



Marieke de Lange, Alterra

Maurice Paulissen, Alterra

Pieter Slim, Alterra

Hans Verhoogt, Royal HaskoningDHV

Zilte zuiverende moerassen als bron van schoon water

Belasting van brakke watergangen en estuaria met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen uit de agrarische sector is een belangrijke oorzaak voor het nog niet halen van ecologische doelen voor deze wateren. Naar analogie van de zoetwatergevoede helofytenfilters is het aannemelijk dat zilte zuiverende moerassen schoon brak water kunnen leveren voor (her)gebruik benedenstrooms. Daarmee zou dit concept waterschappen kunnen helpen om de doelstellingen voor een betere waterkwaliteit in de haarvaten van het watersysteem en in de aanpalende buitenwateren te behalen. Ook behoort koppeling met kustveiligheidsconcepten en met ecologische doelstellingen voor natuurlijker vormgegeven zoet-zoutovergangen tot de mogelijkheden.

Zoetwaterzuiverende moerassen oftewel helofytenfilters worden in Nederland en wereldwijd steeds vaker aangelegd om water te reinigen. Er is veel kennis ontwikkeld over de processen die plaatsvinden in zo'n zoetwaterzuiveringsmoeras en hoe deze processen zijn te optimaliseren door de inrichting van het moeras¹⁾. In Nederland worden zuiverende moerassen gezien als een perspectiefrijke en kosteneffectieve maatregel om in agrarische gebieden de nutriëntenbelasting te verminderen^{2),3)}.

De vraag rijst hoe deze kennis kan worden toegepast op zilte systemen, aangezien verzilting van het grond- en oppervlaktewater een probleem is waar laag-Nederland van Zeeland tot Groningen mee kampt⁴⁾.

Onder verzilting verstaan we een (periodieke) toename van het chloridegehalte van bodem of water, waardoor dit te zilt wordt voor de landgebruiksfuncties ter plekke. Verzilting is geen nieuw verschijnsel. Het is onder meer gekoppeld aan het bemalen van diepe polders en droogmakerijen. Wel wordt verwacht dat in de toekomst de verzilting zal toenemen door frequentere droogteperioden, periodiek lagere rivierafvoeren in combinatie met hogere zeewaterstanden en door voortschrijdende bodemdaling. Zoet water wordt periodiek schaarser (door lagere rivierafvoeren), terwijl tegelijkertijd de zoetwatervraag (om polders in laag-Nederland door te spoelen) toeneemt⁴⁾.

Het toepassen van zilte zuiverende moerassen biedt mogelijkheden om in de haarvaten van het watersysteem het water, afkomstig van gangbare agrarische bedrijven of van nieuwe zilte teelten, te zuiveren. Zilte zuiverende moerassen leveren schoon brak water voor (her)gebruik benedenstrooms, wat de KRW- en natuurdoelstellingen ten goede komt.

Wat kan een zilt zuiverend moeras?

De mogelijkheden voor toepassing van zilte zuiverende moerassen zijn onderzocht^{5),6)}. In grote lijnen bestaat veel overeenkomst in processen tussen zoete en zilte systemen⁵⁾. Net als bij zoete zuiveringsmoerassen bepalen de inrichting van een zilt moeras en de verblijftijd van het water wat de zuiverings efficiënties zijn^{1),2),5)}.

De stikstofkringloop, waarbij nitraat en ammonium via meerdere bacteriële processen omgezet worden in stikstofgas en naar de atmosfeer verdwijnen, werkt in een zout milieu op dezelfde manier als in een zoete omgeving. Net als in zoete moerassen wordt fosfaat niet verwijderd maar opgeslagen in het systeem. Dit gebeurt met name door sedimentatie en opslag in plantenmateriaal. Mariene sedimenten hebben vaak een hogere pH dan zoetwater-sedimenten, waardoor fosfaat vooral met calcium zal binden in het sediment en minder met ijzer of aluminium. De totale fosfaat-sorptiecapaciteit van het sediment kan worden vergroot door het sediment te vrijrijken met calcium, ijzer of lanthaan.

Een verschil tussen zoete en zilte zuiverende moerassen is dat helofyten vaak beter geschikt zijn voor het verwijderen van zware metalen, aangezien de tolerantie voor metalen op hetzelfde fysiologische principe berust als tolerantie voor zout⁵⁾. Zoetwaterzuiverende moerassen kunnen ook bestrijdingsmiddelen verwijderen. Daarnaast hangt de verwijdering van pathogenen, zoals *E. coli*, af van de verblijftijd van het water. Naar verwachting wijken zilte zuiverende moerassen ook op dit punt niet af van hun zoete tegenhangers.

Praktijkvoorbeelden van zilte zuiverende moerassen zijn wereldwijd nog schaars⁵⁾. In het buitenland zijn enkele voorbeelden beschikbaar waar moerassen zijn aangelegd om aquacultuur-effluent te zuiveren. Daarnaast is op laboratoriumschaal onderzoek verricht naar de zuiverings-efficiëntie van verschillende systemen. Uit de buitenlandse voorbeelden blijkt dat de zuiveringsefficiënties variëren tussen de studies, waarbij de verwijderings-efficiëntie van stikstof meestal hoger is dan van fosfaat. Natuurlijke systemen, zoals een mangrovebos in combinatie met garnalenteelt in Colombia en een lagune in combinatie met viskweek in Italië, laten zien dat het goed mogelijk is om deze natuurlijke systemen te gebruiken voor het zuiveren van nutriënten en zwevend stof. De controle op zo'n natuurlijk systeem is echter minder. Dit heeft tot gevolg dat de gemiddelde efficiëntie minder hoog is en meer varieert gedurende het jaar en tussen jaren.

soort	geschatte tolerantie voor peilfluctuaties	geschatte zouttolerantie	zuiveringsefficiëntie
slijkgras (<i>Spartina anglica</i>)	hoog	****	<i>S. alterniflora</i> : N=51%, P=64%
ruwe bies (<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>)	matig	**	niet bekend
zeebies (<i>Bolboschoenus maritimus</i> subsp. <i>compactus</i>)	matig	***	niet bekend
zeerus (<i>Juncus maritimus</i>)	laag	**	<i>Juncus kraussii</i> : N=69%, P=89%
kleine lisdodde (<i>Typha angustifolia</i>)	matig	*	afnemende efficiëntie bij toenemende saliniteit
riet (<i>Phragmites australis</i>)	hoog	*	afnemende efficiëntie bij toenemende saliniteit
zilte zegge (<i>Carex distans</i>)	laag	***	niet bekend
zeekraal (<i>Salicornia</i> spp.)	hoog	****	niet bekend
zeeaster (<i>Aster tripolium</i>)	matig	****	niet bekend
schorrenkruid (<i>Suaeda maritima</i>)	hoog	****	<i>S. esteroa</i> : N=99%, P=5%
gewone zoutmelde (<i>Atriplex portulacoides</i>)	matig	***	<i>A. barclayana</i> : N=99%, P=1%

Zouttolerantie is aangegeven met: * = 0-25% zeewater, ** = 25-50% zeewater, *** = 50-75% zeewater en **** = 75-100% zeewater.

Overzicht van plantensoorten voor toepassing in zilte zuiverende moerassen^{5),6),7)}.

Geschiedte plantensoorten

Van veel plantensoorten is de zouttolerantie bekend⁷⁾. De tabel geeft een overzicht van mogelijke plantensoorten en hun mate van geschiktheid voor toepassing in zilte zuiverende moerassen. Tolerantie voor peilfluctuaties en tolerantie voor fluctuaties in saliniteit vergroten de toepasbaarheid in deze moerassen. Zuiveringsefficiënties voor nutriënten, zwevende stof en BOD zijn slechts voor enkele, meest niet-Nederlandse soorten bekend.

Riet (*Phragmites australis*) en kleine lisdodde (*Typha angustifolia*) worden vaak genoemd als geschikte planten voor toepassing in een zilt zuiverend moeras. De zouttolerantie van deze soorten wordt evenwel vaak overschat. Riet kan op matig brakke locaties voorkomen, maar maakt dan vaak gebruik

van zoete kwel. Het lijkt beter om te kiezen voor typische zouttolerante plantensoorten, zoals Engels slijkgras (*Spartina anglica*), zeebies (*Bolboschoenus maritimus* subsp. *compactus*) of zeerus (*Juncus maritimus*). Zeekraal (*Salicornia* spp.) of zeeaster (*Aster tripolium*) hebben een goede voedingswaarde en kunnen worden gebruikt voor voedselproductie.

In buitenlandse studies worden nog de Amerikaanse soorten *Suaeda esteroa* en *Atriplex barclayana* als potentieel geschikte planten genoemd. Aangenomen kan worden dat inheemse soorten uit deze geslachten op een vergelijkbare wijze bruikbaar zijn in zilte zuiverende moerassen, bijvoorbeeld schorrenkruid (*Suaeda maritima*) of gewone zoutmelde (*Atriplex portulacoides*).

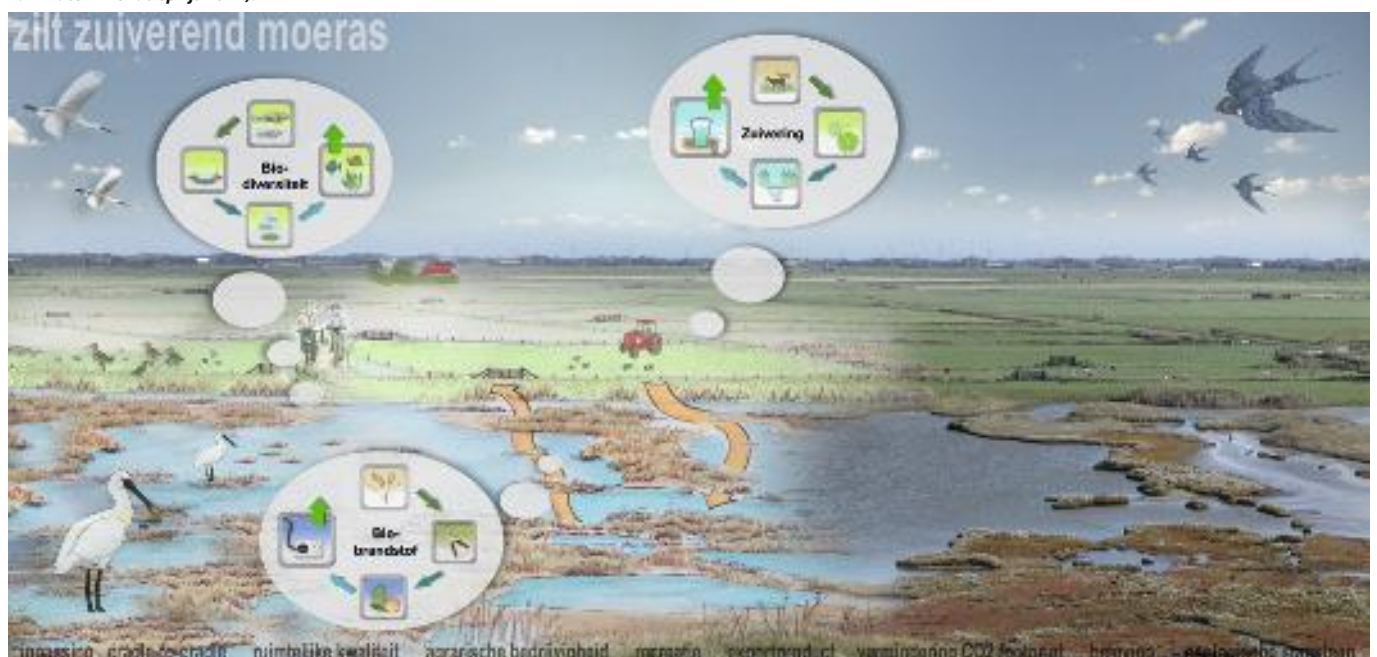
De tabel laat zien dat meerdere zilte plantensoorten geschikt zijn voor toepassing in zilte zuiverende moerassen op basis van zouttolerantie en tolerantie voor peilfluctuaties.

Meerdere vliegen in één klap

Zilte zuiverende moerassen bieden potentieel bijkomende voordelen op het gebied van ecologie, economie, kustveiligheid en landschap. Afhankelijk van het ontwerp en de landschappelijke inpassing kunnen deze aspecten worden geoptimaliseerd (zie afbeelding 1).

De potentiële variatie aan plantensoorten in zilte zuiverende moerassen en de overgangszone die ze vormen tussen water en land, bieden een geschikt habitat voor een scala aan soorten. Veel vogelsoorten maken gebruik van moerasvegetatie in

Afb. 1: Visualisatie van de mogelijke functies en landschappelijke inpassing van een zilt zuiverend moeras (illustratie: Anoula Voerman, Royal HaskoningDHV, ten behoeve van Waterinnovatieprijs 2012).



tenminste een deel van hun levenscyclus. Afhankelijk van de structuur, het beheer en de hoogte van de vegetatie kunnen soorten voorkomen zoals tureluur, grote karekiet, roerdomp, en bruine kiekendief. Wereldwijd zijn zilte moerassen gebieden met hoge natuurwaarden. In Nederland is het areaal van zilte moerassen de afgelopen eeuw aanmerkelijk afgenomen, onder meer door de afsluiting van diverse zeearmen. De aanleg van zilte zuiverende moerassen kan een interessante bijdrage leveren aan het herstel van dit areaal brakke natuur.

De mogelijke economische waarden van zilte zuiverende moerassen liggen met name in het gebruik van de vegetatie. Afhankelijk van de plantensoort kan de biomassa worden gebruikt voor energieopwekking, isolatiedoeleinden of dakbedekking. Voorbeelden hiervan zijn riet, lisdodde en biezen- en zeggensoorten. Andere soorten hebben een goede voedingswaarde (zoals zeeaster en zeekraal) en kunnen worden gebruikt voor voedselproductie voor mens of dier. Uit gezondheidsoogpunt is de herkomst van het water bepalend voor de toepassingsmogelijkheden van het gewas. Een andere economische toepassing wordt wellicht in de nabije toekomst beschikbaar, wanneer de opwekking van elektriciteit in zilte vegetatie rendabel wordt (voor meer informatie: www.plant-e.com).

De haalbaarheid om deze activiteiten economisch rendabel uit te voeren, wordt onder meer bepaald door de grootte van het areaal, hoe makkelijk geoogst kan worden en eventueel bijkomende transportkosten. Ervaringen in Park Lankheet laten zien dat het vooralsnog niet eenvoudig is om de rietproductie uit een zuiveringsmoeras economisch rendabel te maken⁸⁾.

Zilte zuiverende moerassen kunnen heel goed worden toegepast in innovatieve dijkconcepten, zoals in het project ComCoast. Hierin wordt de kustveiligheid gewaarborgd door een systeem van dubbele dijken. In het tussenliggende gebied kan in meer of mindere mate zout water worden toegelaten, waardoor ruimte ontstaat voor zilte teelten en aquacultuur, maar ook geschikte zoet-zoutovergangen kunnen worden gecreëerd die van groot belang zijn voor overtrekkende vogels of trekvis. In het kader van het Deltaprogramma is nagedacht over de vraag hoe de kustveiligheid in Nederland ook op termijn gewaarborgd kan blijven, tegen aanvaardbare maatschappelijke kosten of duidelijke baten. In deze discussie passen nieuwe dijkconcepten die naast de kustveiligheid ook ruimte bieden aan andere functies.

Uit deze voorbeelden blijkt dat zilte zuiverende moerassen mogelijkheden bieden voor effectief meervoudig ruimtegebruik. Behalve een oplossing voor de diffuse belasting van brakke regionale oppervlaktewateren kunnen ze bijdragen aan natuur- en landschapswaarden, aan waterberging in natte perioden en aan kustveiligheid. Zilte zuiverende moerassen vormen een goed voorbeeld van een functioneel landschapsbelement, een

'landschapsmachine'⁹⁾ die een ecosysteemdienst levert. Ze kunnen goed worden ingepast als blauwgroene elementen, zowel in een stedelijke als in een meer landelijke omgeving. Juist in moderne, grootschalig-agrarische zeeleigebieden kan toepassing van dit concept zorgen voor meer variatie en verbinding met de zeer gevarieerde kleinschalige landschappen die hier ook te vinden zijn. Zilte zuiverende moerassen kunnen daarmee een bijdrage leveren aan de aantrekkelijkheid en veiligheid van laag Nederland voor recreatie, wonen en werken. Zo slaan we meerdere vliegen in één klap.

Zilte teelt als voorbeeld

In Nederland wordt op verschillende plekken op praktijkschaal zilte landbouw bedreven. In Zeeland wordt op het land zilte aquacultuur ontwikkeld, in combinatie met andere teelten. Dit gebeurt in het proefbedrijf Zeeuwse Tong, waar tong wordt gekweekt in combinatie met zaggers, schelpdieren en zilte gewassen. In het Kustlaboratorium, een initiatief van Stichting het Zeeuwse Landschap, wordt aquacultuur ontwikkeld met aandacht voor inpassing in het landschap (zie H₂O nr. 19 van 28 september jl., pag. 32-35, red.). Op Texel wordt in het Zilt Proefbedrijf onderzoek gedaan naar zilte landbouwgewassen, zoals zeekool en strandbiet.

Deze initiatieven hebben gemeen dat ze een vorm van zilte landbouw nastreven waarbij verzilting niet als een bedreiging wordt gezien maar als een mogelijkheid voor nieuwe teelten. Het inpassen van zilte zuiverende moerassen in de waterkringloop bij deze zilte teelten biedt meerdere voordelen. Het gezuiverde water kan ter plekke worden hergebruikt in het teeltsysteem. Daarnaast komt het als schoon water weer terug in de haarvaten van het watersysteem, waarmee men afwenteling van de belasting uit zilte teelten op benedenstroomse (natuur)gebieden voorkomt.

Conclusies

Zilte zuiverende moerassen kunnen meerdere functies vervullen en bieden daarmee de mogelijkheid van effectief meervoudig ruimtegebruik. Behalve als oplossing voor de diffuse belasting van brakke regionale oppervlaktewateren kunnen ze bijdragen aan natuur- en landschapswaarden, aan waterberging in natte perioden en aan nieuwe kustveiligheidssystemen. Op basis van zouttolerantie zijn meerdere zilte plantensoorten geschikt voor toepassing in zilte zuiverende moerassen. Er is evenwel nog weinig bekend over de zuiveringsefficiënties van de Nederlandse zilte plantensoorten en over de randvoorwaarden voor een optimaal ontwerp. Zou het niet prachtig zijn om deze kennisleemten op te vullen door de ontwikkeling van praktijkvoorbeelden, 'living labs', in Nederland?

LITERATUUR

1) Verhoeven J en A. Meuleman (1999). Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecol. Eng.* jaargang 12, pag. 5-12.

- 2) De Haan J., J. van der Schoot, A. de Buck en F. Sival (2012). Zuivering van sloop- en drainwater in helofytenfilters is kosteneffectief. *H₂O* nr. 5, pag. 23-25.
- 3) Van der Bolt F., E. van Boekel, O. Clevering, W. van Dijk, I. Hoving, R. Kselik, J. de Klein, T. Leenders, V. Linderhof, H. Massop en H. Mulder (2008). Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten. Alterra. Rapport 1687.
- 4) Ter Voorde M. en J. Velstra (2009). Leven met zout water: overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting. *Acacia Water, Leven met Water en STOWA*.
- 5) De Lange H., M. Paulissen en P. Slim (2012). Halophyte filters: The potential of constructed wetlands for application in saline aquaculture. *Int. J. Phytoremediation*. In druk.
- 6) Van der Gaag J., M. Paulissen en P. Slim (2010). Halophyte filters as saline treatment wetlands. Applications and constraints. Alterra. Rapport 2115.
- 7) Buhmann A. en J. Papenbrock (2012). Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: basic principles, current uses and future perspectives. *Env. Exp. Botany*. In druk.
- 8) Meerburg B., P. Vereijken, W. de Visser, J. Verhagen, H. Korevaar, E. Querner, A. de Blaeij en A. van der Werf (2010). Surface water sanitation and biomass production in a large constructed wetland in the Netherlands. *Wetlands Ecology and Management* nr. 4, pag. 463-470.
- 9) Roncken P., S. Stremke en M. Paulissen (2011). Landscape machines: productive nature and the future sublime. *Journal of Landscape Architecture*, (spring), pag. 68-81.