



## Zoutindringing

Verzilting van watersystemen is het fenomeen waarbij zoet water zout(er) wordt. Het zoete water moet vaak om meerdere redenen zoet blijven, denk hierbij aan de drinkwatervoorziening, gebruik voor in de landbouw en industrie, of voor de natuur.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. TECHNISCHE KENMERKEN
4. GOVERNANCE
5. KOSTEN EN BATEN
6. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPEND ONDERZOEK
7. KENNISLEEMTEN
8. BRONNEN & LINKS
9. DISCLAIMER

### 1. Inleiding

Verzilting van watersystemen is het fenomeen waarbij zoet water zout(er) wordt. Het zoete water moet vaak om meerdere redenen zoet blijven, denk hierbij aan de drinkwatervoorziening, gebruik voor in de landbouw en industrie, of voor de natuur. Het verziltingsproces

hangt af van verschillende factoren en kan zowel via het oppervlaktewater als via het grondwater gebeuren, respectievelijk externe verzilting en interne verzilting. Interne verzilting via het grondwater wordt in deze Deltafact buiten beschouwing gelaten. Zowel in Nederland als in buitenlandse delta's vormt verzilting via het oppervlaktewater een groeiend probleem als gevolg van klimatologische veranderingen (lagere rivierafvoeren tijdens droge zomers, zeespiegelstijging) en een groeiende vraag naar zoet water.



Rijksoverheid

## 2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts.

Onderwerpen: watertekort, zoetwatervoorziening, droogteschade, zoutschade, verzilting, klimaatscenario's, zoet-zout

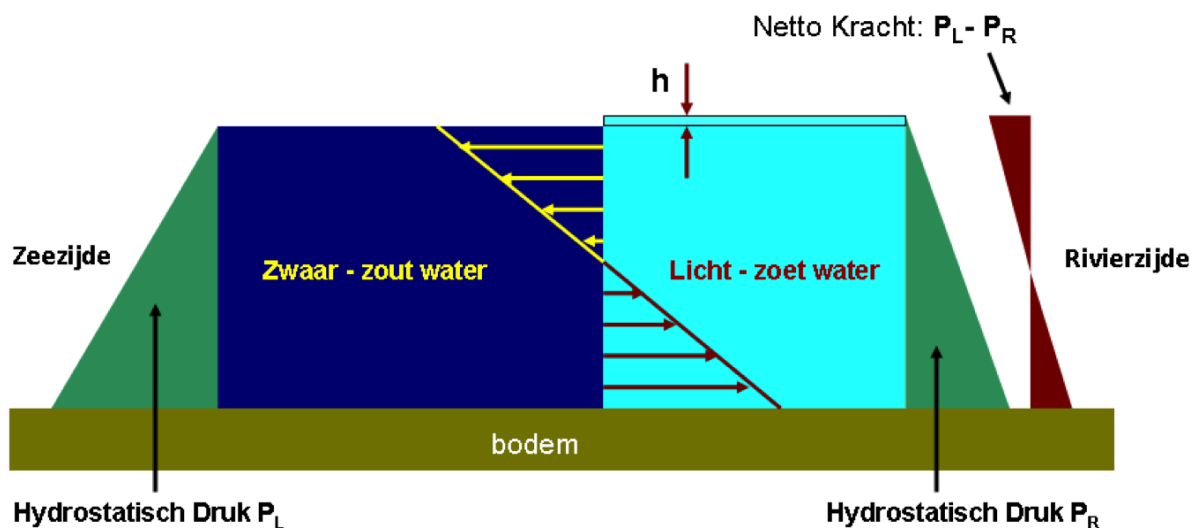
Deltafacts: [Beprijzen van water voor de landbouw](#), [Zouttolerantie van teelten](#), [Brakke kwel](#), [Regenwaterlenzen](#), [Zoetwatervoorziening](#).

## 3. Technische kenmerken

### De werking

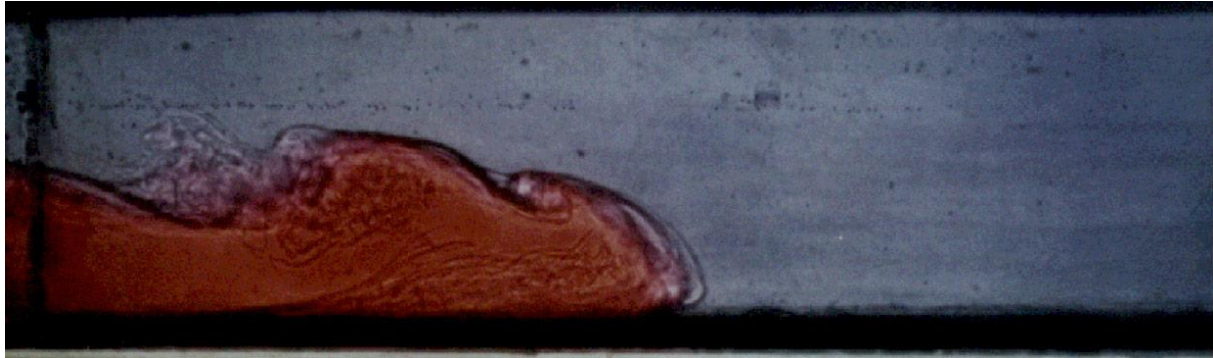
Verzilting is het proces van het zout(er) worden van rivieren en zoete binnenwateren. Verzilting wordt als een probleem ervaren als deze wateren voor bepaalde doeleinden zoet(er) moeten blijven, vaak vanwege wateronttrekkingen voor drink- en industriewatervoorziening en watervoorziening van landbouwgebieden. Maar ook voor bepaalde natuurtypen kan verzilting als een probleem worden ervaren.

Het indringen van zout in doorgaans zoetwater in kustgebieden is een natuurlijk proces en zorgt in estuaria voor een unieke leefomgeving voor organismen die kunnen overleven in zowel een zoet als een brak tot zout milieu. Een estuarium is een overgangsgebied tussen zoetwater uit een rivier en de zee. Een geleidelijke overgang van zoet naar zout biedt voor vele soorten de meest aantrekkelijke condities vanwege de biodiversiteit van estuaria in het algemeen. Ook kunnen

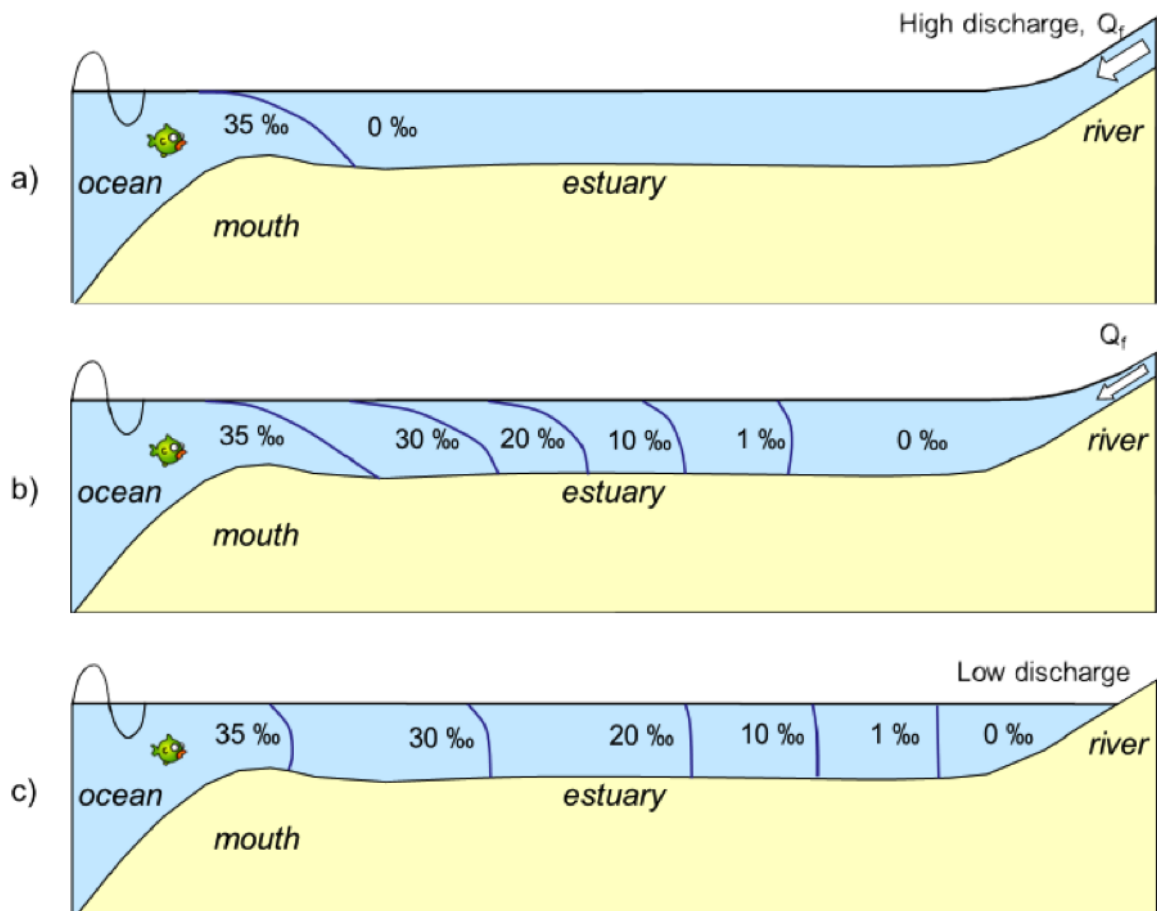


*Figuur 1. Links in het zwaardere wegende (zoute) water neemt de waterdruk (groene driehoek) sneller toe dan rechts in het lichtere (zoete) water. Voor evenwicht is rechts een geringe waterstandverhoging ( $h$ ) nodig. Het verschil tussen de waterdrukken levert de drukverdeling (bruine driehoeken) welke de geschetste uitwisselingsstroming (pijlen) aandrijft (Friocourt e.a. 2012).*

sommige vissoorten die in zoutwater leven maar zich in zoetwater voortplanten met een geleidelijk zoet-zoutovergang hun broedgebied bereiken.



Figuur 2. Voortplanting van de (rode) zouttong vanaf zee naar rechts over een bodem. Niet zichtbaar is de retourstroming van lichter rivierwater naar links boven de zouttong (Friocourt e.a. 2012).



Figuur 3. Doorsnede van zoutgehalten in een gelaagd estuarium (a), een deels gelaagd estuarium (b), en een goed gemengd estuarium (c) (Savenije, 2012).

Zoutindringing ontstaat omdat een volume zout water zwaarder is dan hetzelfde volume zoet water. Zeewater weegt gemiddeld 2 à 3% meer dan zoet water. Op het moment dat zoet en zout water aanwezig zijn in een gebied, kruipt het zoute water onder het zoete water door, de zogenaamde zouttong. Door meningen en tegendruk van het aangevoerde zoete water wordt dit verziltingsproces afgeremd waardoor het zoutgehalte geleidelijk afneemt in stroomopwaartse richting. De mate en het verloop van de zoutindringing is afhankelijk van factoren als de hoeveelheid (zoet) water die de rivier afvoert, de vorm van de riviermonding en het zeeniveau. Omdat deze factoren in tijd en locatie verschillen kan het zoutindringingsproces over een korte afstand gebeuren, of erg geleidelijk over tientallen kilometers.

Vanwege de unieke situatie in Nederland, waarbij het westen van het land eigenlijk een groot estuarium is met grote delen onder water, is zoutindringing een van de natuurlijke processen waarmee rekening moet worden gehouden in het (dagelijks) waterbeheer, waardoor sommige gebieden kunstmatig zoet houdt.

Bij een open rivierarm die direct aan zee uitmondt, kan het zoute water op natuurlijke wijze de rivier monding binnen dringen. In het geval van de Rijn-Maasmonding, stopt de zoutindringing onder normale condities bij Rotterdam, maar de mate van zoutindringing varieert afhankelijk van getijfase (spring/doodtij), rivierafvoer, (hoe lager de rivierafvoer hoe verder landinwaarts het zout komt), en waterstanden op zee als gevolg van windrichting en windintensiteit.

Bij afgedamde rivierarmen vormt de dam een ondoordringbare barrière. Wel kan zout mogelijk onder de dam via kwel de rivierarm binnen dringen. Dit kan gezien worden als een vorm van interne verzilting (buiten beschouwing). Alleen als er voorzieningen zijn die passage van schepen (schutsluizen) of vissen (vispassages) mogelijk maken, kan het zoute water de afgedamde rivierarm binnendringen (bijv. Afsluitdijk, Noordzeekanaal).

### **Het probleem**

(zoet) Rivierwater is in Nederland naast een bron voor drinkwater, ook belangrijk voor landbouw en industrie. Om deze functies te waarborgen dient het water zeer lage concentraties in natrium en chloride te hebben, natriumchloride is een zout die van nature in bijna alle wateren inclusief zeewater voorkomt. Drinkwater met verhoogde concentraties natriumchloride kan de smaak van het water beïnvloeden

en op langere termijn schadelijk zijn voor de gezondheid van mens en dier.  
 Landbouwgewassen hebben een beperkte tolerantie voor verhoogde zoutgehaltes in



Figuur 4. Overzicht van drinkwaterinnamepunten in oppervlaktewateren in Nederland (Rijkswaterstaat 2012).

bodemvocht in de wortelzone en beregeningswater. De mate waarin landbouwgewassen tolerant zijn voor zout is afhankelijk van het gewas, het ras en het groeistadium waarin verhoogde zoutconcentraties in de wortelzone voorkomen. Aanwezigheid van ongewenste mineralen in proceswater voor de industrie kan leiden tot extra kosten om het water geschikt te maken voor gebruik, of extra onderhoudskosten vanwege verhoogde corrosie.

Verspreid in Nederland liggen verschillende waterinnamepunten. Ook in het westelijk deel van Nederland, in het estuarium liggen innamepunten, omdat het zoute water deze locaties in de meeste omstandigheden niet bereikt. Een mogelijke stremming van de waterinnamepunten willen de gebruikers vanzelfsprekend zoveel mogelijke voorkomen. Echter omdat de landinwaartse indringing van zoutwater afhankelijk is van fluctuaties in natuurlijke condities is er een kans dat die innamepunten toch af en toe verzilten. Bijvoorbeeld in perioden waarin de rivierafvoer voor langere tijd (een paar weken of nog langer) laag is, kan de zoutindringing tot problemen leiden. Denk bijvoorbeeld aan de droogtes van 1976 en 2003.

### De oplossingen en maatregelen

Het zoutindringingsproces is met behulp van meerdere maatregelen te beïnvloeden en tegen te gaan, om zo lang mogelijk de zoetwatervoorziening op niveau te houden en hiermee mogelijke waterschaarste voor de verschillende gebruikers te beperken.

Maatregelen om de mate van zoutindringing te beïnvloeden:

Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
Zoutgrens zoveel mogelijk naar zee verleggen	Kunstmatige controle van de zoetwaterafvoer richting de rivierarmen waar het meeste zoute water binnendringt, of waar het meest zoete water nodig is.	Haringvlietsluizen	De sluisbediening is afgestemd op de rivierafvoer. In perioden van lage rivierafvoer gaan de Haringvlietsluizen dicht, hierdoor stroomt het zoete rivierwater door de Nieuwe Waterweg en biedt het maximale tegendruk op het binnenkomende zoute water
Extra menging veroorzaken	Hiermee wordt het natuurlijke	Bellenpluimen, in de Nieuwe Waterweg	Geperst lucht wordt geïnjecteerd vanaf de



Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
	<p>mengproces tussen zoet en zout water versterkt. De versterkte menging leidt tot een reductie van het landinwaartse transport van zout water.</p>		<p>bodem van het estuarium. Het stijgen van de luchtbellen veroorzaakt een verticale verplaatsing van het (zoute) water en er wordt zo menging veroorzaakt.</p>
<p>Kunstmatige aanpassing van de vorm van de riviermonding</p>	<p>Aanpassing van de diepte, breedte of met een beheersbare opening. Hiermee kan het volume zoutwater tijdens vloed beperkt worden en wordt het remmend vermogen van het zoetwater vergroot.</p>	<p>Trapjeslijn, in de Nieuwe Waterweg, het Scheur en de Nieuwe Maas</p>	<p>De bodem van deze rivierarmen zijn zo gebaggerd dat er een tredenprofiel is ontstaan (met oplopende treden landinwaarts). Hiermee werd het getijvolume, dus mogelijk indringend zoutwater, beperkt.</p>
		<p>Balance Island (winnaar Delta Alliance Young Professional Award 2011-2012)</p>	<p>Een nog niet volledig onderzocht idee om kunstmatige eilanden voor de monding van Haringvliet te plaatsen om het getij verder te dempen en hiermee de zoutindringing te beperken.</p>
<p>Maatregelen bij sluizen</p>	<p>Maatregelen om zoutlek via schutsluizen te beperken/voorkomen</p>	<p>Bellenscherm (zeesluis Terneuzen, Krammerjachtensluis in het kader van pilot)</p>	<p>Een gordijn van luchtbellen creëren door geperste lucht bij de bodem van de kolk te injecteren, waardoor zout en zoet water deels van elkaar worden gescheiden.</p>
		<p>Waterscherm (Krammerjachtensluis in het kader van pilot)</p>	<p>Ter aanvulling van een bellenscherm. Hierbij wordt er (zoet) water net voor het bellenscherm geïnjecteerd bij de bodem van de kolk om het scheidende effect van het bellenscherm verder te versterken.</p>

Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
		<p>Eblekkende sluisdeur (Krammerjachtensluis in het kader van pilot)</p>	<p>De deuren van schutsluizen zo ontwerpen dat ze zoet water in het zoutwaterbekken door laten stromen om het zoutwater verder te duwen.</p>
		<p>Zoutvang (zeesluis Terneuzen, Krammerjachtensluis in het kader van pilot)</p>	<p>Een sleuf graven in het zoetwaterbekken om het (zwaardere) zoutwater dat door de schutsluizen lekt te vangen. Een pomp zorgt voor het terugstromen van het zoute water naar het zoutwaterbekken.</p>
		<p>Zoet-zout scheidingssysteem (Krammersluizen, in het verleden Kreekraksluizen)</p>	<p>Bij het ontwerp van de sluisen maakte men gebruik van het feit dat zout water een hogere dichtheid heeft dan zoet water (1,03 kg/dm<sup>3</sup> in vergelijking met 1,00 kg/dm<sup>3</sup>). Als zoet en zout water gemengd worden, zakt het zoute water naar beneden. Stel dat: een schip vaart vanaf de Oosterschelde de sluis in. De deuren sluiten zich dan eerst achter het schip. Vervolgens wordt het zoute water (dat onderin zit) aan de onderkant weggepompt. Aan de bovenkant wordt er zoet water in de sluis gepompt. Als het waterpeil ver genoeg is gezakt en het zoute deel is weggepompt, gaat de sluis open. Als een schip vanaf het Volkerak de Oosterschelde in wil, gebeurt ongeveer hetzelfde: eenmaal in de sluis sluiten de</p>



Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
			deuren zich achter het schip. Het zoete water wordt aan bovenkant voor het grootste deel weggepompt, terwijl men aan de onderkant zout water erbij pompt. Als het waterniveau gelijk is aan dat van de Oosterschelde worden de sluisdeuren aan de voorkant van het schip geopend.

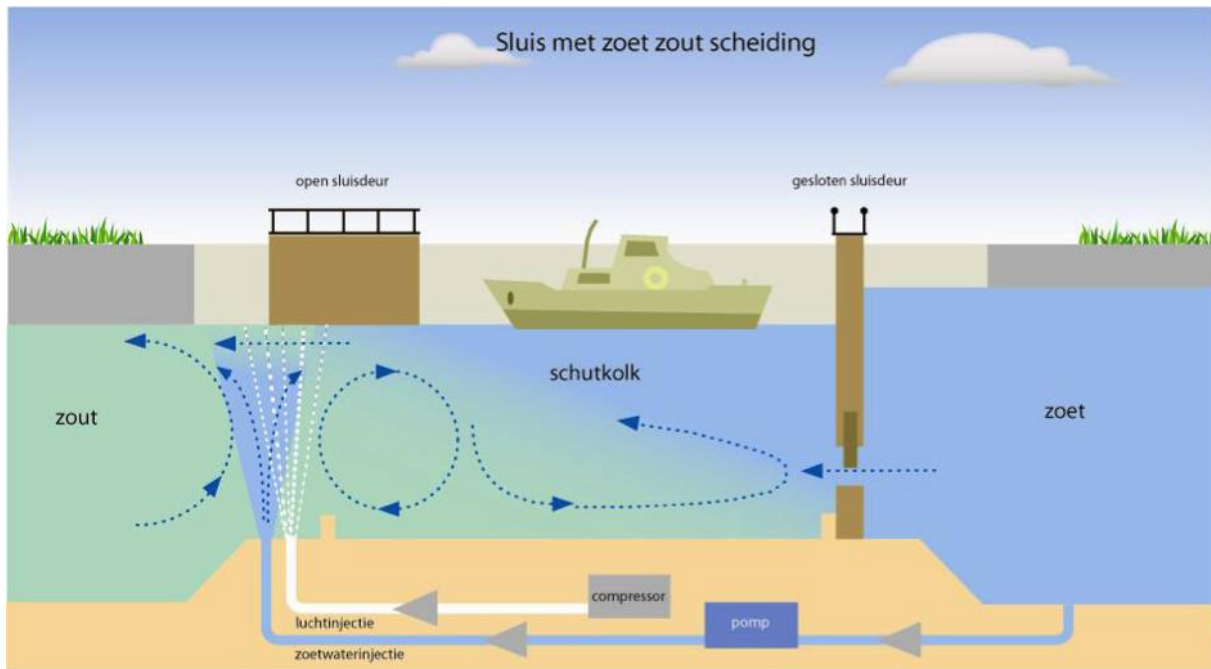
Tabel 1. Overzicht van maatregelen om de mate van zoutindringing te beïnvloeden.

Maatregelen om zoetwater aan te voeren naar waar de gebruiker het nodig heeft, of om de kwaliteit van het rivierwater te verbeteren:

Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
Akkoorden met andere landen over waterkwaliteit	Afspraken met bijvoorbeeld Duitsland en Frankrijk over lozingen en chlorideconcentraties	Zoutverdrag	Nederland heeft afspraken gemaakt met de zogeheten Rijnsoeverlanden over de kwaliteitsverbetering van de Rijn, waardoor onder andere de duur en frequenties van hoge zoutconcentraties in de Rijn zijn beperkt. Bijv. doordat de Franse kalimijnen het zout tijdelijk terughouden tijdens lage rivierafvoeren.
KWA (Kleinschalige Wateraanvoer)	Bij dreigende verzilting Hollandsche IJssel wordt zoetwater van elders aangevoerd.	Hollandsche IJssel	Bij (te) lage rivierafvoer en (te) hoge chlorideconcentraties bij de monding van de Hollandsche IJssel wordt waterinname bij dit punt gestopt. Vervolgens wordt het regionale watersysteem (hoogheemraadschap pen Stichtse Rijnlanden, Schieland

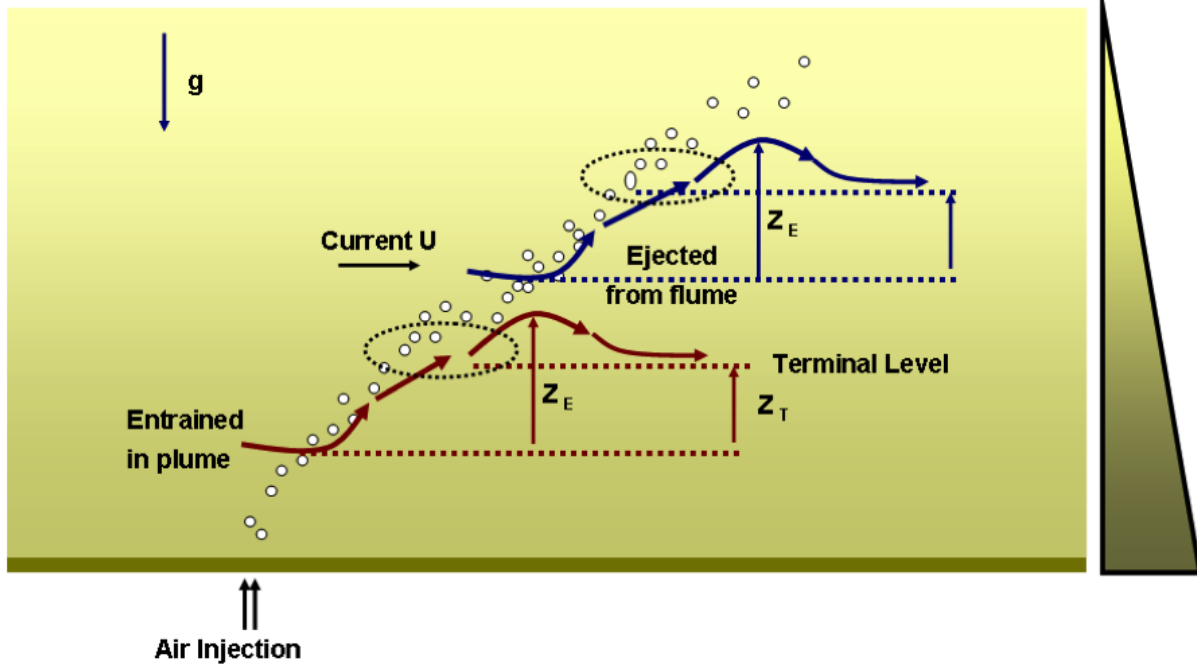
Type maatregel	Werking	Voorbeeld	Uitvoering
			& Krimpenerwaard, Rijnland en Delfland) van water voorzien uit het Amsterdam-Rijnkanaal via het regionale watersysteem.
Afvoer Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal	Zoutindringing via het Noordzeekanaal beperken dmv extra waterafvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal.	Amsterdam-Rijnkanaal	De zoutlek bij de zeesluizen van IJmuiden leidt tot zoutindringing in het Noordzeekanaal. Dit brengt risico's voor het waterinnamepunt bij de Nieuwersluis. Om te voorkomen dat het zoute water te ver het Amsterdam-Rijnkanaal optrekt wordt continu zoetwater uit de Waal afgevoerd via het Amsterdam-Rijnkanaal.

Tabel 2. Overzicht van maatregelen om zoetwater aan te voeren naar waar de gebruiker het nodig heeft, of om de kwaliteit van het rivierwater te verbeteren.



Figuur 5. Schutsluis met innovatieve zoet-zoutscheiding (Villars et al. 2011) met:

- een luchtbellenscherm: een rij diffusers ('douchekoppen') ieder gemonteerd boven een of meer luchtventielen die altijd een gelijkmatige luchtverdeling over de gehele kolkbreedte garanderen. Een dubbele rij, onderling versprongen diffusers is gebruikt, zodat het luchtbellenscherm en in het bijzonder de teen zo ondoordringbaar mogelijk tegen zout is;
- een waterscherm: een waterscherm bestaat uit een buis of koker met daarin een smalle sleuf waardoor water geïnjecteerd wordt. Het water dat afkomstig is uit de voorhaven of eventueel uit een zoutvang, kan eventueel onder vrijval of met een pomp naar de zoute kant van de sluisdeur gebracht worden;
- een verhoogde drempel: een drempel verlaagt de effectieve waterdiepte van een sluis, waardoor de zoutlek vermindert;
- lekkende ebdeuren: bij 'lekkende ebdeuren' staan de rinketschuiven in de gesloten sluisdeur op een kier. Daardoor lekt (zoet) water door de sluisdeur en wordt een netto zoetwaterstroming door de sluis gecreëerd, die het zoutere water verdringt of terug dringt;
- en een zoutvang: een zoutvang is een diepe put of geul aan de zoete zijde buiten de kolk. Zout(er) water dat door de sluis is gestroomd, zakt door de grotere dichtheid in deze put of geul en wordt daar dus verzameld. Het zoute(re) water wordt dus tijdelijk opgeslagen, totdat de put of geul overstroomt of totdat het water wordt teruggepompt naar de zoute kant van de sluis.



Figuur 6. Werking van een belenpluim in een stroming om menging te versterken. Water stroomt vooral door de pluim heen en krijgt een opwaartse kick van de opwaartse kracht van de luchtbellen. Water dat aan de lijszijde de pluim verlaat heeft de verticale snelheid die het in de pluim van de opwaartse kick ontving en volgt een opwaarts hellende baan. Door het toenemende gewicht van het uitgeworpen water en zijn turbulente uitwisseling van impuls met omgevingswater bereikt het uitgeworpen water een maximaal hoogteverschil  $Z_E$  ten opzichte van zijn intreehoogte. Op uitwerphoogte  $Z_E$  is het uitgeworpen water zwaarder dan het omgevende water en valt terug naar terminale hoogte  $Z_T$  welke hoger ligt dan bij intrede in de pluim. Immers tijdens de reis naar uitwerphoogte en terug naar terminale hoogte  $Z_T$  heeft het uitgeworpen water een snelheidsverschil met het omgevende water. Hierdoor ontstaat turbulentie en menging dat het uitgeworpen water afremt en lichter maakt dan bij intrede in de pluim. Er is menging veroorzaakt (Friocourt e.a. 2013).

#### 4. Governance

Het hoofdwatersysteem (de grote wateren, zoals de zee en de rivieren) vallen onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat. De waterschappen zijn verantwoordelijk voor de regionale watersystemen in hun eigen beheersgebied. Dit zijn meestal kleinere wateren, zoals kanalen en poldervaarten.

In waterakkoorden zijn afspraken gemaakt tussen Rijkswaterstaat en waterschappen over de uitwisseling van waterkwaliteit en kwantiteit onder normale omstandigheden. Bij (dreigend) watertekort is de landelijke verdringingsreeks van toepassing. Deze bepaalt hoe het beschikbare water in het hoofdwatersysteem wordt verdeeld in tijden van watertekort. De verdringingsreeks bestaat uit 4 categorieën. Categorie 1 heeft de hoogste prioriteit. Categorie 4 de laagste. Hierin is te zien dat de voorraden van drinkwater dusdanig groot zijn dat drinkwater niet in de allereerste categorie valt. Zie figuur Landelijke verdringingsreeks van de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling in Deltafact Zoetwatervoorziening.

#### 5. Kosten en baten

Economische schade veroorzaakt aan watergebruikers vanwege watertekort is niet altijd duidelijk in kaart te brengen. Kosten van maatregelen zijn duidelijker te bepalen. Denk aan aanlegkosten en onderhoud. Bij sommige maatregelen (bellenpluimen, bellenschermen) vormen de energiekosten een aanzienlijk deel van de kostenposten.

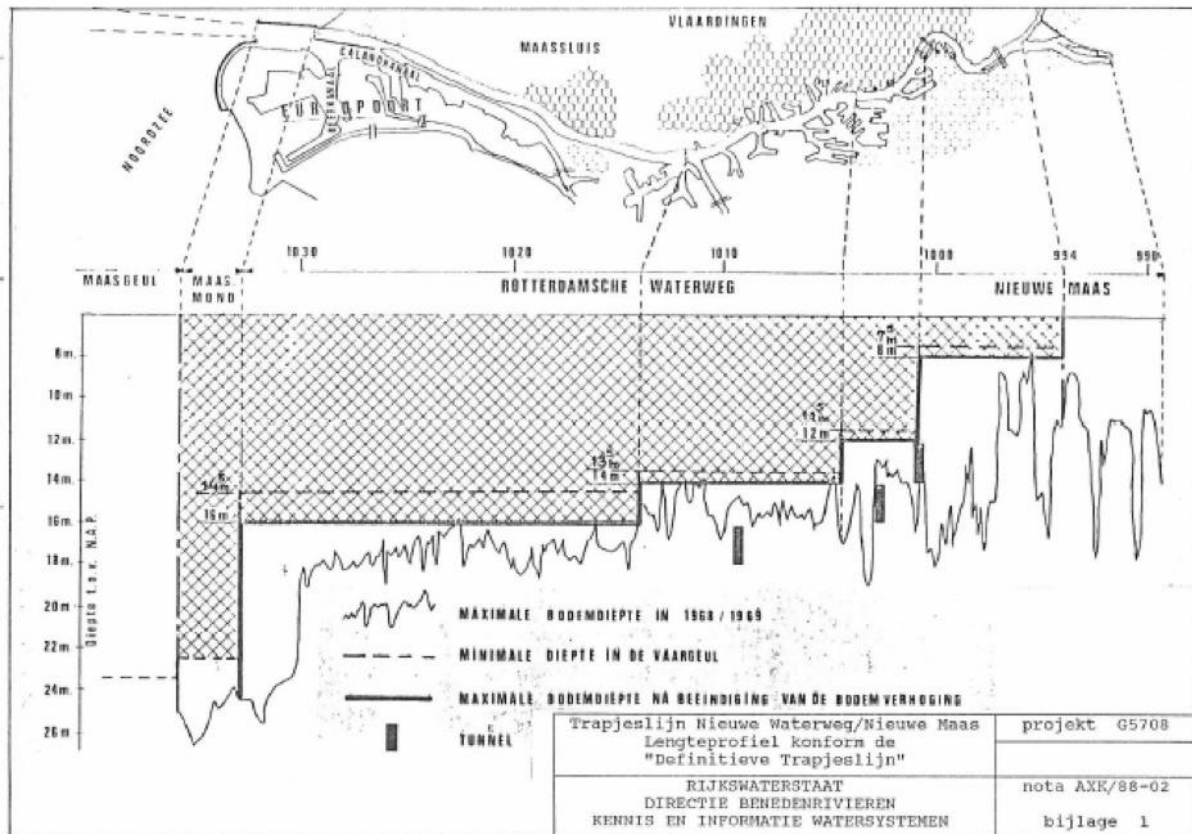
#### 6. Praktijkervaring en lopend onderzoek

##### **Trapjeslijn**

Onderzoek naar de effectiviteit en kosten van het herstel van de Trapjeslijn in de Rijn-Maasmonding. De maatregel werd in de 70er jaren gebouwd maar was onvoldoende onderhouden waardoor hij niet meer effectief was ([Kuijper & van der Kaaij, 2009](#); van der Kaaij et al., 2010).

##### **Bellenpluimen**

Onderzoek naar de werking en effectiviteit van luchtbelpluimen om de menging in het estuariene deel van de Rijn-Maasmonding te versterken met als doel de lengte van het overgangsgebied tussen zout en zoet kleiner te maken (Friocourt e.a. 2012, 2013).



Figuur 7. Trapjeslijn rond de periode van aanleg ([Rijkswaterstaat, 1988](#))

### Innovatieve zoet/zoutscheidingsysteem bij schutsluizen

Onderzoek naar de werking en effectiviteit van innovatieve zoet-zoutscheidingsystemen voor schutsluizen in het kader van verschillende projecten. Zo is bijvoorbeeld een nieuwere, effectievere variant van bellenscherm ontworpen (Villars et al. 2011). Daarnaast is een numeriek model ontwikkeld om de zoutlek door schutsluizen met en zonder verschillende maatregelen te kwantificeren. Dit heeft geleid tot de pilot 'Innovatieve zoet-zoutscheiding Krammerjachtensluizen' (zie verder). Ook neemt Deltares deel aan verschillende onderzoekstrajecten rondom de ontwikkeling van nieuwe schutsluizen (bijv. in IJmuiden).

### Innovatieve zoet-zoutscheiding Krammersluizen

De Krammersluizen zijn gebouwd met een uniek systeem waarmee zout en zoet water van elkaar gescheiden kunnen worden. Het huidige zoet-zoutscheidingsysteem in de Krammersluizen is in werking sinds de afsluiting van het Volkerak-Zoommeer in 1987 en is gebaseerd op het principe dat de schutkolken bijna volledig met zoet water gevuld zijn, wanneer schepen van de Oosterschelde naar het Volkerak-Zoommeer worden beschermd. Wanneer in de omgekeerde richting

wordt geschut bestaat de kolkinhoud voor het grootste gedeelte uit zout water. Zo wilde men toen voorkomen dat er tijdens het passeren van schepen teveel zout Oosterscheldewater uit de Oosterschelde in het zoete Volkerak zou komen, en teveel zoet water in de Oosterschelde komt. Dit systeem is zeer effectief maar ook zeer duur in beheer en onderhoud en voor de scheepvaart tijdrovend. In 2014 moet een besluit genomen worden over het groot onderhoud aan de huidige zoet-zoutscheiding. Omdat het systeem nu aan renovatie toe is, ontstaat er een zoutlek als schepen door de sluisen varen: er lekt zout water naar het zoete water van het Volkerak-Zoommeer. Als dat te lang doorgaat wordt dat water dan niet meer bruikbaar als drinkwater of voor de landbouw. Het renoveren van de sluisen met het huidige systeem (waarbij water in de sluisenkolk volledig wordt vervangen door het gewenste type water) is kostbaar. Daarnaast duurt het lang voor een schip de sluisen kan passeren. Rijkswaterstaat heeft dus eerder laten onderzoeken of een zoutlek te beperken is met andere maatregelen.

Een aantal innovatieve maatregelen (bellenscherm, waterscherm) zijn uitgebreid getest in het laboratorium van Deltares en in de Stevinsluis (Afsluitdijk). Omdat dit succesvol is geweest is de vraag of de huidige zoet-zoutscheiding vervangen kan worden met de innovatieve zoet-zoutscheidingstechnieken. Het innovatieve zoet-zoutscheidingssysteem is naar alle waarschijnlijk even effectief als het huidige systeem maar goedkoper in beheer & onderhoud en minder tijdrovend voor de scheepvaart doordat sneller geschut kan worden. In het recreatieseizoen van 2014 zal de innovatieve zoet-zoutscheiding proef draaien in één van de twee jachtsluisen alvorens de onderhoudsbeslissing in het najaar van 2014 genomen wordt. Daarbij wordt onderzocht of de nieuwe zoutlekbeperkende maatregelen tot een sneller en goedkoper systeem leiden dan het huidige. Deze pilot wordt gedragen door Rijkswaterstaat in samenwerking met Royal HaskoningDHV Nederland BV (RHDHV) en Deltares. De pilot in de jachtsluis in de Krammersluisen duurt tot eind augustus 2014. Hierna wordt besloten of dit systeem ook in de andere Krammersluisen gaan worden gebouwd.

### **Beheer van innamepunten ten behoeve van zoetwatervoorziening**

Onderzoek naar de robuustheid van het huidige beheer van sommige waterinnamepunten (met betrekking tot het Brielse Meer bijvoorbeeld) om stremmingsperiodes tijdens periodes van lage rivierafvoer te beperken of te verkorten (Evides, 2014; [De Vries, 2014](#)).



## **Deltaprogramma Zoetwater**

Het Deltaprogramma heeft tot doel een lange-termijn strategie te ontwikkelen voor waterbeheer en ruimtelijk beleid, met het oog op een duurzame maatschappelijke ontwikkeling bij onontkoombare klimaatverandering. Daarbij is de vraag welke richtinggevende besluiten over het waterbeheer en de ruimtelijke inrichting van ons land nu al genomen moeten worden – zogenaamde deltabeslissingen – en welke later genomen kunnen worden.

In dit kader zijn te verwachten lange-termijn effecten op het watersysteem en op de gebruiksfuncties berekend voor verschillende combinaties van scenario's en maatregelen. In het Deltaprogramma wordt zowel gekeken naar maatregelen in het hoofdwatersysteem als in het regionale watersysteem. Ook wordt geprobeerd de financiële schade als gevolg van zoutindringing in kaart te brengen om de kosten en baten van maatregelen inzichtelijker te maken (ter Maat e.a. 2014).

## **Onderzoek naar het effect van vispassages op de zoutindringing**

Door de aanleg van dammen en waterbouwkundige werken zijn de zoet-zoutovergangen in Nederland nagenoeg verdwenen. Natuurlijke zoet-zoutovergangen fungeren als toegangspoorten voor onder andere de zalm en de zeeforel, die zich in zoet water voortplanten. Sinds de jaren negentig wordt weer aandacht besteed aan het herstel van de zoute en brakke kustwateren in Nederland. Door herstel van de zoet-zoutovergangen verbetert de waterkwaliteit in Nederland en wordt de biodiversiteit vergroot. Zo is bijvoorbeeld in het verleden onderzoek uitgevoerd naar de manier om de Haringvlietsluizen op een kier te zetten zonder de zoetwatervoorziening in gevaar te brengen. Nu lopen onderzoekstrajecten om de haalbaarheid van een vismigratierivier in de Afsluitdijk in kaart te brengen ([Programma naar een Rijke Waddenzee, 2013](#)).

## **7. Kennisleemtes**

De processen ten aanzien van zout-zoet uitwisseling in estuaria en sluizen zijn in het algemeen goed bekend. Hoe die verschillende processen voor specifieke locaties interageren (denk bijvoorbeeld aan de uitwisseling van zout-zoet tussen rivieruitstroom en kustlangse stroming als functie van het getij, of de interactie tussen het in- en uitvaren van schepen en dichtheidsstromingen bij schutsluizen) is nog vaak onvoldoende bekend.

In het meetnet van Rijkswaterstaat worden onder andere zoutgehaltes continu gemeten om op verziltingsgebeurtenissen te anticiperen. Rijkswaterstaat onderzoekt hoe haar meetstrategie kan worden aangescherpt om ook de leidende processen beter in kaart te brengen en het modelleren van zoutindringing (nog) betrouwbaarder te maken (Schroevens et al, 2014).

Voor het vaststellen van het voorzieningenniveaus zal er kennis nodig zijn van de statistiek van het optreden van verzilting in het hoofdwatersysteem en hoe dit zich vertaalt naar tekorten in het regionale watersysteem en op lokaal- en gebruikersniveau.

Klimaatstudies geven aan dat periodes van lage rivierafvoer in de toekomst vaker zullen optreden. In dit kader wordt gekeken of de nu in gebruik zijnde maatregelen nog steeds zullen voldoen in de toekomst, of dat er nieuwe maatregelen moeten worden genomen. Veel van dit onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van Deltaprogramma Zoetwater. Het Deltaprogramma is een nationaal programma gedragen door de Rijksoverheid, provincies, waterschappen en gemeenten.

Daarnaast speelt ook dat sommige maatregelen moeten worden onderhouden. In het kader van het onderhoud wordt ook gekeken of de oude maatregelen nog steeds voldoen, of dat er een betere manier (d.w.z. effectiever of goedkoper) kan worden gevonden. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de Krammersluizen.

Tot slot, moeten continu de in het verleden bedachte maatregelen worden getoetst aan huidige en toekomstige socio-economische ontwikkelingen. Denk bijvoorbeeld aan haventoegeankelijkheid door verbreding/verdieping van vaarwegen, of het aanleggen van grotere schutsluizen, het verbeteren van ecologische toestanden van rivierarmen, die allemaal gevolgen kunnen hebben op de verziltingsproblematiek en op de manier waarmee er moet worden omgegaan.

Om een goede toetsing of afweging te kunnen maken in het nemen van verschillende maatregelen zijn er nog kennisvragen rondom het in beeld brengen van de baten van verziltingbestrijding met name op het gebied van landbouw en aquatische en terrestrische natuur.

## 8. Bronnen & links

- Dillingh, D, Uittenbogaard, R.E. & Keetels, G.H. (2012). [Verkenkend onderzoek haalbaarheid innovatief zout/zoet-scheidingsysteem Krammersluizen](#). Deltares rapport 1205977-000
- Evides (2014). Innamecriterium Brielse Meer verlaagd na onderzoek Deltares. 31 maart 2014
- Friocourt, Y. F., van der Kaaij, T., Uittenbogaard, R. E., Plieger, R., & Verploegh, D. (2012). Inzetbaarheid van luchtbellenschermen voor het beperken van de zoutindringing in de Rijn-Maasmonding. Deltares rapport 1205285-000
- Friocourt, Y. F., Uittenbogaard, R. E., Cornelisse, J. M., & Balkema, S. (2013). Luchtbellenuitruimen in de Nieuwe Waterweg. Eindrapportage schaalonderzoek. Deltares rapport 1206501-000-ZKS-0021.
- van der Kaaij, T., van den Boogaard, H. F. P., Kuijper, C., Sloff, C. J., & van Zetten, J. W. (2010). [Herstel van de "trapjeslijn" in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas \(Fase 2\). Vervolgstudie naar de effecten op de zoutindringing](#). Deltares rapport 1202366-000.
- de Kort, J. & van Rooij, S. C. (2013). [Balance Island. Numerieke modellering van effecten van Balance Island op zoutindringing](#). Grontmij rapport GM-0119331.
- Kuijper, C., & van der Kaaij, T. (2009). [Herstel van de "trapjeslijn" in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas. Fase 1: Voorstudie naar de effecten op de zoutindringing](#). Deltares rapport 1002366-001.
- ter Maat, J., van der Vat, M., Hunink, J., Haasnoot, M., Prinsen, G. F., Visser, M., Boderie, P. van Ek, R., Maarse, M., van der Sligte, R., Verheij, H., & Wesselius, C. (2014). Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4. Deltares rapport 1209141-001.
- - Programma naar een Rijke Waddenzee (2013). [Vismigratierivier Afsluitdijk. Haalbaarheid en projectplan](#).
- Rijkswaterstaat. (1988). [Trapjeslijn in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas; evaluatie periode 1973/1977-1987](#). Rijkswaterstaat nota AXK/88-62.
- Rijkswaterstaat. (2012). [Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2010-2015. Werken aan een robuust watersysteem](#).
- Rijkswaterstaat (2014). [Innovatie zoet-zoutscheiding Krammersluizen](#) [online].

- Savenije, H. H. G. (2012). Salinity and tides in alluvial estuaries (p. 163). Retrieved from <http://salinityandtides.com/>
- Schroevers, M., van Dijk, T.A.G.P., Friocourt, Y.F., Vermaas, T., Jeurissen, P., & van der Lee, W. (2014). [Roadmaps ten behoeve van efficiëntere monitoring: bodemligging en zoutindringing](#). Deltares rapport 1209377-001.
- Villars, M. T., Uittenbogaard, R. E., Cornelisse, J. M., & Nolte, A. J. (2011). Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen. Eindrapport van het onderzoek naar mogelijkheden voor de zoutlekbeperring door de Volkeraksluizen na verzilting van het Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport 1201226-015.
- De Vries, I. (2014). [Toetsting robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening. Fase 2: definitieve toetsting](#). Deltares rapport 1209018-000.

### Interessante links

- [Verdringingsreeks](#)
- [Deltaprogramma Zoetwater](#)

### Algemene informatie

- [Watertekort en zoetwaterbeschikbaarheid](#)
- [Zoet-zoutovergangen](#)

*Deze Deltafact is opgesteld door Deltares, juni 2014.*

### Auteurs

- Y. Friocourt
- K. Kuijper
- N. Leung

## 9. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en informatie zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs, STOWA en de evt. opdrachtgever van dit factsheet kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.

