

# **Biologisch ontzouten**

## **Waterzuivering door halofyten**

Nienke Groot-Zevert  
S1646184

Bachelorscriptie bij de research cursus Ecofysiologie van planten  
Rijksuniversiteit Groningen  
Begeleiding: J.T.M Elzenga  
December 2009

## Inhoudsopgave

Inleiding	blz. 3
Waterverontreiniging	
-Algemeen	blz. 3
- Verontreiniging door zout en de invloed daarvan op de natuur	blz. 4
Waterzuivering	
-Algemeen	blz. 4
-Waterzuivering met behulp van planten: halofytenfilter	blz. 5-6
-Waterzuivering met behulp van planten: halofytenfilter	blz. 6
-Halofyten	blz. 6-7
-Voorbeeld van een al bestaand halofytenfilter	blz.7-8
Toepassen halofytenfilter in de praktijk	
-Probleem	blz. 8
-Concept oplossing	blz. 9-12
Referenties	blz. 13

## **Inleiding**

Water is van onmisbaar belang. Zonder water zou er geen leven zijn. Daarom is het belangrijk dat we er voor zorgen dat er zo min mogelijk water wordt verontreinigd, en dat verontreinigd water wordt schoon gemaakt.

Een groot probleem betreffende waterverontreiniging en waterzuivering is verontreiniging van zoetwater met zouten. Dit is zeer slecht voor het milieu maar is ook moeilijk te verhelpen. Ook een waterleidingbedrijf uit Groningen zit met dit probleem. Ze produceren industriewater uit kanaalwater, waarbij als afvalproduct water met een hoge zoutconcentratie overblijft. Momenteel wordt dit water nog geloosd op het oppervlaktewater, dit is erg slecht voor het milieu maar er zijn nog geen goede natuurvriendelijke en goedkope manieren om dit water te ontzouten.

Als oplossing hiervoor zou kunnen worden gekeken naar een manier om het water op een biologische manier van zout te ontdoen; door middel van planten.

In deze scriptie wordt geschreven over waterverontreiniging en waterzuivering, met in het bijzonder dat van zout water, en over waterzuivering met behulp van planten.

Om zo uiteindelijk te komen met een specifieke oplossing voor het probleem van het waterleidingbedrijf in de vorm van een zoutwaterfilter met behulp van planten: een zogenaamde halofytenfilter waarvan ook de voorwaarden, de voordelen en de nadelen worden besproken. Ook wordt dit conceptstelsel vergeleken met andere waterfilters die gebruik maken van planten.

## **Waterverontreiniging**

### **Algemeen**

Watervervuiling of waterverontreiniging is het veranderen (chemisch, fysisch of biologisch) van de kwaliteit van het water in negatieve zin, zodat het een schadelijk effect kan hebben op de mensen, dieren en planten die met dit water in aanraking komen.

Er zijn verschillende soorten van waterverontreiniging, die allemaal verschillende manieren hebben om in het milieu terecht te komen en verschillende specifieke gevaren hebben.

Zo kan water verontreinigd zijn met ziekteverwekkende stoffen zoals bacteriën en virussen, maar ook door voedingsstoffen die een zuurstofverbruikende verontreiniging veroorzaken.

Een grote hoeveelheid van deze voedingsstoffen kan een groot aantal bacteriën voeden die al het zuurstof verbruiken in het water zodat andere organismen in het water sterven door zuurstofgebrek.

Een ander type waterverontreiniging zijn in water oplosbare anorganische stoffen zoals zouten, zuren en giftige metalen, die in meer of mindere mate giftig zijn voor levende organismen.

Verder kan water vervuild worden door in wateroplosbare voedingsstoffen als nitraten en fosfaten die kunnen zorgen voor eutrofiëring.

Ook zijn stoffen als olie, plastic, pesticiden en oplosbare radioactieve stoffen in het water schadelijk voor alle organismen die met dit water in aanraking komen.

Van belang in deze scriptie is de verontreiniging van water met zouten. Als dit namelijk het geval is kunnen er hoge concentraties zout in het milieu terechtkomen wat vooral voor planten desastreus kan zijn.<sup>1</sup>

## **Verontreiniging door zout en de invloed daarvan op de natuur**

Zout water kan vooral voor planten die ermee in aanraking komen een groot probleem zijn. Om te kunnen groeien en leven hebben planten, in lage concentraties, zouten nodig. Wordt de concentratie van anorganische ionen in de omgeving van de plant echter te hoog dan krijgt de plant te maken met zoutstress.<sup>2</sup>

Zoutstress (voornamelijk, maar niet uitsluitend, veroorzaakt door hoge concentraties  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$ ) kan schadelijk zijn voor planten op verschillende manieren.

Een hoge zoutconcentratie in de bodem kan een vorm van fysiologische droogte veroorzaken, die kan worden vergeleken met droogtestress. Een hoge opgeloste zoutconcentratie in de bodem zorgt daar voor een hoge osmotische waarde vergeleken met de osmotische waarde van de plant. En omdat water van een lage naar een hoge osmotische waarde gaat is het erg moeilijk voor de plant om water en de daarin opgeloste voedingsstoffen op te nemen. En omdat planten dit wel nodig hebben om te leven kunnen ze hierdoor sterven.

Een andere reden waarom zouten in hoge concentraties slecht zijn voor planten komt doordat het een toxisch effect heeft. Zouten kunnen bijvoorbeeld enzymreacties en eiwitsynthese in de planten remmen. Hoge concentraties  $\text{Na}^+$  en/of  $\text{Cl}^-$  in de chloroplast zorgen ook voor een inhibitie van de fotosynthese.<sup>3</sup>

Planten kunnen op verschillende manieren te maken krijgen met hoge zoutconcentraties in hun omgeving. In kustgebieden komen van nature hoge zoutconcentraties in de omgeving voor. Planten kunnen ook in aanraking komen met hoge zoutconcentraties doordat er regenwater bij zoutlagen of diepgelegen ondergronds brak water in de grond komt. Dit wordt dan uitgespoeld en komt omhoog zodat er water met hoge zoutconcentraties in de omgeving terecht komt.

De grootste oorzaak en daarmee het grootste probleem dat zorgt voor hoge zoutconcentraties in de bodem is irrigatie. Evaporatie en transpiratie (evapotranspiratie) verwijderen water uit de bodem, maar de hierin opgeloste zouten blijven dan achter in de bodem. Als dit land weer wordt geïrrigeerd met water met hoge zoutconcentraties blijven er door de evapotranspiratie weer meer zouten in de bodem achter. Veelal worden deze zouten ook niet uitgespoeld met overvloedig water naar een draineer systeem. Hierdoor krijg je accumulatie van hoge zoutconcentraties in de bodem wat voor veel planten zeer slecht is.<sup>4,5</sup> Dit is onder andere voor de agricultuur een groot probleem, er wordt geschat dat ongeveer eenderde van al het geïrrigeerde land op aarde wordt beïnvloed door zout, maar ook voor de natuur kan deze verzilting een grote bedreiging zijn.<sup>6</sup>

## **Waterzuivering**

### **Algemeen**

Om te zorgen voor zo schoon mogelijk drinkwater, maar ook om er voor te zorgen dat er zo min mogelijk vervuild (zoet) oppervlaktewater is, wordt afvalwater verwerkt waarbij gebruik wordt gemaakt van waterzuivering. Dit is niet één proces, dit kan op verschillende manieren worden gedaan. Afhankelijk van de soort verontreiniging, door één of een combinatie van verschillende waterzuiveringmethodes zoals: waterzuivering door bezinking, waterzuivering door chemische processen, waterzuivering door micro-organismen en waterzuivering door fysische processen. Van deze laatste methode is de Reverse Osmosis (RO) een voorbeeld. RO wordt gebruikt om water van zout te ontdoen, door het onder grote druk omgekeerde osmose te laten ondergaan.<sup>7</sup>

Afhankelijk van de staat van het water na het zuiveren kan het water worden gebruikt voor drinkwater, proceswater of worden geloosd op het oppervlaktewater. Het water moet dan wel voldoen aan strenge eisen.<sup>8</sup>

### **Waterzuivering met behulp van planten: helofytenfilter**

Een andere waterzuiveringsmethode die in de praktijk nog niet zo veel wordt gebruikt is waterzuivering met behulp van planten, in de vorm van een helofytenfilter.

Helofyten zijn moerasplanten die in de waterbodem wortelen en waarvan de overblijvende knoppen zich onder de waterspiegel bevinden. De bladeren steken echter boven het water uit.<sup>9</sup> Een helofytenfilter is een systeem waarbij helofyten worden gebruikt voor het verbeteren van de waterkwaliteit.

De algemene waterzuiverende werking van een helofytenfilter wordt gerealiseerd door drie verschillende mechanismen: zuivering door de helofyten zelf, zuivering door micro-organismen en zuivering door de bodem.

Als het vervuilde water door de filter gaat komt het ook in aanraking met de bodem waarin de helofyten staan. Het soort bodemsubstraat is dan ook belangrijk. Het water moet er goed doorheen kunnen en de planten moeten er stevig in kunnen staan. Daarbij speelt het substraat ook een rol in de zuivering door grotere partikels zwevend stof die niet in het water horen tegen te houden. Rond de wortels van de helofyten bevinden zich vaak veel bacteriën die ook afvalstoffen uit het water kunnen afbreken. De groei van deze bacteriën wordt door de helofyten gestimuleerd doordat de planten via luchtkanalen zuurstof naar de wortels, en zo naar de bodem transporteren. Verder van de wortels af, waar geen zuurstof in de bodem zit, bevinden zich andere (anaerobe)bacteriën. Deze zijn in staat andere afvalstoffen op te nemen en af te breken. Maar ook de helofyten zelf zijn in staat om in een bepaalde mate afvalstoffen op te nemen.

Een helofytenfilter wordt vaak gebruikt om het afvalwater te ontdoen van fosfaten en nitraten. De fosfaten worden voornamelijk verwijderd door fosfaatvastlegging in de bodem die afhankelijk is van de pH en het zuurstofgehalte van de bodem, en door fosfaatopname door de vegetatie zelf. Het verwijderen van stikstof uit het afvalwater gebeurt door opname van de vegetatie, maar ook door denitrificatie van de in de bodem aanwezige bacteriën.

Ook is een helofytenfilter in staat om afvalwater te ontdoen van een groot deel van de organische bestanddelen, zoals suikers, vetten en eiwitten die zich daarin bevinden.

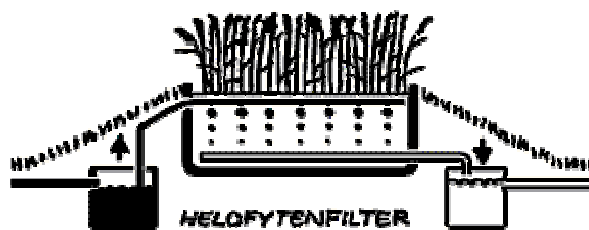
Wat helofytenfilters nog meer doen ter bevordering van de waterkwaliteit is; het verhogen van het zuurstofgehalte in het afvalwater en het verwijderen van sommige pathogene bacteriën uit het afvalwater.<sup>10</sup>

Moerasachtige systemen komen van nature overal ter wereld voor, geschat wordt dat dit percentage 6% van de totale landoppervlakte van de wereld bedraagt.<sup>11</sup> Deze zuiveren al het water wat oorspronkelijk langskomt, maar worden soms ook gebruikt om afvalwater te zuiveren.

Maar om structureel en met minder gevaar voor natuurvervuiling afvalwater op een natuurlijke manier te zuiveren is het beter om in plaats van dit systeem te kiezen voor een meer controleerbare vorm van een helofytenfilter. In het Engels wordt dit type ook wel constructed wetlands genoemd, maar in dit artikel wordt er verder aan gerefereerd als helofytenfilter.

Een helofytenfilter kun je zien als een afgesloten moeras, waar aan de ene kant afvalwater ingaat en aan de andere kant het gezuiverde water weer uitkomt. Het systeem is afgesloten met plastic of klei zodat er geen vervuild water de omgeving in kan lekken.

Deze helofytenfilters zijn onder te verdelen in twee hoofdtypes: een horizontaal doorstroomde helofytenfilter waarbij het water horizontaal door de bodem wordt gepompt en niet in contact komt met de buitenlucht, en een verticaal doorstroomde helofytenfilter, die het meest effectief en voorkomend is. Hierin zakt het afvalwater van boven naar beneden door de verschillende lagen substraat van het filter en wordt het onderin opgevangen (zie figuur 1.)



**Figuur 1:** Dwarsdoorsnede van een voorbeeld van een verticaal doorstroomde helofytenfilter<sup>12</sup>

Helofytenfilters worden vaak gebruikt bij het reinigen van niet al te zwaar vervuild afvalwater, vaak op kleine schaal. Bijvoorbeeld bij huishoudens die niet op het riool zijn aangesloten. Bij toepassingen op grotere schaal kun je denken aan het reinigen van bepaalde soorten industrieel proceswater of vervuild oppervlaktewater. Als helofyt wordt hiervoor vaak riet (*Phragmites australis*) gebruikt. Doordat een helofytenfilter voor een groot deel in staat is de vervuilende stoffen uit het afvalwater te halen komt er relatief schoon water weer uit. Het heeft dan nog geen drinkwaterkwaliteit maar kan wel zonder gevaar op het oppervlaktewater worden geloosd. De mate van reiniging is afhankelijk van de infiltratietijd van het water in het filter: hoe langer het water in het filter zit, hoe beter het gereinigd wordt.

Een groot voordeel van helofytenfilters is dat ze grote hoeveelheden water op een natuurlijke wijze kunnen reinigen. Het is een goedkope, energiezuinige vorm van waterzuivering en heeft weinig onderhoud nodig.

Een nadeel van een helofytenfilter kan zijn dat je moet oppassen met het soort en de hoeveelheid vervuiling van het afvalwater waarmee je te maken hebt. Er mogen bijvoorbeeld geen toxische stoffen in zitten omdat dit niet goed is voor de helofyten en dus niet voor het filter. Een ander nadeel is dat de mate van zuivering seizoensafhankelijk is. De groei van de planten, die ook de werking van de bacteriën beïnvloeden, is afhankelijk van de temperatuur en de lichtintensiteit. De planten groeien beter in een warme omgeving met een hoge lichtintensiteit. Wat betekent dat het filter in de zomer beter zal werken dan in de winter. Hierdoor kunnen dus niet elke dag het hele jaar door dezelfde hoeveelheden water met een standaard niveau, zodat al het water wat uit het filter komt dezelfde kwaliteit wat vervuiling betreft heeft, worden gereinigd.

### **Waterzuivering met behulp van planten: halofytenfilter**

Zoals eerder al gezegd is vervuiling van (zoet) water met zouten een groot probleem. Het zuiveren hiervan gebeurt momenteel voornamelijk door RO waar veel energie en dus ook geld voor nodig is en waarbij nog altijd een zoutwaterrest overblijft. Het is dus gewenst om hier een andere (goedkopere en milieuvriendelijkere) oplossing voor te vinden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen met behulp van planten, naar voorbeeld van een helofytenfilter.

### **Halofyten**

Planten kunnen slecht tegen hoge zoutconcentraties. Maar zoals vaak is er ook hier een uitzondering op de regel. Hoewel ze slechts 2% van de bestaande landplanten vertegenwoordigen, zijn er planten die kunnen groeien in relatief zoutrijke omgevingen; de zogenaamde halofyten.<sup>13</sup>

De meest zouttolerante halofyten kunnen nog groeien bij zoutconcentraties van 200 tot 500 mM NaCl. In figuur 2 is lijst met enkele halofyten en hun optimale NaCl concentratie te zien, dat is de concentratie waarbij de planten het beste groeien.

Halofyten gebruiken verschillende strategieën om zoutschade te vermijden en zijn op basis hiervan in te delen in drie groepen; crinohalofyten (zout excretors), pseudohalofyten (zout vermijders) en euhalofyten (echte halofyten).

Crinohalofyten nemen het zout op en transporteren de zoutionen in grote hoeveelheden naar speciale zoutklieren op het bladoppervlak waar het kristalliseert en niet meer langer schadelijk is. Pseudohalofyten zorgen er actief voor dat er geen zouten via de wortels worden opgenomen. Euhalofyten nemen juist actief zouten op. Deze zoutionen worden opgeslagen in de vacuole terwijl de concentraties  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$  in het cytoplasma laag worden gehouden, zodat de ionen worden gebruikt als osmoticum om de celturgor hoog te houden.<sup>3 4 5</sup>

• <i>Salicornia bigelowii</i>	170 mM
• <i>S. europea</i>	136-250
• <i>Sueda depressa</i>	170
• <i>S. maritima</i>	170-340
• <i>S. vulgaris</i>	170
• <i>Atriplex halimus</i>	24-100
• <i>A. hastata</i>	100
• <i>A. inflata</i>	50
• <i>A. nummularia</i>	100-200
• <i>A. Polycarpa</i>	233
• <i>A. vesicaria</i>	20
• <i>Avicennia maritima</i>	40
• <i>Aster tripolium</i>	136-170
• <i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	200

**Figuur 2:** Een lijst met enkele halofyten en de daarbij behorende optimale NaCl concentraties in mM.<sup>14</sup>

### Voorbeeld van een al bestaand halofytenfilter

Naar de mogelijkheid om halofyten te gebruiken om afvalwater van zouten te ontdoen wordt op verschillende plaatsen onderzoek gedaan en mee geëxperimenteerd.

Een voorbeeld hiervan is een systeem in de Mojavewoestijn in Californië. Hier wordt voor de plaats Twentynine Palms drinkwater geproduceerd uit grondwater. Een van de productieprocessen hierin is het verwijderen van fluoride uit het grondwater. Hierbij ontstaat ook afvalwater met een verhoogd gehalte natrium, chloride, sulfaat en overige opgeloste zouten. Het gaat hierbij om ongeveer 100.000 liter water per dag wat 1800 milligram per liter Total Dissolved Solids (TDS) bevat. TDS is de totale hoeveelheid opgeloste zouten in het water wat in dit geval voornamelijk bestaat uit natrium chloride en sulfaat. Dit is een probleem omdat dit afvalwater niet zonder gevaar voor de natuur en het grondwater geloosd mag worden.

De oplossing hiervoor is gevonden in een halofytenfilter.

Nabij de fluoride verwijderinginstallatie is een gebied van 6 hectare (60.000 m<sup>3</sup>) beplant met de voor daar inheemse halofyt *Atriplex lentiformis*.

Het gebied wordt bevoeid met het afvalwater volgens de Deficit Irrigation strategie. Dit betekent dat de planten zo weinig mogelijk water krijgen zodat al het water wordt opgenomen en er geen water verder langs de wortels kan vloeien. Zo kunnen de zouten die door evapotranspiratie in de bodem zijn blijven zitten niet in het grondwater uitvloeien. Een plant met lange wortels (ongeveer 3 meter) en een hoog evapotranspiratieniveau zoals bij de *Atriplex lentiformis* komen hierbij dus extra van pas.<sup>15</sup>

## Toepassen halofytenfilter in de praktijk

### Probleem

Het uiteindelijke doel van deze scriptie is het vinden van een oplossing voor een zoutwater probleem.

Hierbij gaat het om een waterleidingbedrijf in de provincie Groningen dat industriewater produceert uit kanaalwater. Hiervoor ondergaat het kanaalwater een aantal behandelingen waaronder RO en ionenuitwisseling. Bij deze behandelingen ontstaat een restproduct, ook wel brijn genaamd. Dit is water met een erg hoog natriumchloride gehalte. Het brijn is een probleem voor het bedrijf. In de huidige situatie wordt het brijn nog op het oppervlaktewater geloosd, maar dit is erg slecht voor het milieu en het ziet er naar uit dat er hier in de toekomst strengere regels voor gaan komen.

Daarom moet er worden gezocht naar een relatief goedkope en milieuvriendelijke manier om het brijn te ontzouten, zodat dit water dan veilig op het oppervlaktewater kan worden geloosd. Momenteel heeft het bedrijf te maken met twee verschillende locaties waar deze zoute reststromen worden geproduceerd:<sup>16</sup>

Brijn locatie 1: 500.000.000 liter per jaar met gemiddeld 400 mg Cl/l = 11,28 mM NaCl

Brijn locatie 2 reststroom 1: 1.000.000.000 liter per jaar met gemiddeld 750 mg Cl/l = 21 mM NaCl

Brijn locatie 2 reststroom 2: 100.000.000 liter per jaar met gemiddeld 300 mg Cl/l = 8 mM NaCl

Als men locatie 2 samenvoegt is het: 1.100.000.000 liter per jaar met gemiddeld 709 mg Cl/l = 20 mM NaCl

Als men alles samenvoegt is het 1.600.000.000 liter per jaar met gemiddeld 612,5 mg Cl/l = 17 mM NaCl.

Ter vergelijking: Zoet water is zoet water als het minder dan 5,6 mM NaCl bevat, goed irrigatiewater voor gewassen zelfs minder dan 2,0 mM. Zeewater aan de andere kant bevat gemiddeld 450-550 mM NaCl.<sup>46</sup>

### Concept oplossing

Om deze zoute reststromen te verwerken is hier verder gekeken naar een oplossing in de vorm van een helofytenfilter waar hieronder de voorwaarden, de voordelen en de nadelen worden besproken.

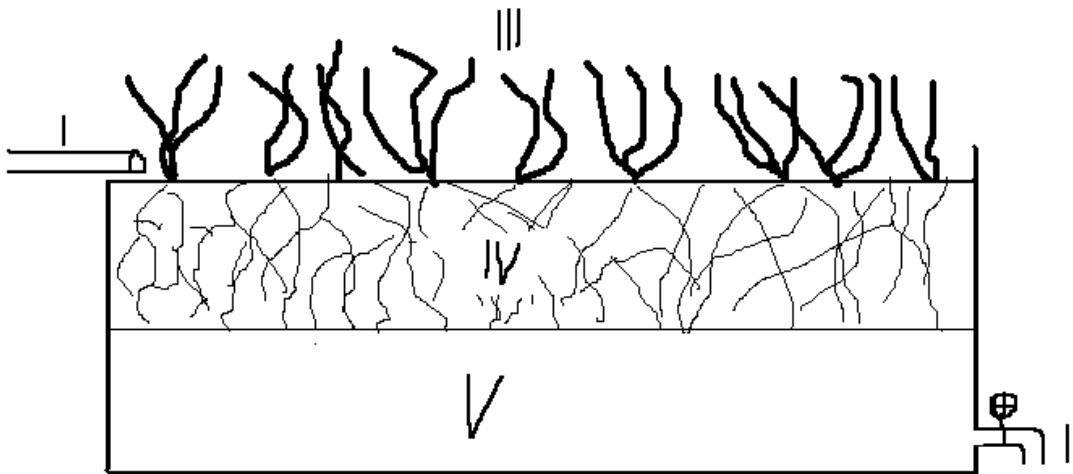
#### Uiterlijk installatie:

De bedoeling is om als het ware een grote bak te nemen die aan de onderkant en de zijkant gedicht is met klei of plastic zodat er geen zout water de omgeving in kan lekken. Hiervoor zou kunnen worden gedacht aan een uitgegraven weiland. In die bak komt een zandsubstraat waar de planten in komen te staan. Dit substraat moet er voor zorgen dat de planten stevig staan en dat het zoute water er goed doorheen kan lopen. Aan de onderkant van de bak wordt een grondwaterniveau gesimuleerd met het brijn.



De hoogte van het grondwater is afhankelijk van de inflow en uitflow van water in de bak, de totale hoeveelheid aangeboden brijn per dag en de oppervlakte van de bak. Ook moet hierbij rekening worden gehouden met extra water door regen, maar ook met de evapotranspiratie. Bovenin de bak komen de halofyte planten te staan die met hun wortels reiken tot het gesimuleerde grondwater. De diepte van de bak is dus afhankelijk van de hoogte van het grondwater en de lengte van de wortels. De inhoud en oppervlakte van de bak is afhankelijk van de capaciteit van het systeem en de hoeveelheid aangeboden brijn. De capaciteit is in dit geval de hoeveelheid water wat het systeem kan verwerken per tijdseenheid, afhankelijk van hoeveel zout de planten op kunnen nemen.

De vegetatiedichtheid is hierbij ook van belang. Er moet gekozen worden voor een optimale vegetatiedichtheid. Dit wil zeggen dat er zoveel mogelijk planten op de oppervlakte staan zodat er zoveel mogelijk zout kan worden opgenomen. Maar de planten moeten niet zo dicht op elkaar staan zodat ze elkaar belemmeren in de groei waardoor ze minder productief zijn.



**Figuur 3:** Een dwarsdoorsnede van het concept van een halofytenfilter met:

- I: Aanvoer van het brijn
- II: Afvoer van het eindproduct
- III: Halofyten
- IV: Wortels van de halofyten in het substraat
- V: Gesimuleerd grondwater in het substraat

#### Capaciteit / werking van het systeem:

Het systeem heeft als doel om met behulp van planten opgeloste zouten uit het brijn te halen. Door aan één kant van het systeem het zoute water in de bak te laten lopen (zie figuur 3) kunnen de planten actief de zouten opnemen. Het is dus belangrijk om planten te nemen die relatief meer zouten opnemen dan water (ten opzichte van het zoutgehalte in het gesimuleerde grondwater). De incubatietijd van het zoute water in de bak is afhankelijk van de opnamesnelheid van de plant, maar ook van de gewenste kwaliteit van het eindproduct. Hoe lager de gewenste zoutconcentratie in het eindproduct moet zijn, hoe langer het water moet worden geïncubeerd. Dan heeft de halofyt meer tijd om meer zouten uit het water te halen. De capaciteit van het systeem is afhankelijk van de omzettingssnelheid van de plantensoort, de hoeveelheid gebruikte planten en het daarbij behorende worteloppervlak.

Doordat niet al het zout uit het water kan worden gehaald en er water door het systeem blijft vloeien heb je dus als eindproduct altijd te maken met een verdunning van het beginproduct, water met een lagere zoutconcentratie. Er zijn strenge regels wat betreft het lozen van zout water op oppervlakte water wat betreft de zoutconcentratie. Dus afhankelijk van de zoutconcentratie van het eindproduct is het belangrijk om te kijken of dit nog een behandeling nodig heeft, wellicht in de vorm van een tweede halofytenfilter.

#### Welke plant:

Het is belangrijk om een plant te hebben die bestand is tegen de zoutconcentratie van het aangeboden water en die zoveel mogelijk actief zout kan opnemen. Er moet dus worden gekozen voor een euhalofyt. Als er namelijk zal worden gekozen voor een pseudohalofyt dan wordt er geen zout opgenomen maar wel water en dan wordt de zoutconcentratie in de bodem alleen maar hoger. En als er wordt gekozen voor een crinohalofyt komt het uitgescheiden gekristalliseerde zout door wind of regen ook weer in de bodem en het water terecht. Ook is het nodig om voor een soort te kiezen die bestand is tegen het klimaat in Nederland zodat niet alle planten door een te lage temperatuur binnen een paar maanden dood zijn. De gekozen plantensoort moet meerjarig zijn zodat niet elk jaar opnieuw het systeem moet worden opgezet en ingeplant.

Het moment van een plant waarop hij het hardste groeit en in het geval van een halofyt het meeste zout opneemt is wanneer deze in de exponentiële groeifase zit. Ideaal zou dus zijn om alle planten de gehele tijd exponentieel te laten groeien. Dit zou mogelijk zijn door de planten te snoeien of maaien, zodat ze in deze groeifase blijven. Hiervoor zou het goed zijn om te kiezen voor een grassoort omdat die wat dat betreft makkelijk te onderhouden is.

Het NaCl gehalte waar de planten mee te maken krijgen is ongeveer 17 mM. Zoals in figuur 2 te zien is ligt dit onder het gehalte waarmee veel halofyten maximaal mee kunnen omgaan. Dit betekent dat het brijn niet zo'n hoog gehalte NaCl bevat dat het toxisch is voor het filter, sterker nog; het filter kan veel hogere concentraties NaCl aan.

Er zijn veel halofyten die in aanmerking kunnen komen voor het filter. Maar wellicht kunnen er in de toekomst nog halofyten worden gekweekt die voor een optimaal halofytenfilter kunnen zorgen. Hiervoor moet worden gedacht aan een soort dat goed te maaien is en weinig onderhoud nodig heeft, zo veel mogelijk actief zouten kan opnemen maar ook goed werkt onder mindere omstandigheden zoals lage temperaturen en weinig zonlicht. Ideaal zou dan zijn dat de plantenresten ook nog voor andere doeleinden zoals voedsel kunnen worden gebruikt.

#### Rendabel:

De bedoeling van het systeem is om het zo rendabel mogelijk te maken. Om dus zoveel mogelijk zout uit het water te halen tegen zo laag mogelijke kosten en een zo laag mogelijk energieverbruik, dit vergeleken met de gangbare methoden om zouten uit water te halen. Hiervoor moet natuurlijk worden gekeken naar het rendement op een langere termijn omdat het systeem om op te zetten natuurlijk veel tijd, energie en geld kost. Maar als dat eenmaal is gebeurd, is het de bedoeling dat het systeem zo min mogelijk kost en er weinig onderhoud nodig is. De initiële kosten die moeten worden gemaakt zijn het aanschaffen van land waar de installatie kan worden gesitueerd, het uitgraven hiervan, het aanschaffen en plaatsen van een beschermende laag klei of plastic, zand en natuurlijk ook de halofyten zelf. Ook moet er een systeem worden aangelegd om het brijn van de locaties waar het geproduceerd wordt te transporteren naar het filter, en een systeem om het water wat uit het filter komt te transporteren naar de plek waar het geloosd kan worden.

Qua kostenaspect is het dus verstandig om het filter zo dicht mogelijk bij de locatie waar het brijn wordt geproduceerd te situeren, zodat het maar over een korte afstand hoeft te worden weggepompt. In dit geval gaat het over twee verschillende locaties waar het brijn vandaan komt. Afhankelijk van de afstand tussen deze plekken en de kosten om het naar dezelfde locatie te pompen kan er worden gekeken of het meer rendabel is om misschien op beide locaties een filter te plaatsen. Maar in dit geval is dat niet waarschijnlijk omdat de locaties relatief dicht bij elkaar liggen en de kosten van het wegpompen dan niet zouden opwegen tegen de bouw van een tweede filter.

De kosten die er dan nog bij komen zijn die van het onderhoud van het filter. Het onderhoud wat gedaan moet worden is het maaien van de planten, en het weghalen van afgestorven plantenmateriaal zodat de zouten hieruit niet weer in het water terecht komen.

Als er planten in het filter afsterven moeten die worden verwijderd en daarvoor moeten dan nieuwe planten worden geplant.

Een nadeel van het filter is dat het net als bij een helofytenfilter afhankelijk is van de temperatuur en lichtintensiteit. De werking van het filter is dus niet consistent over het jaar maar verschilt per seizoen. Je kunt zelfs stellen dat het filter theoretisch alleen werkt van de lente tot de herfst. Om hiermee om te gaan kan er gedacht worden aan een opslagplaats waar het brijn opgeslagen kan worden gedurende de periode dat het filter niet werkt. En dit water kan dan weer aangeboden worden aan het filter wanneer het weer werkt. Dit betekent wel dat de capaciteit van het filter omhoog moet. Hierbij is het ook belangrijk om te kijken of dit rendabel is: wegen de kosten van een opslagplaats en een groter filter op tegen wat het kost om tijdens de periode dat het filter niet werkt het brijn te filteren met andere technieken.

Een andere manier om met de seizoenseffecten om te gaan is het plaatsen van kassen om het filter, waardoor de temperatuur gelijk kan worden gehouden gedurende het gehele jaar en het filter ook het hele jaar werkt. Ook hier moet worden berekend of het plaatsen en het stoken van de kassen rendabel is.

#### Extra voorwaarden en toepassingen:

Om het filter in werking te houden moeten de planten goed kunnen groeien. Hiervoor moeten ze voorzien worden van voldoende nutriënten. Het idee is dat er hiervan genoeg in het brijn zitten maar mocht dit niet zo zijn moet ervoor worden gezorgd dat dit in de bodem zit of dat het extra word toegediend. Om goed te kunnen groeien mogen er ook geen toxische stoffen in het brijn zitten.

Om nog extra wat op te leveren kan als plantensoort gekozen worden voor een eetbare plant, zodat het plantenafval nog wordt hergebruikt in de vorm van voedsel.

Het streven van dit halofytenfilter is om zo veel mogelijk zouten uit het water te halen. Door verder onderzoek en ontwikkelen zal dit wellicht steeds beter lukken. Als het ooit zal lukken om met een halofytenfilter vrijwel al het zout uit het water te halen zou dit van groot belang kunnen zijn voor de mensheid. Hierdoor zal al het met zout vervuilde water, en misschien zelfs wel zeewater, kunnen worden gereinigd en wellicht gebruikt worden voor irrigatie en drinkwater. Want op grote gebieden op aarde heerst honger door een tekort aan schoon drinkwater en droogte.

#### Benodigd landoppervlak: voorbeeld berekening:

Als geschikte plant zou kunnen worden gekozen voor Schorrenkruid, oftewel *Suaeda maritima*. Deze komt van nature ook in Nederland voor en zal hier dus kunnen groeien.

De *S. maritima* heeft een groeisnelheid van 120 mg drooggewicht/plant/dag.<sup>17</sup>

Uitgaande van een groeiperiode van 180 dagen per jaar en een beplantingsdichtheid van 25 planten per vierkante meter zal het filter in een jaar 540 gram drooggewicht/m<sup>2</sup>/jaar groeien.

Hierbij wordt uitgegaan van optimale omstandigheden met een NaCl concentratie van 170 mM. Bij een tiende van deze concentratie, waar in dit geval mee te maken is, kan er worden uitgegaan van 90% van de maximale groei:<sup>18</sup> 486 gram drooggewicht/m<sup>2</sup>/jaar.

De NaCl opname van *S. maritima* is 5,5 mmol/gram drooggewicht.<sup>17</sup> Wat voor het filter neerkomt op een NaCl opname van 2,673 mol/m<sup>2</sup>/jaar.

Op locatie 1 is er per jaar te maken 500.000.000 liter brijn met 11,28 mM NaCl, wat betekent dat er in een jaar 5.640.000 mol NaCl is. Voor locatie 2 is dit 1.100.000.000 liter brijn per jaar met 20 mM NaCl wat betekent dat er daar in een jaar 22.000.000 NaCl is.

Doordat er bekend is hoeveel mol NaCl het filter per jaar op kan nemen, en hoeveel mol NaCl er per jaar in het brijn zit kan er berekend worden hoe groot het filter in theorie moet zijn om al het zout uit het brijn te halen. Voor locatie 1 is dit 2,11 km<sup>2</sup> en voor locatie 2 8,23 km<sup>2</sup> in totaal is er in theorie voor het probleem een filter nodig met een oppervlakte van 10,34 km<sup>2</sup>.

Er moet wel onthouden worden dat dit slechts een grove schatting is waarvan wordt uitgegaan van groei onder ideale omstandigheden die er in de praktijk niet altijd zijn. Ook wordt er hierbij van uitgegaan dat al het zout uit het brijn wordt opgenomen en dat is in de praktijk waarschijnlijk ook niet haalbaar. Om een betere benadering van de werking en het benodigde oppervlakte te krijgen zal het goed zijn om een schaalmodel te bouwen om zo de groei, NaCl opname en beplantingsdichtheid in de praktijk te bepalen. Hierbij moeten dan ook verschillende planten worden getest om zo de meest geschikte te bepalen.

#### Concept vergeleken met helofytenfilter en met het Californische halofytenfilter

Wat het helofytenfilter en het halofytenfilter gemeen hebben is dat ze beiden water zuiveren door middel van planten. Voor een halofytenfilter hoeven echter geen helofyten te worden gebruikt, het zou wel kunnen met een halofyte helofyt maar het is niet noodzakelijk.

Een ander verschil tussen beide is dat een helofytenfilter het water ontdoet van veel verschillende soorten vervuiling doormiddel van de werking van de planten maar ook voornamelijk door micro-organismen. Een halofytenfilter is alleen gebaseerd op de werking van de planten (en dus niet op de werking van micro-organismen) en het verwijderen van zouten.

Het filtersysteem uit het voorbeeld in Californië heeft, net als het voor het Groningse waterleidingbedrijf bedachte halofytenfilter, als doel het ontzouten van water.

In Californië berust de manier van ontzouten voornamelijk op de evapotranspiratie door het deficit irrigation systeem. Hierdoor blijft er veel zout in de grond achter en is er ook geen restwater want dat is allemaal verdampt. Een nadeel van deze manier is dat er hiervoor in Nederland relatief meer grond voor nodig is en er het gevaar bestaat van het uitspoelen van het zout in de omgeving.

Als de hoeveelheden water van de beide modellen worden vergeleken, en daarbij het benodigde landoppervlakte betrokken wordt, kom je uit op een benodigd landoppervlakte voor het probleem in Nederland van 26,30 km<sup>2</sup>. Omdat er in Nederland een heel ander klimaat is zal het Californische model hier echter veel minder efficiënt werken doordat er een kortere groeiperiode van de planten zal zijn, er moet worden uitgegaan van andere inheemse planten en het is hier veel minder droog waardoor het verdampen/evapotranspiratie veel langer duurt. Het is dus eigenlijk onmogelijk om voor een benodigd landoppervlakte van dit getal uit te gaan en een vergelijking te maken, ook omdat de twee systemen structureel van elkaar verschillen en ook uitgaan van verschillende watersamenstellingen.<sup>15 16</sup>

## Referenties

- 1= <http://www.lenntech.nl/water-verontreiniging-faq.htm>
- 2= Paulissen M, e.a., 'Hoe gevoelig is de Nederlandse natuur voor verzilting', Alterra / Wageningen Universiteit en Research Centrum, (2007)
- 3= Scott P., *Physiology and behaviour of plants* (2008), 184-186
- 4= Taiz & Zeiger, *Plant physiology* (2002), third edition, 611-615
- 5= Hopkins W.G., *Introduction to Plant Physiology* (1999), 2<sup>nd</sup> edition, 464-467
- 6= Tilburg van M, Brouwers S, Deelrapport: Wetgeving en beleid met betrekking tot verzilting (2006)
- 7= <http://www.waterland.net/index.cfm/site/Water%20Informatie%20Netwerk/pageid/376E2754-9415-D307-3FA03387121346BB/index.cfm>
- 8= Wet verontreiniging oppervlaktewater
- 9= [http://www.idsw.nl/standaarden/woordenboek/aquo-lex\\_-\\_begrippen/](http://www.idsw.nl/standaarden/woordenboek/aquo-lex_-_begrippen/)
- 10= [www.helofytenfilter.nl](http://www.helofytenfilter.nl)
- 11= Vyvazal J. e.a., *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe* (1998), 1-10
- 12= <http://www.de12ambachten.nl/helofytenfilter.html>
- 13= Glenn E.P., e.a., 'Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes', *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18 (1999), 227-255
- 14= Elzenga J.T.M, *Collegie 'drought', Ecofysiologie van planten research* (2008-2009)
- 15= Glenn E.P., e.a., 'Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city', *Landscape and Urban Planning*, 89 (2009), 57-64
- 16= Waterleidingbedrijf Powerpoint, info tbv biologisch ontzouten RUG, Zoute reststromen (2009)
- 17= Wang S., e.a., 'Low-Affinity Na<sup>+</sup> Uptake in the Halophyte *Suaeda maritima*', *Plant Physiology*, Vol. 145 (2007), 559-571
- 18= Yeo A.R, Flowers T.J., 'Salt Tolerance in the Halophyte *Suaeda maritima* L. Dum.: Evaluation of the Effect of Salinity upon Growth', *Journal of Experimental Botany*, 31 (1980), 1171-1183