

Handreiking doelmatiger doorspoelen



Handreiking doelmatiger doorspoelen

Joost Delsman (Deltares)
Mark Kramer (HH Rijnland)

11200588-030

Titel
Handreiking doelmatiger doorspoelen

Opdrachtgever
Ministerie van Infrastructuur
en Milieu

Project
11200588-030

Kenmerk
11200588-030-ZWS-0001

Pagina's
37

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|-----------|---------------|--------|---------------|--------|-------------|--------|
| | Dec. 2017 | Joost Delsman | | Perry de Louw | | Harm Duel | b.a. |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Status
definitief

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 1.1 | Achtergrond | 1 |
| 1.2 | Doel | 1 |
| 1.3 | Afbakening | 1 |
| 2 | Doorspoelen | 3 |
| 2.1 | Definitie van doorspoelen | 3 |
| 2.2 | Doelen van doorspoelen | 3 |
| 2.3 | Praktijk van doorspoelen in Nederland | 3 |
| 2.4 | Recent beschikbaar gekomen kennis over doorspoelen | 4 |
| 2.4.1 | Verziltting van oppervlaktewater | 4 |
| 2.4.2 | Doorspoelhoeveelheden | 6 |
| 2.4.3 | Efficientie van doorspoelen | 8 |
| 2.5 | Misverstanden over doorspoelen | 9 |
| 3 | Stappenplan doelmatiger doorspoelen | 11 |
| 3.1 | Proces | 11 |
| 3.2 | Stap 1: Huidige situatie: 'Actueel zoetwaterregime' | 11 |
| 3.2.1 | Bepaal de huidige waterkwaliteit | 11 |
| 3.2.2 | Breng de oorzaken voor de achterblijvende waterkwaliteit in beeld | 12 |
| 3.2.3 | Hoeveel wordt er ingelaten / doorgespoeld? | 13 |
| 3.2.4 | Verspreiding van inlaatwater | 13 |
| 3.2.5 | Wat is het effect van doorspoelen? | 13 |
| 3.2.6 | Regionale invloed doorspoeling | 15 |
| 3.2.7 | Waterbeschikbaarheid hoofdwatersysteem | 16 |
| 3.2.8 | Doorkijk toekomst | 16 |
| 3.2.9 | Betrekken zoetwatergebruikers | 16 |
| 3.3 | Stap 2: Waarvoor wordt er doorgespoeld? Het 'Optimaal zoetwaterregime' | 16 |
| 3.3.1 | Breng de doelen / gebruikers van doorspoeling in beeld | 16 |
| 3.3.2 | Breng de eisen van functies aan waterkwaliteit / doorspoelen in beeld | 17 |
| 3.3.3 | Regionaal waterbeheer | 19 |
| 3.3.4 | Betrek gebruikers | 19 |
| 3.4 | Stap 3: Bepalen doelrealisatie en knelpunten | 19 |
| 3.5 | Stap 4: Bepalen 'Gewenst zoetwaterregime' en 'Waterbeschikbaarheid' | 20 |
| 3.6 | Stap 5: Definieer maatregelen | 20 |
| 4 | Mogelijke maatregelen | 22 |
| 4.1 | Bronsanering | 22 |
| 4.2 | Aanpassen reguliere doorspoelhoeveelheden | 22 |
| 4.3 | Automatiseren van inlaten | 22 |
| 4.4 | Optimaliseren verspreiding inlaatwater door watergangen | 23 |
| 5 | Conclusies en aanbevelingen | 26 |

Bijlage(n)

A Onderzoekstechnieken

| | | |
|-----|-------------------------------------|------------|
| A.1 | EC routing | A-1 |
| A.2 | Participatieve monitoring | A-1 |
| A.3 | Gd anomalie | A-2 |
| A.4 | Gecombineerde tracer techniek | A-3 |
| A.5 | Hydraulische modellering (Sobek CF) | A-4 |

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het doorspoelen van watergangen – ten behoeve van verziltingsbestrijding, verdunning van effluent, bestrijding van blauwalgen et cetera – vraagt veel water. De watervraag voor doorspoelen bedraagt zo'n 15% van de totale zoetwatervraag in Nederland (Klijn et al., 2012). De beschikbaarheid van zoet water staat in droge zomers onder druk. Door klimaatverandering, lagere rivierafvoeren en toenemende verzilting zal een afnemende zoetwaterbeschikbaarheid in de toekomst nog verder het geval zijn.

Tegelijkertijd lijkt recent onderzoek er op te wijzen dat er een efficiëntieslag mogelijk is in het doorspoelbeheer, door het doorspoelen in ruimte en tijd beter af te stemmen op de actuele vraag van water, en bijvoorbeeld rekening te houden met nieuwe kennis over de zouttolerantie van gewassen (bv. Delsman, 2015; Van Bakel en Stuyt, 2011). In de Haarlemmermeerpolder is recent het inlaat- en doorspoelbeheer op basis van deze inzichten herzien (Kramer et al., 2017). Het praktijkvoorbeeld van de Haarlemmermeerpolder speelt een belangrijke rol in deze handreiking.

Met de Deltabeslissing Zoetwater is gestart de zoetwateropgave gezamenlijk met zoetwatergebruikers op te pakken. Het proces van Waterbeschikbaarheid moet gebruikers meer inzicht verschaffen in hoeveel en hoe vaak zoetwater beschikbaar is, en zo de risico's op zoetwatertekorten transparanter maken (Deltacommissaris, 2013) en een handelingsperspectief bieden. Doelmatiger doorspoelen kan één van de optimalisaties binnen het proces van Waterbeschikbaarheid zijn.

1.2 Doel

Doel van deze handreiking is het ondersteunen van waterbeheerders bij het nadenken over een doelmatiger doorspoelbeheer. Het biedt recente inzichten over doorspoelen, en een procesopzet om te komen tot een doelmatiger doorspoelbeheer.

1.3 Afbakening

Hoewel grotendeels geschreven als een zo concreet mogelijk stappenplan, wordt onderkend dat er geen blauwdruk is om doelmatiger te gaan doorspoelen. Daarvoor verschillen omstandigheden, doelen en effecten van doorspoeling te veel, en is de ervaring met trajecten om doelmatiger te gaan doorspoelen beperkt. De lezer wordt dan ook aangeraden vooral te 'shoppen' uit deze handreiking, ideeën en denkwijzen op te doen en alleen de relevante onderdelen te gebruiken.

Waar de kern van deze handreiking toepasbaar is voor de meeste doorgespoelde waterstelsels, ontkomt deze handreiking er niet aan de nadruk te leggen op waterstelsels die hoofdzakelijk omwille van verziltingsbestrijding worden doorgespoeld. Hierbij ligt de nadruk op regionale watersystemen, hoofdpunten zullen evenwel ook op het hoofdwatersysteem van toepassing zijn.

De handreiking is geschreven voor beleidsmedewerkers werkzaam bij waterbeheerders. De handreiking richt zich nadrukkelijk niet op het dagelijks doorspoelbeheer.

Inlaat van water en doorspoelen hangen nauw met elkaar samen. In deze handreiking gaat het puur over doorspoelen (zie ook de gehanteerde definitie in paragraaf 2.1): het in- en later weer uitlaten van water om de waterkwaliteit te verbeteren. Inlaat om watertekorten aan te vullen en het peil te handhaven valt hier buiten, en past ook beter in de bestaande peilbesluit-trajecten.

2 Doorspoelen

2.1 Definitie van doorspoelen

In dit rapport wordt doorspoelen gedefinieerd als:

Het in een waterstelsel inlaten van een hoeveelheid water om de waterkwaliteit in dat waterstelsel te verbeteren, waarna eenzelfde hoeveelheid water weer actief uit het waterstelsel wordt gelaten.

Het gaat dus specifiek om water dat ook weer actief een gebied uit wordt gelaten, en binnen het gebied niet wordt verbruikt. Met 'actief uitgelaten' wordt aangegeven dat hiermee bijvoorbeeld niet water wordt bedoeld dat een gebied wordt ingelaten, en vervolgens verdwijnt naar het diepe grondwater, zoals in veel veenweidegebieden. De definitie laat wel open dat de waterdruppel die een waterstelsel wordt ingelaten niet dezelfde druppel hoeft te zijn als die het stelsel weer verlaat. Binnen een gebied kan een waterdruppel bijvoorbeeld door een beregeningsinstallatie worden opgepompt, en worden vervangen door een druppel kwelwater.

Doorspoelen heeft als specifiek doel de waterkwaliteit te verbeteren, of het nu gaat om verlaging van chlorideconcentraties, vermindering van stankoverlast of de blauwalgproblematiek. Tenslotte is doorspoelen een actieve handeling: water wordt het waterstelsel in- en uitgelaten (stroming van een beek is geen doorspoelen).

2.2 Doelen van doorspoelen

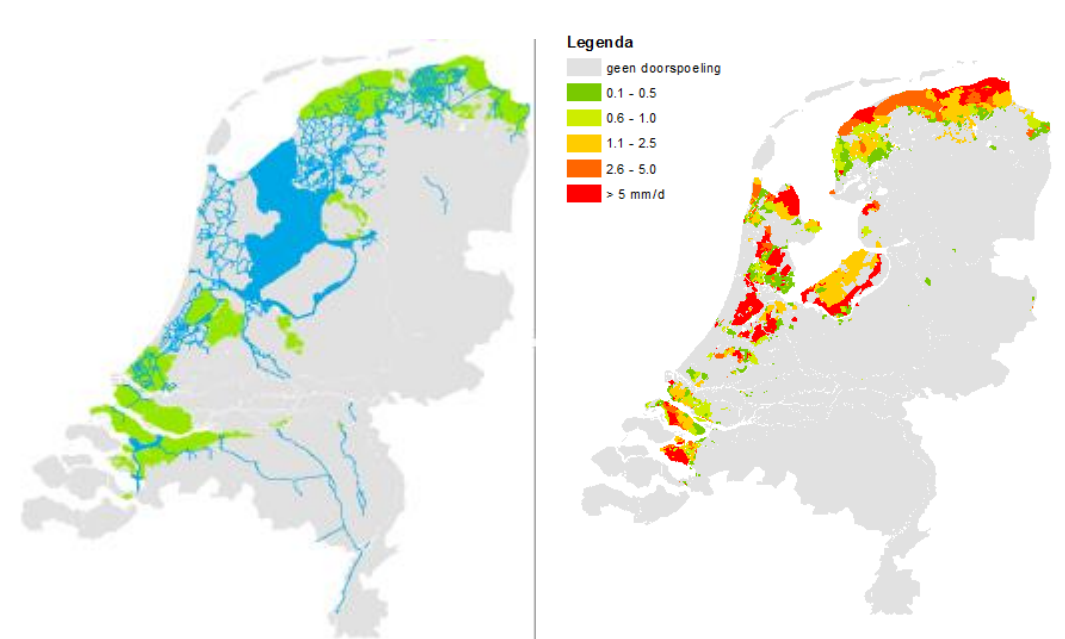
Doorspoelen gebeurt om velerlei redenen, die allemaal verband houden met het verbeteren van de waterkwaliteit:

- Chloride, veelal om landbouw te faciliteren in gebieden waar zout grondwater in het oppervlaktewater uittreedt,
- Stankoverlast, bijvoorbeeld waar IBA's (individuele behandeling afvalwater, septic tanks e.d.) op oppervlaktewater lozen,
- Tegengaan van zuurstoftekorten, met name in stadsgrachten,
- Blauwalgbestrijding,

2.3 Praktijk van doorspoelen in Nederland

Het doorspoelen van waterstelsels vindt met name plaats in West- en Noord-Nederland. Doorspoelen gebeurt hier met name ter voorkoming van te hoge chloridegehalten in het oppervlaktewater, waar de landbouw hinder van ondervindt. Zowel hoofdwateren (zoals het Volkerak of het Amsterdam-Rijnkanaal), boezemstelsels, als polderwatergangen worden doorgespoeld. Waterbeheerders hebben verschillende opvattingen over doorspoelen, en in hoeverre een goede waterkwaliteit door waterbeheerders dient te worden gefaciliteerd (Stuyt et al., 2011).

Figuur 2.1 geeft links een overzicht van in het Landelijk Hydrologisch Model opgenomen informatie over doorgespoelde locaties. Dit overzicht is incompleet, doordat het is gebaseerd op deels verouderde en onvolledige informatie. Dezelfde figuur geeft rechts een indruk welke gebieden puur omwille van verzilting doorgespoeld zouden kunnen worden, dit is een beduidend groter gebied.



Figuur 2.1 Links: Doorspoeling zoals opgenomen in het Landelijk Hydrologisch Model, gebaseerd op inventarisaties bij waterbeheerders. Groen: doorgespoelde polderwateren, blauw: wateren met een gewenst minimumdebiet in het Distributiemodel (door definitie niet één-op-één gelijk te stellen met doorgespoelde wateren). Rechts: Berekende theoretische doorspoelbehoefte om een streefconcentratie van 250 mg/l in het polderwater te bereiken (Klijn et al., 2012)

Kwantitatieve informatie over doorspoelhoeveelheden is maar beperkt beschikbaar. Dit komt mede doordat het niet altijd eenvoudig is om de hoeveelheid doorspoeling te bepalen. Zeker kleinere inlaatkunstwerken zijn veelal onbemeten. Meting van de daadwerkelijke inlaathoeveelheid kan daarbij sterk afwijken van beschikbare schattingen (bijvoorbeeld een factor 5 bij kleine inlaten langs de Haarlemmermeer (Delsman, 2015)). Maar ook wanneer inlaten bemeten zijn is de precieze doorspoelhoeveelheid niet altijd eenduidig te bepalen. Dit omdat de doorspoelhoeveelheid niet direct is af te leiden van de ingelaten waterhoeveelheid. Het vergt kennis van de volledige waterbalans van een systeem, waarin enkele posten notoir moeilijk zijn te bepalen (verdamping, kwel, infiltratie). Daarnaast is van ingelaten water lastig te bepalen welk deel voor peilbeheer, welk deel voor beregening en welk deel voor doorspoelen gebruikt wordt.

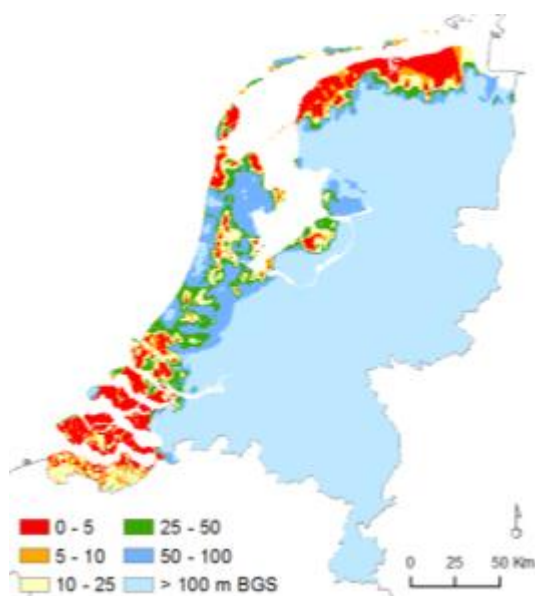
Sturing van doorspoeling op chlorideconcentratie vindt met name plaats voor de boezemsystemen, voor polderwateren beperkt sturing zich over het algemeen tot ad-hoc waterbeheer, vaak op verzoek van contact opnemende agrariërs.

2.4 Recent beschikbaar gekomen kennis over doorspoelen

2.4.1 Verzilting van oppervlaktewater

In de Nederlandse kustregio bevindt brak / zout grondwater zich op veel plaatsen ondiep aan de oppervlakte. Het vóórkomen van ondiep brak grondwater valt in veel gevallen terug te voeren op de ontstaansgeschiedenis van het gebied (De Louw, 2013; Delsman et al., 2014a). In de Hollandse kustregio dateert de laatste zee-invoel van zo'n 6000 jaar geleden, waarna de kust zich sloot en er uitgebreide zoete veenmoerassen ontstonden. Hier hangt het voorkomen van zout grondwater samen met de diepe ligging van de polders, waar het oude in de bodem geïnfiltreerde zeewater meer naar de oppervlakte stroomt. In Zeeland en

Friesland was de zee-invoel veel recenter nog merkbaar, brak grondwater is hier dan ook ondieper aan te treffen.



Figuur 2.2 Diepte (m – maaiveld) van aantreffen brak grondwater (naar De Louw, 2013)

In veel diepe Hollandse polders wordt de zoutlast gedomineerd door wellen: kortsluitstromingen tussen het watervoerend pakket en de oppervlakte. Door scheuren in de Holocene deklaag stroomt er lokaal veel grondwater naar de oppervlakte. Door de grote snelheden waar dit mee gepaard gaat, wordt er relatief diep, en daarmee zout, grondwater aangetrokken (De Louw et al., 2013b, 2011, 2010). Doordat zowel de stijghoogte in het watervoerend pakket, als de waterhoogte in het oppervlaktewater waar de wel uitkomt, relatief constant zijn, is de afvoer van een wel dat ook. Wellen zorgen daarom voor een vrij continue zoutlast. De zoutconcentratie in een polder wordt in een dergelijke situatie bepaald door de bijmenging met zoet water, neerslag- of inlaatwater. Door oplading van het oppervlaktewater is de uitgeslagen zoutlast van een polder wel het grootste bij een hogere afvoer, met name net na een droge periode (De Louw et al., 2011; Delsman et al., 2013). Deze oplading vindt met name plaats in de kleine sloten, die geen deel uitmaken van het afvoerstelsel (zie ook 2.4.3).



Figuur 2.3 Uittredend grondwater van een wel in een slootkant in de Haarlemmermeer (Delsman, 2015)

Waar de zoutvracht niet wordt gedomineerd door wellen maar door meer diffuse kwel, afgevoerd door drainagebuizen en sloten, varieert de zoutvracht naar de sloten veel sterker in de tijd (Delsman et al., 2017, 2014b). Dit ondanks dat de diepte van het brakke grondwater, ofwel de dikte van de daarboven aanwezige regenwaterlens, tamelijk constant is (De Louw et al., 2013a). Dit komt doordat bij een hogere afvoer naar de sloten niet alleen meer ondiep grondwater, maar ook meer dieper grondwater wordt afgevoerd. Hier is de vracht laag bij lage afvoer, en de vracht hoog bij hoge afvoer. Door de lagere vracht bij lage afvoer kan het zelfs zo zijn dat er in droge perioden minder doorgespoeld hoeft te worden om concentraties laag te houden, ondanks de hogere uitgangszoutconcentraties in de sloten (zie ook de misverstanden over doorspoelen).

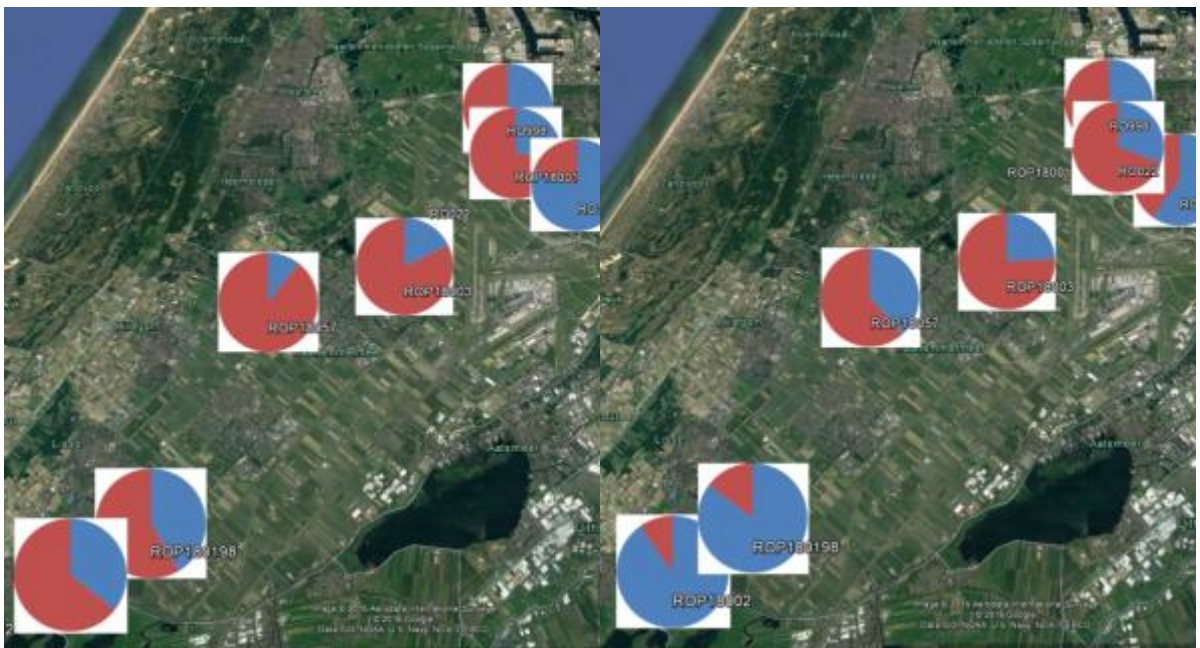
Ondanks dat een aantal polders in West- en Noord-Nederland bekend staan als “zout”, wil het nog niet zeggen dat het zout gelijkmatig over de polder verdeeld is. Ook binnen zoute polders kunnen zoete(re) delen voorkomen. Voor een deel komt dat door de hierboven beschreven wellen, maar kan ook komen door geohydrologische omstandigheden. Denk bijvoorbeeld aan lokale verschillen in bodemopbouw (aanwezigheid van zandige geulen in de ondergrond) en de nabijheid van bijvoorbeeld zoete meren en plassen van waaruit infiltratie kan plaatsvinden. Waar deze omstandigheden een regionale omvang hebben, kan het effect van het doorspoelen op de zoutconcentraties in de polder beperkt zijn.

2.4.2 Doorspoelhoeveelheden

Op polderniveau zijn doorspoelhoeveelheden slecht bekend. Dit komt omdat inlaten en doorspoelen plaatsvindt via een groot aantal veelal onbemeten kleine inlaatkunstwerken en omdat het daadwerkelijke gebruik van het water onbekend is. Kennis over zowel de inlaatcapaciteit, als het beheer van deze kunstwerken, is vaak niet aanwezig of vastgelegd. Theoretische schattingen van de capaciteit van kunstwerken kunnen sterk afwijken van de daadwerkelijke capaciteit. Zo bleek uit metingen aan enkele inlaatkunstwerken in de Haarlemmermeer de theoretisch ingeschatte waarde de werkelijke capaciteit vijf keer te onderschatten (Delsman, 2015). Maar ook wanneer inlaten bemeten zijn is de precieze doorspoelhoeveelheid niet altijd eenduidig te bepalen. Dit omdat de doorspoelhoeveelheid

niet direct is af te leiden van de ingelaten waterhoeveelheid (niet al het water dat wordt ingelaten, wordt gebruikt voor doorspoelen). Ook is niet altijd in detail bekend wanneer en hoe ver inlaten openstaan. Het bepalen van de doorspoelhoeveelheid vergt kennis van de volledige waterbalans van een systeem, waarin enkele posten notoir moeilijk zijn te bepalen (verdamping, kwel, infiltratie).

Een interessante recente ontwikkeling om inlaathoeveelheden in beeld te brengen, is het gebruik van zeldzame aarden (met name Gadolinium) als tracer voor inlaatwater. Gadolinium wordt toegepast bij MRI scans, wordt verhoogd aangetroffen in de grote oppervlaktewateren en gedraagt zich volledig conservatief in oppervlaktewater. Ter illustratie is in figuur 2.3 de met Gadolinium bepaalde fractie van inlaatwater op een aantal punten in de Haarlemmermeerpolder weergegeven, voor de situatie dat de hoofdinlaat van de polder gesloten is (25 april 2016) en dat de inlaat geopend is (17 juni 2016). Zie bijvoorbeeld ook (Rozemeijer et al., 2012) voor een voorbeeldtoepassing.

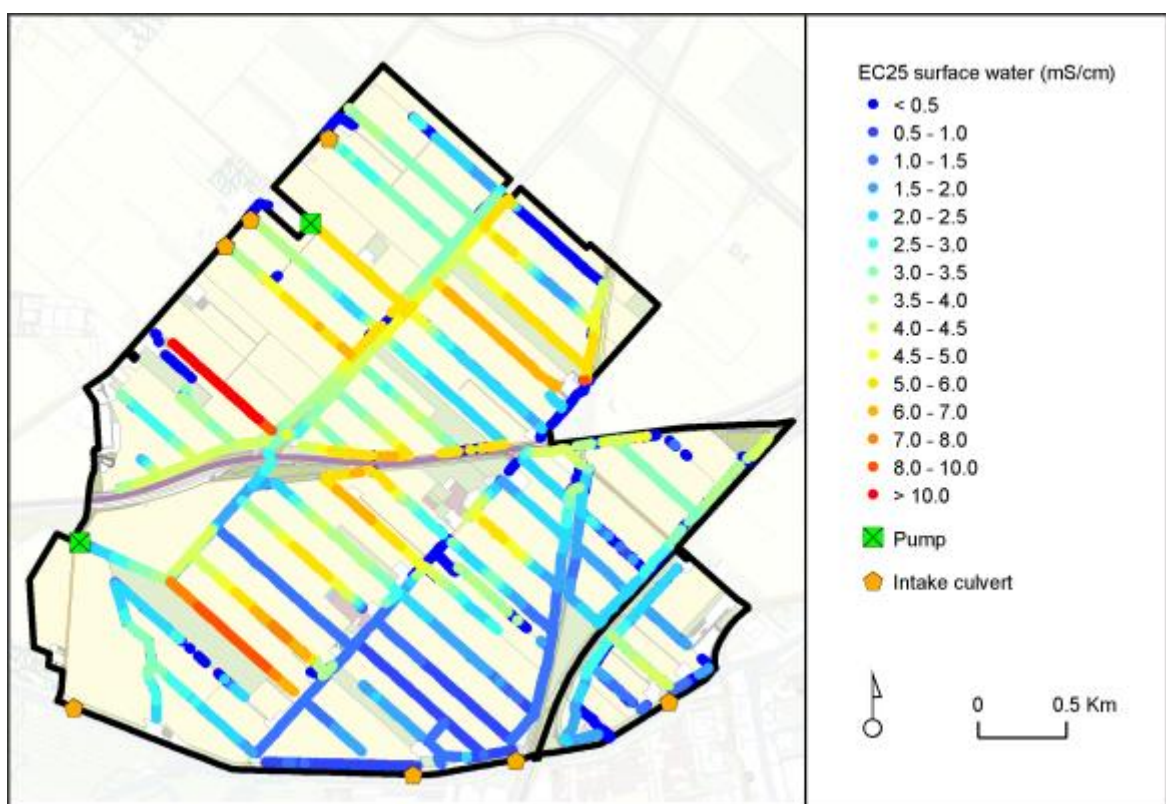


Figuur 2.3 Ruimtelijke verdeling fractie inlaatwater op 25 april 2016 (links) en 17 juni 2016 (rechts). Blauw is inlaatwater, rood is lokaal polderwater.

Doorspoelhoeveelheden in polders vertalen zich niet één-op-één in een watervraag aan het hoofdwatersysteem, omdat doorspoelwater ook weer wordt uitgemalen. Er is daardoor de mogelijkheid van dubbel gebruik van water: water dat eerder voor doorspoeling werd gebruikt kan benedenstrooms in een watersysteem dienen voor peilhandhaving. Het hangt dan ook af van de verdere waterstromen in een watersysteem in hoeverre een watervraag voor doorspoeling een watervraag aan het hoofdwatersysteem betekent. In zijn algemeenheid zal doorspoeling dichtbij een hoofd-inlaatpunt minder snel een watervraag betekenen dan doorspoeling ver van een inlaatpunt af. De Eureyeopener is een geschikt instrument om dit soort afhankelijkheden binnen een watersysteem te onderzoeken. (Stuyt et al., 2013).

2.4.3 Efficiëntie van doorspoelen

De route van het inlaatwater door een waterstelsel wordt gestuurd door watergradiënt: het stroomt in het algemeen in zo direct mogelijke lijn van inlaat naar het gemaal (Delsman, 2015; Rozemeijer et al., 2012). Zijtakken, zeker waar deze doodlopen, zoals kavelsloten, worden dan ook niet bereikt door inlaatwater. Inlaatwater treedt alleen binnen in kavelsloten als het 'eigen' water is verdampt of geïnfiltreerd, iets wat in polders slechts zeer zeldzaam gebeurt. Waterstelsels zijn in zijn algemeenheid ingericht om water zo snel mogelijk af te voeren, en niet om inlaatwater zo goed mogelijk door een waterstelsel te verspreiden. Het gecombineerd gebruiken van watergangen voor aan- en afvoer is overigens mondiaal gezien niet gebruikelijk; geïrrigeerde landbouwgebieden kennen over het algemeen gescheiden wateraan- en afvoersystemen.



Figuur 2.4 Sterke ruimtelijke variatie in saliniteit van het oppervlaktewater (Delsman, 2015)

Doordat aan- en afvoerstromen niet gescheiden worden, mengt het inlaatwater gaandeweg met brak gebiedseigen water. De concentratie neemt daarmee in de richting van het afvoerpunt toe, en kan gebruik van het inlaatwater op een bepaalde afstand van de inlaat verhinderen. Omdat ook het uittreden van brakke kwel sterk ruimtelijk kan verschillen (met name waar wellen de zoutvracht domineren), treden binnen een waterstelsel grote ruimtelijke verschillen op in zoutconcentratie en in het effect van doorspoelen (Figuur 2.4).

Op het niveau van de kleine kunstwerken vindt relatief weinig beheer plaats van inlaathoeveelheden. Onderlinge afstemming tussen gebruikers (agrariërs) en waterbeheerders daargelaten, wordt een inlaat niet zelden omstreeks 1 april open gezet, en 1 oktober weer gesloten. Dit terwijl de benodigde doorspoeling varieert met de afvoer (neerslag verdunt de zoutconcentraties), en afhangt van het gebruik van het water (er is niet altijd beregeningswater nodig).

2.5 Misverstanden over doorspoelen

Over doorspoelen zijn verschillende ideeën in omloop, die niet altijd stroken met de laatste inzichten.

Meer doorspoelen betekent meer watervraag aan het hoofdwatersysteem

Dit is maar net afhankelijk van waar in het regionale systeem de doorspoeling plaatsvindt, en hoe water zich verdeelt in het regionale systeem. Als een doorgespoelde polder zich dicht bij de inlaat bij het hoofdwatersysteem bevindt, en benedenstrooms van de polder bevinden zich grote watervragers, kan in een polder meer worden doorgespoeld zonder de watervraag te vergroten. De watervraag voor doorspoelen wordt dan verder in het systeem hergebruikt. Anders wordt het wanneer de doorspoelvraag zich ver van de inlaat bevindt, en het water niet kan worden hergebruikt. Dan telt de doorspoelvraag wel door in de watervraag aan het hoofdwatersysteem.

Doorspoelen “duwt het zout naar buiten”

Er wordt nog wel eens gedacht dat doorspoeling werkt doordat het zoete water het zoute water ‘naar buiten spoelt’. Dit gaat echter niet op voor continue belastingen met zout of andere stoffen (zoals brakke kwelbelasting). Deze stromen moeten worden verdund door menging met zoetwater. Bij beperking van de zoutlast is bij gelijkblijvende streefconcentratie dan minder doorspoeling nodig. Anders is het bij in de tijd sterk variërende lozingen, of in het uiterste geval eenmalige lozingen. Dergelijke zoutproppen worden wel ‘naar buiten geduwd’; beperking van de zoutlast is dan niet één-op-één te vertalen in een kleinere doorspoelbehoefte.

In droge perioden is meer doorspoeling nodig

In droge perioden bestaat het afgevoerde water voor een groter deel uit grondwater. De concentratie (zonder doorspoeling) is dan ook hoger. Maar dat betekent niet per se dat er meer doorspoeling nodig is. Bij een relatief gelijkblijvende zoutlast, bijvoorbeeld door wellen, is er inderdaad meer doorspoeling nodig om een bepaalde concentratie te handhaven. In gebieden waar zout grondwater ondiep zit, is de zoutlast tijdens droge perioden ook veel lager, en kan met minder zoetwater een bepaalde concentratie worden gehandhaafd.

Doorspoeling bereikt alle sloten

Nee, ingelaten water komt niet in alle sloten, maar beperkt zich tot de snelste weg van inlaat tot gemaal. Veel sloten in een gebied zijn kopsloten zonder doorvoerfunctie. Hier komt ingelaten water alleen wanneer er (1) een infiltratiesituatie is ontstaan, en (2) het oorspronkelijke water in de sloot volledig is geïnfiltrerd. En dat gebeurt zeker in kwelpolders slechts zelden. Daarnaast vermengt ingelaten water zich gaandeweg met zout grondwater, waardoor doorspoelwater een gebied misschien wel bereikt, maar lang niet zo effectief is als dichterbij de inlaat. Méér doorspoelen betekent dan ook veelal dat er meer zoetwater naar het afvoerende kunstwerk (veelal vakgemaal) stroomt en niet dat er meer watergangen in het peilvak zoet worden.

Meer doorspoelen leidt altijd tot lagere zoutgehalten

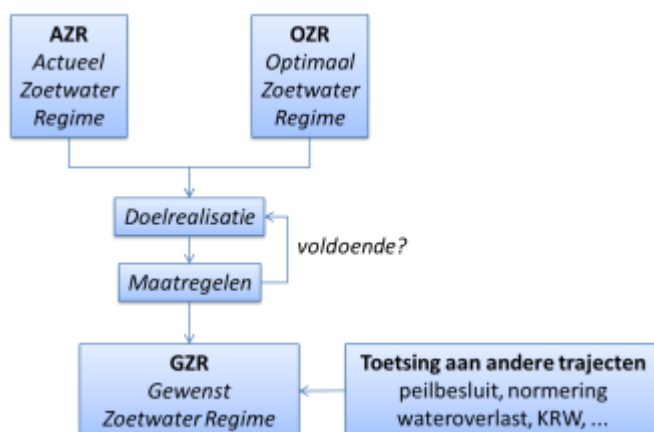
In grotere watersystemen en op grotere afstand van het inlaatpunt heeft het inlaten van (extra) zoetwater maar beperkt nut. Andere factoren, zoals bijvoorbeeld de neerslag of verdamping en afvoer uit (deel)peilvakken, worden dan dominant in het resulterende zoutgehalte. In de Haarlemmermeerpolder wordt bijvoorbeeld jaarlijks circa 25 miljoen m³ water ingelaten. Ondanks dat dit veel water is, is het “slechts” circa 10% van de hele waterbalans van de polder. De chlorideconcentratie bij het uitstroompunt van de

Haarlemmermeer bleek dan ook geen significante relatie te vertonen met het beheer van de hoofdinlaat van de Haarlemmermeer (Kramer et al., 2017).

3 Stappenplan doelmatiger doorspoelen

3.1 Proces

In dit hoofdstuk wordt een te volgen proces beschreven om te komen tot een doelmatiger doorspoelbeleid voor een gebied. Dit proces lijkt sterk op de Waterlood/GGOR systematiek (Commissie Integraal Waterbeheer, 2003), en definieert een actueel zoetwaterregime (de huidige situatie), en een optimaal zoetwaterregime (de situatie waarin gebruikers optimaal worden bediend, kan per doel verschillen) (Figuur 3.1). In hoeverre de actuele situatie afwijkt van de doelstelling (doelrealisatie) is de basis voor een vervolproces, waarin maatregelen worden afgewogen die bijdragen aan het verbeteren van het halen van de doelen. Een zo veel mogelijk integrale belangenafweging leidt vervolgens tot het beoogde streefbeeld, het gewenste zoetwaterregime, een doelmatiger, afgestemd en vastgelegd doorspoelbeleid. Uitkomst van dit proces is ook het vastleggen van het 'Waterbeschikbaarheidsniveau': wat kunnen gebruikers verwachten aan zoetwaterbeschikbaarheid.



Figuur 3.1 Overzicht afleiden Gewenst Zoetwaterregime

Het betrekken van de verschillende belanghebbenden in een gebied is gedurende het hele proces sterk aan te bevelen. Te meer omdat doelmatig doorspoelen sterk raakt aan het proces van Waterbeschikbaarheid, waarin duidelijkheid wordt geboden aan zoetwatergebruikers over zoetwaterbeschikbaarheid. Bovendien beschikken gebruikers veelal over lokale kennis van het systeem en hebben zij ook informatie over het gebruik van het water (wanneer, hoeveel, welke kwaliteit). Daarnaast kan ook bekeken worden of het voor het vergroten van het systeeminzicht meerwaarde heeft om samen met gebruikers een participatieve monitoring van zoutgehalten op te zetten.

3.2 Stap 1: Huidige situatie: 'Actueel zoetwaterregime'

Deze eerste stap behelst het uitvoeren van een watersysteemanalyse om de huidige situatie te bepalen, specifiek gericht op inlaten en doorspoelen.

3.2.1 Bepaal de huidige waterkwaliteit

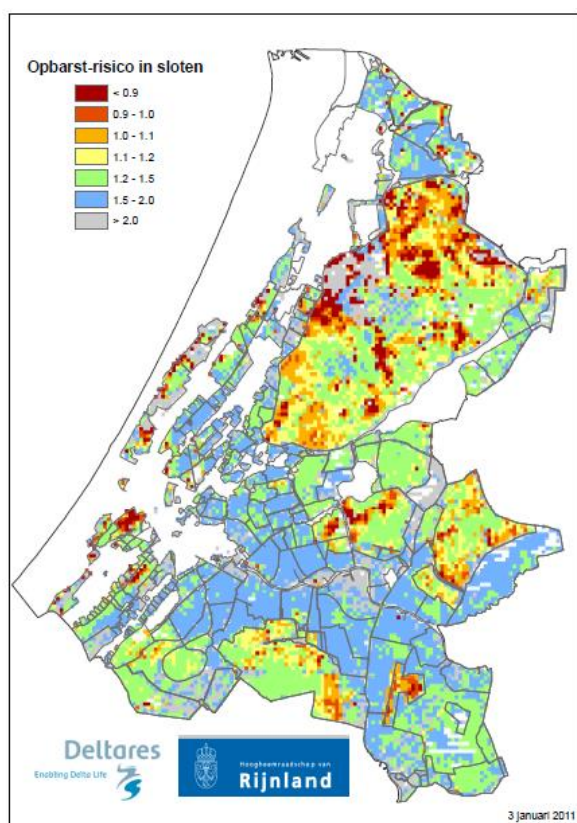
Het vaststellen van de huidige waterkwaliteit is de eerste stap in het vastleggen van het actuele zoetwaterregime. Reguliere monitoring zal voor een deel volstaan, maar is over het algemeen niet toereikend om de vaak grote verschillen binnen een watersysteem goed in beeld te brengen, en projectmonitoring is nodig. Dergelijke verschillen zijn kenmerkend voor

doorgespoelde watersystemen: doorspoelwater bereikt slechts een beperkt aantal sloten. Daarbij zijn emissies, optredende zuurstoftekorten, of uittredend brak grondwater sterk lokaal. Zie Figuur 2.4 voor een voorbeeld van de sterke lokale variatie in, in dit geval, saliniteit van het oppervlaktewater. Deze variatie kan in beeld worden gebracht met een EC-routing of een dicht bemonsteringsnetwerk (zie Bijlage A voor een overzicht van methoden).

3.2.2 Breng de bronnen van de verontreiniging in beeld

Door de bronnen van de verontreiniging van het watersysteem in beeld te krijgen wordt duidelijk waar de problemen met name spelen (en moeten worden opgelost), en of er sprake is van afwenteling. Daarnaast is het van belang de kenmerken van de vervuilingbron vast te stellen. Gaat het om een continue last, of slechts incidenteel? Hoe groot is de vervuilinglast?

In het geval van verziltingsbestrijding is het belangrijk vast te stellen of de verzilting met name wordt veroorzaakt door wellen, of door uitspoelend ondiep zout grondwater. Ligging van wellen is vaak moeilijk vast te stellen, maar het ontstaan hangt samen met de plaatselijk optredende overdruk van het grondwater, ten opzichte van de tegendruk van de bovenliggende slechtdoorlatende sedimenten. Met deze informatie zijn risicokaarten te maken, zoals bijvoorbeeld (De Louw, 2011).



Figuur 3.2 Voorbeeld opbarstingsrisicokaart (De Louw, 2011)

Inventariseer daarnaast andere puntbronnen in het gebied, zoals IBA's (individuele behandeling afvalwater), RWZI's, overstorten, of andere mogelijke bronnen.

3.2.3 Hoeveel wordt er ingelaten / doorgespoeld?

Eerste stap hierbij is nagaan of de ligging en kenmerken van alle inlaatkunstwerken bekend zijn. Zijn er wellicht particuliere inlaten in het gebied die niet bij de waterbeheerder bekend zijn?

Wanneer het debiet voor de verschillende inlaat niet bekend is, zijn er verschillende meetmethoden toe te passen om het debiet van een inlaat te bepalen. Mogelijkheden voor directe meting van het debiet hangen af van de lokale situatie. Beschikbare methoden zijn vermenigvuldiging van de gemeten snelheid (bijvoorbeeld met eenvoudige propellor of elektromagnetische snelheidsmeters) met het doorstroomde oppervlak, met een ADCP (acoustic doppler current profiler), of met verdunningsmethoden. Zie voor een uitgebreide beschrijving van verschillende relevante meetmethoden: (Hartong and Termes, 2009). De Gadolinium-anomalie is een tracer waarmee het aandeel inlaatwater goed kan worden vastgesteld (Kramer et al., 2017; Rozemeijer et al., 2012).

Het is daarnaast van belang vast te stellen hoe de inlaat in verschillende situaties wordt beheerd. Voor met name de kleinere inlaten geldt dat deze bediend worden door veldmedewerkers. Dit gebeurt niet altijd volgens een vast patroon, eigen inzicht / ervaring van de medewerker, en contacten met gebruikers spelen hierbij een rol. Ook komt voor dat inlaten door particuliere eigenaren worden bediend. Deze personen dienen dan ook intensief in het proces te worden betrokken.

3.2.4 Verspreiding van inlaatwater

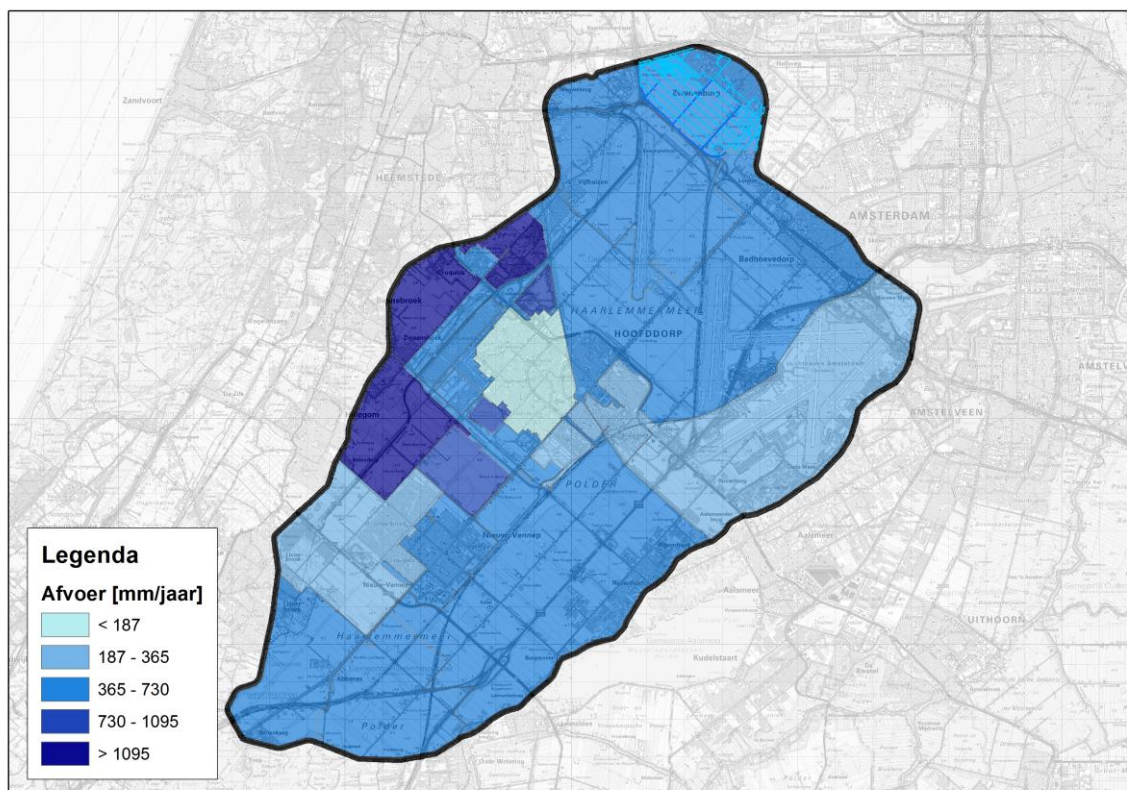
Omdat inlaatwater zich niet evenredig over alle watergangen in een peilvak verspreidt, is het van belang inzicht te krijgen in welke watergangen inlaatwater ontvangen en welke niet. De verspreiding van inlaatwater kan worden onderzocht met een EC-routing, hydraulische modellering, participatieve monitoring en tracertechnieken, waaronder Gadolinium-anomalie (zie appendix A).

3.2.5 Wat is het effect van doorspoelen?

Hoe wordt de waterkwaliteit in het watersysteem beïnvloed door inlaat van water, en hoe verandert de waterkwaliteit door meer of minder in te laten? Deze beïnvloeding kan sterk ruimtelijk variëren, doordat inlaatwater niet alle watergangen bereikt (Delsman, 2015; Rozemeijer et al., 2012). Ook in de tijd varieert de invloed van inlaat, omdat de bijdrage van inlaatwater aan de waterbalans door het jaar heen verschilt.

Zoals hierboven vermeld, kan de ruimtelijke verspreiding van inlaatwater relatief eenvoudig worden vastgesteld met een EC-routing, of door bemonstering met een relevante tracer (Gd anomalie). Met modelonderzoek met een fijn geschematiseerd hydrodynamisch model lijkt de aanwezigheid van inlaatwater in een watergang goed te voorspellen (Kramer et al., 2017).

Om het effect van doorspoelen in een polder te bepalen is een goede water- en stoffenbalans van het gebied een vereiste. Dit vergt uiteraard het kwantificeren van de verschillende posten in de balans. Naast de al eerder bepaalde inlaathoeveelheden gaat het dan in ieder geval om neerslag, verdamping, drainage, infiltratie, kwel, en bijbehorende vrachten. Het is van belang om de variatie in de tijd in deze balans mee te nemen, gezien het variërende belang van doorspoelen.



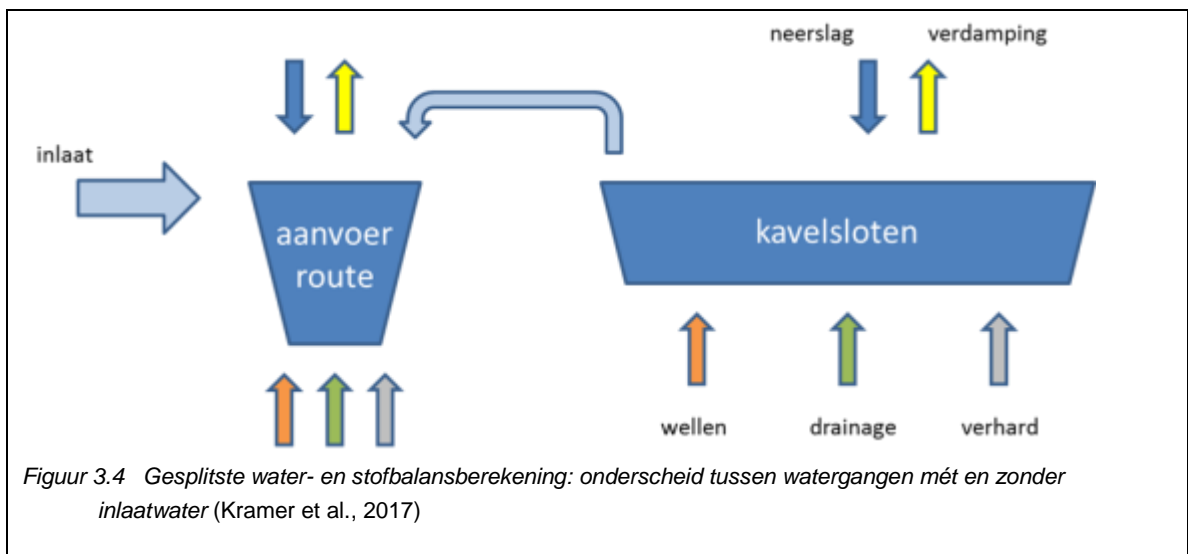
Figuur 3.3 Ruimtelijke verschillen in de bijdrage van drainageafvoer aan de waterbalans (Kramer et al., 2017)

Bij het opstellen van de water- en stoffenbalans is het van belang de menging in het water- en bodemsysteem goed te beschouwen. Aangezien inlaatwater zich niet in het gehele watersysteem verspreid, en de bijdrage van het inlaatwater aan de balans daarmee sterk varieert, geeft een volledig gemengde benadering verkeerde resultaten. In Kramer et al. (2017) zijn deze ruimtelijke verschillen expliciet meegenomen in de water- en stofbalansbenadering en is gewerkt met een percentielbenadering (zie kader).

Kader: Gesplitste water- en stofbalans voor relatie inlaat – concentratieverdeling

In de balansberekening die is toegepast in (Kramer et al., 2017) wordt onderscheid gemaakt tussen het deel van de waterlopen dat inlaatwater ontvangt (hoofdwaterlopen en kavelsloten waar inlaatwater door wordt gevoerd), en de overige waterlopen (kavelsloten). De twee delen verschillen in balansposten en bergingsvolume (Figuur 3.4).

De kavelsloten ontvangen geen inlaatwater, hoogstens wordt een tekort aangevuld vanuit het deel aanvoersloten. De aanvoersloten ontvangen het overschot van de kavelsloten. Om daarnaast rekening te houden met het feit dat de aanvoersloten op de route van inlaatpunt naar gemaal langzaam opladen met interne zoutvracht, is dit traject in een aantal stukken opgedeeld. Voor elk van deze stukken wordt apart de chlorideconcentratie berekend, uitgaande van een gelijkmatig toenemende bijmenging van intern water.



Ook een aanname van volledige menging van waterstromen in de bodem kan verkeerde resultaten geven, aangezien in werkelijkheid een duidelijke scheiding van kwelwater en neerslagwater in de bodem optreedt (De Louw et al., 2013a). Uitspoeling van (zout) kwelwater kent dan een veel snellere dynamiek (Delsman et al., 2017) dan bij een volledige gemengde modelbeschrijving (zoals bijvoorbeeld in Sobek-RR).

Belangrijk bij het opstellen van water- en stoffenbalansen is om goede ruimtelijke eenheden te kiezen. Om zoveel mogelijk ruimtelijke verschillen in beeld te brengen wordt enerzijds het liefst met kleine gebieden gewerkt. Anderzijds is het noodzakelijk om over meetgegevens (zoutgehalten, afvoeren) te beschikken om de balansen tot op zekere hoogte te kunnen kalibreren. Voor dit laatste is het veelal nodig om een aantal (peil)gebieden samen te voegen.

Bovenstaande geldt voor doorspoeling van continue belasting in kleinere watergangen. Voor het doorspoelen van 'proppen' vervuiling is met name een goede beschrijving van de hydrodynamica en stoftransport van belang, bijvoorbeeld een Sobek-CF-Delwaq model.

Ook een praktijktest, waarin een situatie met en zonder doorspoeling wordt vergeleken kan de effecten van doorspoeling goed in beeld brengen. Zie bijvoorbeeld Osté et al. (2016) voor een onderzoek naar de effectiviteit van een circulatiesysteem op de zuurstofhuishouding, of Kramer et al. (2017) voor een test van de effecten van doorspoelen van de polderboezem van de Haarlemmermeer. Bij een praktijktest is, vergeleken met een modelmatige benadering, de stap naar maatregelen een grotere, omdat scenario's niet direct kunnen worden afgewogen.

3.2.6 Regionale invloed doorspoeling

Doorspoeling van een gebied staat niet op zichzelf: er zijn ook effecten buiten het doorgespoelde gebied. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de waterkwaliteit in het gebied benedenstrooms van het doorgespoelde gebied, maar ook bovenstrooms. Door een verandering van de doorspoelbehoefte kan de hoeveelheid bovenstrooms ingelaten water wijzigen. Bij gelijkblijvende belasting leidt een dergelijke verandering door het gehele regionale systeem tot veranderende concentraties. Een instrument als de €ureyeopener (Stuyt et al., 2013) kan snel inzicht bieden in regionale veranderingen door het aanpassen van doorspoelhoeveelheden.

3.2.7 Waterbeschikbaarheid hoofdwatersysteem

Voor veel systemen betekent de waterbeschikbaarheid in het hoofdwatersysteem een randvoorwaarde. Het is van belang een goed overzicht te hebben van hoeveel water er beschikbaar is, en met welke frequentie tekorten optreden. Het Rijkswaterstaat-project WABES is er op gericht deze informatie goed toegankelijk te maken. Zie: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/waterkwantiteit/waterbeschikbaarheid/wabes-hws/>.

3.2.8 Doorkijk toekomst

Klimaatverandering en daarmee samenhangende veranderingen in watervraag,-aanbod, -temperatuur hebben hun weerslag op de benodigde inlaat- en doorspoelhoeveelheden. In het geval van verzilting komt daarbij een autonome verandering van de zoutlast, door trage veranderingen in het grondwatersysteem (Delsman et al., 2014a; Oude Essink et al., 2010). Zijn er relevante geplande ruimtelijke ontwikkelingen in het gebied? Breng de relevante veranderingen zo mogelijk in beeld. De Deltascenario's geven een overzicht van de reikwijdte van de verwachte veranderingen (Bruggeman and Dammers, 2013). De Deltascenario's worden begin 2018 herzien.

3.2.9 Betrekken zoetwatergebruikers

Input van gebruikers richt zich in deze stap op het inventariseren van het actuele gebruik van zoetwater en uitwisselen van kennis en ervaringen. Gebruikers worden hierbij meegenomen in de zoetwateropgave, ook leidend tot extra bewustwording en zuinig gebruik van zoetwater. Met het delen van de effecten van doorspoeling, en met name ook de beperkingen hiervan, wordt ook de reikwijdte van het handelingsperspectief duidelijk (bijvoorbeeld: niet alle sloten worden bereikt met inlaatwater, een goede waterkwaliteit in elke sloot is met doorspoelen alleen dan ook niet te bereiken).

Een goede manier om bewustwording te vergroten, vertrouwen tussen partijen te vergroten, en daarnaast meer kennis over de actuele situatie te verzamelen, is het toepassen van participatieve monitoring (zie bijvoorbeeld Breman et al., 2014). Een voorbeeld gericht op monitoring van de verzilting van oppervlaktewater is te vinden op texelmeet.nl. De combinatie van participatieve monitoring met een proces om het gewenste zoetwaterregime / waterbeschikbaarheid te bepalen is een sterke, omdat de participatieve monitoring kan bijdragen aan de besluitvorming, en dat gebruikers betrokken blijven bij het onderwerp omdat de metingen ook daadwerkelijk tot concrete aanpassingen in het waterbeheer kunnen leiden (Breman et al., 2014).

3.3 Stap 2: Waarvoor wordt er doorgespoeld? Het 'Optimaal zoetwaterregime'

Het optimaal zoetwaterregime brengt in beeld welke gebruikers baat hebben bij doorspoeling, en welke eisen zij elk stellen aan doorspoeling. Elke gebruiker kent daarmee een eigen optimaal zoetwaterregime, bijvoorbeeld afhankelijk van het verbouwde gewas. Omdat doorspoeling ook effecten heeft op het bovenstroomse en benedenstroomse watersysteem, moeten ook de hieruit volgende doelen en effecten worden meegenomen.

3.3.1 Breng de doelen / gebruikers van doorspoeling in beeld

De eerste stap is om de verschillende doelen / gebruikers van doorspoeling in beeld te brengen. Waar het hoofdoel vaak bekend is, geldt dit voor allerlei neven-doelen minder.

De volgende gebruikers en doelen van doorspoeling kunnen worden onderscheiden:

- Landbouw: juiste waterkwaliteit voor beregening, veedrenking en toediening gewasbeschermingsmiddelen;
- Vermijden stankoverlast door puntlozingen (ondermeer IBA's, overstorten);
- Zuurstofhuishouding in stedelijk water;
- Beregening stedelijk groen;
- Zwemwaterkwaliteit, blauwalgproblematiek;
- Ecologische kwaliteit.

3.3.2 Breng de eisen van functies aan waterkwaliteit / doorspoelen in beeld

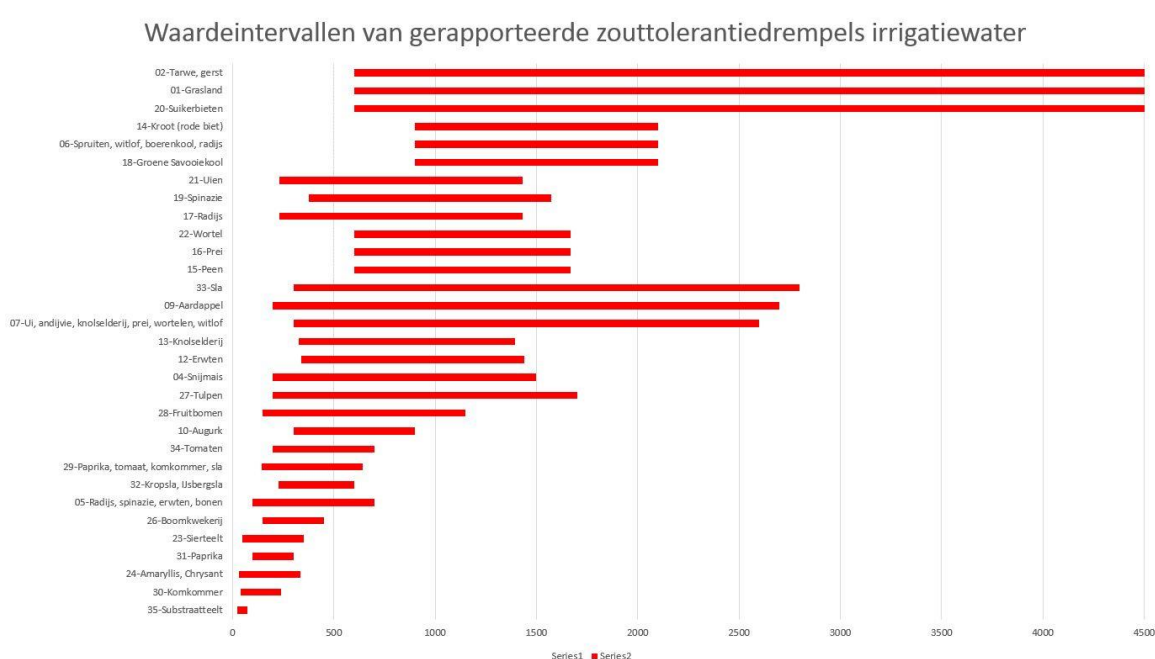
Doorspoeling dient in zijn algemeenheid om de waterkwaliteit te verbeteren. Waarom en hoe de waterkwaliteit moet verbeteren hangt evenwel af van de specifieke doelen / gebruikers van het water.

Landbouw

Een veelvoorkomend doel, met name in gebieden met brak of zout grondwater. Doorspoeling dient om de kwaliteit van oppervlaktewater geschikt te laten zijn om gewassen te beregenen, vee te drenken en / of om de toediening van gewasbeschermingsmiddelen mogelijk te maken. Verschillende (variëteiten van) gewassen kunnen in meer of mindere mate tegen zout water. Verschillende bronnen geven verschillende richtlijnen voor de door gewassen gewenste oppervlaktewaterkwaliteit. Stuyt et al. (2016) publiceerden recent een overzicht van gerapporteerde schadedrempels in beregeningswater voor verschillende landbouwgewassen (Figuur 3.5). Uit Figuur 3.5 blijkt een grote variatie aan voor verschillende gewassen gerapporteerde toleranties, maar blijkt ook duidelijk dat bepaalde gewassen (bepaalde groenten, bollen, snijbloemen) hogere eisen stellen dan andere gewassen (bijvoorbeeld tarwe, gras, aardappelen).

Het inventariseren van teelten in een gebied en deze vergelijken met de toleranties volgens (Stuyt et al., 2016) geeft inzicht in de eisen die landbouw stelt aan de zoetwaterkwaliteit. In een open dialoog met de agrariërs in het gebied komen daarnaast lokale ervaringen met telen met een bepaalde waterkwaliteit naar voren, de mate van gebruik van het oppervlaktewater, de vanuit de sector gewenste waterkwaliteit, en eventuele uitbreidings- of juist bedrijfsbeëindigingsplannen. Lokaal kunnen ook beregeningsverboden ter bestrijding van bruinrot spelen.

Bij de bepaling van het actuele zoetwaterregime is inzicht geboden in de (on)mogelijkheden van doorspoelen om de waterkwaliteit te verbeteren. Richting het gewenste zoetwaterregime is het daarbij een keuze welk type gewassen door het waterbeheer gefaciliteerd moeten worden. Daarbij is in de Waterwet vastgelegd dat waterschappen de vastgestelde functies faciliteren. Wel geldt natuurlijk dat je binnen een agrarische functie verschillende gewassen hebt en daarbinnen kun je dus kijken wat doelmatig realiseerbaar is.



Figuur 3.5 Waardeintervallen van gerapporteerde zouttolerantiedrempels in beregeningswater (Stuyt et al., 2016)

Puntlozingen (ondermeer IBA's)

Doorspoeling vindt ook plaats om de lokale effecten van puntlozingen (zuurstofloosheid, stankoverlast) te voorkomen. In het buitengebied gaat het bijvoorbeeld om *Individuele Behandelingsinstallaties Afvalwater* (IBA's), waar huizen niet op de riolering zijn aangesloten. Welke verversing is nodig om de effecten van puntlozingen te minimaliseren? Dit hangt af van de vracht van de lozing, en het watervolume waar de lozing in uitkomt.

Ecologische kwaliteit

De ecologische kwaliteit wordt beïnvloed door het vaak voedselrijke ingelaten water. Het effect is afhankelijk van de kwaliteit van het gebiedseigen water, en het beoogde streefbeeld.

Zwemwaterkwaliteit

Volgens de Europese zwemwaterrichtlijn moet minimaal een 'aanvaardbare' kwaliteit worden bereikt, waar blauwalgenbloei wordt aangemerkt als één van de bedreigingen voor zwemmers. Naast brongerichte maatregelen en meer innovatieve symptoombestrijding (Lurling et al., 2012), wordt ook doorgespoeld om drijfslagen met blauwalgen te voorkomen. Voor het bestrijden van blauwalgen door middel van doorspoelen is het zaak de blauwalgen sneller weg te spoelen dan de blauwalgen aangroeien. De benodigde (verkorting van de) verblijftijd, en daarmee het benodigde doorspoeldebiet, hangt af van de lokale situatie.

Stedelijk water

In stedelijke gebieden wordt doorgespoeld (of gecirculeerd) om de zuurstofhuishouding te verbeteren en zuurstoftekorten te voorkomen. In verzilde gebieden kunnen ook de beregeningsmogelijkheden van stedelijk groen een rol spelen.

Voor het vertalen van de vastgestelde optimale waterkwaliteit naar de hoeveelheid benodigde doorspoeling, een brongerichte aanpak, of andere maatregelen, kan worden teruggevallen op de eerder uitgevoerde watersysteemanalyse, met name de modellering uit stap 3.2.5.

3.3.3 Regionaal waterbeheer

Het doorspoelen van een watersysteem heeft effecten buiten het doorgespoelde gebied, zowel boven- als benedenstrooms. Welke wensen gelden er vanuit het bredere regionale waterbeheer ten opzichte van doorspoeling? Zo weinig mogelijk, om de zoetwateropgave te verkleinen en te besparen op maalkosten?

3.3.4 Betrek gebruikers

Betrek de verschillende zoetwatergebruikers bij het vastleggen van het optimale zoetwaterregime. Inventariseer de wensen van de zoetwatergebruikers. Deze kunnen of eerder zullen afwijken van de theoretisch onderbouwde wensen. Achterhaal daarbij de achterliggende beweegredenen van de vanuit de gebruikers geuite wensen.

3.4 Stap 3: Bepalen doelrealisatie en knelpunten

In deze stap wordt voor elk van de doelen inzichtelijk gemaakt in hoeverre de actuele situatie afwijkt van de optimale situatie: de doelrealisatie. Dit kan bijvoorbeeld op basis van chloride, maar ook andere stoffen kunnen relevant zijn, zoals bijvoorbeeld zuurstofgehalte, nutriënten, temperatuur. De doelrealisatie wordt bij voorkeur kwantitatief uitgedrukt. Hier is echter geen uitgewerkte systematiek voor, zoals Waterlood dit is voor het GGOR proces. Zo staat bijvoorbeeld ook niet vooraf vast voor welke locaties, en daarmee op welk schaalniveau de systematiek moet worden toegepast; dit is een keuze in het proces. Deze keuze hangt af van het ambitieniveau, maar wordt tevens begrensd door de benodigde meetinspanning en / of modelinstrumenten: over alle beschouwde locaties moet immers een uitspraak worden gedaan,

In het onderzoek in de Haarlemmermeerpolder (Kramer et al., 2017) zijn de hoofdwatgangen in beheer bij het waterschap als voornaamste uitgangspunt genomen. Daarbij is gewerkt met de afwijking van de optredende verdeling van chlorideconcentraties ten opzichte van de gewenste verdeling van chlorideconcentraties. Hierbij werd de kans dat een streef-chloridewaarde (bijvoorbeeld 25% kans dat chlorideconcentratie op een bepaalde locatie op een bepaalde tijd onder de 400 mg/l blijft) werd onderschreden vergeleken met de doelstelling, de optimale situatie (bijvoorbeeld 90% kans dat chlorideconcentratie onder 400 mg/l blijft). De doelrealisatie was dan $25\% / 90\% = 28\%$ doelrealisatie. In de pilot werd ook gewerkt met meerdere doelrealisaties, ten opzichte van meerdere 'beleidsopties'. Dit omdat de precieze definitie van het optimale zoetwaterregime nog niet was vastgelegd. De beleidsopties weerspiegelden keuzes als: geldt het regime alleen voor de watgangen beheerd door het waterschap, of voor alle watgangen, en: welke gewassen faciliteren we met het optimale regime. Het verkennen van verschillende beleidsopties doet ook recht aan verschillen die er in de praktijk zijn. Voor één hele polder hoeft niet één beleidsoptie gekozen te worden, maar door bijvoorbeeld teelten die alleen in één bepaalde hoek van een polder voorkomen of door kenmerken van het integrale grond- en oppervlaktewatersysteem, kunnen voor verschillende deelgebieden verschillende beleidsopties gekozen worden.

| | Beleidsoptie | | | | |
|--------------|--------------|----|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Deelgebied 1 | 0% | 0% | 50% | 100% | 100% |

Figuur 3.6 Voorbeeld bepaalde doelrealisatie voor verschillende 'beleidsopties' (verschillende onderscheiden streefwaarden) in een gebied in de Haarlemmermeer (Kramer et al., 2017)

Bij het niet halen van de doelrealisatie is het uiteraard ook zaak te onderzoeken wat deze lage score veroorzaakt: van welk knelpunt is hier sprake. Zorgt een te hoge belasting (of een te lage doorspoeling) voor een lage score? Of ligt het knelpunt in het niet bereiken van bepaalde watergangen met inlaatwater. Bij een hoge doelrealisatie kan juist worden gekeken of er sprake is van overmatige doorspoeling: wordt er meer doorgespoeld dan vanuit het gebruik noodzakelijk is.

Knelpunten hoeven zich hierbij niet te beperken tot het beschouwde gebied, maar kunnen ook elders optreden. Het inzetten van water om door te spoelen kan immers ten koste gaan van andere functies, en ook het uitgemalen doorspoelwater heeft benedenstroomse consequenties.

3.5 Stap 4: Bepalen 'Gewenst zoetwaterregime' en 'Waterbeschikbaarheid'

Stappen 4 en 5 zullen in de praktijk veelal gezamenlijk plaatsvinden, aangezien uit de ervoor benodigde maatregelen de haalbaarheid van een doel blijkt. Voor de helderheid worden ze hier evenwel apart behandeld.

In deze stap vindt de afweging plaats om te komen tot een Gewenst Zoetwaterregime, en het daarbij behorende niveau van Waterbeschikbaarheid. Het zal in deze afweging gaan om inzichtelijk te maken welk zoetwaterregime haalbaar is, gegeven de wensen van gebruikers, ambities van de waterbeheerder, het handelingsperspectief dat er is en een afweging van kosten van maatregelen en mogelijke baten. Zo is qua handelingsperspectief het garanderen van een goede waterkwaliteit in alle kavelsloten bijvoorbeeld niet beïnvloedbaar door doorspoeling.

Verschillen binnen polders in bijvoorbeeld zoutbelasting kunnen leiden tot een verschillend Gewenst Zoetwaterregime: een bepaalde streefwaarde kan in een deel van een polder wel haalbaar/nodig zijn, maar in een ander deel niet. Met de zoetwatergebruikers kan dit binnen het Waterbeschikbaarheidsproces helder worden gemaakt.

Met het Gewenst Zoetwaterregime wordt helder gemaakt voor welke doelen wordt doorgespoeld, om welke hoeveelheden het gaat, en wat de mogelijkheden en onmogelijkheden van doorspoelen zijn. Waterbeschikbaarheid is hier een onderdeel van: wat kunnen gebruikers verwachten aan zoetwaterbeschikbaarheid?

3.6 Stap 5: Definieer maatregelen

In hoofdstuk 4 staan een aantal mogelijke maatregelen beschreven waarmee de doorspoeling kan worden geoptimaliseerd. Op basis van de geïdentificeerde knelpunten, en de mate van doelrealisatie, worden mogelijke maatregelen afgewogen, om zo het Gewenste Zoetwaterregime te bereiken. Ook overmatige doorspoeling, en inefficiënte doorspoeling kunnen worden aangepakt.

Het berekenen van directe kosten en baten van doorspoelingsmaatregelen is relatief eenvoudig. De directe baten van doorspoelmaatregelen bestaan uit verminderde afvoer en dus maalkosten, en eventuele besparingen op onderhoud en bediening van inlaatkunstwerken. Kosten bestaan uit aanleg en onderhoud van nieuwe kunstwerken, eventueel grondverzet, en, waar de maatregel juist een toename van doorspoeling vergt: toegenomen maalkosten (Kramer et al., 2017). Voor een maatschappelijke kosten en baten analyse moeten daarnaast de welvaartseffecten van een doorspoelmaatregel bij de

verschillende gebruikers in beeld worden gebracht (zie (Uran and Hardeveld, 2006) voor een voorbeeld bij peilverhoging). Het gaat dan bijvoorbeeld om een andere gewasopbrengst bij een andere waterkwaliteit in de watergangen. De lopende ontwikkeling van de WaterWijzer Landbouw – Zout (zie <http://www.waterwijzer.nl>) biedt hier een goed instrument voor.

4 Mogelijke maatregelen

4.1 Aanpassen reguliere doorspoelhoeveelheden

Deze maatregel kan zowel het uitbreiden als het beperken van doorspoelhoeveelheden behelzen. Het aanpassen van de reguliere doorspoelhoeveelheden op basis van het afgesproken Waterbeschikbaarheidsniveau is een eenvoudig te implementeren maatregel, zeker voor zover dit met de reguliere kunstwerken kan worden bewerkstelligd. Aan deze maatregel ligt uiteraard een proces ten grondslag zoals beschreven in hoofdstuk 3, waarin nieuwe doorspoelhoeveelheden worden onderbouwd.

4.2 Bronsanering

Een brongerichte aanpak leent zich goed voor puntemissies, zoals IBA's en overstorten. In de grachten van Amsterdam lijkt door een brongerichte aanpak de doorspoeling uiteindelijk overbodig te zijn geworden, met sterk positieve consequenties voor de waterkwaliteit (doorzicht). Zie bijvoorbeeld: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/koel-helder-grachtenwater/>

Brongerichte maatregelen bij verziltingsproblematiek zijn een stuk moeilijker gebleken. Het dichten van wellen is onderzocht op enkele locaties in Polder de Noordplas en de Haarlemmermeerpolder, maar bleek weinig effectief: in de buurt van gedichte wellen ontstonden snel nieuwe exemplaren (de Louw et al., 2012). Bij natuurlijke welvorming lijken over grotere oppervlakten zwakke plekken in de deklaag aanwezig. Niet-natuurlijke wellen (bijvoorbeeld bij bouwwerkzaamheden) blijken overigens duidelijk beter te dichten te zijn, omdat hier sprake is van duidelijk lokaliseerbare scheuren / zwakke plekken in de deklaag. Dit geldt ook voor historisch aangebrachte gasbronnen. Deze zijn bijvoorbeeld in de Beemster op grote schaal gedicht om de zoutlast terug te brengen.

Door peilverhoging neemt de zoutbelasting door wellen en diffuse kwel af, evenredig met de vermindering van de overdruk vanuit het watervoerende pakket. Effecten in het perceel zullen beperkt blijven zolang de waterstand onder de uitstroomopeningen van drainagebuizen blijft; anders kan deze worden gemitigeerd door een dichter drainagenetwerk te realiseren (Van Bakel et al., 2013). Waar kwel zich slechts in bepaalde delen van een gebied concentreert, kan met lokaal flinke peilverhoging de zoutbelasting worden beperkt.

4.3 Optimaliseren van de inlaat in de tijd / op het gebruik

Doorspoeling van polderwatergangen vindt veelal plaats met een minimum aan dagelijks beheer. Inlaten worden aan het begin van het groeiseizoen geopend, en aan het einde weer gesloten. Winst is te behalen door het doorspoelen meer te verbinden aan het daadwerkelijke gebruik van zoetwater, bijvoorbeeld door alleen door te spoelen wanneer wordt beregend, of in droge perioden. Dit vergt actiever beheer, hetzij door de waterbeheerder, hetzij uitbesteed aan agrariërs zelf. Dit beheer kan ook worden geautomatiseerd (zie volgende maatregel).

4.4 Automatiseren van inlaten

Inlaten kunnen geautomatiseerd worden aangestuurd, om een bepaalde waterkwaliteit te handhaven. Dit garandeert de juiste waterkwaliteit, en voorkomt meer inlaten dan nodig. In een pilot in de Haarlemmermeer lijken doorspoelhoeveelheden tot wel 50% te kunnen worden teruggebracht, zonder concessies te doen aan de waterkwaliteit (Delsman et al., 2016).

Dergelijke reducties worden, op basis van modelberekeningen, ook gevonden voor de Schermer polder (Velstra et al., 2010). Door de lage kosten van het in de Haarlemmermeer geïmplementeerde systeem lijkt de investering zichzelf door verminderde maalkosten binnen enkele jaren te kunnen terugverdienen (Kramer et al., 2017). Het inlaatsysteem moet zichzelf nog langer in de praktijk bewijzen, de proef loopt momenteel nog.

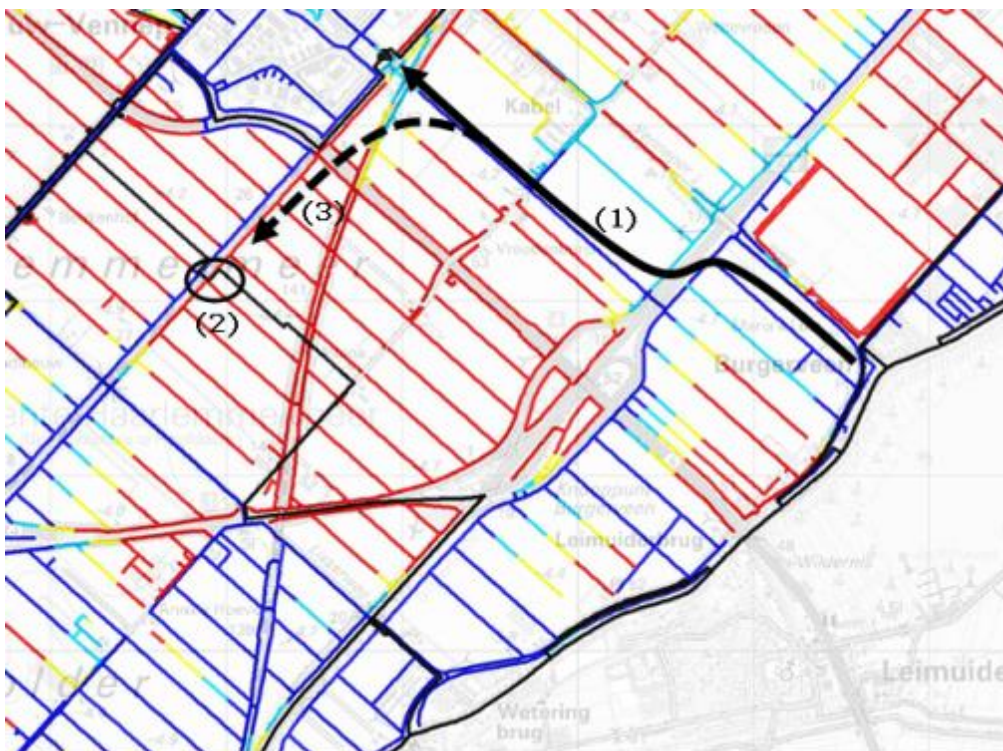


Figuur 4.1 Geautomatiseerde inlaatsturing op basis van saliniteitsmetingen (Delsman et al., 2016)

Het is bij dergelijke systemen belangrijk, maar niet eenvoudig, representatieve locaties te vinden waarop de waterkwaliteit wordt gemonitord en kan worden gestuurd. Daarnaast is de verwachte winst met name te behalen in perioden met regenval, wanneer de beschikbaarheid van inlaatwater niet onder druk zal staan.

4.5 Optimaliseren verspreiding inlaatwater door watergangen

Wanneer watergangen niet door inlaatwater worden bereikt, terwijl dit gezien de doelstellingen wel gewenst is, kan aanpassen van de routing van watergangen een goede maatregel zijn. Met name eenzijdig gesloten watergangen (denk aan kopsloten, maar zeker ook hoofdwatergangen) worden moeilijk bereikt door inlaatwater. Bijvoorbeeld een slim geplaatste extra duiker kan er voor zorgen dat inlaatwater een watergang wel bereikt. Ook een beperkte waterstroom van een peilvak met een hoger waterniveau naar een lager peilvak kan een mogelijkheid zijn om dergelijke uithoeken van een peilvak ook van inlaatwater te voorzien (figuur 4.2).



Figuur 4.2 Voorbeeld optimaliseren verspreiding inlaatwater: In de huidige situatie is er een directe weg van het inlaatwater naar het vakgemaal (1), waardoor in het zuidwestelijke deel van het peilvak geen inlaatwater komt. Door het maken van een verbinding met het naastgelegen peilvak (2), wordt een deel van de stroming afgebogen en wordt een groter deel van het peilvak van inlaatwater voorzien (3). Het traditioneel verder open zetten van de inlaten, zou in dit geval alleen maar betekenen dat meer water naar het gemaal wordt afgevoerd (Kramer et al., 2017).

Wanneer een waterstelsel wordt bemalen door meerdere gemalen, kan de onderlinge afstemming van deze gemalen er voor zorgen dat tussen de gemalen in een zone ontstaat waar inlaatwater niet komt. Tegelijk bemalen moet zo veel mogelijk voorkomen worden, beter is het om gemalen beurtelings in te zetten. Voor inlaatwater optimale bemalingsscenario's zijn te onderzoeken met hydrodynamische modellering.

4.6 Voorkomen van oplading van inlaatwater

Het zo lang mogelijk gescheiden houden van inlaatwater en lokaal water is een goede maatregel om, met een beperkte doorspoelhoeveelheid, ver in een gebied water van een goede kwaliteit beschikbaar te hebben. Waar watersystemen hier niet op zijn ingericht, maar primair op de afvoer van water, nemen concentraties door bijmenging met lokaal water (oplading) snel toe, en is relatief veel inlaatwater nodig om een bepaalde concentratie te handhaven. Met een gehandhaafd hoger peil in aanvoersloten ten opzichte van afvoersloten kan de oplading verder worden beperkt. Ook het tijdelijk bergen van brak water in bepaalde sloten tijdens droge perioden kan effectief zijn om de oplading te beperken.

Dit is een zeer effectieve maatregel wanneer een gebied grondig wordt heringericht. Voor bestaande situaties kunnen de benodigde aanpassingen en daarmee gepaard gaande kosten snel oplopen. Kansen liggen in lokaal maatwerk, zeker wanneer bijvoorbeeld brakke kwel zich concentreert in slechts een deel van het watersysteem. Met enkele kunstwerken kan het

dan mogelijk zijn de waterstromen zo lang mogelijk ongemengd te houden (zie praktijkvoorbeeld in de Waterhouderij Walcheren).

4.7 Afhankelijkheid van zoetwater beperken

Aan de basis van de doorspoelpraktijk staat het gebruik van het zoete water. Als dit gebruik sterk gereduceerd kan worden, kan ook de doorspoeling worden gereduceerd of zelfs worden gestopt. De laatste jaren zijn verschillende innovatieve maatregelen op bedrijfsniveau ontwikkeld om de lokale beschikbaarheid van zoetwater te vergroten. Een overzicht wordt gegeven in Jeuken et al. (2015). Kosten en baten afwegingen worden momenteel inzichtelijk gemaakt in het instrument *Regioscan Zoetwatermaatregelen*. Zie voor meer informatie: http://www.stowa.nl/projecten/Regioscan_Zoetwatermaatregelen__Opschalen_van_effecten__kosten_en_baten_van_lokale_zoetwatermaatregelen

4.8 Aanpassen van gewassen aan zoetwaterbeschikbaarheid

Inzicht geven in de verspreiding van inlaatwater, en daarmee in de ruimtelijke verschillen in de beschikbaarheid van zoetwater, kan een stimulans zijn voor agrariërs om de geteelde gewassen op deze situatie aan te passen. Zeker als duidelijk kan worden gemaakt in welke situaties het voor een waterbeheerder simpelweg onmogelijk is om de waterbeschikbaarheid verder te verbeteren.

5 Samenvattende conclusies

Het doorspoelen van watergangen – ten behoeve van verziltingsbestrijding, verdunning van effluent, bestrijding van blauwalgen et cetera – vraagt veel water. Tegelijkertijd lijkt er een efficiëntieslag mogelijk in het doorspoelbeheer, door het doorspoelen in ruimte en tijd beter af te stemmen op de actuele vraag van water, en bijvoorbeeld rekening te houden met nieuwe kennis over de zouttolerantie van gewassen (bv. Delsman, 2015; Van Bakel en Stuyt, 2011).

Deze handreiking geeft beknopt inzicht in kennis die de laatste jaren beschikbaar is gekomen over doorspoelen. Het biedt daarnaast een stappenplan (procesontwerp) om te komen tot een expliciet gemaakt en doelmatiger doorspoelbeheer. Dit stappenplan is gebaseerd op een pilot in de Haarlemmermeerpolder, waar de afgenomen stappen zijn doorlopen om het doorspoelbeleid in de Haarlemmermeerpolder, in samenspraak met gebruikers, vast te leggen.

Uit het praktijkvoorbeeld in de Haarlemmermeerpolder blijken de onderscheiden stappen goed geschikt om te komen tot een doelmatig en expliciet gemaakt doorspoelbeleid. Doelen van doorspoeling zijn vastgelegd, en het actuele doorspoelbeleid is kritisch tegen het licht gehouden, en er zijn maatregelen gedefinieerd om de doelmatigheid van doorspoeling in de Haarlemmermeerpolder te verbeteren. Uitvoerige betrokkenheid van gebruikers was daarbij een van de succesfactoren.

Waar doorspoeling voor verziltingsbestrijding een prominente rol speelt in deze handreiking, lijken de gedefinieerde stappen ook goed toepasbaar op doorspoeling ten behoeve van andere doelen. Ervaring daarmee ontbreekt evenwel vooralsnog.

6 Literatuurlijst

- Breman, B., Groot, M. de, Ottow, B., Rip, W., 2014. Monitoren doe je samen – de meerwaarde van participatieve monitoring. H2O-Online 1–9.
- Bruggeman, W., Dammers, E., 2013. Deltascenario's voor 2050 en 2100, Deltares, PBL, KNMI, LEI-WUR, CPB.
- Commissie Integraal Waterbeheer, 2003. Werken met GGOR, CIW rapport 2003-12.
- De Louw, P.G.B., 2011. Memo vervaardiging opbarst-risico kaart, Deltares memo.
- De Louw, P.G.B., 2013. Saline seepage in deltaic areas. VU University Amsterdam.
- de Louw, P.G.B., Doornenbal, P.J., Hendriks, D.M.D., 2012. Veldonderzoek naar het dichten van wellen, Deltares rapport 1201949.
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E., Post, V.E.A., 2013a. Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. *J. Hydrol.* 501, 133–145.
- De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2010. Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands. *J. Hydrol.* 394, 494–506.
- De Louw, P.G.B., Van der Velde, Y., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2011. Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 2101–2117.
- De Louw, P.G.B., Vandenbohede, A., Werner, A.D., Oude Essink, G.H.P., 2013b. Natural saltwater upconing by preferential groundwater discharge through boils. *J. Hydrol.* 490, 74–87.
- Delsman, J., Trambauer, P., Marion, C. van, Boers, B., 2016. Pilot automatiseren van inlaten in de Haarlemmermeer, Deltares report 1230703.
- Delsman, J.R., 2015. Saline groundwater - surface water interaction in coastal lowlands, PhD thesis, VU University Amsterdam.
- Delsman, J.R., De Louw, P.G.B., De Lange, W.J., Oude Essink, G.H.P., 2017. Fast calculation of groundwater exfiltration salinity in a lowland catchment using a lumped celerity/velocity approach. *Environ. Model. Softw.* 96, 323–334.
- Delsman, J.R., Hu-a-ng, K.R.M., Vos, P.C., De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Bierkens, M.F.P., 2014a. Paleo-modeling of coastal saltwater intrusion during the Holocene: an application to the Netherlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 3891–3905.
- Delsman, J.R., Oude Essink, G.H.P., Beven, K.J., Stuyfzand, P.J., 2013. Uncertainty estimation of end-member mixing using generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE), applied in a lowland catchment. *Water Resour. Res.* 49, 4792–4806.
- Delsman, J.R., Waterloo, M.J., Groen, M.M.A., Groen, J., Stuyfzand, P.J., 2014b. Investigating summer flow paths in a Dutch agricultural field using high frequency direct measurements. *J. Hydrol.* 519, 3069–3085.
- Deltacommissaris, 2013. Deltaprogramma 2014: Werk aan de delta.
- Hartong, H., Termes, P., 2009. Handboek debietmeten in open waterlopen., STOWA rapportnummer 2009-41.
- Jeuken, A., Tolck, L., Stuyt, L., Delsman, J., Louw, P. de, Baaren, E. van, Paalman, M., 2015. Zelfvoorzienend in zoetwater: zoek de mogelijkheden, STOWA rapport 2015-30.
- Klijn, F., van Velzen, E.H., Ter Maat, J., Hunink, J.C., 2012. Zoetwatervoorziening in Nederland [in Dutch]. Deltares, Delft, Netherlands.
- Kramer, M., Delsman, J., Reitsma, J.J., Wateren, B. van de, 2017. Slimmer doorspoelen Haarlemmermeerpolder, Rijnland rapport 16.045775.
- Lurling, M., Engels, B., Waajen, G., van Zanten, H., Turlings, L., 2012. Bestrijding Blauwalgenoverlast Eindrapportage Praktijkonderzoek, STOWA rapport 2012-42.
- Osté, A., Ketelaar, H., Pomarius, H., 2016. Watercirculatie oplossing voor zuurstoftekort stedelijk water? H2O-Online 1–6.

- Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., De Louw, P.G.B., 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resour. Res.* 46, 1–16.
- Rozemeijer, J.C., Siderius, C., Verheul, M., Pomarius, H., 2012. Tracing the spatial propagation of river inlet water into an agricultural polder area using anthropogenic gadolinium. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 2405–2415.
- Stuyt, L.C.P.M., Blom-Zandstra, M., Kselik, R.A.L., 2016. Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens, Wageningen Environmental Research report 2739. Wageningen.
- Stuyt, L.C.P.M., Van Bakel, P.J.T., Delsman, J.R., Massop, H.T.L., Kselik, R.A.L., Paulissen, M.P.C.P., Oude Essink, G.H.P., Hoogvliet, M.C., Schipper, P.N.M., 2013. Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland; onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0, Alterra-rapport 2439. Wageningen, Netherlands.
- Stuyt, L.C.P.M., Van Bakel, P.J.T., Massop, H.T.L., 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout.
- Uran, O., Hardeveld, H. van, 2006. Maatschappelijke kosten en baten van peilverhoging. *H2O* 23, 41–43.
- Van Bakel, P.J.T., Schaap, J., Van Essen, E.A., 2013. Is peilverhoging in een kleipolder agrohydrologisch neutraal te realiseren? *Stromingen* 19.
- Velstra, J., Groen, J., Boomgaard, M., 2010. Mogelijkheden voor beperking van inlaatwater in polders. *H 2 O* 17, 41–44.

A Onderzoekstechnieken

A.1 EC routing

Wanneer er een significant verschil bestaat in zoutconcentratie tussen gebiedseigen water en ingelaten water, is een EC-routing een goedkope, effectieve manier om gedetailleerd inzicht te krijgen hoe inlaatwater zich door een peilvak verspreidt (Figuur A.1). Naast ruimtelijke variaties zijn ook variaties van zoutgehalten in de tijd relevant. Hoe veranderen zoutgehalten als gevolg van weersinvloeden en hoe bijvoorbeeld bij een dichte en een geopende inlaat? De elektrische geleidbaarheid (EC) is direct gerelateerd aan het zoutgehalte en is eenvoudig met een EC-sensor te meten. Metingen op korte afstand van elkaar leveren een ruimtelijk beeld van het zoutgehalte en daarmee van de verspreiding van inlaatwater. Zie Figuur 2.4 voor een voorbeeldresultaat. Het verdient voorkeur een EC routing op verschillende momenten in het jaar uit te voeren, om verschillen zichtbaar te maken tussen bijvoorbeeld droge en natte perioden, en perioden waarin wel danwel geen water in het watersysteem wordt ingelaten.

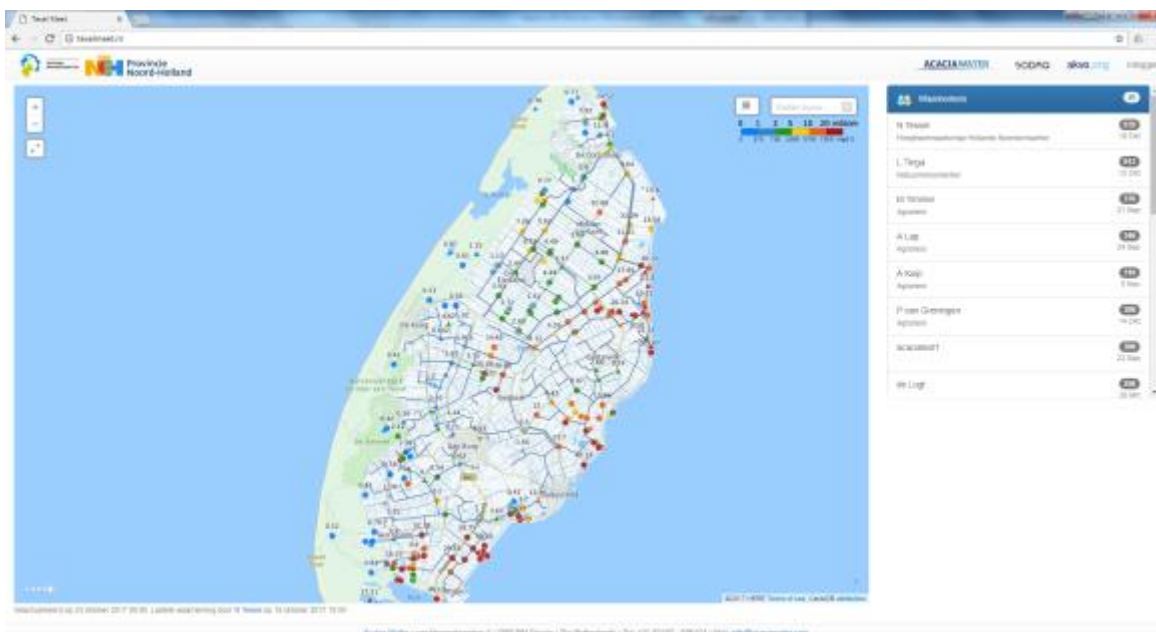


Figuur A.1 Uitvoeren van een EC routing met behulp van een EC sensor aan een drijver, voortgetrokken met een hengel.

A.2 Participatieve monitoring

Een goede manier om bewustwording te vergroten, vertrouwen tussen partijen te vergroten, en daarnaast meer kennis over de actuele situatie te verzamelen, is het toepassen van participatieve monitoring (zie bijvoorbeeld Breman et al., 2014). Niet-professionals worden hierbij ingezet om metingen te doen aan het watersysteem. De laatste jaren is eenvoudige en betaalbare meetapparatuur beschikbaar gekomen, vaak gekoppeld aan smartphones. Deze

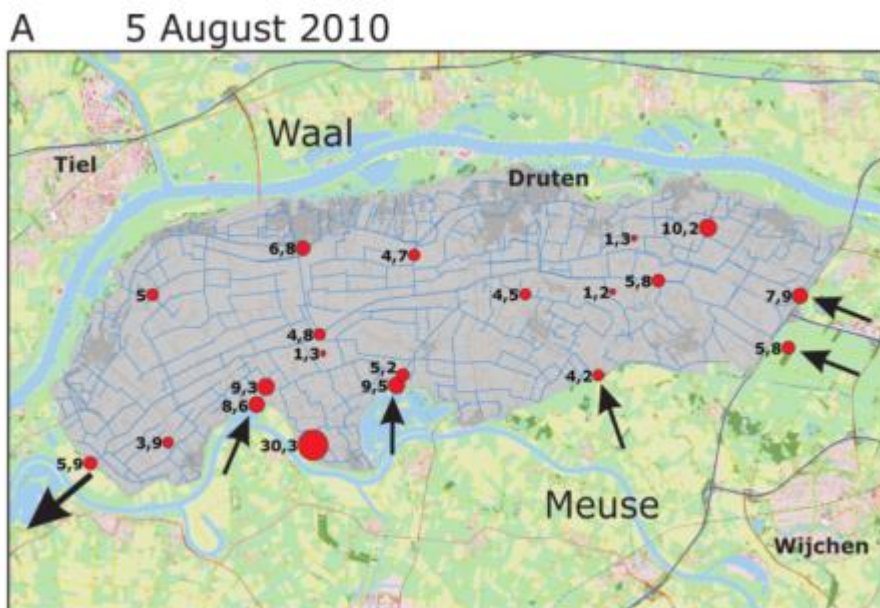
ontwikkeling heeft de haalbaarheid van participatieve monitoring sterk vergroot. Een voorbeeld gericht op monitoring van de verzilting van oppervlaktewater is te vinden op texelmeet.nl (Figuur A.2).



Figuur A.2 *Texelmeet.nl*: een voorbeeld van participatieve monitoring van chlorideconcentraties in het oppervlaktewater

A.3 Gd anomalie

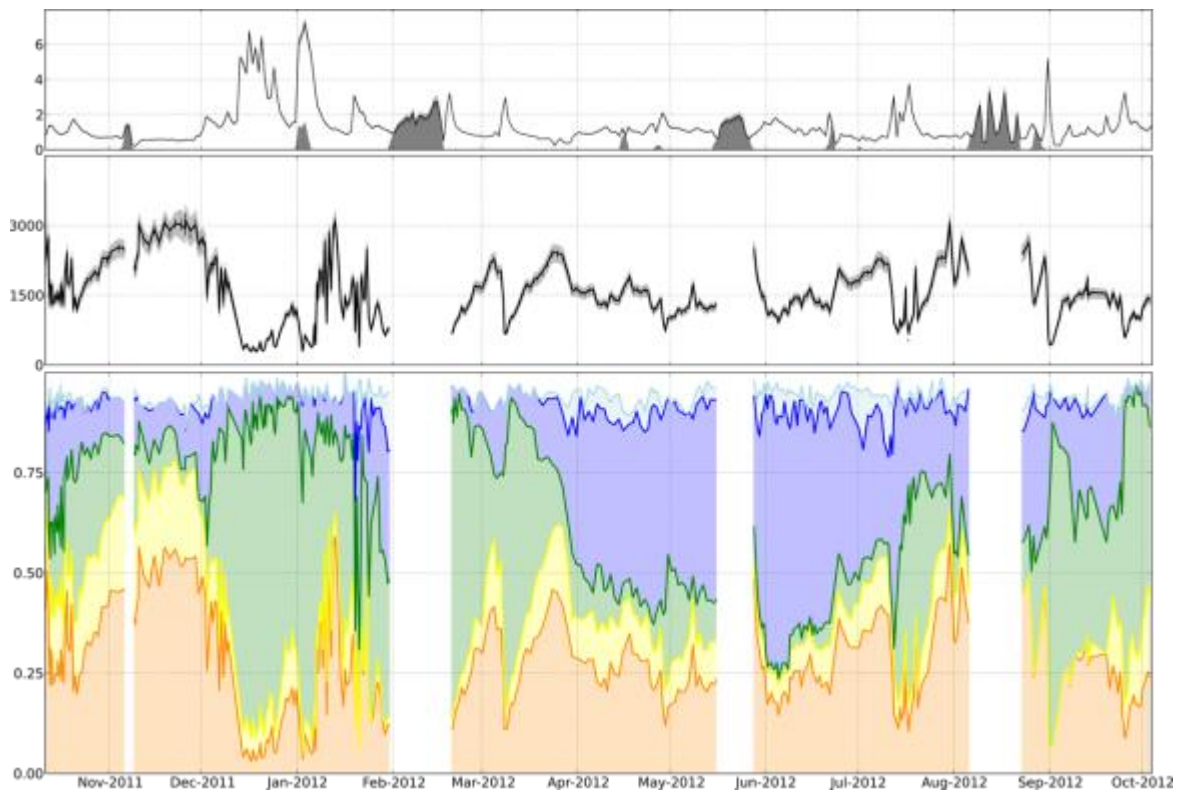
De meest voor de hand liggende tracertechniek die ingezet kan worden om inlaatwater te onderscheiden is zeldzame aardelementen. De zeldzame aardelementen (lanthaan tot lutetium) komen van nature in lage tot zeer lage concentraties (tot max 1ppb) voor in alle Nederlandse (maar ook buitenlandse) watertypes (regenwater, grondwater, rivierwater, etc). Bijna (uitzondering Ce en Eu) alle zeldzame aardelementen hebben een vrijwel identiek geochemisch gedrag, waardoor de verhoudingen tussen de elementen 'vastliggen'. Hierdoor kan aan de hand van de concentratie van de andere zeldzame aardelementen een natuurlijke achtergrondconcentratie worden verondersteld. Vanaf halverwege de jaren 80 van de 20ste eeuw, worden in toenemende mate gadolinium (Gd) houdende complexen gebruikt tijdens medische MRI-scans. Deze Gd-houdende complexen zijn zo ontwikkeld dat ze binnen 6 tot 24 uur het menselijk lichaam te verlaten. Deze complexen zijn niet gevoelig voor absorptie-desorptie of afbraakprocessen, en bewegen zich daardoor in feite op eenzelfde manier als water. Vanaf midden jaren negentig is het mogelijk om deze "extra" gadolinium uit de MRI-complexen terug te meten als een verhoogde gadoliniumconcentratie ten opzichte van de verwachte natuurlijke concentratie. Figuur A.3 geeft een voorbeeld waarbij met behulp van zeldzame aarden het aandeel inlaatwater in een polder is gemeten.



Figuur A.3 Gemeten Gd-anomalie in de Quarles van Ufford-polder. Hoe groter de Gd-anomalie, hoe groter het aandeel inlaatwater (Rozemeijer et al., 2012)

A.4 Gecombineerde tracer techniek

Voor het onderscheiden van meerdere stromen van water zijn meerdere tracers noodzakelijk. Daarvoor kan gebruik worden gemaakt van reeds in het water voorkomende stoffen. (Delsman et al., 2013) beschrijven een techniek waarbij de stoffen B, Br, Cl, Na, Li, Mg, SO₄, Sr worden ingezet om de bijdrage van diep welwater, ondiep kwelwater, drainagewater, inlaatwater en neerslag in het uitgeslagen polderwater te onderscheiden. Door regelmatige bemonstering en analyse worden patronen in de bijdrage van deze bronnen in de tijd duidelijk zichtbaar (Figuur A.4). Voordeel boven de Gd techniek is de mogelijkheid om meerdere bronnen simultaan 'uit elkaar te trekken'.



Figuur A.4 Boven: Afvoer (mm/d), Midden: Chlorideconcentratie (mg/l) en Onder: bijdrage van verschillende bronnen van water aan de waterbalans (oranje: wellen, geel: diffuse kwel, groen: drainagewater, donkerblauw: inlaatwater, lichtblauw: neerslag). Bron: (Delsman et al., 2013)

A.5 Hydraulische modellering (Sobek CF)

De verspreiding van inlaatwater wordt in belangrijke mate gedreven door de stroming van water (de andere drijvende kracht is ruimtelijke variatie in waterbalansposten). Modellering van waterstroming met een gedetailleerd hydraulisch model (Sobek CF, Figuur A.5) kan daarmee een goed beeld geven van de verspreiding van inlaatwater. Daarbij is het van belang naast de watergangen ook de detailkunstwerken in een gebied (duikers en dergelijke) juist in de modellering op te nemen.



Figuur A.5 Voorbeeld resultaat berekening fractie inlaatwater (blauw=hoge fractie inlaatwater, rood = lage fractie inlaatwater)

