



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. STRATEGIE
4. WERKING
5. TECHNISCHE KENMERKEN
6. OPLOSSINGEN EN MAATREGELEN
7. KOSTEN EN BATEN
8. RANDVOORWAARDEN
9. GOVERNANCE
10. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPEND ONDERZOEK
11. KENNISLEEMTEN
12. BRONNEN & LINKS
13. COLOFON
14. 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

verziltling via het oppervlaktewater een groeiend probleem als gevolg van klimatologische veranderingen (lagere rivierafvoeren tijdens droge zomers, zeespiegelstijging) en een groeiende vraag naar zoet water.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Onderwerpen: watertekort, zoetwatervoorziening, droogteschade, zoutschade, verziltling, klimaatscenario's, zoet-zout, kunstwerken, toekomstige inrichting delta

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

3. STRATEGIE

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 zoutgehaltenes in 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. De kwaliteit van oppervlaktewater is tot slot van invloed op de natuurwaarde in en langs de wateren.

Verziltling is een balans tussen zoutlast/zoutindringing aan de ene kant, en tegendruk/uitspoeling aan de andere kant. Deze balans is voor het merendeel van de tijd in de huidige situatie beheersbaar, en leidt slechts zelden tot ongewenste zoutconcentraties. Wanneer er sprake is van een gewijzigde balans tussen inkomend zout, en uitspoelende processen wordt deze evenwichtssituatie verstoord. Dit kan komen door bijvoorbeeld verandering van de zoutlast (als gevolg van grotere sluizen (Noordzeekanaal, Kanaal Gent-Terneuzen), zeespiegelstijging, aangepast beheer (Haringvliet Kier)) of een verandering in de bovenstroomse tegendruk met behulp van een zoetwater debiet (bijvoorbeeld in de Rijn-Maasmonding). Dit laatste speelt met name ten tijde van droogte & lage rivierafvoeren, of een aanpassing in de

watervdeling). Op dat moment zal (veelal geleidelijk) de mate van zoutindringing zich aanpassen totdat een hernieuwde balans wordt gevonden. In deze situatie ligt de zoet-zout overgang op een andere locatie (let wel: deze verschuiving kan zowel horizontaal als verticaal zijn, en is veelal in beide richtingen) waarbij mogelijk in deze nieuwe situatie zich wel problemen voordoen. Deze verandering kan zowel tijdelijk zijn (droogteperiode) of structureel (grotere zoutlast of klimaatverandering).

Vanuit het oogpunt beheersbaarheid van verzilting in waterlichamen en watersystemen geldt veelal dat verzilting beter voorkomen kan worden, dan om als de verzilting eenmaal is opgetreden er weer vanaf te komen. Zeker als het gaat om afgesloten systemen waarbij de primaire bron van verzilting via een kunstwerk verloopt (bijvoorbeeld via spuisluizen of schutsluizen) is het voorkomen dat te veel zout het verdere systeem in komt veelal eenvoudiger dan het te hoge zoutgehalte in het watersysteem zelf terug te dringen. Het terugdringen van verzilting in een systeem is namelijk veelal een proces dat maanden kan duren en hoofdzakelijk gebeurt aan de hand van zoetspoelen (door middel van doorspoeling met zoet water, de zoutindringing terugdringen). Hiervoor is relatief veel zoet water nodig is. Specifiek in tijden van droogte en lage afvoeren, wanneer zoetwaterbeschikbaarheid beperkt is en de vraag ernaar juist extra groot is, is dit voor veel gebieden moeilijk te realiseren.

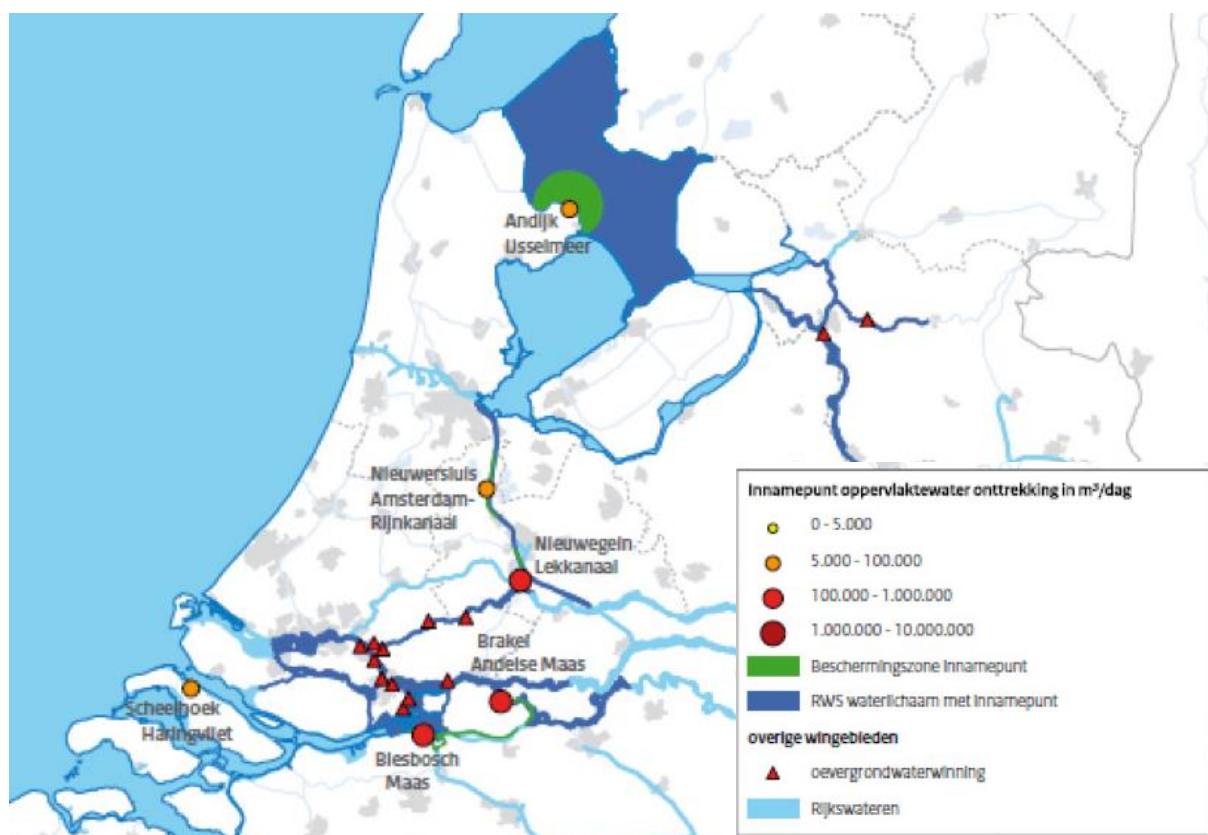
4. WERKING

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 schadelijk zijn.

Grenswaardes met betrekking tot het zoutgehaltes in water voor verschillende toepassingen zijn zeer laag. Zeewater langs de Nederlandse kust bevat ongeveer 15.000 – 19.000 mg/l Cl (afhankelijk van de invloed van rivierwater). De grens voor drinkwatergebruik ligt op 150 mg/l Cl. De zoutconcentratie van de rivier de Rijn is ongeveer 100 mg/l Cl (afhankelijk van het debiet). Slechts een zeer beperkte hoeveelheid zeewater in een zoet bekken kan daarmee het water al ongeschikt maken voor gebruik als drinkwater.

Voor het gebruik van water ten behoeve van de landbouw en de industrie gelden vergelijkbare streefwaarden. Bijvoorbeeld het water in het Volkerak-Zoommeer wordt hoofdzakelijk gebruikt voor landbouw doeleinden. Hier wordt gestreefd naar een maximaal zoutgehalte in het groeiseizoen van 450 mg/l Cl. Een ander voorbeeld is het water in het Brielse Meer. Hieruit wordt water ingenomen voor onder andere industrieel gebruik (het Brielse Meer vormt de watervoorziening van de haven van Rotterdam). Voor de aanvoer naar dit meer geldt dat water met een zoutgehalte van maximaal 150 mg/l Cl wordt ingelaten.

Verscheidene innamepunten in West-Nederland (Rijn-Maasmonding) en het innamepunt Andijk (IJsselmeer) kunnen worden blootgesteld aan verzilting. In de huidige situatie is de kans op verzilting klein. Vooral tijdens perioden van lage rivierafvoeren als gevolg van droogte neemt de (kans op) verzilting toe en worden verschillende innamepunten bedreigd. Denk bijvoorbeeld aan de droogtes van 1976, 2003 en meest recent nog in 2018 en 2019. Een mogelijke stremming van deze innamepunten willen de gebruikers vanzelfsprekend zoveel mogelijk voorkomen.

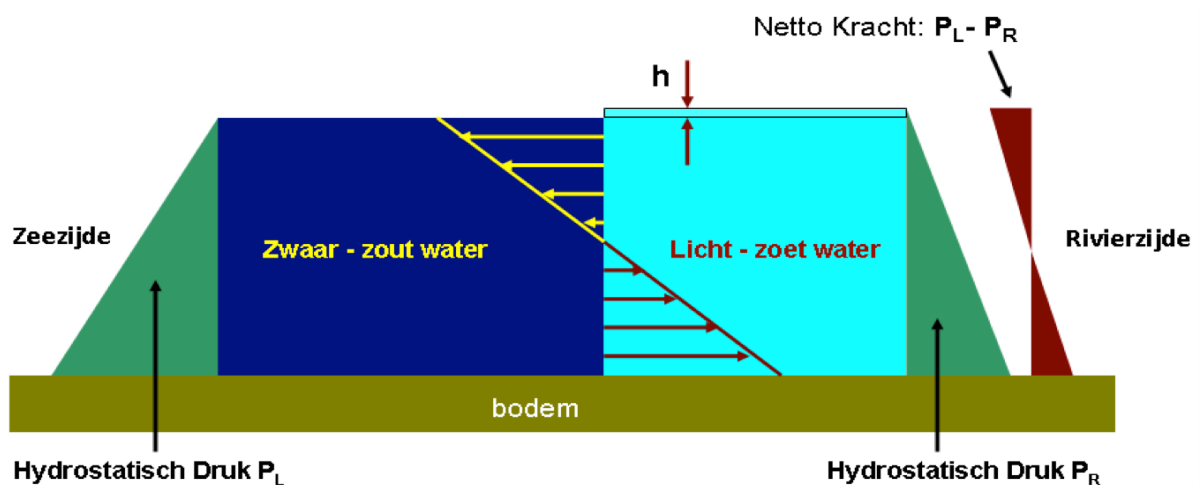


Afbeelding 1. Overzicht van drinkwaterinnamepunten in oppervlaktewateren in Nederland (Rijkswaterstaat 2012).

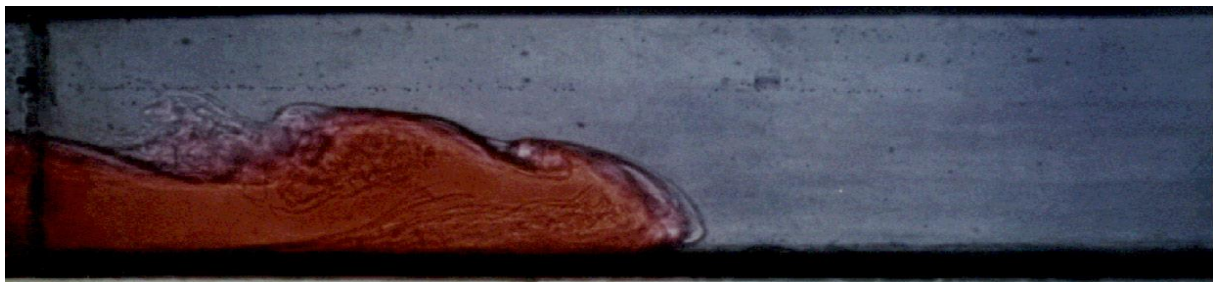
In relatie tot natuur is het indringen van zout in veel kustgebieden een natuurlijk proces en zorgt dit voor een unieke leefomgeving voor organismen die kunnen overleven in zowel een zoet als een brak tot zout milieu. Dit overgangsgebied tussen zoetwater uit een rivier en de zee wordt een estuarium genoemd. 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 sommige vissoorten die in zout water leven maar zich in zoetwater voortplanten met een geleidelijk zoet-zoutovergang hun broedgebied bereiken. Veranderingen en verschuivingen in de overgangszone zijn veelal van korte duur, en vormen onderdeel van de natuurlijke dynamiek. Wanneer er sprake is van langdurige of permanente verschuivingen in zout (en zoet) gehalten is dit voor de natuur vaak onwenselijk.

5. TECHNISCHE KENMERKEN

Zeewater weegt gemiddeld 2 à 3% meer dan zoet water. Op het moment dat zout water een zoet bekken binnendringt kruipt het zoute water onder het zoete water door, de zogenaamde zouttong.

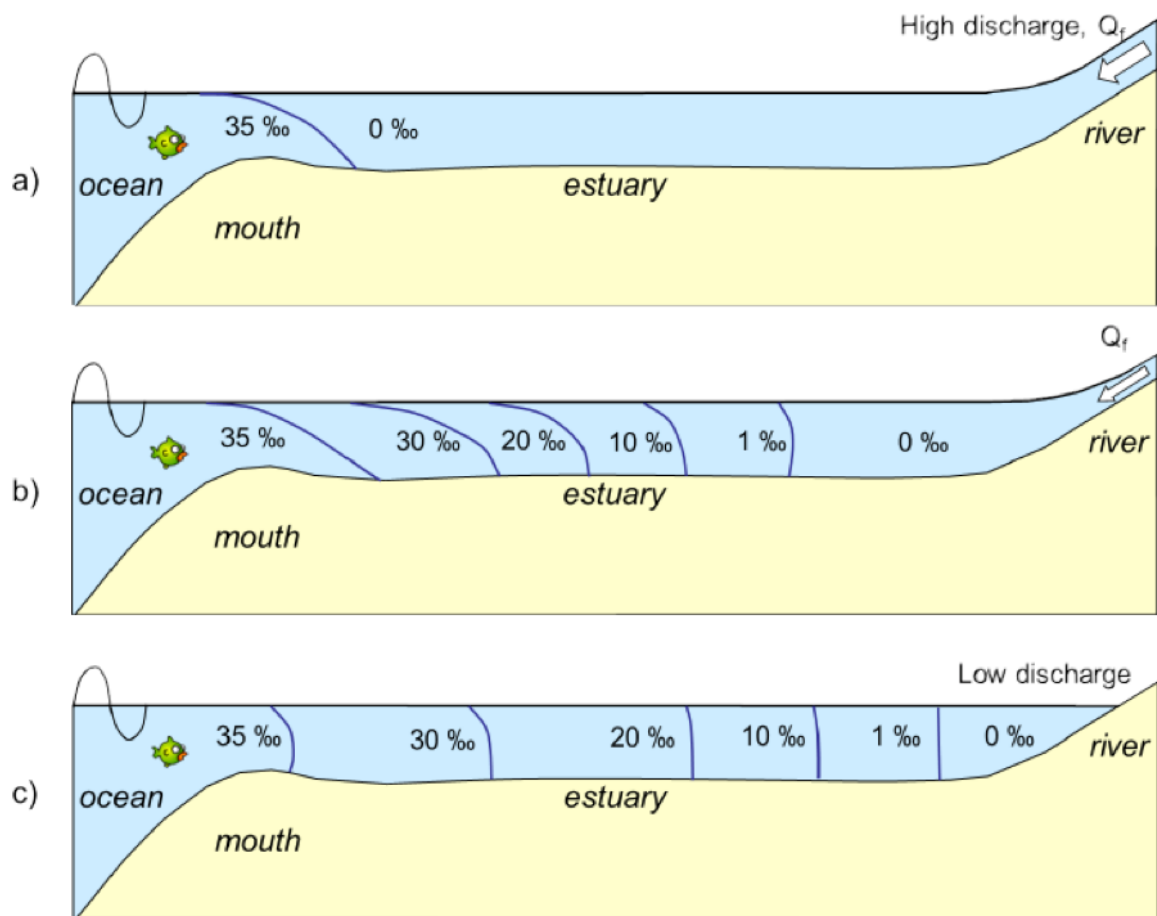


Afbeelding 2. Links in het zwaarder wegende (zoute) water neemt de waterdruk (groene driehoek) sneller toe dan rechts in het lichtere (zoete) water. Voor evenwicht is rechts een geringe waterstandverhoging (h) nodig. Het verschil tussen de waterdrukken levert de drukverdeling (bruine driehoeken) welke de geschetste uitwisselingsstroming (pijlen) aandrijft (Friocourt e.a. 2012).



Afbeelding 3. Voortplanting van de (rode) zouttong naar rechts over een bodem. Niet zichtbaar is de retourstroming van lichter rivierwater naar links boven de zouttong (Friocourt e.a. 2012).

Door menging 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.



Afbeelding 4. Doorsnede van zoutgehaltes in een gelaagd estuarium (a), een deels gelaagd estuarium (b), en een goed gemengd estuarium (c) ([Savenije, 2012](#)).

Open verbindingen naar zee

Bij een open riviertak die direct aan zee uitmondt, kan het zoute water op natuurlijke wijze de rivier monding binnen dringen en is er sprake van een estuarium. 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 windgedreven opzet op zee.

In tijden van droogte neemt de rivierafvoer af, en wordt de afvoer over de verschillende Rijntakken (Waal, Nederrijn/Lek, IJssel) gestuurd door stuwen in de Nederrijn waardoor water hoofdzakelijk via de Waal en deels via de IJssel (via het IJsselmeer) naar zee stroomt. De Lek en de Hollandse IJssel zijn in die situatie "dode takken" die slechts beperkt vanuit bovenstrooms worden gevoed met zoet water. De mondingen van deze takken kunnen echter wel verzilt raken, doordat zoutindringing vanuit de Nieuwe Waterweg verder stroomopwaarts voorbij de Nieuwe Maas en Oude Maas kan indringen. Door getijwerking, dispersiemechanismen en het onttrekken van zoet water bovenstrooms, is er sprake van een geleidelijk toenemende verzilting op deze rivieren, die ten tijde van droogte wordt tegengegaan door extra zoet water bovenstrooms aan te voeren ([Kuijper, 2016](#), [Kuijper 2017](#), [Van der Wijk et al, 2020](#)).

In de Rijn-Maasmonding spelen nog twee andere vormen van verzilting een rol: "achterwaartse verzilting" en daaraan gekoppeld "nalevering". De Rijn-Maasmonding heeft twee verbindingen naar zee: Een open verbinding via de Nieuwe Waterweg en een verbinding die is afgesloten met een kunstwerk, namelijk het Haringvliet (met als kunstwerk de Haringvlietsluizen). Tussen beide takken zitten verschillende dwarsverbindingen. Een belangrijke dwarsverbinding voor de zoetwatervoorziening is het Spui, van waaruit zoet water naar het Brielse Meer wordt ingelaten. Als gevolg van windopzet bij Hoek van Holland kan zout via de Nieuwe Waterweg en Oude Maas het Spui indringen en tot kortdurende verzilting van het innamepunt voor het Brielse Meer leiden. Dit wordt achterwaartse verzilting genoemd. Deze kortdurende verzilting vormt in de regel geen probleem, omdat de buffercapaciteit van het Brielse Meer enkele dagen betreft ([De Vries 2014](#)). Het tweede type verzilting dat op kan treden is "nalevering". Indien de Haringvlietsluizen dicht, of bijna dicht staan, zal zout dat via het Spui in het Haringvliet is terechtgekomen tijdens achterwaartse verzilting, vervolgens geleidelijk weer terugstromen via het Spui naar de Oude Maas. Dit kan leiden tot langdurige verzilting van het Spui die maanden kan aanhouden. Omdat deze verzilting langer kan aanhouden dan de buffercapaciteit van het Brielse Meer, kan de nalevering tot problemen leiden voor de zoetwatervoorziening ([Huisman et al, 2018](#)).

Afgesloten waterlichamen

Bij afgesloten waterlichamen (bijvoorbeeld afgedamde estuaria) vormt een kunstwerk (of 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 (beschreven in de DeltaFact Brakke Kwel). Alleen als er voorzieningen zijn die passage van schepen (schutsluizen) of vissen (vispassages & visvriendelijk beheer van spuisluizen) mogelijk maken, kan het zoute water het afgesloten waterlichaam binnendringen (bijv. via de Afsluitdijk het IJsselmeer in, via schutsluizen het Noordzeekanaal, Eemskanaal en Kanaal Gent-Terneuzen in, of via de Haringvliet(schut)sluizen het Haringvliet in als gevolg van uitvoering van het Kierbesluit).

De complexiteit van de zoutverspreiding in afgesloten waterlichamen wordt veelal gedomineerd door de geometrie van het waterlichaam. Afgesloten estuaria (bijvoorbeeld het IJsselmeer, Haringvliet en Volkerak-Zoommeer) vormen door de gevarieerde bodemligging (met voormalig getijde geulen) en de vorm van het meer, complexe gebieden om zoutindringing te beheersen. Zout zakt naar beneden en verzamelt zich veelal in de diepere delen. Deze ophoping van verzilt water kan worden opgemengd door harde wind of bij hoge afvoer, terwijl door diffusie zeer geleidelijk de zoute onderlaag en zoete bovenlaag worden doorgemengd. Alhoewel diffusie beperkt is in omvang, kan het ook hierdoor gebeuren dat na verloop van tijd de grenswaarde van verzilting voor bijvoorbeeld drinkwatergebruik wordt overschreden. Door de grote omvang van dit soort afgesloten estuaria is het niet mogelijk om deze waterlichamen in korte tijd volledig zoet te spoelen. Alleen nabij de spuisluizen treden relatief hoge stroomsnelheden op, die nodig zijn om het zoute water uit de diepere delen op te mengen, daar kan lokaal wel de verzilting relatief snel worden tegengegaan. Recente voorbeelden waarbij verzilting in dit soort waterlichamen is opgetreden, zijn het Haringvliet en het IJsselmeer.

- Sinds eind 2018 is het Kierproject gestart in het Haringvliet. Hierbij worden de Haringvlietspuisluisen tijdens de gehele vloedfase (beperkt) geopend om vismigratie te bevorderen. De beheersbaarheid van de bijbehorende zoutindringing wordt onderzocht in een "Lerend Implementeren" fase die enkele jaren zal duren en waarin veel nieuwe inzichten zullen worden verkregen over de zoutindringing en het tegengaan daarvan in dit dynamische gebied. Met name de zoutophoping in de diepere delen (voormalige getijdegeulen) maakt de beheersbaarheid en terugdringing van de zoutindringing lastig, omdat daarvoor relatief grote spuidebieten nodig zijn ([Rijkswaterstaat, 2019a](#)).

- In de zomer van 2018 was er sprake van verzilting van het IJsselmeer (Friocourt, 2020) Door beperkte rivierafvoer (via de IJssel) kon de inkomende verzilting (voornamelijk via de schutsluizen en spuisluisen in de Afsluitdijk)

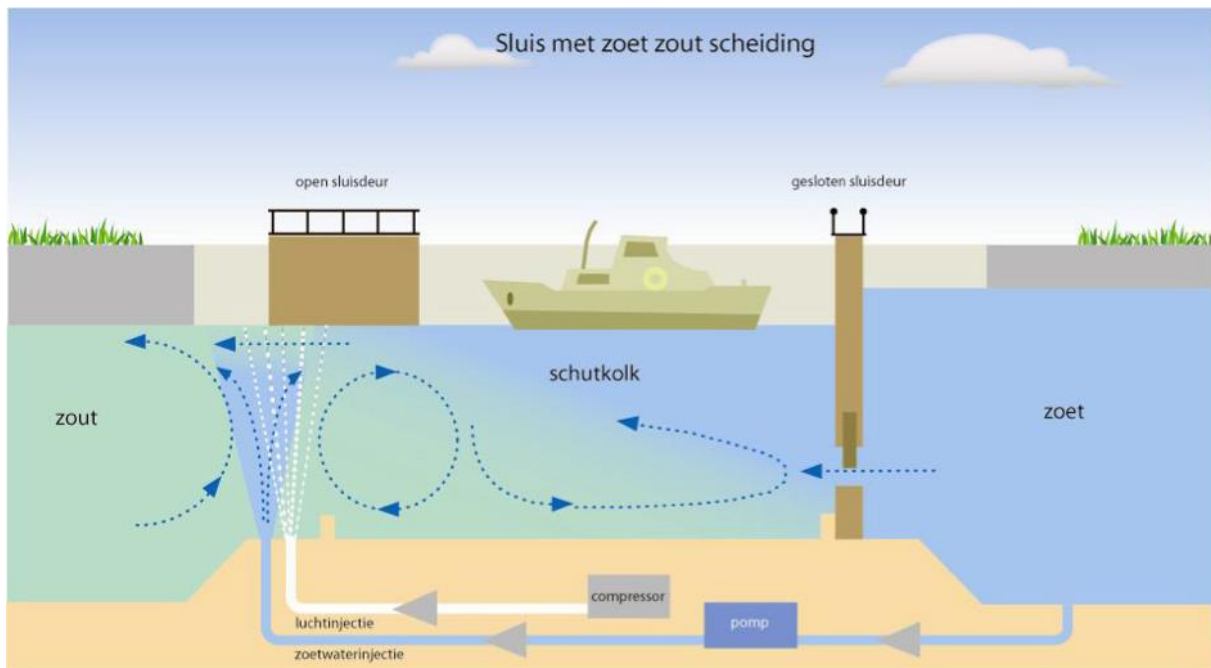


Afbeelding 5. Dieptegemiddelde chlorideconcentratie gemeten op 21 t/m 23 januari 2019 (Friocourt, 2020).

niet naar zee worden gespuid, en hoopte het zout zich op in de diepe putten nabij de spuisluisen totdat deze overliepen. Het verzilte water verspreidde zich geleidelijk over het hele watersysteem, waardoor innamepunt Andijk gedurende een lange periode te maken had met licht verzilt inname-water. De verzilting duurde totdat de rivierafvoer steeg en intensief kon worden gespuid (vanaf begin december 2018). De ontzilting van het watersysteem heeft daarna nog tot het voorjaar 2019 geduurd.

Alhoewel kanalen zoals het Noordzeekanaal, Kanaal Gent-Terneuzen en het Eemskanaal een meer rechtlijnig zijn en er sprake is van minder bodemvariatie dan bij afgesloten voormalige estuaria, is ook hier sprake van een complexe dynamiek met betrekking tot verzilting. Door een getrapte bodemhoogte en bijvoorbeeld als gevolg havenbekkens is de geometrie ook hier niet eenvoudig, en leiden met name drempels tot ophoping van verzilting. Daarnaast is de mogelijkheid tot doorspoeling veelal beperkt omdat zoet water zeker tijdens droge periodes schaars is.

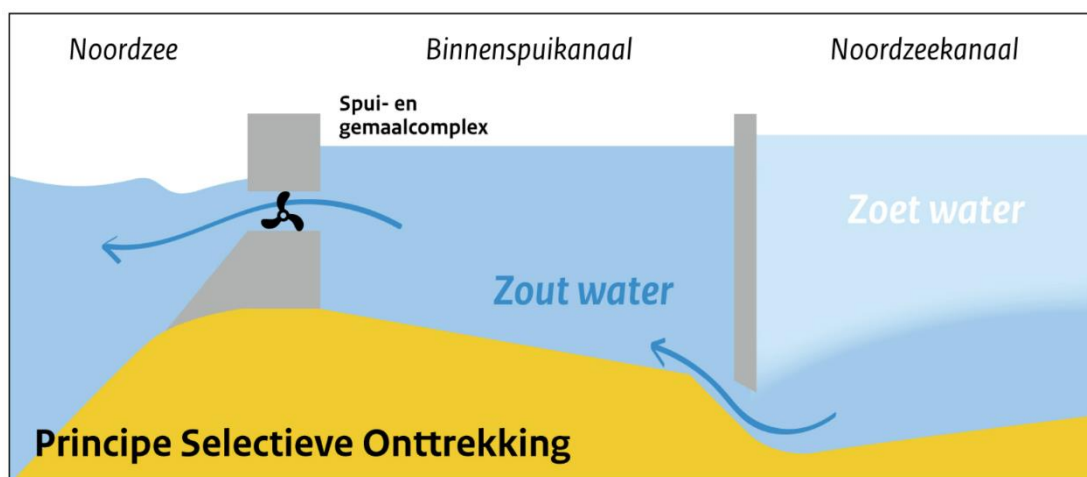
Voor zeesluizen geldt dat er vaak sprake is van aanzienlijke zoutlast. Door de aanleg van grotere schutsluizen in het Noordzeekanaal en Kanaal-Gent-Terneuzen wordt het beheersen van de zoutindringing een groter probleem die extra maatregelen nabij de schutsluizen vereisen om de zoutindringing te beheersen.



Afbeelding 6. Ontwerp van de innovatieve zoet-zoutscheiding op een (Villars et al. 2011) bestaande uit een luchtbellenscherm, een waterscherm, een verhoogde drempel, lekkende ebdeuren en een zoutvang

Om zoutindringing via schutsluizen tegen te gaan zijn de afgelopen tientallen jaren veel verschillende technieken ontwikkeld, zoals het gebruik van een zoet-zout scheiding, de inzet van bellenschermen, terugdringen van deur-open-tijden, en het gebruik van een zoutvang en een selectieve onttrekking. Over zoutbeperking bij schutsluizen is veel kennis ontwikkeld in verband met het ontwerp en de verbouw van de Krammersluizen (is in 2021 gereed). De Krammersluizen zijn tussen 1976 en 1987 gebouwd met een uniek systeem waarmee zout en zoet water van elkaar gescheiden kunnen worden. Dit huidige zoet-zoutscheidingsstelsel in de Krammersluizen (het zogenaamde Duinkerken systeem) 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 geschut. 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 in het zoete Volkerak zou komen, en teveel zoet water in de Oosterschelde kwam. Dit systeem is zeer effectief maar ook zeer duur in beheer en onderhoud en voor de scheepvaart tijdrovend. Daarom is er voor

gekozen om bij de renovatie van het sluizencomplex een aangepaste zoet-zout scheiding te ontwerpen, de innovatieve zoet-zout scheiding (beschreven in Vreeken en Zwanenburg, 2016). Onderzoek ten behoeven van dit nieuwe ontwerp heeft er toe geleid dat de zoutlast door schutsluizen veel beter kan worden bepaald en er meer maatregelen zijn ontwikkeld om zoutlast door schutsluizen te beperken, bijvoorbeeld door het verkorten van “deur-open-tijden”, waardoor het water in de sluiskolk niet volledig wordt uitgewisseld. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van de gecombineerde inzet van bellenschermen en doorspoelingsdebiëten om de kolkuitwisseling nog verder te vertragen. De kennis met betrekking tot zoutlast door schutsluizen en de effectiviteit van maatregelen is samengebracht in de “Zeesluisformulering” ([Weiler & Burgers, 2018](#); [Weiler, 2019](#)), waarin op basis van gegevens van de schutsluis en de operatie, een inschatting kan worden gemaakt van het zoutlek.

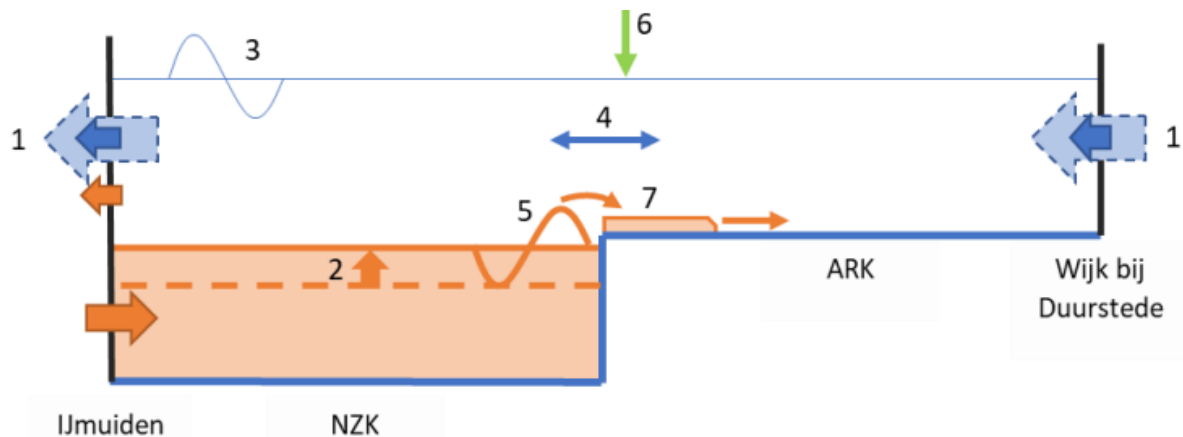


Afbeelding 7. Beschrijving van principe van selectieve onttrekking om zoutindringing in het Noordzeekanaal tegen te gaan (bron: www.rijkswaterstaat.nl/water/).

Een aanvullende methode om zoutlast door sluisen te beperken is de “selectieve onttrekking” ([Rijkswaterstaat, 2019b](#)). Zoals hierboven al kort benoemd wordt in het Noordzeekanaal een vergrote zeesluis gebouwd. Om de zoutlast door deze sluis te beperken wordt een “selectieve onttrekking” gebouwd. Door een verticaal scherm te plaatsen dwars op het spuikanaal met alleen een opening nabij de bodem, wordt alleen dieper water naar zee gespuid. Doordat zout zich nabij de bodem ophoopt, wordt hierdoor met het spuiproces selectief zouter water aan het Noordzeekanaal onttrokken.

Naast het tegengaan van verzilting bij de bron, wordt specifiek voor kanaalsystemen ook gekeken naar het tegengaan van de verspreiding van zout water in het

watersysteem zelf. Dit gebeurt onder andere in het Noordzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal. Waar verzilting in het Noordzeekanaal wordt gezien als acceptabel en onvermijdelijk gezien de scheepvaartsluizen, wordt er naar gestreefd het Amsterdam-Rijnkanaal zoet te houden ten behoeve van gebruik van dit water voor drinkwater en de landbouw.



Afbeelding 8. Schematische weergave van de verziltingsdynamiek van het Noordzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal (NZK-ARK). Door afname van het doorspoeldebiet (1) wordt minder zout afgevoerd naar zee, waardoor het systeem oplaadt en het NZK sterker verzilt raakt. Hierdoor komt de overgang tussen de zoute onderlaag en de zoete bovenlaag (2) hoger te liggen en ligt deze net onder de hoogte van de drempel naar het ARK, waarna het zoute water door een of meerdere processen (3, 4, 5) voorbij de drempel in de monding van het ARK (6) kan komen en zich langs de bodem van het ARK kan verspreiden (7) (Verbruggen en Buschman, 2020).

De overgang tussen het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal wordt gevormd door een drempel waar onder sommige condities zout water overheen kan stromen. Dit zoute water verspreid zich vervolgens langs de bodem verder stroomopwaarts. Om verzilting tegen te gaan wordt zowel getracht de zoutlast via de sluizen te beperken door de inzet van bellenschermen en in de toekomst gebruik te maken van de selectieve onttrekking. Daarnaast wordt zoetgespoeld aan de hand van water aangevoerd vanuit Wijk bij Duurstede. Echter, verzilting van de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal is daarmee niet volledig te voorkomen. Om de stroomopwaartse verspreiding van zout water op het Amsterdam-Rijnkanaal tegen te gaan, is een bellenscherm geplaatst nabij de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal. Het bellenscherm vormt een barrière waar door het loslaten van luchtbelletjes nabij de bodem het water naar boven wordt gestuwd. Hierdoor wordt de stroomopwaartse verspreiding langs de bodem van het zoute water onderbroken, en wordt dit zoute water naar boven gestuwd in de zoete bovenlaag.



Afbeelding 9. Inzet tijdelijk bellenscherm in Amsterdam-Rijnkanaal (zomer 2018), dit is later vervangen door een permanente opstelling (bron: waterforum.net).

6. 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. Enkele maatregelen en stuurknoppen zijn hierboven al benoemd, maar worden hieronder beknopt in een overzicht weergegeven.

Maatregelen om de mate van zoutindringing te beïnvloeden:

TYPE MAATREGEL	TOEPASSING	INVULLING EN UITVOERING
Zoutgrens zoveel mogelijk naar zee verleggen <i>Kunstmatige controle van de zoetwaterafvoer richting de rivierarmen waar het meeste zoute water binnendringt, of waar het meest zoete water nodig is.</i>	Waterverdeling: Water met name via Nieuwe Waterweg, door gesloten 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 zoet water bovenstrooms: Lek en Hollandse IJssel	Door een beperkt debiet bovenstrooms door te laten wordt tegendruk geboden om bij verzilting van de monding verspreiding stroomopwaarts tegen te gaan.
Extra menging veroorzaken <i>Versterken natuurlijke</i>	Bellenpluimen (of bellenboten of pompschepen), in het Amsterdam-Rijnkanaal en mogelijke toekomstige	Geperst lucht wordt geïnjecteerd vanaf de bodem. Het stijgen van de luchtbellen veroorzaakt een verticale verplaatsing van het (zoute) water en er wordt zo menging veroorzaakt.

TYPE MAATREGEL	TOEPASSING	INVULLING EN UITVOERING
<p><i>mengproces tussen de zoete bovenlaag en de zoute onderlaag en daarmee een reductie van het landinwaartse transport van zout water.</i></p>	<p>maatregel in de Nieuwe Waterweg</p>	
<p>Kunstmatige aanpassing van de vorm van een waterlichaam</p> <p><i>Hiermee kan de zoutindringing worden beperkt en wordt het remmend vermogen van het zoetwater vergroot. Aanpassing van de diepte, breedte of met een beheersbare opening.</i></p>	<p>Trapjeslijn, in de Nieuwe Waterweg, het Scheur en de Nieuwe Maas en toekomstig misschien verondiepen Oude Maas.</p>	<p>De bodem van deze rivierarmen zijn zo aangelegd dat er een tredenprofiel is ontstaan (met oplopende treden landinwaarts). Hiermee werd het getijvolume, dus mogelijk indringend zoutwater, beperkt. Het uitbaggeren en uitdiepen van een kanaal of rivier heeft daarentegen een negatief effect.</p>
	<p>Aanleggen van drempels om zoutindringing te belemmeren. In de toekomst mogelijk in het Amsterdam-Rijnkanaal en achter spuisluizen die gebruikt worden voor visvriendelijk sluisbeheer (Bathse Spuisluis).</p>	<p>Bij een beperkte zoutindringing kan de zouttong worden tegengehouden door het plaatsen van een drempel. Dit kan zowel natuurlijk (Haringvliet, IJsselmeer) of kunstmatig (toekomst misschien ARK, en bij spuisluizen waar visvriendelijk sluisbeheer wordt gevoerd)</p>
	<p>Mogelijk toekomst: Samenvoegen diepere delen om tot een geleidelijk talud te komen (Haringvliet, IJsselmeer)</p>	<p>Om ingedrongen zout uit de diepere delen van een voormalig estuarium te krijgen, is een geleidelijk aflopend profiel naar de schutsluizen (en zoutvang) toe gewenst, zodat de verzilte water in diepere delen onder zwaartekracht terugstroomt naar de spuisluis.</p>
<p>Maatregelen bij sluisen</p> <p><i>Hiermee kan het zoutlek via sluisen worden beperkt of zelfs voorkomen</i></p>	<p>Bellenscherm (zeesluis Terneuzen, nieuwe inrichting Krammersluis (IZZS), zeesluis IJmuiden, sluisen Afsluitdijk</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 (Krammersluis IZZS)</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>
	<p>Eblekkende sluisdeur (Krammersluis IZZS)</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>

TYPE MAATREGEL	TOEPASSING	INVULLING EN UITVOERING
	Zoutvang (zeesluis Terneuzen, Krammersluis IZZS, zeesluis IJmuiden)	Een sleuf in het zoetwaterbekken voorbij de sluis om het (zwaardere) zoutwater dat door de schutsluizen lekt te vangen. Een pomp zorgt voor het terugstromen van het zoute water naar het zoutwaterbekken.
	Deur-open-tijden en in combinatie daarmee minder schuttingen	Zoutlast door schutsluizen komt voornamelijk door uitwisseling van het water in de kolk tijdens periodes waarin de sluisdeuren zijn geopend. Bellenschermen kunnen dit beperken, maar deuren kortstondiger openhouden is het meest effectief. Daarnaast is het in sommige gevallen effectief om minder schuttingen uit te voeren (zo lang dit niet leidt tot langere deur-open-tijden)
	Duinkerken zoet-zout scheidingssysteem (bestaande inrichting Krammersluizen, in het verleden Kreekraksluizen)	Vervanging van water in de sluisolk bij schutting.
	Selectieve onttrekking (Nieuwe Zeesluis IJmuiden, Noordzeekanaal)	Door middel van een scherm in het spuikanaal wordt bij spuien alleen water uit de diepere (zoute) lagen onttrokken
	Optimalisatie visvriendelijk sluisbeheer (Haringvliet – Kier, mogelijk: Bathse Spuisluis, spuisluizen Afsluitdijk)	Door visvriendelijk sluisbeheer af te stemmen op zoutgehalten en eigenschappen van migrerende vissen kan mogelijk een optimalisatie plaatsvinden waarin zoutindringing kan worden beperkt terwijl vismigratie wordt gefaciliteerd.

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	TOEPASSING	INVULLING EN UITVOERING
Akkoorden met andere landen over waterkwaliteit <i>Afspraken met bijvoorbeeld Duitsland en Frankrijk over lozingen en zoutconcentraties.</i>	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 en KWA+ (Klimaatbestendige Wateraanvoer)	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

TYPE MAATREGEL	TOEPASSING	INVULLING EN UITVOERING
<i>Bij dreigende verzilting van de Hollandsche IJssel wordt zoetwater van elders aangevoerd.</i>		regionale watersysteem (hoogheemraadschappen Stichtse Rijnlanden, Schieland & Krimpenerwaard, Rijnland en Delfland) van water voorzien uit het Amsterdam-Rijnkanaal via het regionale watersysteem.
Zoetwater buffers <i>Voorzien in aantal zoetwater buffers om ook in de toekomst voldoende zoetwater beschikbaar te hebben zonder grootschalige infrastructurele aanpassingen.</i>	Instellen van zoetwaterbuffers in het IJsselmeer, Maas, Hollandsche IJssel, Lek, Amsterdam-Rijnkanaal, Bernisse-Brielse Meer, Hollands Diep en Haringvliet (ten oosten van lijn Middelharnis-Spui)	Aanwijzen van verschillende waterlichamen als zoetwaterbuffers van waaruit het wateraanvoerende deel van Nederland van zoet water kan worden voorzien. Daarnaast het inrichten van de zoetwater aanvoer zodat deze waterlichamen ook ten tijde van droogte en verzilting van zoet water worden voorzien (Hydrologic, 2019).
Continue aanvoer zoet water naar kanalen met zeesluizen	Zoutindringing beperken dmv extra waterafvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal (tbv het Noordzeekanaal) en Gent (tbv het Kanaal Gent-Terneuzen).	De zoutlek bij de zeesluizen (van IJmuiden en Terneuzen) leidt tot zoutindringing. Om te voorkomen dat er te veel zout zich ophoopt (en bijvoorbeeld te ver het Amsterdam-Rijnkanaal optrekt) is het nodig continue zoet water aan te voeren voor tegendruk.
Operationeel sturen op zoutgehaltes <i>Zoutindringing meenemen in operationele waterbeheer.</i>	Opzetten van Zoute Beslis Ondersteunende Systemen (Volkerak-Zoommeer, Kanaal Gent-Terneuzen, toekomst: Noordzeekanaal - Amsterdam-Rijnkanaal en IJsselmeer)	Door in het operationele beheer naast peil-overwegingen ook verziltingsverwachtingen mee te nemen, kan een optimale sturing worden vormgegeven waarmee naast peil ook het zoutgehalte kan worden beheerst. Dit vraagt wel operationele sturing over veel langere tijdschalen (peil: orde dagen, zout: orde seizoenen)

Tabel 2. Overzicht van maatregelen om zoutindringing tegen te gaan of te beperken, en om zoetwater beschikbaarheid te vergroten.

7. KOSTEN EN BATEN

Verzilting is primair een waterverdelingsvraagstuk en door middel van een kosten-baten analyse moet een afweging gemaakt worden tussen de inzet van schaars “zoet” water voor het tegengaan van verzilting of het inzetten voor andere doeleinden zoals landbouw, natuur, drinkwater en scheepvaart. Hierbij speelt mee dat een verzilt waterlichaam ook maar beperkt van waarde is voor deze doeleinden. Economische schade veroorzaakt aan watergebruikers vanwege watertekort is recent uitgewerkt in een maatschappelijke kostenbaten analyse ([Mens et al, 2019](#)). De maatschappelijke kosten van water tekort moeten worden afgewogen tegen de kosten van maatregelen om verzilting tegen te gaan, en daarmee

zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Naast aanlegkosten en onderhoud, wordt daarnaast bij sommige maatregelen een aanzienlijke kostenpost gevormd door de energiekosten (bellenpluimen, bellenschermen).

8. RANDVOORWAARDEN

Naast het directe effect van verzilting waardoor (zoete) waterlichamen ongeschikt zijn voor beoogde toepassingen, is verzilting in relatie tot de zoetwatervoorziening primair een zoetwater verdelingsvraagstuk. Om verzilting in een gebied terug te dringen is doorspoelen met zoet water vaak de enige oplossing. Deze oplossing vraagt relatief veel water en leidt er toe dat veel van dit water naar zee wordt afgevoerd, zonder dat het voor andere doeleinden kan worden ingezet. Tijdens droge periodes neemt het wateraanbod sterk af (waardoor verzilting sneller optreedt) maar is de watervraag voor andere toepassingen ook groter. Omdat verzilting veelal een langdurig probleem is, wat slechts geleidelijk kan worden weggewerkt, is het vaak gewenster om verzilting te voorkomen, of om het (pas) tegen te gaan als er sprake is van substantiële aanvoer van zoet water. Een waterlichaam moet dan wel ingericht zijn om met langdurige periodes van verzilting tijdens droogte om te kunnen gaan.

9. 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.

10. PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK

Haringvliet Kier & Lerend Implementeren

Ten behoeve van vismigratie worden de Haringvlietsluizen sinds het najaar van 2018 tijdens vloed beperkt geopend. Om te begrijpen hoe de vismigratie maar met name de zoutindringing werkt en beheerst kan worden, wordt in de eerste jaren een beleid van lerend implementeren gevoerd waarin aan de hand van veldexperimenten, modellering en data-analyse deze kennis wordt ontwikkeld en opgebouwd.

Beslis Ondersteunende Systemen voor verzilting

Inbouwen van zoutverwachting in beslis ondersteunende systemen ten behoeve van het operationele beheer van waterlichamen. Voor het Volkerak-Zoommeer en Kanaal Gent-Terneuzen wordt dit nu ontwikkeld. De verwachting is dat op deze wijze operationeel sturen op zout breder toegepast zal worden voor het Noorzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal en in de toekomst mogelijk ook het IJsselmeer. Sturen op zout vergt een langer voorspelhorizon omdat verzilting een geleidelijk proces is wat veelal maanden duurt.

Spuisluisformulering

Naast de Zeesluisformulering die de zoutlek door schutsluizen afschat, wordt op dit moment ook gewerkt aan een spuisluisformulering. Deze moet een schatting van de zoutlast door een kunstwerk kunnen geven op basis van omgevingsfactoren (waterstanden, zoutgehaltes), eigenschappen van het kunstwerk (dimensies, verliescoëfficiënten) en sturingsgegevens (duur en grootte van de opening(en)).

Strategie klimaatbestendige zoetwatervoorziening hoofdwatersysteem

De komende jaren wordt deze strategie verder uitgewerkt als onderdeel van het Deltaprogramma Zoetwater. De strategie richt zich op behoud en inzet van een netwerk van zoetwaterbuffers door tijdens droogte het beschikbare rivierwater slim te verdelen en vast te houden.

SALTISolutions

NWO TTW programma waar verscheidene universiteiten, ingenieursbureaus, kennisinstituten, waterschappen, havenbedrijven en Rijkswaterstaat samenwerken

om de kennis van zoutindringing en zoutverspreiding verder te uit te breiden. Dit onderzoeksprogramma is in 2020 gestart en zal zes jaar duren.

Deltaprogramma

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.

Kennisprogramma zeespiegelstijging

De impact van zeespiegelstijging op de inrichting van Nederland wordt in een meerjarig kennisprogramma onderzocht. Als onderdeel hiervan wordt ook gekeken tot wanneer de huidige strategieën met betrekking tot beheersing van verzilting en zoutindringing effectief blijven, en op welk moment op andere wijze de zoutindringing zal moeten worden beheerst.

Vervangingsopgave natte kunstwerken

Parallel met het hierboven beschreven kennisprogramma zeespiegelstijging geldt voor veel kunstwerken dat zij in de komende decennia het einde van hun levensduur bereiken en vervangen moeten worden. De vervanging van de kunstwerken biedt ook de mogelijkheid om de functionaliteiten van de kunstwerken en inrichting van de achterliggende watersystemen te beschouwen en keuzes te maken die toekomstbestendig zijn. De toekomstige inrichting met betrekking tot verzilting en zoutindringing speelt hierin een belangrijke rol.

11. 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.

Daarnaast zijn er nog aanzienlijke kennisleemtes als het gaat om de interactie tussen inkomend verzilt water en het zoete omgevingswater. Processen als opmenging zijn slechts beperkt te kwantificeren en ten dele te herleiden tot aandrijvende krachten zoals wind, stroming (spuien) en bijvoorbeeld het effect van scheepvaart.

Tot slot, moeten continu de in het verleden bedachte maatregelen worden getoetst aan huidige en toekomstige socio-economische en klimaat ontwikkelingen. Denk bijvoorbeeld aan haventoeankelijkheid 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.

12. BRONNEN EN LINKS

- Dillingh, D, Uittenbogaard, R.E. & Keetels, G.H. (2012). [Verkennd onderzoek haalbaarheid innovatief zout/zoet-scheidingssysteem 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). Luchtbellenuitplanting in de Nieuwe Waterweg. Eindrapportage schaalonderzoek. Deltares rapport 1206501-000-ZKS-0021.
- Friocourt, Y.F. (2020). Nieuwe inzichten naar aanleiding van de verzilting van het IJsselmeer in 2018 en actualisatie van de posten van de water- en zoutbalans van het meer. RWS informatie rapport (ongereviewd, v0.1)

- Huismans, Y., van der Wijk, R., Fujisaki, A. & Slof, K. (2018). [Zoutindringing in de RijnMaasmonding; Knelpunten en effectiviteit stuurknoppen](#). Deltares rapport 11200589-001-ZWS-0010
- Hydrologic (2019). [Nadere verkenning stuurbaar buffernetwerk. Hydrologic rapport P1100](#), 2019
- 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.
- Kuijper, K. (2016). [Analyse van de zoutmetingen in november 2015 langs de Hollandsche IJssel. Afleiding dispersiecoëfficiënt](#). Deltares-rapport 1230077-001.
- Kuijper, K. (2017) [Analyse van zoutmetingen in de Lek met schatting dispersiecoefficient](#). Deltares-rapport 11200589-001-ZWS-0003
- 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., & Wesselijs, C. (2014). Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21^e eeuw. Deltaprogramma – Deelprogramma Zoetwater – Fase 4. Deltares rapport 1209141-001.
- Mens, M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J. & Schasfoort F. (2019). [Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II; Voorlopige rapportage](#). Deltares rapport 11203734-003-ZWS-0002
- 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].

- Rijkswaterstaat (2019a). [Resultaten eerste zoetspoelproeven Kierbesluit Haringvliet](http://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/05/), website (www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/05/)
- Rijkswaterstaat (2019b). [Hoe beschermt Rijkswaterstaat zoet water in het Noordzeekanaal?](http://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/04/), website (www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/04/)
- 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.
- Verbruggen W., & Buschman, F. (2020). Evaluatie maatregel constanter water afvoeren in het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal; Effect op zoutindringing tijdens de droogte van 2018. Deltares rapport 11203735-006-ZWS-0007
- Villars, M. T., Uittenbogaard, R. E., Cornelisse, J. M., & Nolte, A. J. (2011). [Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperking Volkeraksluizen. Eindrapport van het onderzoek naar mogelijkheden voor de zoutlekbeperking door de Volkeraksluizen na verzilting van het Volkerak-Zoommeer](#). Deltares rapport 1201226-015.
- Vreeken, T., & Zwanenburg, S. (2016). Prestatie Innovatieve Zout-Zoet Scheiding op de Krammersluizen; Berekeningen met WANDA-Locks. Deltares rapport 1210765-009-HYE-0002
- De Vries, I. (2014). [Toetsing robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening. Fase 2: definitieve toetsing](#). Deltares rapport 1209018-000.
- Weiler, O., & Burgers, R. (2018) [Zoutindringing door schutsluizen; Overzicht projecten en aanzet formulering t.b.v. netwerkmodellen](#). Publicatie Kennisprogramma Natte Kunstwerken.
- Weiler, O. (2019). [Verkenning noodmaatregelen verzilting IJsselmeer; Schutoperatie en bellenschermen](#). Deltares-publicatie 11203735-005-ZWS-0002
- van der Wijk, R., van der Kaaij, T., Kranenburg, W. (2019). [Data-analyse verzilting Hollandsche IJssel en Lek droogteperiode 2018.](#) Deltares-rapport 11203735-004-ZWS-0004

13. COLOFON

Deze Deltafact is opgesteld door Deltares in juni 2014 door Y. Friocourt, K. Kuijper en N. Leung. In oktober 2020 is het document door Deltares aangevuld door M. Tiessen en M. Mens.

Interessante links

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

Algemene informatie

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

14. 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.