K. (eds.). *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of the seafloor geomorphic features and benthic habitats*. Elsevier Insights .
- de Swart H. (2001) Wandelend Zand. *NWT* 4.

