

HISTORIEK VAN DE GEOMORFOLOGISCHE EVOLUTIE VAN HET STRAND LANGS DE VLAAMSE KUST, IN HET BIJZONDER IN DE BAAI VAN HEIST

Guy De Moor

Boesbeeklaan 5, B-9051 Gent
E-mail: l.demoor@ping.be

Inleiding

Toen mij een maand geleden helemaal onverwachts gevraagd werd een lezing te houden over de geomorfologie van het strand in de Baai van Heist heb ik een vrij cryptische titel voorgesteld. Ondertussen is gebleken dat de vraag vooral gericht was op een vijftal aspecten van de littorale geomorfologie:

- (1) de geomorfologische kenmerken van het strand langs de Vlaamse kust in het algemeen;
- (2) de geomorfologische kenmerken van het strand in de Baai van Heist in het bijzonder;
- (3) de geomorfologische evolutie van het strand in de Baai van Heist, in het bijzonder sinds de Zeebrugse havenuitbouw;
- (4) de evolutie en de recente dynamiek van de Vlaamse kust;
- (5) de dynamiek van de kustlijn in de Baai van Heist.

De eerste drie handelen over de terreinvormen in de kustzone; de laatste twee over de stabiliteit van de kustlijn.

Het onderwerp raakt aan talrijke nevenwetenschappen van de geomorfologie. Het is bovendien verweven met de problematiek van het littoraal milieubeheer waaronder niet het minst die van kusterosie en kustverdediging. Het heeft ook ecologische implicaties. Omwille van de complexiteit van de materie en de korte tijd beschikbaar voor onderzoek en voor presentatie zullen hoofdzakelijk beschrijvende aspecten behandeld worden. Het ingewikkelde en dikwijls controversiële domein van de genese van de verschijnselen (werking van de morfogenetische actoren, invloed van de factoren, processenanalyse) wordt hier alleen summier vermeld of terloops aangeraakt. Het is ook niet zonder schroom dat ik op de vraag ingegaan ben daar ik zelf slechts occasioneel op de Baai van Heist gewerkt heb.

Over de recente dynamiek van de kustlijn is sinds 1979 intens systematisch onderzoek verricht door AWZ-WWK. Er bestaan veel data en sinds 1980 zijn ook regelmatig desbetreffende publicaties verschenen. De beschikbare tijd was evenwel te kort om een doorgedreven inventarisatie en analyse van het geheel van de archiefgegevens te doen. Bovendien bleken sommige resultaten en data, waaronder fundamentele gegevens zoals

de sequentiële luchtfoto-opnames van de Vlaamse kust een confidentieel karakter te hebben.

Aan de studie van de terreinvormen zelf, dus aan de eigenlijke strandmorfologie is evenwel minder aandacht besteed.

Dat ikzelf reeds zeven jaar 'op rust' ben, over geen 'corporate support' beschik en slechts een tiental dagen vrij had vergemakkelijkt de zaak niet.

Ik heb dus eerst beroep gedaan op mijn eigen ervaring en geheugen en verder basisinformatie gezocht in de fototheek en het archief van de vakgroep Geografie van de Universiteit Gent, in de fototheek van het Nationaal Geografisch Instituut te Brussel, in het archief van het AWZ te Oostende en uiteindelijk ook snel wat terreinwerk in de Baai van Heist verricht. Recente laserhypsometrische opnames uitgevoerd met zeer grote resolutie en die zeer nuttig zijn voor de studie van de strandmorfologie zijn om technische redenen niet tijdig beschikbaar gekomen. Wel stonden bij AWZ schuine luchtfoto's van de Baai van Heist ter beschikking. Ze werden opgenomen per helikopter op geringe hoogte en zijn van groot belang geweest voor de geomorfologische analyse van het huidige strand. Gesprekken met verschillende verantwoordelijken op het AWZ te Oostende zijn eveneens zeer nuttig gebleken. Het ligt echter niet in mijn bedoeling hier expliciet het werk van de cel 'Kustmorfologie' van het AWZ inzake de recente dynamiek van de kustlijn en de kustverdediging voor te stellen. De taak om specifieke vragen in verband met dat onderzoek te beantwoorden wil ik liever aan een lid van die onderzoekscel overlaten.

Geomorfologisch onderzoek in de littorale zone

Geomorfologie is de studie van de reliëfvormen en van hun verspreidingspatronen. Ze omvat het direct of indirect waarnemen, het kwalitatief of gekwantificeerd beschrijven van de vormen, de verklaring van hun ontstaan, de studie van hun dynamiek op korte termijn en van hun evolutie op lange termijn, evenals een gerichte analyse van de reliëfvormende processen, actoren en factoren. Predictie over toekomstige ontwikkelingen is een zeer delicate materie en mag niet zonder meer uit trendanalyse afgeleid worden. Geomorfologische modellering is voorlopig een onderwerp van onderzoek in de theoretische geomorfologie.

Naast directe terreinwaarneming zijn hoogtepuntenkaarten, hoogtelijnenkaarten, luchtfoto's en luchtfotokoppels de voornaamste bronnen voor de reliëfbeschrijving. Reliëfwaarneming berust fundamenteel op clustering van hoogtelijnenpatronen. Hoe groter de resolutie van het hoogtepuntennet, hoe minder subjectiviteit het definiëren van reliëfvormen gaat vertonen. De reliëfvormen kunnen zeer sterk verschillen naar vorm en afmetingen. Dikwijls zijn grenzen en vormen moeilijk definieerbaar. Veelal omvatten reliëfvormen van grotere afmetingen eenheden van lagere orde wat dus een complexe vormingsgeschiedenis laat vermoeden.

In de littorale geomorfologie is het ontstaan van reliëfvormen meestal gebonden aan diverse processen van erosie, transport en afzetting die zowel in ruimte als in tijd kunnen afwisselen met verschillende intervallen of die een eigen cycliciteit vertonen. Aldus ontstaat een complexe chronologische en geografische periodiciteit in de kust- en strandontwikkeling waarvan de effecten soms door extreme 'events', zoals zware stormen, op brutale en ingrijpende wijze kunnen verstoord worden en bestaande trends plots gewijzigd. Veel processen spelen zich af over een lange termijn en kennen (naar menselijke maat) een zeer traag verloop of treden zeer plots op als bepaalde evenwichtstoestanden overschreden worden of de werking van bepaalde actoren zich wijzigt. Bij erosie, transport en afzetting kunnen de proceseffecten zich hierdoor plaatselijk of tijdelijk sterker of anders laten gelden. Het is dan ook belangrijk zich te realiseren dat wat we op een bepaald ogenblik waarnemen het residuele effect is van die afwisselingen in erosie en afzetting binnen de beschouwde periode.

Transport zelf gaat gepaard met de vorming van tijdelijke afzettingvormen en met de dynamiek van bewegende oppervlakkige sedimentaire structuren. Afzettingvormen zijn niet los te koppelen van de sedimentkenmerken en van de sedimentdynamiek.

Isomorfie betekent niet noodzakelijk isogenese. Vele vormen hebben een complexe opbouw en een langdurige ontwikkeling achter de rug met interfererende werkingen van talrijke actoren en effectvariërende factoren. Hierdoor is hun genetische identiteit dikwijls moeilijk te ontcijferen en vormt die een interpretatie op basis van beschikbare argumenten.

Experimentele studie van reliëfvormende processen met gecontroleerde en repeteerbare terrein- of laboratoriumproeven (de zgn. processenstudie) kan slechts in beperkte mate gebeuren. Sequentiële directe of indirecte terreinwaarneming, analyse van getuigesedimenten in het geval van afzettingvormen en van geologische factoren in het geval van erosievormen, evenals vergelijkend onderzoek met isomorfe verschijnselen in andere gebieden blijven fundamentele studiemethodes.

De geomorfologische kaart is de uiteindelijke weergave van de resultaten van het thematisch of regionaal onderzoek op een bepaald ogenblik.

Morfodynamiek is de studie van de veranderingen in vorm, hoogte en afmetingen en in positie van de afzettingvormen die zich onder invloed van de inwerkende actoren op relatief korte termijn voordoen.

Evolutie is het geheel van de residuele veranderingen die de kustvorm en de kustlijn over langere termijn ondergaan. Wat men op een bepaald ogenblik waarneemt is het residuele effect van de opeenvolgende en afwisselende fasen van erosie, afzetting en dynamische stabiliteit.

Kust is de algemene term voor de contactzone tussen land en zee (of meer). Die contactzone kan allerlei vormen aannemen.

In de littorale geomorfologie worden tal van kusttypes onderscheiden, zoals stranden, abrasieplatformen, wadden, mangrovekusten, delta's, estuaria, ria's, barrièreriffen, lagunes, schoorwallen, klifkusten, fjordkusten, enz. Verder bestaan er ook verschillende kustclassificatiesystemen. Algemeen gekende kusttypes zijn o.a. afslagkusten of aanwaskusten, verlanding- of verdrinkingskusten, subsidentie- of rijzingskusten (met opgeheven stranden), enz.

De kust kan geparametriseerd worden door de kustlijn. AWZ onderzoekt de dynamiek van de kustlijn met behulp van drie verschillende lijnen: de LW lijn, de HW lijn en de duinvoet. Deze laatste wordt gesitueerd op het Z+7.5 m. Hoog- en laagwaterlijn zijn direct gebonden aan de zeespiegelwisselingen door getijdenbeweging en op langere termijn aan mogelijke eustatische zeespiegelbeweging. Om aan de onbepaaldheid van de halfdagelijkse wisselingen in de getijde-amplitudo te ontkomen beschouwt men enerzijds een 'nat strand' tussen een laagwaterlijn op peil Z+1.5 m en een hoogwaterlijn op peil Z+ 4.5 m en anderzijds een 'droog strand' tussen de hoogwaterlijn en de duinvoet. Door de talrijke factoren die de waterstand beïnvloeden (luchtdruk, golfrichting, aanlandige of aflandige winden, spring- en doortijcyclus, etc.) kan een dergelijke definitie de morfologische realiteit te kort doen. In haar specifiek kustmorfologisch onderzoek gebruikt AWZ vijf parameters om de stabiliteit van de kustlijn op te volgen: (1) de verplaatsing van de LWL; (2) de verplaatsing van de HWL; (3) de volumetrische strandbalans en haar evolutie; (4) de hoogteverschilkaart van het strand; (5) sequentiële 'gemiddelde' strandprofielen representatief voor een strandsectie. De terreinveranderingen worden opgevolgd met behulp van luchtfotogrammetrische technieken die bepaalde verticale en horizontale resoluties toelaten en die berusten op opnames die meestal met een eenjaarsinterval verworven zijn.

De gegevens zijn verwerkt voor strandsecties met een kustlengte van de orde van 200 m en dan verder gesynthetiseerd voor kustsectoren van 1 tot 3 km lang. Ze worden verwerkt in tijdreeksen die trendanalyse toelaten. Naargelang de kustzone bestaan er verschillende referentiedata: voor de laagwaterlijn is dit 18 mei 1983 voor de kustzone ten oosten van Zeebrugge. Ook hiermee moet rekening gehouden worden bij vergelijking van de evolutietrends.

Het is weinig waarschijnlijk dat de gebruikte resoluties en de éénjarige opnamefrequentie zouden toelaten de totaliteit van de strandelementen te vatten en hun morfodynamiek voldoende op te volgen. Dat onderzoek vereist resoluties aangepast aan de afmetingen van de vormen en waarnemingsfrequenties aangepast aan de periodiciteit van de geomorfologische actoren en aan het optreden van uitzonderlijke 'events'. Directe opname van strandprofielen lijkt ons nog altijd een optimale techniek om daaraan te voldoen. Bij de waarneming van de verschijnselen dient men op te letten voor stroboscopische effecten gebonden aan de opnameperiode; bij de verklaring mag een

toevallige simultaneïteit van twee verschijnselen niet geïnterpreteerd worden als een causaal verband.

De studie van de evolutie van de kustlijn vanuit geomorfologisch oogpunt richt zich op de verplaatsing en verandering van de kust op lange termijn en beschouwt eerder fenomenen in functie van geologische processen waarvan de eigenlijke strandprocessen slechts een onderdeel vormen. Kustevolutie gebeurt dan in functie van actoren zoals eustatische zeespiegelrijzing, verandering in getijdenkenmerken of in littorale stromingspatronen, verandering in de sedimentaanvoer of in de kenmerken van het aangesneden substraat, verandering in de prelittorale topografie, enz.

Stranden en abrasieplatformen zijn typisch onbeschermd intertidale kusttypes, de ene in losse sedimenten, de andere in harde substraten. De getijde-amplitudo laat toe verschillende strandtypes te onderscheiden. Ook golf- en stromingskenmerken kunnen de stranden diversifiëren. Zo onderscheidt men o.a. rug- en zwinstranden naast brede strandvlakten. Verder onderscheidt men zand- en grintstranden naargelang het sediment. Pocket beaches zijn stranden die in meestal kleine baaien voorkomen. Getrapte stranden en gordijnstranden zijn typisch voor stranden beschermd door strandhoofden. Tombolo is een strandvorm die typisch is voor kusten met natuurlijke of artificiële golfbrekers. Een okselstrand is een concaaf gebogen strand dat zich ontwikkelt waar de natuurlijke of artificiële kustlijn een min of meer rechte hoek vormt. Zandstranden zijn zelf opgebouwd uit een verzameling van reliëfelementen van lagere orde met elk hun eigen kenmerken, dynamiek, genese en bestaansduur. Daartoe behoren o.a. strandruggen, zwinen, muien, muidelta's en strandwallen.

Wadden zijn kustvormen die zich ontwikkelen achter schoorwallen of andere kustbarrières of in estuaria waar ze beschermd zijn tegen de golfenergie maar wel onderhevig blijven aan de periodische aanvoer en de sortering van sedimenten door de getijdengeulen gepaard gaande met lokale erosiefasen gebonden aan de mobiliteit van de geulen.

In het geheel van de reliëftypologie zijn stranden zeer dynamische vormen met een snelle evolutie. Mede door hun afmetingen, hun toegankelijkheid en snelle ontwikkeling lenen ze zich vrij goed tot het opvolgen van hun ontwikkeling wat nog niet betekent het verklaren van hun ontstaan en evolutie. Daarvoor is een grondige en meestal moeilijke processenanalyse onontbeerlijk wil men niet blijven steken in hypothesen die stilaan door herhaling het leven van vaststaande wetmatigheden gaan leiden. De dynamiek van de strandruggen en hun rol in de zandaanvoer op het strand is een van die problemen.

Geomorfologie, morfodynamiek en evolutie van stranden is dan ook ruimer dan de opvolging van de stabiliteit van de kustlijn, de strandhoogte en de strandbalans in het licht van de noodzaak tot het nemen van maatregelen van kustbescherming om te voorkomen dat zich door doorbraken of overstromingen verliezen aan onroerend goed of waardevermindering van ander bezit zouden voordoen langs de kustlijn zelf of in het achterliggend polderland. Ongetwijfeld zijn er wel banden tussen deze 'kustmorfologie' en

de studie van de terreinvormen op het strand die op hun beurt de moeite waard zijn om nader onderzocht te worden.

Actoren, factoren en processen in de kustmorfologie

Onderstaande tabel geeft een summier en schematisch overzicht van de belangrijkste actoren, factoren en processen die de genese en de dynamiek van stranden bepalen.

Mariene actoren

Golven: golfhoogte, frequentie, energie

Stromingen: tijstromen, windgedreven stromingen, lokaal korte maar soms hevige muistromingen ('rip currents')

Duinwateruitvloeï

Eolische actor

Wind

Factoren

Korrelgrootte

Lading

Prelittorale topografie

Luchtdruk

Windrichting

Substraatgeologie

Getijdenkenmerken: getijde-amplitudo, asymmetrie

Strandhelling

Strandbreedte

Luchtdruk: verhoging van het waterpeil bij drukkaling

Menselijk ingrijpen (invloed van kustverdediging zelf)

Elementaire processen

Erosie, transport, afzetting, sortering

Longitudinaal ('longshore') transport in de richting van de residuele kuststroming.

Het transport bestaat in feite uit heen- en weer verplaatsing met de eb- en sterkere vloedpiek als de kritische stroomsnelheid overschreden wordt

Transversaal ('cross shore') transport; 'onshore, 'off shore'; 'uprush'; 'overwash'; 'backwash'

Complexe processen

Bodemtransport door bewegende oppervlakkige sedimentaire structuren

Afbuiging van het bodemtransport door wrijving tegen de schuin oprijzende zeebodem

Stranddrift: sprongsgewijze longshore verplaatsing van zanddeeltjes door schuine inval van de golven op het strand

Zwinmechanisme

Erosieve en accumulatieve protuberansen ('zandgolven')

Algemene morfologie van de Vlaamse kust en strand

De Vlaamse kust is geomorfologisch gezien een aanwaskust. Ze bestaat uit een 5 tot 10 km brede wadzone gelegen achter een beschermende duingordel waartegen aan de zeezijde een zandstrand aanleunt.

Die wadzone is als onderdeel van de Zuidelijke Noordzeekust gedurende de postglaciale zeespiegelrijzing geleidelijk aangeslibd achter een complexe beschermende kustbarrière van schoorwallen en strandwallen die plaatselijk onderbroken was door meer belangrijke getijdengeulen en waarop zich in verschillende fasen duinen ontwikkeld hebben door een oostwaarts gerichte residuele zandaanvoer die onder invloed van de dominerende zuidwestenwind op vele plaatsen duidelijke paraboolduinen achtergelaten heeft. Sinds de Middeleeuwen heeft men het wad min of meer geleidelijk ingepolderd en ontwaterd. De zeegaten zijn afgesloten en de vroegere wadgeulen zijn voor afwatering ingeschakeld.

De huidige Vlaamse kustlijn is dus in feite artificieel. De eigenlijke natuurlijke kustlijn komt overeen met de uitbreidingsgrens van de hoogwaterstand in de ingepolderde waddenzone achter de strand- en duingordel. En die ligt 5 tot 10 km meer landwaarts dan de huidige hoogwaterlijn langs het strand.

Het natuurlijke strand langs de Vlaamse kust is een macrotidaal zandstrand van het type rug- en zwinstranden. In feite is het de onbeschermdde zeewaartse zijde van de vroegere natuurlijke kustbarrière, of ten minste van wat daarvan na allerlei processen van kustregularisatie van overgebleven is.

Het natuurlijke strand omvat een nat strand waarbinnen de ruggen en zwinen voorkomen en dat gelegen is tussen de HW lijn en de LW lijn. De gemiddelde helling van het nat strand varieert tussen 1 en 2.5 % en de breedte tussen 200 en 500 m. De gemiddelde breedte neemt toe naar het westen terwijl de hellingsgraad in die richting daalt.

Ruggen en zwinen lopen parallel aan de algemene kustlijn. De ruggen bereiken lengten van meerdere honderden meter en breedten van tientallen meter. Ze liggen opgelijnd langs parallelle lijnen en zijn op min of meer regelmatige afstanden van elkaar gescheiden door muien, doorbraakgeulen langswaar het water bij eb uit de landwaarts gelegen zwinen afwatert en bij vloed uit zee de zwinen binnendringt. De relatieve hoogteverschillen bereiken zelden meer dan 1 m. Naar het westen toe kunnen er zo transversaal 6 tot 8 van die structuren voorkomen op het nat strand; oostwaarts is er wel enige afname in het aantal.

De strandruggen zijn transversaal asymmetrisch met een steilere progradatiezijde aan de landwaartse zijde en een zwak hellende, langere zee kant die veel meer aan de golfwerking blootgesteld is. Aan de landzijde vertonen ze dikwijls aanwasfestoenen of ook overwash fans ontstaan door tongvormige overwash van zand dat bij de golfoploop (uprush) aangevoerd wordt. Dit proces geeft de indruk dat de dynamiek van de strandruggen gekenmerkt zou zijn door een systematische landwaartse migratie. In feite echter neemt door vernauwing van het landwaarts voorliggende zwin de stromingserosie in het zwin toe zodat de landzijde opnieuw afgeërodeerd wordt. Het zand wordt door de muien die geulen zijn dwars door de strandruggen zelf weggevoerd naar het zeewaarts voorliggende zwin waar zich telkens een muidelta kan ontwikkelen. Bij dit proces kan wel zand naar een meer landwaarts gelegen rug overgebracht worden, maar omgekeerd kan ook zand dat door terugloop vanaf hogere strandgedeelten aangevoerd wordt door de zwinstroming terug naar lagere strandgedeelten geëvacueerd worden. Elk rug-zwinkoppel vormt aldus een soort circulatiecel (ook kustcel genoemd) waarin hoofdzakelijk zand gerecycleerd wordt door het 'zwinmechanisme'. Hierdoor ook zijn de ruggen in de stranddynamiek eerder oscillatiekernen dan eigenlijke migrerende sedimentaire structuren. Wanneer muien van opeenvolgende zwinen tegenover elkaar komen te liggen ingevolge longshore migratie onder invloed van de kuststroming, kan een strandvenster ontstaan waarin dan een sterke transversale erosiestroming kan optreden (muistroming). Anderzijds kan de vloed soms met kracht vanuit tegengestelde richtingen een zwin binnendringen waarbij zich een zwinzadel kan vormen alsof daar een wantij voorkwam.

In de vooroeverzone komen brandingsbanken voor die een analoog verloop kennen maar zelden of nooit emergeren.

De stroming in de zwinen kan soms zo belangrijk zijn dat zich duidelijke megaribbels ontwikkelen, transversaal aan de zwinas. Ze zijn een duidelijk bewijs voor de sterke longshore stroming die in de zwinen kan optreden, vooral wanneer die langs de muien bij vloed plots onderlopen. In de muien kan de zeewaartse stroming zelfs zo belangrijk zijn dat zich daar antiribbels ontwikkelen.

Overigens treft men op diverse delen van het nat strand verschillende ribbelvormen aan. Stroomribbels zijn asymmetrisch en duiden door hun steile progradatiezijde de stroomrichting aan. Men treft ze vooral transversaal aan in de zwinen en ze kunnen zich soms tot megaribbels ontwikkelen. In de muien treft men op vele plaatsen vanaf een zekere stroomsnelheid velden met tongribbels aan. Op de zwakhellende zeewaarts gerichte rugzijde van de strandruggen komen onder lage golfenergie meestal ruitribbels voor die onder specifieke terugstroomcondities ontstaan. Bij sterke afslag op het droog strand en aan de duinvoet, ontwikkelen zich daar op het verlaagde en afgeplatte gedeelte van het hogere laagstrand specifieke erg afgeplatte terugstroomribbels.

Bij voldoende sterke wind kan zich op de strandruggen ook eolisch transport ontwikkelen. Naargelang de toenemende snelheid ontstaan eerst kleine transversale ribbels of, wanneer het zand slechts zeer oppervlakkig uitdroogt en dus weinig zand vrijkomt, ook

longitudinale slieten. Als het zand wat dieper uitdroogt kunnen grotere transversale eolische ribbels tot ontwikkeling komen. Wordt de snelheid voldoende groot dan kan het saltatietransport beginnen dat bij hoge windsnelheden tot manshoogte kan opklimmen. Transversale eolische zandaanvoer vanaf de strandruggen treedt evenwel zelden op omdat het zand gevangen wordt in de voorliggende zwinen.

Nabij de HW lijn komt dikwijls een strandkam voor, een smalle lage kamvormige structuur die langs de hoogwaterlijn loopt en waar het zand door de golfwerking opgeworpen wordt maar niet meer volledig door de terugloop weggevoerd wordt. De strandkam kan zich ontwikkelen tot een strandberm die een meer uitgesproken element van de strandmorfologie is en waar zich een duidelijke overwash kan voordoen met een begin van zwinvorming. Nabij de HW lijn treft men dikwijls ook een lijn van kleine lage, platte en eerder symmetrische strandkussens aan. Omdat de hoogwaterlijn door de spring/dood-tijd cyclus voortdurend van plaats verandert en tijdelijk zeewaarts en dan weer landwaarts opschuift ontwikkelt zich daar een terrassenzone die bestaat uit opeenvolgende lage strandtreden. Aan de zeezijde van de berm ontwikkelen zich ook soms strandhorens. Ze zijn dikwijls geassocieerd aan korrelgrootteverschillen en zijn op zandstranden na het wegtrekken van het water meestal moeilijk waarneembaar. Ook aan de laagwaterlijn komt zo een zone voor waarbinnen de laagwaterlijn wisselt, maar door de herhaalde overstroming is de morfologische impact hier minder merkbaar. Indien gedeelten van het laagstrand door golf- of stromingserosie afgeslagen en verlaagd worden kunnen strandorganismen in massale hoeveelheden losgewoeld worden en zich daar ophopen. Soms komen ook langsheen de vloedlijn die de verste hoogwaterstand vertegenwoordigt dergelijke ophopingen voor.

Het droog strand wordt slechts bij stormen overspoeld en strekt zich uit tussen de hoogwaterlijn en de duinvoet. Het droog strand is veel smaller, helt meestal weinig, maar gaat aan de duinvoet over in een meer uitgesproken basisconcaeviteit op de zeezijde van de zeereep. Het droog strand is bij uitstek de zone waar zich overwegend longshore eolisch zandtransport voordoet maar – ook bij winden uit NW tot NO hoek – transversaal eolisch transport. Men vindt er ook min of meer uitgesproken eolische zandribbels die tot afgeplatte megaribbels kunnen aangroeien, en verder kunnen lokaal ook embryonnaire duintjes en duinhompels of voorduintjes voorkomen. De basisconcaeviteit van de zeereep is een zone waar zich gedurende een groot deel van het jaar tot in de herfst eolische afzetting voordoet. Die wordt dan meestal vanaf de eerste najaarsstormen geleidelijk afgeslagen. Hierdoor vormt de basisconcaeviteit een natuurlijke bescherming voor de zeereep. Bij zwaarder stormweer en in sterk erosieve strandsecties kunnen zich daar stormklifjes ontwikkelen. Bij de zwaarste stormen kan ook de zeereep zelf door erosie aangetast worden.

Het droog strand is bij uitstek de zone waar zich, vooral bij longshore wind, eolisch transport voordoet. Men vindt er reeds bij lage windsnelheden door de droogte en geringe cohesie van het goed gesorteerde zand van het strand een continue maar moeilijk merkbare kruip- en rol verplaatsing van zandkorrels. Neemt de snelheid toe dan

ontwikkelen zich eerst kleine en daarna grotere transversale eolische ribbels en uiteindelijk ook saltatietransport. Soms ontwikkelen zich zelfs duidelijke lage barchnoïde duintjes die over het strandoppervlak lijwaarts weglopen. Doordat ook transversaal transport voorkomt kunnen zich hier aan de voet van de zeereep ook embryonnaire duintjes ontwikkelen die tot duinhompels kunnen aangroeien.

De gemiddelde korrelgrootte van het natuurlijk zandstrand langs de Vlaamse kust, bepaald voor men met de systematische zandsuppleties rond 1979 begonnen is, wisselde tussen 150 en 250 μm . Over het algemeen neemt de korrelgrootte van het natuurlijk zandstrand af naar het westen toe en ook van de hoogwaterlijn naar de laagwaterlijn toe. Te De Haan (KP42 te Niewmunster) vòdr de zandsuppletie vormde de fractie 180-250 μm 50 à 60 % van het strandzand nabij de HW lijn en 50 à 55 % nabij de LW lijn. Voor de fractie 125 à 180 μm was dit respectievelijk 12 à 20 % en 20 à 30 %. Ten westen van Nieuwpoort neemt het slibgehalte toe. In de vooroeverzone komt daar een slibtapijt voor dat enkele decimeter dik kan zijn. Bij afluiddige winden brengt de landwaartse onderstroom soms veel slib naar het strand. Dit slib bezinkt dan in de zwinnen waar het tijdelijk achterblijft en later door de zwinstroming min of meer snel weggevoerd wordt naar zee.

Het strandzand is kalkhoudend door de aanwezigheid van schelpgruis. Schelpgruis kan lokaal de korrelgrootte veel grover maken.

Een transversaal strandprofiel opgenomen met voldoende kleine stap en hoogteresolutie laat toe al de verschillende strandelementen te registreren.

Morfologie van het strand in de Baai van Heist

De Baai van Heist vormt een parallellogramachtig kustgedeelte dat westwaarts aanleunt tegen de Oostdam van de Zeebrugse havenuitbouw en landwaarts tegen de slapende zeewering die de wandeldijk te Heist begrenst. Oostwaarts sluit de Baai van Heist aan bij de strandzone die doorloopt tot aan het Zwin. Die overgang is daar morfologisch weinig opvallend maar er is wel een plotse grens in de begroeiing. De begrenzing wordt er gematerialiseerd door een palenrij die recht tegenover het Vissershuldeplein (het lweynsplein op de oudere kaarten) transversaal over het strand loopt.

De grootste breedte tot aan de gemiddelde LW lijn bereikt 700 m. De kustlengte is ongeveer 500 m. In de kustopdeling van AWZ beslaat de Baai van Heist drie secties van 150 tot 200 m kustlengte. Aan de zeewaartse kant vertoont de laagwaterlijn een uitgesproken concaaf verloop.

Door die concaviteit en door de positie van de Baai van Heist in de hoek tussen de oostelijke strekdam en de zeewering krijgt men de indruk dat men hier te doen heeft met

een okselstrand ontstaan door aanzanding ingevolge afbuiging van de kuststroming. Zo'n okselstrand komt wel voor aan de westzijde van de westelijke strekdam te Zeebrugge-bad.

Een tweede opvallend kenmerk is het feit dat het transversaal strandprofiel in de Baai van Heist sterk verschilt van dat van een natuurlijk rug- en zwinstrand, en dus ook van dat van het okselstrand te Zeebrugge. Dit wordt duidelijk wanneer men het transversaal strandprofiel voor de Baai van Heist (opgenomen op 23 mei 2002 langs de lijn tussen KP53 en het huisnummer 111 op de wandeldijk) vergelijkt met de strandprofielen van enkele kuststations opgenomen vòòr daar zandsuppleties uitgevoerd werden. Daarvoor wordt het profiel aan KP 53 in de Baai van Heist vergeleken met profielen te Oostduinkerke (KP 12) te De Haan (KP 42) en te Zeebrugge (KP 51). Meest opvallend zijn de grote lengte van het strand landwaarts van de strandkam, de grote steilte van de terrassenzone zeewaarts van de strandkam, de weinig uitgesproken strandruggenstructuur op het nat strand, het voorkomen van een zeer schelprijke strandwal die ongeveer op hoogwaterpeil ligt en de brede slibbige komvormige zone die zich daarachter uitstrekt nauwelijks onder het hoogwaterpeil en die langs een tijeultje met het nat strand communiceert.

Er dient wel opgemerkt dat een transversaal strandprofiel opgenomen op 1 juni 2002 langsheen de palenrij die het reservaat oostwaarts begrenst een vernauwing van de komvormige slibbige zone achter de schelprijke strandwal, een landwaartse verschuiving van die schelpwal en een breder nat strand met duidelijker kustcellenstructuur toont.

Daar het strand tussen de oostelijke strekdam en Knokke in 1979, 1984 en 1986 belangrijke zandsuppleties gekend heeft is het van essentieel belang voor de morfologische interpretatie van het reliëf in de Baai van Heist te beschikken over preciese gegevens over die zandsuppleties, meer bepaald over het profiel na de ophoging, het ophogingsplan en het ophogingsmateriaal. Alleen dan kan men de natuurlijke strandvormen onderscheiden van wat het gevolg is van de opeenvolgende zandsuppleties en de impact van de natuurlijke processen.

De strandverdedigingen te Heist

1848: reeds strandhoofden aanwezig te Heist

1867: eerste zeewering

1896-1905: uitbouw van de eerste Zeebrugse buitenhaven. Om het longshore transport te behouden op de oostwaartse stranden werd in de muur een 'claire-voie' voorzien. Die werd bij de eerste wereldoorlog afgesloten. Waarschijnlijk begon dan meer intense erosie te Heist

1912: plan verbeterde zeewering

1920: eerste zandsuppletie uitgevoerd op het strand te Heist

Door de uitstekende strekdam te Zeebrugge komt de residuele kuststroming onder een scherpere hoek tegen de stranden van de oostkust aan.

1952: programma voor bouw van 25 strandhoofden tussen Heist en Knokke omdat de laagwaterlijn tot op 150 m van de dijkvoet genaderd was en de golven bij hoogwater de zeewering opklommen.

1 februari 1953: grote storm. De zeewering te Heist wordt op vele plaatsen stukgeslagen en op sommige plaatsen (o.a. rond het Vissershuldeplein) wordt de promenade weggespoeld en zelfs de kelders van de gebouwen aan de wandeldijk blootgelegd.

1955-1957: talrijke zandstortingen tussen Heist en Knokke

1955-1960: verlenging en versterking van de strandhoofden

1968: strandsuppletie te Heist

januari 1976: zware stormen laten nauwelijks nog enig strand achter te Heist

1977-1979: grote zandsuppletie (8.4 miljoen m² zand) op de stranden tussen Heist en Knokke

1997-1983: bouw van de nieuwe Zeebrugse buitenhaven met strekdammen tot 3 km in zee. Vrees voor verminderde zandaanvoer en verstrekte erosie aan de lizijde van de oostelijke strekdam.

vanaf 1987: verdieping en landwaartse uitbreiding van de Appelzak voor Knokke

1984: onderhoudssuppletie te Heist

1986: onderhoudssuppletie te Heist

1999: strandsuppletie (500.000 m²) te Knokke

Tot op heden is het plan van de zandsuppleties te Heist nog niet teruggevonden. Wel zijn doorsneden van de grote suppletie van 1979 beschikbaar (in Roovers et al., 1981). Hieruit kan men opmaken dat tussen de zeewering en een zeewaartse afstand van ongeveer 100 m een ophoging tot het peil H+6.0 m (Z+5.7 m) voorzien was, dit is ongeveer 1 m boven het huidige gemiddelde HW peil. Op 220 m zeewaarts van de zeewering, dit is ongeveer ter plaatse van de huidige positie van de houten referentiepaal voor KP53, was voorzien de top van de suppletie op het peil Z+3.7 m, d.i. op ongeveer 1 m beneden het huidige hoogwaterpeil. Het was de bedoeling om bij HW een droog strand te hebben van ongeveer 150 m breedte en de LW lijn op meer dan 300 m te krijgen. Volgens mondelinge mededeling van de heer Verwaest (AWK) is het peil van de kop van de houten paal bij KP53 gelijk aan Z+5.53 m. Met deze gegevens en met de beschikbare luchtfotosequentie was het mogelijk de interpretatie van de strandmorfologie in de Baai van Heist beter te motiveren.

De reliëfvormen in juni 2002

De reliëfbeschrijving is essentieel gesteund op de helikopterfoto-opnames van 2001, de beide strandprofielen van mei 2002 en de daarbij aansluitende terreinbezoeken en terrestrische foto's genomen in mei 2002.

Langsheen het profiel door KP53 kan men vanaf de zeewering de volgende strandelementen onderscheiden:

(1) een **dijkduin**, d.i. een laag duin dat tegen de zeewering aanleunt. Het heeft een breedte van ongeveer 65 m en strekt zich uit tussen de peilen Z+8.5 m en Z+5.5 m. Het meest landwaarts gedeelte (ongeveer 30 à 40 m breed) helt steil tot op peil +6.5 m. Het zand is er relatief fijn en goed gesorteerd. Het is blijkbaar door windwerking aangevoerd en afkomstig van de deflatie van het lokale suppletie materiaal. Het lagere gedeelte tussen de peilen Z+6.5 m en Z+5.5 m helt veel minder en reikt tot aan de afsluiting. Het zand is hier zeer schelprijk en bevat ook veldsteen en silexfragmenten en voelt daardoor zeer grof aan. Het is hoogstwaarschijnlijk dat dit het originele suppletiezand is en dat de oppervlakkige schelprijkdome mede aan de deflatie toe te schrijven is. Meer oostwaarts, buiten het reservaat, blijkt dat hier ook kleine duintjes tot ontwikkeling kunnen komen. Dit hele dijkduincomplex is overigens nooit begroeid geweest en daardoor gemakkelijk op luchtfoto's te herkennen.

(2) daarop volgt **het originele suppletievlak met duinhompels**. Het vormt een vlakke, zwak hobbelige zone van ongeveer 120 m breed gelegen rond het peil Z+5.5 m en bedekt met verspreide kleine duinhompels met een relatieve hoogte die 0.5 tot 1.0 m bereikt. Het geplande suppletieprofiel zou hier eveneens rond het peil +5.5 m liggen. Het sediment bestaat uit schelprijk zand maar de duinhompels zelf zijn opgebouwd uit fijn goed gesorteerd zand. De gehele zone, met inbegrip van de duinhompels is begroeid met grassen en steekt daardoor sterk af tegen de aansluitende zone buiten het reservaat. Vergelijking met vroegere luchtfoto's toont dat er minstens tot 1991 ook hier geen begroeiing aanwezig geweest is. Deze zone wordt beschouwd als het oorspronkelijke opvullingsvlak en de duinhompels vertegenwoordigen kleine duintjes die ontstaan zijn door eolische afzetting van zand afkomstig van de uitwaaiing van het suppletie materiaal.

(3) een **voorduinkraag**. Aan de zeezijde van het suppletievlak komt een smal, laag voorduin voor met een relatieve hoogte van 0.5 m en een breedte die maar enkele meter bereikt. Dit voorduin is wel zeewaarts afgezet met een zandige gordel die wat lager ligt waarop zich kleine embryonale hindernisduintjes gevormd hebben..

(4) een **schor**. Verder zeewaarts komt een brede ondiepe slibbige kom voor die oostwaarts in twee verdeeld is door een lage vlakke binnenwal met zeer schelprijk zand aan de oppervlakte. Deze kom strekt zich uit van 150 m tot ongeveer 320 m zeewaarts van de zeewering.

Het oppervlak van de binnenwal ligt rond Z+4.7 m. Het astronomisch voorspelde spring HW peil bereikte te Zeebrugge in mei 2002 het peil Z+4.7 m en het dood tij HW het peil Z+3.9 m. Het oppervlak van deze schelprijke wal ligt dus duidelijk boven het gemiddeld HW. Rond deze wal komt trouwens een duidelijke terrassenzone voor.

Het landwaarts gedeelte van de slibbige kom ligt op het peil +4.6 m, dus juist onder het SHW-peil. Oostwaarts loopt hij schuin uit tegen de voorduinkraag.

Het zeewaarts gedeelte van de kom loopt westwaarts verder tot tegen de oostdam en strekt zich oostwaarts uit tot ter hoogte van het BLOSO-zeilcentrum reeds enkele honderden meter buiten het reservaat. De breedte bedraagt 30 tot 50 m maar neemt oostwaarts snel af. Het oppervlak is er slibbiger maar verandert oostwaarts in slibbig zand. Op de randen van deze slibbige kom komen verspreide *Salicornia*-groepjes voor, vooral naar het westen toe. In het zeewaarts gedeelte ligt een ondiepe tijeul langswaar het water bij het einde van de vloed in de kom kan doordringen en bij eb weglopen. In dit zeewaarts gedeelte ligt het peil rond Z+4.4 m zodat dit gedeelte frequenter kan onderlopen. Volgens het suppletieprofielplan zou het suppletie-oppervlak hier rond het peil Z+4.0 m gelegen hebben. Het schor zou zich door natuurlijke wadontwikkeling boven op het suppletie-oppervlak ontwikkeld hebben achter de wal die de kom aan de zeezijde tegen de golfwerking beschermt. In de laatste 15 jaar zou hier dus 0.4 à 0.7 m sediment kunnen afgezet zijn. Het sediment bestaat ten minste in de bovenste 10 cm uit een afwisseling van dunne slibbige en zandige laagjes. Bij dood tij, als dit kleine schor niet overstroomd wordt, kunnen bij aflandige wind ook dunne eolisch aangevoerde zandlaagjes afgezet worden.

De tijeul langswaar het water nu binnendringt en weer afvloeit scheidde reeds oorspronkelijk een westelijk en een oostelijk gedeelte van een wal schelprijk zand en heeft dus oorspronkelijk als afvoergeul bij de suppletie gediend. Die overerving blijkt duidelijk doordat de geul vanaf 1980 op de luchtfoto's voorkomt als een permanente structuur. Nu heeft de geul eerder het karakter gekregen van een zwin die aansluit op een mui die oostwaarts van een later ontwikkelde en oostwaarts uitbreidende buitenwal loopt.

(5) een **buitenwal**. Aan de zeezijde van het schor bevindt zich een vlakke buitenste zeer schelprijke strandwal die langs de profiellijn een breedte heeft van 100 à 120 m. Het oppervlak ligt er rond het peil Z+4.8 m, dit is dus duidelijk boven het gemiddelde HW-peil en zelfs boven het SHW-peil. Uit de helikopterfoto van 2001 blijkt dat deze strandwal eigenlijk een buitenste uitstulping vormt van een bredere zandige zone die tegen de oostdam aansluit en die ook een tweede meer landwaarts gelegen tongvormige verlenging vertoont. Het is eerder deze binnentong van de buitenwal die op de binnenwal schijnt aan te sluiten. De buitenwal schijnt zich dus later als een nieuwe schoorwal oostwaarts uitgebreid te hebben en zou dus niet rechtstreeks door de suppletie ontstaan zijn maar door kuststroming. Het zeer grove karakter van het sediment op de buitenwal met een zeer hoog gehalte aan schelpkleppen en talrijke silexkeien maakt echter een meer complexe genese waarschijnlijk. Toch sluit deze buitenwal aan bij de eerste duidelijke strandrug die verder oostwaarts voorkomt, wat dus toch een natuurlijke genese doet veronderstellen.

(6) een **strandkam** waar zeer grof schelprijk sediment voorkomt met talrijke ronde silexkeien wat een opwerpproces door golfwerking suggereert zoals men dit aantreft langs de hoogwaterlijn van grintstranden. Dit suggereert dat de buitenwal door oostwaartse kuststroming en door brandingsdrift geleidelijk zou uitgegroeid zijn vanaf de suppletie die tegen de oostdam aangebracht was, en dat men de buitenwal dan toch als een embryonale schoorwal zou kunnen beschouwen.

(7) een **steile en hoge buitenste terrassenzone**

(8) een **nat strand met een rug- en zwinmorfologie**. Bij de profielopname en ook op de helikopterluchtfoto is slechts één voorliggende strandrug te bemerken. Die blijkt op het profiel ook erg laag te zijn. De luchtfoto van 1991 laat nog twee voorliggende ruggelijnen zien en suggereert het bestaan van brandingsbanken.

Evolutie van de strandmorfologie sinds 1983

Voor de reconstructie van de evolutie van de terreinvormen sinds de aanleg van de oostdam werd meer speciaal gebruik gemaakt van luchtfoto's uit 1980, 1983, 1985, 1987 en 1991. De foto's uit 1983, 1985 en 1987 waren van slechte kwaliteit.

Enkele van de voornaamste feiten in verband met de morfologische ontwikkeling en met de interpretatie van de terreinvormen zijn de volgende.

Reeds in 1980 is de zandsuppletie langs de zeevering beëindigd. Ook langs de oostdam komt reeds een suppletie voor die echter naar de basis van de dam bijna verdwijnt. Het latere schor is aangelegd als een slibbige kom die naar zee nog open staat langs een brede mui. Op het lager strandgedeelte komt een duidelijke strandrug voor en aan de westkant een bredere plaat die misschien de aanleg van de latere buitenwal is.

De foto's van 1983 en 1985 getuigen van een grote stabiliteit van de morfologie. Langs de oostdam is de aanwaszone wat aangegroeid (natuurlijk of door suppletie?). De slibbige komstructuur blijft nagenoeg ongewijzigd bestaan. De binnenwal heeft zich duidelijk gevormd; van de buitenwal is nog maar weinig te zien.

In 1987 is de binnenwal westwaarts aangegroeid tot tegen de zuidrand van de suppletie langs de oostdam. Die zuidrand schijnt zich te ontwikkelen tot de binnentong van de buitenwal. Er is evenwel nog geen sprake van de buitenwal. Het nat strand loopt tot tegen de binnenwal en vertoont een groot aantal kustcellen met zwinen die allen afwateren naar een grote, brede mui waarin ook de afvoergeul uit de slibbige komzone uitmondt.

Uit de luchtfoto van 1991 blijkt dat de binnentong van de huidige buitenwal en de binnenwal nagenoeg tot één aansluitende structuur geëvolueerd waren die door de tijgeul doorbroken was.

De vorming van de buitenwal is dus pas na 1991 begonnen.

Dynamiek van de kustlijn langs de Vlaamse kust en in de Baai van Heist

Beide bovenvermelde aspecten worden sinds 1979 nauwgezet opgevolgd door AWK. Er zijn talrijke rapporten en publicaties waarin de resultaten verwerkt zijn. Recentelijk nog heeft ir P. De Wolf op het colloquium 'Kustzonebeheer vanuit geo-ecologische en economische invalshoek' gehouden te Oostende op 16 en 17 mei 2002, een synthese over deze problematiek naar voren gebracht. Bij de interpretatie van de resultaten over de hoogteverschillen, de volumetrische veranderingen en de verschuiving van de kustlijn in verband met de kuststabiliteit dient rekening gehouden dat de data de effecten van de zandsuppleties integreren waardoor de natuurlijke evoluties onderbroken en verstoord geweest zijn.

Vermelden we hier toch meer speciaal dat in de periode 1986-1993 een belangrijke verlaging in de Appellzak en op het strand te Knokke vastgesteld werd. Overwegend ter hoogte van de vooroeverzone vòòr Heist en Duinbergen en zeewaarts tegen de Oostdam aan de Baai van Heist werd een verhoging vastgesteld die er tot 1.5 m kan bereiken. Op het (deels opgehoogd) strand vòòr Heist en Duinbergen en dus ook in de Baai van Heist wordt deze periode 1986-1993 gekenmerkt door overwegende stabiliteit. Anderzijds wordt evenwel vermeld dat in de periode 1986-1999 op het strand in de Baai van Heist een zandverlies van 10 tot 40 m³ zand per meter kustlengte per jaar zou opgetreden zijn. De kustlijn zelf zou gedurende de periode 1986-2001 in de Baai van Heist wel verplaatsingen ondergaan hebben. De HW lijn zou er tussen 150 (in het westen) en 50 m (in het oosten) zeewaarts geschoven zijn. De verplaatsing van de LW lijn is veel minder belangrijk: tegen de Oostdam aan is ze over een honderdtal m kustlengte tot 50 m landwaarts verschoven, maar meer oostwaarts komt een zeewaartse verschuiving voor die zelden mer dan 10 à 20 m bereikt. Dat zich daar tussen 1979 en 1986 wel belangrijke zeewaartse verschuivingen van de HW en van de LW lijn voorgedaan hadden die in het westwaarts gedeelte tegen de oostdam aan zelfs tot 250 m bereikten laat vermoeden dat die evolutie aan de zandsuppleties moet toegeschreven worden.