

Een beoordelingstool voor de inzet van kwelders als kustbescherming

Joanne Merry & Jappe de Best (Avans Hogeschool), Kim van den Hoven (Wageningen University)

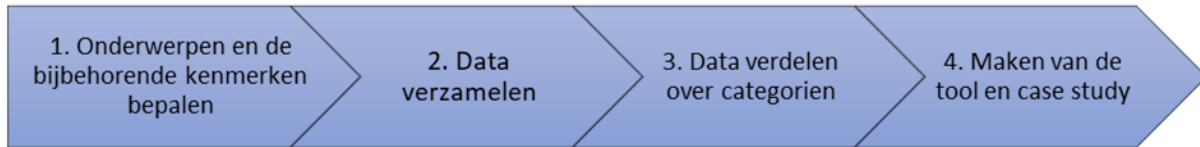
Voor duurzame waterveiligheid kunnen kwelders worden gecombineerd met dijken. De inzet van kwelders als kustbescherming wordt echter belemmerd door een gebrek aan instrumenten voor de beoordeling van de mogelijkheden en effectiviteit. Op basis van literatuurgegevens en twee casestudies is de kwelderbeoordelingstool SAMFET ontwikkeld. SAMFET kan kwelders beoordelen op basis van vegetatie-informatie, kwelderbreedte en sedimentatiesnelheid. Hoewel seizoensinvloeden en de beschikbaarheid van gegevens de uitkomst kunnen beïnvloeden, kan de tool met succes de sterke en zwakke punten van een kwelder identificeren. Hiermee kan beter worden ingeschat of een kwelder kan worden gecombineerd met een dijk ter verhoging van de waterveiligheid.

In verband met klimaatverandering en de toename van het aantal stormen moet ongeveer 793 kilometer aan Nederlandse kustdijken worden versterkt [1], [2]. Deze opgave zorgt in combinatie met toegenomen migratie naar kusten en het verlies van habitat voor een toenemende druk op de waterkeringen aan de kust [3], [4], [5]. Er is daarom behoefte aan flexibele en duurzame waterkeringen.

Een kansrijke oplossing voor het verduurzamen van waterkeringen is het combineren van dijken met kwelders. Kwelders bieden bescherming tegen overstromingen [6]. Kweldervegetatie, waterdiepte en bodemruwheid dempen golven, waardoor golfslag op de aangrenzende dijk wordt verminderd. Daarnaast houden kwelders door sedimentatie gelijke tred met de zeespiegelstijging [7], [8]. De aanwezigheid van kwelders kan leiden tot minder verhogingen en versterkingen van dijken.

Ondanks de voordelen van kwelders wordt de integratie van kwelders in kustbescherming nog maar weinig toegepast. Een van de redenen hiervoor is het gebrek aan beschikbare beoordelingsinstrumenten [9], [10]. Daarom was er behoefte om, op basis van gegevens uit eerdere onderzoeken, een instrument te creëren dat kan worden gebruikt om te bepalen of een kwelder een rol kan spelen als kustbescherming op een specifieke locatie. De kwelderbeoordelingstool is ontworpen om de potentiële sterke en zwakke punten van een kwelder in relatie tot waterveiligheid in kaart te brengen. De tool is ontworpen voor overheidsinstanties en niet-gouvernementele organisaties (NGO's).

De kwelderbeoordelingstool is in vier stappen tot stand gekomen (afbeelding 1). De eerste stap bestond uit het identificeren wat de tool moet beoordelen en welke invoerparameters hiervoor nodig zijn. De tweede stap was het verzamelen van gegevens uit eerdere onderzoeken naar kwelders. Met de verzamelde gegevens zijn in stap 3 per kwelderkenmerk beoordelingscategorieën gemaakt. In stap 4 is een gebruiksvriendelijke tool gemaakt in Excel. De tool is getest aan de hand van twee casestudies.



Afbeelding 1. Stappen voor het maken van de kwelderbeoordelingstool

Stap 1 en 2: invoerparameters beoordelingstool

Allereerst is bepaald wat de tool moet beoordelen met betrekking tot de waterkerende capaciteiten van kwelders. Op basis van het literatuuronderzoek en de consultatie van deskundigen zijn drie hoofdonderwerpen geïdentificeerd:

1. **Golfdemping:** golfdemping door kwelders is een van de belangrijkste redenen voor inzet van kwelders bij kustbescherming (8).
2. **De stabiliteit van kweldervegetatie:** voor dijkbeheerders is het van belang te weten hoe een kwelder wordt beïnvloed door stormen of seizoenswisselingen [11], [12].
3. **Instandhouding door zeespiegelstijging:** door te begrijpen of een kwelder in stand blijft met een stijgende zeespiegel, kunnen beheerders bepalen of het duurzaam is om een kwelder te integreren in kustbescherming.

Vervolgens is aan de hand van literatuur bepaald welke kwelderkenmerken van invloed zijn op deze drie onderwerpen. Deze kenmerken vormen de mogelijke invoerparameters voor de kwelderbeoordelingstool (tabel 1).

Tabel 1. Invoerparameters voor kwelderbeoordelingstool

Onderwerp	Karakteristieken van de kwelder
1. Golfdemping	- Vegetatie: dichtheid, hoogte, stijfheid, stengeldiameter - Bathymetrie: breedte en helling
2. Stabiliteit van de kwelder	- Seizoensveranderingen in vegetatie, per soort - Kans dat een soort stengelbreuk ondergaat
3. Instandhouding door zeespiegelstijging	- Netto aangroeisnelheid

De gegevensinvoer voor de tool was gericht op numerieke waarden voor kenmerken, bijvoorbeeld de hoeveelheid golfdemping die optreedt door de aanwezigheid van een bepaald aantal stengels per m². Wanneer er minder dan drie studies met numerieke waarden beschikbaar waren zijn er kwalitatieve invoermogelijkheden gebruikt, zoals vegetatiestijfheid en de kans dat een soort stengelbreuk ondergaat.

Bij het onderwerp ‘verwachte zeespiegelstijging’ is het van belang te weten of een bepaalde kwelder de zeespiegelstijging zal overleven of dat een kwelder dan dreigt te verdrinken. Daarom zijn in de tool twee scenario's voor zeespiegelstijging opgenomen: RCP 4.5 voor een gemiddelde zeespiegelstijging en RCP 8.5 voor extreme zeespiegelstijging [12].

Uiteindelijk werden de volgende kenmerken in de tool opgenomen: vegetatiedichtheid, vegetatiehoogte, vegetatiestijfheid, kwelderbreedte, kans dat een soort stengelbreuk ondergaat en netto aangroeisnelheid (tabel 1). Vanwege een beperkte beschikbaarheid van gegevens was het niet mogelijk om stengeldiameter, helling en seizoen veranderingen in kweldervegetatie (hoogte en dichtheid) mee te nemen in de beoordelingstool.

Stap 3: aanmaken van categorieën

Met de verzamelde gegevens zijn in de tool categorieën gemaakt om de verschillende kwelderkenmerken te classificeren. Het eerste kwelderkenmerk, vegetatiedichtheid, werd opgesplitst in boven- en onderwater-veldstudiegegevens. Dit om rekening te houden met het effect van stormcondities. De bijbehorende categoriegrenzen zijn gebaseerd op de maximale gevonden golfdemping (voor beide datasets 60%). Er zijn drie niveaus gecreëerd, waarbij elk niveau een toename van de golfdemping met 20% vertegenwoordigt. Het vierde niveau vertegenwoordigt een golfdemping hoger dan 60%. Aan de hand van de trendlijnvergelijkingen voor de boven- en onderwatergegevens werden de vegetatiedichtheden voor elke categoriegrens berekend om zo de vegetatiedichtheidsgrenzen voor elke categorie te krijgen (tabel 2).

Tabel 2. Categorieën voor golfdemping en vegetatiedichtheid in kwelderbeoordelingstool

Laag	Categorieën voor golfdemping (%)	Stengeldichtheid (aantal stengels/m ²)	
		Bovenwatercondities	Onderwatercondities
1	0-19	0-59	0-83
2	20-39	60-279	84-749
3	40-59	280-499	750-1416
4	60 +	500+	1417 +

Een vergelijkbare methode is gebruikt om de categorieën voor vegetatiehoogte en kwelderbreedte te maken. Voor vegetatiehoogte is geen rekening gehouden met de impact van stormen omdat deze al wordt meegenomen in de onderwaterratio (de verhouding tussen waterdiepte en planthoogte). Voor het indelen van de categorieën voor de kwelderbreedte zijn niet alleen gegevens uit de veldstudies gebruikt, maar ook modelleringsgegevens uit een onderzoek van Vuik et al. [13]. Uit deze studie bleek dat een kwelder met een breedte van 400 m zelfs in stormvloedomstandigheden (waterdiepte ≥ 3 m) de golven met 50% dempte [13].

Omdat voor vegetatiestijfheid en stengelbreuk kwalitatieve bronnen werden verzameld, werd een andere methode gebruikt voor het maken van de categorieën. Vegetatie die als 'stijf' werd beschouwd, werd gecategoriseerd als 'meer effectief' bij golfdemping en planten die het label 'flexibel' kregen, werden als 'minder effectief' beschouwd (Tabel 3) [1]. Stengelbreuk werd in de beoordelingstool opgenomen door een combinatie van de gemiddelde planthoogte en of de plant stijf of flexibel is. Hogere stijvere planten hebben een grotere kans op stengelbreuk [14].

Tabel 3. Categorieën voor flexibiliteit en golfdemping voor verschillende kwelder plantensoorten [14]

Soort/familie	Flexibiliteit	Golfdemping [15]
<i>Spartina</i>	Stijf	Meer effectief
<i>Scirpus</i>	Stijf	Meer effectief
<i>Zostera</i>	Flexibel	Minder effectief
<i>Puccinellia</i>	Flexibel	Minder effectief
<i>Elymus</i>	Flexibel	Minder effectief
<i>Salicornia</i>	Stijf	Meer effectief

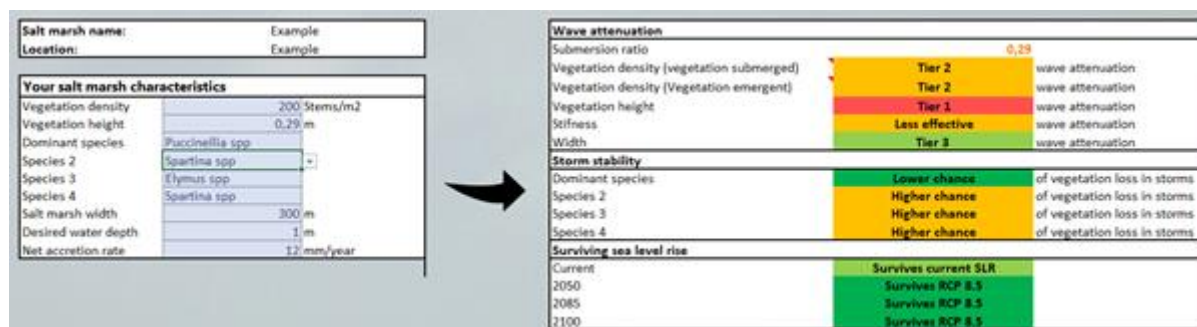
De laatste inputparameter van de kwelderbeoordelingstool betreft de zeespiegelstijging. De categorieën hiervoor zijn ‘overleven’ en ‘verdrinken’. De tool gebruikt de verwachte zeespiegelstijging voor de jaren 2021, 2050, 2075 en 2100 (tabel 4) [12]. De geschatte zeespiegelstijging uit de RCP 4.5- en 8.5-scenario's worden gecombineerd met de netto jaarlijkse aangroeisnelheid (van de te evalueren kwelder) (tabel 4).

Tabel 4. Categorieën voor overleving van verschillende zeespiegelstijgingwaardes

Jaar	Scenario	Zeespiegelstijging (mm/jaar)	Kwelderaangroei - snelheid (mm/jaar)	Categorie
2021	Huidig	2	2	Kans op verdrinken
		2.1	2.1	Overleeft
2050	RCP 4.5	5	<5	Kans op verdrinken
		7	5 tot 7	Overleeft RCP 4.5
		7	>7	Overleeft RCP 8.5
2075	RCP 4.5	6	<6	Kans op verdrinken
		7,5	6 tot 7,5	Overleeft RCP 4.5
		7,5	>7,5	Overleeft RCP 8.5
2100	RCP 4.5	6	<6	Kans op verdrinken
		9	6 tot 9	Overleeft RCP 4.5
		9	>9	Overleeft RCP 8.5

De kwelderbeoordelingstool SAMFET

De kwelderbeoordelingstool is in eerste instantie in het Engels gemaakt onder de naam Saltmarsh Flood defence Evaluation Tool (SAMFET) (afbeelding 2). De Excel-tool vereist de invoer van de volgende parameters om tot een eindoordeel te komen: vegetatiedichtheid en -hoogte, de dominante plantensoort (en drie andere plantensoorten indien gewenst), kwelderbreedte en de netto aangroeisnelheid (tabel 5). SAMFET vraagt ook om een gewenste waterdiepte, zodat de onderwaterratio berekend kan worden.



Afbeelding 2. SAMFET: de kwelderbeoordelingstool

Voor vegetatiedichtheid, hoogte en breedte categoriseert de beoordelingstool een kwelder door deze in één van de vier categorieën te plaatsen (categorie 4 is de meest gunstige). Voor plantstijfheid en golfdemping kijkt de tool naar de dominante plantensoort en stelt op basis van de stijfheid van deze plantensoort voor of deze meer of minder effectief is in het verminderen van golfdemping. Voor de parameter stormstabiliteit geeft de beoordelingstool de kans dat stengelbreuk optreedt tijdens een storm. Dit gebeurt voor vier ingevoerde plantensoorten (in totaal zijn er zes plantensoorten in de beoordelingstool opgenomen). Tot slot geeft de beoordelingstool aan of de kwelder een

zeespiegelstijging overleeft voor de RCP-scenario's 4.5 en 8.5, jaren 2021, 2050, 2075 en 2100. Tabel 5 geeft een overzicht van de invoerparameters en resultaten van de tool.

Tabel 5. SAMFET-invoerparameters en resultaten (in het Engels omdat het model ook Engelstalig is)

Topic	Input	Result
Wave attenuation	Vegetation density	Tier 1 (less) to 4 (more)
	Vegetation height	Tier 1 (less) to 4 (more)
	Water depth	
	Dominant species	Less effective / more effective
	Salt marsh width	Tier 1 (less) to 4 (more)
Storm stability/stem breakage	Dominant species	Higher/moderate/low chance
	Species 2, 3, 4	Higher/moderate/low chance
Surviving sea level rise	Net accretion rate	Risks drowning/survives RCP 4.5/survives RCP 8.5

Testen van de beoordelingstool met twee casussen

Om de SAMFET-beoordelingstool te testen, zijn twee casussen uitgevoerd. Eind maart 2021 zijn de kwelders Rattekaai en Sint-Annaland bezocht. Daar zijn de gemiddelde vegetatiedichtheid en -hoogte gemeten en de aanwezige soorten geregistreerd. De breedte van de kwelder werd gemeten met behulp van satellietbeelden. De gegevens voor aanslibbing zijn voor beide kwelders ontleend aan een onderzoek van Oenema (1998) [15]. De verzamelde waarden zijn in de beoordelingstool ingevoerd. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens over stormvloedomstandigheden is een waterstand van 1 meter gebruikt voor de berekening van de onderwaterratio.

Casus 1: Rattekaai

De Rattekaai kwelder (Rattekaaischor) ligt in het zuidwesten van Nederland (Zuid-Beveland). SAMFET geeft de volgende zwakheden van deze kwelder aan: vegetatiedichtheid, vegetatiehoogte en het vegetatieverlies tijdens een storm. Voor vegetatiedichtheid kreeg de kwelder classificatie 2 en voor vegetatiehoogte classificatie 1. De aanwezige plantensoorten hadden een matige tot grote kans op stengelbreuk. De sterke punten van de Rattekaai kwelder zijn de kwelderbreedte, plantstijfheid (met betrekking tot golfdemping) en aangroeisnelheid. De dominante geregistreerde soort was *Salicornia*, een stijve plant [14], [16]. De kwelderbreedte kreeg classificatie 4. Dit betekent dat zelfs bij een stormvloed de golven met 50% worden gedempt door de kwelder. Wat betreft zeespiegelstijging voorspelt SAMFET dat de Rattekaai tot het jaar 2100 RCP het zeespiegelstijgingsscenario 8.5 zal overleven. Dit betekent dat investeren in deze kwelder voor kustbescherming de moeite waard kan zijn.

Casus 2: Sint-Annaland

Langs het Nationaal Park Oosterschelde ligt de kwelder Sint-Annaland. De sterke punten van deze kwelder zijn de stijfheid van de dominante soort (*Spartina*) en de kwelderbreedte. De Sint-Annalandkwelder kent zwakheden die vergelijkbaar zijn met die van de Rattekaai: vegetatiehoogte (classificatie 1) en vegetatiedichtheid (classificatie 2). Aangezien *Spartina* de dominante soort is, is deze kwelder kwetsbaarder voor stengelbreuk dan Rattekaai. De kwelder is gebaat bij een grotere diversiteit aan flexibele plantensoorten. Wat betreft de zeespiegelstijging wordt voorspelt dat de Sint-Annalandkwelder scenario RCP 8.5 tot het jaar 2050 zal overleven. Voor 2075 en 2100 wordt

voorspeld dat het RCP 4.5 zal overleven, maar dreigt te verdrinken bij RCP8.5. Op basis van de SAMFET-uitkomst wordt geadviseerd om Sint-Annaland te monitoren indien RCP 8.5 optreedt.

Discussie

De kwelderbeoordelingstool SAMFET is gemaakt om de mogelijke inzet van een specifieke kwelder voor kustbescherming te beoordelen. De beoordelingstool toont met succes de sterke en zwakke punten voor twee casussen. Twee van deze zwakke punten, vegetatiedichtheid en golfdemping (beide categorie 2), kunnen worden toegeschreven aan de seizoensgebonden groeicyclus van kwelderplanten. De lengte van bijvoorbeeld *Salicornia* neemt tijdens het groeiseizoen toe met 25% [17]. Soorten als *Spartina* bereiken hun piekdichtheid pas in juli [18]. Een dichtheid van 200 stengels/m² in het voorjaar kan toenemen tot 500 stengels/m² tijdens het piekgroeiseizoen [18]. Dit betekent dat het moment van veldinventarisatie invloed heeft op de categorie-indeling door de beoordelingstool. Voor de Sint-Annalandkwelder (gedomineerd door *Spartina*) bedroeg de geregistreerde dichtheid eind maart 204 stengels/m². Hiermee werd de golfdemping ingedeeld in categorie 2. Indien dezelfde kwelder pas in de zomer geïnventariseerd wordt zal de tool uitkomen op een golfdemping in categorie 4.

Oorspronkelijk was het idee om seizoensveranderingen in de kweldervegetatie in de beoordelingstool te verwerken, maar door een gebrek aan geschikte gegevens was dit niet mogelijk. Om de effecten van seizoensgebonden vegetatieveranderingen te verminderen, kan de SAMFET-tool twee keer per jaar worden toegepast: vlak voor en tijdens het groeiseizoen. Om te voorkomen dat golfdemping tijdens het stormseizoen wordt overschat, kan gebruik worden gemaakt van wintermetingen.

Verdere verbetering van de beoordelingstool is mogelijk als er meer gegevens beschikbaar zijn. Er is geprobeerd stormvloedcondities in de beoordelingstool op te nemen door gegevens over de vegetatiedichtheid te splitsen in boven- en onderwatercondities en door modelleringsgegevens te gebruiken bij het bepalen van de categorieën voor kwelderbreedte. Uitgebreide gegevens over golfdemping door kwelders tijdens stormen ontbreken echter nog. Een andere manier om de beoordelingstool te verbeteren is door het opstellen van gestandaardiseerde normen voor golfdemping. Deze ontbreken momenteel en er is slechts één studie bekend die kwalitatief verwijst naar golfdemping. Deze studie beschreef 14-20% vermindering van de golfhoogte tijdens stormvloeden [10].

De categoriegrenzen voor vegetatiedichtheid, vegetatiehoogte en kwelderbreedte zijn afhankelijk van de trendlijn van hun respectievelijke grafieken. Daarom kunnen ze veranderen, afhankelijk van de gegevens in elke grafiek. Indien gegevens uit toekomstige onderzoeken worden toegevoegd aan de beoordelingstool moeten nieuwe trendlijnvergelijkingen worden bepaald. Dit kan mogelijk leiden tot een wijziging van de categoriegrenzen voor vegetatiedichtheid, vegetatiehoogte en kwelderbreedte.

Conclusie

De ontwikkelde beoordelingstool, SAMFET, maakt gebruik van specifieke kwelderkenmerken, zoals vegetatiehoogte, vegetatiestijfheid, vegetatiedichtheid en kwelderbreedte, om te beoordelen of een kwelder geschikt is als kustbescherming. De beoordelingstool geeft ook aan of de aanwezige vegetatie effectief is als golfdemping, of de aanwezige vegetatie vatbaar is voor stengelbreuk en of

de kwelder in stand zal blijven bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging. De beoordelingstool is met succes getest voor twee kwelders (Rattekaai en Sint-Annaland). Verdere verbetering van de tool kan worden bereikt door het effect van stormvloedcondities te kwantificeren, door het opstellen van gestandaardiseerde normen voor golfdemping en nader onderzoek naar de impact van seizoenen op de golfdemping door kwelders.

De kwelderbeoordelingstool SAMFET is te vinden via

<https://onedrive.live.com/embed?cid=E7CF61A71144F4CD&resid=E7CF61A71144F4CD%21106&authkey=AFR0kv19ktTfM78&em=2>

Referenties

1. Verhagen, H. J. (1990). 'Sea defence and flood protection in the Netherlands, anticipating increased sea-level rise'. *Journal of Coastal Research*, 838–850. <http://www.jstor.org/stable/44868675>
2. Loon-Steensma, J. van (2014). *Salt marshes for flood protection: Long-term adaptation by combining functions in flood defence*. Wageningen University. <https://edepot.wur.nl/316905>
3. Bamber, J. L., Oppenheimer, M., Kopp, R. E., Aspinall, W. P., & Cooke, R. M. (2019). 'Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(23), 11195–11200. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817205116>
4. Bouma, T. J., et al. (2014). 'Identifying knowledge gaps hampering application of intertidal habitats in coastal protection: Opportunities & steps to take'. *Coastal Engineering*, 87, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.014>
5. Adam, P. (2002). 'Saltmarshes in a time of change'. *Environmental Conservation*, 29(1), 39–61. <https://doi.org/10.1017/s0376892902000048>
6. Shepard, C. C., Crain, C. M., & Beck, M. W. (2011). 'The Protective Role of Coastal Marshes: A Systematic Review and Meta-analysis'. *PLoS ONE*, 6(11), e27374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027374>
7. Yang, S. L., Shi, B. W., Bouma, T. J., Ysebaert, T., & Luo, X. X. (2011). 'Wave Attenuation at a Salt Marsh Margin: A Case Study of an Exposed Coast on the Yangtze Estuary'. *Estuaries and Coasts*, 35(1), 169–182. <https://doi.org/10.1007/s12237-011-9424-4>
8. Kirwan, M. L., Temmerman, S., Skeeahan, E. E., Guntenspergen, G. R., & Fagherazzi, S. (2016). 'Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise'. *Nature Climate Change*, 6(3), 253–260. <https://doi.org/10.1038/nclimate2909>
9. Mendoza, M. V., & Vuik, V. (2021). *Salt marshes: habitat suitability and flood hazard reduction effectiveness*. TU Delft.
10. Möller, I. et al. (2014). 'Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions'. *Nature Geoscience*, 7(10), 727–731. <https://doi.org/10.1038/ngeo2251>
11. Vuik, V., Borsje, B. W., Willemsen, P. W., & Jonkman, S. N. (2019). 'Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs'. *Ocean & Coastal Management*, 171, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.010>
12. Vuik, V., Suh Heo, H., Zhu, Z., Borsje, B., & 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.

13. Vousdoukas, M., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., & Feyen, L. (2017). 'Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts'. *Earth's Future*, 5, 304-323.
14. Ysebaert, T. et al. (2011). 'Wave Attenuation by Two Contrasting Ecosystem Engineering Salt Marsh Macrophytes in the Intertidal Pioneer Zone'. *Wetlands*, 31(6), 1043–1054. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0240-1>
15. Oenema, O., & DeLaune, R. D. (1988). 'Accretion rates in salt marshes in the Eastern Scheldt, South-west Netherlands'. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 26(4), 379–394. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(88\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0272-7714(88)90019-4)
16. Zhao, C., Tang, J., & Shen, Y. (2021). 'Experimental study on solitary wave attenuation by emerged vegetation in currents'. *Ocean Engineering*, 220, 108414. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108414>
17. Möller, I. (2006). 'Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissipation: Results from a UK East coast saltmarsh'. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69(3–4), 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.05.003>
18. Chaisson, C. (2012). 'Factors Influencing Stem Density of Creekbank *Spartina alterniflora* in a New England Salt Marsh'. *Botany Honors Papers*, 3. <https://digitalcommons.conncoll.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=botanyhp>