



Vegetatie in brakke wateren

INHOUD

1.	INLEIDING	1
2.	GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS	2
3.	WERKING VAN BRAKKE WATEREN.....	3
4.	RANDVOORWAARDEN.....	17
5.	KENNISLEEMTES.....	18
6.	BRONNEN EN LINKS	19
7.	COLOFON.....	22

1. INLEIDING

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) heeft als doel om de ecologische kwaliteit van oppervlaktewateren te verbeteren. Inzicht in de factoren die de ecologische kwaliteit bepalen is hierbij van groot belang. Voor binnendijks gelegen brakke wateren is hierover nog maar weinig kennis beschikbaar. Het ecologisch functioneren van deze wateren wijkt namelijk op verschillende punten af van dat van zoete wateren. Veel brakke wateren hebben van nature een hoge beschikbaarheid van fosfor, waardoor veelal stikstof – in plaats van fosfor – het limiterende element is voor algengroei. Bovendien spelen concentraties en fluctuaties in het

zoutgehalte een cruciale rol voor de soortensamenstelling, evenals verschillen in connectiviteit van het watersysteem.

In het project “Brakke wateren” werkten Deltares, Wageningen Environmental Research en Onderzoekcentrum B-WARE gezamenlijk aan het vergroten van inzicht in het ecologisch functioneren van binnendijkse brakke wateren ([Van Geest et al., 2022](#)). De data-analyses die hieraan ten grondslag liggen zijn uitgevoerd met recente gegevens van regionale waterbeheerders. Deze kennis is nodig voor de onderbouwing van de doelen voor brakke wateren voor de Kaderrichtlijn Water, als ook voor de keuze voor de meest (kosten)effectieve maatregelen.

Dit Deltafact geeft een overzicht van de abiotische randvoorwaarden van water- en oeverplanten in brakke wateren. Hierbij wordt ingegaan op de rol die zout en nutriënten spelen voor de vegetatie in brakke wateren. Hierbij staan vragen centraal als: wat zijn kenmerkende condities voor brakwatervegetaties met een hoge ecologische kwaliteit? En onder welke condities treedt degradatie op?

In de volgende paragrafen is beschreven wat brakke wateren zijn, en waarin ze verschillen van zoete wateren. Vervolgens wordt een typologie gepresenteerd, die gebaseerd is op een clusteranalyse van een groot aantal vegetatie-opnames uit Nederlandse brakke wateren. We eindigen met een beschrijving van de kennisleemtes.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Gerelateerde deltafacts zijn [Brakke kwel](#), [Regenwaterlenzen](#), [Brakke wateren](#), [Voedselweb](#)

3. WERKING VAN BRAKKE WATEREN

Wat zijn brakke wateren en welke soorten komen daar voor?

Van nature liggen Nederlandse brakke wateren in de overgangszone tussen het zoete en zoute (mariene) milieu en hebben fluctuerende zoutgehaltes met chloridegehaltes die hoger zijn dan 300 mg per liter. Brakwatergebieden zijn van oorsprong een typisch onderdeel van het Nederlands landschap. Tot de Middeleeuwen vormde het laaggelegen deel van Nederland één groot deltagebied, waar de rivieren en zee vrij spel hadden. Het zoete water van de rivieren vermengde zich hier met het zoute water van de zee, waardoor grote brakwatergebieden ontstonden met wisselende zoutgehaltes. Slechts weinig planten- en diersoorten kunnen deze wisselingen weerstaan. Toch is er een specifieke groep van dieren en waterplanten die zich aan deze condities heeft aangepast en hier juist optimaal voorkomt. Voorbeelden van dergelijke plantensoorten zijn bijvoorbeeld Brakwaterkransblad en Snavel- en Spiraalruppia.

Waarin verschillen brakke wateren van zoete wateren?

In de eerste plaats verschilt brak water natuurlijk van zoet water door de hogere zoutconcentraties. Hierbij zijn niet alleen de gemiddelde concentraties, maar ook de fluctuaties door het jaar heen van groot belang. Veel soorten zijn namelijk slecht bestand tegen grote wisselingen in zoutgehalte. Verhoogde zoutconcentraties zorgen voor toxiciteit van chloride en natrium, verhoogde osmotische druk (waardoor cellen dood kunnen gaan) en soms ook voor verandering in nutriëntenbehoefte of een disbalans in elementen.

Het zoutgehalte is echter niet het enige verschil. In brak water zijn de concentraties van veel stoffen in hogere concentraties aanwezig. Voorbeelden hiervan zijn sulfaat, ammonium, magnesium, calcium en kalium. Deze stoffen zijn van invloed op verschillende processen in de nutriëntencycli van stikstof en fosfor. Vooral de hoge concentraties van sulfaat spelen een belangrijke rol, aangezien deze vaak tot een hogere beschikbaarheid van fosfor leiden. Sulfaat kan in het zuurstofloze sediment namelijk worden omgezet in sulfide, dat vervolgens gemakkelijk aan ijzer bindt. Het sulfide verdringt hierbij fosfor van het ijzer, waardoor

dit fosfor vrij beschikbaar komt. Mede om deze reden is stikstof en niet fosfaat, veelal het limiterende nutriënt voor algengroei in brakke wateren.

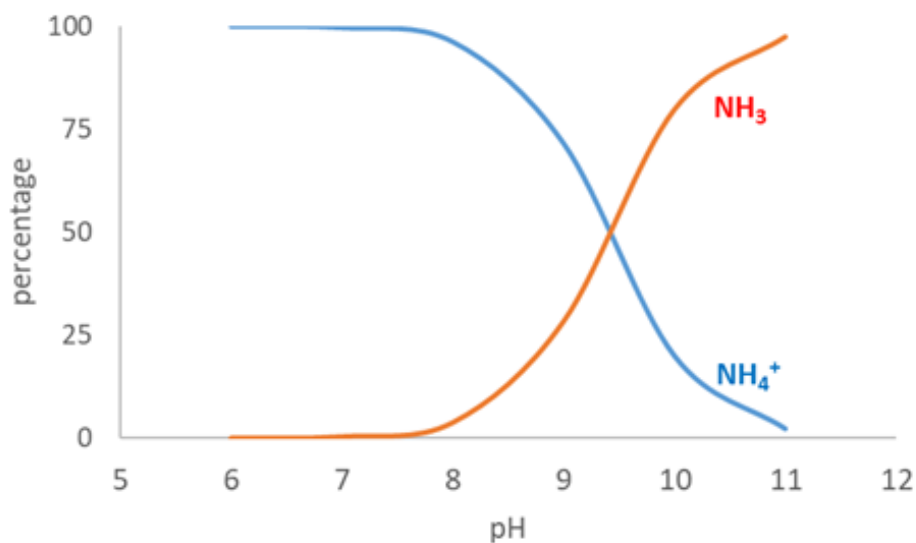
De hoge beschikbaarheid van fosfor in brakke wateren kan algengroei stimuleren, zeker wanneer verrijking plaatsvindt met stikstof. In zoete wateren resulteert algengroei vaak in een verminderde helderheid van het water en een sterke achteruitgang van ondergedoken waterplanten. In brakke wateren is de rol van doorzicht nog onduidelijk. Aan de ene kant is er literatuur die aangeeft dat ondergedoken waterplanten in brakke wateren onder troebelere condities groeien ([Jeppesen et al., 1994](#); [Moss et al., 1994](#)). Aan de andere kant is bekend dat kenmerkende brakwatersoorten (zoals beide Ruppia- en verschillende kranswiersoorten) juist sterk gevoelig zijn voor eutrofiering (Verhoeven et al., [1978a,b](#), [1979](#)).

Brakke wateren kenmerken zich ook door hoge waardes van sulfiden, ammonium en ammoniak. Deze stoffen zijn voor veel soorten giftig. Zo kan sulfaat in zuurstofloze bodems worden omgezet in sulfide. Sulfide is reeds giftig bij zeer lage concentraties (omstreeks detectielimit van 10 $\mu\text{mol/L}$) giftig, met name voor plantensoorten die in deze zuurstofloze bodems wortelen. De giftigheid van sulfide hangt ook af van de concentratie van ijzer in het sediment. Sulfiden worden namelijk gebonden aan dit ijzer, waardoor het niet meer giftig is. In brakke wateren bevatten bodems vaak weinig ijzer, waardoor sulfide-toxiciteit gemakkelijk kan optreden. Sommige soorten hebben mechanismen om sulfide te ontgiften, middels actieve uitstoot van zuurstof in de wortelzone, waardoor het sulfide wordt geoxideerd (naar sulfaat) en de concentraties lager worden ([Lamers et al., 2013](#)).

Hoge ammoniumconcentraties kunnen ook tot toxische effecten leiden. Ammonium (NH_4^+) kan namelijk worden omgezet naar het giftige ammoniak (NH_3). Dit ammoniak is vaak een factor twee meer toxisch dan ammonium. Hoge ammoniak concentraties leiden bij veel waterplanten tot remming van fotosynthese en groei. De omzetting van ammonium naar ammoniak is een evenwichtsreactie, waarbij het relatieve aandeel van beide ionen afhangt van de pH en temperatuur. Vanaf een $\text{pH} > 8$ start de omzetting naar ammoniak en bij een $\text{pH} > 9.5$ is het aandeel van

ammoniak hoger dan 50% (Figuur 1). Bij hogere temperaturen verloopt deze omzetting sneller.

Juist in brakke wateren kan ammoniak-toxiciteit een grote rol spelen. Deze wateren bezitten vaak een hoge pH in combinatie met verhoogde ammonium concentratie. Een hoge pH treedt vooral op bij sterke algenbloei. Algen nemen dan veel bicarbonaat op uit het water, waardoor de pH sterk kan stijgen. Hierdoor valt het optreden van ammoniak-toxiciteit vaak samen met periodes van algenbloei en hoge temperaturen.



Figuur 1. Aandeel van resp. ammonium (NH₄) en ammoniak (NH₃) in relatie tot de pH van het water

Preferenties van soorten en vegetatietypen

Het voorkomen van waterplanten in brakke wateren wordt sterk gestuurd door de concentraties van (en variaties in) zout, nutriënten en toxische stoffen met een natuurlijke oorsprong, zoals ammoniak (in de waterlaag) en sulfiden (in de waterbodem). Onderstaand zijn de preferenties voor deze parameters samengevat, zowel voor de afzonderlijke soorten als voor vegetatietypen. Ieder vegetatietype bestaat uit een groep van soorten met vergelijkbare habitatpreferenties.

In deze uitwerking zit soms een dubbeling. Ter illustratie: het vegetatietype met *Spiraalruppia* is zeer soortenarm, waardoor de preferenties van dit vegetatietype vrijwel identiek zijn aan de preferenties van de soort. Uitgangspunt is dat deze informatie in de tekst maar

eenmaal wordt toegelicht (met verwijzing naar de desbetreffende paragraaf op andere plaatsen in de tekst).

Effect van zout op soorten

De samenstelling van waterplantenvegetaties in brakke wateren wordt sterk bepaald door een combinatie van het gemiddelde chloridegehalte en de fluctuaties hierin ([Remane, 1934](#), [Van Vierssen & Breukelaar, 1994](#); [Van Beers & Verdonschot, 2020](#)). Met name de fluctuaties in zoutconcentraties vragen specifieke aanpassingen van organismen en bijgevolg is er dan ook slechts een klein aantal soorten die aan brakke condities zijn aangepast. In figuur 2a t/m 2d is aangegeven bij welke range van zoutgehaltes waterplanten kunnen voorkomen. Deze figuren zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride-concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze figuren inzicht in de maximale zouttoleranties die soorten kunnen verdragen door het groeiseizoen heen.

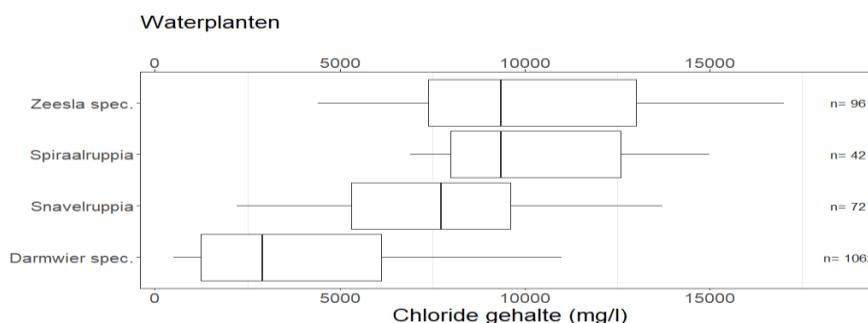
Ondergedoken waterplanten kunnen over de gehele range van zoutconcentraties voorkomen, variërend van zwak brak tot vrijwel mariene condities. De soortenrijkdom neemt echter sterk af naarmate het zoutgehalte toeneemt. Er zijn namelijk slechts een klein aantal plantensoorten bestand tegen de extreme condities in sterk brakke wateren, met chloride-concentraties boven 3.000 mg Cl/L. De meest sprekende voorbeelden hiervan zijn *Snavelruppia* en *Spiraalaruppia*, die vrijwel alleen in deze wateren groeien. Daarnaast kan Brakwaterkransblad ook tot 5.000 mg chloride/L voorkomen ([Corillion, 1957](#)).

In licht brakke tot matig brakke wateren (300-3.000 mg chloride/L) kan een groter aantal plantensoorten groeien. Deze soorten groeien ook in zoet milieus en hebben een zekere tolerantie voor brak water. Naarmate de chloride-concentraties toenemen, daalt het aantal aangetroffen soorten geleidelijk, en er is geen scherpe grens waarboven veel soorten ontbreken. Vergelijkbare conclusies zijn getrokken door [Runhaar et al. \(1997\)](#), op basis van uitwerkingen van [Barendregt \(1993\)](#), [Barendregt et al. \(1990\)](#), [Barendregt & Bootsma \(1991\)](#) en [De Lyon & Roelofs \(1986\)](#).

Een aantal soorten in de chloride-range 300 tot 3.000 mg chloride/L geldt als karakteristiek voor brakwater. Voorbeelden hiervan zijn Zilte waterranonkel, Fijn hoornblad, Groot nimfkruid en Gesteelde zannichellia.

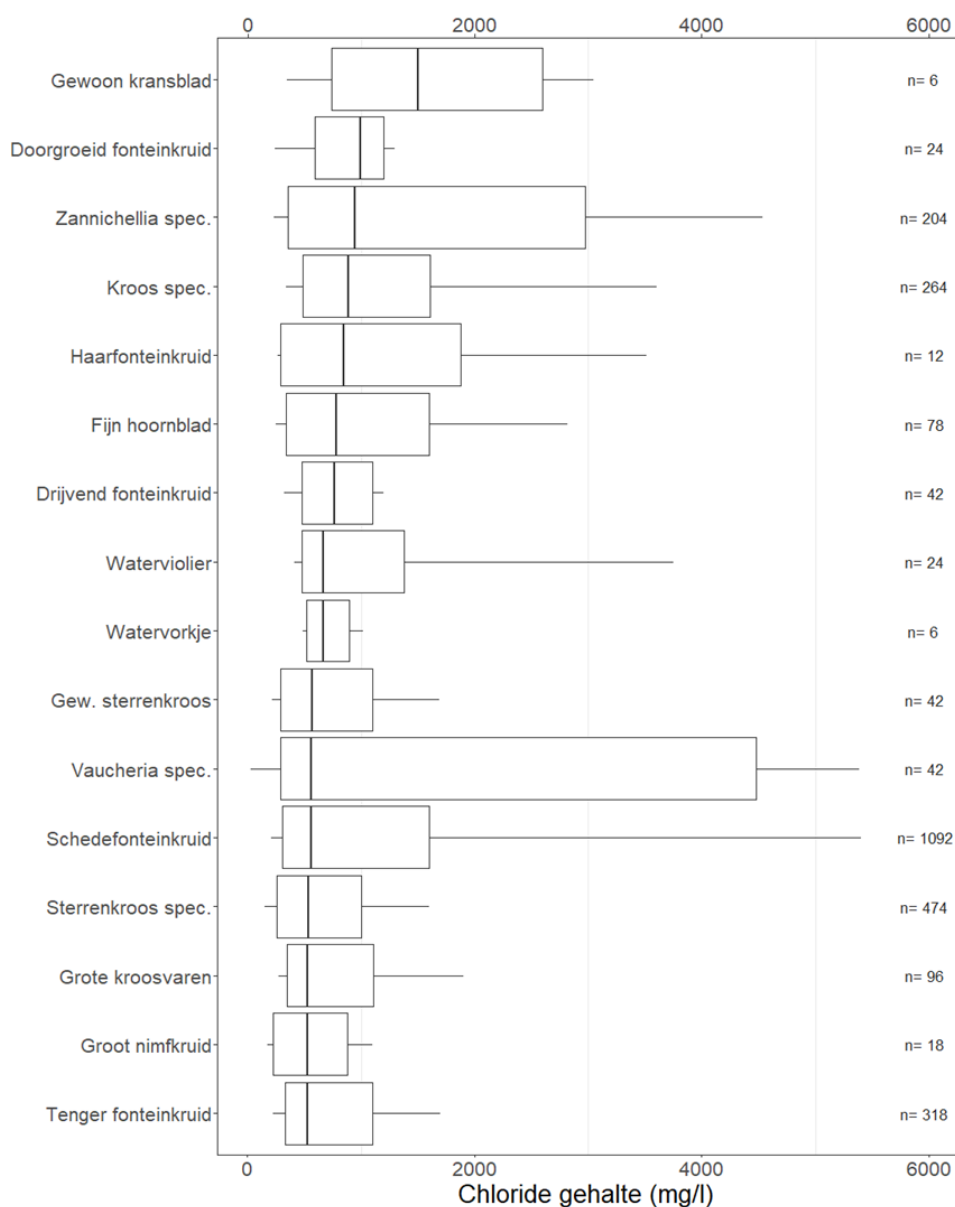
Deze soorten houden bij verzoeting vaak lang stand. In zoet water bezitten zij vermoedelijk een lagere concurrentiekracht ten opzichte van andere soorten, waardoor zij 'verdrongen' worden naar brakke wateren. Andere soorten groeien daarentegen juist vaak in zoete wateren. Voorbeelden hiervan zijn Smalle waterpest, Grof hoornblad, Schedefonteinkruid en Aarvederkruid. Deze groep kan opgevat worden als zoetwatersoorten met een zekere zouttolerantie. Zoals verwacht, kunnen karakteristieke brakwatersoorten (zoals Zilte waterranonkel en Gesteelde zannichellia) vaak hogere piekconcentraties in chloride verdragen dan de laatstgenoemde groep van 'zoetwatersoorten met een zekere zouttolerantie'.

Het zoutgehalte speelt ook een doorslaggevende rol voor helofyten. Bij chlorideconcentraties hoger dan 8.000 mg chloride/L komen geen helofyten tot ontwikkeling (Figuur 3). De soorten Heen en Riet zijn het beste bestand tegen zoute condities, gevolgd door Mattenbies, Gele lis en Oeverzegge. Het minst zouttolerant zijn soorten als Kleine lisdodde, Grote lisdodde, Liesgras, Zwanenbloem en Grote egelskop; de bovengrens bij laatstgenoemde soorten ligt op circa 1.000 mg chloride/L in het oppervlaktewater. Deze rangorde komt goed overeen met bevindingen in de literatuur. Dit geldt zowel voor volwassen planten ([Ter Heerd, 1995](#); [Hootsmans, 1996](#); [Tosserams et al., 1997](#)), als voor de kieming van zaden ([Kerkum et al., 1996](#); [Hootsmans & Wiegman, 1998](#)). De enige uitzondering hierop is Ruwe bies, die tot beduidend hogere zoutconcentraties (tot circa 8.000 mg/L) kan groeien dan in Figuur 3 staat vermeld.

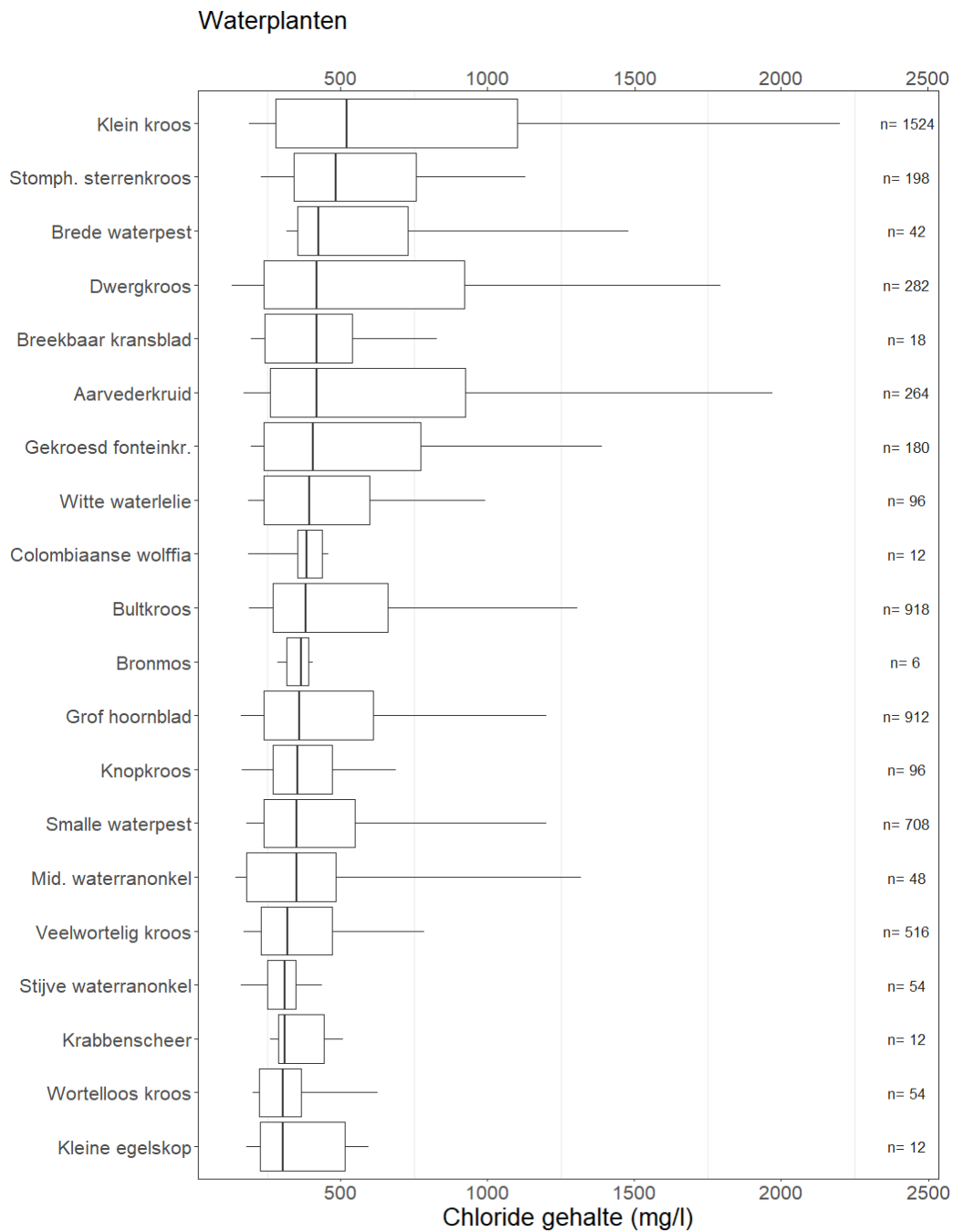


Figuur 2a. Zouttolerantie van waterplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.

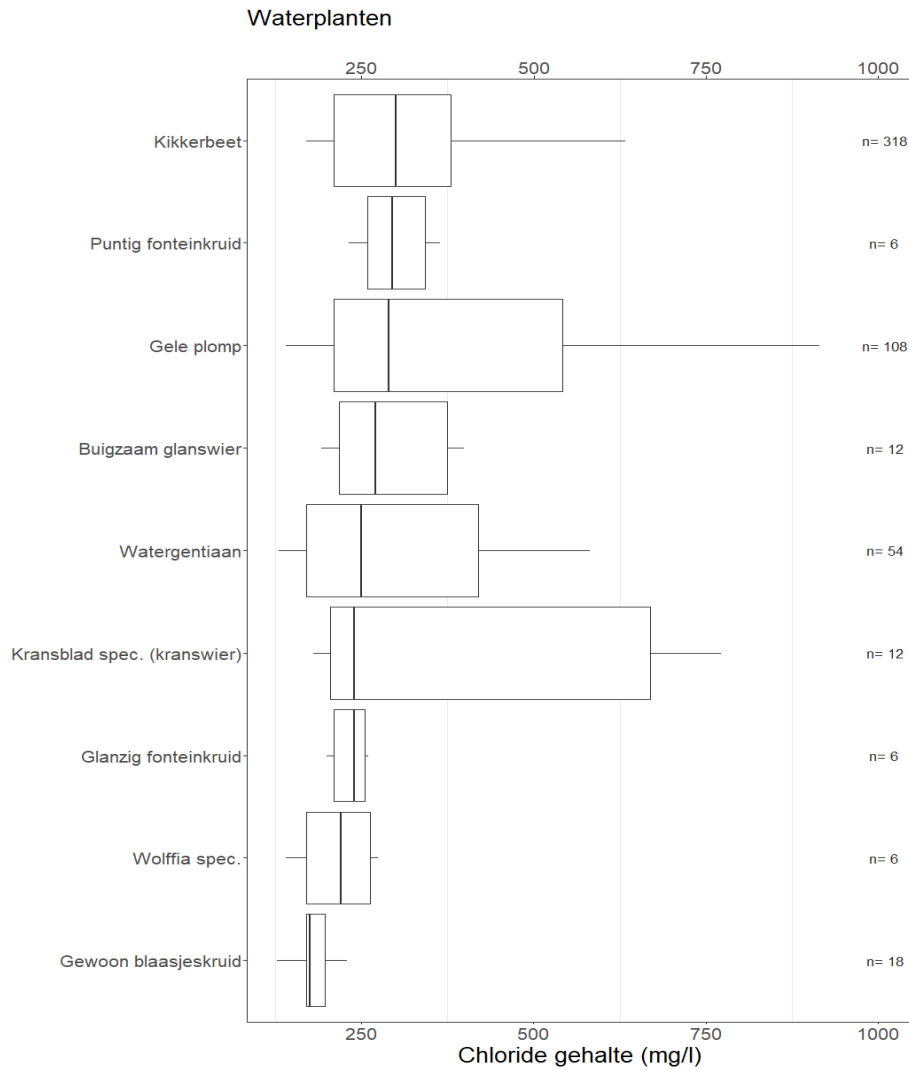
Waterplanten



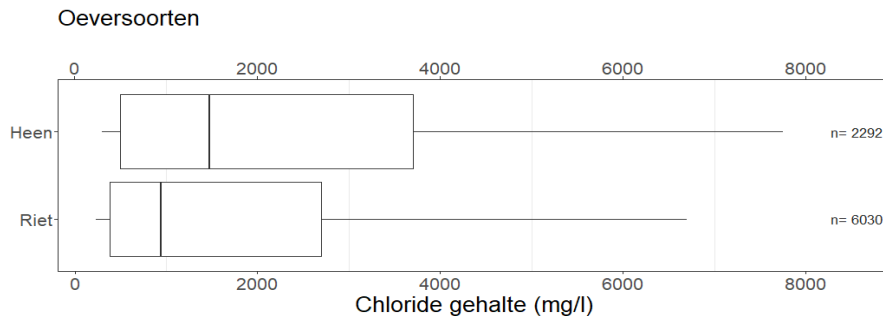
Figuur 2b. Zouttolerantie van waterplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.



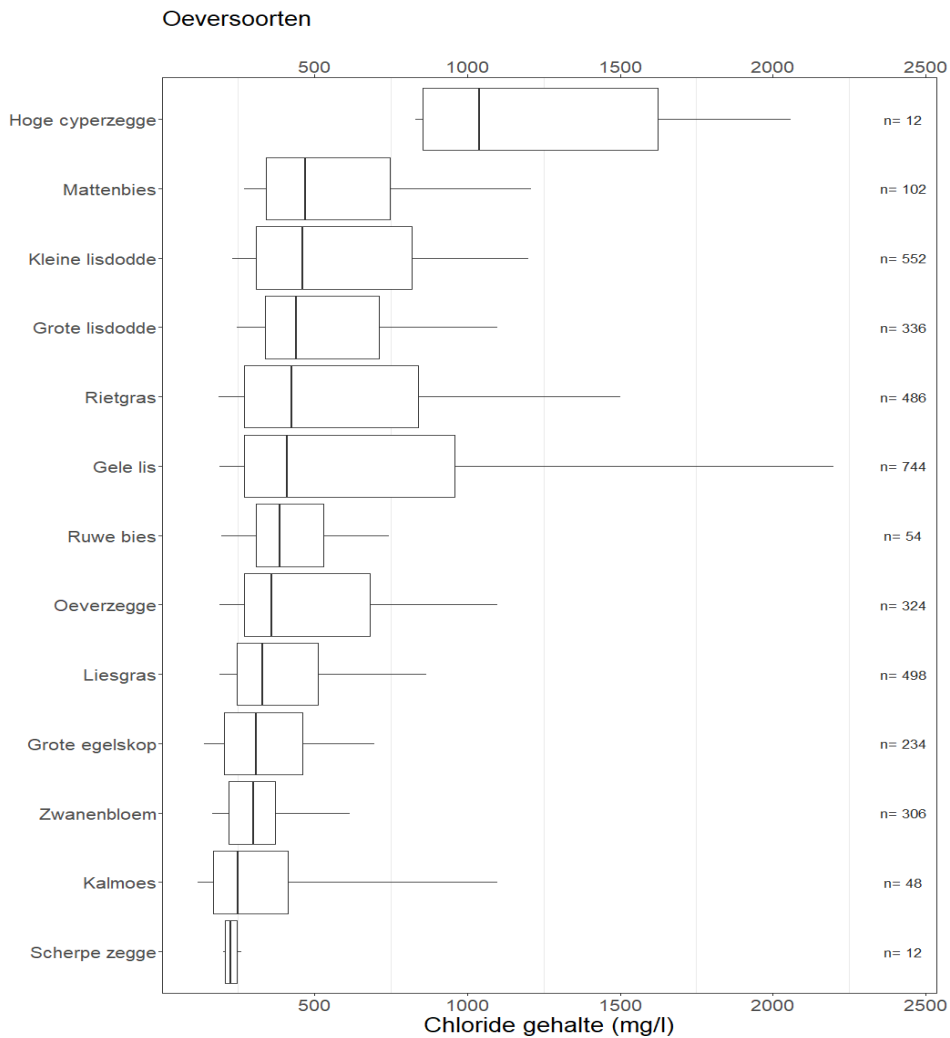
Figuur 2c: Zouttolerantie van waterplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.



Figuur 2d: Zouttolerantie van waterplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.



Figuur 3a: Zouttolerantie van oeverplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.



Figuur 3b: Zouttolerantie van oeverplanten. De box plots zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de chloride concentratie in het oppervlaktewater. Hierdoor geven deze plots inzicht in de zouttolerantie door het groeiseizoen heen. NB Let op het verschil in waarden op x-as tussen beide deelfiguren.

Effecten van trofieniveau op soorten

Naast het zoutgehalte is het trofieniveau sterk bepalend voor de soortsaamenstelling. Van de kenmerkende vegetatietypen die boven 3.000 mg Cl/L kunnen voorkomen, komt Brakwaterkransblad bij de laagste nutriëntenconcentraties (van zowel nitraat als totaal-fosfor) voor. De vegetatietypen met *Ruppia*'s hebben eveneens (zeer) lage waarden voor nitraat; de fosfaatconcentraties beslaan echter een grote range. Darmwier is kenmerkend voor duidelijk geëutrofiëerde condities van zowel stikstof als fosfaat. In de paragraaf over vegetatietypen (zie hieronder) zijn de preferenties voor nutriënten in meer detail uitgewerkt.

Effecten van natuurlijke giftige stoffen: sulfide en ammoniak

Zoals hierboven aangegeven, kunnen sulfiden al in zeer lage concentraties, rond 10 $\mu\text{mol/L}$ giftig zijn voor wortelende waterplanten. Kenmerkende brakwatersoorten, zoals *Snavelruppia*, *Spiraalruppia* en Brakwaterkransblad zijn juist tolerant voor hoge concentraties van sulfiden. Ook Schedefonteinkruid kan hoge concentraties verdragen. Op meetlocaties met de overige wortelende soorten zijn niet of nauwelijks verhoogde sulfide concentraties gemeten (concentraties onder of omstreeks de detectielimiet), wat suggereert dat deze soorten gevoeliger voor sulfide zijn.

Preferenties van vegetatietypen

In het kennisimpuls project "Brakke wateren" zijn vegetatie-opnamen van Nederlandse brakke wateren geclusterd tot vegetatietypen, en in een volgende stap zijn de abiotische preferenties van deze typen in beeld gebracht ([Van Geest et al., 2022](#)). De uitkomsten van deze clusters zijn vergeleken met de vegetatietypen van Nederland ([Schaminée et al., 1995, 2015](#)). Laatstgenoemde publicaties maken onderscheid tussen zogeheten associaties en rompgemeenschappen. Een associatie is een plantengemeenschap met een gedetailleerd omschreven floristische samenstelling die karakteristieke soorten bevat en die gekenmerkt wordt door specifieke standplaatseisen. Deze associaties zijn vaak indicatief voor een goede ecologische toestand. Een rompgemeenschap daarentegen is een (sterk) verarmde degradatietoestand ten gevolge van eutrofiering of andere verstoringen. Door deze verstoringen zijn de karakteristieke soorten verdwenen en is indeling op associatieniveau niet meer mogelijk.

Onderstaand zijn die vegetatietypes beschreven waarvan voldoende data voorhanden waren, aangevuld met het type 'vegetatieloos water'. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar [Van Geest et al. \(2022\)](#).

Vegetatietype met Snavelruppia

Dit vegetatietype komt overeen met de Associatie van Snavelruppia ([Schaminée et al., 1995](#)), en komt voor in ondiep, brak water met een kleibodem. Een belangrijk kenmerk is de schommelingen in het zoutgehalte; tijdens de zomermaanden kan dit zodanig oplopen dat andere plantensoorten dit niet overleven. Hierdoor is dit vegetatietype uiterst arm aan soorten. Snavelruppia is (net als Spiraalruppia) gebonden aan locaties met jaarrond een hoog zoutgehalte in de waterbodem. In tegenstelling tot veel andere soorten tolereert Snavelruppia hoge concentraties van sulfide in het poriewater van het sediment, tot 9.500 µmol/L.

De totaal-fosfor concentraties in de waterkolom zijn hoog en liggen in de range van 0,5 – 4 mg per liter. De concentraties van nitraat en anorganisch stikstof zijn daarentegen (zeer) laag, vooral tijdens de zomermaanden. Ook tijdens de wintermaanden zijn de concentraties van nitraat (en totaal opgelost anorganisch stikstof) laag, zeker in vergelijking met andere vegetatietypen. Op basis van deze lage concentraties van anorganisch stikstof onderscheiden beide Ruppia-typen zich van andere vegetatietypen.

Het water is tijdens de start van het groeiseizoen (april, mei) tamelijk troebel met een doorzicht tussen 0,15 – 0,50 meter. Overeenkomstig zijn de chlorofyl-concentraties hoog, grofweg tussen 30 - 150 µg chlorofyl-a/L. In het voorjaar en zomer ligt de ratio van doorzicht/diepte tussen 0,5 – 1.

Vegetatietype met Spiraalruppia

Dit vegetatietype komt overeen met de Associatie van Spiraalruppia (Schaminée et al., 1995). Ook dit vegetatietype is net als bij Snavelruppia uiterst soortenarm; naast Spiraalruppia komen alleen Schedefonteinkruid en Gesteelde zannichellia regelmatig voor.

Net als het vegetatietype met *Snavelruppia* tolereert dit type grote fluctuaties in het zoutgehalte van het oppervlaktewater, maar de maxima van dit type zijn hoger dan die van *Snavelruppia*. *Spiraalruppia* is gebonden aan locaties met jaarrond een hoog zoutgehalte in de waterbodem. Tevens tolereert dit type ook hoge concentraties van sulfiden ($> 10.000 \mu\text{mol/L}$ poriewater), en zijn de totaal fosforconcentraties in de waterkolom hoog. De concentraties van nitraat en totaal anorganisch stikstof zijn daarentegen laag. Op basis van deze lage anorganisch stikstof concentraties onderscheiden de vegetatietypen van beide *Ruppia*-soorten zich van andere typen.

Op de Nederlandse groeiplaatsen is het water tijdens de start van het groeiseizoen (zeer) troebel en binnen de range van 0,15 – 0,50 meter Secchi-diepte. Overeenkomstig zijn de chlorofyl-concentraties zeer hoog, met name in het vroege voorjaar (veelal hoger dan $200 \mu\text{g}$ chlorofyl-a/L). Niettemin zijn de lichtcondities nabij het sediment gunstig voor de groei van ondergedoken waterplanten; de ratio van doorzicht/diepte ligt namelijk in de range van 0,5 – 1.

Vegetatietype met Brakwaterkransblad

Dit vegetatietype komt overeen met de Associatie van Brakwaterkransblad ([Schaminée et al., 1995](#)). Naast Brakwaterkransblad kunnen ook andere kranswiersoorten worden aangetroffen, zoals Breekbaar kransblad, Ruw kransblad, Kustkransblad en Brokkelig kransblad. Andere begeleidende soorten zijn Zilte waterranonkel, *Snavelruppia*, Aarvederkruid en *Zannichellia*.

Vegetaties met Brakwaterkransblad groeien in ondiep, brak water met een zandige bodem, die slechts weinig organisch materiaal bevat ([Schaminée et al., 1995](#)). In de Nederlandse brakke wateren variëren de zomergemiddelde chloridewaardes tussen 600 – 1.000 mg/L; vanuit het buitenland wordt een beduidend hoger tolerantietraject van 800 – 5.000 mg/L gemeld ([Corillion, 1957](#)). In vergelijking met andere vegetatietypen zijn de concentraties van totaal-stikstof, nitraat en totaal-fosfor (zeer) laag. Op basis van de lage preferentie voor totaal-P onderscheidt dit vegetatietype zich van andere typen.

Vegetatietype met Darmwier (*Enteromorpha* ssp)

Begroeiingen met Darmwier zijn uiterst soortenarm; naast Darmwier is Klein kroos de enige soort die met enige regelmaat wordt aangetroffen. Alle soorten komen in (zeer) lage bedekkingen voor. Dit vegetatietype is kenmerkend voor licht tot sterk brakwater, grofweg binnen de range van 500 – 6.000 mg chloride per liter. De concentraties van totaal-fosfor bedragen bij de start van het groeiseizoen 0,3 – 1,3 mg per liter en stijgen duidelijk tijdens de zomermaanden. De concentraties van nitraat en totaal opgelost stikstof vertonen juist een omgekeerde trend met hoge concentraties tijdens de wintermaanden en (zeer) lage tijdens de zomer.

De mediane chlorofyl-a concentratie tijdens de start van het groeiseizoen bedraagt circa 50 µg/L, maar de maximale waarden van chlorofyl zijn daarentegen vaak juist hoog tijdens het groeiseizoen met waarden tot 160 – 190 µg/L.

Vegetatietype met Smalle waterpest en Grof hoornblad

Dit vegetatietype is een mix tussen twee rompgemeenschappen, namelijk die van Tenger fonteinkruid & Smalle waterpest en van Grof hoornblad ([Schaminée et al, 1995](#)). Regelmatig voorkomende begeleidende soorten zijn Schedefonteinkruid, Kikkerbeet en verschillende kroossoorten.

Dit vegetatietype beperkt zich tot zwak brakke condities, met chloride concentraties tijdens het groeiseizoen tussen grofweg 200 – 1.000 mg/L. De concentraties van totaal-fosfor zijn vrij hoog en bedragen bij de start van het groeiseizoen 0,3 – 1,0 mg totaal-fosfor per liter. De concentraties van nitraat zijn hoog tijdens de wintermaanden en (zeer) laag tijdens de zomer. Tijdens de start van het groeiseizoen bevinden de chlorofyl concentraties zich in de range van 10 – 100 µg per liter. Het water heeft een doorzicht van 0,2 – 0,6 meter en is over het gehele groeiseizoen constant; de ratio voor doorzicht en diepte ligt in de range van 0,4 – 1,0.

Vegetatietype van Schedefonteinkruid

Dit vegetatietype komt overeen met de rompgemeenschap van Schedefonteinkruid & Gesteelde zannichellia en is kenmerkend voor

brakke klei- en veengebieden ([Schaminée et al., 2015](#)). Er worden maar weinig andere soorten in dit type aangetroffen.

Dit vegetatietype komt in een brede range van chloride concentraties voor met zomer halfjaargemiddeldes tussen 100 – 8.000 mg/L ([Schaminée et al., 2015](#)). De concentraties van totaal-fosfor zijn hoog en liggen voor een groot deel van het jaar tussen 0,2 – 1 mg totaal-fosfor per liter; de nitraat concentraties zijn juist hoog in de winter en (zeer) laag in de zomer. De chlorofyl-a concentratie ligt in de range van 10 – 80 µg/L tijdens de start van het groeiseizoen. Het water heeft een groot deel van het groeiseizoen een doorzicht tussen 0,2 – 0,6 meter; de ratio van doorzicht met diepte ligt in de range van 0,25 – 0,6, wat een matig tot slecht lichtklimaat impliceert.

Vegetatietype met Aarvederkruid

Vegetatiekundig gezien behoort dit vegetatietype tot de rompgemeenschap van Aarvederkruid ([Schaminée et al., 1995](#)). De chloride concentratie tijdens de zomermaanden bedraagt maximaal circa 4.000 mg/L, met kortdurende pieken tot 5.000 mg/L. De concentraties van totaal-fosfor bedragen 0,1 – 0,6 mg/L tijdens de start van het groeiseizoen. De concentraties van opgelost anorganisch stikstof bedragen 4 – 6 mg per liter tijdens de wintermaanden en hebben (zeer) lage waardes tijdens de zomer.

Vegetatietype met Sterrenkroos en Klein kroos

In dit vegetatietype spelen Sterrenkroos (*Callitriche spec.*) en Klein kroos een grote rol. Naast Sterrenkroos worden alleen Schedefonteinkruid, Grof hoornblad en Klein kroos met enige regelmaat in dit vegetatietype aangetroffen. Dit type groeit tot zoutgehaltes van circa 2.000 mg Cl/L. De concentraties van totaal-fosfor bedragen 0,2 – 0,8 mg per liter tijdens de start van het groeiseizoen. De concentraties van ammonium, nitraat en opgelost anorganisch stikstof zijn hoog tijdens de winter en laag in de zomermaanden. De chlorofyl concentraties tijdens het groeiseizoen liggen in de range van 30 - 300 µg/L. Het water heeft een groot deel van het groeiseizoen een vrij smalle range van doorzicht (0,2 – 0,5). De ratio voor

doorzicht en diepte ligt tussen 0,26 – 0,6, wat een matig tot slecht lichtklimaat bij de waterbodem impliceert.

Vegetatietype van Nymphaeiden

De soortensamenstelling van dit vegetatietype bestaat uit Gele plomp, Witte waterlelie en Watergentiaan. Begeleidende soorten zijn Klein kroos, Veelwortelig kroos, Sterrenkroos spec., Grof hoornblad en Smalle waterpest. De bedekking van deze soorten is echter zeer laag.

Dit vegetatietype komt in een smalle range van chloride concentraties voor, tussen 100 – 700 mg chloride/L. De concentraties van totaal-fosfor bedragen aan het begin van het groeiseizoen 0,3 – 0,6 mg per liter, met stijgende waarden tijdens de zomermaanden. Het doorzicht ligt in de range van 0,4 – 0,6 meter, bij een waterdiepte van 0,7 – 1,2 meter. Dit resulteert in een mediane ratio van doorzicht/diepte tussen 0,4 - 0,8, wat een matig tot goed lichtklimaat bij de bodem impliceert.

Type met vegetatieloos water

Het type zonder waterplanten komt over een brede range van chloride concentraties voor, variërend van licht tot sterk brak water. Opvallend is de grote overlap in nutriëntenconcentraties met andere voedselrijke vegetatietypen van licht brakke wateren, zoals die van types met Schedefonteinkruid, Smalle waterpest en Grof hoornblad en Sterrenkroos/Klein kroos. De chlorofyl-waarden zijn echter wel beduidend hoger dan bij andere vegetatietypen van licht brak water; voor vegetatieloos water bedraagt de 75-percentiel waarde circa 200 µg/L, terwijl deze waarde voor andere licht brakke vegetatietypen in de range van 100 – 120 µg/L ligt. Dit suggereert dat lichtgebrek een rol speelt in de afwezigheid van waterplanten in dit type.

4. RANDVOORWAARDEN

Vegetatietypen die kenmerkend zijn voor wateren met een hoge ecologische kwaliteit bezitten lage drempelwaarden voor nutriënten. Voorbeelden hiervan zijn vegetaties met Snavelruppia, Spiraalruppia en Brakwaterkransblad. Dit is in tegenspraak met het beeld dat het ecologisch functioneren in brakke wateren minder gevoelig is voor

nutriënten dan in zoete wateren. Andere vegetatietypen, die veelal degradatiestadie zijn van een hogere ecologische toestand, worden aangetroffen onder meer eutrofe condities.

De abiotische randvoorwaarden voor de verschillende vegetatietypen bieden beheerders aanknopingspunten voor het bepalen van de doelstellingen voor overige waterflora voor een water en het vaststellen van de huidige toestand van overige waterflora (diagnose).

5. KENNISLEEMTES

Dit project geeft inzicht in de effecten van zoutconcentraties en -fluctuaties op waterplanten. De kennis hierover vraagt echter om verfijning: wat zijn de effecten van wisselende zoutgehalten in wateren die op de grens balanceren van zoet en brak water? Ook dient de kennisvraag wat de effecten zijn van wisselende zoutgehalten in de tijd te worden gespecificeerd. Hoe groot zijn de wisselingen in de tijd van weken, maanden en seizoenen, hoe groot zijn deze wisselingen in verschillende typen brakke wateren en hoe groot zijn ze percentueel ten opzichte van het chloridegehalte en wat zijn daarvan de effecten?

Op dit ogenblik ontbreken vaak data van wateren met de goed ecologische toestand op grond waarvan de referentietoestand in kleine, brakke binnenwateren kan worden beschreven. Tevens is vaak onduidelijk wat nu precies een goede ecologische toestand in binnendijkse brakke wateren inhoudt. Voor het beheer is het noodzakelijk om hierin meer inzicht te hebben; deze kennis is van belang voor de KRW-maatlatten, de doelafleiding en knelpuntenanalyse en de keuze voor de meest efficiënte en effectieve maatregelen.

6. BRONNEN EN LINKS

Barendregt, A. (1993): Hydro-ecology in the Dutch polder landscape. Dissertatie Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.

<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/575959>

Barendregt, A. en M.C. Bootsma (1991): Het hydro-ecologisch model ICHORS (versies 3.1 en 3.2). De relaties tussen water- en moerasplanten en milieufactoren in de provincie Utrecht. Interfakultaire Vakgroep Milieukunde Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.

<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/541003>

Barendregt, A., J.W. Nieuwenhuis en P. de Joode (1990): Milieu-indicatiewaarden van water- en oeverplanten in Noord-Holland. Provincie Noord-Holland, Dienst Milieu en Water/Interfacultaire Vakgroep Milieukunde van de Rijksuniversiteit Utrecht, Haarlem/Utrecht

Corillion, R. (1957) Les Charophycées de France et d'Europe occidentale. Bulletin de la Societe scientifique de Bretagne 32: 1 – 499.

De Lyon, M.J.H., en J.G.M. Roelofs (1986): Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. Delen I en 2. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen.

<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/244338>

Hootsmans, M.J.M. & Wiegman, F. (1998). Four helophyte species growing under salt stress: their salt of life? Aquatic Botany 62: 81-94.

[https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(98\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00085-0)

Hootsmans, M.J.M. (1996). Planten in de Peiling - The effect of chronic and temporary saltstress on growth and development of four species of helophytes-. RIZA notanr. 96.039,

Lelystad.<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/927138>

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R. B., Hammershøj, M., Have, A., 1994. Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? Hydrobiologia, 275–276(1), 15–30.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00026696.pdf>

Kerkum, EC, Pannenbakker, C. & Coops, H. (1996). *Planten in de Peiling - Kieming van oeverplanten in relatie tot het zoutgehalte in het substraat - RIZA werkdocumentnr. 96.011x, Lelystad.*

Lamers, L.P., Govers, L.L., Janssen, I.C., Geurts, J.J., Van der Welle, M.E., Van Katwijk, M.M., Van der Heide, T., Roelofs, J.G. and Smolders, A.J., 2013. Sulfide as a soil phytotoxin—a review. *Frontiers in plant science*, 4, p.268. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00268>

Moss, B. (1994). *Brackish and freshwater shallow lakes - different systems or variations on the same theme? Hydrobiologia*, 275-276(1), 1-14. doi: 10.1007/bf00026695. DOI: [10.1007/978-94-017-2460-9_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2460-9_1)

Remane, A., 1934. *Die Brackwasserfauna. Verhandlungen Der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*, 36, 34–37, zie [Remane and Schlieper, 1958](#). *Die Biologie des Brackwassers*. 348 Seiten, 139 Abbildungen, 43 Tabellen, 920 g, Die Binnengewässer, Band 22. ArtNo. ES128002200, gebunden

Runhaar, J., M. Van der Linden, and J.P.M. Witte (1997) *Waterplanten en saliniteit, CML, RIZA, LUWRIZA rapport 96.063, CML Barendregt, A. (1993): Hydro-ecology in the Dutch polder landscape. Dissertatie Rijksuniversiteit*. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/940716>

Schaminee, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, (1995). *De vegetatie van Nederland 2 Plantengemeenschappen Van Wateren, Moerassen En Natte Heiden*. KNNV. 358 pp.

Schaminee, J.H.J.; Janssen, J.A.M.; Weeda, E.J.; Hommel, P.W.F.M.; Haveman, R.; Schipper, P.; Bal, D., (2015). *Veldgids Rompgemeenschappen*. KNNV uitgeverij - ISBN 9789050115162 - 284 p.

Ter Heerdt, G.N.J. (1995). *Planten in de Peiling - Literatuuronderzoek naar de invloed van het zoutgehalte in de bodem op de ontwikkeling van helofyten - RIZA notanr. 95.041, Lelystad*. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/576653>

Tosserams, M., Vulink, J. Th. & Coops, H. (1997). *Peilbeheer Volkerak Zoommeer - Perspectief voor oeverplanten. Rapportage 'Planten in de Peiling' 1994-1997. RIZA Rapport 97.065 (ISBN: 90-369-5112-7), Lelystad*. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/966820>

Van Beers, P. & P. Verdonschot, 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 4, brakke binnenwateren. Rapport AS-04 EC-LNV, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/383247>

Van Geest, G.J., G.H.P. Arts & G. van Dijk (2022) Systeemkennis Brakke wateren, eindrapport. STOWA publicatie.

Van Vierssen, W., & Breukelaar, A. W. (1994). The Zuiderzee: transformation of a brackishwater ecosystem. In: Lake Veluwe, a macrophyte-dominated system under eutrophication stress, p 5-20.

Verhoeven, J. T. A., & van Vierssen, W. (1978a). Distribution and structure of communities dominated by *Ruppia*, *Zostera* and *Potamogeton* species in the inland waters of 'De Bol', Texel, The Netherlands. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6(4), 417-428.

[https://doi.org/10.1016/0302-3524\(78\)90132-9](https://doi.org/10.1016/0302-3524(78)90132-9)

Verhoeven, J. T. A., & Van Vierssen, W. (1978b). Structure of macrophyte dominated communities in two brackish lagoons on the Island of Corsica, France. *Aquatic Botany*, 5, 77-86. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(78\)90048-7](https://doi.org/10.1016/0304-3770(78)90048-7)

Verhoeven, J.T.A. (1979). The ecology of *Ruppia*-dominated communities in western Europe. I. Distribution of *Ruppia* representatives in relation to their autecology. *Aquat. Bot.* 6: 197-268. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(79\)90064-0](https://doi.org/10.1016/0304-3770(79)90064-0)

7. COLOFON

Dit Deltafact is geschreven in het kader van het project Brakke Wateren van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstututen aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Versie: 1, Juni 2022

Auteurs:

- G.J. van Geest, Deltares;
- G.H.P. Arts, Wageningen Environmental Research;
- G. van Dijk, Onderzoekcentrum B-WARE & Radboud Universiteit.