De bijdrage van voorlanden aan hoogwaterbescherming

De bijdrage van voorlanden aan hoogwaterbescherming

Bevindingen van het project BE SAFE: Bio-Engineering for Safety

Auteurs

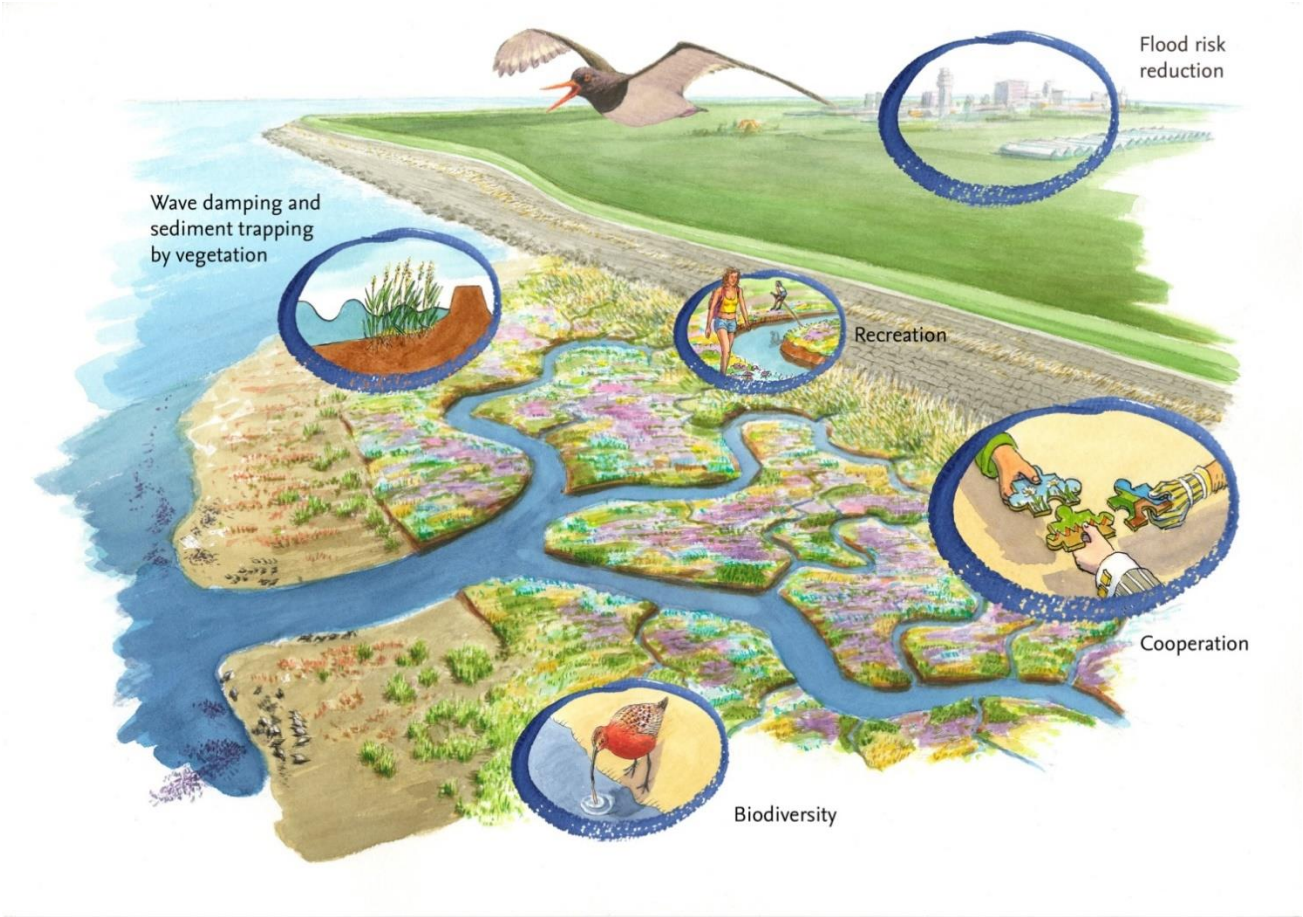
Vincent Vuik (TU Delft, HKV)
Bas Jonkman (TU Delft)
Pim W.J.M. Willemsen (Universiteit Twente, NIOZ, Deltares)
Bas W. Borsje (Universiteit Twente)
Stephanie K.H. Janssen (TU Delft, Deltares)
Leon M. Hermans (TU Delft)
Tjeerd J. Bouma (NIOZ, Universiteit Utrecht)

1. Achtergrond

In Nederland moeten de komende jaren honderden kilometers waterkeringen versterkt worden. Door te bouwen met de natuur kunnen aantrekkelijke en innovatieve waterbouwkundige oplossingen worden gerealiseerd die bijdragen aan veiligheid én natuurontwikkeling. Doordat natuurlijke oplossingen ook een natuurlijke dynamiek vertonen, is een andere manier van ontwerpen, toetsen en beheren nodig dan voor traditionele waterkeringen.

In het onderzoeksproject BE SAFE (Bio-Engineering for Safety) is onderzocht hoe en hoeveel begroeide vooroevers, zoals schorren en kwelders, kunnen bijdragen aan de verlaging van overstromingsrisico's. Daarbij is aandacht besteed aan verschillende met veiligheid samenhangende aspecten (Figuur 1), natuurwaarde en overige functies van voorlanden zoals recreatie. Het project BE SAFE integreert kennis op het gebied van ecologie, morfologie, waterbouwkunde en bestuurlijke implementatie om te komen tot geïntegreerde oplossingen.

In dit document zijn de huidige bevindingen van het project samengevat zodat waterkeringbeheerders, beleidsmakers, natuurorganisaties, adviseurs en andere geïnteresseerden hiervan kennis kunnen nemen. Bijlage 1 geeft een overzicht van enkele Engelstalige wetenschappelijke artikelen die in meer detail ingaan op onderdelen van het onderzoek.



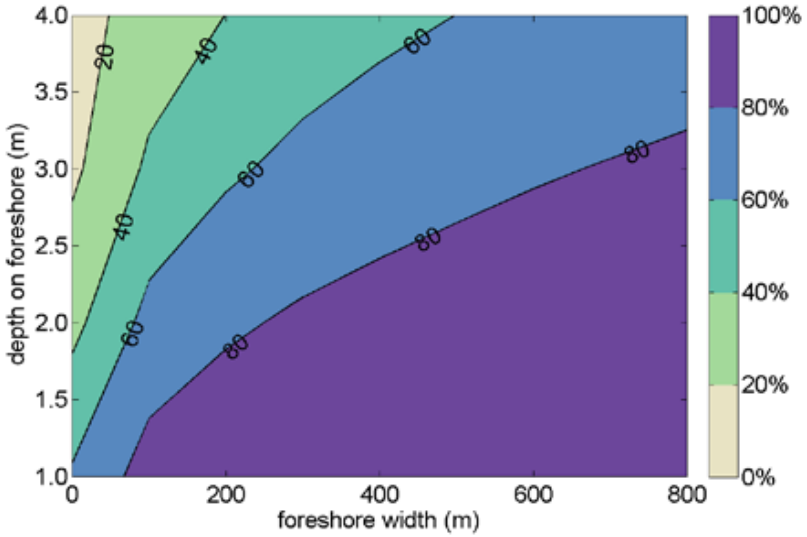
Figuur 1: Begroeide voorlanden voor waterveiligheid: processen en functies (Bron: WNF / Jeroen Helmer, ARK Nature)

2. Naar geïntegreerde beoordeling van voorlanden

Een voorland voor een dijk draagt bij aan waterveiligheid door het dempen van golven tijdens stormen. Hierdoor hoeft de dijk minder hoog en sterk te zijn. Om voorlandoplossingen te kunnen ontwerpen en beoordelen is inzicht nodig in de morfologische en ecologische ontwikkeling, de hydraulische effecten van het voorland en de samenhang tussen gebruiksfuncties zoals waterveiligheid, natuur of agrarisch gebruik. Er bestaan interacties tussen deze aspecten: de aanwezige vegetatie beïnvloedt bijvoorbeeld de stabiliteit en aangroei van het voorland. Uiteindelijk bepalen de bodemligging van het voorland en de eigenschappen van de vegetatie de totale golfremmende werking. In het onderzoek zijn metingen verricht en methoden ontwikkeld om de werking van voorlanden beter te kunnen begrijpen en voorspellen, en de implementatie mogelijk te maken. Dit hoofdstuk vat de methoden en inzichten samen die in het BE SAFE onderzoek zijn ontwikkeld.

Waterveiligheid

In het deelonderzoek Waterveiligheid zijn rekenmodellen ontwikkeld voor het berekenen van de golfreductie tijdens extreme stormen. Om deze rekenmodellen af te regelen en te valideren, is tijdens stormen de golfdemping gemeten op schorren in de Westerschelde en kwelders in de Waddenzee. Uit de modellen blijkt dat het voorland de golfaanval op de dijk aanzienlijk kan verlagen, afhankelijk van de waterdiepte boven het voorland en de breedte van het voorland (Figuur 2). De vegetatie levert daarbij een grote bijdrage.



Figuur 2: Afname van de golfhoogte (in %) bij de dijk door aanwezigheid van een begroeid voorland met een bepaalde breedte (horizontale as) bij een bepaalde waterdiepte (verticale as) tijdens ontwerpcondities voor een dijk in de Westerschelde. (Bron: Vuik et al. 2016)

Daarbij speelt echter de vraag of de tijdens winterstormen gemeten golfdemping ook optreedt tijdens zeer extreme stormen, of dat de vegetatie dan af zal breken. Daarom is onderzoek gedaan naar de buigsterkte van vegetatie in relatie tot de krachten van golven tijdens extreme stormen. Daaruit blijkt dat vegetatie in grote wateren als de Westerschelde en Waddenzee grotendeels af zal breken tijdens stormen waar dijken op zijn ontworpen, en dat de golfdemping alleen veroorzaakt zal worden door de hoog opgeslibde bodem met een ruw, stoppelig oppervlak met restanten van vegetatie.

Tenslotte zijn methoden ontwikkeld om in te schatten hoeveel een voorland kan bijdragen aan de verlaging van de overstromingskans voor verschillende faalmechanismen van de dijk, zowel op korte als lange termijn. Voorlanden verlagen de faalkans voor de mechanismen golfoverslag en golfklappen op de bekleding van het buitentalud, en zijn onder bepaalde voorwaarden kosten-effectiever dan traditionele dijkverhoging.

Biogeomorfologie

Het doel van het deelonderzoek Biogeomorfologie is het achterhalen en voorspellen van de lange-termijn variaties in voorlandkarakteristieken, en de gevolgen daarvan voor golfdemping. De lange-termijn variaties zijn onderzocht middels analyse van historische data (60-70 jaar), wat de typische ontwerplevensduur van een dijkversterkingsproject (50 jaar) afdekt. Daarnaast is het middellange-termijn (1 jaar) biogeomorfologische gedrag van de vooroever onderzocht middels veldmetingen.

Veel voorlanden bestaan uit een combinatie van lager gelegen onbegroeide slikken, en een hoger gelegen begroeid schor tegen de dijk aan. Het schor levert de grootste bijdrage aan de golfdemping richting de dijk. Variaties van golfdemping in ruimte en tijd zijn voornamelijk het gevolg van variaties in schorbreedte (dwars op de dijk) door verschuivingen van de vegetatierand tussen schor en slik. Verschuivingen zijn afhankelijk van twee factoren: inundatietijd en bodemdynamiek (door erosie en sedimentatie). Jonge planten kunnen een langere inundatieduur verdragen als de bodemdynamiek niet te groot is, en vice versa. Op middellange termijn (tijdschaal van seizoenen) is de bodemdynamiek van groter belang voor de overleving van jonge kwelderplanten (Engels slijkgras dan de directe invloed van golven.

In het vervolg van dit deelonderzoek wordt de lange-termijn biogeomorfologische dynamiek van voorlanden onderzocht, en de consequenties voor golfdemping. De resultaten van het lopende onderzoek kunnen gezien worden als de basis voor algemene regels voor golfdemping door voorlanden, met inachtneming van variaties in ruimte en tijd. Hieruit kunnen design tools worden ontwikkeld die bijdragen aan de implementatie van begroeide vooroevers als kustverdediging.

Ecologie

In het deelonderzoek Ecologie zijn 3 typen vragen onderzocht: i) de betrouwbaarheid van voorlandoplossingen voor kustbescherming, ii) de natuurlijke dynamiek van voorlanden en iii) de compatibiliteit van natuurdoelen met veiligheidsdoelen.

Analyse van historische stormen (1717, 1953) toont aan dat voorlanden veel bijdragen aan waterveiligheid door het beperken van aantallen bressen en hun dimensies.

De sterkte van verschillende plantensoorten is gemeten, om daarmee hun golfdempende werking en het moment van breken te kunnen voorspellen. Hierbij zijn metingen gedaan langs zowel een successiegradiënt (d.w.z., van laag naar hoog schor) als langs een zoutgradiënt (van zoute naar zoete voorlanden). Verschillen tussen soorten bleken vele malen groter dan verschillen over de seizoenen.

Om de natuurlijke dynamiek van voorlanden te begrijpen, is voor verschillende pioniersoorten zowel de kritische vestigingsvoorwaarden onderzocht (om voorlanden te kunnen aanleggen) en gekeken naar wanneer voorlanden beginnen af te kalven, en er klifvorming optreedt. Soortverschillen bleken enorme veranderingen in voorlanddynamiek te veroorzaken: sommige plantensoorten zorgen langdurig voor een stabiele voorlandbreedte, terwijl bij andere soorten de breedte van het voorland cyclisch (ca. 60 jaar tijdschaal) groeit en krimpt.

De compatibiliteit van natuurdoelen (biodiversiteit) met veiligheidsdoelen (golfdemping) wordt momenteel nog verder geanalyseerd.

Governance

In het Governance deelonderzoek is gekeken naar afwegingen van besluitvormers die uiteindelijk leiden tot het al dan niet implementeren van natuurlijke oplossingen, zoals voorlanden, voor waterveiligheid. Bij natuurlijke oplossingen worden meerdere functies gecombineerd, wat ook betekent dat meer partijen betrokken zijn bij de besluitvorming. Hoewel integreren van voorlanden bijdraagt aan waterveiligheid, en dijkbeheerders bovendien verplicht zijn voorlanden mee te nemen en afspraken te maken met gebruikers van aangrenzend areaal, ontstaan dijk-voorland coalities niet vanzelf. Verschillen in belangen en verantwoordelijkheden, en historische factoren verhinderen samenwerking.

Waarom werd wel of niet voor een integrale natuurlijke oplossing gekozen in de projecten zandmotor, versterking Markermeerdijken en de versterking van de Afsluitdijk? Implementatiespellen op institutioneel niveau en op ontwerpniveau geven het inzicht dat de institutionele context grotendeels het uiteindelijke *ontwerp* bepaalt: een multifunctionele pilot biedt meer ruimte voor natuurlijke oplossingen dan een regulier waterveiligheidsproject. Daarnaast blijkt dat hoe meer het natuurlijk alternatief beantwoordt aan de waterveiligheidsdoelen, des te groter is de kans op implementatie.

Om besluitvormers te ondersteunen, is de gebruikte modelleringstechniek toepasbaar gemaakt middels de participatieve tool ‘meerwaarde van samenwerken’. Het onderliggend argument is dat spelers alleen samenwerken als dit hen meer oplevert dan de huidige strategie van (niet) samenwerken. Partijen leren wat ze *alleen* kunnen bereiken en wat ze kunnen bereiken door *samenwerken*. Het levert hen inzicht in ieders belangen en draagt bij aan het ontwikkelen van een gezamenlijk toekomstperspectief en te komen van idee naar daadwerkelijke implementatie. Deze methode is toegepast in samenwerking met de POV-Waddenzeedijken langs de Friese Waddenzeekust in het gebied Noard-Fryslân Bûtendyks.

3. Voorlandoplossingen bij Koehool-Lauwersmeer

Voor de dijkversterking Koehool-Lauwersmeer langs de Waddenzee is concreet onderzocht hoeveel een voorlandoplossing kan bijdragen, en of het een alternatief kan zijn voor de geplande dijkversterking. Dit dijktraject is bij de veiligheidstoetsing afgekeurd: de bekleding en stabiliteit voldoen niet meer. In totaal zou de kering over een lengte van 47 kilometer moeten worden versterkt, waar in totaal meer dan 300 miljoen euro voor is geraamd. Op meerdere plekken langs de dijk zijn reeds kwelders aanwezig (Figuur 3). Daarnaast is het technisch mogelijk op bepaalde locaties voorlanden (natuurlijk) te ontwikkelen.

Door het BE SAFE team is verkend of en hoeveel een voorlandoplossing kan bijdragen aan veiligheid. Ook is in samenwerking met diverse betrokken partijen (dijk- en natuurbeheerders, landbouwers en overheden) gekeken hoe dit kan worden vormgegeven en beheerd.

Figuur 3: De Waddendijk bij Paesens-Moddergat in de richting van Lauwersoog (Foto: Jilmer Postma)

Het lijkt technisch goed mogelijk een natuurlijk waardevolle en kustbeschermende kwelder voor de dijk aan te leggen. Het onderzoek over het beste beheer om veiligheidsdoelen met natuurdoelen te combineren is nog niet afgerond. Een van de vragen is hoe om te gaan met verandering van natuur: wat win en verlies je als je slik omzet in kwelder. Ecologisch gezien zou een dubbele dijk met daartussen een opslibbende kwelder een interessante aanpak zijn, omdat hiermee geen wadplaten verloren gaan. Maar kostentechnisch is dit minder aantrekkelijk dan het verkwelderen van een slik.

Veldmetingen bij de kwelders op de voorkant van dit document, uitgevoerd in samenwerking tussen de deelprojecten Waterveiligheid en Ecologie, hebben bewezen dat tijdens de zwaarste stormen in 4 jaar tijd de golven bij de dijk met kwelders ervoor veel lager zijn dan bij de onbegroeide slikken. Faalkansberekeningen uit het deelproject Waterveiligheid laten zien dat een begroeid voorland een lagere dijk mogelijk maakt, maar dat dit effect voor de Waddenzeedijken beperkt is tot ca. 0,5 m. Bij meerdijken zal dit effect groter zijn, vanwege het kleinere bereik aan waterstanden. Ook in landen met lagere dijken en beschermingsniveaus is

meer effect te bereiken met een voorland. Bij de Waddenzeedijken is er vooral een grote invloed (tot wel 50%) op de golfbelastingen op de dijkbekleding van gras en asfalt. Een harde bekleding is vaak het duurste onderdeel van de dijk.

BE SAFE en de POV-Waddenzeedijken hebben gewerkt aan de samenwerking tussen partijen op en rond het voorland in het 4200 ha grote buitendijkse gebied 'Noard-Fryslân Bûtendyks', met behulp van de tool 'meerwaarde van samenwerken'. Vijf partijen, het Wetterskip Fryslân, It Fryske Gea, de gemeente Nordeast Fryslân,de pachters en Rijkswaterstaat hebben gekeken naar oplossingen die zowel het veiligheidsbelang als de belangen van pachters en natuur dienen. Deze aanpak leidt tot oplossingen met draagvlak bij alle partijen, wat een belangrijke voorwaarde is voor implementatie van natuurlijke veiligheidsoplossingen. Een van de onderzochte thema's is vernatting van zomerpolders, wat zowel waterveiligheid, de pachters als ook natuurbelangen raakt en waar gezamenlijk optrekken kan leiden tot winst voor alle partijen.

De effecten, kosten en baten van een voorlandoplossing zijn vergeleken met een reguliere dijkversterking die zou bestaan uit verhoging en verbreding van de dijk en het vervangen van de dijkbekleding – zie Tabel 1.

Tabel 1: Vergelijking van de voorlandoplossing met een reguliere dijkversterking.

	Voorlandoplossing	Dijkversterking
Benodigde ingreep	Aanleg, monitoring, en voortdurend onderhoud van kwelderwerken, of sedimentsuppletie (bij voorkeur uit uitgebaggerde geulen).	Verhogen van de dijk, verbreden aan weerszijden, vervangen gras, asfalt en steenzetting.
Kosten over levensduur	Kwelderwerken: 2-4 M€ per km Suppletie voorland: 2-4 M€ per km (Vuik et al. 2019)	Dijkverhoging: 5-15 M€ per meter verhoging per km dijk, exclusief onderhoud. (Vuik et al. 2019)
Effect op veiligheid	Effect normale kwelders vergelijkbaar met 0,5 m dijkhoogte. Bij kwelderwerken duurt dit tientallen jaren. Grasbekleding op dijk volstaat.	Direct en groot effect op golfoverslag. Asfaltbekleding op dijk nodig.
Beheer en onderhoud	Gezamenlijk beheer en onderhoud. Gebruik maken van elkaars middelen en mogelijkheden en meerdere belangen dienen. Adaptief werken.	Beheer en onderhoud van de dijk alleen. Geen verdere afstemming met voorlandbeheerders en -gebruikers.
Overige baten	Bijdrage aan natuurwaarde, recreatie en gebiedskwaliteit, mogelijkheid voor verpachten buitendijks land.	Geen toegevoegde waarde
Governance	Oplossingen gezamenlijk bedenken en ontwerpen. Zoeken naar de 'win-win'.	Oplossingen vanuit veiligheid bedenken en ontwerpen.

4. Afsluiting

Het onderzoek in BE SAFE heeft inzicht opgeleverd in de bijdrage van voorlandoplossingen aan waterveiligheid. Een multidisciplinaire aanpak is nodig om het functioneren van dit type maatregel te doorgronden. Ecologische en morfologische processen interacteren en bepalen hoeveel het voorland golfbelastingen op de dijk kan reduceren. Voorlandoplossingen voor waterveiligheid bieden meerwaarde voor ecologie, recreatie en ruimtelijke kwaliteit. Tegelijk zijn nieuwe samenwerkings- en financieringsvormen nodig om deze te realiseren. Ook kunnen voorlanden onder de juiste omstandigheden meegroeien met zeespiegelstijging, wat ze aantrekkelijk maakt voor klimaatadaptatie.

Concreet liggen er kansen om dergelijke oplossingen in Nederland toe te passen langs de Waddenkust, in Zeeland en rond het IJsselmeer en Markermeer. Daarnaast kunnen voorlanden en vegetatie een bijdrage leveren aan de veiligheid van rivierdijken, zeker op plekken waar golfaanval op de dijken relevant is.

Tot slot kunnen de in dit project ontwikkelde methoden ook internationaal bijdragen aan het ontwikkelen van natuurlijke en innovatieve strategieën. Op veel plekken in de wereld zijn waardevolle ecosystemen, zoals wetlands en mangroves, aanwezig die een belangrijke rol kunnen spelen bij de kustverdediging.

Dankwoord

Het project BE SAFE is gefinancierd door de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Dit project is mede tot stand gekomen door financiële steun van Deltares, Boskalis, Van Oord, Rijkswaterstaat, het Wereld Natuur Fonds en de Hogeschool Zeeland en de steun van HKV, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, It Fryske Gea, Ecoshape, STOWA en HWBP.

Bijlage 1: Geselecteerde artikelen uit het project BE SAFE

Waterveiligheid

Vuik, V., Jonkman, S.N., Borsje, B.W., Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. Coastal Engineering, 116, 42–56.

Vuik, V., Suh Heo, H.Y., Zhu, Z., Borsje, B.W., Jonkman, S.N. (2018). Stem breakage of salt marsh vegetation under wave forcing: A field and model study. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 200, 41–58.

Vuik, V., Van Vuren, S., Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Jonkman, S.N. (2018). Assessing safety of Nature-based Flood Defenses: dealing with extremes and uncertainties. Coastal Engineering, 139, 47–64.

Vuik, V., Borsje, B.W., Willemsen, P.W.J.M., Jonkman, S.N. (2019). Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. Ocean and Coastal Management, 171, 96–110.

Vuik, V. (2019). Building safety with nature: Salt marshes for flood risk reduction. PhD thesis, Delft University of Technology.

Biogeomorfologie

Willemsen, P.W.J.M., Borsje, B.W., Hulscher, S.J.M.H., Van der Wal, D., Zhu, Z., Oteman, B., ... & Bouma, T.J. (2018). Quantifying bed level change at the transition of tidal flat and salt marsh: can we understand the lateral location of the marsh edge? Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 123(10), 2509-2524.

Poppema, D.W., Willemsen, P.W., de Vries, M.B., Zhu, Z., Borsje, B.W., & Hulscher, S.J. (2019). Experiment-supported modelling of salt marsh establishment. Ocean & coastal management, 168, 238-250.

Ecologie

Bouma, T.J., van Belzen, J., Balke, T., van Dalen, J., Klaassen, P., Hartog, A.M., Callaghan, D.P., Hu, Z., Stive, M.J.F., Temmerman, S., Herman, P.M.J. (2016). Short-term mudflat dynamics drive long-term cyclic salt marsh dynamics. Limnology and Oceanography, 61, 2261–2275.

Zhu, Z., van Belzen, J., Hong, T., Kunihiro, T., Ysebaert, T., Herman, P.M., & Bouma, T.J. (2016). Sprouting as a gardening strategy to obtain superior supplementary food: evidence from a seed-caching marine worm. Ecology, 97(12), 3278-3284.

Van Belzen, J., Van de Koppel, J., Kirwan, M.L., Van Der Wal, D., Herman, P.M., Dakos, V., ... & Bouma, T.J. (2017). Vegetation recovery in tidal marshes reveals critical slowing down under increased inundation. Nature communications, 8, 15811.

Cao, H., Zhu, Z., Balke, T., Zhang, L., & Bouma, T.J. (2018). Effects of sediment disturbance regimes on Spartina seedling establishment: Implications for salt marsh creation and restoration. Limnology and Oceanography, 63(2), 647-659.

Governance

Janssen S.K.H., Hermans L.M. (2017) The use of game theory to assess implementation potential of nature-based flood defence. TU Delft, Delft, The Netherlands

Janssen S.K.H. Website on the participatory tool ‘added value of joint action’: https://www.deltares.nl/nl/projecten/added-value-of-joint-action-a-workshop-methodology/

Janssen, S.K.H., Hermans, L.M., Vreugdenhil, H. (in prep). Evaluatie - methodiek ‘Meerwaarde van Samenwerken in de pilot Noard-Fryslân Bûtendyks. TU Delft, Delft, The Netherlands.