

Geomorfologie van de schorren

Stijn Temmerman

Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)
Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie
s.temmerman@nioo.knaw.nl

1. Inleiding

1.1. Wat zijn schorren?

1.2. Morfodynamiek van schorren

1.3. Rol van morfodynamiek van schorren voor beheer van het Schelde-estuarium

2. Verticale Morfodynamiek

2.1. Verticale morfodynamiek op korte termijn en kleine schaal

2.1.1. Temporele variaties

2.1.2. Ruimtelijke variaties

2.1.3. De cruciale impact van vegetatie op het ruimtelijke sedimentatiepatroon

2.2. Verticale morfodynamiek op lange termijn en grote schaal

2.2.1. Veld data

2.2.2. Modelleren

3. Laterale Morfodynamiek

3.1. Aspecten van laterale morfodynamiek

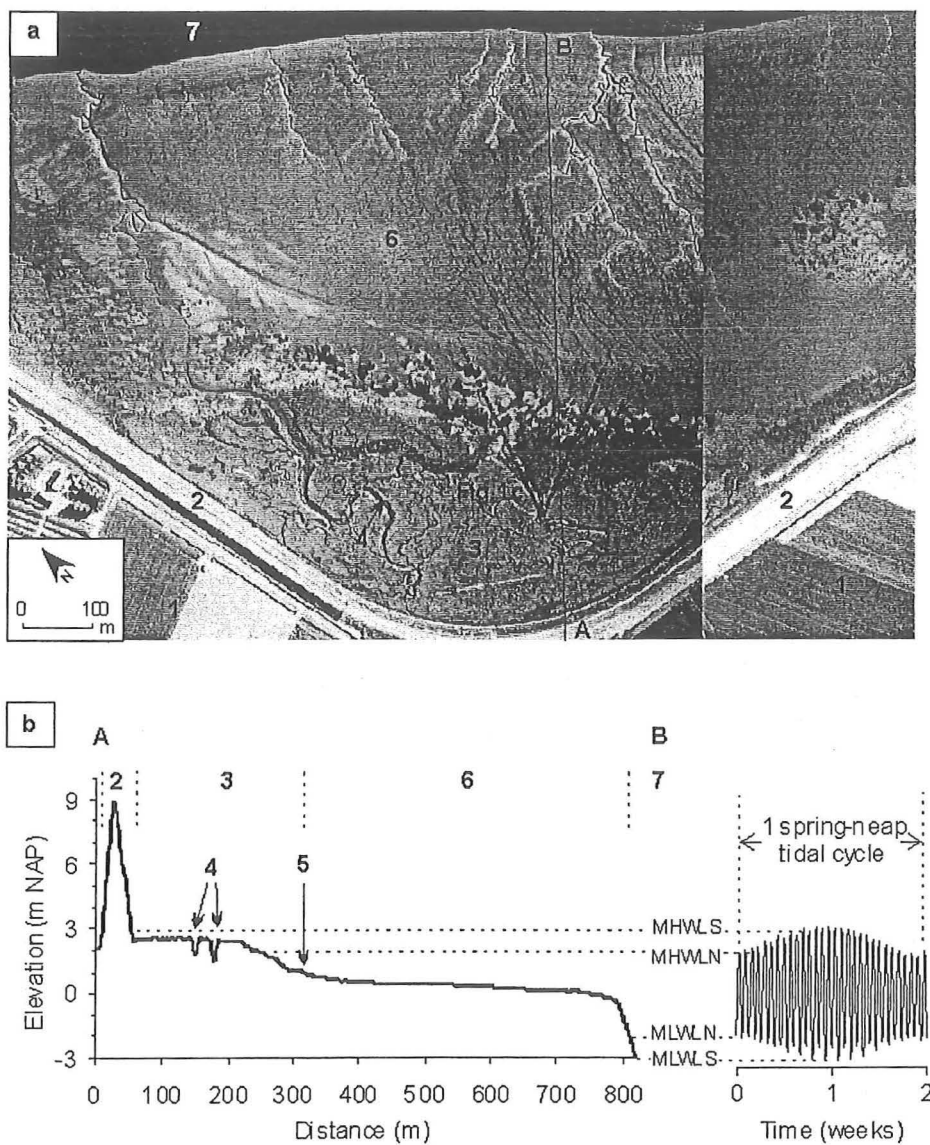
3.2. Veld data

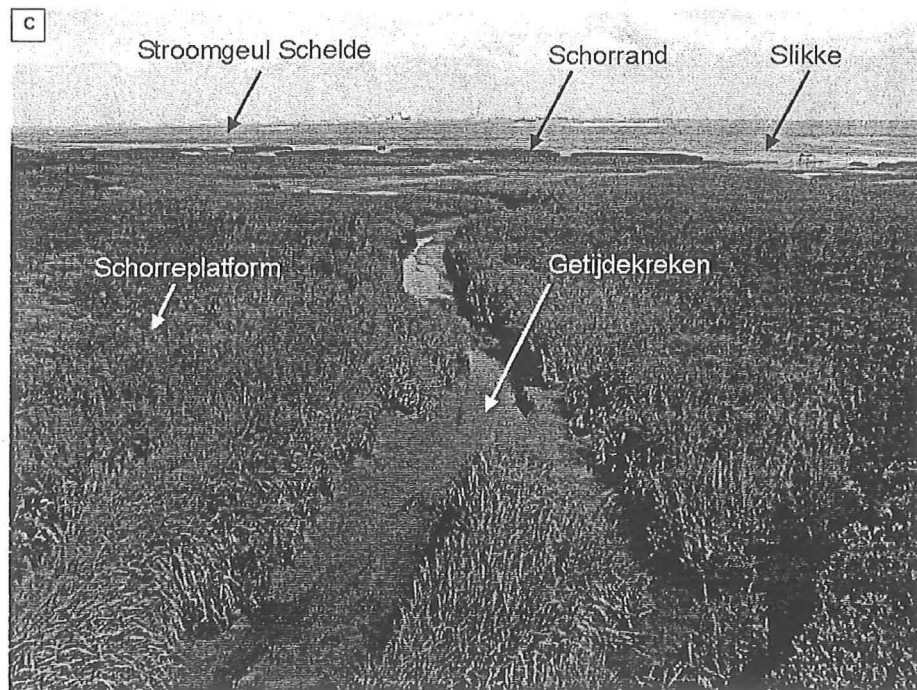
3.3. Een model voor cyclische laterale erosie en aangroei

1. Inleiding

1.1. Wat zijn schorren?

Schorren (Engels: *tidal marshes* of *salt marshes*) en slikken (Engels: *tidal flats* of *mudflats*) komen algemeen voor in gematigde klimaten langs kusten en estuaria, zoals de Schelde. Figuur 1 toont een luchtfoto en geomorfologische dwarsdoorsnede van een schorre- en slikkegebied langs de Westerschelde (Paulinapolder). In Figuur 1c is een foto afgebeeld die werd genomen in hetzelfde schorregebied.

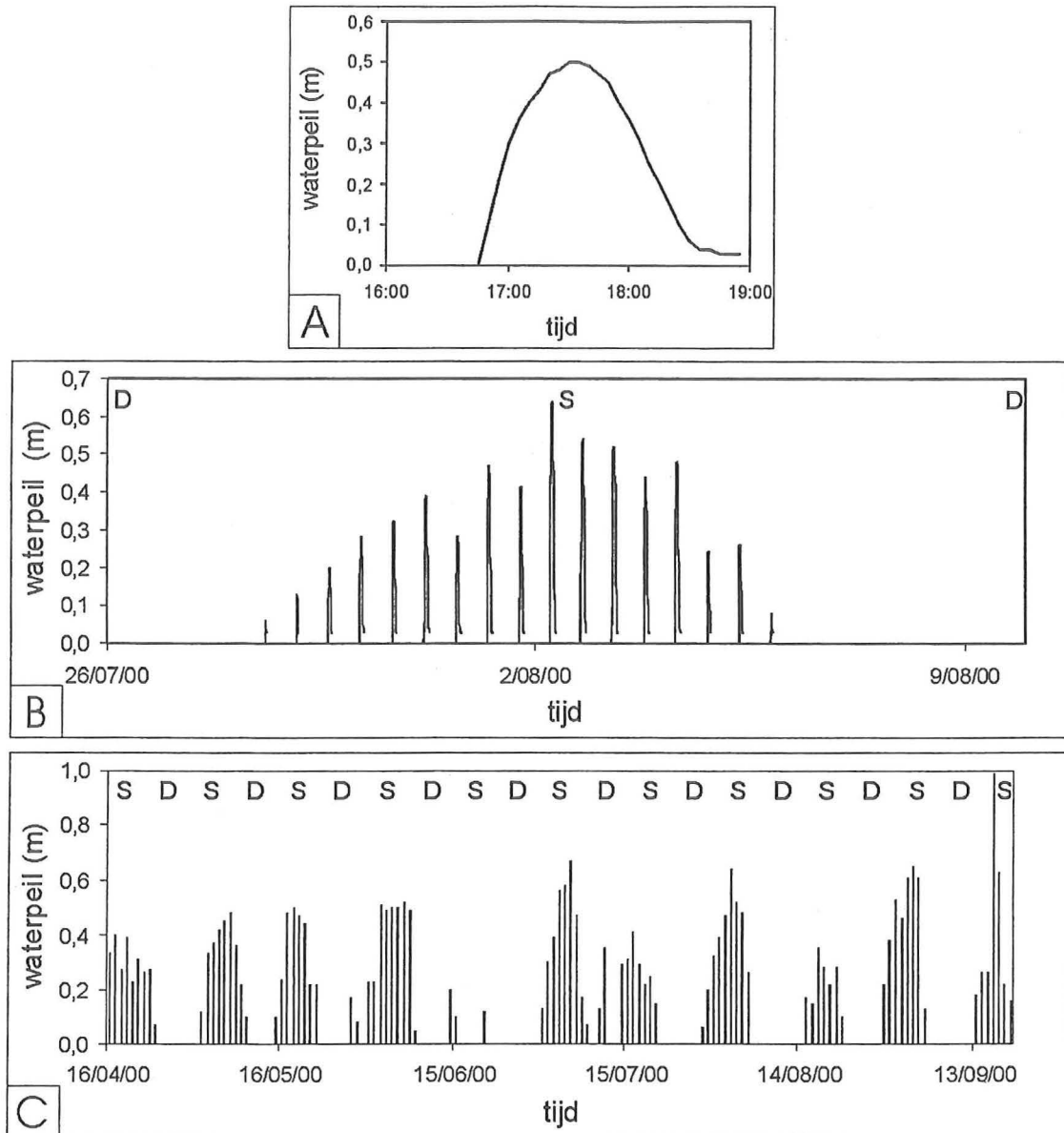




Figuur 1. (a) Luchtfoto, (b) geomorfologische dwarsdoorsnede, en (c) foto van een typisch schorre- en slikkegebied (Paulinapolder, Westerschelde), met aanduiding van: (1) polder; (2) dijk; (3) begroeide schorre platform; (4) getidekreken die zijn ingesneden in het schorre platform; (5) schorrand; (6) onbegroeide slikke; (7) stroomgeul; MHWLS = gemiddelde hoogwaterpeil (GHW) bij springtij; MHWLN = GHW bij doortij; MLWLS = gemiddelde laagwaterpeil (GLW) bij springtij; MLWLN = GLW bij doortij. Data Fig. 1a en b: Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst.

Schorren worden gekenmerkt door:

1. **Periodieke overstroming** onder invloed van getijdenwerking. Schorren hebben een typische hoogteligging rond het gemiddelde hoogwaterpeil (GHW) (Figuur 1). Daardoor worden ze rond springtij gedurende ongeveer 1 week 2 maal per dag overstroomd, waarbij de overstromingshoogte maximaal is bij springtij (0.5 tot 2 m boven het schoroppervlak) (Figuur 2). Rond het daaropvolgende doortij staan de schorren gedurende ongeveer 1 week droog. Nog een week later (volgende springtij) zullen ze weer 2 maal per dag overstroomd, enz. Tijdens zo'n individuele overstroming staan de schorren ongeveer 1 tot 2 uur onder water. De slikken daarentegen worden in principe door elk hoogwater (dus ook bij doortij) overstroomd.

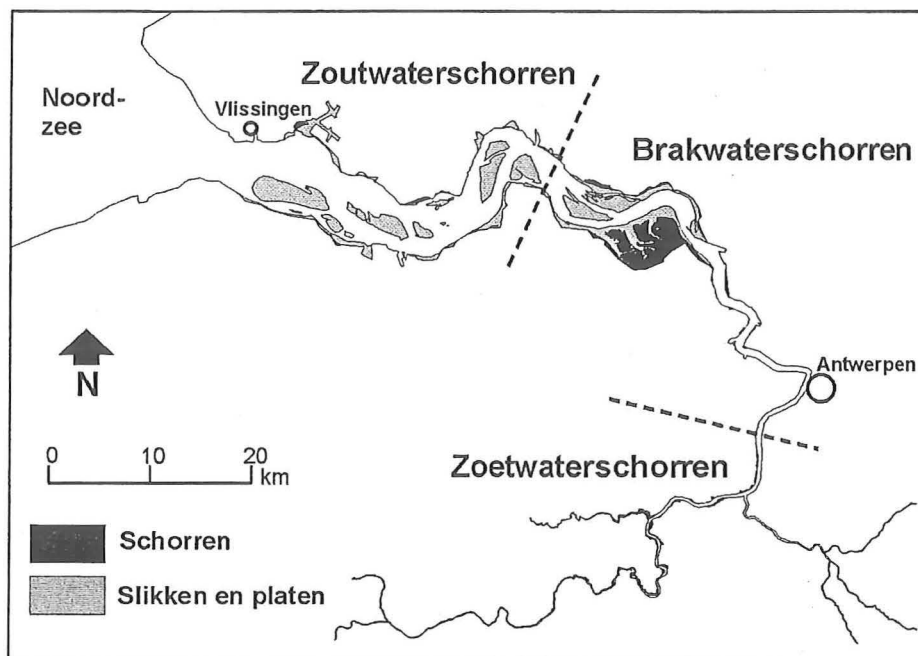


Figuur 2. Overstromingsdynamiek (waterpeil boven schoroppervlak) gemeten op een schorre langs de Schelde (Notelaar) met een typische hoogteligging rond het gemiddelde hoogwaterpeil. (A) 1 individuele overstroming; (B) 1 springtij-doodtij cyclus (ca. 14 dagen); (C) opeenvolgende springtij-doodtij cycli. S = springtij; D = doottij.

2. Tijdens overstroming van de schorren treden sedimentatie en erosie processen op. Enerzijds draagt het overspoelende water sedimenten (slib, fijn zand, organisch materiaal, ...) in suspensie en dit gesuspendeerde sediment (Engels: *suspended sediment*) wordt gedeeltelijk afgezet op de schorre (=sedimentatie). Anderzijds gaat het overspoelende water op bepaalde plekken de bodem uitschuren (=erosie). Deze sedimentatie/erosie processen leiden tot geomorfologische veranderingen = morfodynamiek.

3. Schorren zijn begroeid met vegetatie die is aangepast aan de periodieke overstroming. Slikken worden echter veel vaker overstroomd, waardoor begroeiing door hogere planten onmogelijk wordt (Figuur 1). We geven hieronder een zeer korte schets van welke planten op de schorren langs de Schelde voorkomen (de vegetatie van schorren komt uitvoerig aan bod tijdens de lezing door Tjeerd Bouma).

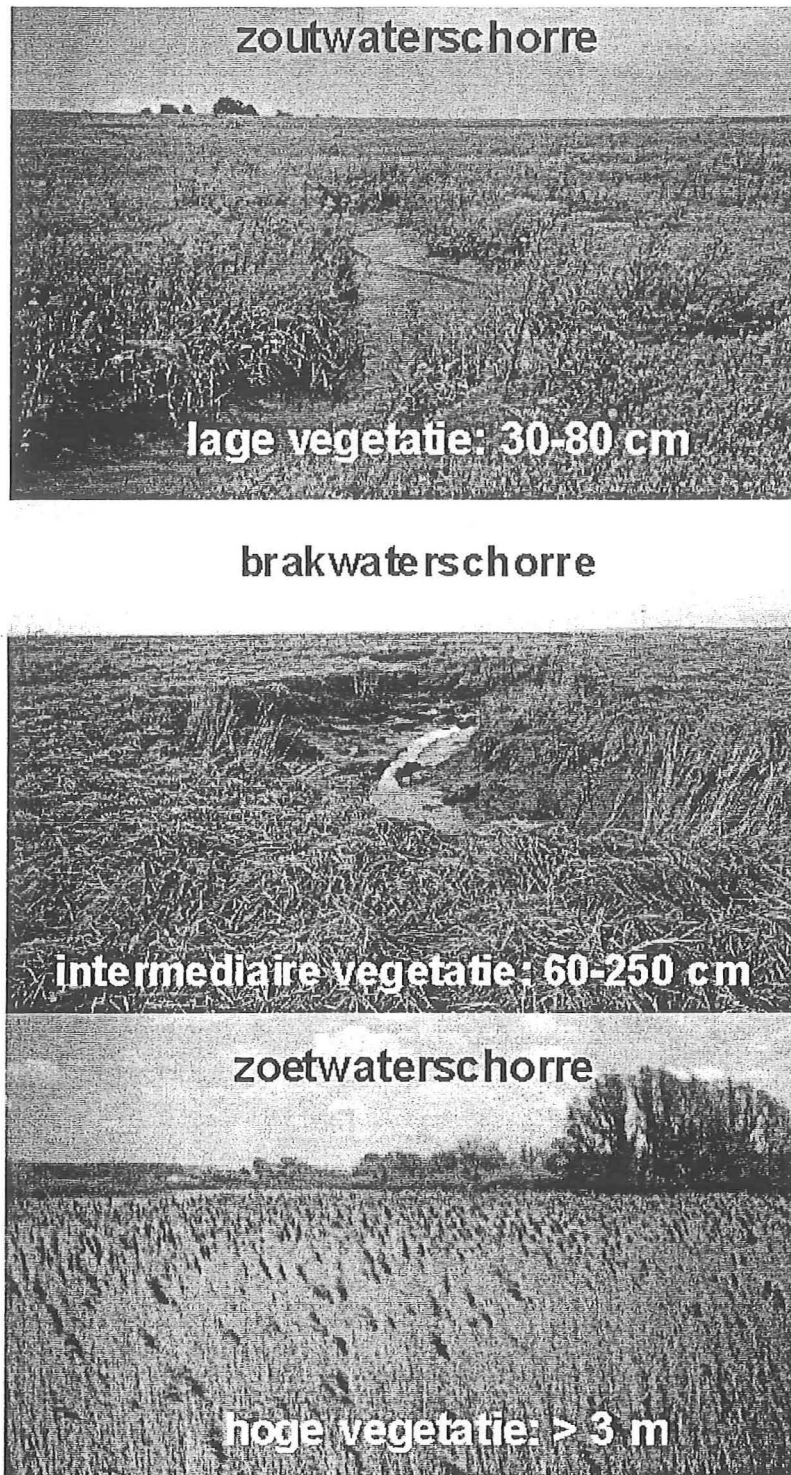
Als gevolg van de zoutgradiënt die aanwezig is langs de Schelde (door de vermenging van zout zeewater en zoet rivierwater), kunnen we langs de Schelde grofweg 3 vegetatietypes onderscheiden (Figuur 3):



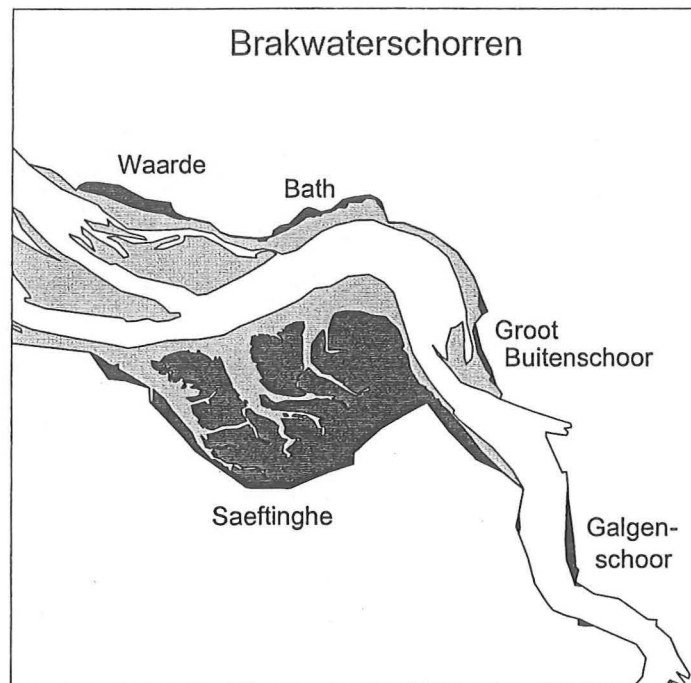
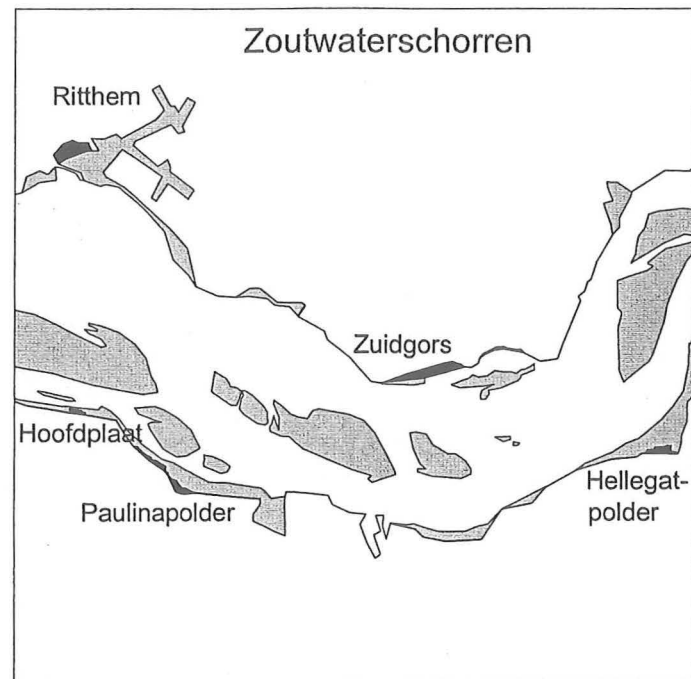
Figuur 3. Zout-, brak- en zoetwaterschorren langs het Schelde-estuarium.

- (1) **zoutwaterschorren** worden begroeid door halofyten (zout tolerante soorten) zoals *Spartina anglica* (Engels slijkgras), *Salicornia* sp. (Zeekraal), *Puccinellia maritima* (Gewoon Kweldergras), *Halimione portulacoides* (Gewone zoutmelde), *Elymus athericus* (Strandkweek), enz. (in volgorde van hoogteligging). Kenmerkend voor zoutwaterschorren is dat ze een eerder lage begroeiing hebben (30-80 cm) (Fig. 4).
- (2) **brakwaterschorren** worden begroeid door zowel halofyten als helofyten (zoetwater soorten) die sterke fluctuaties in zoutgehalte kunnen verdragen, zoals *Scirpus maritimus* (Zeebies of Heen), *Elymus athericus* (Strandkweek), *Phragmites australis* (Riet), enz. De vegetatie van brakwaterschorren heeft een intermediare vegetatiehoogte (60-250 cm) (Fig. 4).
- (3) **zoetwaterschorren** worden uitsluitend begroeid door helofyte plantensoorten zoals *Phragmites australis* (Riet), *Impatiens glandulifera* (Reuzenbalsemien), *Salix* sp. (Wilg), enz.. Zoetwaterschorren worden typisch bedekt door een zeer hoog vegetatiedek (> 3 m) (Fig. 4).

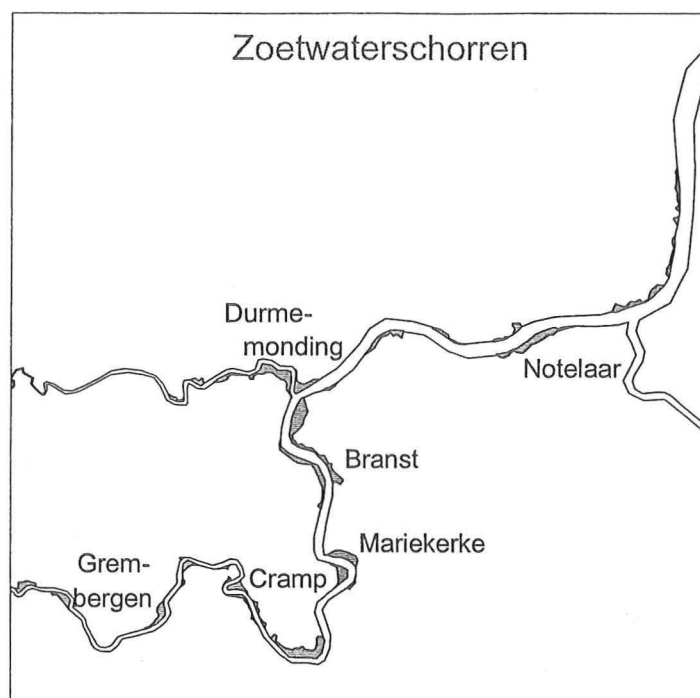
Figuur 5 geeft een overzicht van de ligging van de belangrijkste zout-, brak- en zoetwaterschorren langs het Schelde-estuarium.



Figuur 4. Foto van een zoutwaterschorre (Paulinapolder), brakwaterschorre (Waarde) en zoetwaterschorre (Notelaar) langs de Schelde. Let op het grote verschil in vegetatiehoogte.



(Figuur 5 – wordt vervolgd)



Figuur 5: Overzicht van de ligging van de belangrijkste zout-, brak- en zoetwaterschorren van het Schelde-estuarium.

1.2. Morfodynamiek van schorren

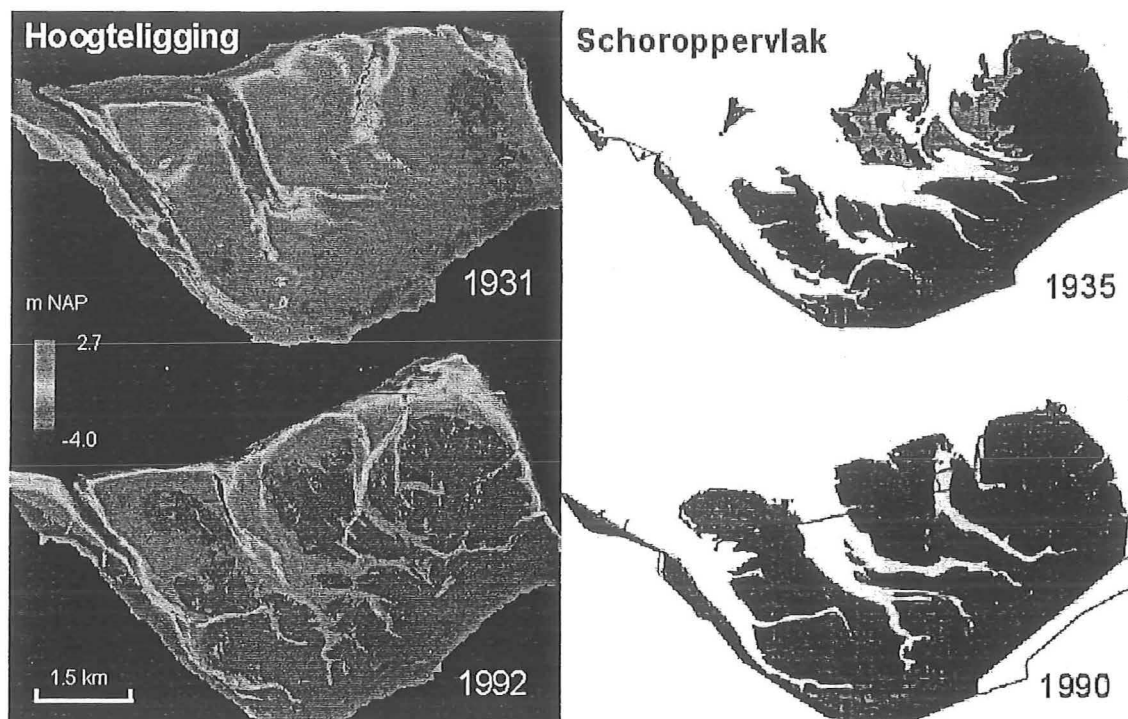
In deze lezing gaan we dieper in op de morfodynamiek van schorren. Met morfodynamiek bedoelen we veranderingen in de geomorfologie (= vorm van het aardoppervlak). De morfodynamiek van schorren kunnen we opdelen in twee dimensies:

1. Verticale morfodynamiek

Met verticale morfodynamiek bedoelen we veranderingen in hoogteligging (verticale dimensie) als gevolg van sedimentatie of erosie processen die optreden tijdens overstroming van schorren door het getij. We illustreren dit aan de hand van Figuur 6. Figuur 6a toont ons de hoogteveranderingen die zijn opgetreden in het Verdrongen Land van Saeftinghe tussen 1931 en 1992.

2. Laterale morfodynamiek

Met laterale morfodynamiek bedoelen we veranderingen in schoroppervlakte (horizontale dimensie) als gevolg van laterale erosie van de schorrand (kliferosie) of laterale aangroei / uitbreiding van de schorre over de aangrenzende slikke (door vestiging van pionier vegetatie op de slikke). Figuur 6b toont ons dergelijke veranderingen in schoroppervlakte (=begroeide oppervlakte) voor het Verdrunken Land van Saeftinghe tussen 1935 en 1990.



Figuur 6. (a) linker helft: hoogteveranderingen door sedimentatie of erosie (= verticale morfodynamiek) tussen 1931 en 1992. (b) rechter helft: veranderingen in schoroppervlakte door laterale erosie of aangroei van de schorrand (=laterale morfodynamiek). Verdrunken Land van Saeftinghe.

Data: Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

1.3. Rol van morfodynamiek van schorren voor beheer van het Schelde-estuarium

Een goede kennis van de morfodynamiek van schorren is van belang ter ondersteuning van het beheer van schorren en van estuaria en kustgebieden in het algemeen. Dat beheer is er op gericht om een aantal functies van het estuarium in stand te houden en te versterken. Schorren hebben een aantal essentiële functies binnen het estuarium te vervullen. We onderscheiden hier de volgende functies en geven daarbij aan hoe de morfodynamiek van schorren deze functies beïnvloedt:

1. Ecologische functie

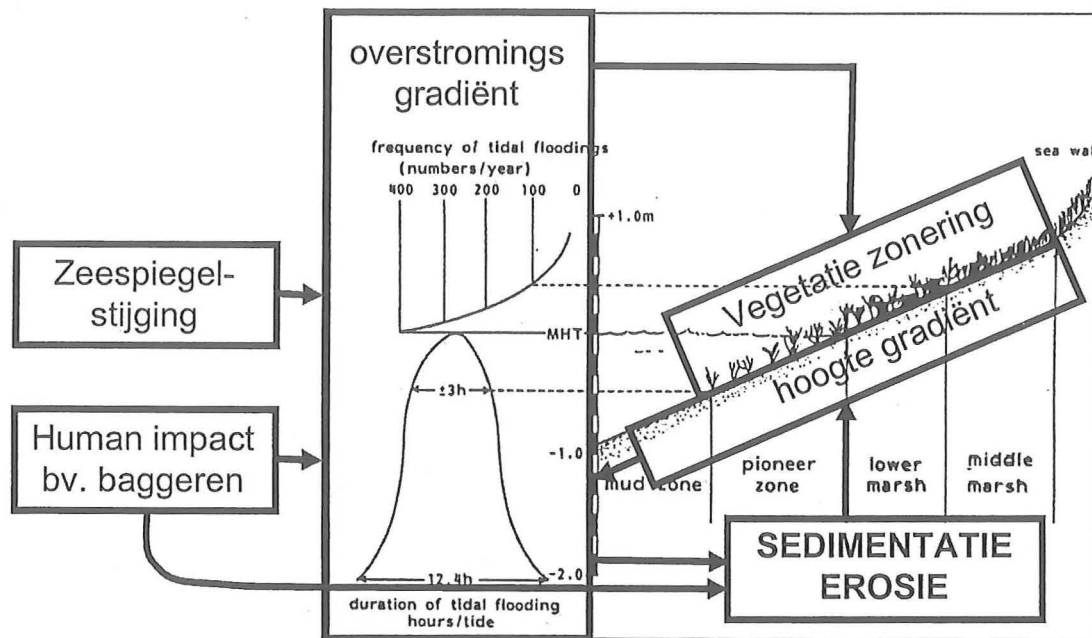
Schorren hebben een belangrijke ecologische waarde: ze zijn o.a. belangrijke broed- en foerageergebieden voor vogels, vissen, schaal- en schelpdieren. Bovendien spelen zij een belangrijke rol in de kringloop van allerlei voedingsstoffen (nutriënten zoals koolstof, stikstof, enz.) in het totale estuariene ecosysteem: zo kunnen schorren ofwel een bron zijn van nutriënten (productie van organisch materiaal) ofwel een “sink” (afzettingsgebied) voor nutriënten. De belangrijke waarde van schorren als ecosysteem wordt wereldwijd erkend, wat zich uit in een aantal internationale en nationale **beschermingsstatuten** voor schorren, ook voor de schorren langs de Schelde (o.a. Ramsar Convention on Wetlands, <http://www.ramsar.org>; EU Habitat- en Vogelrichtlijn, <http://www.ecnc.nl>).

De ecologie van schorren wordt in belangrijke mate bepaald door hun morfodynamiek. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het schema in Figuur 7. Kleine verschillen in hoogteligging binnen schorren zorgen voor een hoogtegradiënt. Deze hoogtegradiënt zorgt op zijn beurt voor een gradiënt in overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur. Deze overstromingsgradiënt is uiteindelijk bepalend voor de **vegetatiezonering** in schorren. Op de laagste delen van de schorre, waar de overstromingsdynamiek het grootst is, groeien enkel soorten die een hoge mate van overstroming kunnen tolereren (pionier soorten, bv. *Spartina anglica* in zout- en brakwaterschorren; *Scirpus* sp. In de zoetwaterschorren). Gaan we hoger op de schorre, waar de overstromingsdynamiek

kleiner is, dan zien we dat andere soorten meer competitief worden en dominant worden bij een bepaalde overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur. Als gevolg hiervan vertonen de vegetatiepatronen in schorren een duidelijke verticale zonering. Bovendien wordt niet alleen de verspreiding van planten maar ook van andere organismen (bv. bodemfauna, invertebraten, broedvogels, enz.) bepaald door dit mechanisme van verticale zonering.

Met dit schema is het duidelijk dat sedimentatie en erosie processen zullen leiden tot veranderingen in hoogteligging en uiteindelijk ook tot vegetatie- en habitatveranderingen (Figuur 7). Daarnaast hebben ook een aantal externe factoren een invloed op de habitat verdeling binnen schorren. Zeespiegelstijging zorgt voor een toenemende overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur, en zal op die manier leiden tot vegetatie- en habitatveranderingen. Ook menselijke activiteiten in estuaria en kustgebieden hebben een impact. Bijvoorbeeld, baggerwerken in de Westerschelde leiden tot verdieping van de stroomgeulen, waardoor de getijdengolf vanop de Noordzee gemakkelijker kan doordringen in het Schelde-estuarium, wat aanleiding geeft tot hogere hoogwaterpeilen. Ook inpolderingen hebben een belangrijk verhogend effect op de waterpeilen langs de Schelde, doordat het waterbergend vermogen van het estuarium door inpolderingen wordt verkleind. Als gevolg van dergelijke menselijke ingrepen stijgt het gemiddelde hoogwaterpeil (GHW) in de Schelde razend snel (tot 1.5 cm/jaar in de Zeeschelde), aan een snelheid die ongeveer 10 keer zo snel is als de globale gemiddelde zeespiegelstijging (0.15 tot 0.2 cm/jaar). Het effect van deze stijging van GHW op de schorren hangt uiteindelijk af van in welke mate sedimentatie processen leiden tot een verhoging van de schorren. Als de sedimentatie even snel gaat als de stijging van GHW, dan zal de overstromingsdynamiek van de schorren niet veranderen en zullen er bijgevolg geen habitatveranderingen optreden. Als de sedimentatiesnelheid en de snelheid van GHW stijging sterk verschillen, dan zullen er wel drastische habitatveranderingen optreden, wat in het meest extreme geval kan leiden tot “verdrinking” van schorren en het volledig verdwijnen van de schorrevegetatie (bv. dit gaat momenteel aan een zeer snel tempo in de Mississippi delta, USA).

Een goede kennis van sedimentatie en erosie processen is dus essentieel voor het duurzame beheer van schorren.



Figuur 7. De impact van sedimentatie/erosie, zeespiegelstijging en menselijke ingrepen (bv. baggeren, inpolderingen) op de overstromingsgradiënt en vegetatie- en habitatzonering in schorren.

2. Filter functie

Estuaria zijn belangrijke afvoerwegen voor sedimenten en nutriënten, die op het vasteland vrijkomen door vertering, erosie en biologische processen, vervolgens door afstromend regenwater in de rivieren terechtkomen en uiteindelijk via estuaria worden afgevoerd naar de zee. In dichtbevolkte stroomgebieden, zoals dat van de Schelde, is de sediment- en nutriëntlading van de rivieren vaak erg hoog, o.a. als gevolg van intensieve landbouw (bodembewerking maakt de bodem gevoeliger voor erosie en voor afspoeling van sedimenten en nutriënten; bemesting zorgt voor extra nutriënten) en lozing van huishoudelijk afvalwater (hoge nutriënten belasting). De hoge sedimentlading zorgt voor problemen in verband met het dichtslibben en verzanden van stroomgeulen in rivieren

en estuaria, waardoor zwaar moet geïnvesteerd worden in baggerwerken om de stroomgeulen open te houden voor bv. scheepvaart en drainage. De hoge nutriëntlading zorgt dan weer voor eutrofiering, waardoor het water van rivieren en estuaria nagenoeg zuurstofloos wordt, wat een sterke limiterende factor is voor biologische activiteit. Beide problemen zijn zeer actueel voor het Schelde-estuarium. Bovendien kan de lozing van industrieel afvalwater heel wat contaminanten, zoals zware metalen, bevatten, welke zich gaan opstapelen in organismen (en daarmee ook in onze voedselketen).

In deze context spelen schorren een essentiële rol als filter voor sedimenten, nutriënten en polluenten. Binnen estuaria en kustgebieden zijn zij de gebieden bij uitstek waar afzetting van sedimenten, nutriënten en polluenten optreedt. De dichte schorrevegetatie heeft een sterk dempend effect op golven en op stroomsnelheden, zodat gesuspendeerde sedimenten (slibdeeltjes, fijn zand) snel tot bezinking komen. Nutriënten en polluenten hebben de neiging zich te hechten aan slibdeeltjes en worden op die manier ook in de schorren afgezet. Deze filterfunctie van schorren zal sterk afhankelijk zijn van de morfodynamiek. De balans tussen sedimentatie en erosie processen zal uiteindelijk bepalend zijn voor de efficiëntie waarmee schorren sedimenten, nutriënten en polluenten accumuleren en opslaan.

3. Kustverdediging

Schorren spelen een belangrijke rol bij de verdediging van kusten en estuaria tegen overstromingen. Ten eerste fungeren zij als natuurlijke overstromingsgebieden, waardoor bij extreme hoogwaterpeilen (stormvloed) het waterbergend vermogen van estuaria zoals de Schelde toeneemt. Op die manier hebben de schorren een verlagend effect op het waterpeil in de Schelde, zodat de overstroming van poldergebieden, dorpen en steden kleiner wordt. Ten tweede zorgt de schorrevegetatie voor een belangrijke demping van golven en stroomsnelheden. Als gevolg hiervan zijn dijken, die beschermd worden door een schorrezone aan de zee- of rivierzijde, veel minder onderhevig aan de beukende kracht van golven en stromingen tijdens stormvloed, zodat dergelijke dijken veel

minder onderhoud vergen. Tenslotte passen schorren zich in zekere mate aan aan de zeespiegelstijging. Door het natuurlijk proces van sedimentatie gaan schorren zich ophogen en kunnen zij in meer of mindere mate de stijging van de zeespiegel volgen. Door ruimte te geven aan een schorrezone voor de zee- of rivierdijk, die in staat is zich op te hogen met het stijgende zee- of rivierpeil, wordt op die manier vermeden dat met de stijging van het waterpeil op termijn onrealistisch hoge en brede zeeweringen moeten gebouwd worden.

Ook hier heeft de morfodynamiek van schorren weer een cruciale invloed op hun functie als kustverdediging. Enerzijds zal sedimentatie en ophoging leiden tot een afname van het waterbergend vermogen van schorren. Anderzijds is een hoger schor meer efficiënt in het dempen van golven en stromingen en zorgt ophoging voor instandhouding van deze dempende functie bij een stijgende zeespiegel. Afhankelijk van de situatie (lage/hoge sedimentatiesnelheid; bescherming tegen golven en stromingen al dan niet noodzakelijk; snelle/trage stijging waterpeilen) kunnen schorren dus ingezet worden als alternatieve kustverdediging voor de klassieke zeeweringen. Zeeweringen (dijken, kaaimuren, enz.) zijn immers erg duur in onderhoud en onrealistisch bij aanhoudende zeespiegelstijging (er wordt zelfs een versnelde zeespiegelstijging voorspeld voor de komende 100 jaar). Schorren daarentegen zijn een goedkope en zichzelf onderhoudende kustverdediging.

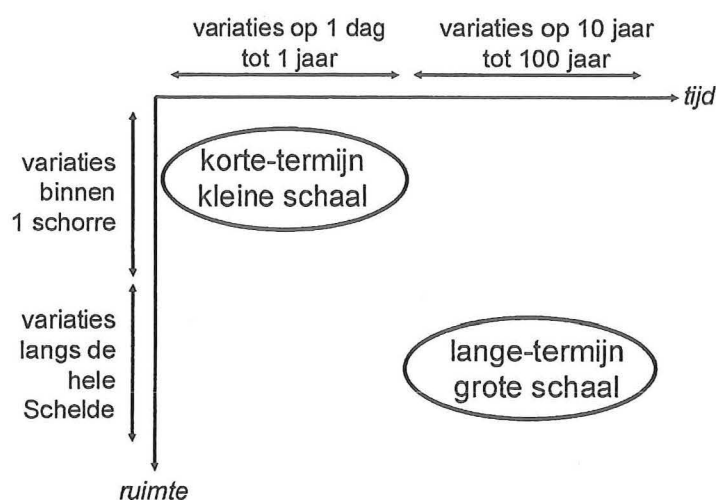
Deze kustverdedigende functie van schorren wordt al lang erkend, maar wordt eerder recent ook meer en meer internationaal aangewend in de praktijk. Bijvoorbeeld in Engeland heeft men de visie op kustverdediging door dijken aangepast en heeft men de term “managed realignment” geïntroduceerd (zou je kunnen vertalen als “gecontroleerde dijkverplaatsing”). Het idee hierbij is dat de zeewerende dijk meer inlands wordt verplaatst (vooral door bestaande oude binnendijken weer te versterken en op te hogen), vervolgens de oorspronkelijke zeewerende dijk door te steken zodat water in en uit de polder kan stromen, die is gelegen tussen de oorspronkelijke en nieuwe dijk. Op die manier ontstaat een zone waar sedimentatie en ophoging optreedt en waar zich slikken en schorren kunnen vormen, die golven en stromingen dempen. Indirect kan zich

in deze zone dus ook een waardevol ecosysteem ontwikkelen (maar is niet de eerste reden voor managed realignment).

In België wordt een variant van deze methode toegepast langs de Schelde, met name door zogenaamde **gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's)** of potpolders aan te leggen (polders met een hoge waterkerende dijk aan de landzijde en lagere overloopdijk aan de rivierzijde, waarover bij stormvloed water kan stromen vanuit de Schelde in de potpolder, zodat het waterpeil op de Schelde zakt en de kans op overstroming van dorpen en steden kleiner wordt). Thans plant men ook om in zulke GOG's een gereduceerd gecontroleerd getij (GGG) toe te laten via sluizen, zodat zich een soort slikke- en schorremilieu kan ontwikkelen in de potpolder (bv. in de geplande potpolder van Kruibeke-Bazel-Rupelmonde). Hiermee wil men dus bescherming tegen overstromingen en natuurontwikkeling combineren. Het ligt natuurlijk voor de hand dat het toelaten van een dagelijkse getijdenwerking in de potpolder (ook al is die gereduceerd door sluizen) zal leiden tot opslibbing en ophoging van de potpolder, en daarmee afname van het waterbergend vermogen van de potpolder. In deze context is een goeie kennis van de morfodynamiek van schorren (als meest vergelijkbare milieu) erg belangrijk wil men de te verwachten evolutie van een GOG met GGG in schatten.

2. Verticale Morfodynamiek

We bekijken de verticale morfodynamiek op 2 verschillende tijd- en ruimteschalen (Figuur 8): (1) op een korte termijn (<1 jaar) en kleine schaal (variaties in sedimentatie/erosie binnen 1 schorgebied); (2) op een lange termijn (10-100 jaar) en grote schaal (variaties tussen verschillende schorren langs de ganse Schelde).



Figuur 8. De verticale morfodynamiek van schorren bekeken op verschillende tijd- en ruimteschalen

2.1. Verticale morfodynamiek op korte termijn en kleine schaal

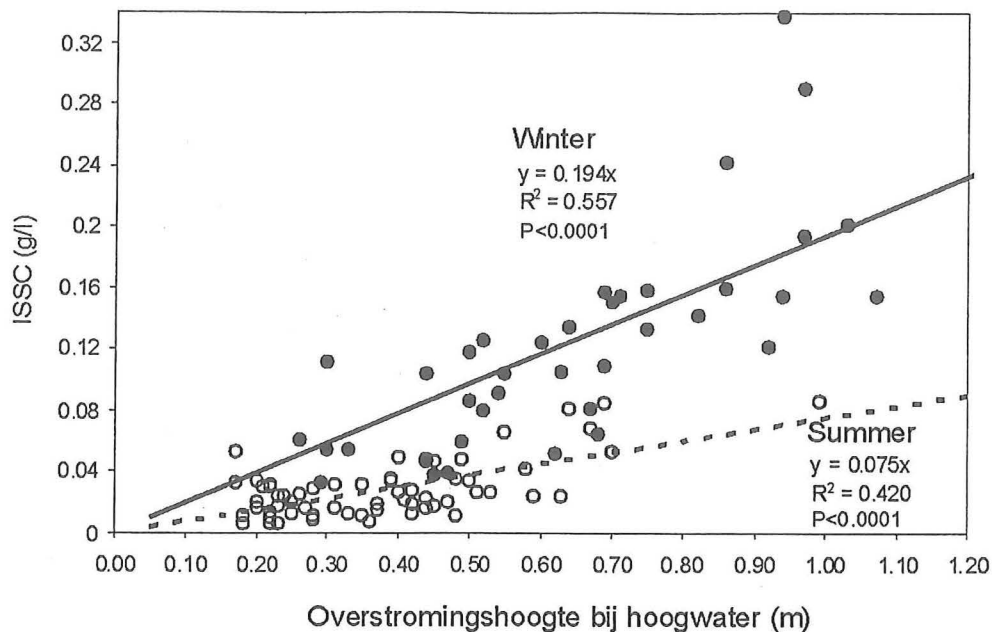
2.1.1. Temporele variaties

Het water dat de schorren rond springtij overstroomt is beladen met sedimentdeeltjes (slib en fijn zand) in suspensie (zwevend). De concentratie van het gesuspendeerde sediment in dit overstromende water (Engels: *suspended sediment concentration* of SSC) is uiteraard bepalend voor de hoeveelheid sediment die maximaal kan afgezet worden op

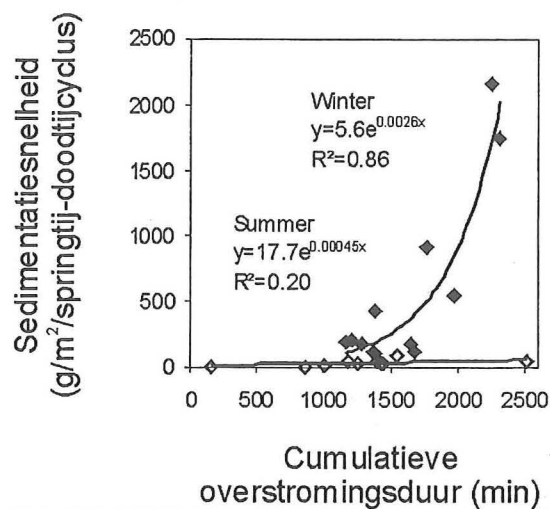
de schorre. Figuur 9 laat zien dat de SSC in het overstromende water sterk varieert in de loop van een jaar (10 tot 300 mg/l op de schorren van de Notelaar; zie locatie in Figuur 5). Figuur 9 toont aan dat de SSC in het overstromende water hoger is naarmate het schor door een hoger hoogwaterpeil wordt overstroomd. We kunnen dit verband tussen SSC en overstromingshoogte als volgt verklaren. Wanneer een schorre door een hoger tij wordt overstroomd, dan zal het overstromende water met een grotere snelheid de schorre binnenstromen (want de tijdsperiode voor de vloed is voor elk tij ongeveer hetzelfde) en zal het overstromende water bijgevolg een hogere sediment concentratie in suspensie kunnen houden. Naast dit verband tussen SSC en overstromingshoogte zien we ook dat de SSC lager is in de zomer (april-september) dan in de winter (oktober-maart) maanden, voor de zelfde overstromingshoogte. Dit heeft te maken met seizoenale variaties in SSC in de Schelde zelf. Die seizoenale variaties in SSC staan op hun beurt in verband met:

- (1) Hogere biologische activiteit in de zomer, waardoor (a) sedimenten op slikken worden beschermd tegen erosie door zogenaamde biofilms (o.a. algen), zodat minder sediment in suspensie wordt gebracht; en (b) gesuspendeerde sedimenten aan elkaar worden gebonden (vlokvorming of flocculatie), zodat deze zwaardere vlokken sneller gaan bezinken en zodat er minder sediment in suspensie blijft.
- (2) Meer resuspensie van sedimenten door meer golfwerking in de winter.
- (3) Meer aanvoer van sedimenten via de zijrivieren van de Schelde (vooral Rupelbekken) in de winter (sedimenten afkomstig van bodemerosie in het bovenstroomse gebied van de Schelde).

Als gevolg van deze variaties in SSC in functie van (1) de getijdenwerking en (2) de seizoenen, gaat ook de hoeveelheid materiaal die effectief wordt afgezet op de schorren variëren in functie van beide parameters (Figuur 10).



Figuur 9. Lineair verband tussen de initiële sediment concentratie (ISSC), in het water dat de schorre overstroomt, en de overstromingshoogte bij hoogwater. Elk bolletje stelt 1 meting van ISSC voor aan het begin van 1 overstroming met bepaalde overstromingshoogte. Merk op dat dit verband verschilt tussen zomer (april-september) en winter (oktober-maart) maanden: voor een tij met zelfde overstromingshoogte is de ISSC hoger in de winter dan in de zomer. Schorren van de Notelaar (zie locatie in Figuur 5).



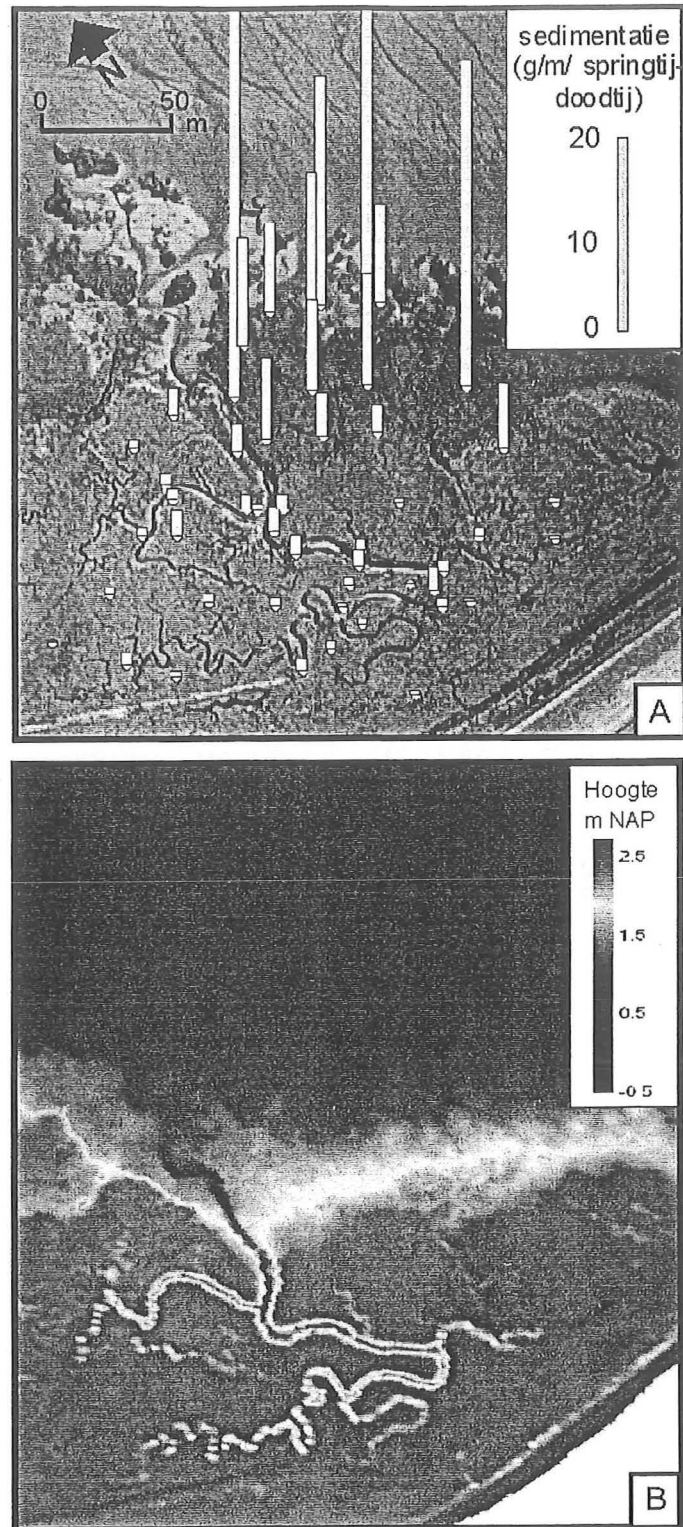
Figuur 10. Exponentieel verband tussen de sedimentatiesnelheid en cumulatieve overstromingsduur. Elk bolletje stelt 1 meting voor over 1 springtij-doodtij cyclus (ca. 14 dagen). Merk het verschil op tussen zomer (april-september) en winter (oktober-maart) maanden. Schorren van de Notelaar (zie locatie in Figuur 5).

2.1.2. Ruimtelijke variaties

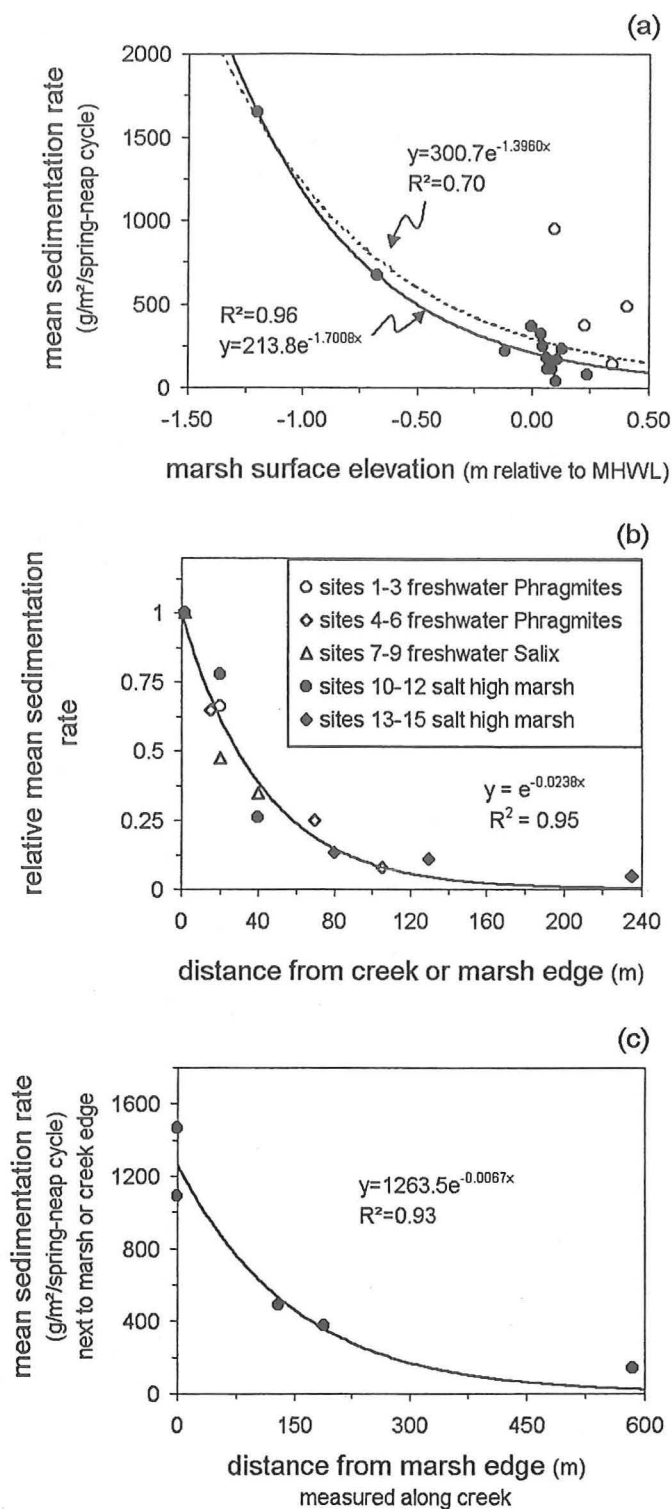
Wanneer een schorre overstroomt, wordt het gesuspendeerde sediment met het overstromende water over het schoroppervlak verspreid en wordt er sediment afgezet op verschillende plaatsen binnen de schorre. Het resulterende ruimtelijke sedimentatiepatroon is doorgaans zeer heterogeen. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in Figuur 11. Figuur 11a toont ons een luchtfoto van een schorregebied (Paulinapolder; zie locatie in Figuur 5) (bemerkt de overgang van de onbegroeide slikke naar de begroeide schorre en de aanwezigheid van een typisch dicht, vertakt (=dendritisch) netwerk van geulen). Op deze luchtfoto is met staafjes de sedimentatiesnelheid weergegeven, zoals die werd gemeten op 50 locaties voor 1 springtij-doodtij cyclus. Ter vergelijking wordt in Figuur 11b een hoogtekartaal getoond van hetzelfde gebied. Hieruit blijkt duidelijk dat de hoogste sedimentatiesnelheden werden waargenomen op de lage schorre, het dichtste bij de schorrand. Op de hoge schorre, ver van de schorrand, zien we dat de sedimentatiesnelheid veel kleiner is, en dat er een bijkomende variatie in sedimentatiesnelheid optreedt die is gerelateerd aan de afstand tot de dichtstbijzijnde schorregeul.

Figuur 12 laat zien dat het ruimtelijke sedimentatiepatroon op schorren is gerelateerd aan 3 topografische parameters:

- (1) Hoogteligging: hoe hoger een schorre is, hoe lager de overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur, en bijgevolg hoe minder sediment er wordt afgezet.
- (2) Afstand tot de dichtstbijzijnde geulrand: hoe verder van de geulrand, hoe minder sediment er wordt afgezet.
- (3) Afstand tot de schorrand: hoe verder van de schorrand (gemeten langsheen de dichtstbijzijnde geul), hoe minder sediment er wordt afgezet.



Figuur 11. (a) Luchtfoto van de schorren bij Paulinapolder. De staafjes geven ruimtelijke variaties in de sedimentatiesnelheid weer, die werd gemeten op 50 locaties over 1 springtij-doodtij cyclus (ca. 14 dagen). (b) Hoogtekaart van hetzelfde gebied.



Figuur 12. Verbanden tussen ruimtelijke variaties in sedimentatiesnelheid en (a) hoogteligging; (b) afstand tot de dichtstbijzijnde kreek of schorrand; (c) afstand tot de schorrand gemeten langs de dichtstbijzijnde kreek.

De twee laatste verbanden wijzen erop dat de overstroming van een schorre en de ruimtelijke verspreiding van gesuspendeerde sedimenten over de schorre als volgt verloopt. De overstroming van een schorre start vanaf de schorrand. Eerst lopen de geulen vol en vervolgens gaan de geulen overlopen en stroomt het water vanuit de geulen over het omringende schorre platform. Dichtbij de schorrand treedt ook overstroming op rechtstreeks vanuit de Schelde (dus niet eerst via schorregeulen). Op zijn weg die het water aflegt vanaf de schorrand via de geulen over het schorre platform, wordt er progressief meer gesuspendeerd sediment uit het water afgezet. Als gevolg daarvan gaat het meeste sediment eerst afgezet worden dichtbij de schorrand en dichtbij de geulranden, en blijft er minder gesuspendeerd sediment in het water over dat op een verdere afstand van de schorrand en van de schorregeulen wordt afgezet (zie ook Figuur 11a). Het materiaal dat dichtbij de schorrand en dichtbij de geulranden wordt afgezet, is doorgaans ook zandiger, terwijl het materiaal, dat wordt afgezet op een grotere afstand van de schor- en geulranden, vooral bestaat uit klei en silt.

Op basis van de 3 bovengenoemde topografische parameters kunnen we de waargenomen ruimtelijke variatie in sedimentatiesnelheden nagenoeg volledig verklaren ($R^2 > 0.9$ bij meervoudige regressie o.b.v. deze 3 parameters). Opvallend daarbij is dat we dit kunnen doen op basis van dezelfde relaties, zowel voor zout- als zoetwaterschorren. Nochtans is de vegetatiestructuur op beide schorretypes erg verschillend (lage vegetatie op zoutwaterschorren versus erg hoge vegetatie op zoetwaterschorren: Fig. 4). Het feit dat we het ruimtelijke sedimentatiepatroon op beide schorretypes volledig kunnen verklaren o.b.v. 3 topografische parameters (en dus zonder rekening te houden met verschillen in vegetatiestructuur), suggereert dat verschillen in vegetatiestructuur zeer weinig of geen invloed hebben op het ruimtelijke sedimentatiepatroon op schorren. Daarmee zeggen we niet dat de *aan- of afwezigheid* van vegetatie geen rol zou spelen. In de onderstaande paragrafen laten we zien dat de aan- of aanwezigheid van vegetatie wel degelijk een cruciale impact heeft op het ruimtelijke sedimentatiepatroon. Eenmaal er vegetatie op de schorre groeit, hebben verschillen in vegetatiesamenstelling echter geen meetbare invloed meer op het ruimtelijke sedimentatiepatroon.

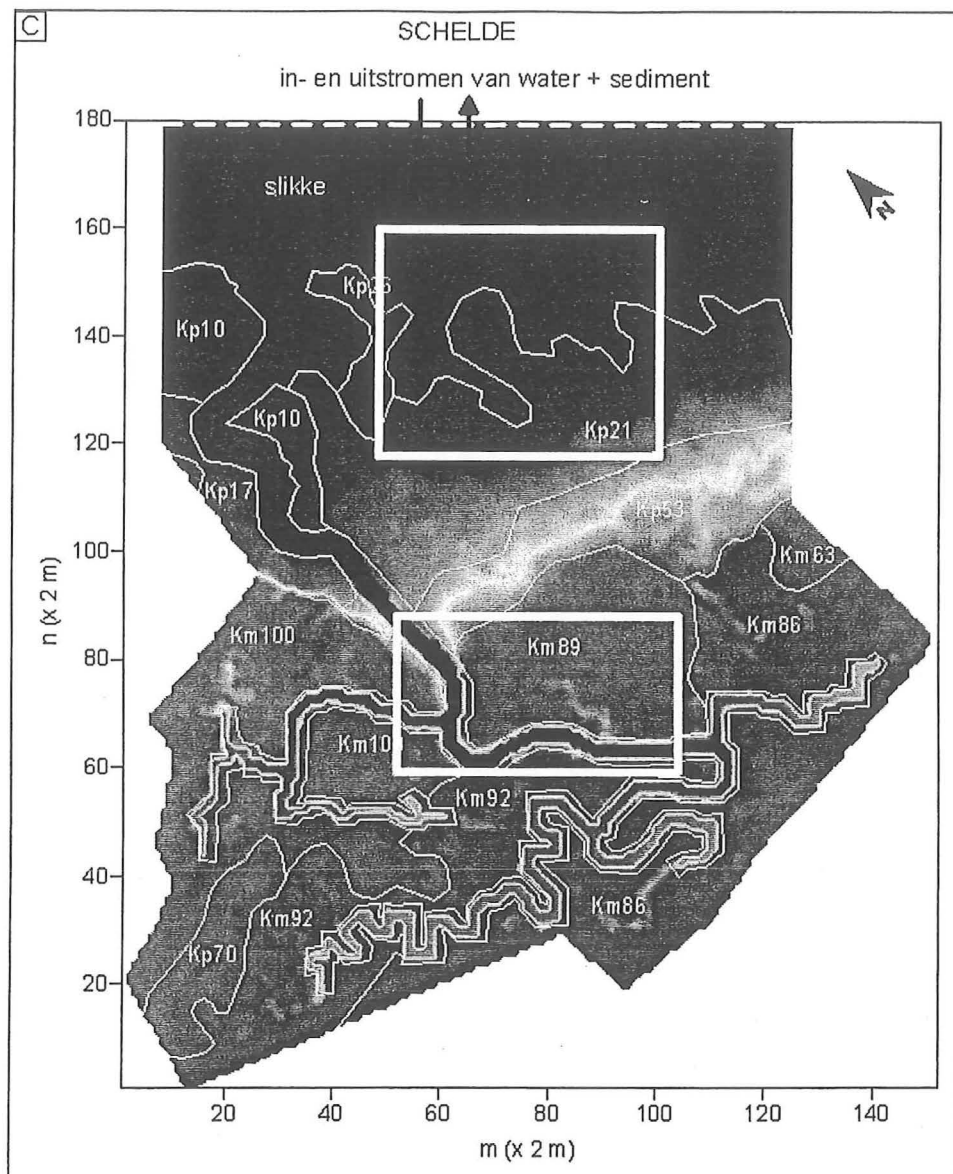
2.1.3. De cruciale impact van vegetatie op het ruimtelijke sedimentatiepatroon

Uit het voorgaande is duidelijk dat het ruimtelijke sedimentatiepatroon op schorren wordt bepaald door de stroompaden die het water aflegt over de schorre tijdens individuele overstromingen: eerst via de geulen en dan via de geulen over het schorre platform. De vraag is nu echter: in welke mate worden die stroompaden bepaald door:

- (1) het reliëf (topografie) van het schoroppervlak? Gaat het water eerst via de geulen omdat zij dieper zijn en daardoor de stroompaden van het water als het ware gaan “kanaliseren”?
- (2) de aanwezigheid van vegetatie op het schorre platform? Gaat daardoor het water eerst via de geulen, omdat zij niet zijn begroeid met vegetatie en daardoor minder weerstand bieden aan het stromende water?

Het is erg moeilijk om aan de hand van veldmetingen een antwoord te krijgen op dergelijke vragen. Het is bijvoorbeeld zo goed als onmogelijk (en ook niet wenselijk!) om alle vegetatie van een schorre tot tegen de bodem te verwijderen, om zodoende na te gaan wat de invloed is van de aan- of afwezigheid van vegetatie op de stroompaden van water en sediment. Bovendien is het technisch gezien erg moeilijk om stroompaden over een schorre te meten, omdat dit simultane stroomsnelheidsmetingen vereist op een groot aantal plaatsen op de schorre. In beide opzichten bieden 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 vegetatiestructuur, kunnen we simuleren wat de relatieve invloed is van reliëf en vegetatie op de ruimtelijke stroompaden en sedimentatiepatronen op een schorre. Figuur 13 geeft een overzicht van de input en output van zo'n stromingsmodel (Delft3D).

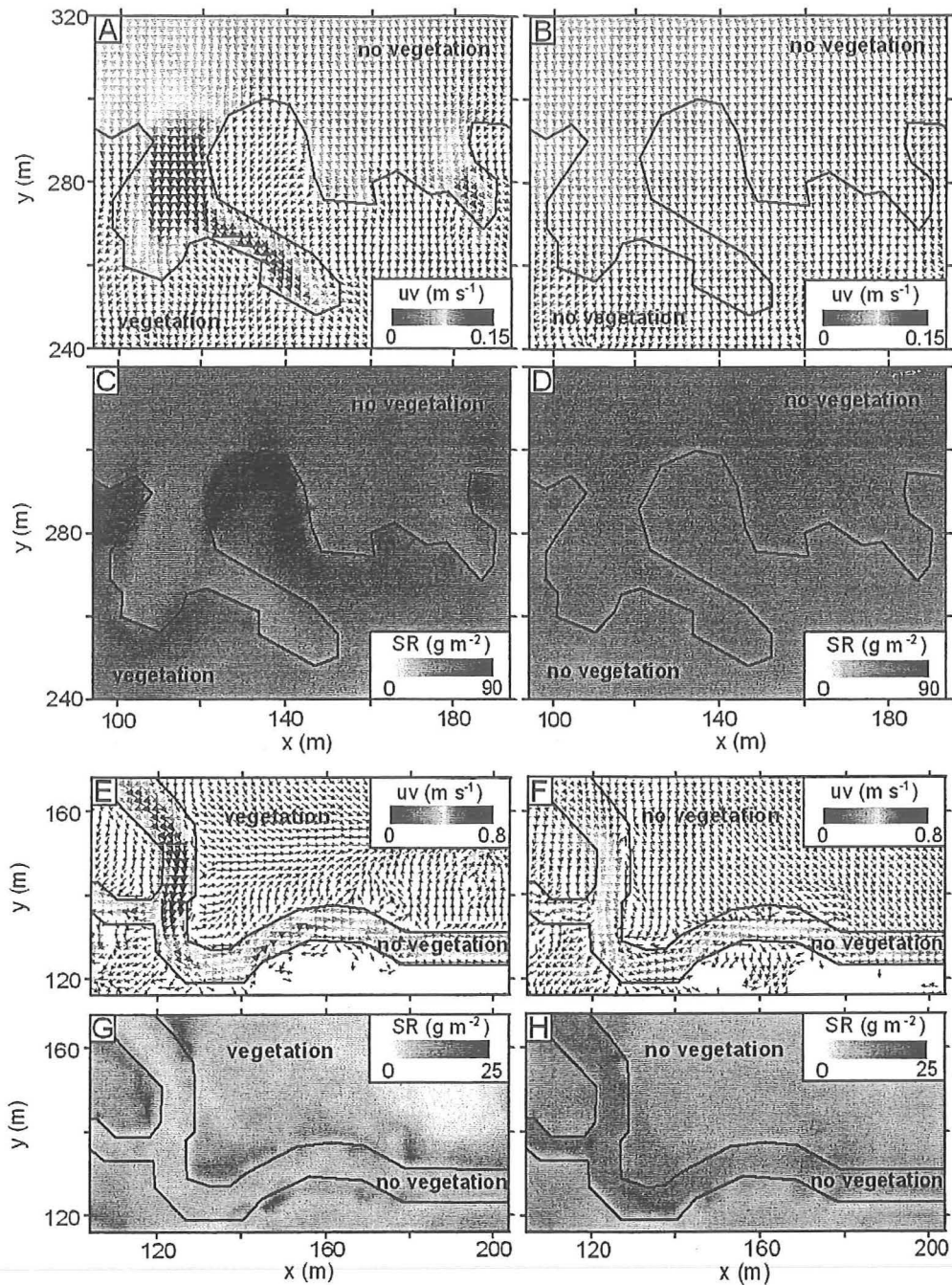
Figuur 14 toont de resultaten van simulaties met het Delft3D model, dat werd toegepast voor een schorregebied (Figuur 13). Figuur 14 laat duidelijk zien dat de aan- of afwezigheid van vegetatie een cruciale impact heeft op de gesimuleerde stromings- en sedimentatiepatronen:



Figuur 13. Overzicht van het slikke- en schorregebied (Paulinapolder, zie locatie op Figuur 5) waarvoor het stromings- en sedimentatiemodel (Delft3D) werd toegepast. Als input voor het model wordt gebruikt: (1) het reliëf van het gebied (weergegeven in kleur); (2) de vegetatiestructuur in het gebied, d.w.z. zowel de horizontale en verticale verdeling van plantdichtheid, stengeldiameter en hoogte (weergegeven in dunne witte lijnen); (3) de uitwisseling van water en gesuspendeerde sedimenten met de Schelde aan de rand van het slikke- en schorregebied (in dit geval voor 1 getij cyclus). Het model geeft als output: (a) ruimtelijke stromingspatronen, d.w.z. veranderingen in waterpeil, stroomsnelheden en -richtingen over het gebied (Figuur 14A toont een detail voor het bovenste witte kader; Figuur 14E voor het onderste witte kader); (b) het ruimtelijke sedimentatiepatroon (Figuur 14C toont een detail voor het bovenste witte kader; Figuur 14G voor het onderste witte kader).

- (1) Op de grillig gevormde rand tussen de onbegroeide slikke en de begroeide schorre (Figuur 14A en B) zien we dat de stroomsnelheid sterk wordt afgeremd in de vegetatie, terwijl de stroomsnelheid erg wordt versterkt net tussen de vegetatie (in dit geval *Spartina pollen*: zie bv. de luchtfoto in Figuur 11 van hetzelfde gebied). Dit is omdat het water bij voorkeur gaat stromen over oppervlakken waar het het minste weerstand ondervindt. Daardoor gaat het water sneller stromen en gekanaliseerd worden tussen de vegetatiepollen. In de vegetatiepollen wordt het water sterk afgeremd door de weerstand die door de vegetatie op de stroming wordt uitgeoefend. Als gevolg van dit stromingspatroon wordt er snel sediment afgezet in de vegetatie, terwijl er tussen de vegetatie weinig sedimentatie of zelfs erosie optreedt (Figuur 14C en D). Dit laatste leidt tot de vorming van geulen in schorren

- (2) Op het hoge schorre platform zien we dat, als gevolg van de begroeiing van het platform, het water eerst door de geulen gaat stromen (aangezien het daar de minste weerstand ondervindt omdat er geen vegetatie groeit in de geulen). Vervolgens gaat het begroeide schorre platform overstroomd worden vanuit de geulen (Figuur 14 E en F). Wanneer er geen begroeiing aanwezig is op het schorre platform, dan stroomt het water even gemakkelijk rechtstreeks vanuit de Schelde over het onbegroeide schorre platform dan eerst via de geulen. Bijgevolg, als er geen vegetatie op de schorre groeit, gaat (a) de stroomsnelheid in de geulen veel lager zijn en (b) het schorre platform niet overstroomd worden vanuit de geulen (Figuur 14F). Als gevolg van deze stroompatronen gaat bij aanwezigheid van vegetatie weinig sediment worden afgezet in de geulen, het meeste sediment vlak naast de geulen en minder sediment op een grotere afstand van de geulen (Figuur 14G). Bij afwezigheid van vegetatie, daarentegen, gaan de geulen dichtslibben en wordt er minder sediment afgezet vlak naast de geulen (Figuur 14H). Deze simulaties laten dus zien dat de aanwezigheid van vegetatie op schorren verantwoordelijk is voor het ontstaan van oeverwallen (iets hoger gelegen vlak naast de geulen) en kommen (dieper gelegen depressies op een grotere afstand van de geulen). Bij afwezigheid van vegetatie krijgen is deze ontwikkeling van oeverwallen en kommen niet zo uitgesproken (bv. op onbegroeide slikken).



Figuur 14. (A-D) Resultaten van modelsimulaties voor het rand gebied tussen de slikke en schorre (bovenste witte kader in Figuur 13): stromingspatroon met schorrevegetatie (A) en zonder schorrevegetatie (B); sedimentatiepatroon met schorrevegetatie (C) en zonder schorrevegetatie (D). (E-H) Resultaten van modelsimulaties voor de hoge schorre (onderste witte kader in Figuur 13): stromingspatroon met schorrevegetatie (E) en zonder schorrevegetatie (F); sedimentatiepatroon met schorrevegetatie (G) en zonder schorrevegetatie (H).

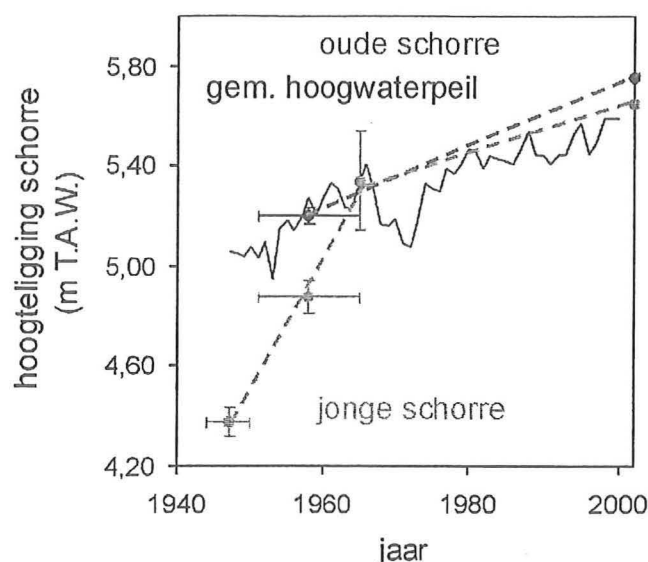
2.2. Verticale morfodynamiek op lange termijn en grote schaal

Op een lange termijn van 10-100 jaar is de reactie van schorren op zeespiegelstijging een van de belangrijkste onderzoeksonderwerpen. We weten dat schorren zich ophogen door sedimentaccumulatie. De vraag is echter of deze ophoging snel genoeg gaat, zodanig dat schorren de stijging van het zeepeil kunnen volgen. In sommige plaatsen in de wereld zien we immers dat schorren niet in staat zijn om de stijging van het gemiddelde zeeniveau te volgen en daardoor als het ware “verdrinken” (Engels: *submergence*), waardoor de schorrevegetatie afsterft en uiteindelijk volledig verdwijnt (bv. Mississippi delta).

2.2.1. Veld data

We kunnen enerzijds aan de hand van veld data bestuderen hoe schorren zich hebben opgehoogd in het verleden in verhouding tot de stijging van het zeeniveau, of in het geval van de Schelde, in verhouding tot de stijging van het gemiddelde hoogwaterpeil (GHW). Dit werd gedaan voor een 25 locaties langs de Schelde, op basis van (1) oude en recente hoogtekarten (voor de Westerschelde schorren opgemeten door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat) en (2) datering van boorkernen.

Figuur 15 toont een typisch voorbeeld voor een schorre langs de Schelde (Notelaar; locatie zie Figuur 5). We maken hier een onderscheid tussen een oude schorre, die reeds staat afgebeeld op oude kaarten daterend van het einde van de 18^{de} eeuw, en een jonge schorre, die pas is ontstaan rond 1950 door de kolonisatie van slikken door schorrevegetatie (zichtbaar op luchtfoto's). De lange termijn ophoging van schorren verloopt algemeen volgens het volgende patroon:



Figuur 15: Ophoging van de oude en jonge schorre bij 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.

(1) jonge, laag gelegen schorren hogen snel op tot op een bepaald evenwichtsniveau.

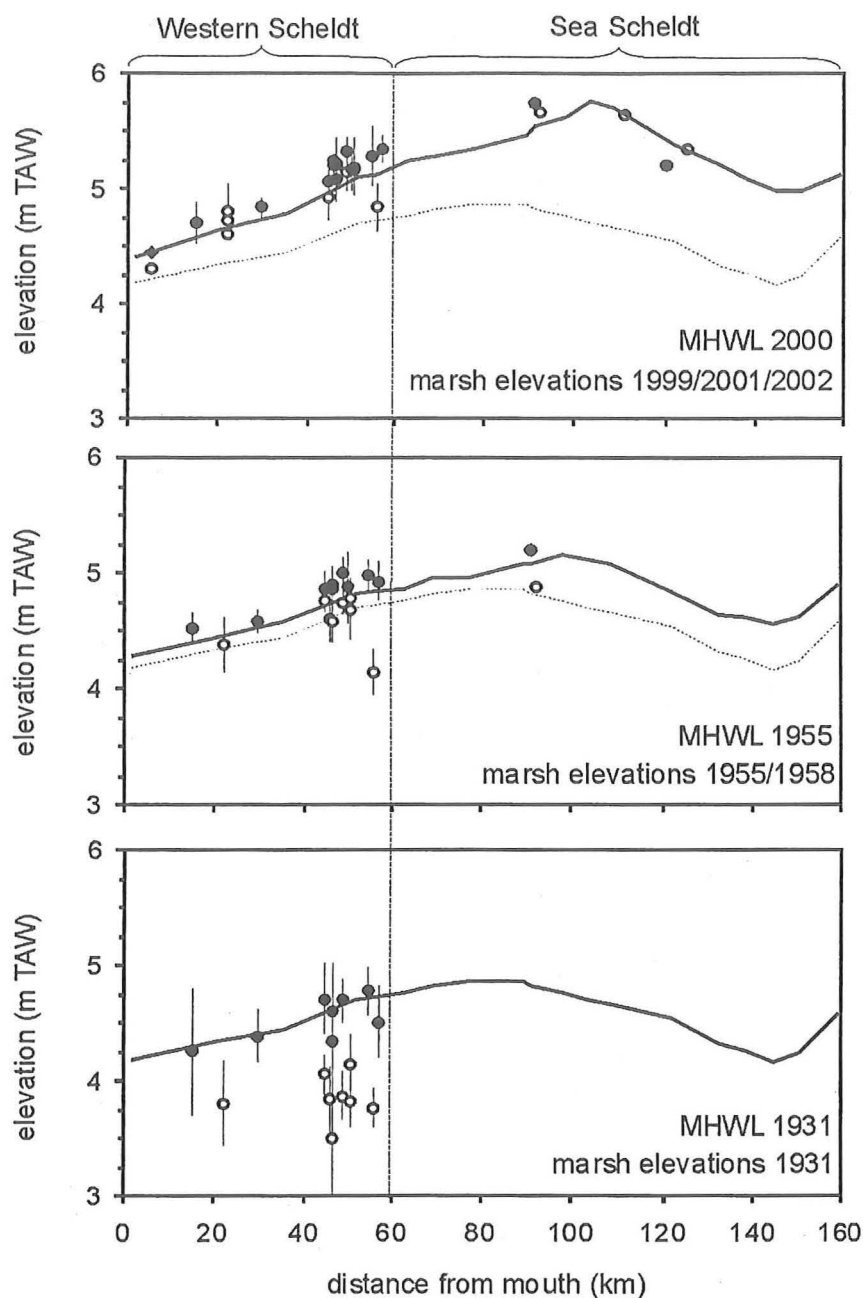
Voor de Schelde ligt dit evenwichtsniveau rond GHW (Figuur 15). Die snelle, asymptotische ophoging is het gevolg van een sterke terugkoppeling tussen sedimentatie, hoogteligging en overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur. Aanvankelijk kent een lage, jonge schorre een hoge overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur. Daardoor is de sedimentatiesnelheid hoog, gaat de jonge, lage schorre snel ophogen en daardoor gaat de overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur stelselmatig afnemen. Bijgevolg krijgen we een afname in de sedimentatiesnelheid met toenemende hoogte van de schorre ten opzichte van GHW. Door deze terugkoppeling tussen sedimentatie, hoogteligging en overstroming gaan schorren uiteindelijk evolueren naar een bepaald evenwichtsniveau, waarbij de snelheid van sedimentatie en stijging van GHW elkaar in evenwicht houden. Dit mechanisme wordt niet alleen vastgesteld in de Schelde, maar geldt algemeen voor schorren.

- (2) Oude, hoog gelegen schorren (die hun evenwichtsniveau ten opzichte van GHW hebben bereikt) gaan trachten hun evenwichtsniveau in stand te houden door op te hogen aan de zelfde snelheid als de snelheid waarmee GHW stijgt (Figuur 15).

Als gevolg van deze typische snelle, asymptotische ophoging van schorren, gaat:

- (a) de schorrevegetatie een zeer snelle successie doormaken van jonge pionier vegetatie (bv. *Spartina anglica* in zoutwaterschorren) naar een climax vegetatie (bv. *Elymus athericus*). Dat is de reden waarom relatief weinig jonge pionier vegetatie voorkomt langs het Schelde estuarium.
- (b) Hierdoor gaan ook hoogteverschillen op schorren relatief snel verdwijnen. Dat is de reden waarom schorren over het algemeen een vlak reliëf hebben (met uitzondering van de geulen en oeverwallen/kommen: zie voorgaande deel).

Kijken we naar alle data die we verzamelden voor de Schelde (Figuur 16), dan zien we dat de sedimentatiesnelheden sterk variëren langsheen de Schelde, van zo'n 0.35 tot 4.55 cm/jaar. Uit de veldgegevens blijkt dat de snelle, asymptotische ophoging van jonge, lage schorren tot op een evenwichtsniveau rond GHW, een algemeen mechanisme is voor de lange-termijn ophoging van schorren in het Schelde-estuarium. Eenmaal dit evenwichtsniveau is bereikt hogen oude, hoge schorren zich veel trager op aan een snelheid die vergelijkbaar is met de snelheid van GHW stijging. Opvallend hierbij is dat jonge schorren hun evenwichtsniveau sneller bereiken in de Zeeschelde dan in de Westerschelde, wat te wijten is aan de hogere sedimentconcentraties die aanwezig zijn in de Zeeschelde. Bovendien gaat de ophoging van de schorren over het algemeen ook sneller in de Zeeschelde dan in de Westerschelde, omdat het GHW sneller stijgt in de Zeeschelde. Tenslotte is het GHW op de Schelde niet overal gelijk (zie volgende lezing), waardoor het evenwichtsniveau van de schorren zeer duidelijk varieert langsheen de Schelde (Figuur 16).



Figuur 16. 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 GHW rond 1931. Het verloop van GHW (Engels: MHWL) langsheen de Schelde is weergegeven in volle lijn. In de bovenste 2 figuren is in dunne stippellijn telkens GHW voor 1931 weergegeven als referentie.

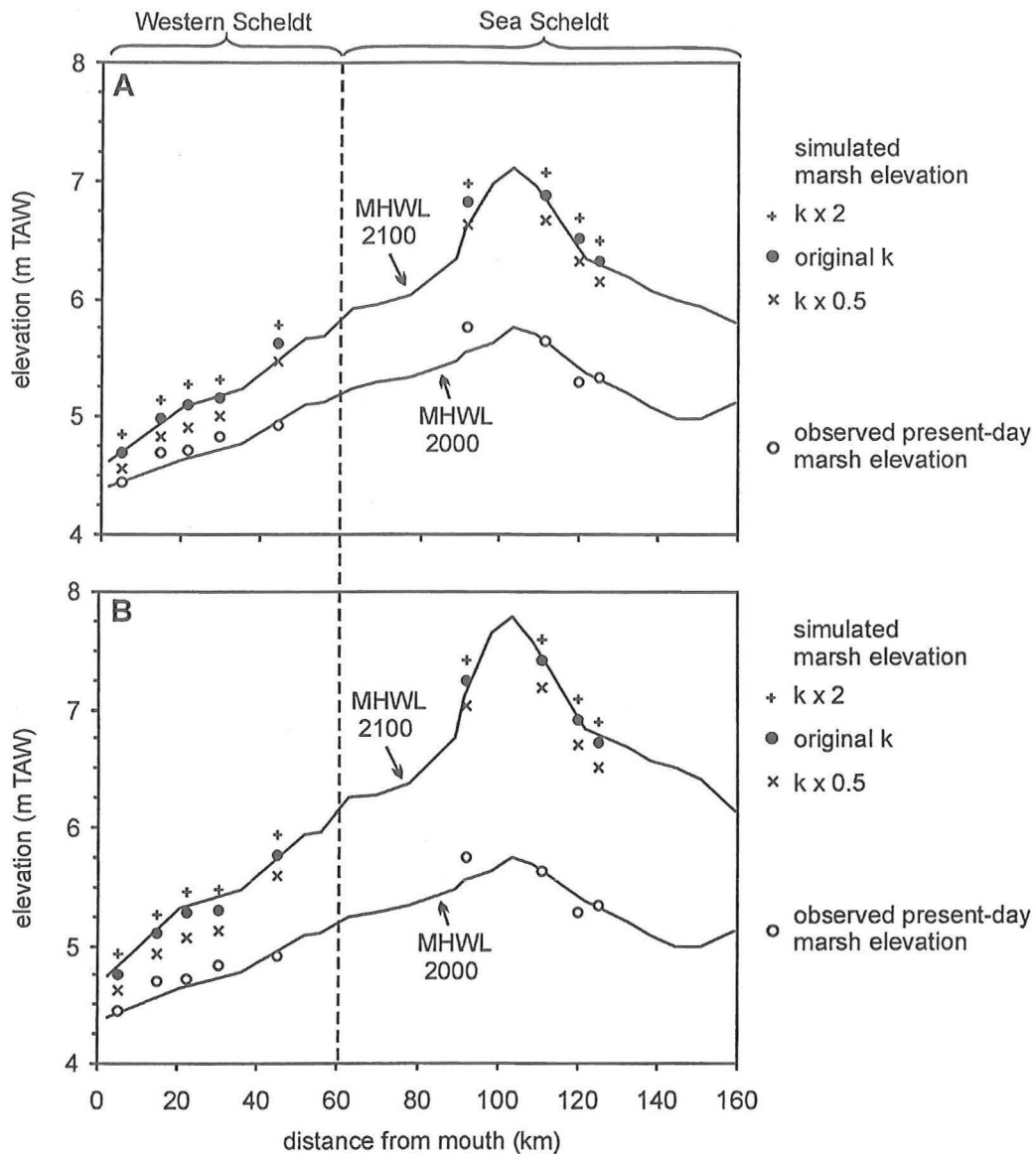
2.2.2. Modellering

Aan de hand van modellering kunnen we voorspellingen maken van wat de reactie van schorren zal zijn wanneer de milieu omstandigheden zich wijzigen, bijvoorbeeld wanneer de snelheid van zeepsiegelstijging (of –daling) verandert, of wanneer de toevoer van sedimenten naar het Schelde-estuarium verandert. Een dergelijk model werd gemaakt voor de Schelde en werd uitvoerig getest ten opzichte van de veld data (zie Temmerman et al., 2003a; 2004b).

De model simulaties laten zien dat:

(1) De schorren langs de Schelde de stijging van GHW kunnen volgen, zowel in de veronderstelling dat GHW gedurende de volgende 100 jaar even snel zal stijgen als de afgelopen 70 jaar, en zelfs in de veronderstelling dat GHW 1.5 keer zo snel zal stijgen als de afgelopen 70 jaar (wat niet onrealistisch is gezien de voorspellingen van versnelde zeepsiegelstijging door klimaatverandering en gezien de verdere verdieping van de Westerschelde).

(2) Een vermindering in sediment aanvoer naar de Schelde kan wel voor problemen zorgen. De simulaties laten zien dat bij een versnelde stijging van GHW ($\times 1.5$ keer) in combinatie met een lagere SSC in de Schelde ($0.5 \times$ de huidige SSC) de schorren niet meer in staat zijn om de stijging van GHW te volgen. Bijgevolg zal de overstromingsdynamiek van de schorren drastisch toenemen, met belangrijke vegetatie- en habitatveranderingen tot gevolg, wat eventueel kan leiden tot het verdrinken en verdwijnen van schorren. Bepaalde maatregelen, zoals maatregelen om bodemerosie in het stroomgebied van de Schelde te reduceren of waterzuivering, zouden kunnen leiden tot een verminderde sedimentaanvoer naar de Schelde en zouden dus nefaste gevolgen kunnen hebben voor de schorren langs het Schelde-estuarium.



Figuur 17. Model simulaties van de te verwachten ophoging van de schorren langs de Schelde voor de komende 100 jaar: (A) in de veronderstelling dat GHW (Engels: MHWL) zal stijging aan de zelfde snelheid als de afgelopen 70 jaar; (B) in de veronderstelling dat GHW sneller zal stijging (1.5 x de snelheid voor de afgelopen 70 jaar). Zowel voor scenario A en B werd eveneens het effect van veranderingen in sedimentconcentratie langs de Schelde gesimuleerd: (1) $k \times 2$ (verdubbeling van huidige sedimentconcentratie); (2) original k (huidige sedimentconcentratie blijft ongewijzigd); (3) $k \times 0.5$ (huidige sedimentconcentratie gehalveerd).

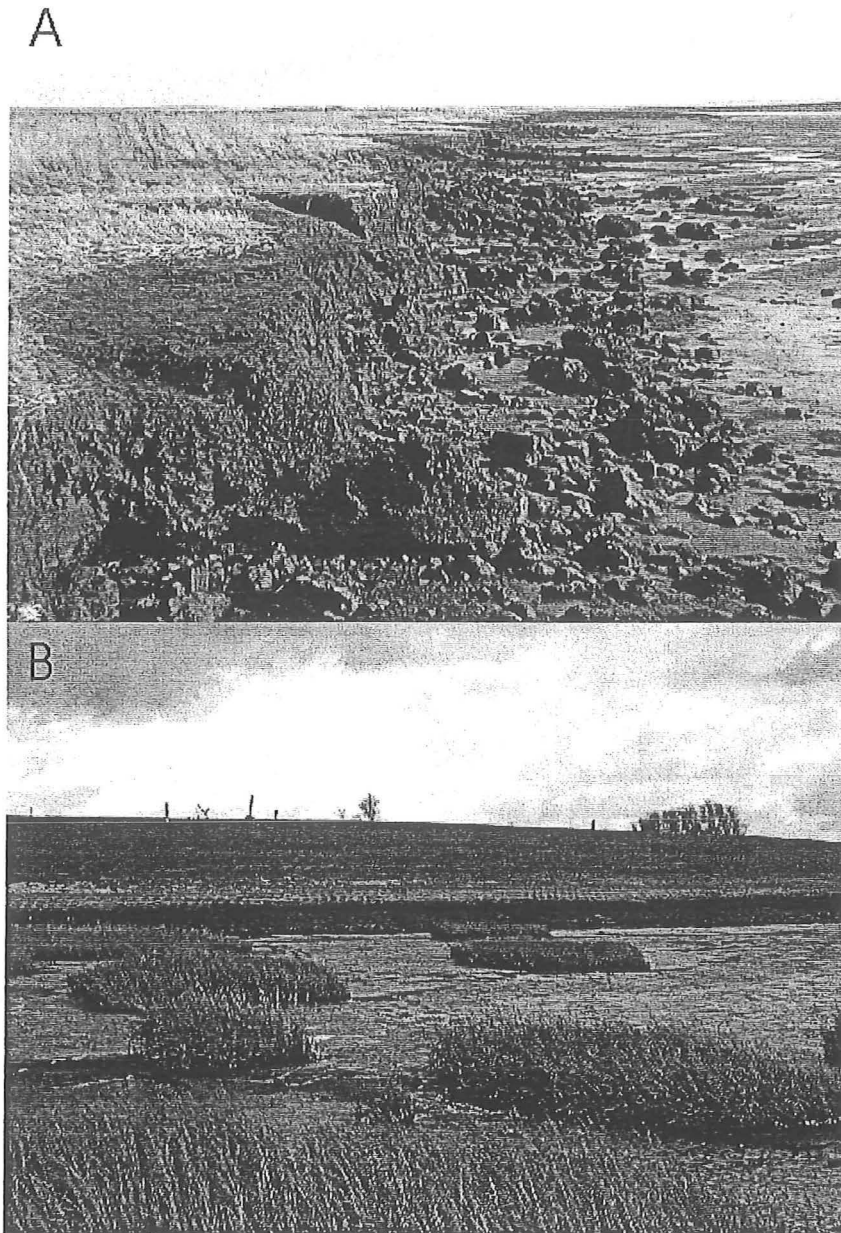
Voor alle duidelijkheid merken we hierbij nog op dat de modelsimulaties enkel het effect op *verticale hoogteveranderingen* simuleren, en dus geen rekening houden met *laterale veranderingen* in schoroppervlakte (zie volgende deel). Het is bijvoorbeeld niet onmogelijk dat versnelde zeespiegelstijging zal leiden tot snellere laterale erosie van schorren.

3. Laterale Morfodynamiek

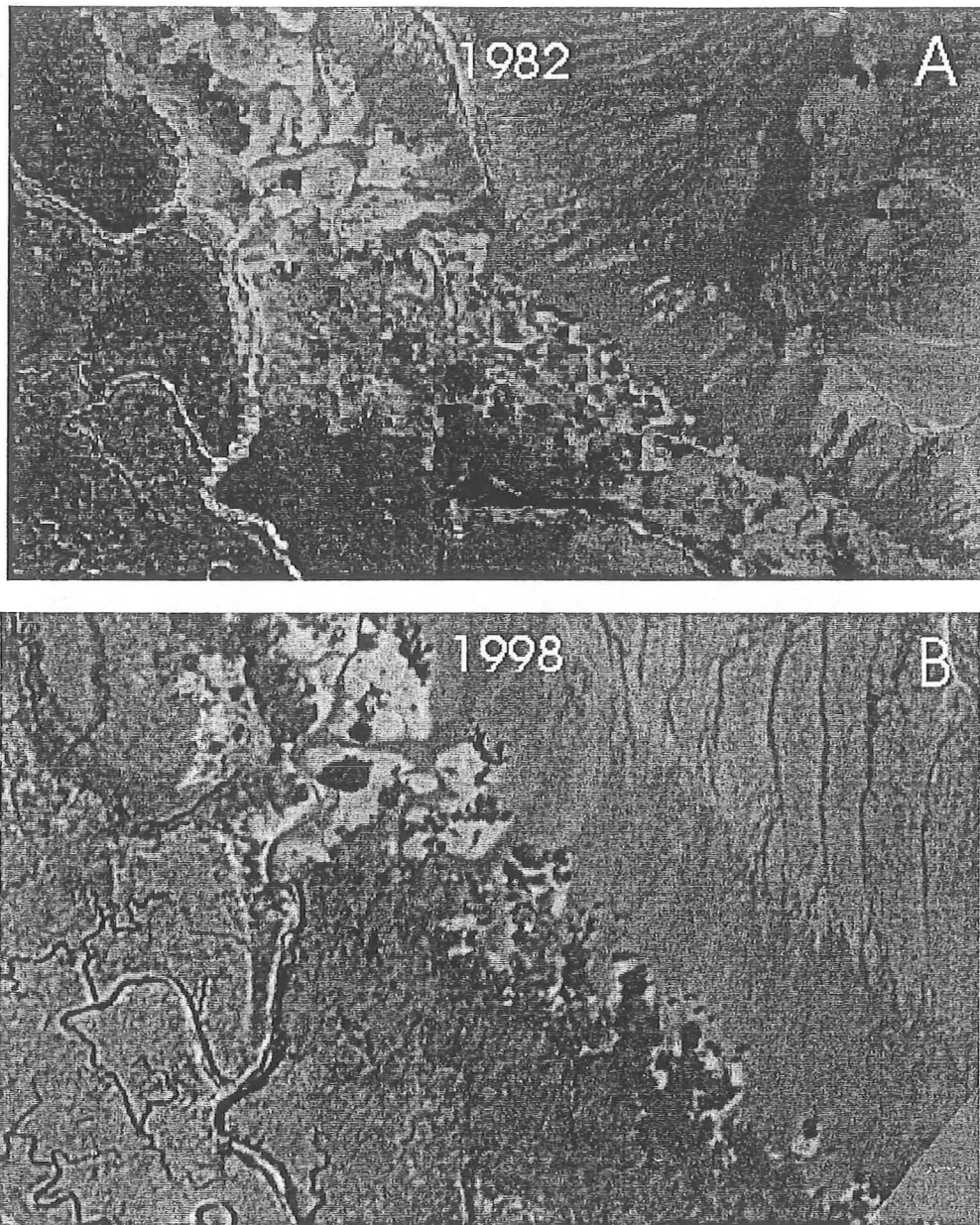
3.1. Aspecten van laterale morfodynamiek

Naast verticale hoogteveranderingen zijn schorren ook onderhevig aan laterale veranderingen in oppervlakte. Veranderingen in schoroppervlakte treden op als gevolg van 2 mechanismen:

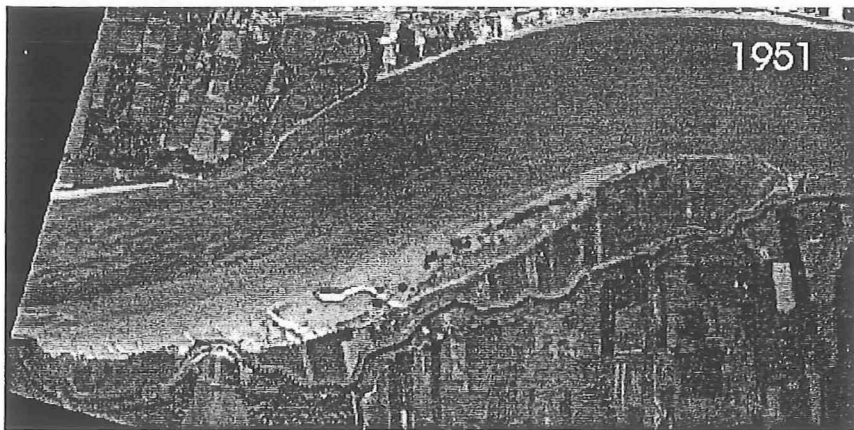
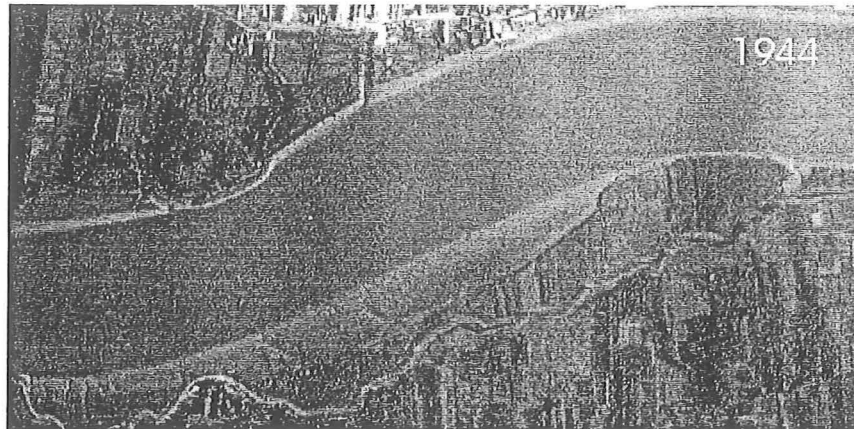
- (1) laterale erosie, waarbij een schorreklif wordt gevormd die onder invloed van golven en stromingen wordt ondergraven. Hierdoor wordt het klif zodanig steil dat het onstabiel wordt en blokken sediment als een geheel van het klif gaan afstorten (massabewegingen) (Figuur 18a).
- (2) laterale aangroei, waarbij pionier vegetatie zich gaat uitbreiden over een voordien onbegroeide slikke (Figuur 18b). Deze kolonisatie gebeurt door polvormende soorten, zowel voor de zout- en brakwaterschorren (*Spartina anglica*) als voor de zoetwaterschorren (*Scirpus* sp.), waarbij de kolonistatie begint door afzonderlijke, alleenstaande cirkelvormige pollen die vervolgens al dan niet aan elkaar gaan groeien om een dichte, gesloten vegetatie te vormen (zie luchtfoto's: Figuur 19: voorbeeld voor een zoutwaterschorre; Figuur 20: voorbeeld voor een zoetwaterschorre).



Figuur 18. Aspecten van laterale morfodynamiek: (A) laterale erosie onder de vorm van kliferosie (foto Waarde); (B) laterale aangroei onder de vorm van uitbreiding van Spartina polen over een oorspronkelijk onbegroeide slikke (foto Paulinapolder)



Figuur 19. Laterale dynamiek van de schorren bij Paulinapolder aan de hand van luchtfoto's. Let op het gedeeltelijk aaneengroeien van de Spartina pollen tot een gesloten Spartina vegetatie in het middenste gedeelte van de foto's. Bemerkt ook in de linkerbovenhoek dat tegelijkertijd kliferosie en aangroei van pollen voor het klif is opgetreden tussen 1982 en 1998.



Figuur 20 (vorige pagina). Laterale dynamiek van de schorren bij de Notelaar aan de hand van luchtfoto's. Bemerk dat in 1944 een vrij groot slikke gebied aanwezig is. In 1951 is deze slikke begroeid met Scirpus (biezen) pollen. In 1965 is deze Scirpus vegetatie helemaal dichtgegroeid en grotendeels vervangen door een Phragmites (riet) vegetatie (de volgende fase in de vegetatie successie op een zoetwaterschorre). In 1998 zien we dat ook reeds Salix (wilgen) groeien op de rand van de nieuw gevormde schorre. Bemerk ook dat de oude schorre in 1944 en 1951 nog werd gebruikt voor landbouw (hooiland) en in 1965 voor de teelt van wissel of wijmen (wilgen twijgen voor vlechtwerk). Dergelijke teelten waren weid verspreid op de zoetwaterschorren langs de Schelde tot ongeveer de jaren 1960. Nadien heeft zich op de oude schorre een Salix (wilg) vegetatie ontwikkeld.

3.2 Veld data.

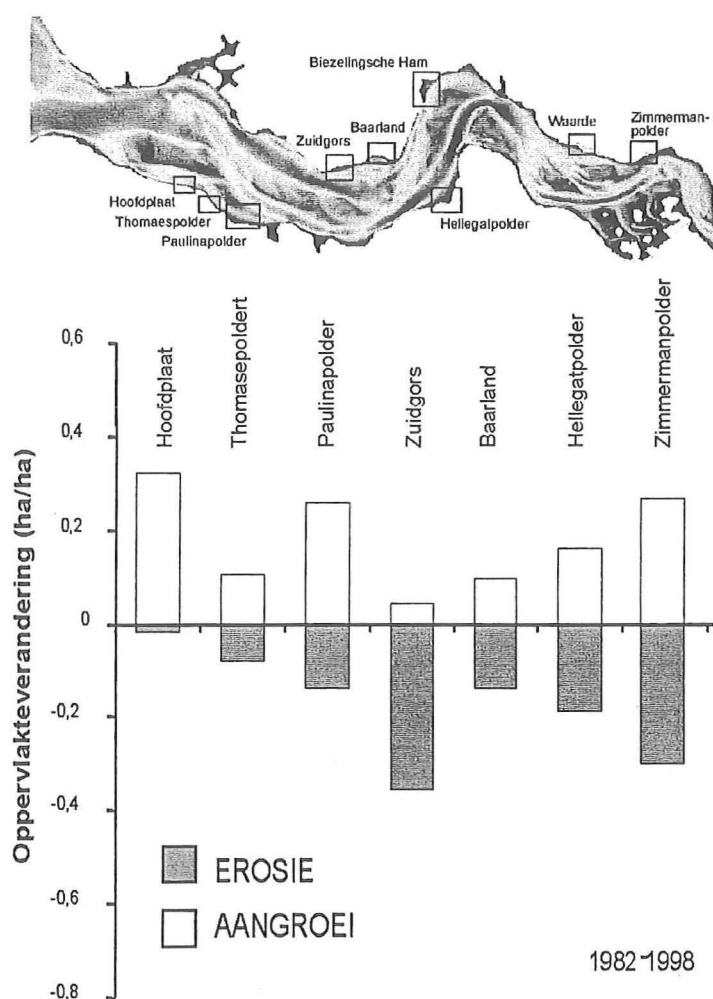
Op basis van de analyse van luchtfoto's, die dateren van verschillende jaren, kunnen we nagaan waar en hoe snel schorren lateraal eroderen en/of aangroeien (bv. Figuur 19 en 20). Figuur 21 toont de resultaten van zo'n analyse voor de schorren langs de Westerschelde (analyses door Daphne Van Der Wal, NIOO-KNAW).

De laterale morfodynamiek van schorren wordt klassiek toegeschreven aan een aantal exogene "forcing factors":

(1) het wind-golf klimaat: daar waar de schorrand is blootgesteld aan golven, die gegenereerd worden door de overheersende windrichting, verwacht men dat de laterale erosie van schorren het sterkste is. Deze hypothese gaat min of meer op voor de Westerschelde. De overheersende windrichting is Zuidwest, wat betekent dat vooral de schorren langs de noordoever van de Westerschelde gevoelig zijn aan golven gegenereerd door deze overheersende zuidwesten winden (Figuur 21: Zuidgors, Zimmermanpolder). De luchtfotoanalyse's tonen aan dat de laterale erosie procentueel gezien het sterkste is voor deze twee schorregebieden. Maar we stellen ook vast dat er tegelijkertijd belangrijke aangroei s opgetreden, bijvoorbeeld bij de Zimmermanpolder.

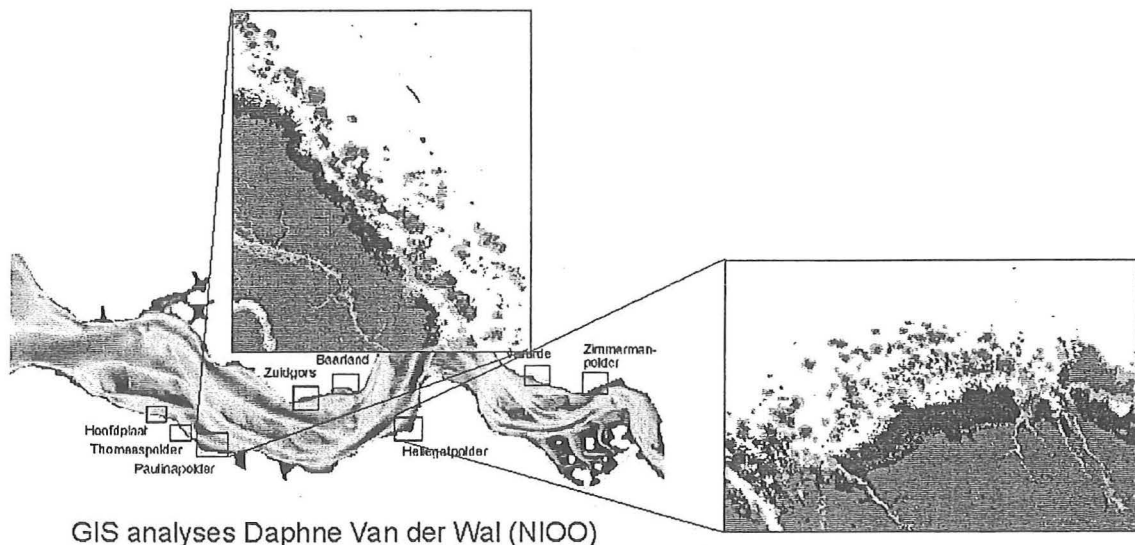
(2) getijdestromingen: daar waar getijdestromingen het sterkste zijn, verwacht men de sterkste laterale erosie. In de Westerschelde zien we dat de tidal range toeneemt van west naar oost (zie volgende lezing). De laterale erosie van de schorren vertoont echter geen duidelijke toenemende trend in oostelijke richting.

(3) de verplaatsing van stroomgeulen: in sommige gevallen is de verplaatsing van stroomgeulen ook verantwoordelijk voor het lateraal eroderen of aangroeien van schorren.



Figuur 21. Laterale erosie en aangroei (procentueel) van de schorren in de Westerschelde voor de periode 1982-1998. Resultaten van GIS analyses op basis van luchtfoto's, door Daphne Van der Wal (NIOO-KNAW).

Wat echter het duidelijkste opvalt uit Figuur 21 is dat voor nagenoeg alle schorren **tegelijkertijd laterale erosie en aangroei** over de bestudeerde periode is opgetreden. Dit wordt bijvoorbeeld geïllustreerd in Figuur 22 voor de schorre bij de Paulinapolder en de Hellegatpolder. Dit geeft aan dat de laterale morfodynamiek van schorren niet uitsluitend bepaald wordt door exogene processen, maar in sterke mate ook bepaald wordt door een endogeen mechanisme.



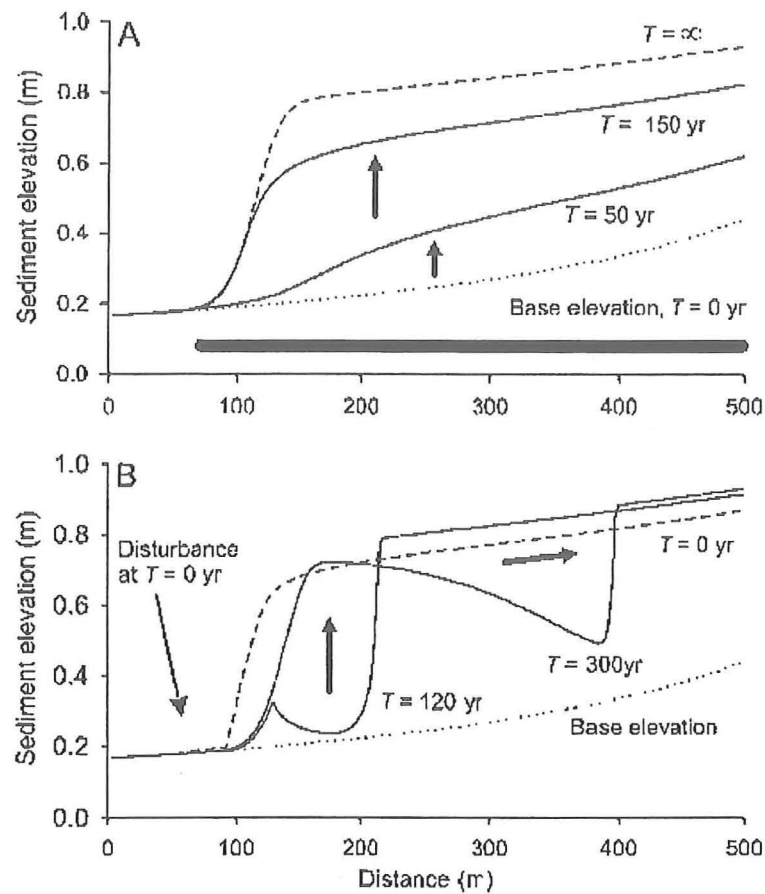
GIS analyses Daphne Van der Wal (NIOO)

Figuur 22. Voorbeeld van GIS analyses op basis van luchtfoto's, voor Paulinapolder en Hellegatpolder. In groen: schoroppervlakte die onveranderd is gebleven tussen 1982-1998; in rood: weggeërodeerde schoroppervlakte tussen 1982-1998 (vooral door kliferosie); in geel: aangegroeide schoroppervlakte tussen 1982-1998 (vooral door laterale aangroei van Spartina pollen). Bemerkt dat kliferosie en aangroei van Spartina pollen tegelijkertijd optreedt.

Data: Daphne Van der Wal, NIOO-KNAW.

3.3. Een model voor cyclische laterale erosie en aangroei

Figuur 23 toont de resultaten van model simulaties van laterale erosie en aangroei van schorren. De figuren stellen de evolutie voor van een geomorfologische dwarsdoorsnede vanaf een lage slikke tot een hoge schorre. Als gevolg van de vestiging van vegetatie op de slikke wordt een schorre gevormd. De vegetatie zorgt voor demping van stroming en golven, zodat sediment wordt ingevangen. Daardoor hoogte de schorre sneller op dan de slikke en wordt de rand tussen de schorre en slikke op termijn steiler. Als gevolg hiervan wordt de rand gevoeliger aan de impact van golven. De rand wordt zo steil dat hij onstabiel wordt en begint af te kalven. Er ontstaat een klif die door erosie terugschreit. Hierdoor ontstaat voor het eroderende klif een slikke waar na verloop van tijd zich weer nieuwe schorrevegetatie (pionier soorten zoals *Spartina*) kan vestigen. Vanaf dan wordt er weer een nieuw, jong schorre platform opgebouwd voor het klif van het oude (hogere) schorreplatform. Dit nieuwe jonge schorre platform krijgt op termijn weer een steile rand, waar opnieuw een klif wordt gevormd en laterale erosie optreedt, enz. Dit proces van **cyclische laterale erosie en aangroei** van schorren wordt duidelijk waargenomen voor schorren langs de Schelde (zie Figuur 22), maar over het algemeen ook voor andere schorren in de wereld. We noemen dit cyclische proces **endogeen**, omdat het wordt veroorzaakt door processen die eigen zijn aan het proces van schorvorming, nl. een positieve feedback tussen sedimentatie en groei van vegetatie.



Figuur 23: Model simulaties van laterale erosie en aangroei van schorren. De figuren stellen de evolutie voor van een geomorfologische dwarsdoorsnede vanaf een lage slikke tot een hoge schorre.

Data: Johan van de Koppel (NIOO-KNAW)

We verwijzen hieronder naar een aantal krantenartikels die zijn verschenen naar aanleiding van dit onderzoek. Bemerkt dat dit soort onderzoek belangrijke implicaties kan hebben voor het beheer van schorren en estuaria, en dat dit bijgevolg de nodige discussies kan uitlokken bij de betrokken actoren.

„Erosie van schorren ook door de natuur”

Regio-redactie

YERSEKE – Het wegslaan van kwetsbare schorren langs de kust blijkt niet alleen het gevolg van menselijke ingrepen, zoals de uitdieping van de Westerschelde of de toegenomen scheepvaart. „Ook de natuur zelf kan voor erosie zorgen”, zo maakten onderzoekers van het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) en de Rijksuniversiteit Groningen gisteren bekend.

De onderzoekers stellen in het januarinumnummer van het wetenschappelijke tijdschrift *The American Naturalist* dat de uitkomsten van het onderzoek belangrijke gevolgen kunnen hebben voor het beheer van schorren of kwelders.

De erosie van schorren of kwelders is een actueel thema in het licht van de toekomstige verdieping van de Westerschelde in Zeeland. Die verdieping is nodig om het scheepvaartverkeer naar Antwerpen de ruimte te kunnen geven.

Natuurorganisaties als Het Zeeuwse Landschap, Natuurmonumenten en Vogelbescherming Nederland verenigd in de coalitie De Schelde Natuurlijk- keren

zich tegen deze verdieping omdat daardoor onder meer de schorren verdere onherstelbare schade zullen oplopen.

Overigens stelt onderzoeker Johan van de Koppel van de NIOO-afdeling in Yerseke met nadruk dat schorafslag niet altijd een natuurlijke oorzaak heeft. „Kortom, het is geen vrijbrief om alle afslag maar als natuurlijk te bestempelen en er verder niet naar om te kijken.” Volgens Van de Koppel tonen wiskundige modellen aan dat golfslag op een natuurlijke wijze stukken schor weg kan slaan. „Volgens onze modellen kan dit proces optreden zonder enige invloed van de mens.”

C. Jacobusse van Stichting Het Zeeuwse Landschap is niet onder de indruk van de uitkomsten van het onderzoek. „Wij hebben schorren altijd al beschouwd als een cyclisch landschap. Perioden van erosie en opbouw wisselen elkaar op een natuurlijke manier af.” Het probleem is volgens Jacobusse dat in de Westerschelde wel erosie plaatsheeft, al dan niet natuurlijk, maar dat er geen ruimte is voor opbouw van het schor door onder meer drukke bevaring. „En dan zie je dat het wel degelijk mensen zijn die aan de knoppen zitten.”

Referenties

Deze cursustekst werd gebaseerd op volgende wetenschappelijke werken:

1. Inleiding

Temmerman, S., 2003. Sedimentation on tidal marshes in the Scheldt estuary: a field and numerical modelling study. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 234 pp.

2. Verticale morfodynamiek op korte termijn en kleine schaal

Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S. and 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(7): 739-755.

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

Temmerman, S., Bouma, T.J., De Vries, M.B., Wang, Z.B., Govers, G. and Herman, P.M.J., submitted. The impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns over an alluvial landscape: 3D modeling for a tidal marsh. *Journal of Geophysical Research*.

3. Verticale morfodynamiek op lange termijn en grote schaal

Temmerman, S., Govers, G., Meire, P. and Wartel, S., 2003a. Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology*, 193(1-2): 151-169.

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

4. Laterale morfodynamiek

Van de Koppel, J., Van der Wal, D., Bakker, J.P. and Herman, P.M.J., 2005. Self-organisation and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist*, 165(1): E1-E12.

Bent u geïnteresseerd in deze artikelen, dan kan u die altijd bekomen via s.temmerman@nioo.knaw.nl