

University of Groningen

Biophysical self-organization of coastal wetlands

van de Vijssel, Roeland Christiaan

DOI:
[10.33612/diss.160081233](https://doi.org/10.33612/diss.160081233)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2021

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
van de Vijssel, R. C. (2021). *Biophysical self-organization of coastal wetlands: Unraveling spatial complexity on tidal flats and marshes, from the Precambrian to today*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.160081233>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Biofysische zelforganisatie van draslanden in de kustzone

Het ontrafelen van ruimtelijke complexiteit op slikplaten en schorren, van het Precambrium tot het heden

Terwijl voorspeld wordt dat zeespiegelstijging, toenemende stormintensiteit en bodemdaling in de komende eeuw het overstromingsrisico voor 's werelds dichtbevolkte kustlijnen sterk zal doen toenemen, zoeken wetenschappers en beleidsmakers wereldwijd naar duurzame methoden om kustgemeenschappen te beschermen. Draslanden in de kustzone vormen een scheidslijn tussen land en zee en zouden zodoende deze beschermende functie kunnen vervullen. Veel soorten drasland, zoals slikplaten en schorren (kwelders en wadden), zijn niet alleen biodiverse ecosystemen en een natuurlijke plaats van koolstofopslag, maar bieden ook natuurlijke kustbescherming. Typisch worden deze landschappen doorsneden door geulnetwerken, die het voornaamste distributiestelsel binnen het drasland vormen; ze verzorgen het transport van water, sediment, organismen, etc. Zodanig wordt de ontwikkeling en respons op bijv. zeespiegelstijging van draslanden in grote mate bepaald door de ruimtelijke structuur van het geulnetwerk. De geometrie van zulke netwerken verschilt sterk per drasland, variërend van ruimtelijk “eenvoudige”, parallelle geulen tot zeer “complexe”, vertakkende netwerken. Tijdens de geologische geschiedenis van de Aarde, zo hebben eerdere studies aangetoond, hebben biologische processen een grote invloed gehad op deze landschapscomplexiteit: terwijl de meeste geul-doorsneden sedimentaire landschappen ruimtelijk eenvoudig waren vóór de evolutie van fysiologisch complexe levensvormen (in het Precambrium, meer dan een half miljard jaar geleden), werden zulke landschappen in de loop van miljoenen jaren steeds complexer, gelijktijdig met de evolutie van vegetatie. In hedendaagse ecosystemen, zo is uit andere studies gebleken, bieden interacties tussen biologische (sediment-stabilisatie door algen en planten) en fysische processen (sediment- en hydrodynamiek) een breed geaccepteerde verklaring voor de spontane vorming van ruimtelijk eenvoudige, regelmatige patronen, door middel van het proces van zelforganisatie. Of soortgelijke zelforganisatieprocessen eveneens een verklaring kunnen bieden voor meer complexe patronen in draslanden is nog relatief onbekend. In dit proefschrift tracht ik daarom de ruimtelijke complexiteit van draslanden in de kustzone te doorgronden, mij daarbij richtend op geulpatronen op slikplaten en schorren, van het Precambrium tot het heden.

Als eerste stap bestudeer ik in **Hoofdstuk 2** de ruimtelijk eenvoudige geulpatronen die op slikplaten waargenomen kunnen worden. Het onderzochte patroon bestaat uit op regelmatige afstand van elkaar liggende, parallelle geulen, met aangrenzende verhoogde sedimentaire richels die zijn gekoloniseerd door primitieve (d.w.z.,

fysiologisch simpele) draadvormige algen (*Vaucheria* sp.). Regelmatige ruimtelijke patronen in ecosystemen worden meestal verklaard door zelforganisatie, waarbij lokale terugkoppelingen (“feedbacks”) een initieel ongeorganiseerd landschap doen omvormen tot een regelmatig patroon. Metingen die ik via teledetectie (“remote sensing”) verricht, laten zien dat het geulpatroon inderdaad ruimtelijk regelmatig is en ontstaan uit onregelmatige begincondities. Ik doe laboratorium- en veldmetingen om de hypothese te testen dat het waargenomen patroon gevormd is door “schaalafhankelijke terugkoppelingen”, d.w.z. op korte afstand een terugkoppeling met positief effect (sedimentstabilisatie door algen leidt tot richelvorming; op deze richels wordt algengroei bevorderd) en op lange afstand een terugkoppeling met negatief effect (waterstroming wordt door de richels afgebogen in geulen, waar het de algengroei condities verslechtert en dus leidt tot verdere geuluitslijting). Remote sensingdata en sedimentkernen laten zien dat het algenpatroon meerdere jaren heeft standgehouden, wat geleid heeft tot een intern gelaagde sedimentstructuur in de richels. Deze waarnemingen tonen sterke overeenkomsten met de gelaagde microbialieten (microbieel vormgegeven sedimentaire gesteenten) die talrijk zijn onder de fossielen van Precambrische ouderdom. Dit impliceert dat ruimtelijke zelforganisatie een belangrijk landschapsvormend proces is geweest gedurende een aanzienlijk deel van de geologische geschiedenis van de Aarde, terugdaterend tot enkele van de eerste fossiele ecosystemen.

Veel draslanden in de kustzone worden echter gekenmerkt door geulnetwerken die complexer zijn dan de regelmatige geulpatronen uit Hoofdstuk 2. In **Hoofdstuk 3** onderzoek ik daarom of dezelfde schaalafhankelijke terugkoppelingsprocessen een verklaring zouden kunnen bieden voor de vorming van dergelijke complexe patronen. Ik ontwikkel een geïdealiseerd wiskundig model dat de gekoppelde hydro-, sediment- en vegetatiedynamiek in een versimpeld draslandsysteem vertegenwoordigt. Mijn modelresultaten, ondersteund door veldwaarnemingen, laten zien dat één schaalafhankelijke terugkoppeling patronen kan genereren die variëren van ruimtelijk eenvoudig tot zeer complex. Zodra er een primair, grootschalig regelmatig patroon gevormd is, veroorzaakt de sedimentaire topografie van dit patroon nieuwe waterstroomroutes, zodanig dat dezelfde schaalafhankelijke terugkoppeling opnieuw geactiveerd wordt en een secundair, fjnschaliger regelmatig patroon vormgeeft dat genest is binnen het primaire patroon. De topografie van het secundaire patroon kan vervolgens de vorming van een tertiair patroon teweegbrengen dat genest is binnen het secundaire patroon, en zo verder. Uiteindelijk kan deze recursieve terugkoppeling geulnetwerken vormen die sterke gelijkenissen hebben met netwerken in draslanden in de echte wereld. Een sterkere vegetatie-gedreven schaalafhankelijke terugkoppeling leidt tot een complexer geullandschap, dat hogere efficiëntie heeft als het gaat om drainage en sedimentaccretie en waarin de groei condities voor vegetatie beter zijn. Mijn bevindingen ondersteunen daarom de invloed van ruimtelijke complexiteit op het functioneren van kustecosystemen en de belangrijke rol van biologie daarin.

In **Hoofdstuk 4** onderzoek ik de effecten van primitieve sediment-stabiliserende organismen, specifiek de draadvormige alg *Vaucheria* uit Hoofdstuk 2, onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden, ter experimentele ondersteuning van de hypothese (in Hoofdstuk 2 geformuleerd op basis van veldmetingen) dat deze algen een schaalafhankelijke terugkoppeling kunnen activeren. Mijn experimentele resultaten tonen aan dat i) de groei van *Vaucheria* bevordert wordt door verhoogde sedimentaire topografie, ii) de bindende kracht van de algendraden het sediment verstevigt, en iii) een toename in sedimentstevigheid leidt tot een toename in relatieve sedimenthoogte, waardoor deze terugkoppelingen samen een zelfversterkende “lus” vormen. Aangezien een toename in sedimentstabiliteit en sedimenthoogte theoretisch gezien zou moeten leiden tot een verlaging van de mechanische verstoring en overstromingsstress voor de pioniersoorten in het ecosysteem, impliceren mijn bevindingen dat primitieve organismen zoals *Vaucheria* de vestigingskans (“Window of Opportunity”) voor nieuwe ecosystemen op slikplaten zouden kunnen vergroten. Dit biologische gezichtspunt gaat verder dan de gebruikelijke overtuiging dat zulke vestigingskansen voornamelijk door fysische (bijv. meteorologische) processen bepaald worden.

In **Hoofdstuk 5** ga ik dieper in op het idee dat de ecosysteemvestigingskans op slikplaten zou kunnen worden verhoogd door primitieve organismen zoals *Vaucheria*. Ik maak gebruik van remote sensingdata om aan te tonen dat slikplaten, bij dezelfde hoogteligging (overstromingscondities), ofwel i) topografisch vlak kunnen zijn, zonder duidelijke algenbegroeiing of vegetatie, ofwel ii) gekenmerkt kunnen worden door drainagegeulen met aangrenzende door *Vaucheria* overgroeide sedimentrichels (zoals die in Hoofdstuk 2). Veldmetingen laten zien dat de dichtheid van pioniervegetatie significant hoger is op zulke door algen begroeide richels dan op delen van de slikplaat waar sedimentaire topografie of algenbegroeiing niet duidelijk aanwezig zijn. Dit ondersteunt de verwachting uit Hoofdstuk 4 dat de biofysische terugkoppeling die *Vaucheria* teweegbrengt de vestiging van gevegeteerde ecosystemen kan bevorderen. Vervolgens gebruik ik het wiskundige model dat ik in Hoofdstuk 3 ontwikkeld heb, nu zodanig geparametriseerd dat het *Vaucheria* voorstelt, om te laten zien dat de schaalafhankelijke terugkoppelingen die deze algen veroorzaken het waargenomen geulpatroon inderdaad kunnen verklaren. Zowel van de waargenomen als de gesimuleerde patronen verandert de morfologie van vlak tot eenvoudig tot complex, wanneer de groeicondities verbeteren (toename in hoogteligging van de slikplaat). Het model voorspelt dat, door de sterke algen-gestuurde terugkoppelingen, alternatieve stabiele toestanden naast elkaar kunnen bestaan onder dezelfde groeicondities, in overeenstemming met wat mijn veldwaarnemingen suggereren. Bovendien kunnen de algenpatronen worden gebruikt als indicatoren om aan te geven of het ecosysteem zich ontwikkelt richting gunstigere of ongunstigere groeicondities en om aan te duiden wanneer een gedegradeerd ecosysteem (d.w.z. een onbegroeide slikplaat) een zodanige hoogteligging heeft dat het een kritische toestandstransitie zou kunnen ondergaan

naar een hersteld ecosysteem (algenpatronen). Deze informatie kan uiterst belangrijk zijn voor drasland-herstelprojecten.

Al met al onderstrepen de bevindingen in mijn proefschrift het belang van biofysische zelforganisatie voor de ontwikkeling van draslanden in de kustzone, met de focus op de geulnetwerken op slikplaten en schorren. Mijn bevindingen orden ik langs de dimensies tijd (geologische evolutie, van Precambrium tot heden) en ruimte (van eenvoudige enkelschalige patronen tot complexe meerschale patronen). Ten eerste laat ik zien dat zelfs primitieve organismen zoals algenmatten een langdurig (meerjarig) effect kunnen hebben op de ontwikkeling van slikplaten en dat simpele organismen door middel van zelforganisatie mogelijk al gedurende honderden miljoenen jaren vorm hebben gegeven aan sedimentaire landschappen. Daarnaast laat mijn onderzoek zien dat een breed scala aan ruimtelijke patroonstructuren, zowel enkel- als meerschale, kan worden begrepen vanuit één enkel terugkoppelingsmechanisme. Terwijl traditionele zelforganisatietheorie ervan uitgaat dat kleinschalige processen gezamenlijk leiden tot orde op grote schaal, laat mijn onderzoek juist zien dat het noodzakelijk is om het omgekeerde proces, de verfijning van patronen vanuit een grootschaliger “achtergrondpatroon”, eveneens te bestuderen, willen we de vorming van complexe ruimtelijke patronen kunnen begrijpen. Dit nieuwe perspectief, in combinatie met de geïdealiseerde modeltechnieken die ik hier ontwikkeld heb, zijn mogelijk weldra inzetbaar om de complexe patronen in tal van andere (eco)systemen te onderzoeken. Tenslotte kunnen mijn bevindingen waardevol zijn voor de wereldwijde pogingen om draslanden te herstellen. Mijn onderzoek laat zien dat primitieve algen de groeiomstandigheden voor complexere vegetatiesoorten actief kunnen bevorderen. De groei van deze pionierende algen kan relatief eenvoudig in gang gezet worden door kunstmatige richels en geulen aan te leggen. Daarnaast kan het creëren van een ruimtelijk complex geulpatroon de drainage van draslanden verbeteren, waardoor sedimentcompactie en daarmee sedimentstevigheid toenemen, wat vervolgens de ecosysteemvestiging verder kan bevorderen. Algenpatronen kunnen, als ze zich eenmaal gevestigd hebben, bijdragen aan het in goede banen leiden van drasland-herstelprojecten, zodat draslanden uiteindelijk een duurzame en natuurlijke kustverdediging kunnen vormen.