

Opslibbing van schorren en overstromingsgebieden langs de Schelde: een onvermijdelijk natuurlijk proces

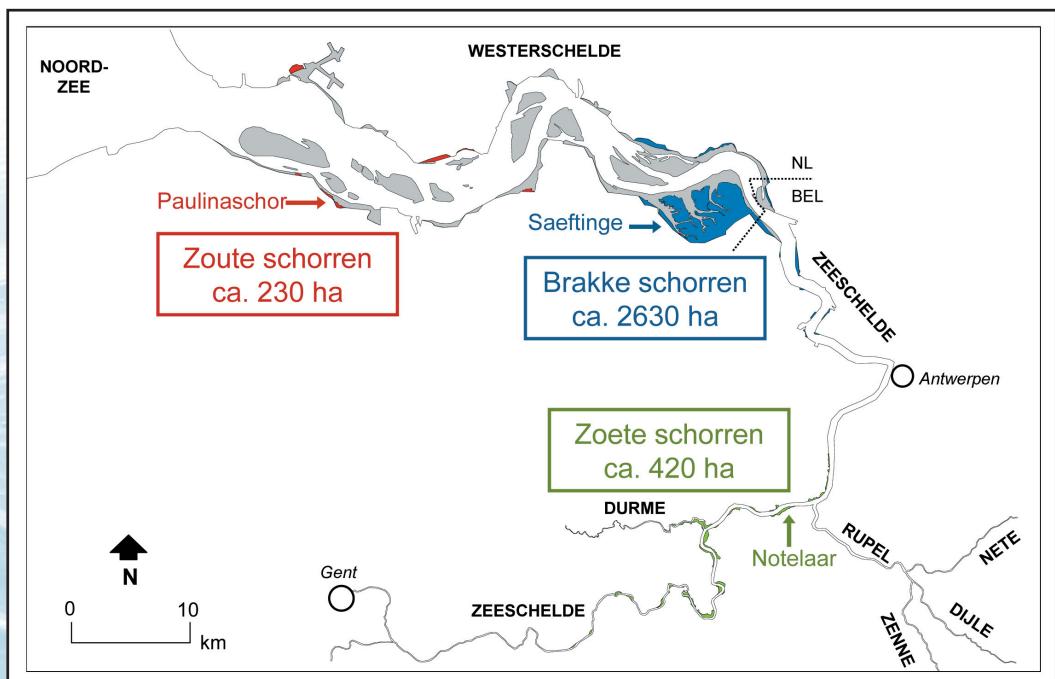
De schorren, die voorkomen langs de oevers van het Schelde-estuarium, worden regelmatig overstroomd tijdens springtijen, waarbij er slijb en fijn zand wordt aangevoerd en afgezet. Hierdoor hoger de schorren zich op. Dergelijke opslibbing mogen we ook verwachten in overstromingsgebieden (bv. GOG-GGG's) die momenteel worden aangelegd langs het Schelde-estuarium. De opslibbing van schorren en overstromingsgebieden is een onvermijdelijk, natuurlijk proces, dat belangrijke gevolgen heeft voor de functies die schorren en overstromingsgebieden vervullen: door opslibbing dreigt hun waterbergingscapaciteit te verminderen, waardoor de kans op overstrooming van dijken toeneemt; door ophoging verandert ook de efficiëntie waarmee sedimenten, nutriënten en vervuilende stoffen uit het Scheldewater worden afgezet (filterfunctie); en hoogteveranderingen zijn sturend voor veranderingen in het ecosysteem (planten, dieren, enz.). In dit artikel geven we een overzicht van de huidige kennis en kennisleemten over sedimentatieprocessen in schorren en overstromingsgebieden langs het Schelde-estuarium.

Inleiding

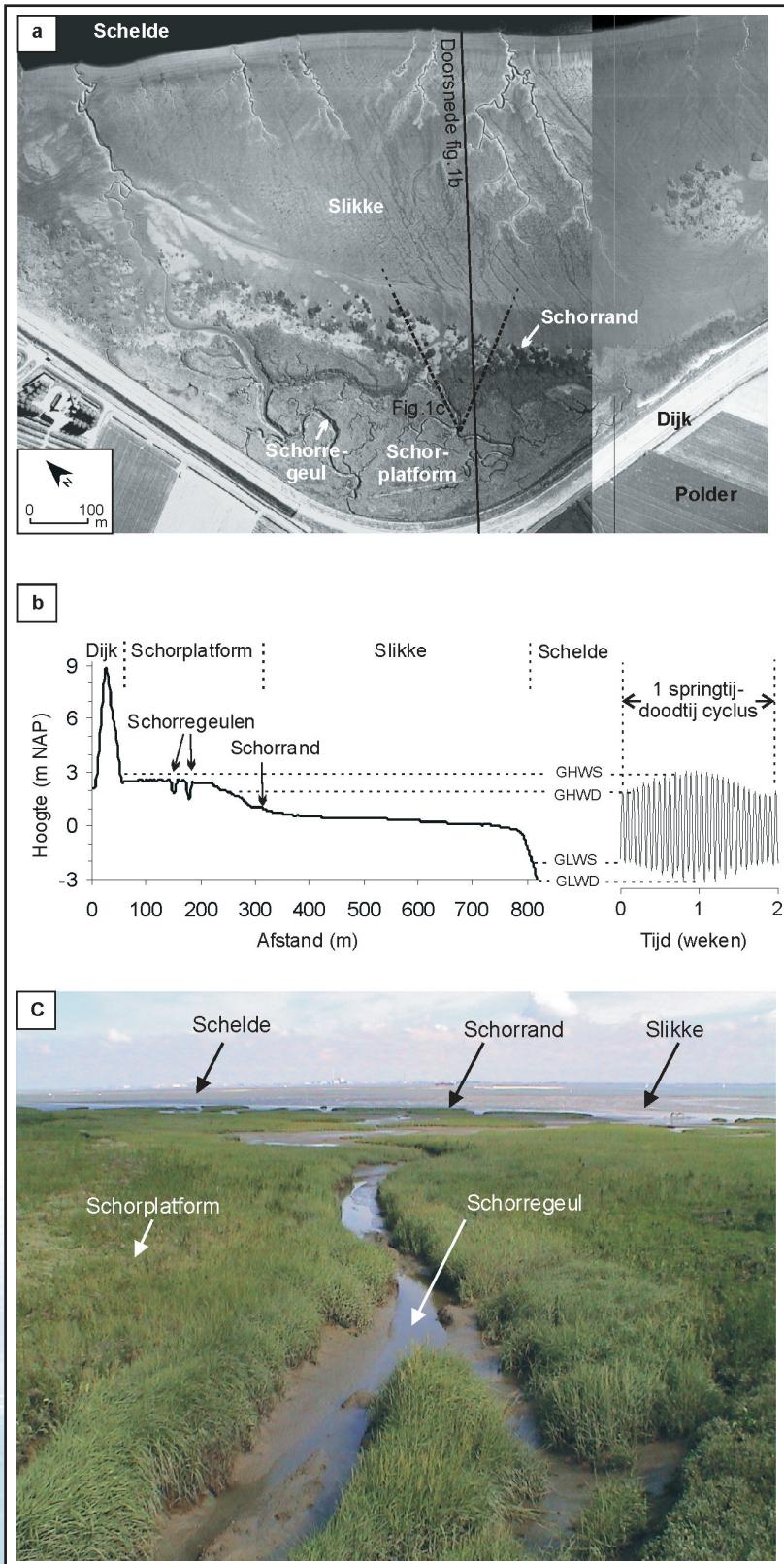
De oeverzones van het Schelde-estuarium (fig. 1) worden gekenmerkt door slikken en schorren. Dit zijn gebieden die periodiek overstroomd worden bij hoogwater en weer droogvallen bij laagwater (fig. 2). Tijdens overstrooming van de schorren treedt enerzijds sedimentatie op: het overspoelende water is beladen met sedimentdeeltjes, vooral slijb, fijn zand, en organisch materiaal, dat gedeeltelijk bezinkt uit het water en wordt afgezet op het begroeide schorplatform. Anderzijds kan er ook erosie optreden: hiermee bedoelen we het uitschuren van de bodem door het overspoelende water, wat vooral gebeurt in de onbegroeide schorrelagen en aan de schorrand (fig. 2). Sedimentatie- en erosieprocessen leiden tot veranderingen in de geomorfologie, of het reliëf, van schorren. Deze reliëfveranderingen hebben belangrijke implicaties voor de functies die schorren vervullen binnen het Schelde-estuarium.

De schorren spelen onder meer een belangrijke rol in de waterbeheersing langs het estuarium. Ze fungeren als natuurlijke overstromingsgebieden, waardoor bij extreme hoogwaterpeilen (stormvloeden) het waterbergend vermogen van het estuarium wordt vergroot, zodat het risico op overstrooming van bewoonde gebieden langs het estuarium verkleint. Door opslibbing van de schorren, als gevolg van sedimentatie, neemt dit waterbergend vermogen echter af (bv. Temmerman et al. 2004b), waardoor de getijdengolf hoger en dieper landinwaarts in het estuarium wordt opgestuwd. Dit waterbergend vermogen van schorren is vooral belangrijk voor het Verdronken Land van Saeftinghe en de Zeeschelde (Vlaamse deel van het estuarium). Bovendien worden stormingen en golven in sterke mate afgeremd door de schorvegetatie (Bouma et al., 2005a;b), waardoor dijken, die beschermd worden door een schorzone aan de rivierzijde, minder onderhoud vergen en minder gevoelig zijn voor dijkdoorbra-

Figuur 1. Het Schelde-estuarium sterkt zich uit vanaf de Schelde monding in de Noordzee tot Gent.. Omwille van de vermenging van zout zeewater en zoet rivierwater treffen we langs de oevers van het Schelde-estuarium zout-, brak-, en zoetwaterschorren aan.



Figuur 2. (a) Luchtfoto, (b) geomorfologische dwarsdoorsnede, en (c) foto van een typisch slikke- en schorregebied (Paulinashor, Westerschelde). Verklaring van de gebruikte afkortingen: GHWS en GHWD = gemiddeld hoogwaterpeil bij springtij en doodtij, respectievelijk; GLWS en GLWD = gemiddeld laagwaterpeil bij springtij en doodtij, respectievelijk. (Bron luchtfoto: Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst)



ken tijdens stormvloeden. Dit effect is vooral belangrijk langs de Westerschelde (Nederlandse deel van het estuarium), waar hoge windgolven kunnen optreden tijdens stormen. Om het water-

bergend vermogen van het estuarium te vergroten, wil men bovendien in de komende jaren 100-den tot 1000-den ha polders ofwel ontpolderen (bv. Hedwige-Prosperpolder), ofwel inrichten als gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's; bv. polders van Kruibeke-Bazel-Rupelmonde) (Meyvis et al., 2003). Een GOG is een polder, waarvan de dijk aan de rivierzijde wordt verlaagd en waar een nieuwe, hoge ringdijk wordt aangelegd langs de landzijde, zodat bij extreem hoge waterstanden op de Schelde water in het GOG kan stromen. Daardoor moet de waterstand op de Schelde dalen en het risico op overstromingen in andere, bewoonde gebieden langs de Schelde afnemen. Sommige GOG's zullen tevens ingericht worden met een gecontroleerd gereduceerd getij (GGG): via sluizen in de rivierdijk kan een gereduceerd getij elke dag de polder in- en uitstromen (bv. Cox et al. 2006). In ontpolderde gebieden en GOG's met GGG mogen belangrijke reliëfveranderingen verwacht worden, als gevolg van sedimentatie- en erosieprocessen die vergelijkbaar zijn met deze in schorren (Maris et al., 2007). Deze reliëfveranderingen zullen uiteraard belangrijke gevolgen hebben voor het waterbergend vermogen van deze nieuwe overstromingsgebieden.

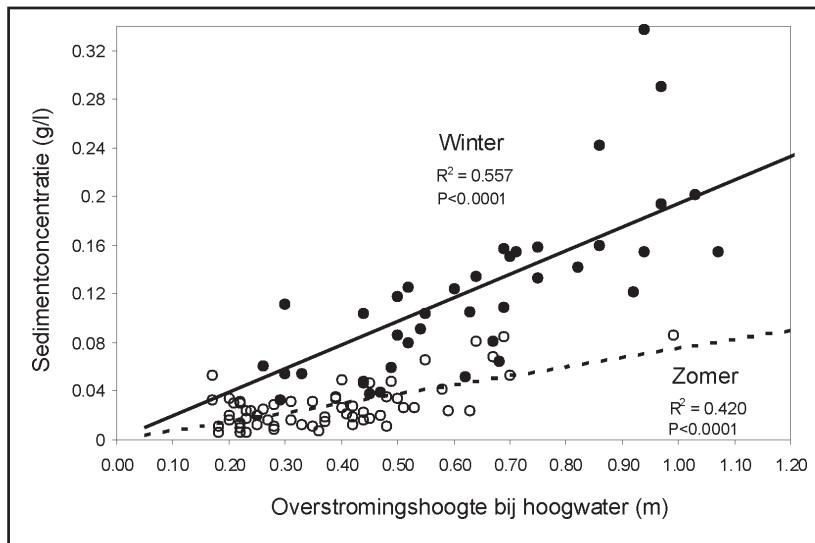
Schorren hebben tevens ook een belangrijke filterfunctie. Het Scheldewater is beladen met grote hoeveelheden sedimenten, nutriënten (bv. stikstof), en vervuilende stoffen (bv. zware metalen), afkomstig van bodemerosie, landbouw- en industriële activiteiten in het stroomgebied van de Schelde. De hoge sedimentlading zorgt voor problemen in verband met dichtslibben en verzanden van de vaargeul, waardoor zwaar moet geïnvesteerd worden in baggerwerken om de Scheldehavens, zoals de Antwerpse haven, bereikbaar te houden voor schepen. De hoge nutriëntlading zorgt dan weer voor eutrofivering, waardoor het Scheldewater vaak zuurstofloos wordt, wat een sterke limiterende factor is voor biologische activiteit. De schorren zijn dé uitgesproken plaatsen in het estuarium, waar van nature sedimentatie kan optreden van sedimenten (bv. Temmerman et al. 2004b), nutriënten (bv. Gribsholt et al. 2005; Struyf et al. 2007) en vervuilende stoffen (bv. Du Laing et al., 2007). Sedimentatie in schorren zorgt dus voor een natuurlijke zuivering van het Scheldewater. Een gelijkaardige filterfunctie wordt verwacht in de geplande ontpolderingen en GOG's met GGG.

Tot slot zijn schorren essentiële schakels in het ecosysteem van het Schelde-estuarium. Hun uitzonderlijke waarde als natuurgebieden wordt erkend door een aantal nationale en internationale beschermingsstatuten (bv. EU Habitat- en Vogelrichtlijn). Reliëfveranderingen, door sedimentatie en erosie, zijn sturend voor habitatveranderingen in schorren, en tevens in ontpolderde gebieden en GOG's met GGG. Bijvoorbeeld, opslibbing resulteert in een afname van de overstromingsfrequentie, waardoor andere planten en dieren de voorkeur krijgen (bv. Van den Bergh et al., 2001).

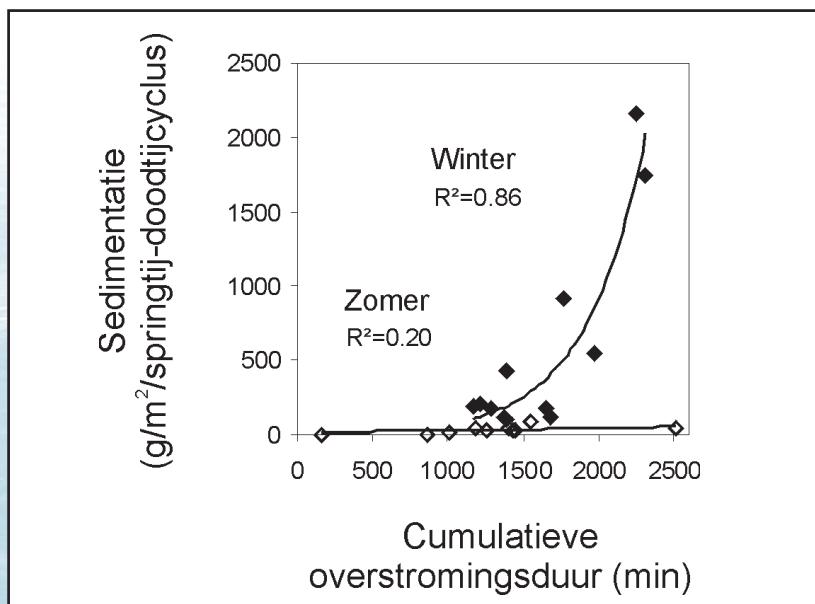
Het wetenschappelijk onderzoek naar sedimentatie- en erosieprocessen in schorren dient dus

een belangrijke bijdrage te leveren tot een efficiënt en duurzaam beheer van het Schelde-estuarium. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de huidige kennis over sedimentatieprocessen op de schorren, en wijzen we op een aantal implicaties voor de aanleg van nieuwe overstromingsgebieden langs de Schelde. Over erosieprocessen, die zich vooral afspeLEN in de schorgeulen en aan de schorrand, is tot nu toe vrij weinig bekend, maar dit wordt volop onderzocht. Daarom wordt erosie hier in minder detail besproken.

Figuur 3. Sedimentconcentratie in functie van de overstromingshoogte bij hoogwater, gemeten op de schorren van de Notelaar tijdens de periode april 2000 t/m mei 2001. Elk bolletje stelt 1 meting van de sedimentconcentratie voor aan het begin van 1 overstroming met een bepaalde overstromingshoogte. De dataset werd opgesplitst voor zomer (april-september; witte bolletjes) en winter (oktober-maart; zwarte bolletjes).



Figuur 4. Sedimentatie in functie van cumulatieve overstromingsduur, gemeten op de schorren van de Notelaar tijdens de periode april 2000 t/m mei 2001. Elk bolletje stelt 1 meting voor van de hoeveelheid afgezette sediment na 1 springtij-doodtij cyclus (= ca. 14 dagen). De dataset werd opgesplitst voor zomer (april-september; witte bolletjes) en winter (oktober-maart; zwarte bolletjes).

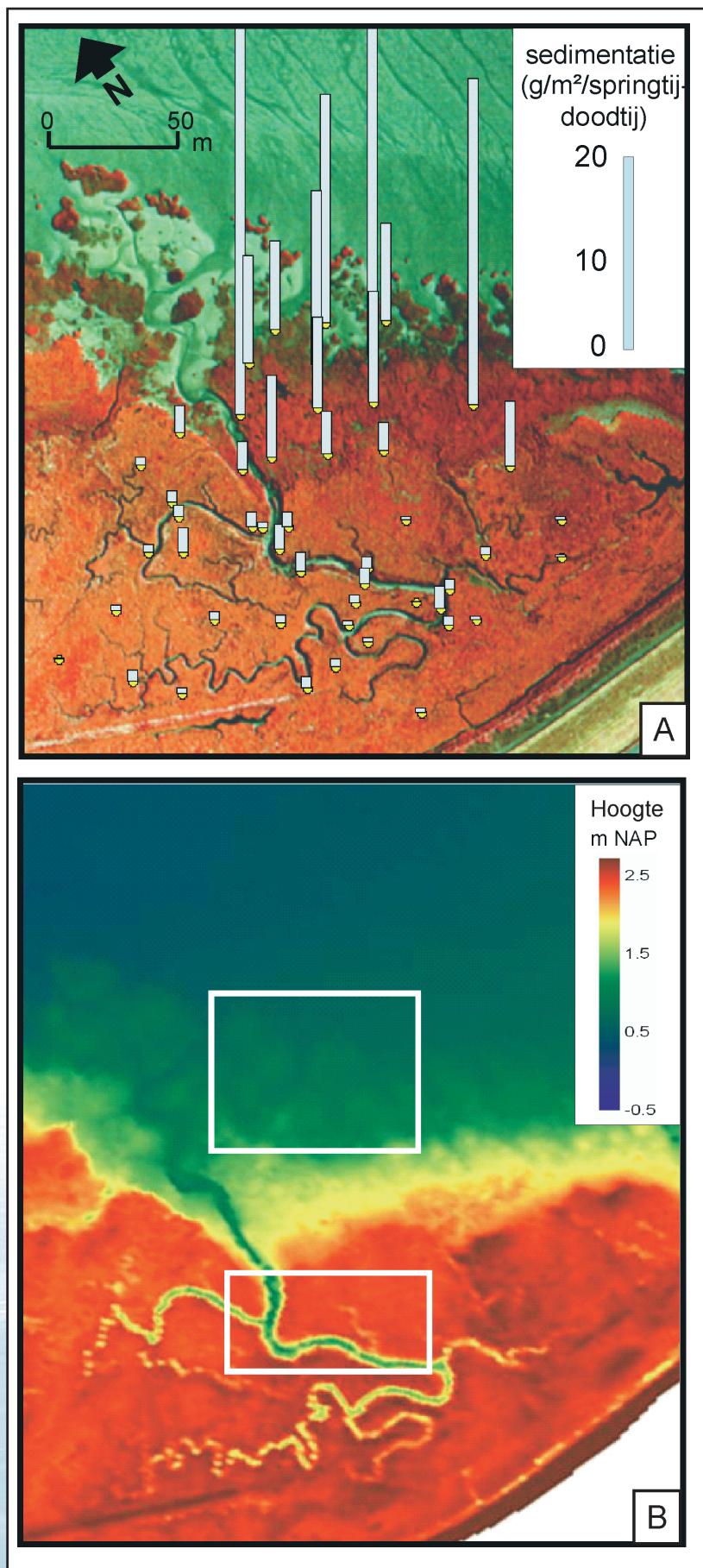


Sedimentatie varieert in tijd en ruimte

De sedimentconcentratie in het water dat schorren overstroomt, is bepalend voor de totale hoeveelheid sediment die maximaal kan worden afgezet op een schor. Die sedimentconcentratie varieert sterk in de loop van een jaar. Op de schorren van de Notelaar, bijvoorbeeld, werden variaties gemeten van 10 tot 300 mg droog sediment per liter water (fig. 3). De sedimentconcentratie is hoger wanneer het schor door een hoger hoogwaterpeil wordt overstroomd. Hoe hoger het hoogwater, hoe sterker het water het schor komt binnengestroomd (want de tijdsperiode voor de vloed is voor elk tij ongeveer hetzelfde), zodat het overstroomende water een hogere sedimentconcentratie in suspensie kan houden. Daarnaast zien we ook dat de sedimentconcentratie hoger is in de winter (oktober-maart) dan in de zomer (april-september), voor eenzelfde overstroomingshoogte (fig. 3). Als gevolg van deze variaties in sedimentconcentratie in functie van de getijdenwerking en de seizoenen, gaat ook de hoeveelheid sediment, die effectief wordt afgezet op de schorren, variëren in functie van beide parameters (fig. 4). Bijvoorbeeld, op de schorren van de Notelaar werd een variatie vastgesteld van minder dan 10 mg tot meer dan 2 kg droog sediment dat wordt afgezet per springtij-doodtijcyclus (= ca. 14 dagen). De meeste sedimentatie treedt dus op tijdens de hoogste springtijen in de winter (Temmerman et al., 2003b).

Waar in de schorren wordt het sediment nu afgezet? Figuur 5a toont een voorbeeld van het ruimtelijke sedimentatiepatroon dat werd gemeten op het Paulinaschor (Westerschelde). Ter vergelijking wordt in figuur 5b een hoogtekaart getoond van hetzelfde gebied. Hieruit blijkt duidelijk dat het meeste sediment wordt afgezet op het lage schor, het dichtste bij de schorrand. Hoe lager een schor is, hoe groter de overstroomingsfrequentie, -hoogte en -duur, en bijgevolg hoe meer sediment er wordt afgezet. Op het hoge schore, ver van de schorrand, zien we dat er minder sediment wordt afgezet, en dat er een bijkomende variatie in sedimentatie optreedt, die is gerelateerd aan de afstand tot de dichtstbijzijnde schorgeul. Hoe verder van de geulrand, hoe minder sediment er wordt afgezet. Dit wijst erop dat de overstrooming en de ruimtelijke verspreiding van sedimenten over een schor als volgt verloopt. De overstrooming start vanaf de schorrand. Eerst lopen de schorgeulen vol, vervolgens gaan de geulen overlopen en stroomt het water vanuit de geulen over het omliggende schorplatform. Dichtbij de schorrand treedt ook overstrooming op rechtstreeks vanuit de Schelde (dus niet eerst via schorgeulen). Op zijn weg die het water aflegt vanaf de schorrand, via de geulen, en vervolgens over het schorplatform, bezinkt er steeds meer sediment uit het water. Als gevolg daarvan wordt het meeste en zwaarste sediment (fijn zand) eerst afgezet dichtbij de schorrand en dichtbij de geulranden, en blijft er minder en lichter sediment in het water over (silt en klei) dat op een verdere afstand van de schorrand en van de schorgeulen wordt afgezet (Temmerman et al., 2003b; 2005b).

Figuur 5. (A) Luchtfoto van het Paulinaschor. De staafjes geven sedimentatiehoeveelheden weer, die werden gemeten op 50 locaties tijdens 1 springtij-doodtij cyclus (= ca. 14 dagen). (B) Hoogtekaart van hetzelfde gebied.



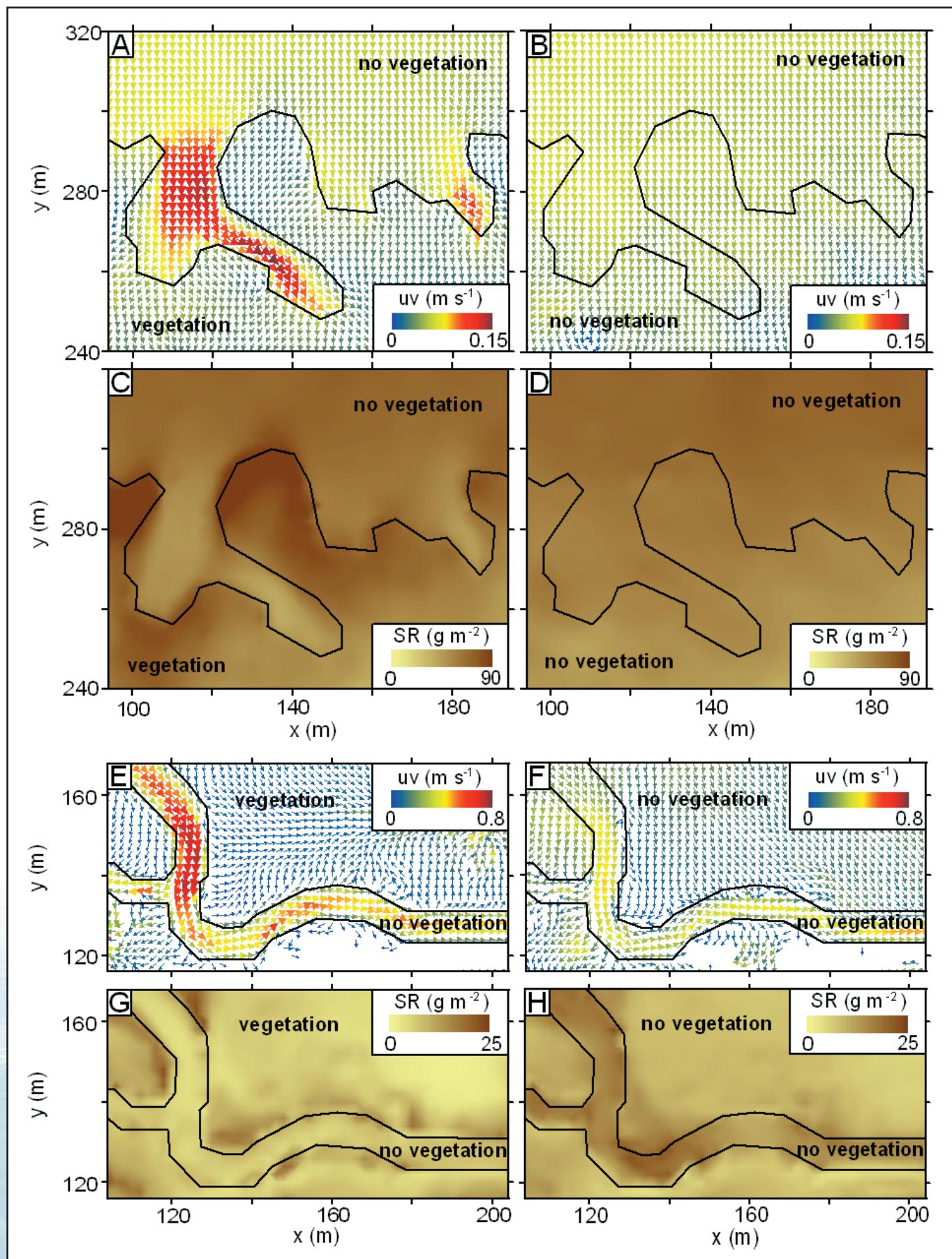
De cruciale impact van vegetatie

Schorren zijn typisch begroeid met een dichte vegetatie (fig. 1c). Men neemt algemeen aan dat water, dat doorheen een dichte vegetatie stroomt, sterk wordt afgeremd, en dat bijgevolg de afzetting van sediment wordt bevorderd. Maar voor schorren blijkt de vegetatie een iets ingewikkelde effect te hebben dan dit.

Het is bijzonder moeilijk (en meestal niet wenselijk) om alle vegetatie van een schor te verwijderen, om zodoende stromingen en sedimentatie te bestuderen met en zonder vegetatie. In dit opzicht biedt een computer model een belangrijk voordeel. Op basis van fysische wetmatigheden die de beweging van water beschrijven over een bepaald reliëf en door een bepaalde vegetatiesstructuur, blijken we vrij goed in staat te zijn om de ruimtelijke stroompatronen en sedimentatiepatronen, die worden gemeten op schorren, te simuleren met een computer model (Delft3D) (Temmerman et al. 2005a; 2007). Deze modelsimulaties tonen aan dat vegetatie een cruciale impact heeft op de erosie- en sedimentatiepatronen op schorren (fig. 6):

- (1) Op de overgang van onbegroeide slikken naar begroeide schorren (fig. 6A en B) zien we dat de stroomsnelheid sterk wordt afgeremd in de vegetatie, als gevolg van de weerstand die de vegetatie uitoefent op de stroming. Als gevolg van deze weerstand wordt de stroming tevens geconcentreerd en versneld net tussen de vegetatie (in dit geval pollen van Engels Slijkgras: zie bv. de luchtfoto in fig. 4a van hetzelfde gebied). Als gevolg van dit stromingspatroon wordt er veel sediment afgezet in de vegetatie, terwijl er tussen de vegetatie weinig sedimentatie of zelfs erosie optreedt (fig. 6C en D). Deze interacties tussen vegetatie en stroming leiden uiteindelijk tot de erosie van schorgeulen tussen de vegetatiepollen.
- (2) Op een reeds ontwikkeld schor met diepe geulen (fig. 6E) stroomt het water het snelste door de geulen, aangezien het water daar de minste weerstand ondervindt omdat er geen vegetatie groeit in de geulen. Bijgevolg wordt het begroeide schorplatform overstroomd vanuit de geulen, waarbij de stroomsnelheid snel afneemt, van zodra het water door de vegetatie stroomt (fig. 6E). Wanneer er geen begroeiing aanwezig zou zijn op het schorplatform, dan stroomt het water even gemakkelijk rechtstreeks vanuit de Schelde over het onbegroeide schorplatform dan eerst via de geulen. Bij afwezigheid van vegetatie is de stroomsnelheid in de geulen bijgevolg veel lager en wordt het schorplatform niet overstroomd vanuit de schorgeulen maar vanuit de Schelde (fig. 6F). Als gevolg van deze stroompatronen gaat bij aanwezigheid van vegetatie weinig sedimentatie of zelfs erosie optreden in de geulen, en wordt het meeste sediment afgezet vlak naast de geulen (fig. 6G). Bij afwezigheid van vegetatie, zouden

Figuur 6. (A t/m D) Resultaten van modelsimulaties voor het randgebied tussen slik en schor (bovenste witte kader in fig. 5B): stromingspatroon met schorvegetatie (A) en zonder schorvegetatie (B); sedimentatiepatroon met schorvegetatie (C) en zonder schorvegetatie (D). (E t/m H) Resultaten van modelsimulaties voor het hoge schor (onderste witte kader in fig. 5B): stromingspatroon met schorvegetatie (E) en zonder schorvegetatie (F); sedimentatiepatroon met schorvegetatie (G) en zonder schorvegetatie (H).

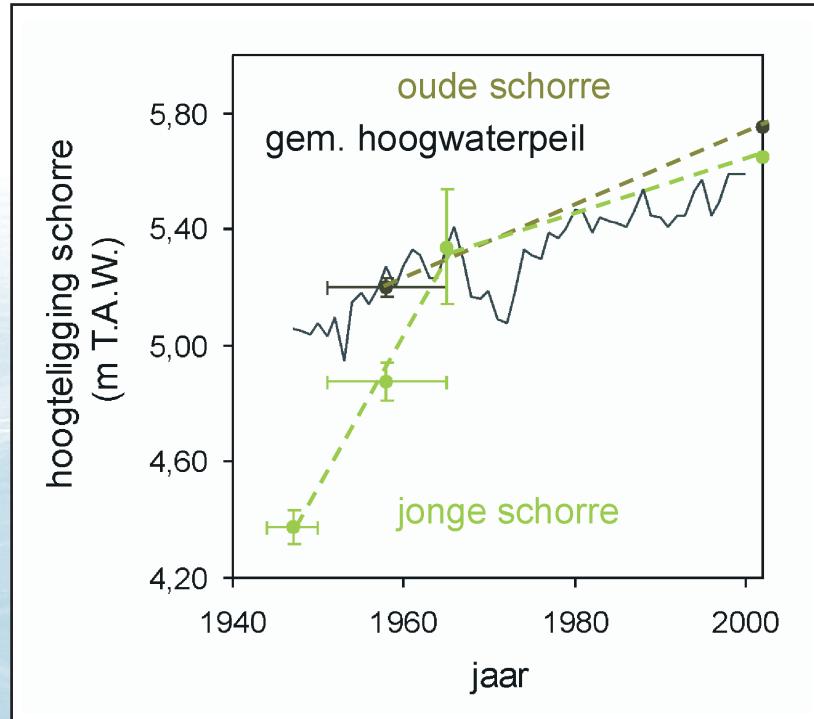


de geulen dichtslibben en zou er minder sediment afgezet worden vlak naast de geulen (fig. 6H). Deze simulaties tonen dus aan dat de aanwezigheid van vegetatie verantwoordelijk is voor de erosie van geulen (Temmerman et al. 2007) en voor het ontstaan van een micro-reliëf van oeverwallen en kommen, wat typisch is voor schorren (Temmerman et al. 2005a): vlak langs de geulen ontstaan oeverwallen (ruggen), die 20 tot 30 cm hoger worden dan de lager gelegen kommen (depressions) op een grotere afstand van de geulen. Bij afwezigheid van vegetatie, zoals op slikken, treedt er nauwelijks vorming van oeverwallen en komen op.

Opslibbing op lange termijn: verleden en toekomst?

We zagen hierboven reeds dat de opslibbing van schorren, op de korte termijn van individuele tijen, in sterke mate wordt bepaald door de overstromingsfrequentie, -hoogte, en -duur (fig. 3 en 4). Maar op de lange termijn van 10-tallen tot 100-den jaren, zal de overstromingsdynamiek veranderen. Enerzijds omdat de schorren zich ophogen door sedimentatie, maar anderzijds ook omdat de hoogte van de hoogwaterpeilen verandert, bijvoorbeeld door zeespiegelstijging. De reactie van schorren op zeespiegelstijging is een belangrijk onderzoeksthema. Op sommige plaatsen in de wereld zien we dat schorren door de zeespiegelstijging steeds meer worden overstroomd, waardoor de schorvegetatie op termijn

Figuur 7. Opslibbing van de oude schorre (in donkergroen) en jonge schorre (in lichtgroen) van de Notelaar gedurende de laatste 60 jaar, bepaald aan de hand van datering van boorkernen. In volle zwarte lijn: evolutie van het lokale gemiddelde hoogwaterpeil (GHW). (bron data GHW: AWZ)



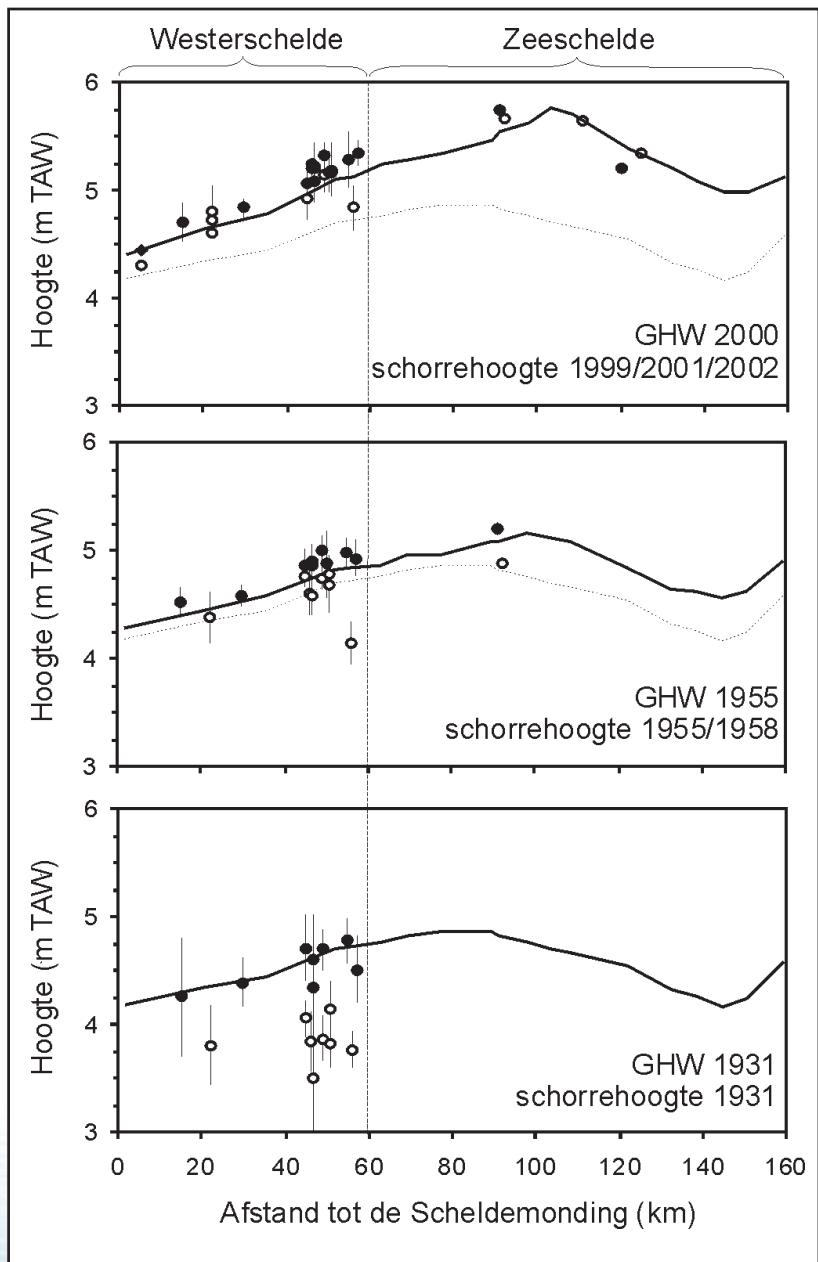
afsterft en uiteindelijk volledig verdwijnt (bv. in de Mississippi-delta). Op andere plaatsen gaat de opslibbing voldoende snel, zodat de schorren de stijging van het zeeniveau nog net kunnen volgen en zich in stand kunnen houden. Op nog andere plaatsen hogen schorren zich zodanig snel op, dat ze na verloop van tijd nog maar weinig worden overspoeld. Het is duidelijk dat deze verschillende reacties van schorren op zeespiegelstijging, belangrijke implicaties hebben op de functies van schorren, zowel op het vlak van waterbeheersing, filterfunctie en ecologie.

Figuur 7 toont gegevens over de opslibbing van de schorren van de Notelaar tijdens de afgelopen 60 jaar, die erg representatief zijn voor de Schelde. Enerzijds komt hier een oud schor voor, die reeds staat afgebeeld op oude kaarten van het einde van de 18de eeuw. Anderzijds werd hier ook een jong schor gevormd rond 1950 door de vestiging van nieuwe schorvegetatie op een slik (Temmerman et al. 2003a). De opslibbing van beide types van schorren verloopt algemeen volgens het volgende patroon:

- (1) Jonge, laag gelegen schorren worden vaak, lang en hoog overstroomd onder invloed van de getijdenwerking. Daardoor is de sedimentatiesnelheid op jonge schorren aanvankelijk hoog (bv. voor de jonge schor van de Notelaar zo'n 6 tot 8 cm/jaar tussen 1950 en 1965). Als gevolg van deze snelle opslibbing gaat de overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur stelselmatig afnemen. Bijgevolg krijgen we een afname in de sedimentatiesnelheid met toenemende hoogte van de schorren ten opzichte van het gemiddelde hoogwaterpeil (GHW). Door deze negatieve terugkoppeling tussen opslibbing en overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur, gaan schorren uiteindelijk evolueren naar een bepaald evenwichtsniveau, waarbij de snelheid van opslibbing en stijging van GHW elkaar in evenwicht houden. Voor de Scheldeschorren ligt dit evenwichtsniveau 10 tot 20 cm boven GHW (fig. 7 en 8).
- (2) Oude, hoog gelegen schorren (die hun evenwichtsniveau ten opzichte van GHW reeds hebben bereikt) hogen zich even snel op als de snelheid waarmee GHW stijgt (fig. 7). Het oude schor van de Notelaar, bijvoorbeeld, hoopt zich momenteel op met een snelheid van 1.2 tot 1.8 cm/jaar.

Deze mechanismen van opslibbing gelden niet alleen voor de schorren van de Notelaar, maar voor vrijwel alle schorren langs de Schelde (Temmerman et al. 2004b). Uit figuur 8 blijkt dat gedurende de afgelopen 70 jaar, de Scheldeschorren zich hebben opgehoogd met een gemiddelde snelheid van ca. 0.4 tot 7.5 cm/jaar. Daarbij hogden jonge, lage schorren zich zeer snel op, soms tot 1.5 m in amper 15 tot 30 jaar tijd (bv. Notelaar 1950-1965; Saeftinghe 1931-1963). Opvallend hierbij is dat jonge schorren sneller opslippen tot hun evenwichtsniveau in de Zeeschelde dan in de Westerschelde, wat te wij-

Figuur 8. Hoogteligging van schorren langs het Schelde-estuarium in functie van afstand tot de monding, voor verschillende tijdstippen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen jonge schorren (in witte bolletjes), die pas gevormd zijn rond 1931 of daarna, en oude schorren (in zwarte bolletjes), die al in evenwicht zijn met gemiddelde hoogwaterpeil (GHW) rond 1931. Het verloop van GHW langs de Schelde is weergegeven in volle lijn. In de bovenste 2 figuren is in dunne stippenlijn telkens GHW voor 1931 weergegeven als referentie. (bron data GHW: AWZ)



ten is aan de hogere sedimentconcentraties in het water in de Zeeschelde. Eenmaal dit evenwichtsniveau is bereikt hogen oude, hoge schorren zich veel trager op aan een snelheid van zo'n 0.4 tot 1.8 cm/jaar, vergelijkbaar met de snelheid van GHW stijging. De opslibbing van de oude, hoge schorren gaat over het algemeen sneller in de Zeeschelde dan in de Westerschelde (fig. 8), omdat het GHW sneller stijgt in de Zeeschelde. Tenslotte is het GHW in de Schelde niet overal gelijk, waardoor het evenwichtsniveau van de schorren varieert langs de Schelde: de hoogte

schorren vinden we ter hoogte van de Durmestrand; in zeevaartse en landinwaarts richting neemt de evenwichtshoogte van de schorren af (fig. 8).

We vermeldden reeds dat het GHW niet overal even snel stijgt langs de Schelde. Aan de monding steeg het GHW met ca. 30 cm gedurende de afgelopen eeuw, vooral onder invloed van de globale zeespiegelstijging. Maar meer landinwaarts, bijvoorbeeld ter hoogte van de Durmestrand, steg het GHW met maar liefst 150 cm (Temmerman et al., 2004b). Deze snelle stijging houdt verband met processen in het estuarium, zoals inpoldering en opslibbing van schorren, waardoor het volume van het estuarium wordt verkleind en de getijdengolf bijgevolg hoger en verder landinwaarts wordt opgestuwd. Deze opstuwing van hoogwaters wordt ook in de hand gewerkt door baggerwerken, waarbij de drempels (ondiepten) in de vaargeul in de Westerschelde werden verlaagd, zodat de getijdengolf minder wrijving met de bodem ondervindt en zich verder landinwaarts kan voortplanten. Wat is nu het effect van deze zeer snelle stijging van GHW op de schorren? Zullen de schorren in de toekomst meer en meer overstroomd worden, en zal de schorvegetatie daardoor afsterven en verdwijnen? Of kunnen de schorren zich in stand houden door opslibbing?

Om dit te onderzoeken ontwikkelden we een computer model (MARED: Temmerman et al., 2003a; 2004a,b). Dit model simuleert de opslibbing van schorren als reactie op veranderingen in GHW en in sedimentconcentratie. Het model werd eerst uitvoerig gevalideerd ten opzichte van de veldgegevens in figuur 8. Modelsimulaties tonen aan dat de schorren langs de Schelde de stijging van het GHW kunnen volgen, zelfs in de veronderstelling dat het GHW gedurende de volgende 100 jaar anderhalve keer sneller zou stijgen dan de afgelopen 70 jaar (wat niet onrealistisch is gezien de voorspelde, versnelde zeespiegelstijging, en gezien de verdere verdieping van de Westerschelde). Maar bij een versnelde stijging van GHW ($\times 1.5$ keer) in combinatie met een lagere sedimentconcentratie in het Scheldewater ($0.5 \times$ de huidige concentratie) zouden de schorren niet meer in staat zijn om de stijging van GHW te volgen. Bijgevolg zullen de schorren meer en meer overstroomen, met belangrijke vegetatieveranderingen en misschien zelfs het verdwijnen van schorren tot gevolg. Bepaalde maatregelen, zoals maatregelen om bodemerosie in het stroomgebied van de Schelde te reduceren, zouden kunnen leiden tot een verminderde sedimentaanvoer naar de Schelde en zouden dus nadelige gevolgen kunnen hebben voor de schorren. Voor alle duidelijkheid merken we nog op dat deze modelsimulaties geen rekening houden met mogelijke laterale erosie van de schorrand. Het is bijvoorbeeld niet onmogelijk dat versnelde zeespiegelstijging zal leiden tot snellere laterale erosie van schorren.

Implicaties voor de functies van schorren en overstromingsgebieden

De waterbergende functie van schorren en overstromingsgebieden komt onvermijdelijk in het gedrang door het natuurlijke proces van sedimentatie. Vooral laag gelegen schorren en overstromingsgebieden leveren een belangrijke bijdrage tot de waterbergung in het estuarium, waardoor getijvoortplanting en waterpeilen in het estuarium worden gereduceerd. Maar doordat lage schorren vaak, lang en hoog worden overstroomd, vindt er ook een snelle opslibbing plaats, met een snelle afname van het waterbergend vermogen tot gevolg. Bijvoorbeeld, in het Verdronken Land van Saeftinge hoogden de lage, jonge schorren zich tot 1.5 m op tussen 1931 en 1963 (Temmerman et al., 2004b). Op een gelijkaardige wijze mogen we verwachten dat laag gelegen polders, die worden ontspolderd of worden ingericht als GOG met GGG, snel zullen opslippen. Recente en voorlopige metingen in het GOG-GGG Lippenbroek tonen aan dat de opslibbing hier op sommige plaatsen tot vijf maal sneller gaat dan in de nabije schorren.

Hoogteveranderingen door opslibbing hebben ook hun weerslag op de filterfunctie van schorren en overstromingsgebieden. Naarmate schorren hoger opslippen, neemt de sedimentatiesnelheid af, en dus ook de efficiëntie waarmee sedimenten, nutriënten en vervuilende stoffen uit het Scheldewater worden gefilterd. We mogen dus verwachten dat grootschalige ontspolderingen en GOG's met GGG aanvankelijk een positief effect zullen hebben op verminderde sedimentatie in de vaargeul en verbeterde nutriëntencycling, maar op termijn zal dit positieve effect onvermijdelijk weer afnemen.

Tenslotte hebben sedimentatieprocessen een belangrijke impact op het ecologische functioneren van schorren, ontspolderde gebieden en GOG's met GGG. Als gevolg van de snelle opslibbing van laag gelegen schorren, gaat de schorrevegetatie een zeer snelle successie doormaken van jonge pionier vegetatie naar een climax vegetatie (bv. Temmerman et al. 2003a). Dat is de reden waarom er langs het Schelde-estuarium momenteel weinig lage schorren voorkomen met jonge pionier vegetatie. Hierdoor gaan ook de hoogteverschillen op schorren relatief snel verdwijnen. Het verdwijnen van hoogteverschillen leidt tot een onvermijdelijke afname van de habitat- en biodiversiteit van schorren.

Besluit

Met dit overzicht willen we duidelijk maken dat onderzoek naar sedimentatie- en erosieprocessen in schorren van cruciaal belang is voor een goed, duurzaam beheer van het Schelde-estuarium. Hiervoor is een goede samenwerking en communicatie nodig tussen wetenschappers en beleidsmakers, om het Schelde-estuarium te vrijwaren, zowel als vaarweg, veilig woon- en werkgebied als waardevol natuurgebied.

Referenties

- Bouma, T.J., De Vries, M.B., Low, E., Kusters, L., Herman, P.M.J., Tanczos, I.C., Hesselink, A., Temmerman, S., Meire, P., Van Regenmortel, S., 2005a. Hydrodynamic measurements on a mudflat and in salt marsh vegetation: identifying general relationships for habitat characterisations. *Hydrobiologia*, 540: 259-274.
- Bouma, T.J., De Vries, M.B., Low, E., Peralta, G., Tanczos, I., Van de Koppel, J., Herman, P.M.J., 2005b. Trade-offs related to ecosystem-engineering: a case study on stiffness of emerging macrophytes. *Ecology*, 86: 2187-2199.
- Cox, T., Maris, T., De Vleeschauwer, P., De Mulder, T., Soetaert, K., Meire, P., 2006. Flood control areas as an opportunity to restore estuarine habitat. *Ecological engineering: the journal of ecotechnology*, 28: 55-63.
- Du Laing, G., Vandecasteele, B., De Grauwé, P., Moors, W., Lessage, E., Meers, E., Tack, F.M.G., Verloo, M.G., 2007. Factors affecting metal concentrations in the upper sediment layer of intertidal reedbeds along the river Scheldt. *Journal of Environmental Monitoring*, 9: 449-455.
- Gribsholt, B., Boschker, H.T.S., Struyf, E., Andersson, M., Tramper, A., De Brabandere, L., Van Damme, S., Brion, N., Meire, P., Dehairs, F., Middelburg, J.J., Heip, C.H.R., 2005. Nitrogen processing in a tidal freshwater marsh: a whole ecosystem ¹⁵N labeling study. *Limnology and Oceanography*, 50: 1945-1959.
- Maris, T., Cox, T., Temmerman, S., De Vleeschauwer, P., Van Damme, S., De Mulder, T., Van den Bergh, E., Meire, P., 2007. Tuning the tide: creating ecological conditions for tidal marsh development in a flood control area. *Hydrobiologia*, 588: 31-43.
- Meyvis, L., Graré, W., Dauwe, W., 2003. Actualisatie van het Sigmaplan. Water, sept 2003: 1-11.
- Struyf, E., Temmerman, S., Meire, P., 2007. Dynamics of biogenic Si in freshwater tidal marshes: Si regeneration and retention in marsh sediments (Scheldt estuary). *Biogeochemistry*, 82: 41-53.
- Temmerman, S., Govers, G., Meire, P., Wartel, S., 2003a. Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology*, 193: 151-169.
- Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S., Meire, P., 2003b. Spatial and temporal factors controlling short-term sedimentation in a salt and freshwater tidal marsh, Scheldt estuary, Belgium, SW Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 739-755.
- Temmerman, S., Govers, G., Meire, P., Wartel, S., 2004a. Simulating the long-term development of levee-basin topography on tidal marshes. *Geomorphology*, 63: 39-55.

Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S., Meire, P., 2004b. Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. *Marine Geology*, 212: 1-19.

Temmerman, S., Bouma, T.J., De Vries, M.B., Wang, Z.B., Govers, G., Herman, P.M.J., 2005a. Impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns: three-dimensional modeling for a tidal marsh. *Journal of Geophysical Research*, 110: F04019.

Temmerman, S., Bouma, T.J., Govers, G., Lauwaet, D., 2005b. Flow paths of water and sediment in a tidal marsh: relations with marsh developmental stage and tidal inundation height. *Estuaries*, 28: 338-352.

Temmerman, S., Bouma, T.J., Van de Koppel, J., Van der Wal, D., De Vries, M.B., Herman, P.M.J., 2007. Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. *Geology*, 35: 631-634.

Van den Bergh, E., Huiskes, A., Criel, B., Hoffmann, M., Meire, P., 2001. Biodiversiteit op de Scheldeschorren. *De Levende Natuur*, 102: 62-66.

S. Temmerman¹,
G. Govers²,
T. Bouma³,
M. De Vries⁴,
S. Wartel⁵,
P. Meire⁶

¹ Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Polaire Ecologie, Limnologie en Geomorfologie, Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk

² Katholieke Universiteit Leuven, Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie, Celestijnenlaan 200 E, 3001 Heverlee

³ Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Postbus 140, 4400 AC Yerseke, Nederland

⁴ WL | Delft Hydraulics, Rotterdamseweg 185, 2629 HD Delft, Nederland

⁵ Vrije Universiteit Brussel, Onderzoeksgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, Pleinlaan 2, 1050 Brussel

⁶ Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk