

Hoe kan het herstel van kustwetlands klimaatverandering tegengaan? Wat we weten en wat nog onduidelijk is



© Universiteit van Salento-LIFEWatch ERIC

KERNBOODSCHAPPEN

- **Herstel van kustwetlands levert een potentiële, op de natuur gebaseerde oplossing (NbS) voor het tegengaan van klimaatverandering.** Herstelde wetlands fungeren als netto koolstofputten door de koolstofvoorraden in planten-biomassa en bodem/sedimenten te vergroten zonder een overeenkomstige toename in de uitstoot van broeikasgas-sen.
- **De gegevens over koolstofvoorraden en broeikasgase-missies zijn ongelijk verdeeld over plaatsen en wetland-types.** De meeste bestaande gegevens komen uit tropische en subtropische gebieden; gematigd Europa is nauwelijks bestudeerd. Zoetwaterwetlands en brakwatergebieden komen veel voor in Europa, maar zijn ondervertegenwoordigd bij het leveren van empirisch bewijs van de effecten van herstel op koolstofopslag en broeikasgasfluxen. Gerichte Europese monitoring kan deze hiaten opvullen.
- **Veel studies richten zich op koolstofvoorraden, maar niet op broeikasgasemissies.** De nettofluxen van broei-kasgassen zijn belangrijke parameters om de voordelen van herstelmaatregelen te begrijpen en effectief te kwan-tificeren – er zijn echter maar weinig massabalansstudies voorhanden. Prioritering van metingen van broeikasgas-fluxen is belangrijk om hiaten in het bewijsmateriaal op te vullen en de financiering van herstelmaatregelen te sturen.
- **De rapportage van gegevens over broeikasgasfluxen is niet gestandaardiseerd.** Bestaande gegevens, met name van broeikasgasfluxen, zijn niet gestandaardiseerd en daarom kunnen resultaten niet worden vergeleken. Ge-standaardiseerde monitoring, rapportage, vergelijkbaar met wat is vastgesteld voor de rapportage in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW), en verificatie zijn nodig om deze cijfers op te schalen van lokaal naar EU-niveau.

Inleiding

Van de ecosysteemdiensten die door kustwetlands worden geleverd, heeft hun vermogen om koolstof vast te leggen en op te slaan in de bodem/sedimenten over lange tijdschalen sterk de aandacht getrokken. Dit potentieel voor koolstofvastlegging op lange termijn positioneert de bescherming en het herstel van wetlands aan de kust momenteel als een van de belangrijkste componenten van opties om de klimaatverandering op EU- en mondiaal niveau tegen te gaan.

Wat zijn kustwetlands?

Kustwetlands zijn ecosystemen op het grensvlak van land en zee, gekenmerkt door periodieke of permanente overstrooming met zout, brak of zoet water. Ze ondersteunen hydrofytische of onderwatervegetatie en omvatten habitats zoals kwelders, zeegrasvelden, wadden en mangroven. Volgens de Ramsar Conventie omvatten wetlands gebieden met moeras, veen of water – natuurlijk of kunstmatig – met stilstaand of stromend, zoet, brak of zout water, inclusief mariene kustgebieden die bij eb ondieper zijn dan zes meter. Deze ecosystemen bieden essentiële functies zoals de ondersteuning van de biodiversiteit, de bescher-

ming van de kustlijn en de opslag van koolstof, maar het in kaart brengen van hun volledige omvang blijft een uitdaging, wat vaak leidt tot een onderschatting van hun wereldwijde dekking.

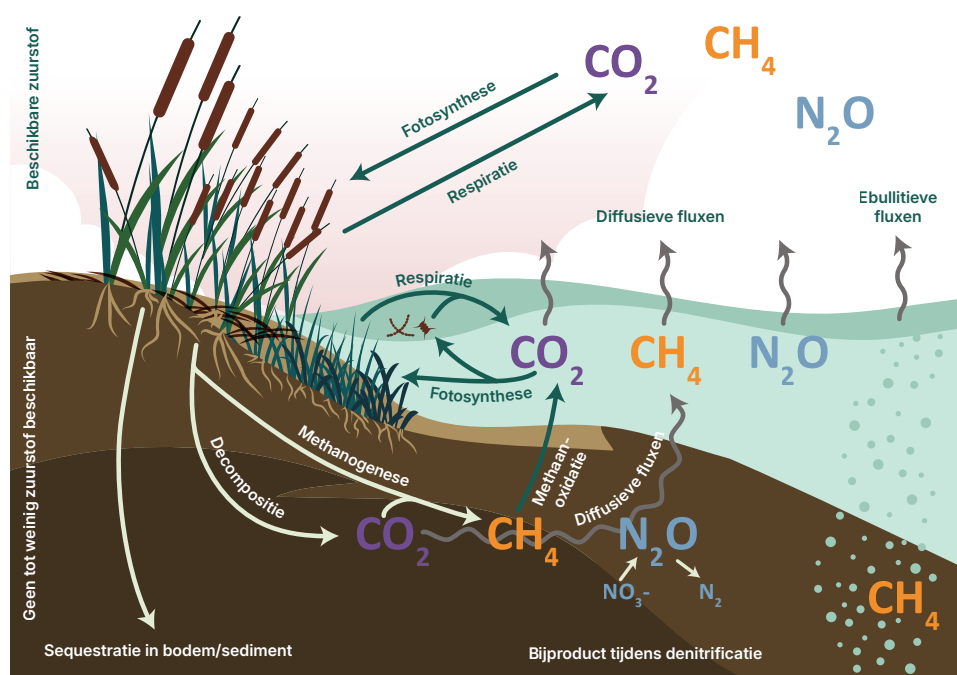
Wat zijn de koolstofroutes in kustwetlands?

Kustwetlands fungeren als koolstofputten en slaan koolstof op in plantenbiomassa en bodems/sedimenten via processen die collectief bekend staan als “blauwe koolstof”-routes (Figuur 1). Fotosynthese vangt atmosferische CO_2 op, die vervolgens wordt opgeslagen in vegetatie en sedimenten. Wateroverlast en anoxische omstandigheden vertragen de afbraak, waardoor koolstof zich eeuwenlang kan ophopen. Microbiële processen zoals methanogenese treden op onder zuurstofarme omstandigheden, waarbij methaan (CH_4) wordt geproduceerd, hoewel dit in zoute omgevingen vaak wordt onderdrukt. Aantasting van wetlands, met name door toename van organisch materiaal, leidt tot een verminderd redoxpotentieel in het sediment en resulteert in verhoogde CH_4 -emissies. Herstel van aangetaste wetlands kan de blauwe koolstofroutes reactiveren, de koolstofvastlegging verbeteren en bijdragen aan klimaatmitigatie.

Wat zijn broeikasgasstromen in kustwetlands?

Broeikasgasfluxen in kustwetlands zijn uitwisselingen van CO_2 , CH_4 en N_2O tussen de bodem, het water en de vegetatie van wetlands en de atmosfeer (Figuur 1). Hoewel deze ecosystemen fungeren als sterke koolstofputten, kunnen ze ook methaan en distikstofmonoxide uitstoten, vooral onder zoetwater- of nutriëntenrijke omstandigheden. Herstel verbetert over het algemeen de koolstofopslag, maar zorgt niet altijd voor een vermindering van de uitstoot van CH_4 of N_2O , wat de complexiteit van de netto broeikasgasfluxen benadrukt. Nauwkeurige metingen en rapportage zijn daarom van het grootste belang voor informatie over klimaatmaatregelen.

De belangrijkste beleidsvraag is of herstel daadwerkelijk de netto broeikasgasbalans in kustwetlands verbetert, in plaats van alleen in theoretische modellen. Binnen RESTORE4Cs hebben we een synthese gemaakt van peer-reviewed studies¹ die aangetaste en herstelde kustwetlands met elkaar vergelijken om hun wereldwijde potentieel voor het beperken van klimaatverandering te beoordelen.



Figuur 1. Schematisch overzicht van koolstoffluxen en broeikasgasroutes in kustwetlands.

© Universiteit van Salento-LIFEWatch ERIC

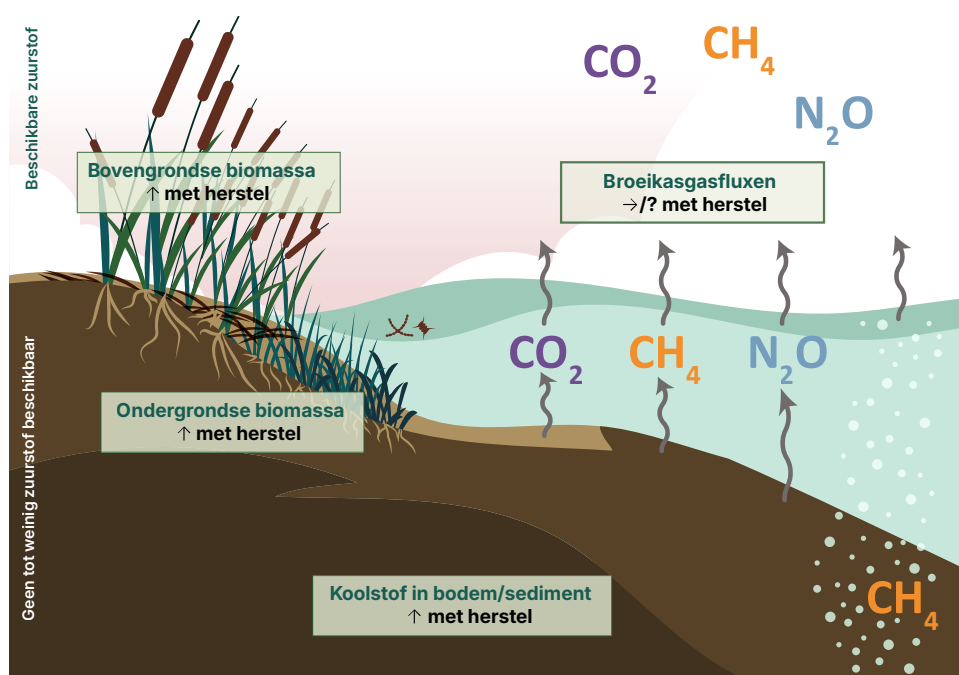
Geleerde lessen uit een systematisch overzicht van de kennis over kustwetlandherstel

Herstel van wetlands aan de kust is een potentiële natuurlijke oplossing om klimaatverandering tegen te gaan

Het herstel van wetlands aan de kust vergroot de opgeslagen koolstofmassa in zowel boven- als ondergrondse plantenbiomassa en in de bodem of sedimenten van getijdengebieden. Gerapporteerde broeikasgasemissies van CO_2 , CH_4 en N_2O laten geen consistente verandering zien na herstel, zoals gebruikelijk is in andere wetlandtypes. Op basis van de huidige wetenschappelijke kennis kunnen we daarom concluderen dat, in het algemeen, herstel een potentieel middel is om klimaatverandering tegen te gaan (Figuur 2).

Het huidige bewijs over broeikasgasstromen is beperkt en niet uniform

Bestaande gegevens over de nettofluxen van broeikasgassen, die de balans tussen emissies en opslag weergeven, zijn beperkt en inconsistent voor kustwetlands. Dit maakt het een uitdaging om de klimaatvoordelen van herstelinspanningen in Europa volledig te beoordelen. De meeste beschikbare studies komen uit tropische gebieden, terwijl de gematigde Europese kusten, en vooral de zoetwater- en brakke wetlands die in heel Europa voorkomen, nog steeds slecht bestudeerd zijn. Het onderzoek richt zich voornamelijk op koolstofvoorraden, terwijl veel minder studies de broeikasgasfluxen meten, hoewel deze fluxen bepalen of herstel tot netto klimaatvoordelen leidt.



Figuur 2: Overzicht van koolstofvoorraden en broeikasgasfluxen die in onze literatuursynthese zijn bestudeerd, inclusief de belangrijkste resultaten. © Universiteit van Salento-LIFEWatch ERIC



Donaudelta, Roemenië © Universiteit van Salento-LIFEWatch ERIC

Relevante voorbeelden van Europese kusten, specifiek van mediterrane wetlands²⁻⁵ laten zien dat hydrologisch beheer en behoudsstatus een sterke invloed hebben op de netto koolstofluxen en broeikasgasemissies. Deze studies geven consequent aan dat herstel of adaptief beheer de netto-emissiereductie bevordert, waarbij methaan een bijzondere rol speelt vanwege de grote gevoeligheid voor omgevingsfactoren zoals zoutgehalte en temperatuur⁴. Ze benadrukken ook dat adaptief beheer alleen effectief is als het hydrologische regime en de structuur van het ecosysteem behouden blijven. Hoewel dit nog verdere empirische bevestiging behoeft, zou het nu al moeten dienen als leidraad voor herstelplanning en -implementatie. Meer in detail tonen deze studies aan dat goed hydrologisch beheer en een algehele gezonde toestand van het ecosysteem essentieel zijn voor het terugdringen van emissies, met name van methaan, dat zeer gevoelig is voor milieuveranderingen.

Gestandaardiseerde monitoring en rapportage van herstelresultaten ontbreken

Uit onze literatuursynthese bleek dat de resultaten van restauraties op een zeer inconsistente en onvolledige manier worden gerapporteerd, wat een kwantitatieve synthese ernstig bemoeilijkt.

In veel studies ontbreken gestandaardiseerde monitoringprotocollen, referentiepunten van voor de restauratie of vergelijkbare controlelocaties. Belangrijke methodologische details – timing en aantal metingen, milieucontext en specifieke herstelmaatregelen – ontbreken vaak. Gegevens over koolstofvoorraden in bodem en biomassa en over CO₂-, CH₄- en N₂O-fluxen ontbreken vaak of zijn verzameld met behulp van benaderingen die niet met elkaar kunnen worden vergeleken, waardoor beoordelingen van klimaatvoordelen op continentale of mondiale schaal moeilijk zijn.

Het RESTORE4Cs-project laat zien hoe methodologische consistentie tussen verschillende locaties kan worden gewaarborgd, wat cruciaal is voor betrouwbare gegevensverzameling. Door vooraf de monsternemingsprotocollen en laboratoriumprocedures te harmoniseren, minimaliseert het project de variabiliteit en versterkt het de vergelijkbaarheid van de resultaten. Deze gestandaardiseerde aanpak ondersteunt de integratie van ecologische indicatoren, gegevens over landgebruik en klimaatvariabelen in ruimtelijk expliciete modellen, waardoor beoordelingen van de druk en het mitigatiepotentieel voor verschillende soorten wetlands mogelijk worden. Een dergelijke gedegenheid verhoogt niet alleen de wetenschappelijke geldigheid, maar zorgt er ook voor dat de resultaten van het herstel schaalbaar en beleidsrelevant zijn.

Relevantie van kustwetlandherstel, kennis over koolstofopslag en broeikasgasfluxen voor wetgeving, strategische kaders en gerelateerde processen

Het belang van het herstel van kustwetlands voor de opslag van koolstof en de vermindering van broeikasgassen wordt al erkend in het beleid en de processen van de EU en wereldwijd. Inzichten uit deze evaluatie van bestaande kennis kunnen helpen bij het verbeteren van de uitvoering ervan. Deze omvatten met name:

- **Overeenkomst van Parijs en NDC's.** Herstelde kustwetlands kunnen dienen als netto koolstofputten en worden erkend als op de natuur gebaseerde mitigatiemaatregelen binnen het NDC van de EU, met expliciete boekhouding van biomassa en bodemkoolstof ondersteund door passende meting, rapportage en verificatie (MRV).
- **Ramsar Convention on Wetlands.** Veel kustwetlands zijn Ramsar-locaties; het herstel ervan bevordert de instandhouding van habitats, waterregulering en doelstellingen op het gebied van klimaatmitigatie.
- **EU-klimaatwetgeving.** De bindende klimaatneutraliteitsdoelstelling voor 2050 en de reductiedoelstelling voor 2030 erkennen ecosysteemherstel, waaronder kustwetlands, als bijdrage aan de koolstofputten binnen de EU.
- **EU LULUCF-verordening (2023-2030).** Herstelde kustwetlands kunnen de nationale koolstofputten in de nationale/publieke landsector versterken en de EU-brede koolstofputdoelstelling ondersteunen.
- **De EU-verordening inzake natuurherstel en de biodiversiteitsstrategie 2030.** Herstel­doel­stellingen voor kwelders, zeegrasvelden en andere kustecosystemen ondersteunen zowel koolstofputversterking als biodiversiteitsdoelstellingen.
- **VN Decennium Ecosysteemherstel en VN Decennium van de Oceaan.** Beide initiatieven geven prioriteit aan het opschalen van het herstel van kustwetlands, waaronder kwelders en mangroves, als belangrijke natuurgebaseerde oplossingen voor klimaatactie, veerkracht van kustgebieden en vooruitgang in de richting van de Sustainable Development Goals (SDG). Projecten in deze habitats kunnen als voorbeeld dienen door het aantoonbaar maken van meetbare koolstofvastlegging, naast ecologische nevenvoordelen, bijgehouden door gecombineerde koolstof- en ecologische indicatoren.
- **Koolstofmarkten en financiering.** Kaders voor de toekenning van blauwe koolstof worden uitgebreid naar kustwetlands, waarbij projecten additionaliteit, duurzaamheid en afwezigheid van lekkage moeten aantonen. De normen worden steeds meer afgestemd op de EU-regels, zoals de verordening inzake koolstoflandbouw en koolstofverwijdering (CRCF) en de bijgewerkte kaders voor duurzame financiering (2025), waardoor de MRV wordt versterkt en het kapitaal wordt gericht op klimaatresultaten met een hoge integriteit, wat nieuwe financieringsstromen voor herstel mogelijk maakt.
- **Nationale broeikasgasinventarisaties en -modellen.** Nationale BKG-inventarissen en aar­desysteemmodellen moeten een onderscheid maken tussen herstellende en aangetaste wetlands, aangezien herstellende systemen meer biomassa en bodemkoolstof opslaan en minder methaan uitstoten. Door rekening te houden met deze verschillen wordt de nauwkeurigheid van de nationale rapportage verbeterd en wordt de volledige mitigatiewaarde van herstel vastgelegd.



Integratie van het herstel van kustwetlands in het EU-klimaatbeleid en de koolstofboekhouding: beleidsaanbevelingen

Voortbouwend op de kennis die door het RESTORE4Cs-project is gegenereerd, is er een kans om het herstel van kustwetlands te bevorderen en hun rol bij de opslag van koolstof en de vermindering van broeikasgasemissies binnen het bestaande beleid te versterken. De klimaatveranderingsbeperkende functie van deze ecosystemen kan de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen echter niet compenseren, dus blijft een vergaande decarbonisatie van de wereldeconomie essentieel. In het licht van deze premissen kan de rol van ecosystemen, en met name van kustwetlands, bij het tegengaan van klimaatverandering worden versterkt door de volgende beleidsmaatregelen:

Actie 1

Opzetten van een geharmoniseerd bewakings-, rapportage- en verificatiesysteem (MRV) met open gegevens (FAIR-beginselen).

Een uniform MRV-kader is essentieel voor een geloofwaardige en vergelijkbare klimaatboekhouding binnen heel de EU. Een soortgelijke harmonisatie is al eerder bereikt voor eutrofiëring, bijvoorbeeld via het Protocol Handbook for NICE - Nitrogen Cycling in Estuaries⁶, dat in 2000 in het kader van het MAST III-programma van de EU gestandaardiseerde bemonsterings-, analyse- en berekeningsmethoden bood voor stikstofluxen in estuaria. Dit vereist verschillende stappen:

- Aannemen van gestandaardiseerde protocollen, afgestemd op de richtlijnen van de Intergouvernementele werkgroep inzake klimaatverandering (IPCC) voor het meten van belangrijke koolstofreservoirs en broeikasgasfluxen (bodembodemkoolstof, biomassa, CO₂-, CH₄- en N₂O-fluxen).
- Opnemen van basismetingen vóór het herstel en regelmatige langetermijnmonitoring om veranderingen in de loop van de tijd te volgen.
- Resultaten met referentievergelijkingen rapporteren, waarbij de resultaten worden gepresenteerd naast vergelijkbare aangetaste en natuurlijke locaties.
- Zorgen voor open en interoperabele gegevens en publicatie van methoden, resultaten

en geospatiale informatie in toegankelijke opslagplaatsen die compatibel zijn met nationale inventarissystemen.

- Garanderen van de kwaliteit en geloofwaardigheid van gegevens door middel van kwaliteitsborgingsprocedures, onzekerheidsbeoordeling en onafhankelijke verificatie ter ondersteuning van rapportage op nationaal en EU-niveau.

Er kunnen lessen worden getrokken uit het proces dat ten grondslag ligt aan het Protocolhandboek voor NICE - Stikstofcyclus in estuaria⁶, om studies naar eutrofiëring in estuaria te standaardiseren en de uitvoering van de KRW in overgangswateren te ondersteunen.

Actie 2

Koolstofdoelen en boekhouding afstemmen op kaders voor klimaatbeleid.

Herstelinspanningen moeten worden geleid door duidelijke, meetbare en beleidsmatige doelen, afgestemd op het klimaatbeleid. Dit houdt verschillende sleutelementen in:

- Definiëren van meetbare koolstofdoelen, waaronder een toename van koolstof die is opgeslagen in biomassa en bodems, en drempelwaarden voor aanvaardbare CH₄ en N₂O-emissies, uitgedrukt in CO₂-equivalenten.
- Afstemmen van de hersteldoelstellingen op bestaande EU- en nationale beleidsinstrumenten, waaronder het NDC van de EU, de Europese klimaatwetgeving, de EU-verordening inzake landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouw en de EU-verordening inzake natuurherstel.
- Vaststellen van consistente uitgangswaarden voor aangetaste omstandigheden om de vergelijkbaarheid tussen locaties en lidstaten te garanderen.
- Hantering van realistische tijdlijnen voor ecologisch herstel, die de tijd weergeven die ecosystemen nodig hebben om zich te stabiliseren en meetbare klimaatvoordelen op te leveren, rekening houdend met het feit dat de meeste kustwetlands socio-ecologische systemen zijn

- Ondersteuning van de integratie in nationale BKG-inventarissen door ervoor te zorgen dat doelstellingen, basislijnen en tijdschema's verenigbaar zijn met de rapportagevereisten.
- Lokale capaciteit opbouwen om koolstofcreditering toe te passen:
 - Ondersteuning van het ontwerp van MRV-systemen.
 - Assistentie bij certificeringsprocessen en markttoegang.

Actie 3

Toegang tot koolstoffinanciering mogelijk maken via geloofwaardige "blue carbon crediting".

Het herstel van kustwetlands kan koolstoffinanciering genereren via vrijwillige en nalevingsmarkten voor koolstof. Om de geloofwaardigheid te waarborgen en de impact te maximaliseren zijn verschillende belangrijke acties nodig:

- Duidelijke subsidiabiliteitscriteria voor koolstofprojecten opstellen:
 - Aantonen van additionaliteit, langdurige koolstofopslag (duurzaamheid) en minimale lekkage.
 - Vermijden van schade aan het milieu en de biodiversiteit.
 - Gebruik van conservatieve referentiewaarden en IPCC-gebaseerde methodologieën.
 - Toepassen van erkende normen waar beschikbaar en ontwikkelen van EU-specifieke richtlijnen om de goedkeuring te stroomlijnen.
 - Vertrouwen op de klimaateffecten volgens het radiatief potentieel van de verschillende broeikasgassen, gegeven als CO₂-equivalenten.
- Transactiekosten verlagen en deelname uitbreiden:
 - Implementeren van vooraf goedgekeurde financierings- en kredietpijplijnen.
 - Waar mogelijk het genereren van koolstofkredieten aan nationale broeikasgasinventarissen koppelen en dubbeltelling voorkomen.
- Aanpassingskaders voor beheer aannemen:
 - Herstelpraktijken afstemmen op dynamische hydrologie, vegetatie en koolstofprocessen.
 - Gegevens uit Europese projecten (bijv. LIFE Wetlands4Climate) tonen aan dat het beheer van waterregimes, bodems en vegetatie cruciaal is om het mitigatiepotentieel in stand te houden.
- De nevenvoordelen maximaliseren:
 - Naast koolstof zorgen herstellende wetlands voor een verbetering van de biodiversiteit, overstromingsregulering en het vasthouden van voedingsstoffen, waardoor de algehele veerkracht van ecosystemen wordt versterkt.



Referenties

1. Misteli, B., Morant, D., Camacho, A., Adamo, M., Bachi, G., Bègue, N., Bučas, M., Cabrera-Brufau, M., Carballeira, R., Cavalcante, L., Cazacu, C., Coelho, J. P., Doebke, C., Dinu, V., Guel-mami, A., Giuca, R., Kataržytė, M., Lillebø, A. I., ... Attermeyer, K. (2025). Coastal wetland restoration and greenhouse gas pathways: A global meta-analysis. EarthArXiv preprint. <https://doi.org/10.31223/X51B39>
2. Morant, D., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Miralles-Lorenzo, J., & Camacho, A. (2020). Carbon metabolic rates and GHG emissions in different wetland types of the Ebro Delta. *PLOS ONE*, 15(4), e0231713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231713>
3. Morant, D., Rochera, C., Picazo, A., Miralles-Lorenzo, J., Camacho-Santamans, A., & Camacho, A. (2024). Ecological status and type of alteration determine the C-balance and climate change mitigation capacity of Mediterranean inland saline shallow lakes. *Scientific Reports*, 14, 29065. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79578-7>
4. Rochera, C., Picazo, A., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., Sánchez-Ortega, V., & Camacho, A. (2025). Linking carbon fluxes to flooding gradients in sediments of Mediterranean wetlands. *ACS ES&T Water*. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00940>
5. Camacho, A., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., & Castillo-Escrivà, A. (2017). Methane emissions in Spanish saline lakes: Current rates, temperature and salinity responses, and evolution under different climate change scenarios. *Water*, 9(9), 659. <https://doi.org/10.3390/w9090659>
6. Dalsgaard, T. (Ed.), Nielsen, L. P., Brotas, V., Viaroli, P., Underwood, G., Nedwell, D. B., Sundbäck, K., Rysgaard, S., Miles, A., Bartoli, M., Dong, L., Thornton, D. C. O., Ottosen, L. D. M., Castaldelli, G., & Risgaard-Petersen, N. (2000). *Protocol handbook for NICE – nitrogen cycling in estuaries: A project under the EU research programme Marine Science and Technology (MAST III)*. Silkeborg, Denmark: National Environmental Research Institute.

RESTORE4Cs is een Horizon Europe-project dat de effecten van herstelmaatregelen op het vermogen van wetlands om klimaatverandering te beperken en diverse ecosysteemdiensten te leveren, evalueert met behulp van een integrale sociaalecologische systeembenadering. Meer informatie is beschikbaar op: <https://www.restore4cs.eu/>

Auteurs: Misteli, B.¹, Attermeyer, K.^{1,2}, Rochera, C.³, Lillebø, A.I.⁴, Camacho, A.³

Beoordelaars: Elkina, E.⁵, Štrbenac, A.⁶, Suárez, S.⁶

¹ WasserCluster Lunz, Oostenrijk; ² Universiteit van Wenen, Oostenrijk; ³ Universiteit van Valencia, Spanje;

⁴ Universiteit van Aveiro, Portugal; ⁵ Ecologisch Instituut, Duitsland; ⁶ MedWet, Frankrijk

Citeren als: Misteli, B., Attermeyer, K., Rochera, C., Lillebø, A.I., Camacho, A. 2025. Hoe kan het herstel van kustwetlands klimaatverandering tegengaan? Wat we weten en wat nog onduidelijk is. Beleidsnotitie. *Restore4Cs project*.



PARTNERS

