



Implementatie / in gebruik

## > Effecten verzilting zoete aquatische ecosystemen

IDEA/EXPLORATION



PROOF OF CONCEPT



EXPERIMENT/PILOT



IMPLEMENTATION/IN OPERATION

### INHOUD

- INLEIDING
- GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
- STRATEGIE ZOETWATERVOORZIENING (1 VASTHOUDEN, 2 BERGEN, 3 AANVOEREN)
- WERKING – ZOUTWATERTOLERANTIE VAN AQUATISCHE ORGANISMEN IN HET ALGEMEEN
- WERKING – VERZILTING EN WATERPLANTEN
- WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID VAN DE PLANTEN IN DE PLAS-DRAS ZONE (EMERGENTEN, TERRESTRISCH)
- WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID VIS
- WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID MACROFAUNA, MICROFAUNA EN ZOÖPLANKTON (ONGEWERVELDEN)
- WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID FYTOPLANKTON
- RANDVOORWAARDEN
- KOSTEN EN BATEN
- GOVERNANCE – KADERRICHTLIJN WATER EN ZOUT
- PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE ONDERZOEKEN
- KENNISLEEMTEN
- LITERATUUR
- VERANTWOORDING
- DISCLAIMER

### INLEIDING

#### *Verzilting, zoet, brak en zout vanuit verschillende perspectieven?*

De woorden 'zout', 'brak' en 'zoet' worden op verschillende manieren gebruikt, gedefinieerd en gemeten. Wetenschappelijke disciplines, zoals de **aquatische ecologie** [1, 2], **ecohydrologie** [3], hydrogeologie [4], plantenfysiologie [5], **mariene/estuariene ecologie** [6, 7], cultuurtechniek [8] en **ecotoxicologie** [9] werken met uiteenlopende groot- en eenheden zoals elektrisch geleidingsvermogen (EGV), saliniteit en chlorideconcentratie. Hetzelfde geldt voor het Nederlandse waterbeheer [10] en het natuurbeleid [11]. In deze factsheet is het woordgebruik voor zoet en zout, zo goed als mogelijk, gebaseerd op de classificaties in tabel 2. Waar mogelijk zijn zouttoleranties uitgedrukt in saliniteit of EGV **omgerekend** [7, 12] naar chlorideconcentratie, uitgedrukt in (mg/l).

Zoutklasse	Chloride concentratie (mg/l)
Zeer zoet	<150
Zoet	150-300
Licht brak /Zwak brak	300-1000
Brak	1000-5000; grote fluctuaties in chloride concentraties
Brak-Zout	5000-10.000; grote fluctuaties in chloride concentraties

Zout	>10.000
Zeewater	18.000

Tabel 1, Indeling in zoutklassen in het gegevensbestand 'Abiotische Randvoorwaarden natuurdoeltypen, gebaseerd op [3]

Verzilting is te definiëren als een proces waarbij zoet water wordt belast met zout(er) water waardoor het zoutgehalte stijgt. Deze belasting kan een gevolg zijn van (a) zoutindringing vanuit zee, bijvoorbeeld in Nederland via de benedenrivieren (externe verzilting); (b) zoute kwel (interne verzilting), vooral in diepe polders en droogmakerijen [13] met zoute grondwatervoorkomens en in zones langs zeedijken en (c) verdamping/neerslagtekort [14]. Zowel natuurlijke dynamiek als menselijke ingrepen in het watersysteem of omliggende land kunnen ten grondslag liggen aan het proces van verzilting. Op langere termijn heeft ook klimaatverandering en stijgende watervraag [15] haar invloed op verzilting, zoals onderzocht in het deltaprogramma.

Voor de effectbepaling in het aquatisch ecosysteem zijn de volgende fysische zaken van belang: (1) de stijging van het gemiddelde zoutgehalte, (2) de maximale verhoging van het zoutgehalte, (3) de duur van de piekbelasting met zout, (4) de periode in het jaar wanneer de piekbelasting plaatsvindt (5) de kans op een seizoensgebonden stijging van het zoutgehalte bezien over meerdere jaren en (6) de samenstelling van het zout (welke kationen en anionen zijn dominant) [4]. In deze factsheet beschrijven we de consequenties van verzilting voor de zoete aquatische ecosystemen.

## GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

- Dynamisch peilbeheer
- Brakke kwel
- Effecten klimaatverandering op natuur

## STRATEGIE ZOETWATERVOORZIENING (1 VASTHOUDEN, 2 BERGEN, 3 AANVOEREN)

Kennis over de effecten van verzilting op aquatische ecosystemen is o.a. relevant voor het bedenken en uitvoeren van maatregelen in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW), Natura 2000 en het deltaprogramma. Meer kennis hoe aquatische levensgemeenschappen reageren op kort of langdurende fluctuaties van het zoutgehalte in het zoete tot licht brakke domein (300-1000 mg/l chloride) levert niet alleen inzichten op over de haalbaarheid van KRW en Natura 2000 doelen, maar kan ook duidelijkheid verschaffen wat voor flexibiliteit/veerkracht het ecosysteem biedt om ook tegemoet te komen aan de watervraag van andere gebruiksfuncties zoals landbouw of drinkwater. Maatwerk bij het bepalen van de gewenste zoutgehalten (serviceniveaus), afhankelijk van de functies en natuurdoelen per polder en/of boezemstelsel is wel vereist. Bij inlaat van gebiedsvreemd water is van belang naast zout ook naar de andere waterkwaliteitsvariabelen te kijken.

## WERKING – ZOUTWATERTOLERANTIE VAN AQUATISCHE ORGANISMEN IN HET ALGEMEEN

Tabel 2 geeft een generaliserend overzicht van de zouttolerantie van verschillende componenten uit het aquatisch ecosysteem. In deze tabel is het zoutgehalte omgerekend naar het chloridegehalte door toepassing van de omrekening: [Chloride concentratie] = [Saliniteit] / 1,807. Deze omrekening is toegestaan voor de verdunning van zeewater, waarin een vaste verhouding tussen de totale hoeveelheid zout en de hoeveelheid chloride bestaat. De formule is niet geldig bij saliniteitgehalten onder de 20‰ [7, 12].

Taxa	Drempelwaarde uitgedrukt in saliniteit (mg/l)	Omgerekend naar chloride (mg/l)	Effect
Kleine meercelligen	Niet tolerant/zeer gevoelig		Lethale effecten
Macro-invertebraten zonder impermeabel exoskelet	Niet tolerant/zeer gevoelig		Lethale effecten
Micro-invertebraten (o.a. zoöplankton)	<2000 mg/l	≈ <1100	Lethale effecten
Grootste deel van de macro-invertebraten	2000 mg/l	≈ <1100	Negatieve effecten
<i>Chironomus riparius</i>		<5000	Lethale effecten
Grootste deel van de submerse aquatische vegetatie	1000-2000 mg/l	≈ 550-1100	Sublethale effecten, lethale effecten voor sommige soorten.
<i>Chara</i> spp. (kranswieren)	1000-3000	≈ 550-1700	erdwieren uit Australische

			wetlands bij deze zoutconcentraties.
<i>Nitella</i> spp. (kranswieren)	1000-5000	≈ 550-2800	Verdwenen uit Australische wetlands bij deze zoutconcentraties.
Veelvoorkomende kosmopolitische macrofyten	4000	≈ 2200	Verdwenen uit Australische wetlands bij deze zoutconcentraties.
Riparian trees	>2000	>1100	Negatieve effecten
Juveniele vis: kuit (pre-hardened eggs)	2000-4500	≈ 1100 - 2500	Negatieve effecten
Juveniele vis: groeisnelheid, overleving, gezondheid sperma	3000-5000	≈ 1700 - 2800	Optimale saliniteit tussen deze waarden.
Volwassen vis	8800	≈ 4900	Most tolerant up to this level
Broedsels van watervogels (eieren)	15300	≈ 8500	Meeste eieren worden gevonden in water onder dit saliniteitsniveau.
<i>Lamprothamnium</i> spp (een kranswier)	2000-58000	≈ 1100 - 32000	

Tabel 2, Generalisatie van zouttoleranties in het aquatisch ecosysteem, gebaseerd op waarnemingen en expert oordeel.

Er zijn de volgende **aanpassingsstrategieën te onderscheiden voor aquatische flora en fauna** [16]:

- Acclimatiseren aan het zout. De snelheid van de verzilting in het fysieke systeem is daarbij belangrijk. Als de verzilting langzaam gaat kunnen plant en dier zich hier fysiologisch op instellen. Het gaat hierbij om osmo-regulatie of de actieve excretie van zout (bv bij vissen). Het blijkt dan ook dat er hogere zouttoleranties worden gevonden bij langzaam toenemende blootstelling aan zout dan bij acute blootstelling aan een hogere concentratie [17].
- Het vermijden van het zout door dispersie, (re)kolonisatie of tijdelijk in rust gaan als zaad of een ander overlevingsorgaan [18].

Wanneer de zoutshock voorbij is kan vanuit naburige locaties of systemen, het verloren terrein opnieuw gekolonialiseerd worden, bijvoorbeeld door de verspreiding van zaad door vogels [19, 20]. Dispersiemechanismen zijn veelzijdig onderzocht voor **terrestrische ecosystemen** [21], maar minder voor aquatische systemen. In hoeverre dispersie en rekolonisatiestrategieën van populaties succesvol zijn na verzilting, hangt ook af van andere factoren, zoals competitie met andere soorten en blootstelling aan andere stressfactoren (eutrofiëring, inlaat systeemvreemd water).

Er kunnen verschillen zijn in de historische blootstelling aan verzilting en verzoeting (natuurlijke selectie) waardoor de zouttolerantie van bijvoorbeeld een specifieke vissoort uit bijvoorbeeld het Scheldestroomgebied substantieel kan verschillen van dezelfde soort in het Rijnstroomgebied [22, 23].

## WERKING – VERZILTING EN WATERPLANTEN

Veel zoetwaterplanten kunnen overleven tot een saliniteit van circa 1000 à 2000 mg/l [16, 17]. Boven deze waarde neemt bij veel soorten de groeisnelheid af en zijn de bladeren en wortelsysteem kleiner [24]. Algemene, wijdverbreide zoetwatersoorten (kosmopolieten) worden in het veld vaak niet meer waargenomen bij een saliniteit hoger dan 4000 mg/l [25].

Er is minder bekend over de overlevingskansen en herstelcapaciteit van aquatische macrofyten die voor een bepaalde periode aan een hoger chloridegehalte worden blootgesteld, met uitzondering van onderzoek in Australië [16, 17]. In Australië is in een experiment voor enkele karakteristieke moeraswaterplanten voor Australië gekeken wat het effect is van een blootstelling van water met een saliniteit van respectievelijk 1000, 4000 en 8000 mg/l, gevolgd door een herstelperiode in zoetwater. Uit het experiment blijkt dat bij deze planten fysiologische stress waarneembaar is, maar ook dat deze vier soorten zich na een blootstelling van 3 tot 6 weken grotendeels ook kunnen herstellen. De proef is alleen gedaan met volwassen individuen, de resultaten geven geen inzicht wat dit betekent voor de bloei, voortplanting, ontwikkeling en kieming van zaden.

### **Stratoides aloides (Krabbenscheer)**

Ter illustratie, dat zout meer is dan alleen chloride, gaan we in op de zoutgevoeligheid van de Krabbenscheer (*Stratoides aloides*). De Krabbenscheergemeenschap is een habitatype binnen Europese regelgeving voor natuurbeheer en karakteristiek voor de Nederlandse laagveengebieden. De soort wordt in de praktijk veelzijdig benoemd als een **zoutgevoelige soort** [26]. De soort is tevens belangrijk voor **andere soorten**, in bijzonder de zwarte stern (*Chlidonias niger*), de groene glazenmaker (*Aeshna viridis*) en de bittervoorn (*Rhodeus amarus*) [27].

De rozetvormige planten overwinteren op de onderwaterbodem en komen in het voorjaar omhoog. Gedurende de zomer

drijven de planten op het water en zinken weer af naar de bodem in het najaar [28]. Krabbenscheer kan zich zeer snel ongeslachtelijk vermeerderen. Hierdoor kan de krabbenscheer, wanneer de omstandigheden goed zijn, in zeer korte tijd een groot oppervlak bedekken [29, 30]. Geslachtelijke voortplanting komt maar zelden voor [31]. Krabbenscheer is een soort van matig voedselrijke wateren. In Nederland is Krabbenscheer in de jaren zeventig en tachtig sterk achteruitgegaan, op dit moment lijkt de soort zich langzaam weer **te herstellen** [29]. De achteruitgang wordt vaak gerelateerd aan eutrofiëring door de directe verrijking van het oppervlaktewater met voedingstoffen en de inlaat van gebiedsvreemd water uit de grote rivieren [32]. Dit water is relatief hard en bevat tevens veel **sulfaat** [33, 34], een zout. Het sulfaat kan ook via kwel in het systeem komen, als gevolg van onderbemaling), en kan leiden tot het oxideren van **pyriet tot sulfaat** [27, 35]. Er heeft lang debat bestaan tussen wetenschappers welke sulfaatbron het belangrijkste is voor de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater. Recentelijk is er **consensus** bereikt [36]: "*Sulfaat in inlaatwater is weliswaar de belangrijkste externe bron, maar deze bron is altijd geringer dan de vorige en draagt slechts in geringe mate bij aan de mineralisatie van de veenbodem, omdat zuurstof vrijelijk de uitdrogende bodem binnendringt en dus voldoende beschikbaar is. Onderwaterbodems zijn een belangrijke tijdelijke opslagplaats van zwavel, die door baggeren periodiek geleegd wordt en dan verdeeld wordt over het land, waardoor de zwavel weer beschikbaar komt. Een drempelwaarde voor het voorkomen van een soortenrijke onderwatervegetatie (start voor het verlandingsproces) ligt rond de 10-15 mg SO<sub>4</sub>-S l<sup>-1</sup> (0.3-0.5 mmol l<sup>-1</sup>).*"

Door de omzetting van sulfaat in sulfide in de bodem, wortelrot (sulfide vergiftiging) optreden, kunnen de planten ook last krijgen van ijzergebrek en kan ammonium toxicatie optreden [34]. Dit kan herkend worden aan een lichtgroene of zelfs gele kleur van de bladeren [29]. Ook het peilopzet in sloten heeft invloed op het voorkomen van de Krabbenscheer, een hoog waterpeil is belangrijk [27].

Er is geen literatuur gevonden met empirisch bewijs over de directe relatie tussen het voorkomen van de Krabbenscheer en chloride/saliniteitsgehalten. Voor sulfaat wel. Sulfaat is een anion en draagt natuurlijk bij aan de saliniteit van water, dus indirect is er wel een verband tussen zoutgehalte/zoutgevoeligheid van deze soort via sulfaat. In de **Limnodatabase** worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 29 en 135 mg/l chloride voor Krabbenscheer. Het is echter ook duidelijk dat botanische verschillen tussen onze laagveen gebieden sterk samenhangen met zout, zo vind je krabbenscheer en waterviolier wel in Nieuwkoop en niet in Botshol (persoonlijke mededeling Flip Witte).



Links: Krabbenscheer en gele plomp nabij Reeuwijkse plassen (Foto: Jeroen Veraart, mei 2011)

Rechts: Moerasviooltje (viola palustris) nabij Nieuwkoopse plassen (Foto: Sija Stofberg, voorjaar 2013)

## WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID VAN DE PLANTEN IN DE PLAS-DRAS ZONE (EMERGENTEN, TERRESTRISCH)

Zout kan op verschillende manieren fysiologische en toxische effecten hebben op terrestrische natuur, hierbij zijn ook parallellen te trekken met expertise over **zouttoleranties bij landbouwgewassen** [37]. Zout verhoogt bijvoorbeeld de **zuigspanning in de bodem** [38] waardoor planten moeilijker water kunnen nemen. Anders dan bij aquatische natuur is bij terrestrische en wetland natuur aan de orde in hoeverre soorten daadwerkelijk worden blootgesteld aan zout dat wordt aangevoerd via het grond- of oppervlaktewater. Immers, Nederland heeft op jaarbasis een neerslagoverschot, waardoor zich in de wortelzone van deze planten regenwaterlenzen kunnen vormen. Deze neerslaglenzen kunnen ervoor zorgen dat de blootstelling van soorten aan brak of zout water van onderaf (zoute kwel) of zijdelings (indringing vanuit oppervlaktewater) beperkt blijft.

Empirische kennis uit laboratorium-, kas- of veldexperimenten met betrekking tot terrestrische of wetlandsoorten en ecosystemen uit Europa of andere gematigde streken is betrekkelijk schaars [39-43]. Dit soort experimenten varieert bovendien vaak ook in proefopzet, gemeten responsvariabelen en internationale studies hebben vaak ook betrekking op soorten die in Nederland niet voorkomen. Daarnaast is er kennis gebaseerd op veldwaarnemingen structureel (monitoring) of incidenteel verzameld bijvoorbeeld gedaan tijdens **droge perioden** [26]. Een nadeel hiervan is dat de geldigheid van deze informatie enigszins anekdotisch is en beperkt blijft tot een gebied of een bepaalde natte of droge weerperiode.

Ook zijn er in Nederland studies uitgevoerd op basis van een risico-benadering voor verzilting en natuur [risico = kans x effect] in het **Veenweidegebied / West-Nederland**, [44, 45] en in het **Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta** [46]. Deze databases en de beschreven risicobenadering lenen zich het best voor toepassing in landsdekkende of regionale verkenningen en minder voor gedetailleerde uitspraken op standplaatsniveau. Een voordeel van de genoemde databases is dat ze via een uniforme benadering gegevens beschikbaar maken over een brede (vaak landsdekkende) reeks vegetatietypen, natuurtypen, habitattypen of plantensoorten. Het nadeel van deze benadering is dat de gegevens vaak correlatief bepaald zijn of gebaseerd zijn op expertkennis. Empirisch vastgestelde dosis-effectrelaties of schadedrempels zijn een belangrijke lacune in deze benadering.

Typisch voor terrestrische en wetland-milieus is dat het effect van verhoogde zoutconcentraties niet altijd kan worden

gescheiden van het effect van droogte, zoals ook bij landbouwgewassen het geval is [38]. In een substantieel deel van de natuurterreinen in gebieden met zoutbelasting in laag Nederland speelt het dilemma of in een droge periode droogteschade voor verschillende waterafhankelijke functies kan worden tegengegaan met het al dan niet inlaten van licht brak water. Verhoogde zoutconcentraties betekent in wetland bodems doorgaans ook meer sulfaat, waarbij onder anoxische condities sulfide kan ontstaan dat voor flora en fauna giftig is.

In Kennis voor klimaat wordt nader onderzoek gedaan naar de daadwerkelijke blootstelling aan zout in de wortelzone van terrestrische en wetland-systemen. Dit onderzoek richt zich vooral op de hydrologie en de vegetatie op kraggen, die bijvoorbeeld in de Nieuwkoopse Plassen te vinden zijn [47]. De uitkomsten van dit onderzoek leveren een bijdrage aan de onderbouwing van toepassingsgerichte methodieken, zoals de risicobenadering verzilting en natuur, ten behoeve van het Nederlandse water- en natuurbeheer en -beleid.



Foto: Onderzoekster Sja Stofberg die voor haar promotie onderzoek (promotoren: Sjoerd van der Zee van Wageningen Universiteit en Flip Witte (Vrije Universiteit Amsterdam) monsters neemt om de doorlatendheid mee te testen in Kraggen bij de Nieuwkoopse plassen. Op de foto zie je een speciale grondboor voor wortelmatten[48]. Verder zie je een peristaltische pomp die we gebruiken om aan de ene kant de inhoud van de boor vacuüm te zuigen, en aan de andere kant lucht in de bodem te blazen om het monster makkelijker omhoog te krijgen. (Foto: Federica Pegoraro)

## WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID VIS

Volwassen zoetwatervis is in staat om te overleven onder brakke condities tot circa 8.8‰ saliniteit [16]. Veel zoetwater vissen migreren ook gedurende hun levenscyclus naar de zee of oceaan. Vaak doen jong adulte individuen dit voor het verkrijgen van voedsel of voor de voortplanting. Echter, veel soorten zijn afhankelijk van water met een saliniteit die lager is dan 5-6‰ voor de embryonale ontwikkeling na het kuitschieten [16, 49]. Het optimum voor de embryonale groeisnelheid ligt voor veel zoetwatersoorten, verrassenderwijs, vaak in het licht brakke tot brakke domein binnen deze range [50]. We werken, ter illustratie de informatie uit die we gevonden hebben voor de Zeelt (een illustratieve soort voor de Krabbenscheergemeenschap/natuurdoeltype), kleine modderkruiper (Rode lijst soort) en snoek (belangrijk voor waterbeheer).

### **Zeelt (*Tinca tinca*)**

De Zeelt schiet kuit bij een watertemperatuur van 18 tot 20 graden Celsius [51-55]. De mannetjes zijn na 3 jaar volwassen en de vrouwtjes na 4 jaar [56]. In de zomermaanden prefereert de soort koel water in schaduw of in diepere gedeelten[55]. De vis houdt zich schuil gedurende de dag en foerageert na zonsondergang [57, 58]. De soort is gevoelig voor verlies aan habitat met vegetatie [59], hoge predatiedruk [60] en eutrofiering [61]. De soort kan brakke omstandigheden aan, en is in Europa aangetroffen in estuariene condities met saliniteitswaarden tot circa 10-12 ‰ (≈ 5,5-6,6 g/l chloride) [62]. In toxicologische experimenten is een lethale 24 uur-dosis berekend van 15.4 ‰ [57] en een maximaal toelaatbaar risico van 13.8‰ [63].

### **Kleine Modderkruiper (*Cobitis taenia*)**

Uit laboratorium testen [49] is gebleken dat de kleine Modderkruiper zich succesvol kan ontwikkelen bij een saliniteit tussen 0.12 en 4.80 ‰. Uit deze testen bleek ook dat bij een saliniteit van 6.00 ‰ de groei van de vis sterk geremd wordt. De groei stopte boven een saliniteit van boven 7.20 ‰. Onder de 0.12‰ was de groei instabiel. De gevonden bovenlimiet van 4.80‰ (≈ 0,3 g/l) komt overeen met observaties in het veld in de Baltische kust. Hier kan uit geconcludeerd worden dat de soort zich ook kan ontwikkelen in brakke habitats.

### **De snoek (*Esox lucius*)**

Literatuur over de overlevingskansen van de snoek in brakke omstandigheden is schaars. In een Noors toxicologisch onderzoek [64] zijn de overlevingskansen van snoek onderzocht bij een kortdurende blootstelling (72 tot 96 uur) aan zout, een piekbelasting. In de proef werd de saliniteit gevarieerd tussen de 9-14 ‰ ((≈ 5 - 8 g/l) in combinatie met verschillende temperaturen (10, 14 en 18 °C). De gevonden LC50 waarden lagen tussen de 11.2 en 12.2‰, het effect was het grootst bij hogere temperaturen. Opvallend was dat de mortaliteit significant hoger en sneller was voor de grote vissen in vergelijking tot de kleinere vissen. De onderzoekers stellen dat deze resultaten betekenen dat de snoek in ieder geval gedurende korte tijd een piekbelasting met brak-zout water kan overleven. In een vervolg-experiment [65] is gekeken hoe kuit en juvenielen van een brakwater populatie van Snoek uit het westelijke gedeelte van het Baltische zee gebied zich ontwikkelen vanaf waarden van 8.5 psu (P.S.U. is een maat voor het zoutgehalte dat in de mariene ecologie soms wordt gebruikt.). Bij 13 psu vertoonden de juvenielen stress en nam de groeisnelheid af.

## WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID MACROFAUNA, MICROFAUNA EN ZOÖPLANKTON (ONGEWERVELDEN)

Het zoutgehalte van het water is één van de belangrijkste sleutelfactoren voor aquatische ongewervelden. In sloten en

meren werd een sterk verband gevonden tussen een afname van de soortenrijkdom en een stijging van het chloridegehalte [66, 67]. De belangrijkste reden hiervoor is dat de zoutconcentratie een direct effect heeft op de fysiologie van ongewervelden. In veel zoetwatersoorten verloopt de osmoregulatie via passieve mechanismen. Bij een verhoging van het zoutgehalte kunnen deze organismen hun inwendige ionenconcentratie op peil houden, totdat de zoutconcentratie in het water die van de lichaamsvloeistof benadert [66]. De concentratie opgeloste stoffen in de lichaamsvloeistof zoetwaterdieren is soort specifiek en ligt grofweg tussen de 1 en 15 g/L [68]. Voor de meeste zoetwatersoorten is dit getal de lethale drempelwaarde. Echter, negatieve effecten op groei, ontwikkeling, reproductiecapaciteit en gedrag worden meestal al opgemerkt bij een chloridegehalte van ongeveer 550 mg/L (omgerekend van saliniteit) [68]. Een belangrijke reden hiervoor is dat het in stand houden van de juiste inwendige ionenbalans veel energie kost. Negatieve consequenties van een verhoging van het zoutgehalte treden dus al veel eerder op dan de lethale drempelwaarde. Verder hebben factoren zoals het levensstadium, conditie, en andere milieufactoren invloed op de zouttolerantie [68].

De subtiele effecten van een stijging van het zoutgehalte op de fauna is ook terug te zien in **de habitatpreferenties** van de Nederlandse zoetwaterfauna [69]: van de 1316 taxa waarvan de zoutpreferentie bekend is, preferereert 86% van de soorten een chloridegehalte onder de 300 mg/L. Echter, veel soorten worden nog - zij het minder frequent en in lagere dichtheden - aangetroffen op plekken met een hoger chloridegehalte [70]. Er is sprake van een zeer geleidelijke overgang in de range 1000-3000 mg/L, waarbij steeds meer zoetwatersoorten verdwijnen en de zoutwatersoorten toenemen [71]. Vooral het aantal soorten kreeftachtigen neemt sterk toe bij stijgende chlorideconcentratie [72]. Kokerjuffers, haften en steenvliegen zijn groepen waarvan veel soorten erg gevoelig zijn voor hoge chlorideconcentraties. Vedermuggen (Chironomidae), kevers en wantsen blijven daarentegen lang goed vertegenwoordigd binnen de levensgemeenschap. Voor de meeste soorten zijn de exacte drempelwaarden waarop (sub)lethale effecten optreden onbekend. Een moeilijkheid bij het vaststellen van de effecten van verzilting op het verdwijnen van ongewervelden is dat er meestal sprake is van multistress-situaties, waarbij bijvoorbeeld concentraties van voor de fauna toxische stoffen toenemen, er veranderingen optreden in de onderwatervegetatie of het water troebeler wordt [16, 67].

De zoetwatersoorten die in eerste instantie weinig hinder ondervinden van de gestegen zoutconcentratie zijn diegene die, hetzij in beperkte mate, hun inwendige zoutconcentratie kunnen verhogen of hun interne zoutconcentratie onder die van het water kunnen houden, waardoor ze bij hogere zoutconcentraties kunnen overleven. Deze soorten passen zich dus aan wanneer de zoutconcentratie stijgt [73]. De frequentie, duur, timing en snelheid waarmee concentraties stijgen bepalen in hoeverre soorten zich kunnen acclimatiseren aan een verandering in het zoutgehalte [16]. Ook heeft een sterk fluctuerend zoutgehalte veel grotere effecten op de levensgemeenschap dan een constant of langzaam stijgend zoutgehalte. Aanpassing kan ook spelen op een veel grotere (historische) tijdschaal, zo zijn populaties van bepaalde soorten ongewervelden in gebieden waar het water in het verleden zouter was toleranter voor een stijging in zoutgehalte dan populaties van dezelfde soort waar dit niet het geval was [16].

Ongewervelden kunnen verzilting ook overleven door de perioden van hoge zoutconcentraties te ontwijken. Veel aquatische insecten kunnen als volwassen dier vliegen en kunnen zich zo verplaatsen naar meer geschikte wateren. Andere soorten kunnen als ei of cyste minder gunstige perioden overbruggen. Wanneer in een gebied verzilting slechts optreedt in een deel van de wateren, kunnen de overgebleven zoete systemen dienen als bron van kolonisten. Dispergerende individuen kunnen zo de plekken waar gevoelige soorten verdwenen zijn opnieuw bezetten.

## WERKING – ZOUTGEVOELIGHEID FYTOPLANKTON

Er zijn ontzettend veel fytoplanktonsoorten, ingedeeld in groenwieren, bruinwieren, blauwwieren en blauwalgen. Iedere soort heeft zijn specifieke optimale abiotische omstandigheden. Ze zijn te vinden in de zoute oceanen tot in de zoete sloot. Wanneer voedingstoffen ruim aanwezig zijn, graasdruk beperkt is en de verblijftijd van het water lang is, kunnen bepaalde soorten overmatig groeien en het water troebel maken (algenbloeï). Wanneer de betreffende algensoort gevoelig is voor zout kan verzilting of doorspoeling van het watersysteem (verkorten verblijftijd) theoretisch ingezet worden als 'bestrijdingsmiddel' tegen de algenbloeï. In Nederland is in het kader van het **blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer** ook gekeken wat voor effect verzilting, doorspoelen (met zoet water) en veranderende graasdruk betekent als maatregel om blauwalgenbloeï te bestrijden [14, 74-78]. Bij verzilting in het Volkerak-Zoommeer wordt bedoeld dat het gemiddelde chloridegehalte in het water wordt verhoogd tot circa 10-11 g Chloride per liter in combinatie met getempt getijde. Op dit moment varieert het chloridegehalte in dit watersysteem tussen 200 en 1000 mg/l chloride, met een streefwaarde van 450 mg/l chloride (waterakkoord).

## RANDVOORWAARDEN

Niet van toepassing, deze factsheet betreft geen innovatie.

## KOSTEN EN BATEN

### Kosten

Inzichten over zoutgevoeligheid van het aquatisch ecosysteem is bruikbaar bij het vaststellen van inlaatnormen en doorspoelcriteria. Als uit onderzoek of uit praktijkervaringen blijkt dat er mogelijkheden zijn om deze normen flexibeler te maken, dan is vervolgens een investering noodzakelijk om met de betrokken actoren afspraken te maken over nieuwe inlaatcriteria in de vorm van bijvoorbeeld een waterakkoord of peilbesluit. Deze kosten moeten niet onderschat worden en kunnen substantieel zijn, zeker bij verschil van inzicht bij verschillende belanghebbenden. Wanneer iedereen akkoord is zijn er geen extra kosten ten opzichte van het huidige waterbeheer.

### Baten/vermeden kosten

Flexibele inlaattregels op maat per functie/regio beperkt de inzet van de Kleinschalige Water Aanvoer procedure, mede in het licht van klimaatverandering [79], in het kader van het Deltaprogramma is voorgesteld om de Kleinschalige Water

Aanvoer procedure robuuster te maken[80]. Verder kunnen KRW doelen kosten effectiever gerealiseerd worden voor de regionale waterbeheerder.

## GOVERNANCE – KADERRICHTLIJN WATER EN ZOUT

De zoutnormering die in de kaderrichtlijn Water per type waterlichaam zijn afgesproken (tabel 3), zijn afgeleid uit een assessment van toxicologische dosis-effect studies uitgevoerd door het RIVM, RIZA en STOWA [9, 81-84]. Het RIVM beschrijft de MTR (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau) en ER (Ernstig Risiconiveau) voor oppervlaktewater, bodem en sediment. Dit zijn wetenschappelijk afgeleide waarden die dienen als advieswaarden. Deze milieurisicogrenzen hebben geen officiële status [85]. Binnen de kaderrichtlijn water wordt veel gewerkt met het concept van **cenotypen** [86-88] om de ecologische toestand van sloten en stromende wateren globaal te omschrijven op basis van aanwezige macrofauna (veld data).

Watertype	Ecologische toestand (macrofauna)		
	Chloride in mg/l		
	Zeer goed (ZGET)	Goed (GET)	Matig of slechter
Grote rivieren (zoet)	≤ 150	≤ 150	≤ 200 (matig) ≤ 250 (ontoereikend) ≤ 250 (slecht)
Meren en plassen (zoet)	≤ 200	≤ 200	≤ 250 (matig) ≤ 300 (ontoereikend) ≤ 300 (slecht)
Uitlopers grote rivieren (getijdenwater)	≤ 300	≤ 300	≤ 350 ≤ 400 ≤ 400
Zwak brak water	300-3000	300-3000	<300 >3000
Kleine brakke tot zoute wateren	3000-10000	≥ 3000	<3000
Grote brakke tot zoute wateren (exclusief de zee)	10000-18000	≥ 10000	<10000

## PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE ONDERZOEKEN

### Limnodatabase (STOWA), [www.limnodata.nl](http://www.limnodata.nl)

Binnen Kennis voor Klimaat is in het kader van een studie voor **het boezemstelsel van Schieland** [79] voor een geselecteerd aantal soorten literatuuronderzoek gedaan naar de zout/chloride tolerantie en zijn chloride responsietabellen (Cl10, CL25, CL50, CL90) opgesteld op basis van geregistreerde waarnemingen in de Limnodatabase van STOWA. Deze responsietabellen van STOWA zijn gebaseerd op Nederlandse veldgegevens[89-91]. Er is van verschillende soorten bekend dat op basis van buitenlandse veldobservaties er hogere zouttolerantie grenzen, vastgesteld kunnen worden [92]. Dit komt bijvoorbeeld omdat er in het buitenland meer veldgegevens beschikbaar zijn van de lichtbrakke tot brakke milieus, maar kan ook verklaard worden door genetische aanpassingen binnen de soort.

### KRW Verkenner (DELTA RES), <https://publicwiki.deltares.nl/display/KRWV/KRW-Verkenner>

De KRW-Verkenner is een analyse-instrument voor het doorrekenen van effecten van KRW- maatregelen op de ecologische en chemische kwaliteit van het oppervlaktewater. Het geeft de gebruikers inzicht in de effectiviteit van maatregelen en maatregelpakketten in relatie tot de KRW-doelen. Voorbeelden van maatregelen zijn het aanpakken van puntbronnen zoals rioolwaterzuiveringsinstallaties of diffuse bronnen zoals landbouw of verkeer. Ook kan de KRW-Verkenner de effecten van ecologische maatregelen zoals het opnieuw meanderen van een beek of het aanleggen van natuurvriendelijke oevers doorrekenen. Veel nuttige data van de waterbeheerders is ook te vinden op het **KRW-portaal**.

### Effectmodellen natuur (in beeld bij Deltaprogramma)

Door STOWA wordt momenteel een overzicht gemaakt van modellen die effecten kunnen bepalen door veranderingen in de waterhuishouding, zoals (maar niet alleen) verzilting. Het gaat om modellen zoals Demnat (Deltares), Habitat (Deltares), ITORS/ICHORS (Universiteit Utrecht), SMART-Sumo / SMART-MOVE (Alterra/PBL) en NHI-Probe (KWR). Beschrijvingen van deze modellen zijn ook gemaakt door NMDC [93], zie ook **Deltafactsheet Klimaat & Natuur**. Een combinatie van empirische data en expertkennis komt ook voor bijvoorbeeld toegepast in DEMNAT [94]. Zie ook [http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water\\_en\\_ruimte/demnat/](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water_en_ruimte/demnat/).

### Ellenberg indicatiewaarden

Er bestaan verschillende databases met responsgegevens van soorten of natuurtypen voor zout. Zo zijn er Ellenberg-indicatiewaarden voor zout[11, 95], eveneens correlatieve gegevens over zoutpreferentie maar dan op basis van metingen [96], zie ook <http://www.abiotic.wur.nl/>.

### Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna

Werkgroep Ecologisch Waterbeheer (WEW), <http://www.wew.nu/publicaties.php>.

Hier zijn habitatpreferenties macrofauna met betrekking tot het chloridegehalte te vinden.

## Kennis voor Klimaat

Binnen kennis voor klimaat loopt onderzoek op het gebied van verzilting en waterkwaliteit in [thema 2 Zoetwatervoorziening](#) en in de [Hotspot Ondiepe Wateren en Veenweide gebieden](#). Ecohydrologisch onderzoek vindt plaats in zowel [thema 2](#) en [thema 3 \(CARE\)](#). CARE richt zich op ecohydrologische vraagstukken in Hoog Nederland terwijl thema 2 zich meer richt op de gebieden in Laag-Nederland.

## KENNISLEEMTEN

- Er is over het algemeen weinig literatuur gevonden over het herstelvermogen van de aquatische leefgemeenschap in relatie tot de blootstelling tot lichtbrak water (300-1000 mg/l chloride). Dit maakt het moeilijk om beter inzicht te krijgen op de effecten van de inlaat van lichtbrak water op de aquatische levensgemeenschap. Hoe verzilting optreedt is essentieel: de frequentie, duur, timing en snelheid waarmee concentraties stijgen bepalen in hoeverre soorten zich kunnen aanpassen aan een verandering in het zoutgehalte. De relatie tussen deze parameters en het verdwijnen van soorten moet worden onderzocht.
- De responsietabellen uit de Limnodatabase voor chloride zijn niet altijd representatief voor de daadwerkelijke zouttolerantie van de geselecteerde waterplanten omdat de habitats met hogere chloridegehalten, waar deze soorten soms ook nog in kunnen voorkomen (volgens observaties in het buitenland), weinig in Nederland te vinden zijn. Er zijn weinig vergelijkende studies tussen veldwaarnemingen in verschillende landen.
- Veel van de zouttoleranties voor soorten in het aquatisch ecosysteem zijn in de internationaal wetenschappelijke literatuur uitgedrukt in saliniteit en niet in chloride. Er is een algemene omrekenfactor (UNESCO, 1973), maar die mag eigenlijk niet toegepast worden voor water met een saliniteit < 20‰. Het omrekenen van zouttoleranties met deze formule kan tot verkeerde inschattingen van de risico's op zoutschade leiden voor aquatisch ecologische levensgemeenschappen. Het verdient de voorkeur om per watersysteem een specifieke omrekenfactor vast te stellen op basis van tijdreeksanalyse van gemeten chloride, EGV en saliniteit. Voor het vaststellen van zouttoleranties voor natuur is het misschien beter om een maat te gebruiken voor alle zouten (e.g. EGV of saliniteit) bij het vaststellen van gebiedsgerichte inlaatnormen, dit blijkt onder andere voor de Krabbenscheer.
- Bij het vaststellen van de effecten van klimaatverandering op de aquatische levensgemeenschap in relatie tot de inlaat van lichtbrak water is het aan te bevelen om ook te kijken naar het effect van stijgende water temperatuur in combinatie met veranderende zoutdynamiek.
- Voor de meeste macrofaunasoorten zijn de drempelwaarden waarop sub lethale en lethale effecten optreden onbekend. Om de effecten van verzilting in beeld te krijgen moeten deze worden vastgesteld voor een representatieve groep (indicator)soorten. Zeker omdat de aan- of afwezigheid van de soorten direct gekoppeld is aan KRW-doelen.
- Er bestaan nog veel kennisleemten op het vlak van de daadwerkelijke blootstelling aan zout in de wortelzone van terrestrische en wetland-systemen en bovendien is het nog niet mogelijk om tot een eenduidige kwantificering van schadependrempels en hersteltijden te komen voor terrestrische natuur.

## LITERATUUR

**Deze factsheet is gebaseerd op ongeveer 100 publicaties, dit betreffen onderzoeksrapporten en wetenschappelijke publicaties. In de tekst is met nummers [nr ] aangegeven waar een literatuurreferentie van toepassing is.**

1. Remane, A. and C. Schlieper, 1971, *Biology of brackish water*, New York: John Wiley & Son.
2. Nijboer, R.C., P.F.M. Verdonschot, and M.W. Van den Hoorn, 2003, *Macrofauna en vegetatie van de Nederlandse sloten: een aanzet tot de beoordeling van de ecologische toestand*, Alterra: Wageningen. p. 256 p. Alterra rapport 688
3. Wamelink, G.W.W. and J. Runhaar, 2000, *Abiotische Randvoorwaarden voor natuurdoeltypen*, Alterra: Wageningen Alterra rapport 181
4. Stuyfzand, P.J., 1993, *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands*, in *Faculty of Earth and Life Sciences*, Vrije Universiteit Amsterdam: Amsterdam. PhD
5. Voogt, W., 2009, *Verzilting oppervlaktewater en glastuinbouw. De gevolgen van een zout Volkerak-Zoommeer voor de watervoorziening van glastuinbouw in Zuid-West Nederland.*, Wageningen UR Glastuinbouw. p. 28
6. Baptist, M.J., I. De Messel, L.C.P.M. Stuyt, R. Henkes, H. De Molenaar, J. Wijsman, N. Dankers, and V. Kimmel, 2007, *Herstel van estuariene dynamiek in de Zuidwestelijke Delta*, Wageningen ImaresRapport C119/07
7. UNESCO, 1973, *Second report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards.*, in *UNESCO technical papers in marine science*, UNESCO, Editor: Kiel.16
8. CTV and Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000, *Cultuur Technisch Vademecum*, C. Vereniging, Editor, Cultuurtechnische Vereniging: Utrecht
9. Verbruggen, E.M.J., C.T.A. Moermond, J.A. Janus, and J.P.A. Lijzen, 2008, *Afleiding van milieurisicogrenzen voor chloride in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem RIVM*, Editor, RIVM: Bilthoven. p. 76 RIVM rapport 711701075



10. Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. Van Bakel, and H.T.L. Massop, 2011, *Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout - Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland*, Alterra: Wageningen. p. 124
11. Paulissen, M.P.C.P., E.P.A.G. Schouwenberg, and G.W.W. Wamelink, 2007, *Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen; verkenning en kennislacunes*, Alterra: Wageningen. p. 76 Alterra rapport 1545
12. Kuijs, E.K.M. and J. Steenberg, 2011, *Zoet-zoutovergangen in Nederland; stand van zaken en kansen voor de toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011*, in *werkdokument WOt Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu*, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu: Wageningen. p. 62 blz. Werkdocument 259
13. De Louw, P.G.B., G.H.P. Oude Essink, P.J. Stuyfzand, and S.E.A.T.M. Van der Zee, 2010, *Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands*. *Journal of Hydrology*. **394**: p. 494-506.
14. Rijkswaterstaat directie Zeeland, Waterdienst, Deltares, Royal Haskoning, and Arcadis, 2009, *Milieu-effectrapportage Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer (Ontwerp-MER)*,
15. Oude Essink, G.H.P., E.S. Van Baaren, and P.G.B. de Louw, 2010, *Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands*. *WATER RESOURCES RESEARCH*. **46**.
16. James, K.R., B. Cant, and T. Ryan, 2003, *Responses of freshwater biota to rising salinity levels and implications for saline water management: a review*. *Australian Journal of Botany*. **51**(6): p. 703-713.
17. Goodman, A.M., G.G. Ganf, G.C. Dandy, H.R. Maier, and M.S. Gibbs, 2010, *The response of freshwater plants to salinity pulses*. *Aquatic Botany*. **93**(2): p. 59-67.
18. Skinner, R., F. Sheldon, and K.F. Walker, 2001, *Propagules in dry wetland sediments as indicators of ecological health: Effects of salinity*. *Regulated Rivers-Research & Management*. **17**(2): p. 191-197.
19. Santamaria, L. and M. Klaassen, 2002, *Waterbird-mediated dispersal of aquatic organisms: an introduction*. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*. **23**(3): p. 115-119.
20. Klaassen, M. and B.A. Nolet, 2007, *The role of herbivorous water birds in aquatic systems through interactions with aquatic macrophytes, with special reference to the Bewick's Swan - Fennel Pondweed system*. *Hydrobiologia*. **584**: p. 205-213.
21. Vos, C.C., B. Schaap, and W.L.M. Tamis, 2011, *Climate change and habitat fragmentation; impacts and adaptation strategies*. , K.v. Ruimte, Editor, Alterra: Wageningen/AmsterdamKvR report number KvR 029/11; ISBN/EAN 978-90-8815-027-2.
22. Nolte, A.W., J. Freyhof, K.C. Stemshorn, and D. Tautz, 2005, *An invasive lineage of sculpins, Cottus sp. (Pisces, Teleostei) in the Rhine with new habitat adaptations has originated from hybridization between old phylogeographic groups*. *Proc Biol Sci*. **272**(1579): p. 2379-2387.
23. Schmöcke, U. and K. Ritchie, 2010, *A new method in palaeoecology: fish community structure indicates environmental changes*. *International Journal of Earth Sciences*. **99**(8): p. 1763-1772.
24. Nielsen, D.L., M.A. Brock, G.N. Rees, and D.S. Baldwin, 2003, *Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia*. *Australian Journal of Botany*. **51**(6): p. 655-665.
25. Brock, M.A., 1981, *The Ecology of Halophytes in the Southeast of South-Australia*. *Hydrobiologia*. **81-2**(Jun): p. 23-32.
26. Runhaar, J., P.F.M. Verdonschot, R.C. Nijboer, P.J.T. Van Bakel, M. Blok, R.F.A. Hendriks, and H. Massop, 2006, *Natuur in de verdringingsreeks*, Alterra: Wageningen Alterra-rapport 1302
27. Barendrecht, A., 2007, *Het verband tussen het slootpeil en de levensgemeenschap van Krabbenscheer-Groene Glazenmaker - Bittervoorn - Zwarte Stern in het laagveengebied van Zuid-Holland (specifiek toegespitst op Reeuwijk)*. op persoonlijke titel: Gouda
28. Roelofs, J.G.M., 1991, *Inlet of Alkaline River Water into Peaty Lowlands - Effects on Water-Quality and Stratiotes-Aloides L Stands*. *Aquatic Botany*. **39**(3-4): p. 267-293.
29. Smolders, A.J.P., R. Ketelaar, K. Mostert, S. Rintjema, F. Smolders, J. Van der Winden, and M. Zandberg, 2002, *Verlanden van verbanden: de levensgemeenschap van de krabbenscheer*. *NVL Nieuwsbrief*. **4**: p. 5-7.
30. Weeda, E., R. Westra, C. Westra, and T. Westra, 1991, *Nederlandse Oecologische Flora, Wilde Planten en hun Relaties, deel 4.*: IVN/VARA/VEWIN.
31. Smolders, A.J.P., C. den Hartog, and J.G.M. Roelofs, 1995, *Observations on fruiting and seed-set of Stratiotes aloides L in the Netherlands*. *Aquatic Botany*. **51**(3-4): p. 259-268.

32. Smolders, A. and J.G.M. Roelofs, 1995, *Internal Eutrophication, Iron Limitation and Sulfide Accumulation Due to the Inlet of River Rhine Water in Peaty Shallow Waters in the Netherlands*. Archiv Fur Hydrobiologie. **133**(3): p. 349-365.
33. Geurts, J., J. Sarneel, M. Dionisio Pires, G. Milder-Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, J. Verhoeven, J. Van der Wielen, N. Jaarsma, W. Verberk, H. Esselink, B.W. Ibelings, E. Van Donk, J.G.M. Roelofs, and L.P.M. Lamers, 2008, *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren*, Ministerie van LNV: NijmegenTussentijdse OBN rapportage Fase 2
34. Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, C. Den Hartog, and J.G.M. Roelofs, 2003, *Mechanisms involved in the decline of *Stratiotes aloides* L. in The Netherlands: sulphate as a key variable*. Hydrobiologia. **506-509**: p. 603-610.
35. Meinhardi, K., 2005, *Stromen van water en stoffen door de bodem en naar de sloten in de Vlietpolder*, RIVM: Bilthoven RIVM rapport 500003004/ 2005
36. Vermaat, J.E., J. Harmsen, F. Hellmann, H.E. van der Geest, J.J. de Klein, S. Kosten, F. Smolders, and J. Verhoeven, 2012, *Zwavedynamiek in het West-Nederlandse laagveengebied met het oog op klimaatverandering*, Vrije Universiteit AmsterdamRapport AE-12/01
37. van Dam, A.M., O.A. Clevering, W. Voogt, T.G.L. Aendekerk, and M.P. van der Maas, 2007, *Leven met Zout Water - Deelrapport: Zouttolerantie van landbouwgewassen*, PPOPO nr. 32 340194 00
38. Van Bakel, P.J.T. and L.C.P.M. Stuyt, 2011, *Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen*, Alterra: Wageningen
39. Nielsen, D.L., M.A. Brock, R. Petrie, and K. Crossle, 2007, *The impact of salinity pulses on the emergence of plant and zooplankton from wetland seed and egg banks*. Freshwater Biology. **52**(5): p. 784-795.
40. Hart, B.T., P. Bailey, R. Edwards, K. Hortle, K. James, A. McMahon, C. Meredith, and K. Swadling, 1990, *Effects of Salinity on River, Stream and Wetland Ecosystems in Victoria, Australia*. Water Research. **24**(9): p. 1103-1117.
41. Hootsmans, M.J.M. and F. Wiegman, 1998, *Four helophyte species growing under salt stress: their salt of life?* Aquatic Botany. **62**(2): p. 81-94.
42. Palding, E.A.S. and M.W.H. Hester, 2007, *Interactive Effects of Hydrology and Salinity on Oligohaline Plant Species Productivity?: Implications of Relative Sea-level Rise*. Estuaries and Coasts. **30**(2): p. 214-225.
43. Howard, R.J., 2009, *Intraspecific Variation in Growth of Marsh Macrophytes in Response to Salinity and Soil Type: Implications for Wetland Restoration*. 33(1): . Available at: . Estuaries and Coasts. **33**(1): p. 127-138.
44. Paulissen, M.P.C.P., S.A.M. Van Rooij, J.W.J. Van der Gaast, G.H.P. Arts, H.T.L. Massop, and P.A. Slim, 2011, *Klimaatgedreven verzilting: betekenis voor natuur en mogelijkheden voor klimaatbuffers*. Handreiking voor terreinclusters van Natuurmonumenten, V.N. Alterra, Editor: WageningenAlterra-rapport 2161
45. Verhoeven, J.T.A., M.P.C.P. Paulissen, and H. Goosen, 2011, *Klimaat effecten op de Natura2000 moerascorridor, Quick scan Groene Hart*, Utrecht University / Alterra: Utrecht
46. Van der Grefte-van Rossum, J.G.M., Massop H.T.L., R.M.A. Wegman, and M.P.C.P. Paulissen, 2012, *Droogte, verzilting en binnendijkse natuur in de Zuidwestelijke Delta. Analyse autonome ontwikkeling en effecten deltasenario's*, Alterra: Wageningen. p. 90p.Alterra rapportISSN 1566-7197
47. Stofberg, S., 2012, *Nature and Salinity*, Wageningen Universiteit: Wageningen
48. Van Asselen, S. and C. Roosendaal, 2009, *A New Method for Determining the Bulk Density of Uncompacted Peat from Field Settings*. Journal of Sedimentary Research. **79**(12): p. pp.918-922.
49. Bohlen, J., 1999, *Influence of salinity on the early development in the spined loach, *Cobitis taenia**. Journal of Fish Biology. **55**: p. 189-198.
50. Albert, A., 2007, *The role of salinity in structuring Eastern Baltic coastal fish communities*, Universitatis Tartuenssis.PhD136
51. Moroz, V.N., 1968, *Biology of the tench *Tinca tinca* (L.) in the Kiliya Channel, Danube Delta*. Problems of Ichthyology. **8**(1): p. 81-89.
52. Wheeler, A., 1969, *The fishes of the British Isles and north-west Europe*, East Lansing: Michigan State University Press.
53. O'Maoileidigh, N. and J.J. Bracken, 1989, *Biology of the tench, *Tinca tinca* (L.), in an Irish lake*. Aquaculture and Fisheries Management. **20**: p. 199-209.
54. Neophitou, C., 1993, *Some biological data on tench (*Tinca tinca* [L.]) in Lake Pamvotida (Greece)*. Acta Hydrobiologia. **35**(4): p. 367-379.

55. Moyle, P.B., 2002, *Inland fishes of California (2d ed.)*, Berkeley: University of California Press.
56. Yilmaz, F., 2002, *Reproductive biology of the tench Tinca tinca (L., 1758) inhabiting Porsuk Dame Lake (Kutahya, Turkey)*. Fisheries Research, v. 55, no. 1-3, p. **55**(1-3): p. 313-317.
57. Rosa, H., Jr., , 1958, *A synopsis of biological data on tench, Tinca tinca*, Food and Agriculture Organization, Fisheries Division. p. 24 p.FAO/58/2/951
58. Wieser, W.,1991, *Physiological energetics and ecophysiology*, in *Cyprinid fishes: Systematics, biology and exploitation*, I.J. Winfield and J.S. Nelson, Editors., Chapman and Hall: London. p. 426-455.
59. Jurajda, P., 1995, *Effect of channelization and regulation on fish recruitment in a flood plain river: Regulated Rivers Research and Management*. **10**: p. 207-215.
60. Bronmark, C., C.A. Paszkowski, W.M. Tonn, and A. Hargeby, 1995, *Predation as a determinant of size structure in populations of Crucian carp (Carassius carassius) and tench (Tinca tinca)*. Ecology of Freshwater Fish. **4**: p. 85-92.
61. Bninska, M.,1991, *Fisheries*, in *Cyprinid fishes: Systematics, biology and exploitation*., I.J. Winfield and J.S. Nelson, Editors., Chapman and Hall: London. p. 572-589.
62. Ekmekci, F.G., 2002, *The effects of high salinity on the production of Capoeta tinca in a naturally contaminated river*. . Tr. J. Zool. **26**: p. 265-270.
63. Weatherley, A.H., 1959, *Some Features of the Biology of the Tench Tinca tinca (Linnaeus) in Tasmania*. Journal of Animal Ecology. **28**(1): p. 73-87.
64. Jacobsen, J.L., C. Skov, A. Koed, and S. Berg, 2007, *Short-term salinity tolerance of northern pike, Esox lucius, fry, related to temperature and size*. Fisheries Management and Ecology. **14**(5): p. pages 303-308.
65. Jørgensen, A.T., B.W. Hansen, B. Vismann, J.L. Jacobsen, C. Skov, S. Berg, and D. Bekkevold, 2010, *High salinity tolerance in eggs and fry of a brackish Esox lucius population*. Fisheries Management and Ecology. **17**(6): p. 554-560.
66. Pinder, A.M., S.A. Halse, J.M. McRae, and R.J. Shiel, 2005, *Occurrence of aquatic invertebrates of the wheatbelt region of Western Australia in relation to salinity*. Hydrobiologia. **543**: p. 1-24.
67. Verdonschot, R.C.M., H.E. Keizer-Vlek, and P.F.M. Verdonschot, 2012, *Development of a multimetric index based on macroinvertebrates for drainage ditch networks in agricultural areas*. Ecological Indicators. **13**: p. 232-242.
68. Hart, B.T., P. Bailey, R. Edwards, K. Hortle, K. James, A. McMahon, C. Meredith, and K. Swadling, 1991, *A review of the salt sensitivity of the Australian freshwater biota*. . Hydrobiologia. **210**: p. 105-144.
69. Verberk, W.C.E.P., P.F.M. Verdonschot, T. van Haaren, and B. van Maanen, 2012, *Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna*, WEW publicatie 23
70. Steenbergen, H.A., 1993, *Macrofauna-atlas van Noord-Holland: verspreidingskaarten en responsies op milieufactoren van ongewervelden waterdieren*. , D.R.e.G. Provincie Noord Holland, Editor, Provincie Noord Holland, Dienst Ruimte en Groen.: Haarlem
71. Van der Hammen, H., 1992, *De macrofauna van het oppervlaktewater van Noord-Holland*. , Katholieke Universiteit Nijmegen: Nijmegen.DocteraalProefschrift
72. Krebs, B., A. Fortuin, and H. Boeyen, 1995, *Brakke binnenwateren het beschermen waard*. De levende natuur. **96**(1): p. 14-19.
73. Bervoets, L., C. Wils, and R. Verheyen, 1996, *olerance of Chironomus riparius Larvae (Diptera: Chironomidae) to Salinity* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. **57**: p. 829-835.
74. Verspagen, J.M.H., P. Boers, H.J. Laanbroek, and J. Huisman, 2005, *Doorspoelen of opzouten? Bestrijding van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer*, , N.I.v.E. Universiteit van Amsterdam, RIZA, Editor
75. Boderie, P., S. Groot, R. Hulsbergen, H. Los, and E. Meijers, 2006, *Resultaten scenarioberekeningen met het 2D en 3D-blauwalgenmodel voor het Volkerak, Krammer en Zoommeer*. , W.-D. Hydraulics., Editor, WL-Delft Hydraulics.: Delft
76. Schellhart, M.2011, *Mossel eet blauwalg Volkerak*. 2011 [cited 2012 27-01-2012]; Available from: [http://www.nieuweoogst.nu/scripts/edoris/edoris.dll?tem=LTO\\_TEXT\\_VIEW&doc\\_id=1565480&h=Mossel%20eet%20blauwalg%20Volkerak](http://www.nieuweoogst.nu/scripts/edoris/edoris.dll?tem=LTO_TEXT_VIEW&doc_id=1565480&h=Mossel%20eet%20blauwalg%20Volkerak).
77. Bak, A. and P. Schouten, 2004, *Eutrofiering en blauwalgen: stimulering van Driehoeksmosselen in het Volkerak-*

Zoommeer, in *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer*, Nijgh Periodieken. p. 19-22.379

78. De Vries, I. and R. Postma, 2013, *Quick scan waterkwaliteit en ecologie Volkerak-Zoommeer*, Deltares: Delft Deltares Rapport 1207783-000

79. Veraart, J.A. and L.P.A. Van Gerven, 2012, *Verzilting, klimaatverandering en de Kaderrichtlijn Water. Casestudie het boezemstelsel van Schieland*, Alterra: Wageningen. p. 82p.

80. Spijker, M. and M. van den Brink, 2013, *Waterverdelings- en verziltingsvraagstukken in het hoofdwatersysteem in West- en Midden-Nederland*, Hydrologic in opdracht van Rijkswaterstaat: Amersfoort Eindrapport P475

81. Evers, C.H.M., 2007, *Getalswaarden bij de Goede Ecologische Toestand voor oppervlaktewater voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen temperatuur, zuurgraad, doorzicht, zoutgehalte en zuurstof*, RIZA & STOWA: Amersfoort STOWA Rapport 01 / RIZA Rapport 002

82. Evers, C.H.M., 2006, *Getalswaarden voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen*, R.v.I.Z.e.A.-b. (RIZA), Editor, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwater-behandeling (RIZA): Lelystad, the Netherlands RIZA rapport nr. 9R6513B0D0

83. Van Vlaardingen, P.L.A. and E.M.J. Verbruggen, 2007, *Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of 'International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands' (INS)*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM): Bilthoven, Nederland RIVM rapport 601782001

84. Evers, C.H.M., A.J.M. van den Broek, R. Buskens, A. van Leerdam, R.A.E. Knobben, and F.C.J. van Herpen, 2012, *Omschrijving MEP en Maatlatten voor sloten en kanalen voor de kaderrichtlijn water 2015-2012*, STOWA, Editor, STOWA / Royal HaskoningDHV: Amersfoort. p. 154 p.34

85. VROM, 1999, *Stoffen en normen 1999 - Overzicht van belangrijke stoffen en normen in het Milieubeleid*: Alphen aan de Rijn ISBN 90 6092 802 4

86. Verdonschot, P.F.M., 1990 *Ecologische karakterisering van oppervlaktewateren in Overijssel. Het netwerk van cenotypen als instrument voor ecologisch beheer, inrichting en beoordeling van oppervlaktewateren*, Rijksinstituut voor Natuurbeheer: Leersum. p. 301 p.

87. Verdonschot, P.F.M. and R.C. Nijboer, 2000, *Typology of macrofaunal assemblages applied to water and nature management: a Dutch approach*, in *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. The RIVPACS International Workshop, 16-18 September 1997, Oxford, UK*, J.F. Wright, S.W. Sutcliffe, and M.T. Furze, Editors., Freshwater Biological Association: Ambleside, Cumbria, UK. p. 241-262.

88. Vlek, H.E. and P. Verdonschot, 2007, *Gebruikersinstructie voor de Ecologische karakterisering van oppervlaktewateren (EKO 4.7)*, Alterra, Editor, Alterra: Wageningen Alterra rapport 1509

89. Barendregt, A., J.W. Nieuwenhuis, and P. De Joode, 1990, *Milieu-indicatiewaarden van wateren oeverplanten in Noord-Holland*, Provincie Noord-Holland, Interfakultaire Vakgroep Milieukunde van de Rijksuniversiteit Utrecht, Haarlem/Utrecht

90. Luther, H., 1951, *Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. I Allgemeiner Teil*. Acta Botanica Fennica. **49**: p. 1-187.

91. Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner, and D. Paulißen, 1991, *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobotanica XVIII. **XVIII**: p. 248 pp.

92. Runhaar, J., M. Van der Linden, and J.P.M. Witte, 1997, *Waterplanten en saliniteit*, CML, RIZA, LUWRIZA rapport 96.063, CML rapport 122

93. Schipper, P.N.M., R. van Ek, G.H.P. Oude Essink, A. Van Geer, Simmelink E., P. Janssen, J.P. Van der Sluijs, B. J., M. Faneca Sanchez, E.S. Van Baaren, A. Groot, J.G. Kroes, I. Supit, A. Bakker, J.P. Mol-Dijkstra, G.W.W. Wamelink, P. Verweij, M. Mulder, P.E.V. van Walsum, and P. Bogaart, 2012, *Integraal Waterbeheer - kritische zone & onzekerheden Integraal hoofdrapport*, NMDC: Wageningen. p. 56 p.rapport A.1.3.001

94. van Ek, R., J.P.M. Witte, H. Runhaar, and F. Klijn, 2000, *Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT*. Ecological Engineering. **16**(1): p. 127-141.

95. Wamelink, G.W.W., P.W. Goedhart, H.F. Van Dobben, and F. Berendse, 2005, *Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements*. Journal of Vegetation Science. **15**: p. 461-470.

96. Ertsen, A.C.D., J.R.M. Alkemade, and M.J. Wassen, 1998, *Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands*. Plant Ecology. **135**(1): p. 113-124.

*Deze Deltafact is opgesteld door Alterra, juli 2013, in opdracht van STOWA en Kennis voor Klimaat (thema 2 – Zoetwatervoorziening)*

Auteurs:

J.A. (Jeroen) Veraart, R.C.M. (Ralf) Verdonschot en M.P.C.P (Maurice) Paulissen

De factsheet is voorgelegd als collegiale toets aan Flip Witte (KWR Water) en Ad Jeuken (Deltares). Hun suggesties voor verbetering zijn in de eindversie verwerkt. Fotomateriaal is beschikbaar gesteld door Sija Stofberg en Jeroen Veraart.



## **DISCLAIMER**

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.